BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY AKTİF MADDELERİN NANOAKIŞKANLARIN TERMAL ÖZELLİKLERİ VE ISI TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aycan ALTUN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2020

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY AKTİF MADDELERİN NANOAKIŞKANLARIN TERMAL ÖZELLİKLERİ VE ISI TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aycan ALTUN
(181233483008)
ORCID: 0000-0003-3947-5698

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA
ORCID: 0000-0002-3690-7929

TEMMUZ 2020

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 181233483008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi AYCAN ALTUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Yüzey Aktif Maddelerin Nanoakışkanların Termal Özellikleri ve Isı Transferi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Mehmet Ferdi FELLAH** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk Dilmaç Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 16.06.2020
Savunma Tarihi : 23.07.2020

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere göre uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi 190Y011 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Aycan Altun

İmzası :

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren Değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda desteklerinden dolayı Arş. Gör. Seydi Ahmet KAVAKLI'ya, Arş. Gör. Mehtap ÖZEKMEKCİ'ye ve Arş. Gör. Enver BAYDIR'a teşekkürü borç bilirim. Aynı zamanda Deneysel çalışmada kullanılan gövde borulu ısı değiştirici hibesi için Refkar Soğutma ve Isı Transfer Cihazları San. ve Tic. Ltd. Şti'ye teşekkür ederim.

Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında destekleri için Bursa Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde bana desteklerini her zaman hissettiren aileme teşekkür ederim.

Temmuz 2020 Aycan Altun

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
KISALTMALAR ..... **viii**
SEMBOLLER ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Nanoakışkan Tanımı 1
1.1.1 Temel akışkan 1
1.1.2 Nanopartikül 2
1.2 Nanoakışkan Üretim Metotları 2
1.2.1 Tek adımlı metot 2
1.2.2 İki adımlı metot 3
1.3 Nanoakışkanlarda Kararlılığı Etkileyen Faktörler 3
1.3.1 Fiziksel işlemler 4
1.3.1.1 Ultrasonikasyon 4
1.3.1.2 Homojenizatör 4
1.3.2 Kimyasal işlemler 4
1.3.2.1 pH değişimi 4
1.3.2.2 Nanopartiküllerin yüzey modifikasyonu 5
1.3.2.3 Sürfaktan eklenmesi 5
1.4 Nanoakışkan Kararlılığı için Analiz Metotları 6
1.4.1 Elektron mikroskobu 6
1.4.2 Sedimantasyon metodu 6
1.4.3 UV-vis spektroskopisi 7
1.4.4 Zeta potansiyel analizi 7
1.5 Nanoakışkan Özelliklerinin Ölçümü 10
1.5.1 Özgül ısı 10
1.5.2 Yoğunluk 10
1.5.3 Viskozite 11
1.5.4 Termal iletkenlik 13
1.6 Nanoakışkan Kullanım Alanları 15
1.6.1 Ulaşım 15
1.6.2 Elektronik soğutma 16
1.6.3 Güneş enerjisi uygulamaları 16
1.6.4 Mekanik uygulamalar 16
1.6.5 Isı değiştiriciler 17
1.6.5.1 Çift borulu ısı değiştiriciler 17
1.6.5.2 Kompakt ısı değiştiriciler 17
1.6.5.3 Gövde borulu ısı değiştiriciler 18

1.6.5.4 Levhalı ısı değiştiriciler 19
1.6.6 Diğer uygulama alanları 19
1.7 Nanoakışkan Kullanımındaki Zorluklar 20
1.8 Amaç ve Hedefler 21
1.9 Çalışmanın Kapsamı 21
2. LİTERATÜR ÖZETİ 22
3. MATERYAL VE YÖNTEM 25
3.1 Sürfaktanların Temel Akışkanın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi 25
3.1.1 Materyal 25
3.1.2 Yöntem 25
3.2 Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin ve Kararlılıklarının Belirlenmesi 27
3.2.1 Materyal 27
3.2.2 Nanoakışkanların hazırlanması 27
3.2.3 Nanoakışkan kararlılığının analizi 28
3.3 Isı Transferi Deney Düzeneği ve Hesaplamalar 28
3.3.1 Deney düzeneği 28
3.3.2 Hesaplamalar 30
3.3.2.1 Isı değiştirici hesaplamaları için genel bilgiler 30
3.3.2.2 Gövde kısmındaki ısı transferi hesaplamaları 32
3.3.2.3 Boru kısmındaki ısı transferi hesaplamaları 33
3.3.3 Isı değiştiricide kirlilik 34
3.4 Belirsizlik Analizi 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 37
4.1 Sürfaktanların Temel Akışkanın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi 37
4.1.1 Yoğunluk ölçümleri 37
4.1.2 Viskozite ölçümleri 39
4.1.3 Termal iletkenlik ölçümleri 40
4.2 Nanoakışkanların Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi 42
4.2.1 Yoğunluk ölçümleri 42
4.2.2 Viskozite ölçümleri 57
4.2.3 Termal iletkenlik ölçümleri 72
4.3 Nanoakışkan Kararlılığının İncelenmesi 89
4.4 Nanoakışkanların Isı Transferi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi 91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 93
EKLER 106

KISALTMALAR

CNT : Karbon nanotüp
CTAB : Setrimonyum bromür
DLS : Dinamik ışık saçılımı spektrometresi
DW : Distile su
EG : Etilen glikol
FESEM : Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu
L/dk : Litre/dakika
MCHS : Mikro kanal ısı değiştiricileri
MWCNT : Çok duvarlı karbon nano tüp
NP 10 : Nonil Fenol Etoksilat 10
PVP : Polivinilpirolidon
Re : Reynolds sayısı
Ref : Referans
SDS : Sodyum dodesil sülfat
SWNTs : Tek duvarlı karbon nano tüp
SEM : Taramalı elektron mikroskobu
TEM : Transmisyon elektron mikroskobu
Tween 80 : Polietilen glikol sorbitan monooleat

SEMBOLLER

A_s : Isı transfer alanı, (m^2)
B : Perdeler arası boşluk, (m)
C : Açıklık, (m)
c_p : Özgül ısı, (kJ/kg K)
D_e : Eşdeğer çap, (m)
g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
G_s : Gövde kısım kütlesel hız, (kg/s m^2)
k_B : Boltzmann sabiti, (J/K)
k_{bf} : Temel akışkanın termal iletkenliği, (W/m K)
k_{eff} : Akışkanın termal iletkenliği, (W/m K)
k_{nf} : Nanoakışkanın termal iletkenliği, (W/m K)
k_p : Partikülün termal iletkenliği, (W/m K)
k_r : Akışkanın termal iletkenlik oranı
$\dot{m}$: Kütle debisi, (kg/s)
N_T : Isı değiştiricinin gövde kısmındaki boru sayısı
Nu : Nusselt sayısı
P_T : Adım aralığı, (m)
r_c : Kümenin görünür çapı, (m)
t : Zaman, (s)
U : Toplam ısı transfer katsayısı, (W/m^2 K)
β : Alan yoğunluğu, (m^2/m^3)
ρ : Yoğunluk, (kg/m^3)
ρ_r : Yoğunluk oranı
φ_m : Nanopartikülün kütlesel konsantrasyonu
φ_v : Nanopartikülün hacimsel konsantrasyonu
ψ : Küresellik ölçütü
μ_{eff} : Nanoakışkanın viskozitesi, (Pa.s)
μ_r : Nanoakışkanın viskozite oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Literatürde bulunan bazı nanoakışkanlar ve hazırlanma metotları. **3**
Çizelge 1.2 : Zeta potansiyeli değerlerine karşılık nanoakışkanın kararlılık durumu. **8**
Çizelge 1.3 : Literatürde yapılan nanoakışkan kararlılığı ile ilgili çalışmalar. **9**
Çizelge 1.4 : Farklı süspansiyonların viskozite tahmini için yapılan modeller. **12**
Çizelge 1.5 : Literatürde bulunan termal iletkenlik modelleri. **14**
Çizelge 1.6 : Termal iletkenliği artırma üzerine yapılan deneysel çalışmalar. **15**
Çizelge 3.1 : Deneyde kullanılan sürfaktanların özellikleri. **25**
Çizelge 3.2 : Deneyde kullanılan nanopartiküllerin özellikleri. **27**
Çizelge 3.3 : Deney düzeneğinde kullanılan ısı değiştiricinin özellikleri. **30**
Çizelge 3.4 : Isı transferi deney düzeneğinde kullanılan pompa ve özellikleri. **30**
Çizelge 3.5 : Isı transferi deney düzeneğinde kullanılan diğer ekipmanlar ve özellikleri. **30**
Çizelge 3.6 : Deneysel çalışma süresince kullanılan aletlerin hassasiyet değerleri .. **34**
Çizelge 3.7 : Elde edilen akışkan özelliklerinden hesaplanan yüzde belirsizlik değerleri. **35**
Çizelge 3.8 : Isı transferi deney sistemi için hesaplanan değerlerin yüzde belirsizlik oranları **35**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sürfaktanın şematik gösterimi. **5**
Şekil 1.2 : Negatif yüklü bir parçacığın zeta potansiyeli [23]. **8**
Şekil 1.3 : Kayma gerilimine karşı kayma hızı eğrisi. **11**
Şekil 1.4 : Çift borulu ısı değiştiricilerde akış düzeni a) paralel akış b) ters akış [86]. **17**
Şekil 1.5 : Kompakt bir ısı değiştiricide akış düzeni a) iki akışkan da karışmamaktadır. b) bir akışkan karışmakta diğer akışkan ise karışmamaktadır [86]. **18**
Şekil 1.6 : Gövde borulu bir ısı değiştiricinin şematik görünümü (tek gövde geçiş, tek boru geçiş) [86]. **18**
Şekil 1.7 : Gövde geçişli ve 2 boru geçişli ısı değiştirici [86]. **19**
Şekil 1.8 : Plakalı ısı değiştiricinin görünümü. **19**
Şekil 3.1 : Deneysel çalışmada kullanılan a) hassas terazi b)manyetik karıştırıcı. ... **26**
Şekil 3.2 : Deneysel çalışmada kullanılan a) piknometre b) reometre. **26**
Şekil 3.3 : Termal iletkenlik ölçüm cihazı Thermtest THW-L2. ..... **27**
Şekil 3.4 : Ultrasonik homojenizatör. **28**
Şekil 3.5 : Isı transferi deney düzeneği. **29**
Şekil 3.6 : Üçgensel adımlı boru düzeni görünümü [112]. **32**
Şekil 3.7 : Deneysel çalışmada kullanılan saf suyun yoğunluğunun sıcaklık ile değişimi (Hata çubukları %0,5'i göstermektedir). **35**
Şekil 3.8 : Deneysel çalışmada kullanılan saf suyun viskozitesi ve teorik viskozite değeri (Hata çubukları %5'i göstermektedir). **36**
Şekil 3.9 : Saf suyun teorik ve deneysel termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi (Hata çubukları %1,5'i göstermektedir). **36**
Şekil 4.1 : Deneysel çalışmada kullanılan SDS sürfaktanı ile hazırlanan çözeltilerin farklı sıcaklıklarda yoğunluğunun konsantrasyon ile değişimi. **37**
Şekil 4.2 : Deneysel çalışmada kullanılan NP 10 sürfaktanı ile hazırlanan çözeltilerin farklı sıcaklıklarda yoğunluğunun konsantrasyon ile değişimi. **38**
Şekil 4.3 : Deneysel çalışmada kullanılan Tween 80 sürfaktanı ile hazırlanan çözeltilerin farklı sıcaklıklarda yoğunluğunun konsantrasyon ile değişimi. **38**
Şekil 4.4 : Deneysel çalışmada SDS kullanılarak hazırlanan sürfaktan çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı sıcaklıklarda konsantrasyon ile değişimi. **39**
Şekil 4.5 : Deneysel çalışmada NP 10 kullanılarak hazırlanan sürfaktan çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı sıcaklıklarda konsantrasyon ile değişimi. **40**
Şekil 4.6 : Deneysel çalışmada Tween 80 kullanılarak hazırlanan sürfaktan çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı sıcaklıklarda konsantrasyon ile değişimi. **40**
Şekil 4.7 : Farklı sıcaklıklarda SDS eklenen saf suyun termal iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimi. **41**

Şekil 4.8 : Farklı sıcaklıklarda NP 10 eklenen saf suyun termal iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimi. **41**
Şekil 4.9 : Farklı sıcaklıklarda Tween 80 eklenen saf suyun termal iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimi. **41**
Şekil 4.10 : 25ºC sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkan için teorik modeller ile deneysel yoğunluk değerlerin karşılaştırılması. **43**
Şekil 4.11 : Farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi (KT: Karışım teorisi).. **43**
Şekil 4.12 : Farklı sıcaklıklarda ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi. . **44**
Şekil 4.13 : %0,2 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **45**
Şekil 4.14 : %0,4 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **45**
Şekil 4.15 : %0,6 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **45**
Şekil 4.16 : %0,8 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **46**
Şekil 4.17 : 0,2 SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın ultrasonik homojenizatör uygulandıktan sonraki görüntüsü. **46**
Şekil 4.18 : SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0,2, b) %0,4, c) %0,6, d) %0,8..... **47**
Şekil 4.19 : %0,2 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **48**
Şekil 4.20 : %0,4 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **48**
Şekil 4.21 : %0,6 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **49**
Şekil 4.22 : %0,8 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi..... **49**
Şekil 4.23 : NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0,2, b) %0,4, c) %0,6, d) %0,8..... **50**
Şekil 4.24 : %0,2 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi. **51**
Şekil 4.25 : %0,4 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi. **51**
Şekil 4.26 : %0,6 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi. **52**
Şekil 4.27 : %0,8 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi. **52**
Şekil 4.28 : Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8. ... **53**
Şekil 4.29 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile yoğunluk oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80. ..... **55**
Şekil 4.30 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile yoğunluk oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80. ..... **56**

Şekil 4.31 : Farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **57**
Şekil 4.32 : 25°C sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için elde edilen teorik modeller ile deneysel viskozite değerlerinin karşılaştırılması. **58**
Şekil 4.33 : Farklı sıcaklıklarda ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi. .. **58**
Şekil 4.34 : %0,2 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **59**
Şekil 4.35 : %0,4 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **59**
Şekil 4.36 : %0,6 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **60**
Şekil 4.37 : %0,8 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **60**
Şekil 4.38 : SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0,2, b) %0,4 c) %0,6 d) %0,8. ..... **61**
Şekil 4.39 : %0,2 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **62**
Şekil 4.40 : %0,4 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **62**
Şekil 4.41 : %0,6 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **63**
Şekil 4.42 : %0,8 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **63**
Şekil 4.43 : NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8. ..... **64**
Şekil 4.44 : %0,2 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **65**
Şekil 4.45 : %0,4 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **65**
Şekil 4.46 : %0,6 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **66**
Şekil 4.47 : %0,8 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi. **66**
Şekil 4.48 : Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8. ... **68**
Şekil 4.49 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile viskozite oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80. ..... **69**
Şekil 4.50 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile viskozite oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80. ..... **70**
Şekil 4.51 : Farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **73**
Şekil 4.52 : 25°C sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için elde edilen teorik modeller ile deneysel termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması. **73**

Şekil 4.53 : Farklı sıcaklıklarda ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi. **74**
Şekil 4.54 : %0,2 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **75**
Şekil 4.55 : %0,4 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **75**
Şekil 4.56 : %0,6 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **76**
Şekil 4.57 : %0,8 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **76**
Şekil 4.58 : SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8. ... **77**
Şekil 4.59 : %0,2 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **78**
Şekil 4.60 : %0,4 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **78**
Şekil 4.61 : %0,6 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **79**
Şekil 4.62 : %0,8 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **79**
Şekil 4.63 : NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8. ... **80**
Şekil 4.64 : %0,2 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **81**
Şekil 4.65 : %0,4 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **81**
Şekil 4.66 : %0,6 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **82**
Şekil 4.67 : %0,8 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi. **82**
Şekil 4.68 : Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8. ... **83**
Şekil 4.69 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile termal iletkenlik oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80. ..... **85**
Şekil 4.70 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile termal iletkenlik oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80. ..... **86**
Şekil 4.71 : %1,1 Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın a) hazırlandıktan hemen sonra b) 13 gün sonra olan görüntüsü. **89**
Şekil 4.72 : %1,1 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların a) hazırlandıktan hemen sonraki b) 4 saat sonra olan görüntüsü. **89**
Şekil 4.73 : %0,5 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların a) 4 gün sonraki görüntüsü b) 10 gün sonraki görüntüsü. **90**
Şekil 4.74 : %0,5 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların a) 2 gün sonraki görüntüsü b) 7 gün sonraki görüntüsü **90**

Şekil 4.75 : Su ve nanoakışkan için toplam ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi. **92**
Şekil 4.76 : Basınç düşüşünün Reynolds sayısı ile değişimi. **92**
Şekil A.1 : %0,8 Tween 80-su çözeltisinin 35 °C sıcaklıktaki kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi **107**
Şekil A.2 : %0,3 Al_2O_3 ve %0,8 Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanın 35 °C sıcaklıktaki kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi **107**
Şekil A.3 : %0,9 Al_2O_3 ve %0,8 Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanın 35 °C sıcaklıktaki kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi **107**
Şekil A.4 : Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan SDS sürfaktan çözeltisinin logaritmik viskozite değerinin sıcaklık ile değişimi **1078**
Şekil A.5 : Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Tween 80 sürfaktan çözeltisinin logaritmik viskozite değerinin sıcaklık ile değişimi **1078**
Şekil A.6 : Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan NP 10 sürfaktan çözeltisinin logaritmik viskozite değerinin sıcaklık ile değişimi **1079**

YÜZEY AKTİF MADDELERİN NANOAKIŞKANLARIN TERMAL ÖZELLİKLERİ VE ISI TRANSFERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Son yıllarda, ısı transfer verimliliğini artırmak için yenilikçi bir yaklaşım olan nanoakışkan kullanımı hakkında çalışmalar hızla artmaktadır; fakat nanoakışkan kullanımını sınırlayan bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörlerden en önemlisi uzun süre nanoakışkan kararlılığını sağlayamamaktır; ancak bu doğrultuda farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi ise sürfaktan kullanmaktır. Bu deneysel çalışma kapsamında ilk aşamada üç farklı sürfaktanın, temel akışkan olarak seçilen saf suyun termofiziksel özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi, ardından nano boyutlarda Al_2O_3 partikülleri ile elde edilen nanoakışkanların fiziksel özelliklerinin ve kararlılığının ölçülmesi ve son aşamada ise hazırlanan nanoakışkanın gövde boru tipi bir ısı değiştirici kullanılarak ısı transfer karakteristiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda SDS, NP 10 ve Tween 80 olmak üzere 3 farklı sürfaktan kütlece %0,2 %0,4 %0,6 ve %0,8 oranlarında saf su ile karıştırılıp, çözeltiler oluşturulmuştur. Bu çözeltilerin 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C ve 65 °C olmak üzere 5 farklı sıcaklıkta yoğunluk, viskozite ve termal iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ardından ortalama partikül boyutu 18 nm olan Al_2O_3 partikülleri kullanılarak hacimce %0,3 %0,5 %0,7 %0,9 ve %1,1'lik nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Nanoakışkan kararlılığını artırmak için sürfaktan ve ultrasonik homojenizatör kullanılmıştır. Elde edilen nanoakışkanların 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C ve 65 °C sıcaklıktaki yoğunluk, viskozite ve termal iletkenlikleri ölçülmüştür. Aynı zamanda hazırlanan nanoakışkanların kararlılığının belirlenmesi için sedimentasyon metodu kullanılmıştır. Isı transfer performansının incelenmesi için sırasıyla su ve %0,2 Tween 80 ve %0,3 Al_2O_3 ile hazırlanan nanoakışkan gövde borulu bir ısı değiştiricinin boru kısmından 2, 3 L/dk, 4 L/dk ve 5 L/dk olmak üzere 4 farklı debide beslenmiş ve toplam ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin literatürle büyük oranda uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Tüm konsantrasyonlarda hazırlanan nanoakışkanlar için partikül miktarı ile nanoakışkanın yoğunluğunun doğru orantılı arttığı görülmüştür. Ayrıca akışkanın viskozitesi nanopartikül eklenmesi ile artmış fakat partikül kümelenmesinden dolayı düzenli bir artış gözlemlenememiştir. Farklı oranlarda hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin suyun değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık arttıkça termal iletkenlik değerleri artmış ve 25 ^oC sıcaklıkta elde edilen maksimum termal iletkenlik değeri, hacimce %1,1 Al_2O_3 ve kütlece %0,2 Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkan ile sağlanmıştır. SDS sürfaktanının, nanoakışkan kararlılığı üzerinde negatif etkisi olduğu görülmüş olup en iyi kararlılığa Tween 80 sürfaktanı ile ulaşılmıştır. Nanoakışkan kullanımı ile ısı transfer katsayısı artmış ve ısı transfer katsayısındaki maksimum artış %11,54 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca debi arttıkça toplam ısı transfer katsayısında artış görülmüştür.

Anahtar kelimeler: sürfaktan, nanoakışkan, kararlılık, termofiziksel özellikler, Gövde borulu ısı değiştirici, ısı transferi

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SURFACTANTS ON THERMAL AND HEAT TRANSFER PROPERTIES OF NANOFLUIDS

SUMMARY

In recent years, studies on th use of nanofluids, an innovative approach to enhance heat transfer efficiency, have been increasing rapidly. However, some factors limit the use of nanofluids. The most important of these factors is not being able to provide nanofluid stability for a long time, but different methods have been developed accordingly. One of these methods is to use surfactant as a dispersant. Within the scope of this experimental study, it was aimed to determine the effects of three different surfactants on the thermophysical properties of the pure water which was selected as the base fluid, the physical properties and stability of the nanofluids obtained by using nano-sized Al_2O_3 particles, and the heat transfer characteristic of the prepared nanofluid using a shell and tube heat exchanger. For these purposes, 3 different surfactants, SDS, NP 10, and Tween 80, were mixed to pure water with a ratio of 0.2% 0.4% 0.6% and 0.8% by weight, and solutions were obtained. Density, viscosity, and thermal conductivity measurements of these solutions at 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C and 65 °C were carried out. Afterward, using the Al_2O_3 particles with an average particle size of 18 nm, nanofluids were prepared with a volumetric ratio of 0.3%, 0.5%, 0.7%, 0.9%, and 1.1%. Surfactant and ultrasonic homogenizer were used to increase the stability of nanofluids. Density, viscosity, and thermal conductivity of the obtained nanofluids at 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C and 65 °C were measured. Meanwhile, the sedimentation method was used to determine the stability of the prepared nanofluids. To investigate the heat transfer performance, water and nanofluids, containing Al_2O_3 and Tween 80 with the ratio of 0.3% and 0.2% respectively, were fed to the tube side of the heat exchanger at 4 different flow rates (2, 3, 4 and 5 L/min) and the total heat transfer coefficient was calculated. As a result of the study, it has been observed that the thermophysical properties of nanofluids prepared without the use of surfactants are substantially compatible with the literature. It was seen that densities of the nanofluids at all concentrations increased with the concentration of particles proportionally. Besides, the viscosity of the fluid increased with the addition of nanoparticles, but no regular increase was observed due to particle aggregation. It has been determined that the thermal conductivity values of nanofluids prepared at different rates are higher than the values of water. As the temperature increased, the thermal conductivity values of the fluids increased and the maximum thermal conductivity value obtained at 25 ^{o}C was achieved with nanofluid prepared using 1.1% Al_2O_3 by volumetric and 0.2% Tween 80 by weight ratio. SDS surfactant was found to have a negative effect on the stability of nanofluids, and the best stability was achieved with the Tween 80 surfactant. Besides, the use of nanofluid improved the total heat transfer coefficient and its maximum value was calculated as 11.54%. When the flow rate of fluids fed to the heat exchanger increased, the total heat transfer coefficient enhanced.

Keywords: surfactant, nanofluids, stability, thermophysical properties, shell and tube heat exchanger, heat transfer

1. GİRİŞ

Mikroelektronik teknolojilerindeki gelişmeler, üretim ve taşıma gibi yüksek ısı akısı gerektiren süreçlerdeki ilerlemeler ile ısı transferini artıran teknolojilere ihtiyaç sürekli artmaktadır. Aynı zamanda mevcut ısı transfer süreçlerinin verimliliğinin artırılmasına olan ilgi ise hala devam etmektedir. Son zamanlarda ısı transferini artırmak için birçok aktif ve pasif teknikler uygulanmakta olup amaç yüksek ısı akıları elde etmektir. Böylece boyut küçültme ve düşük sermaye maliyeti sağlanabilmektedir. Isıyı almak için kullanılan geleneksel yöntemlerden biri yüzey alanını artırmaktır; fakat bu yöntem yüksek maliyet ve istenmeyen boyut artışına neden olmaktadır. Bu yüzden son yıllarda nanoteknoloji alanında hızlı gelişmelerin sağlanması ile nanoakışkan olarak adlandırılan yeni nesil potansiyel ısıl akışkan ortaya çıkmıştır.

1.1 Nanoakışkan Tanımı

Milimetre ve mikrometre boyutlarında partiküllerin bir akışkan içerisinde süspansiyon oluşturularak kullanılması çok eskiye dayanmaktadır; fakat bu partiküller tıkanma, yüksek miktarlarda aşınma, boru hatlarında yüksek basınç farkı oluşturma ve süspansiyonda düşük stabilite gibi problemlere neden oldukları için yerini nano boyutlardaki partiküllere bırakmıştır. Nanoakışkan terimi ilk olarak Choi ve Eastman tarafından 1995'te kullanılmıştır [1]. 100 nanometreden küçük partiküllerin akışkanlar içerisinde oluşturduğu kolloid karışımlar nanoakışkan olarak adlandırılmaktadır. Nanoakışkan temel olarak nanopartikül ve bir temel akışkandan oluşmaktadır.

1.1.1 Temel akışkan

Nanoakışkan hazırlamak için kullanılan temel akışkanlar, genellikle ısı transferi alanlarında kullanılan akışkanlardan seçilir. En yaygın kullanılan temel akışkanlardan bazıları su, etilen glikol (EG), etanol, toluen, gliserol, kerosen, motor yağı, transformatör yağı ve antifrizdir. Ayrıca nanoakışkan hazırlamak için kullanılan akışkanlar tek başına kullanılabileceği gibi birden fazla akışkanın karışımı ile de elde

edilebilir. Temel akışkanın termal iletkenlik katsayısı düşük olduğu için istenilen ısı transferi daha az verimle gerçekleşir.

1.1.2 Nanopartikül

Teknolojideki gelişmeler sayesinde nano boyutlarda partikül üretimi yaygınlaşmaktadır. Nanoakışkan hazırlamak için kullanılan partikülün boyutu, cinsi ve şekli gibi özellikler akışkanın fiziksel ve termal özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Akışkanın içinde bulunan partikülün boyutu 1-100 nm arasında değişmektedir. Nanopartiküller metalik, metalik olmayan, oksit, karbür, seramik ve farklı nanopartiküllerin karışımı olabilir. Nanoakışkan hazırlamak için literatürde sıklıkla Cu, Fe, Au, Ag, Al_2O_3, CuO, Fe_3O_4, SiC, SiO_2 TiO_2, ZnO, CNT, MWCNT, SWNTs ve Cu/Al_2O_3 partikülleri kullanılmıştır. Silindir, çubuk, küresel, küresele yakın ve küresel olmayan şekillere sahip nanopartiküllerin kullanımı bulunmaktadır; fakat küresel şekilli partiküllerin kullanımı daha yaygındır.

1.2 Nanoakışkan Üretim Metotları

Nanoakışkan hazırlanması nanopartikül üretimi ve nanopartiküllerin dağıtılması aşamalarından oluşur. Bunun için tek adımlı metot ve iki adımlı metot olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır.

1.2.1 Tek adımlı metot

Tek adımlı metotta, nanopartikül üretimi ve temel akışkan içinde dağılımı eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Nanoakışkan üretimi genellikle buhar depozisyon yöntemi kullanılarak elde edilmektedir. Buhar depozisyon yöntemi ile dönen bir diskin merkezkaç kuvveti altında, kabın çeperi üzerinde temel akışkandan akıcı ince bir film oluşturulur. Ham madde ısıya dayanıklı bir kroze içinde ısıtılıp, buharlaştırılır. Daha sonra buhar, soğuk temel akışkan film ile karşılaştığında nano boyutlarda partikül olarak yoğunlaşır ve nanoakışkan elde edilmiş olur. Bu adımda nanopartiküllerin oksitlenmesi engellenir ve bu metodu kullanırken kurutma, depolama, taşıma ve nanopartiküllerin dağılımı safhalarından kaçınılır. Diğer bir yandan, bu metot sadece düşük buhar basınçlı temel akışkanlar için uygundur [2].

1.2.2 İki adımlı metot

Nanoakışkan hazırlamak için en yaygın kullanılan yöntem iki adımlı metottur. Bu metot ile başlangıçta, kimyasal, fiziksel ve mekanik metotlar yardımıyla toz halinde nanomalzemeler üretilir. Daha sonra elde edilen nanopartiküller temel akışkan içinde disperse edilir. İki adımlı metot büyük ölçekte üretim için uygun olup nerdeyse her türlü nanoakışkan elde edilebilir; fakat partiküllerin kurutma, depolama ve taşıma aşamalarında aglomerasyon gerçekleşebilmektedir ve süspansiyonda kararlılık sağlamak tek adımlı metoda göre daha zordur [3]. Çizelge 1.1'de literatürde bulunan farklı temel akışkan, nanopartikül ve hazırlanma metodları kullanılarak elde edilen bazı nanoakışkanlar verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Literatürde bulunan bazı nanoakışkanlar ve hazırlanma metotları.

Temel Akışkan	Nanopartikül	Partikül Boyutu (nm)	Hazırlanma Metodu	Referans
Etilen glikol	Cu	10-20	Tek adımlı metot	[4]
Etilen glikol/Etilen glikol-su	Cu	20	Tek adımlı metot	[5]
Etilen glikol/su	Al_2O_3/CuO	38	İki adımlı metot	[6]
Etilen glikol/su/motor yağı	Al_2O_3/CuO	28/23	İki adımlı metot	[7]
su	Al_2O_3/CuO	29/36	İki adımlı metot	[8]
Etilen glikol/su	ZnO	29 ve 77	İki adımlı metot	[9]
Su	Cu	75-100	Tek adımlı metot	[10]
Etilen glikol	Fe	10	Tek adımlı metot	[11]
Tolüen	Ag	60-80	İki adımlı metot	[12]
Etanol	Au	10-20	İki adımlı metot	[13]
su	TiO_2	15	İki adımlı metot	[14]
Motor yağı	MWCNTs	20-50	İki adımlı metot	[15]

1.3 Nanoakışkanlarda Kararlılığı Etkileyen Faktörler

Nanoakışkanlar sadece katı-sıvı karışım değildir. Katının yani nanopartikülün sıvı içerisinde askıda kalması gerekmektedir ve nanoakışkanların kullanımını kısıtlayan en önemli etken nanoakışkanın kararlılığını sağlayamamaktır. Nanopartiküller yüksek yüzey alanlarına ve enerjilerine sahip olduğu için kümelenmeye meyillidirler [1]. Bu partiküllerin bir araya gelmesi akışkanın hidrodinamik özelliklerini, hacimsel oranını, akışkanın termal iletkenliğini, yoğunluğunu ve viskozitesi gibi birçok özelliğini değiştirmektedir [1,16].

Nanoakışkanın hazırlanma metodu, nanopartikülün karakteristiği ve temel akışkanın çeşidi nanoakışkan kararlılığını etkilemektedir. Aynı zamanda, akışkanda kararlılık

sağlayabilmek için fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanmaktadır. Ultrasonikasyon ve homojenizasyon gibi kümelenen partikülleri dağıtmak için yüksek enerji uygulanması fiziksel bir işlemdir. pH değişimi, nanopartiküllerin yüzey modifikasyonu ve yüzey aktif madde (sürfaktan) eklenmesi ise kimyasal işlemler arasında yer almaktadır.

1.3.1 Fiziksel işlemler

1.3.1.1 Ultrasonikasyon

Ultrasonikatörler, daha büyük boyuttaki parçaları daha küçük parçacıklara ayırmak için süpersonik dalgalar kullanır. Nanoakışkan hazırlandıktan sonra kararlılığının artırılması ve aglomerasyon oluşumunun engellenmesi için sonikasyona tabi tutulur. Yüksek frekansta salınan elektrik sinyalleri sıvıda basınçlı dalgalar oluşturur. Bu dalgalar nanopartiküllerin oluşturduğu büyük kümelerinin kırılmasına ve mikroskobik boşlukların oluşmasını sağlayarak daha küçük boyutlarda partiküllerin oluşmasına katkıda bulunur [17]. Ultrasonik banyo ve prob tipi sonikatörler sıklıkla kullanılmaktadır. Optimum ultrasonikasyon işlem süresi nanoakışkanın türüne göre değişiklik göstermekte olup, literatürde bu konuda çelişkili sonuçlar bulunmaktadır [18]. Ultrasonikasyon işlemi süresince ısı üretildiği için akışkanın sıcaklığı artar. Bu nedenle akışkanın yoğunluk, viskozite, termal iletkenlik özellikleri ve kararlılığı da değişmektedir.

1.3.1.2 Homojenizatör

Homojenleştiricinin içinde bulunan mikro kanallardaki basınçlı akışkanın hızı önemli oranda artar. Çok yüksek hıza sahip akışkan yüksek kayma gerilimi oluşturur ve sıvıda kavitasyon oluşmasına neden olur. Yüksek enerjiye sahip kavitasyon kümelenmiş nanopartikülleri bozar. Partikül kümelerinin dağılımının sağlanması için etkili bir yoldur [18].

1.3.2 Kimyasal işlemler

1.3.2.1 pH değişimi

Nanoakışkanın pH değeri izoelektrik noktasına (IEP değerine) eşit yada yakın olduğu zaman nanoakışkan kararsız hale gelir. IEP belirli bir molekülün net elektrik yükü taşımadığındaki pH değerine eşittir. IEP noktasında zeta potansiyel ve temel akışkanın içinde askıda kalmış nanopartiküllerin itme kuvvetleri sıfırdır. Bu yüzden partiküller

kümelenmeye yatkındır [16]. Temel akışkanın pH değerinin değiştirilmesi partikülün yüzey yükünü değiştirmekte olup partiküller arasındaki etkileşim davranışının da değişmesini sağlamaktadır [17]. Nanoakışkanın kararlı olduğu pH değeri nanoakışkanın özelliklerine göre değişmektedir; fakat özellikle yüksek sıcaklıklarda çok yüksek ve çok düşük pH değerleri, korozyon oluşumundan kaynaklı ısı transfer yüzeylerine zarar vermektedir.

1.3.2.2 Nanopartiküllerin yüzey modifikasyonu

Yüzey modifikasyonu temel olarak fonksiyonlandırılmış nanopartikülün temel akışkana ilavesi olarak tanımlanabilir ve işlem görmemiş nanoakışkana göre daha uzun süreli kararlılık elde edilebilir. Bu işlem düşük viskozitenin korunmasına da yardımcı olur [19].

1.3.2.3 Sürfaktan eklenmesi

Kullanım alanı geniş olan sürfaktanlar ıslatma, temizleme, köpük yapma, köpük engelleme, emülgatör madde ve dispersiyon sağlama fonksiyonları için kullanılmaktadır. Nanopartiküller hidrofilik (suyu seven) veya hidrofobik (su sevmeyen) yapıda temel akışkanlar ise polar ya da nonpolar yapılarda olabilir. Sürfaktanlar, hidrofilik ve lipofilik gruplardan oluşan genellikle uzun organik moleküllerdir. Çözeltide kendiliğinden oluşan molekül kümelerini (miseller) yaratırlar ve iki faz arasındaki yüzey gerilimini düşürmeye yardımcı olurlar. Hidrofilik partikülün non-polar akışkanda veya hidrofobik partikülün polar akışkanda dağılması istenirse, partiküllerin homojen dağılması için sürfaktan kullanılabilir. Sürfaktan kullanımı, nanoakışkanın kararlılığını artırmak için ekonomik bir yoldur [17]; fakat sürfaktanlar köpük oluşumuna neden olurlar ve yüksek sıcaklıklarda sürfaktanların özellikleri değişebilmektedir. Şekil 1.1'de sürfaktanın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.1 : Sürfaktanın şematik gösterimi.

Sürfaktanlar suyu seven grupların yüküne göre noniyonik sürfaktanlar, anyonik sürfaktanlar, katyonik sürfaktanlar ve amfoterik sürfaktanlar olmak üzere dört ayrı gruba ayrılır. Anyonik sürfaktanların hidrofilik grubu sulu çözeltilerde anyonlara ayrılır ve söz konusu sürfaktanlar ucuz ve kolay üretilebilmeleri sayesinde diğer sürfaktan türlerine göre daha çok tercih edilmektedirler. Katyonik sürfaktanlar ise suda katyonlarına ayrılır. Pozitif yüke sahip oldukları için çoğu yüzeyde adsorplanıp, yüzeyi modifiye etmek için kullanılırlar. pH değerine bağlı olarak hem anyon hem de katyonlarına ayrışabilen sürfaktanlar ise amfoterik sürfaktanlar olarak adlandırılır. pH arttıkça katyonik sürfaktan zwitteriyonikler yardımıyla aniyonik sürfaktanlara değişir. Diğer bir yandan suda iyonlarına ayrışmayan noniyonik sürfaktanlar, elektrolitlerden belirgin olarak etkilenmezler ve yüksek sıcaklıklarda, suda çözünme miktarları azalır [20-22].

1.4 Nanoakışkan Kararlılığı için Analiz Metotları

Nanoakışkanın kararlılığını sağlamak için bir takım işlemler uygulanmakta olup, bu işlemlerin etkisinin değerlendirilmesi için bazı analiz metotları uygulanmaktadır. Nanoakışkanların kararlılığı elektron mikroskobu, sedimantasyon metodu, UV-vis spektroskopisi ve zeta potansiyel analizleri yardımı ile elde edilebilir.

1.4.1 Elektron mikroskobu

Elektron mikroskobu partiküllerin boyutu, şekli, yüzey morfolojisi ve dağılımlarını gözlemlemek için sıkça kullanılan bir metottur. Transmisyon elektron mikroskobu (TEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) nanoakışkan analizlerinde en yaygın kullanılan elektron mikroskoplarıdır. Partikül boyutlarının değişimi nanoakışkanın kararlılığı hakkında bilgi vermektedir. Partikülün boyutlarındaki artış ve düzensiz oluşan partikül kümeleri aglomerasyon oluştuğunun ve nanoakışkanın kararsız olduğunun göstergesidir; fakat bu yöntem nanopartikülün nanoakışkan içerisindeki gerçek durumunu göstermez çünkü analiz için nanoakışkandan kurutulmuş örnekler alınmaktadır [18].

1.4.2 Sedimantasyon metodu

Sedimentasyon, partiküllerin temel akışkan içerisinde çökmeye olan eğilimidir. Nanoakışkanın kararlılığını ölçmek için sıklıkla kullanılan sedimentasyon metodu

aynı zamanda ekonomik bir metottur. Sentezlenen nanoakışkan cam bir tüpe koyularak belirli aralıklarla kamera/fotoğraf ile ya da batırılmış tepsi tekniği ile çökelmesi gözlemlenebilir. Fotoğraf ile nanoakışkanın çökelmesinin gözlemlenmesi basit ve etkili bir metot olarak bilinmektedir. Fotoğraf metodunun dezavantajı ise yüksek konsantrasyonlu ve koyu renkli nanoakışkanlarda kullanılamamasıdır. Batırılmış tepsi tekniğinde, ağırlık terazisine bağlı bir tepsi nanoakışkana batırılır ve zamanla çöken nanopartiküller gözlemlenir. Belli bir süreden sonra sedimentasyon hızı sıfıra yaklaştığında yada sabit bir değere ulaştığında, kalan nanoakışkan kararlı varsayılabilir. Küresel partiküllerin sedimentasyon hızı Denklem 1.1'de verilen Stokes kanunu ile bulunabilir.

$$V = \frac{2r^2}{9\mu}(\rho_P - \rho_L) * g \tag{1.1}$$

Denklem 1.1'de görülen V sedimentasyon hızını, r küresel partikülün yarıçapını, μ sıvının viskozitesini, ρ_p partikülün yoğunluğunu, ρ_L sıvının yoğunluğunu ve g yerçekimi ivmesini temsil etmektedir.

1.4.3 UV-vis spektroskopisi

UV-vis spektroskopisi, nanoakışkanın kararlılığını incelemek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Absorban (soğurma) konsantrasyonla doğrudan orantılı olduğu için nanoakışkanın konsantrasyonuna göre nicel sonuçlar almak için yararlı bir metottur. Nanoakışkan hazırlandıktan sonra partiküller çökelmeye başlar. Akışkanın süzüntü olarak adlandırılan üst kısmında bulunan fazın konsantrasyonu Uv-vis spektroskopisi yardımı ile ölçülür. Bu yöntem, çoğu tip temel akışkanda kullanılabilmesine rağmen, çok yüksek konsantrasyonlu veya koyu renkli nanoakışkanlarda kullanıma uygun değildir; çünkü yüksek konsantrasyonlu ya da koyu renkli akışkanlar gönderilen ışığı yüksek oranlarda absorbe ederler. Bu durum ise elde edilen verilerin kalitesini düşürür.

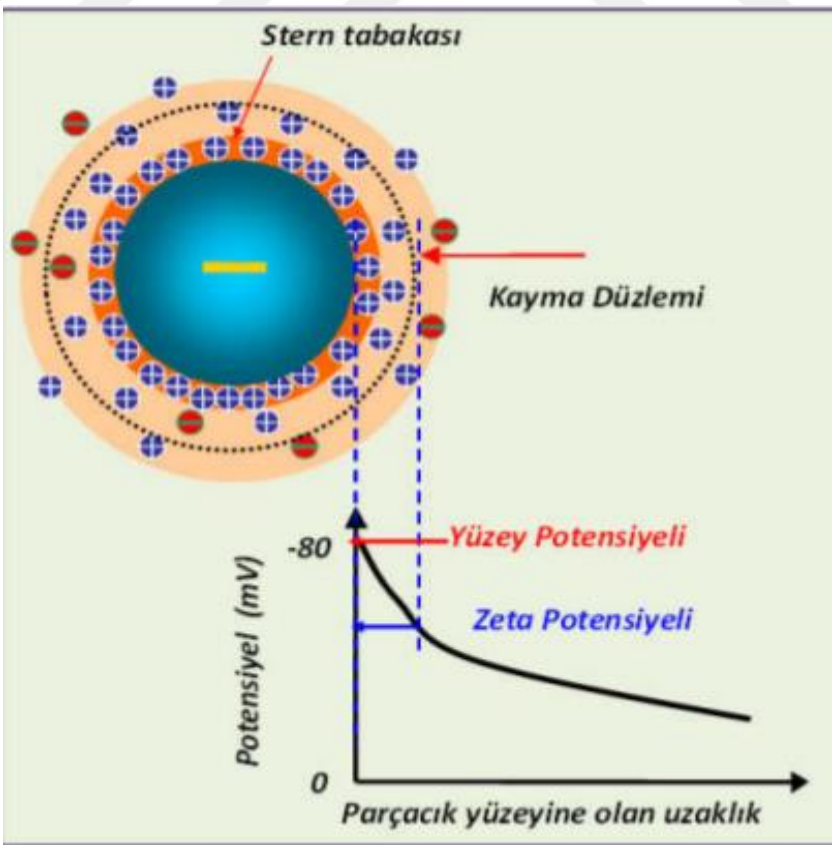
1.4.4 Zeta potansiyel analizi

Zeta potansiyel, parçacıklar arasındaki itme veya çekme değeri ölçütü olarak tanımlanır ve dağılma mekanizmaları hakkında bilgi verir. Belirli bir yüke sahip olan parçacık, süspansiyonun içerisindeki zıt yüke sahip olan iyonları çeker ve böylelikle yüklü tanenin yüzey kısmında bir bağ yüzeyi oluşur. Sonra, bu yüzeyden dışa doğru

yayılan bir yüzey oluşur. Yayılmış olan yüzey içerisinde kayma yüzeyi diye nitelendirilen bir sınır bulunur. Yüklü parçacık ile etrafında bulunan iyonlar kayma yüzey sınırına kadar olan kısım bir bütün olarak hareket eder. Bu kayma yüzeyindeki potansiyele zeta potansiyeli denir (Şekil 1.2). Parçacığın yüzey yapısı ve bulunduğu sıvının içeriği zeta potansiyeli etkilemektedir [23]. Yüksek yüzey yüküne sahip partiküller kümelenmeye daha az yatkındır; çünkü temas etmeye karşı koyulur. Zeta potansiyel arttıkça akışkanın kararlılığı da artmaktadır. Çok düşük ve çok yüksek konsantrasyona sahip akışkanlarda zeta potansiyel doğru değerlendirilemez. Zeta potansiyel değerleri ve bu değerlere karşılık gelen kararlılık durumları Çizelge 1.2'de verilmiştir. Genellikle, süspansiyonun zeta potansiyeli değeri 30 mV'den yüksek olduğunda süspansiyon kararlı olarak düşünülmektedir.

Çizelge 1.2 : Zeta potansiyeli değerlerine karşılık nanoakışkanın kararlılık durumu.

Zeta Potansiyeli (mV)	Kararlılık Durumu
0	Az yada kararlı değil
15	Az kararlı; ama kolaylıkla çökebilir
30	Orta derecede kararlı
45	Kararlı, çökelme olabilir
60	Çok kararlı, az çökelme olasılığı



Şekil 1.2 : Negatif yüklü bir parçacığın zeta potansiyeli [23].

Çizelge 1.3'te literatürde bulunan bazı nanoakışkanların kararlılık artırma metotları, kararlılık süreleri ve analiz metotları hakkındaki çalışmalar sunulmuştur.

Çizelge 1.3 : Literatürde yapılan nanoakışkan kararlılığı ile ilgili çalışmalar.

Temel Akışkan	Partikül	$\varphi_{partikül}$	Kararlılığı Artırma Metodu	Kararlılık Süresi	Analiz Metodu	Ref
EG-DW	MgO	%0,08-0,4	CTAB Sürfaktan	15 günden fazla	Zeta potansiyel, UV spektrometre	[24]
Yağ	CNT	%0,1 ve %3	Sürfaktan ve ultrasonik	5 gün	Zeta potansiyel	[25]
DW	CNT	%0,25	Fonksiyonlandırma, sürfaktan, ultrasonik	50 saat	Zetasizer	[26]
Gaz yağı	ZnO	%0-1	Fonksiyonlandırma, ultrasonik	5 gün	Sedimentasyon metodu ve DLS	[27]
Motor yağı	ZnO	%0-2	ultrasonik	72 saat	-	[28]
DW	Al_2O_3	%0,1-2	CTAB, SDBS, SDS sürfaktan	Birkaç saat	TEM, DLS, zetasizer	[29]
DW	Al_2O_3	%0,01-0,3	Ultrasonik	-	Zeta potansiyel, TEM	[30]
DW	Al_2O_3 TiO_2	%0,1-2 %0,1-1	Sürfaktan, pH ve Ultrasonik	3 günden fazla	SEM, TEM	[31]
EG-DW	Al_2O_3	%0,1	pH, dağıtıcı	İyi kararlılık	Zeta potansiyel ve Sedimentasyon metodu	[32]
DW	Al_2O_3	%0,1 ve %0,5	Sürfaktan, ultrasonik prob	30 gün	UV	[33]
DW	Al_2O_3	%0,25 %0,5 %0,75 %1 wt	Sürfaktan, Ultrasonik Homojenizatör	1 hafta	Sedimentasyon metodu	[34]
DW	Al_2O_3	%1 wt	Sürfaktan, pH	5 gün	Uv-vis, DLS, Sedimentasyon metodu	[35]
EG	Al_2O_3	%1 wt	Sürfaktan, ultrasonik	20 gün	TEM, Sedimentasyon metodu	[36]
DW	Al_2O_3	%0,5 vol	Ultrasonik	30 gün	-	[37]
DW	Al_2O_3	%0,1	CTAB, SDBS sürfaktan ve pH	5 gün	Zeta potansiyel	[35]
DW	Al_2O_3	%1–4 vol.	Ultrasonik	12 saat	-	[38]
DW	Al_2O_3	%0,01 %0,1 %0,5 %0,8	Ultrasonik, yüzey aktif madde ve pH	-	Zeta potansiyel	[39]
Yağ	Al_2O_3	%0,5-3	Fonksiyonlandırma, ultrasonik	1 ay	Sedimentasyon metodu	[40]

1.5 Nanoakışkan Özelliklerinin Ölçümü

Nanopartiküllerin temel akışkana eklenmesi ile akışkanın temel olarak özgül ısı, yoğunluk, viskozite ve termal iletkenlik olmak üzere dört termofiziksel özelliği değişir. Bu termofiziksel özellikler nanopartikülün dispersiyonu, sıcaklık, konsantrasyon ve temel akışkanın bir fonksiyonu olarak değişkenlik göstermektedir. Termofiziksel özellikler ısı transferi alanlarında önemli bir rol oynar.

1.5.1 Özgül ısı

Nanopartiküllerin temel akışkana eklenmesi ile değişen fiziksel özelliklerden bir tanesi özgül ısıdır. Özgül ısı, bir maddenin birim miktarının birim sıcaklıkta artırılması için gerekli olan ısı enerjisi miktarıdır ve ısı aktarımı için önemli bir rol oynar. Metallerin [41] özgül ısıları sıvıların özgül ısılarından daha küçüktür. Bu yüzden nanoakışkanların özgül ısılarının temel akışkana göre daha düşük olması beklenir ve partikülün hacimsel konsantrasyonu arttıkça özgül ısıları azalır. Nanoakışkanın özgül ısısını konsantrasyona bağlı olarak tahmin etmek için Pak ve Cho [42] aşağıdaki denklemden yararlanmışlardır.

$$c_{p_{nanoakışkan}} = \varphi c_{p_{nanopartikül}} + (1-\varphi) c_{p_{temel\ akışkan}} \tag{1.2}$$

Xuan ve Roetzel [43] katı partikül ile sıvı faz arasında termal denge olduğunu varsaymışlardır. Buna göre Denklem 1.2'yi modifiye ederek aşağıdaki korelasyonu kullanmışlardır.

$$(\rho c_p)_{nanoakışkan} = \varphi(\rho c_p)_{nanopartikül} + (1-\varphi)(\rho c_p)_{temel\ akışkan} \tag{1.3}$$

Denklem 1.2 ve 1.3'te φ nanopartikülün hacimsel konsantrasyonunu temsil etmektedir.

Aynı zamanda, nanoakışkanların özgül ısılarının tahmini için deneysel modeller de geliştirilmiştir [44-46].

1.5.2 Yoğunluk

Nanoakışkanın yoğunluğu, nanopartikülün ve temel akışkanın konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Nanopartikülün yoğunluğunun fazla olmasından dolayı, nanoakışkanın yoğunluğu genellikle nanopartikül eklenmesi ile artmaktadır [47].

Deneysel verilerin yokluğunda nanoakışkanın yoğunluğunun karışım teorisi ile uyumlu olduğu belirtilmiş ve Denklem 1.4'te verilmiştir [42].

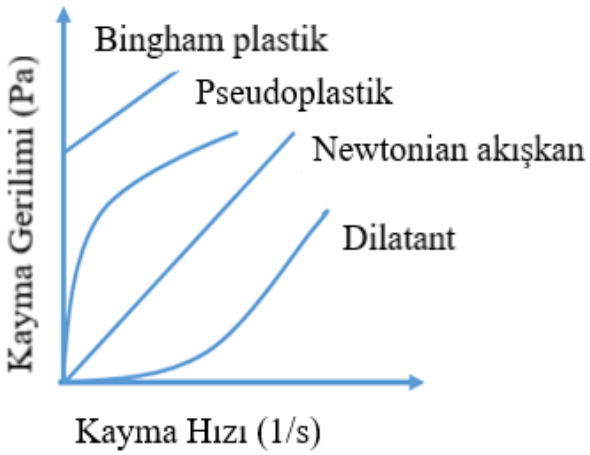
$$\rho_{nanoakışkan} = \varphi\rho_{nanopartikül} + (1-\varphi)\rho_{temel\ akışkan} \quad (1.4)$$

Aynı zamanda, birçok araştırmacı nanoakışkanın yoğunluğunu deneysel olarak da incelemişlerdir. Heyhat ve diğ. [48] 40 nm Al_2O_3 ve su ile %0,1-2 hacimsel konsantrasyonlarda nanoakışkanlar hazırlamışlardır. %2 Al_2O_3 ile hazırlanan nanoakışkanın yoğunluğunun maksimum %3 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Yoğunluktaki en yüksek azalış ise 60 ^oC sıcaklıkta %3,8 olarak elde edilmiştir. %0-4 hacimsel konsantrasyon ve 5-40 ^oC sıcaklıklarda Al_2O_3 ve su ile hazırlanan nanoakışkan için hem sıcaklık hem de konsantrasyonun bir fonksiyonu olan aşağıdaki korelasyon Khanafer ve Vafai [49] tarafından elde edilmiştir (Denklem 1.5).

$$\rho_{nanoakışkan} = 1001{,}064 + 2738{,}6191\varphi\rho_{nanopartikül} - 0{,}2095T_{nanoakışkan} \quad (1.5)$$

1.5.3 Viskozite

Viskozite genellikle akışkanın akmaya karşı direnci olarak tanımlanır ve kayma geriliminin kayma hızına oranıdır. Akışkanın farklı kayma hızlarında viskozitesi değişmiyorsa, akışkan newtonian akışkan adını alırken viskozite kayma hızının bir fonksiyonu ise non-newtonian akışkan olarak adlandırılır. Şekil 1.3'te farklı akışkanların kayma geriliminin kayma hızı ile değişimleri verilmiştir.



Şekil 1.3 : Kayma gerilimine karşı kayma hızı eğrisi.

Viskozite, bir akışkanın ısı transfer davranışını anlamak için önemli bir faktördür. Isı transferi gerektiren uygulamalarda akışkanın sisteme aktarılması için bir pompa

gücüne ihtiyaç vardır. Akışkanın viskozitesi arttıkça gerekli olan pompanın gücü de artmaktadır.

Nanoakışkanın viskozitesi; sıcaklık, temel akışkan, partikülün hacimsel oranı, partikül cinsi, boyutu, şekli ve yüzey aktif madde gibi bazı parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Nanoakışkanlarda viskozite hesaplamak için farklı modeller geliştirilmiştir. Bir süspansiyonun viskozitesinin temel akışkana ve partikülün hacimsel konsantrasyonuna bağlı değiştiği Einstein tarafından iddia edilmiştir (Denklem 1.6); fakat bu denklem milimetre ve mikrometre boyutlardaki partiküller için uygulanabilirdir.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2{,}5\,\varphi) \tag{1.6}$$

Bir çok araştırmacı nanoakışkanların viskozitelerini hesaplamak için farklı modeller öne sürmüşlerdir. Bu modellerin çoğu partikül boyutları, sıcaklık ve partikülün hacimsel konsantrasyonuna bağlı olarak tanımlanmamıştır. Bu yüzden deneysel modeller geliştirilmiştir [50]. Çizelge 1.4'te viskozite tahmini için elde edilen bazı modeller yer almaktadır.

Çizelge 1.4 : Farklı süspansiyonların viskozite tahmini için yapılan modeller.

Model	Denklem	Açıklama
Einstein [51]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(1 + 2{,}5\varphi)$	Küresel partikül ve %1 konsantrasyona kadar olan akışkanlar için uygun.
De Bruijin [52]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(\frac{1}{1 - 2{,}5\varphi + 1{,}552\varphi^2})$	Yüksek konsantrasyonlu nanoakışkanlara uygulanabilir.
Mooney [53]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}\exp(\frac{2{,}5\varphi}{1 - \frac{\varphi}{\varphi_m}})$	Küresel partikülerin seyreltik çözeltilerine uygundur.
Brinkman [54]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(1 - \varphi)^{-2{,}5}$	Seyreltik çözeltiler için uygulanabilir.
Batchelor [55]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(1 + 2{,}5\varphi + 6{,}5\varphi^2)$	Brownian hareketleri hesaba katılarak oluşturulmuştur.
Krieger ve Dougherty [56]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(1 - \frac{\varphi}{\varphi_m})^{-[\mu]\varphi_m}$	Bu model rijit partikül içeren süspansiyonlarda tüm konsantrasyonlar için kullanılabilir.
Hatschek [57]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(1 + 4{,}5\varphi)$	2 fazlı süspansiyonlar için uygun.
Wang et al. [7]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(1 + 7{,}3\varphi + 123\varphi^2)$	
Jeffrey ve Acrivos [58]	$\mu_{\text{eff}} = \mu_{\text{bf}}(3 + \frac{4}{3}\left(\frac{\varphi r^2}{In\left(\frac{\pi}{\varphi}\right)}\right))$	Bu model çubuk şekilli partikül içeren seyreltik süspansiyonlar içindir.

1.5.4 Termal iletkenlik

Nanoakışkan kullanımının en önemli amacı akışkanın termal iletkenliğini artırmaktır. Yapılan birçok çalışmada küçük miktarlarda nanopartikül kullanımının, temel akışkanın termal iletkenliği üzerinde büyük etkiler yaptığı görülmüştür. Akışkanın termal iletkenliği; nanopartikülün cinsi, hacimsel konsantrasyonu partikülün boyutu, şekli, partikül kümelenmesi, temel akışkan, yüzey aktif madde, sıcaklık ve pH gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir.

Yüksek termal iletkenliğe sahip nanopartiküller temel akışkana eklendiğinde akışkanın termal iletkenlik değeri yükselmektedir [66]. Nanopartikülün hacimsel konsantrasyonu arttıkça genellikle nanoakışkanın da termal iletkenliği artmaktadır. Partikül boyutu ve termal iletkenlik genellikle ters orantılı olarak değişmektedir [66]. Diğer bir yandan partikülün şeklinin de termal iletkenlik üzerinde etkisi bulunmaktadır. Yüksek en boy oranına (aspect ratio) sahip partiküller termal iletkenliği artırmaya yardımcı olur. Partikül kümelenmesinin termal iletkenlik üzerinde negatif etkisi bulunmaktadır. Temel akışkan hakkında çok fazla çalışma bulunmamasına rağmen temel akışkanın, nanoakışkanın termal iletkenlik değerini etkilemektedir [3]. Aynı şartlarda nanopartiküller farklı temel akışkanlara eklenerek termal iletkenlik ölçümü gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda farklı yüzdelerde termal iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir [66]. Buna ek olarak sürfaktanlar kararlılığı sağlamak için kullanıldığından dolayı termal iletkenlik üzerinde sürfaktanların genellikle olumlu etkisi bulunmaktadır. Ayrıca sıcaklık termal iletkenlik üzerinde güçlü etkiye sahiptir. Sıcaklığın artırılması ile partiküller arasındaki etkileşim artacağından dolayı termal iletkenlik de artmaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı pH aralıklarında termal iletkenliğin değiştiği görülmüştür ve optimum pH nanoakışkana göre değişmektedir [67,68]. Literatürde bulunan termal iletkenlik modelleri çizelge 1.5'te verilmiştir.

Nanoakışkanın termal iletkenliği geçici sıcak tel metodu(transient hot wire method), sıcaklık salınım tekniği (temperature oscillation technique) ve kararlı hal paralel plaka tekniği (steady state parallel plate technique) gibi farklı teknikler kullanılarak ölçülebilir. Bu yöntemlerin arasından düşük maliyetli ve kolay uygulaması olan geçici sıcak tel metodu sıklıkla tercih edilmektedir [79]. Geçici sıcak tel metodu anlık elektrik sinyaline verilen telin sıcaklık/zaman tepkisini ölçme prensibine göre çalışır. Tel hem ısıtıcı hem de termometre olarak kullanılır. Metalik tel test edilecek sıvının içine

daldırılır ve telin üstünden akım geçirilerek tel ısıtılır. Metalik telin sıcaklık artışı, sıvının termal iletkenliğinden etkilenir. Sıvının termal iletkenliği ne kadar yüksekse, telin sıcaklık artışı o kadar düşük olur. Bu metotla yapılan ölçümlerin süresi yaklaşık 1 dakikadır ve bundan dolayı doğal konveksiyondan etkilenmesi engellenir. Termal iletkenliği hesaplamak için Fourier yasası ve sıcaklık verilerinin türevi kullanılır. Elektriksel olarak iletken sıvıların ölçümü ile ilgili problemleri önlemek için tel ince bir elektriksel yalıtım tabakası ile kaplanır [3,80]. Literatürdeki bazı çalışmalarda kullanılan termal iletkenlik teknikleri ve elde edilen maksimum artış Çizelge 1.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 1.5 : Literatürde bulunan termal iletkenlik modelleri.

Model	Denklem	Açıklama
Maxwell [59]	$\frac{K_{eff}}{K_{bf}} = \frac{K_p + 2K_{bf} + 2(K_p - K_{bf})\varphi}{K_p + 2K_{bf} - 2(K_p - K_{bf})\varphi}$	Küresel şekilli ve daha büyük boyutlardaki (mikro) partiküller ile düşük konsantrasyonlardaki akışkanların termal iletkenliğinin tahmin edilmesinde kullanılır.
Hamilton-Crosser [60]	$\frac{K_{nf}}{K_{bf}} = \frac{K_p + (n-1)K_{bf} - (n-1)(K_{bf} - K_p)\varphi}{K_p + (n-1)K_{bf} + (K_{bf} - K_p)\varphi}$	$n = \frac{3}{\psi}$ ψ:küresellik ölçütünü göstermektedir.
Wasp [61]	$\frac{K_{nf}}{K_{bf}} = \frac{K_p + 2K_{bf} - 2(K_{bf} - K_p)\varphi}{K_p + 2K_{bf} + (K_{bf} - K_p)\varphi}$	Sadece küresel partiküller için uygundur.
Bruggeman [62]	$\varphi\left(\frac{K_p - K_{eff}}{(K_p + 2K_{eff})}\right) + (1 - \varphi\left(\frac{K_{bf} - K_{eff}}{(K_{bf} + 2K_{eff})}\right) = 0$	Küresel partiküllerde uygulanabilir. Konsantrasyon sınırı yoktur.
Yu ve Choi [63]	$\frac{K_{nf}}{K_{bf}} = \frac{[2(1-\gamma) + (1+\beta)^3(1+2\gamma)\gamma]}{-(1-\gamma) + (1+\beta)^3(1+2\gamma)}$	γ nano katmanın termal iletkenliğinin partikülün termal iletkenliğine oranı β nano katmanın kalınlığının orijinal partikülün çapına oranı olarak tanımlanır.
Xuan [64]	$K_{eff} = \frac{K_p + 2K_{bf} - 2(K_{bf} - K_p)\varphi}{K_p + 2K_{bf} + (K_{bf} - K_p)\varphi}K_{bf} + \frac{\rho_p \varphi c_p}{2}\sqrt{\frac{k_B T}{3\pi r_c \mu}}$	k_B: Boltzmann sabiti r_c:kümenin görünür çapını ifade etmektedir.
Kumar et all [65]	$K_{eff} = K_{bf} + c\frac{2k_B T}{\pi \nu d_p^2}\frac{\varphi r_b}{K_{bf}(1-\varphi)r_p}K_{bf}$	Brownian hareketler hesaba katılarak model oluşturulmuştur.

Çizelge 1.6 : Termal iletkenliği artırma üzerine yapılan deneysel çalışmalar.

Partikül	Temel akışkan	φ_v	Maksimum artış (%)	Açıklama	Ref
CuO	EG	0,04	20	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[6]
SiC	DW	0,042	22,9	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[69]
Fe	EG	0,0055	18	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[11]
Al_2O_3	DW	0,015	2,6	3ω tekniği kullanılmıştır ve farklı sıcaklıklarda ölçümler yapılmıştır	[70]
Al_2O_3	EG-DW	0,015	5	durağan olmayan sıcak tel metodu kullanılmıştır	[71]
Al_2O_3	Metanol	0,005	10,74	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[72]
Al_2O_3	DW	0,03	12	kararlı hal paralel plaka	[7]
Al_2O_3	EG	0,08	40	tekniği kullanılmıştır	
Al_2O_3	DW	0,01	8	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[73]
Al_2O_3	DW	0,02	3,6	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır. Farklı konsantrasyon ve partikül çaplarında farklı sonuçlar elde edilmiştir.	[74]
Al_2O_3	DW	0,14	13,8	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[75]
Al_2O_3	DW	0,014	~6	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[76]
Al_2O_3	DW	0,05	10	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[77]
Al_2O_3	DW	0,016	10	Geçici sıcak tel metodu kullanılmıştır	[78]

1.6 Nanoakışkan Kullanım Alanları

Nanoakışkanların ulaşım, elektronik soğutma, enerji depolama, mekanik uygulamalar, ısı değiştiriciler gibi endüstriyel uygulamalarda ısı transfer özelliklerini iyileştirdiği ve daha yüksek enerji verimliliği sağladığı deneysel ve teorik olarak gösterilmiştir. Nanoakışkan kullanımının pozitif etkilerinden dolayı farklı spesifik alanlarda kullanımları için de çalışmalar yapılmaktadır.

1.6.1 Ulaşım

Neredeyse üniversal olarak kullanılan standart motor soğutucu akışkan (EG-su karışımı) düşük termal iletkenliğe sahiptir. Motor yağları bir ısı transfer akışkanı için daha da kötü performans göstermektedir. Standart bir motor soğutucu akışkanına

nanopartikül eklenmesi ile motorun soğutma oranı artmaktadır. Böylelikle motor ısısı düşük boyutlarda soğutucu sistem ile kolaylıkla alınabilmektedir. Ayrıca nanoakışkan kullanımı yakıt tüketiminde tasarruf sağlamaya da yardımcı olmaktadır [81].

1.6.2 Elektronik soğutma

Teknolojideki hızlı ilerlemelerin etkisi ile elektronik cihaz sayısında büyük artışlar olmuştur. Yüksek performans sağlayan bu cihazlar aynı zamanda çok büyük miktarlarda ısı üretmektedir. Bu ısı cihazın performansını kötü etkilemekte ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Nanoakışkan kullanılması ile soğutucu sistemdeki yer sınırı ve hava soğutmasının yetersiz olması gibi problemler ortadan kalkmaktadır [82].

1.6.3 Güneş enerjisi uygulamaları

Enerji kaynaklarının zamana bağlı değişimleri ve enerji ihtiyaçları depolama sistemlerinin gelişmesini zorunlu kılmıştır. Güneş enerjisi sistemlerinde olduğu gibi termik enerjinin gizli ısı formunda depolanması, verimli kullanım ve atık ısının korunumu enerji yönetiminin önemli bir unsuru haline gelmiştir. Güneş kolektörleri güneşten gelen radyasyon enerjisini taşıyıcı akışkan (transport medium) iç enerjisine çeviren bir tür ısı değiştiricisidir. Bu cihaz güneş ışınımını ısıya çevirir ve ısıyı kolektöre akan akışkana (genellikle hava, su veya yağ) aktarır. Elde edilen enerji, aracı akışkandan doğrudan sıcak su veya gece ve bulutlu günlerde kullanılabilen termal enerji depolama tankına taşınır. Nanoakışkanlar temel akışkana göre önemli oranda yüksek termal iletkenliğe sahip olduğundan nanoakışkan kullanımı ısı transferini artırmak için etkili bir yoldur [83].

1.6.4 Mekanik uygulamalar

Aşınma ve sürtünmenin azaltılması, sistemin verimliliği açısından oldukça önemlidir. Nanopartiküller mükemmel yük taşıma kapasitesi, basınç ve sürtünme azaltma özellikleri sayesinde son yıllarda dikkat çekmektedir. Nanopartiküllerin akışkana eklenmesi ile sürtünme azaltma sağlanabilmektedir.

Mekanik sızdırmazlık ile karşılaştırıldığında, manyetik sızdırmazlık çok çeşitli endüstriyel cihazlardan sızan tehlikeli gazlar için uzun ömürlü ve uygun maliyetli çözüm sunmaktadır. Manyetik akışkanlar (ferromanyetik akışkan) nanoakışkanın özel bir çeşididir ve Fe_3O_4 gibi nano boyutlardaki manyetik partiküllerin süspansiyonudur [84].

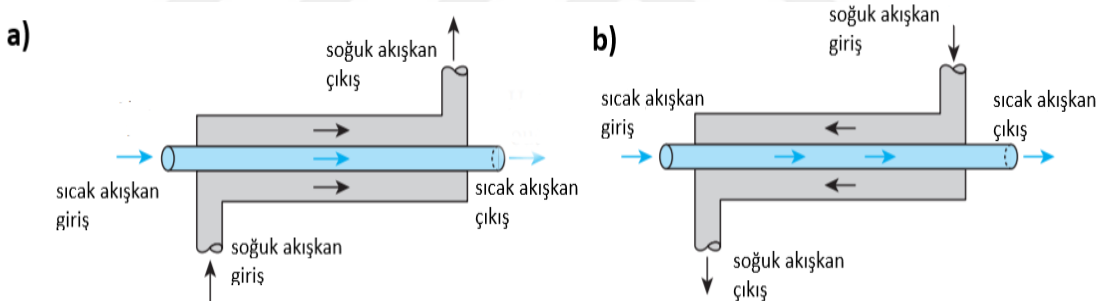
1.6.5 Isı değiştiriciler

Soğutma işlemi birçok sektörün karşılaştığı önemli bir problemdir. Isı transfer alanını artırmak, soğutma oranını artırmanın alışılagelmiş bir yoludur. Pompa gücü maliyeti ile ısı transfer alanı arasında bir denge vardır. Alan arttıkça, akışkanın eşanjöre gitmesi için gerekli olan enerji de artar. Isı transfer alanının daha fazla artırılması için termal sistem ebatının artması gerekmektedir. Nanoteknoloji, enerji tasarruflu merkezi ısıtma sisteminin geliştirilmesini hızlandırmaya yardımcı olabilir. Fiziksel özelliklerin yanı sıra eşanjörün içindeki akış rejimi (laminer yada türbülanslı) nanoakışkanın etkinliği için önemli bir rol oynamaktadır [85].

Isı aktarımı uygulama alanlarına göre farklı tiplerde ve konfigürasyonlarda ısı transfer ekipmanları kullanılmaktadır [86].

1.6.5.1 Çift borulu ısı değiştiriciler

En basit tip olan bu ısı değiştiriciler eş merkezli ve farklı çaplarda olan 2 borudan oluşmaktadır.



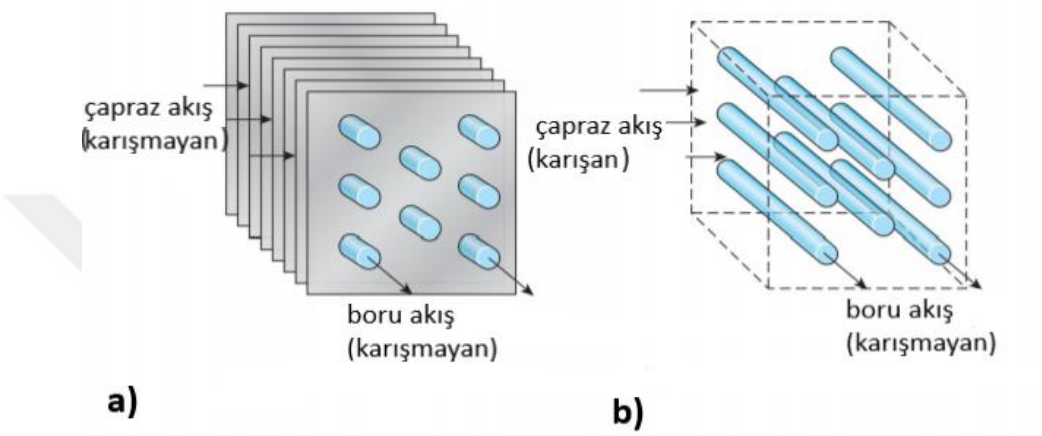
Şekil 1.4 : Çift borulu ısı değiştiricilerde akış düzeni a) paralel akış b) ters akış [86].

Akışkanlardan biri, ısı değiştiricide daha küçük çapta olan borunun içinden akarken diğer akışkan ise iki borunun arasındaki boşluktan akmaktadır (Şekil 1.4). Çift borulu ısı değiştiricisinde paralel ve ters akış olmak üzere 2 akış düzeni vardır. Paralel akışta hem sıcak hem de soğuk akışkan aynı taraftan girip aynı yönde ilerlerken, ters akışta ise sıcak ve soğuk akışkan zıt taraflardan girip ters yönde akmaktadır.

1.6.5.2 Kompakt ısı değiştiriciler

Birim hacim başına yüksek ısı aktarım yüzey alanı elde etmek için tasarlanmış ısı değiştirici çeşididir. Bir ısı değiştiricinin ısı transfer yüzey alanının hacmine oranı alan yoğunluğu olarak tanımlanır ve β ile gösterilir. Eğer β, 700 m^2/m^3 ten büyük ise ısı değiştirici kompakt olarak sınıflandırılır. Kompakt ısı değiştiricilere araba radyatörleri

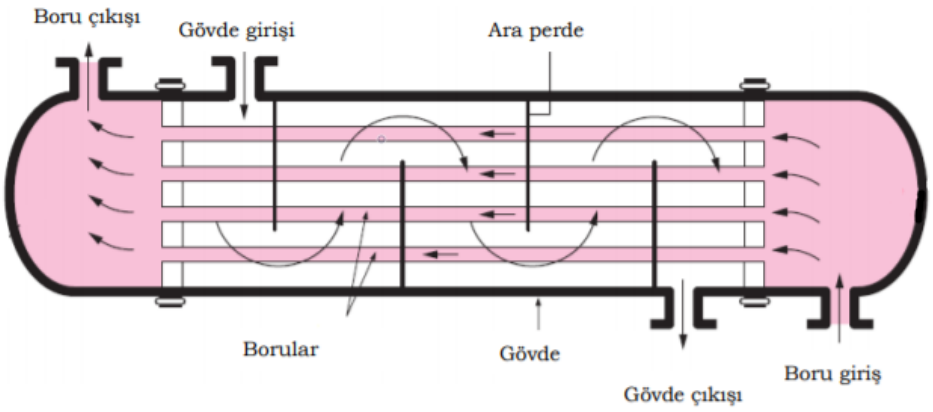
(β~1000 m^2/m^3), cam-seramik gaz türbin ısı değiştiricileri (β~6000 m^2/m^3) ve insan ciğeri (β~20,000 m^2/m^3) örnek olarak verilebilir. Bu tür ısı değiştiriciler genellikle ısı değiştiricinin ağırlık ve hacmi ile ilgili katı sınırlamalar içeren uygulamalarda kullanılmaktadır. Kompakt ısı değiştiricilerdeki akış genellikle laminar akış olarak düşünülmektedir. 2 akışkan birbirine genellikle dik olarak hareket eder ve bu akış şekli çapraz akış olarak adlandırılır. Çapraz akış ise Şekil 1.5'te görüldüğü gibi akışkanın karışma durumuna göre karışan ve karışmayan akış olarak ayrılır [86].



Şekil 1.5 : Kompakt bir ısı değiştiricide akış düzeni a) iki akışkan da karışmamaktadır. b) bir akışkan karışmakta diğer akışkan ise karışmamaktadır [86].

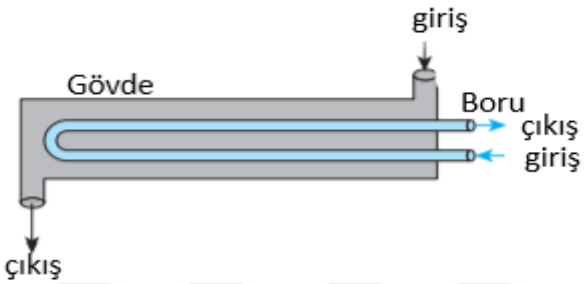
1.6.5.3 Gövde borulu ısı değiştiriciler

Endüstride en yaygın kullanılan ısı değiştiricilerden biri olan gövde borulu ısı değiştirici, bir kabuk içinde kabuğa paralel şekilde çok sayıda tüpün yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Şekil 1.6'da gövde borulu bir ısı değiştiricinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 1.6 : Gövde borulu bir ısı değiştiricinin şematik görünümü (tek gövde geçiş, tek boru geçiş) [86].

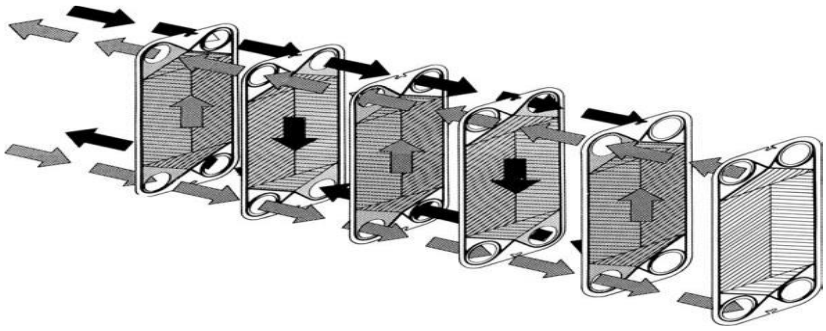
Isı transferi, ısı değiştiricide bir akışkanın boru içine akarken diğer akışkanın borunun dışından gövde boyunca hareket etmesi ile gerçekleşir. Isı transferini artırmak, borular arasındaki mesafeyi korumak ve akışkanı kabuk boyunca akmaya zorlamak amacıyla ısı değiştiricinin gövde kısmına perdeler yerleştirilir. Ayrıca, gövde borulu ısı değiştiricileri, gövde ve boru geçiş sayısına göre sınıflandırılır. Gövdedeki tüm borular U geçişli ise 1 gövde geçişli ve 2 boru geçişli ısı değiştirici olarak adlandırılır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 : Gövde geçişli ve 2 boru geçişli ısı değiştirici [86].

1.6.5.4 Levhalı ısı değiştiriciler

Yaygın kullanım alanı bulan ve yenilikçi bir ısı eşanjörü tipi olan levhalı ısı değiştiricisi oluklu düz akış geçişleri olan bir dizi levhadan meydana gelmiştir. Her soğuk akış 2 sıcak akış tarafından çevrelenir ve bunun sonucunda etkili bir ısı transferi gerçekleşir. Şekil 1.8'de plakalı bir ısı değiştiricinin şematik görünümü sunulmuştur.



Şekil 1.8 : Plakalı ısı değiştiricinin görünümü [86].

1.6.6 Diğer uygulama alanları

Mikro kanal ısı değiştiricileri (MCHS) büyük miktardaki ısıyı küçük bir alandan yüksek ısı transfer katsayısı ve daha az akışkan ile alabilir. Mikro kanallarda soğutucu akışkan olarak nanoakışkan kullanımı performansı artırabilmektedir [87].

Bir takım askeri cihazlar ve sistemler onlarca MW/m^2 seviyesine kadar ısı açığa çıkartmaktadır ve bu ısının giderilmesi geleneksel akışkanlar ile zordur. Askeri araçlar,

denizaltılar ve yüksek güçlü lazer diyotları gibi uygulamalarda gerekli soğutmayı nanoakışkanlar sağlayabilmektedir [81].

Nanoakışkanların biyomedikal alanda kullanımı da bulunmaktadır. Bazı nanopartiküller anti bakteriyel ve ilaç salınımı özelliklerine sahiptir. Bu yüzden bu nanopartiküller ile yapılan nanoakışkanlar aynı özellikleri göstermektedir. Organik antibakteriyel malzemeler, yüksek sıcaklık ve basınçta daha az kararlıdır. Bunun sonucu olarak zorlu proses koşullarına dayanabilen metal ve metal oksit gibi inorganik maddeler son 10 yıldır daha çok dikkat çekmektedir [88].

Binalarda kullanılan geleneksel ısı eşanjörlerinde çeşitli nano akışkanlar kullanılabilir. Nanoakışkan kullanımının kütlesel akış hızında azalma ve pompalama gücü tasarrufu sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca nanoakışkan kullanarak aynı miktarda termal enerji dağıtımı daha küçük ısıtma sistemleri ile gerçekleşmektedir. Böylelikle hem sistem daha az yer kaplarken hem de cihaz başlangıç maliyeti düşmektedir [89].

Nanoakışkanların aynı zamanda kamera ve mikro cihazlarda, chiller soğutma sistemlerinde, buzdolaplarında, dizel elektrik dinamolarının soğutulmasında, transformatör ve yakıt pili gibi birçok alanda da kullanımı bulunmaktadır [68].

1.7 Nanoakışkan Kullanımındaki Zorluklar

Nanoakışkanların farklı alanlardaki kullanımı umut verici görünmektedir; fakat bu alanın gelişimi başlıca aşağıdaki faktörlerden dolayı engellenmektedir [68].

1- Farklı araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumsuz olması.
2- Süspansiyonların yetersiz ya da eksik karakterizasyonları.
3- Özellik değişimlerinden sorumlu mekanizmaların teorik olarak anlaşılmaması.

Nanoakışkan kullanımının ısı transferini artırdığı teorik ve deneysel olarak bulunmuştur. Ancak, nanoakışkan hazırlanması ve kullanımında bazı zorluklar bulunmaktadır. Bu problemlerin üstesinden gelindiğinde, nanoakışkanın ticari olarak uygun ve birçok alanda önemli uygulamalara sahip olması beklenmektedir.

Nanopartiküller güçlü van der Waals bağlarına sahip oldukları için kümelenmeye yatkındırlar. Bu yüzden homojen süspansiyon hazırlamak ve uzun süreli kararlılığı sağlamak hala teknik bir zorluk olarak devam etmektedir. Kararlı olmayan bir nanoakışkanın hazırlandığı andaki özellikleri ile belirli periyodlarla ölçülen özellikleri arasında farklılıklar oluşmaktadır [90].

Birçok çalışmada nanoakışkanın viskozitesinin ve yoğunluğunun temel akışkana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bir sistemdeki akışın sağlanması için gereken pompalama gücü ve akışkanın basınç düşüşü, kullanılan bu akışkanın yoğunluk ve viskozite gibi özelliklerinden etkilenmektedir. Basınç düşüşü ve pompalama gücü birbirleri ile yakından ilişkilidir. Yüksek yoğunluk ve viskoziteye sahip akışkanın sistem boyunca daha fazla basınç düşmesine neden olması beklenmektedir.

Literatürde, nanoakışkanın özgül ısısının temel akışkana göre daha düşük olduğu görülmüştür. Isı transferini artırmak için yüksek özgül ısıya sahip akışkanlar daha çok tercih edilmektedir [91].

Nanoakışkanın kullanım alanlarını sınırlayan bir diğer etken ise yüksek üretim maliyetidir. Nanoakışkanlar tek adımlı ve iki adımlı metotlar ile üretilebilmesine rağmen 2 metot da gelişmiş ve karışık donanımlar gerektirmektedir [91].

Taşınım ile ısı transferinde akışkan rejimi önemli bir rol oynamaktadır. Nanoakışkanın rejimi ile ısı transferi arasındaki ilişki ile ilgili çelişkili sonuçlar bulunmaktadır. Nanoakışkanın türbülanslı akış ve laminar akış altında farklı ısı transferi davranışları gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, tam gelişmiş akış bölgesine ulaşana kadar boru boyunca ısı transfer katsayılarının değiştiği belirtilmiştir [91].

1.8 Amaç ve Hedefler

Literatürde nanoakışkanın özelliklerinin belirlenmesi için önerilen denklemler temel akışkana göre ifade edilmiştir; ancak kararlılığı sağlamak için kullanılan sürfaktanların temel akışkan üzerine etkisi bulunmaktadır ve miktara bağlı olarak akışkanın özelliklerini nasıl etkilediği bu açıdan önemlidir. Bu çalışmada farklı sürfaktanların temel akışkanın ve nanoakışkanın fiziksel özelliklerini, kararlılıklarını ve ısı transferi davranışlarını nasıl etkilediğinin deneysel incelenmesi amaçlanmıştır.

1.9 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada öncelikle SDS, NP 10 ve Tween 80 olmak üzere üç farklı sürfaktanın, temel akışkan olarak saf suyun fiziksel özelliklerine etkileri incelenmiştir. Daha sonra Al_2O_3 partikülleri ile elde edilen nano akışkanların fiziksel özellikleri deneysel olarak ölçülmüş ve literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca sürfaktanların kararlılık üzerine etkileri incelenmiştir. Son aşamada hazırlanan nanoakışkanın gövde boru tipi bir ısı değiştiricide ısı transferi karakteristiği incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Tertsinidou ve diğ. [92] tarafından 2017 yılında yapılan bir çalışmada, CuO, TiO_2, Al_2O_3 ve MWCNT nanopartikülleri kullanılarak 25 ^oC sıcaklıkta EG ve su bazlı nanoakışkan hazırlanmış ve termal iletkenlik ve viskozite özellikleri incelenmiştir. TiO_2 ve Al_2O_3 içeren nanoakışkanlar hazırlanırken dağıtıcı olarak %1 polyvinylpyrrolidone ve MWCNT nanoakışkanı için ise %2'lik noniyonik dağıtıcı kullanılmıştır. Sonra, 1 saat ultrasonik titreşim verilmiştir. Nanoakışkanlar en az 2-3 saat kararlı kalmıştır. Çalışmalar sonucunda, nanopartikülün çapının termal iletkenlik üzerinde kesin olarak bir etkisinin olduğu belirtilmemiştir. Ayrıca su bazlı nanoakışkanların çok düşük konsantrasyonlarda Newtonian özellik sergilerken diğer konsantrasyonlarda hazırlanan nanoakışkanların Bingham plastik özellik sergilediği görülmüştür.

Mikkola ve diğ. [93] tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada su ile %0,1-1,8 hacim oranlarında ve 10 nm boyutunda Al_2O_3 nanopartikülüne ek olarak yüzey aktif madde (ağırlıkça %81,9 tween20 ve %18,1 span85) kullanılarak nanoakışkan hazırlanmış ve viskozite, termal iletkenlik, yoğunluk, partikül boyut dağılımı, şekli ve zeta potansiyellerine göre deneysel olarak karakterize edilmiştir. Bunun yanında 1000-11000 Reynolds sayısı aralığında, borulu eşanjör kullanılarak elde edilen nanoakışkanın ısı transferi özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda viskozite önemli ölçüde artarken termal iletkenliğin az oranda arttığı ve ısı transferinin büyük ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir.

Dharmalingam ve diğ. [94] tarafından 2015 yılında yapılan bir deneysel çalışmada paralel akışlı, çapraz akışlı ısı değiştirici ve gövde boru tipi ısı değiştiricilerinde %1'lik Al_2O_3-su nanoakışkanı laminar akış şartlarında incelenmiştir. 3 farklı debi seçilmiş olup en yüksek ısı transfer katsayısına en yüksek debide erişildiği görülmüştür. Deneysel sonuçlara göre tüm ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı aynı debideki temel akışkana göre daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca gövde boru tipi ısı değiştiricinin paralel ve çapraz akışlı ısı değiştiriciye göre daha iyi ısı transferi sağladığı belirtilmiştir.

Nallusamy [95] 2018 yılında %1'lik Al_2O_3 nanopartikülü ve sudan oluşan nanoakışkana 45 dakika boyunca ultrasonik titreşim uygulamış ve elde ettiği nanoakışkanı paralel akışlı, çapraz akışlı olarak gövde boru tipi ısı değiştiricilerinde 3 farklı Reynolds sayısı kullanarak laminar akış profilinde deneysel araştırmıştır. Al_2O_3 nanopartikülünün suda dağılımı termal iletkenlik ve viskoziteyi artırmıştır. Isı değiştiriciye beslenen nanoakışkanın debisi arttıkça ısı transfer katsayısı da artmıştır. Ayrıca gövde boru tipi ısı değiştiricinin, diğer 2 ısı değiştiriciye göre ısı transferi için daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Maddah ve diğ tarafından [96] 2014 yılında yapılan çalışmada, nanoakışkan hazırlamak için 20-22 nm boyutlarında Al_2O_3 nanopartikülü saf su ile karıştırıldıktan sonra 5 saat ultrasonik titreşim verilmiştir. %0,2'den %0,9'a kadar farklı oranlarda katı hacmine sahip nanoakışkanlar, bükülmüş şeritle modifiye edilmiş bir çift borulu ısı değiştiricide 5000 ile 21000 Reynolds sayısı aralığında kullanılmış ve termal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre türbülanslı akış altında Nusselt sayısı, sürtünme ve termal performans faktörü için genel korelasyonlar geliştirilmiştir.

Kumar ve diğ. [97] tarafından 2018 yılında gerçekleştirilen çalışmada farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 ile üç farklı temel akışkan kullanılarak yapılan nanoakışkan, gövde boru tipi ve borulu ısı değiştiricide üç farklı sıcaklık ve laminar ve türbülanslı akış koşulları altında denenmiştir. Sonuç olarak Al_2O_3 konsantrasyonu arttıkça termal iletkenlik ve tüm ısı transfer katsayısı artmıştır. Ayrıca yüksek Reynolds sayılarında nanoakışkanın ısı transfer özelliklerinin iyileştiği ve sıcaklık ile termal iletkenliğin doğru orantılı değiştiği görülmüştür.

Darzi ve diğ. [98] 2013 yılında hacimce %0,25 %0,5 ve %1'lik 20 nm Al_2O_3 ile hazırlanan su bazlı nanoakışkanın çift borulu bir ısı değiştiricideki ısı transferi ve akış özelliklerini araştırmışlardır. Nanoakışkan hazırlamak için belli miktarlardaki nanopartiküle saf su eklenip yarım saaat manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra kararlı süspansiyon elde etmek için 3 saat ultrasonik titreşim uygulanmıştır. Deney 5000 ile 20000 aralığında değişen farklı Reynolds sayılarında gerçekleştirilmiştir. Deney sonucuna göre nanopartikül konsantrasyonu arttıkça, ısı transferi ve basınç düşüşünün arttığı ve yüksek Reynolds sayılarında ısı transferi oranının daha fazla olduğu görülmüştür.

Yatay gövde borulu bir eşanjörde, hacimce %0,3-2 konsantrasyonlarda 30 nm Al_2O_3 nanopartikül ve su içeren nanoakışkan türbülanslı akış koşulları altında Albadr ve diğ. [99] tarafından 2013 yılında deneysel olarak çalışılmıştır. Diğer çalışmalara benzer

sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre, kütlesel debi ve hacimsel konsantrasyon arttıkça nanoakışkanın ısı transfer katsayısı artmaktadır. Nanoakışkanın tüm ısı transfer katsayısı saf suya göre yaklaşık %57, Nusselt sayısı ise %62.6 oranında artmıştır; fakat konsantrasyonun artması sürtünmenin artmasına neden olmuştur.

2017 yılında Raei ve diğ. [100] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, temel akışkan olan su ile 20 nm Υ Al_2O_3 partikülü %0,05 ve %0,15 hacimsel oranlarda 3 saat ultrasonik titreşim uygulanarak nanoakışkan hazırlanmıştır. Yüzey aktif madde kullanılmadan hazırlanan bu nanoakışkan, 7, 9, ve 11 L/dk akış hızı ile 45 ^oC, 55 ^oC, ve 65 ^oC sıcaklıklarda bir çift borulu ısı değiştiricide deneysel olarak incelenmiştir. Yerel ısı taşınım katsayıları ölçülmüştür. Diğer çalışmalardan farklı olarak Reynolds sayısı arttıkça ısı transfer katsayısının azaldığını belirtmişlerdir.

Zamzamian ve Jamal-Abadinin [101] 2013 yılında gerçekleştirdiği çalışmada nanoakışkanlar, ağırlıkça 3 farklı oranda 50 nm Al_2O_3 nanopartikülü ile EG akışkanına ultrasonik titreşim verilerek hazırlanması ile elde edilmiştir. Nanoakışkan 45 ^oC, 60 ^oC ve 75 ^oC olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta çift borulu ısı değiştiricinin boru tarafından, soğuk su ise gövde kısmından laminar akışta beslenmiştir. Akabinde Nusselt sayıları hesaplanmış ve en yüksek Nu sayısının suya oranla %23,7'ye kadar arttığı görülmüştür. Yüksek sıcaklık ve konsantrasyonlarda, teorik ve deneysel çalışmalar arasında büyük sapmalar olduğu vurgulanmıştır.

Shahrul ve diğ. [102] tarafından 2014 yılında hacimce %3 oranında, 5 farklı metal oksit nanopartikülü ve su ile hazırlanan nanoakışkanın gövde borulu bir ısı değiştiricide termal performansı araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre, en yüksek ısı transfer katsayısına 50 kg/dk kütlesel debi ile ulaşılmıştır. Ayrıca gövde kısmında yüksek kütlesel akış hızı ve boru kısmında düşük kütlesel akış hızının, ısı değiştiricisinin enerji performansını artırdığı çıkarımı yapılmıştır.

2017 yılında Khoshvaght-Aliabadi ve diğ. [103] tarafından yapılan çalışmanın amacı, U borulu bir ısı değiştiricide 3 farklı nanopartikül kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların hidrotermal özelliklerini incelemektir. Nanoakışkan yaklaşık 1 saat ultrasonik titreşime bırakılarak homojen dağılım sağlanmış ve 7000 ile 18000 Reynolds sayıları arasında ısı değiştiriciye gönderilmiştir. Isı aktarım katsayıları ve basınç düşüşleri incelenmiştir. En yüksek ısı transfer artışı Ag/su ile %18,2 iken basınç farkının en yüksek değeri %8,5 olarak elde edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışma başlıca üç aşamadan oluşmaktadır.

a. Temel akışkanın fiziksel özellikleri üzerine sürfaktanların etkisi: Bu aşamada temel akışkan olarak su üzerine farklı sürfaktanlar ilave edilerek fiziksel özelikleri ölçülmüştür. Başlıca parametreler sürfaktan derişimi ve sıcaklık olarak seçilmiştir. Yoğunluk, viskozite ve ısıl iletkenlik ölçümleri yapılmıştır.
b. Nanoakışkanların hazırlanması ve ısıl özelliklerinin ve kararlılıklarının belirlenmesi: Bu aşamada farklı nanaopartikül oranları için nanoakışkanlar hazırlanmış ve termofiziksel özellikleri ölçülmüştür. Ayrıca nanoakışkanların kararlılıkları değerlendirilmiştir.
c. Isı transferi ölçümleri: Bu aşamada, hazırlanan nanoakışkan ile gövde boru tipi bir ısı değiştiricide ısı transferi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Temel değişken akışkan hızı olarak belirlenmiştir.

3.1 Sürfaktanların Temel Akışkanın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi

3.1.1 Materyal

Kullanılan SDS ve Tween 80 sürfaktanları Merck, NP 10 sürfaktanı ise Sigma'dan temin edilmiştir. Sürfaktanların genel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

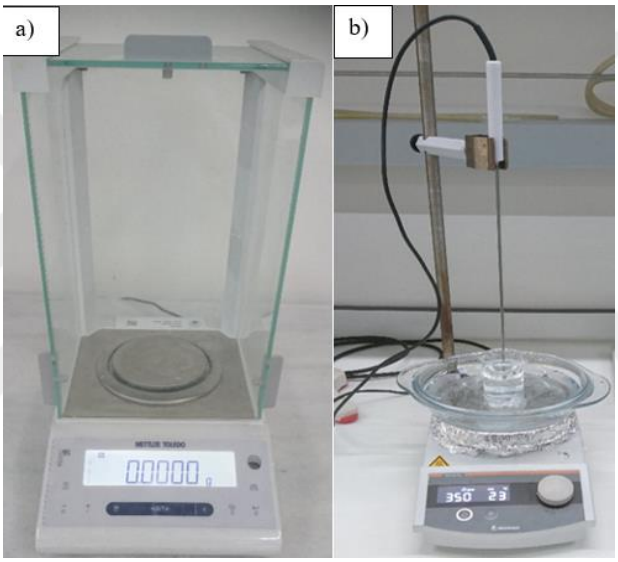
Çizelge 3.1 : Deneyde kullanılan sürfaktanların özellikleri.

Sürfaktan	CAS Numarası	Formu	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Yoğunluk (g/cm^3)	Kritik Misel Noktası (25 ºC)	Sürfaktan türü
SDS	151-21-3	Toz	288,37	1,01	2,74 g/l	Anyonik
NP 10	127087-87-0	Sıvı	682	1,06	$5,5*10^{-3}$ g/l	Noniyonik
Tween 80	9005-65-6	Sıvı	1310	1,07	$13\text{-}15*10^{-3}$ g/l	Noniyonik

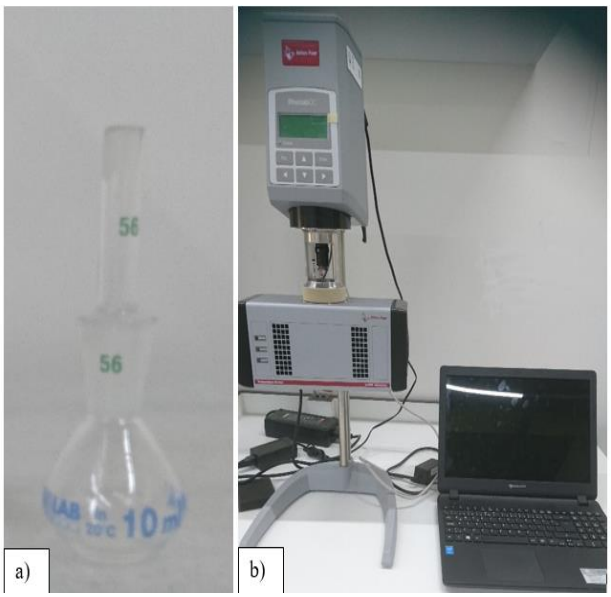
3.1.2 Yöntem

Öncelikle temel akışkan olarak kullanılan saf suyun özelikleri ölçülmüştür. Ardından kütlece %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 oranlarında sürfaktan ile çözeltiler hazırlanarak yoğunluk, viskozite ve ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Bu çalışmada incelenen konsatrasyonlar

SDS, Tween 80 ve NP 10 için mololalite cinsinden sırasıyla 0,0069-0,0277, 0,0015-0,0061 ve 0,0029-0,0117 aralığında değişmektedir. Çözeltiler için kütlece gerekli sürfaktan ve saf su alınıp manyetik karıştırıcıda 1 saat karıştırılmıştır. Ölçümler 25, 35, 45, 55 ve 65 ^{o}C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de deneysel çalışmada kullanılan Mettler Toledo markalı 0,0001g hassasiyete sahip terazi ve Heidolp markalı manyetik karıştırıcı gösterilmiştir. Yoğunluk ölçümleri için 10 ml'lik ve 0,001 ml hassasiyette kalibreli piknometre kullanılırken viskozite ölçümleri için Anton Paar markalı reometre kullanılmıştır (Şekil 3.2). Termal iletkenlik ölçümü Thermtest THW-L2 cihaz ile gerçekleştirilmiştir ve sıcaklıkların ayarlanması için ayrıca sirkülasyonlu su banyosu kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1 : Deneysel çalışmada kullanılan a) hassas terazi b)manyetik karıştırıcı.



Şekil 3.2 : Deneysel çalışmada kullanılan a) piknometre b) reometre.



Şekil 3.3 : Termal iletkenlik ölçüm cihazı Thermtest THW-L2.

3.2 Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin ve Kararlılıklarının Belirlenmesi

3.2.1 Materyal

Çalışmada nanopartikül olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) temel akışkan olarak ise distile su seçilmiştir. Ayrıca farklı oranlarda sürfantanlar kullanılmıştır. Kullanılan nano Al_2O_3 partikülleri Nanografi firmasından temin edilmiş olup özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Deneyde kullanılan nanopartiküllerin özellikleri.

Özellik	Değer
Adı	Alümina
Molekül Ağırlığı	101,96
Fazı	Gama
Saflığı (%)	>99,5
Rengi	Beyaz
Ortalama Partikül Boyutu (nm)	18
Yüzey alanı (m^2/g)	140
spesifik ısı kapasitesi (J/kg.K)	890
Yoğunluğu (kg/m^3)	3900
Morfolojisi	Neredeyse küresel

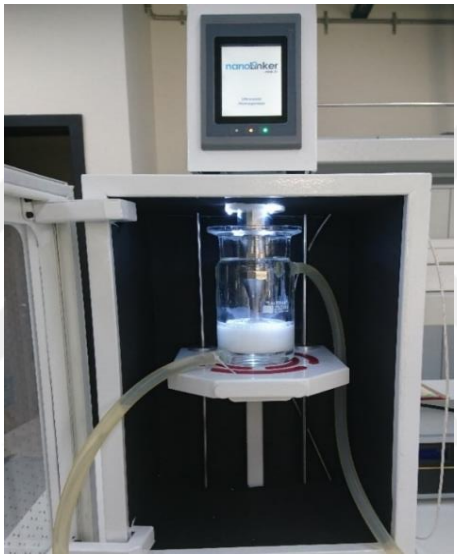
3.2.2 Nanoakışkanların hazırlanması

Nanoakışkan hazırlanması iki adımlı metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncellikle farklı oranlarda sürfaktan ile distile su 1 saat manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmış ardından hacimce %0,3 0,5 0,7 0,9 ve 1,1 oranlarında Al_2O_3 eklenilerek elde edilen karışım yarım saat daha manyetik karıştırıcıda karıştırılmaya

devam edilmiştir. Ardından 1 saat süresince 300 W gücünde nanoLinker markalı ultrasonik homojenizatör kullanılmıştır (Şekil 3.4). Nanoakışkan konsantrasyonlarının daha hassas elde edilmesi için Denklem 3.1 kullanılarak nanopartikül oranları kütlece hesaplanmış ve nanoakışkanlar hazırlanmıştır [42].

$$\varphi_v = \frac{1}{\left(\frac{100}{\varphi_m}\right)\left(\frac{\rho_{np}}{\rho_f}\right) + 1} * 100 \tag{3.1}$$

Bu denklemde np alt indisi nanopartikülü, f alt indisi temel akışkanı temsil etmektedir. φ_v ve φ_m sırasıyla hacimsel ve kütlesel konsantrasyonu göstermektedir.



Şekil 3.4 : Ultrasonik homojenizatör.

3.2.3 Nanoakışkan kararlılığının analizi

Nanoakışkanların kararlılığının analizi için sedimentasyon metodu kullanılmıştır. Elde edilen nanoakışkanın kararlılığını ölçmek için hazırlanan süspansiyondan 20 ml alınarak cam tüplere koyulmuş ve zamanla çökelmesi gözlemlenerek belli aralıklarla fotoğraflanmıştır.

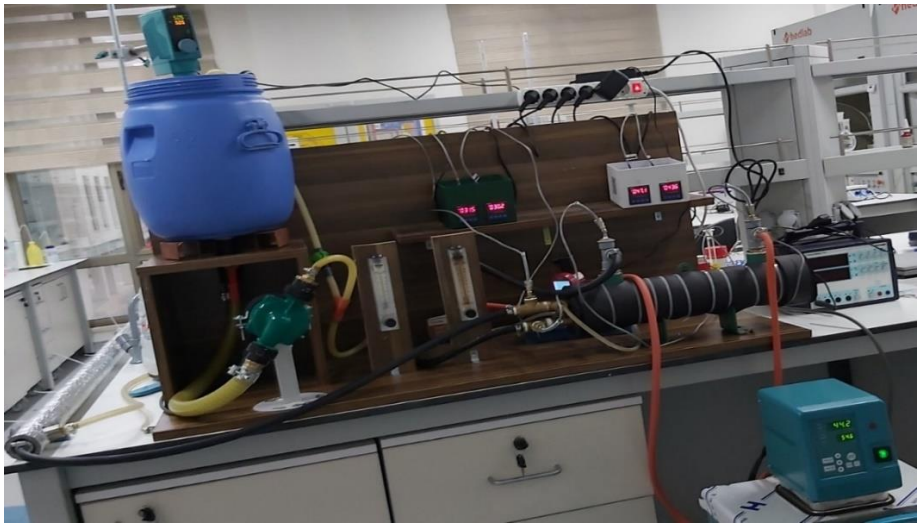
3.3 Isı Transferi Deney Düzeneği ve Hesaplamalar

3.3.1 Deney düzeneği

Deney sistemi; çözelti besleme tankı, pompa, test bölümü ve soğutma bölümü olmak üzere 4 ana bölümden oluşmaktadır. Test bölümü gövde borulu ısı değiştirici, 4 tane pt 100 tipi sıcaklık sensörü, basınç transmitteri ve sirkülatör içermektedir. Besleme

tankından gelen akışkan debimetre yardımıyla debisi ayarlandıktan sonra gövde borulu ısı değiştiricinin boru kısmından beslenmekte olup gövde kısmından ise sirkülatör yardımı ile sıcak akışkan geçirilmektedir. Boru kısımdan çıkan akışkan, gövde kısmından şebeke suyu geçirilen bir çift borulu ısı değiştirici yardımıyla soğutulduktan sonra besleme tankına geri dönmektedir.

Deneylere başlamadan önce pt 100 tipi sıcaklık sensörleri için kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Kullanılan sirkülasyon pompası frekans kontrollü olup akışkanın debisi kabaca ayarlanabilmektedir. Daha hassas ayarlanması için ise debimetre kullanılmış ve akışın yüksek gelmesi halinde geri akış vanası ile akışkan çözelti tankına geri gönderilmiştir. Homojen çözelti elde edebilmek için tank mekanik karıştırıcı ile sürekli karıştırılmıştır. Isı değiştiricinin gövde kısmından giren sıcak akışkanın debisi deney boyunca 5 L/dk ile sabit iken, boru kısımdan giren soğuk akışkan 5, 4, 3 ve 2 L/dk olmak üzere 4 farklı debi ile gönderilmiştir. Isı kaybının azaltılması için ısı değiştirici yalıtılmıştır. Isı transfer deneyleri için ısı değiştiricinin boru kısmından su ve en düşük partikül konsantrasyonunda en yüksek termal iletkenlik değerine sahip olan %0,2 Tween 80 ve %0,3 Al_2O_3 ile hazırlanan nanoakışkan olmak üzere 2 farklı akışkan geçirilmiş olup, sıcaklıkların sabitlenmesi için yaklaşık 50 dakika beklenmiştir. Tüm ısı transfer deneyleri 2 kez tekrar edilmiştir. Şekil 3.5'te ısı transfer deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Isı transferi deney düzeneği.

Deneysel çalışmada kullanılan ısı değiştiricinin özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelge 3.4 ve 3.5'te sırası ile ısı transferi deney düzeneğinde kullanılan pompa ve diğer ekipmanların özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 3.3 : Deney düzeneğinde kullanılan ısı değiştiricinin özellikleri.

Özellik	Değer
Isı transfer alanı	0,36 m^2
İç/dış boru çapı	8,616 mm / 9,53 mm
Boru malzemesi/Boru düzeni	Bakır/üçgen şeklinde
Boru geçiş/gövde geçiş	2/1
Boru sayısı	30
Boru uzunluğu	400 mm
Gövde iç çapı	83 mm
Baffle çapı	81 mm
Baffle arası boşluk	68 mm
Birinci baffle uzaklığı/son baffle uzaklığı	64 mm /64 mm
Baffle sayısı/ baffle kesimi	5/%25

Çizelge 3.4 : Isı transferi deney düzeneğinde kullanılan pompa ve özellikleri.

Pompa	Özellik
Pompa türü	Frekans kontrollü sirkülasyon pompası
Maksimum debi	2,5 m^3/h
Maksimum basma yüksekliği	4 m
Boru arası mesafe	130 mm

Çizelge 3.5 : Isı transferi deney düzeneğinde kullanılan diğer ekipmanlar ve özellikleri.

Ekipman	Özellik
Debimetre ölçüm aralığı	2-18 L/dk
Sıcaklık sensör tipi	Pt 100
Sıcaklık göstergesi hassasiyeti	0,1 ^oC
Fark basınç transmitteri ölçüm aralığı	0-400 mbar
Fark basınç transmitteri hassasiyeti	%0,1 T.S.

3.3.2 Hesaplamalar

3.3.2.1 Isı değiştirici hesaplamaları için genel bilgiler

Isı değiştiriciler aynı çalışma şartlarında uzun süreçler boyunca çalışabilmektedirler. Bu yüzden model oluşturmak için genellikle aşağıdaki varsayımlar yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilir.

- Tüm akışkanların kütle akış debisi sabit kalır.
- Kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilebilir.
- Sıcaklığa bağlı olarak değişen özgül ısı için belirli sıcaklık aralığında ortalama bir değer alınabilir.
- Boru boyunca eksenel yönde ısı iletimi çok düşük olduğu için ihmal edilebilir.
- Isı değiştiriciden çevreye bir ısı geçişi olmamaktadır.

- Isı aktarımı yalnızca iki akışkan arasında gerçekleşmektedir.

Yukarıdaki kabullere dayanarak Denklem 3.2'de verilen sıcak akışkandan geçen ısı aktarım hızı ile Denklem 3.3'te verilen soğuk akışkana geçen ısı aktarım hızının birbirlerine eşit olması gerekmektedir.

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{ph}(T_{h,çıkan} - T_{h,giren}) \tag{3.2}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c c_{pc}(T_{c,çıkan} - T_{c,giren}) \tag{3.3}$$

Burada c ve h alt indisleri sırası ile soğuk ve sıcak akışkanlara tekabül etmektedir. $\dot{m}_c$ ve $\dot{m}_h$ soğuk ve sıcak akışkan kütle debisini, c_{pc}, ve c_{ph} özgül ısılarını göstermektedir. $C_h \equiv \dot{m}_h c_{ph}$ ve $C_c \equiv \dot{m}_c c_{pc}$ sıcak ve soğuk akışkanın hacimsel ısıl kapasite debisidir.

Bir ısı değiştiricide ısı aktarım hızı Denklem 3.4 ile ifade edilir.

$$\dot{Q} = U A_s \Delta T_m \tag{3.4}$$

Burada;

U: toplam ısı transfer katsayısı

A_s: ısı transfer alanı

ΔT_m: iki akışkan arasındaki uygun sıcaklık farkını göstermektedir. İki akışkan arasındaki uygun sıcaklık farkını bulmak için logaritmik ortalama sıcaklık farkı yönteminden yararlanılmıştır.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \tag{3.5}$$

Denklem 3.5'te bulunan ΔT_1 ve ΔT_2 sırasıyla ısı değiştiricinin giriş ve çıkış tarafındaki akışkanlar arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir.

Akışlar düzenli ve düzgün akım çizgilerine sahip ise laminar akış adını alır. Eğer çalkantılı akışa sahip ve düzensiz akım çizgilerinde hareket ediyorsa türbülanslı akış denir. Laminardan türbülanslı akışa geçiş ani olarak gerçekleşmez; ancak bu akışlar arasında çalkantılı bir bölge oluşur ve bu geçiş yüzey pürüzlülüğüne, geometrisine, serbest akım hızına ve akışkanın cinsine bağlıdır. Uzun çalışmalar sonucunda akış rejiminin akışkanın atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlı olduğu bulunmuştur ve bu büyüklük Reynolds sayısı olarak adlandırılmıştır. Reynolds sayısı Denklem 3.6'dan yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \tag{3.6}$$

V akışkanın hızını, D boru çapını, μ akışkanın dinamik viskozitesini ve ρ akışkanın yoğunluğunu temsil etmektedir.

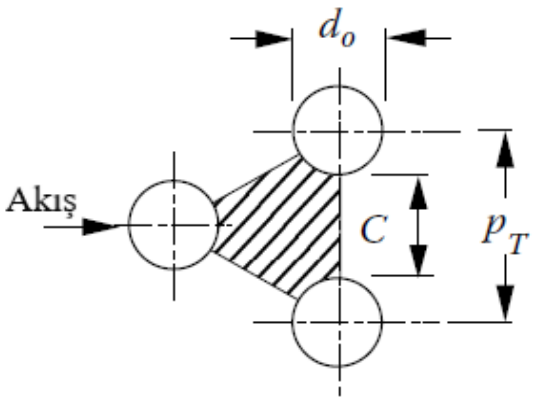
3.3.2.2 Gövde kısmındaki ısı transferi hesaplamaları

Baffle bulunan ısı değiştiricilerde türbülans arttıkça daha yüksek ısı transfer katsayısı elde edilir. Boru içindeki akış için uygulanan korelasyonlar boru demeti üstündeki akış için uygun değildir. Gövde borulu bir ısı değiştirici için gövde kısmındaki Reynolds sayısı Denklem 3.7 yardımıyla bulunur.

$$Re_s = \frac{G_s D_e}{\mu} \tag{3.7}$$

G_s gövde kısımdaki kütlesel hızı ve D_e ise eşdeğer çapı ifade etmektedir.

Şekil 3.6'da üçgensel adımlı boru düzeninin şematik görünümü verilmiştir. Bu boru düzeni için D_e Denklem 3.8 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.6 : Üçgensel adımlı boru düzeni görünümü [112].

$$D_e = \frac{4\left(\frac{P_T^2\sqrt{3}}{4} - \frac{\pi d_o^2}{8}\right)}{\pi d_o/2} \tag{3.8}$$

P_T adım aralığı ve d_o boru dış çapıdır.

Deney düzeneğinde kullanılan ısı değiştirici için;

$D_e = 6{,}855 \times 10^{-3}$ m olarak bulunmuştur.

Gövde kısımdaki kütlesel hız Denklem 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s} \tag{3.9}$$

ṁ kütlesel debi, A_s ise gövde alanıdır. A_s Denklem 3.10 ile hesaplanmaktadır.

$$A_s = \frac{D_s C B}{P_T} \tag{3.10}$$

D_s gövde çapını, C açıklığı ve B perdeler arası boşluğu belirtmektedir.

A_s=1,124 x 10^{-3} m^2 olarak hesaplanmıştır.

G_s değeri kullanılan her debi için ayrıca hesaplanmıştır.

3.3.2.3 Boru kısmındaki ısı transferi hesaplamaları

İki geçişli gövde borulu bir ısı değiştiricide boru içinden geçen bir akışkanın Reynolds sayısı Denklem 3.11 ile elde edilmektedir.

$$Re_b = \frac{4\dot{m}_c}{\left(\frac{N_T}{2}\right)\pi\mu d_i} \tag{3.11}$$

N_T toplam boru sayısını göstermektedir.

Gövde boru tipi bir ısı değiştiricideki ısı aktarım hızı;

$$\dot{Q} = U_o A_o F \Delta T_m \tag{3.12}$$

U toplam ısı transfer katsayısı, A_o ısı transfer yüzey alanı ve F ise LMTD düzeltme faktörüdür.

U boru tipi bir ısı değiştirici için F faktörü Denklem 3.13 ile bulunmaktadır [104].

$$F_t = \frac{\sqrt{(R^2+1)}\,\ln[\frac{1-S}{1-RS}]}{(R-1)\ln[\frac{2-S(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-S(R+1+\sqrt{R^2+1})}]} \tag{3.13}$$

Denklem 3.13'te bulunan R ve S boyutsuz sayıları sırasıyla Denklem 3.14 ve Denklem 3.15 ile elde edilmektedir.

$$R = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{c2} - T_{c1}} \tag{3.14}$$

$$S = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}} \tag{3.15}$$

F faktörü her deney için hesaplanmıştır. Örnek hesaplama Ek-B'de verilmiştir.

3.3.3 Isı değiştiricide kirlilik

Kirlilik, yüzey kalitesini olumsuz etkileyen ve yüzey üzerinde biriken istenmeyen madde olarak tanımlanabilir. İşlem boyunca ısı transferinin gerçekleşeceği alanda kirlilik oluşması ısıl direncin artmasına, basınç düşüşündeki yükselişe, gerekli pompa gücünün artmasına ve uzun süreli kullanımda ısı değiştiricinin temizlenme zorunluluğuna veya kullanılamamasına sebep olmaktadır.

3.4 Belirsizlik Analizi

Belirsizlik, alınan ölçümde karşılaşılabilecek olası bir değer olan hatadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin hata analizi için hassas bir yöntem olan belirsizlik analizinden yararlanılmaktadır. Belirsizlik analizi, girdilerin değişkenliğinden kaynaklanan çıktıların değişkenliğini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu analiz sonuçların hassasiyeti ile ilgili bir yaklaşım sunmakta olup aynı zamanda oluşabilecek hatalar için aralık sağlamaktadır. En yüksek hataya sebep olan değişkenin belirlenebilmesi, bu analizin diğer analizlere göre en önemli avantajıdır [105].

$$W_R = [\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n\right)^2]^{\frac{1}{2}}$$

Ya da,

$$\frac{W_R}{R} = [\left(\frac{w_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{w_{x_2}}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{w_{x_3}}{x_3}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{w_{x_n}}{x_n}\right)^2]^{\frac{1}{2}}$$

R: ölçülecek büyüklük

x_n: R büyüklüğünü etkileyen bağımsız parametreler

w_n: bağımsız parametrelerin hata oranıdır.

Çizelge 3.6'da deneysel çalışma süresince kullanılan aletlerin hassasiyet değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Deneysel çalışma süresince kullanılan aletlerin hassasiyet değerleri.

ALET	HASSASİYET
Hassas terazi	0,0001 g
Sıcaklık probu	1 °C
Piknometre	0,001 ml
Reometre	%1
Termal iletkenlik	%5
Debimetre	0,5 L/dk
Pt 100	0,1 °C
Fark basınç transmitteri	1 mbar

Çizelge 3.7 ve 3.8'de elde edilen akışkan özelliklerinin yüzde belirsizlik değerleri ve ısı transferi için yapılan hesaplamalar ile elde edilen değerlerin yüzde belirsizlikleri gösterilmiştir.

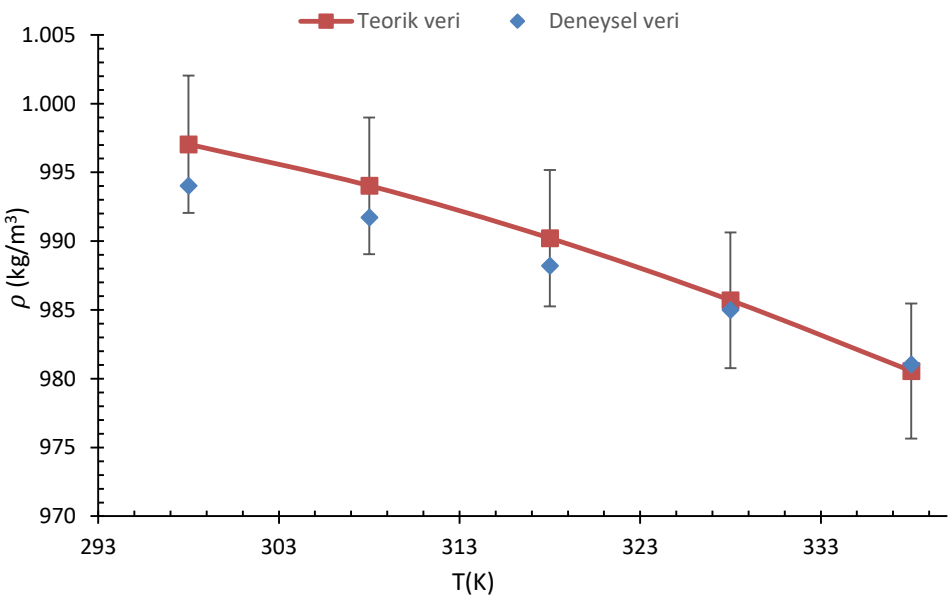
Çizelge 3.7 : Elde edilen akışkan özelliklerinden hesaplanan yüzde belirsizlik değerleri.

Özellik	Belirsizlik (%)
Yoğunluk	1,0
Viskozite	1,0
Termal iletkenlik	5,0

Çizelge 3.8 : Isı transferi deney sistemi için hesaplanan değerlerin yüzde belirsizlik oranları.

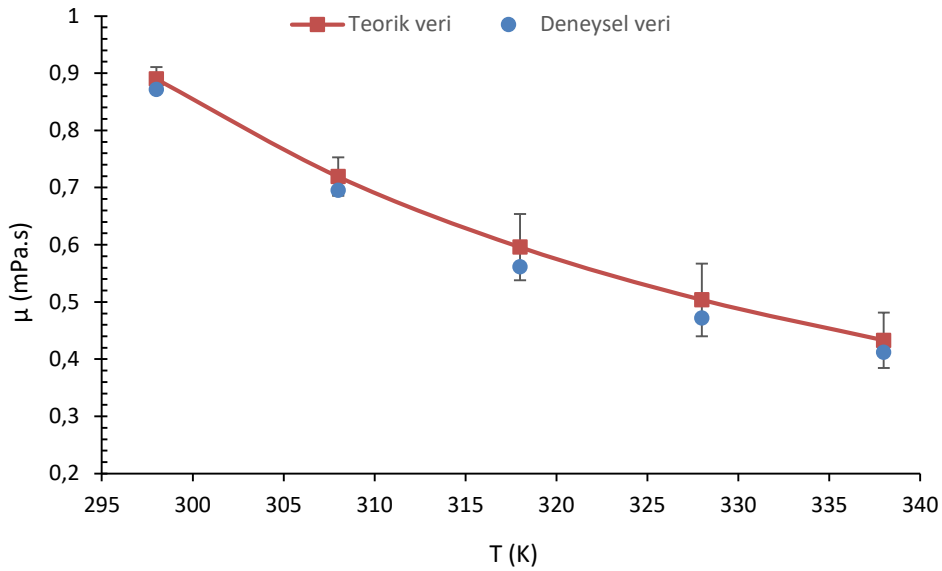
Değer	Belirsizlik (%)
Re_s	1,74
Re_b	1,74
Q	1,42
U	1,43

Şekil 3.7'de saf su için elde edilen yoğunluk değerleri sıcaklığa bağlı olarak grafik edilmiştir. Grafik üzerinde ayrıca su için literatürde mevcut yoğunluk değerleri de mukayese için verilmiştir. Sıcaklık arttıkça saf suyun yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Ayrıca deneysel ve literatür verileri arasındaki maksimum fark %0,2 oranındadır. Bu kabul edilebilirdir.



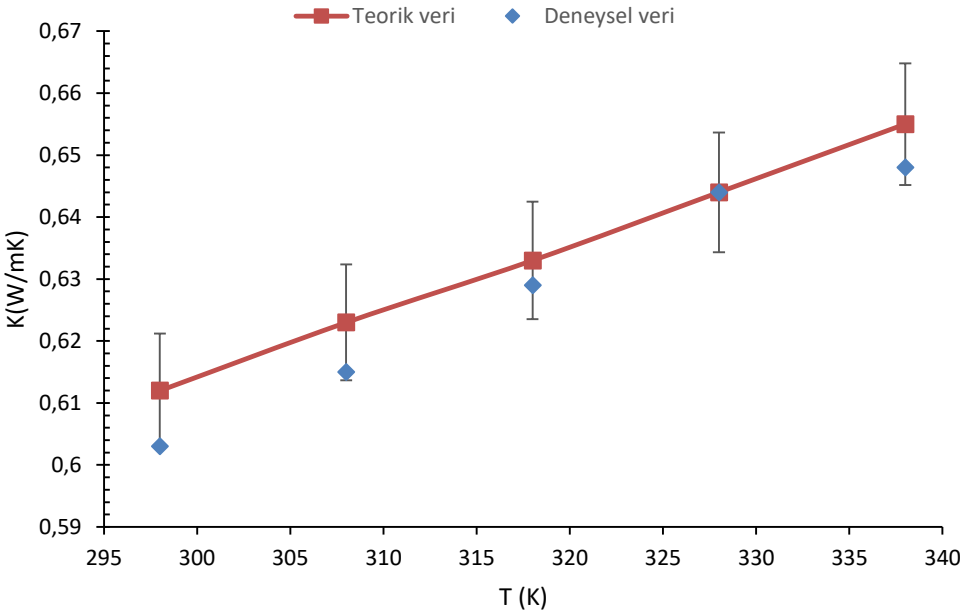
Şekil 3.7 : Deneysel çalışmada kullanılan saf suyun yoğunluğunun sıcaklık ile değişimi (Hata çubukları %0,5'i göstermektedir).

Şekil 3.8'de saf su için deneysel elde edilen viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir. Ayrıca mukayese amacıyla su için literatür verileri de grafik üzerinde gösterilmiştir. Deneysel veriler ile literatür değerleri arasındaki fark maksimum %6 civarındadır.



Şekil 3.8 : Deneysel çalışmada kullanılan saf suyun viskozitesi ve teorik viskozite değeri (Hata çubukları %5'i göstermektedir).

Sürfaktan çözeltilerinin termal iletkenlik değerlerini ölçmeden önce deneysel çalışmada kullanılan saf suyun termal iletkenliği ölçülüp, teorik değerler [106] ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.9). Maksimum hata oranı %1,47 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.9 : Saf suyun teorik ve deneysel termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi (Hata çubukları %1,5'i göstermektedir).

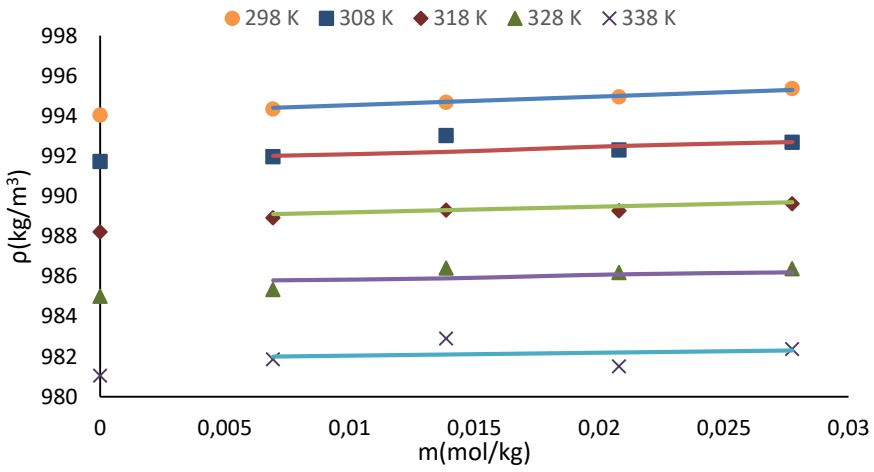
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sürfaktanların Temel Akışkanın Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Sürfaktanların temel akışkan üzerine etkilerini incelemek için 3 farklı sürfaktan kütlece %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 oranlarında temel akışkana eklenerek çözeltiler hazırlanmıştır. Elde edilen çözeltilerin yoğunluk, viskozite ve termal iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

4.1.1 Yoğunluk ölçümleri

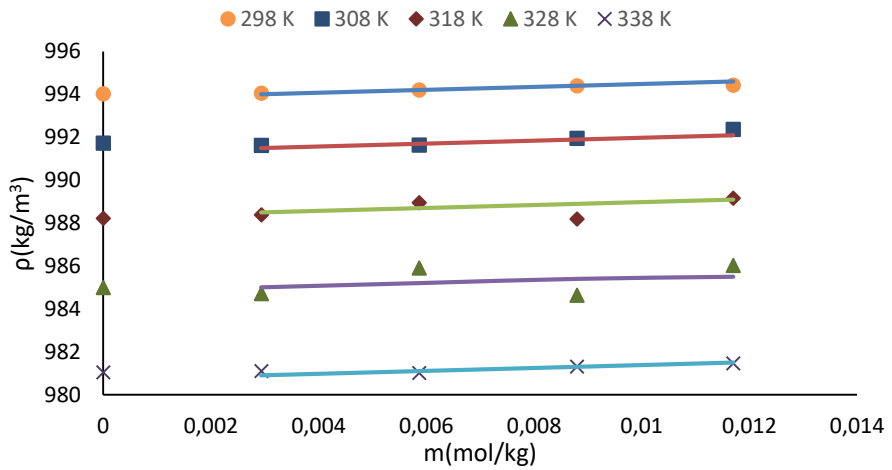
Şekil 4.1-4.4'te sürfaktan çözeltileri için elde edilen yoğunluk değerlerinin sabit sıcaklıklarda molalite ile değişimi verilmiştir. x=0 noktasında suyun yoğunluk değerleri bulunmaktadır. Beklenildiği gibi yoğunluk değerleri bu çalışmada kullanılan tüm su-sürfaktan çözeltilerinde, incelenen tüm konsantrasyonlar için sıcaklığın artması ile azalmaktadır. Şekil 4.1'de SDS sürfaktanı ile elde edilen çözeltilerin yoğunluk değerlerinin saf suyun değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. SDS sürfaktanının yoğunluğu, suyun yoğunluğundan yüksektir; fakat SDS ve suyun yoğunluğu birbirlerine çok yakındır ve düşük konsantrasyonlarda eklenerek çözeltiler hazırlanmıştır. Bu yüzden elde edilen çözeltilerin yoğunluğu temel akışkanın yoğunluğuna oldukça yakın çıkmıştır.



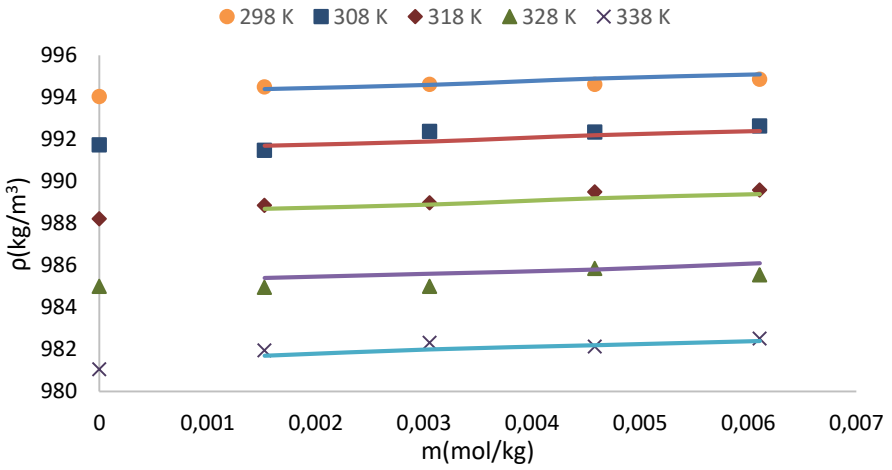
Şekil 4.1 : Deneysel çalışmada kullanılan SDS sürfaktanı ile hazırlanan çözeltilerin farklı sıcaklıklarda yoğunluğunun konsantrasyon ile değişimi.

Khatun ve Islam tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda SDS ve su ile hazırlanan çözeltilerin yoğunluk değerleri verilmiştir. Çözeltilerin yoğunluğu konsantrasyon ile artarken sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu çalışmadaki değerler ile deneysel çalışmada elde edilen veriler karşılaştırıldığında, değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüş ve maksimum fark %0,5 olarak hesaplanmıştır [107].

Şekil 4.2 ve 4.3'te verilen grafikler incelendiğinde NP 10 ve Tween 80 sürfaktanlarının yoğunluklarının lokal sapmalar dışında saf suyun yoğunluğundan yüksek olduğu görülmüştür. Kullanılan tüm konsantrasyonlardaki sürfaktan-su karışımları için yoğunluktaki değişim miktarları hesaplanmış ve en yüksek farkın %0,18 ile 65 °C sıcaklıkta %0,4 SDS-su karışımı ile gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.2 : Deneysel çalışmada kullanılan NP 10 sürfaktanı ile hazırlanan çözeltilerin farklı sıcaklıklarda yoğunluğunun konsantrasyon ile değişimi.

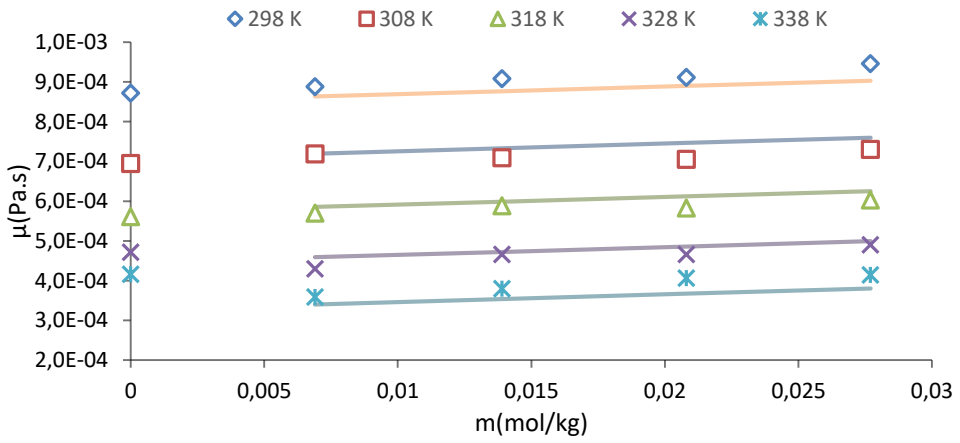


Şekil 4.3 : Deneysel çalışmada kullanılan Tween 80 sürfaktanı ile hazırlanan çözeltilerin farklı sıcaklıklarda yoğunluğunun konsantrasyon ile değişimi.

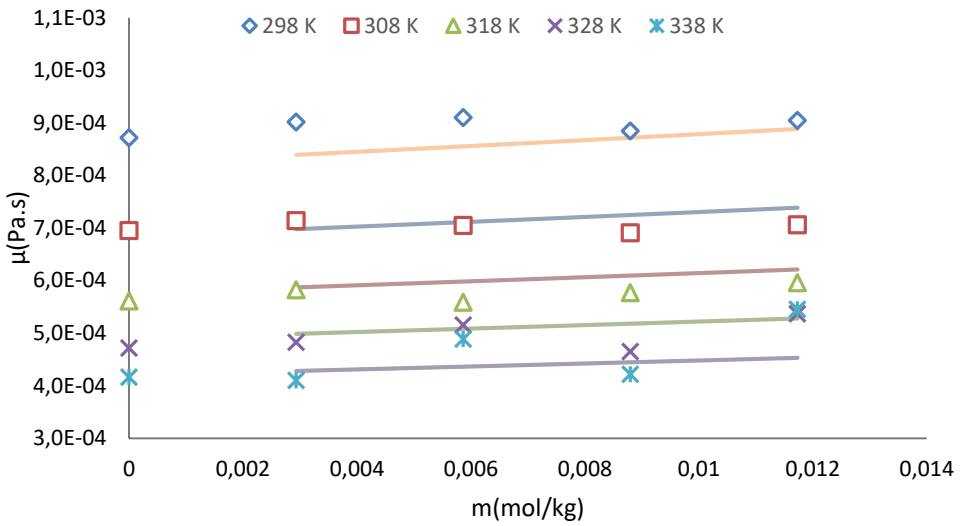
4.1.2 Viskozite ölçümleri

Şekil 4.4-4.6'da sırasıyla farklı konsantrasyonlarda hazırlanan SDS, NP 10 ve Tween 80 sürfaktan çözeltilerinin ve saf suyun farklı sıcaklıklardaki viskozite değerlerinin molalite ile değişimi grafik olarak verilmiştir. Viskozite değerleri kayma geriliminin kayma hızına göre değişim grafiği çizilerek hesaplanmış olup örnek grafikler Ek-A'da verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm sürfaktan çözeltileri için sıcaklığın artması ile viskozite genellikle azalmaktadır; fakat NP 10 sürfaktan çözeltisinin viskozite davranışının sıcaklık ile değişimi, SDS ve Tween 80 sürfaktan çözeltilerinin viskozite davranışlarına göre farklıdır. Ekte sürfaktan çözeltilerinin logaritmik viskozitelerinin sıcaklık ile değişim grafikleri verilmiştir. SDS ve Tween 80 sürfaktan çözeltilerinin viskozite davranışları Arrhenius davranışı özellikleri sergilerken, en düşük NP 10 konsantrasyonundaki çözelti hariç hazırlanan tüm NP 10 konsantrasyonlarındaki çözeltilerin viskozite değişimlerinin Arrhenius davranışına uymadığı tespit edilmiştir. SDS ve Tween 80 sürfaktan çözeltilerinin maksimum viskozite değişimi sırasıyla %9,66 ve %7,77 iken, yüksek konsantrasyon ve sıcaklıklarda NP 10 sürfaktan çözeltisi için maksimum viskozite değişim oranı %21 olarak hesaplanmıştır.

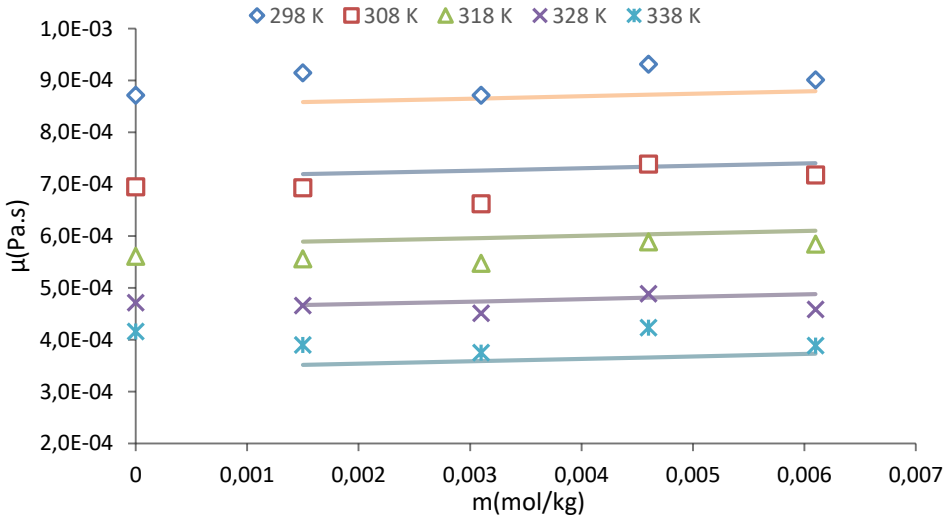
2011 yılında Zhou ve diğ. tarafından farklı konsantrasyonlarda hazırlanan sürfaktan-su çözeltilerinin viskoziteleri analiz edilmiştir. Düşük konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerin viskozitelerinin konsantrasyon ile düzenli değişmediği ve değişimlerin misel şeklinden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür. Bu çalışma ile yapılan deneysel çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir [16].



Şekil 4.4 : Deneysel çalışmada SDS kullanılarak hazırlanan sürfaktan çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı sıcaklıklarda konsantrasyon ile değişimi.



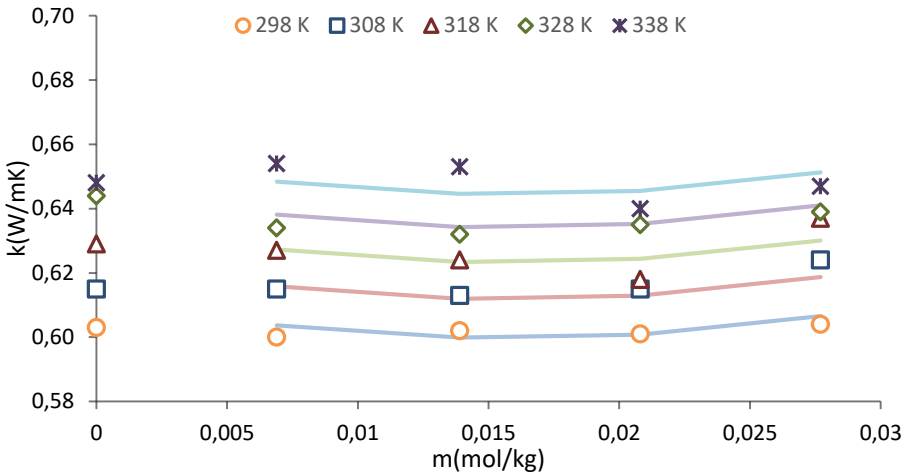
Şekil 4.5 : Deneysel çalışmada NP 10 kullanılarak hazırlanan sürfaktan çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı sıcaklıklarda konsantrasyon ile değişimi.



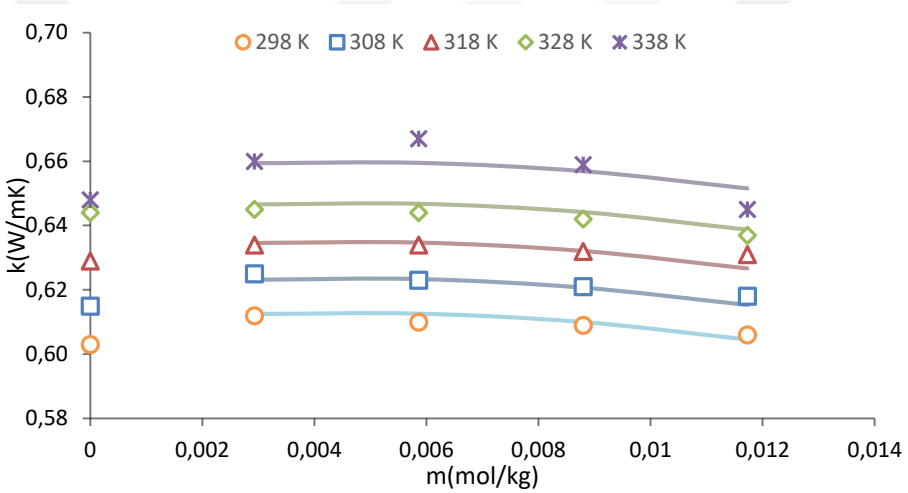
Şekil 4.6 : Deneysel çalışmada Tween 80 kullanılarak hazırlanan sürfaktan çözeltilerinin viskozite değerlerinin farklı sıcaklıklarda konsantrasyon ile değişimi**.**

4.1.3 Termal iletkenlik ölçümleri

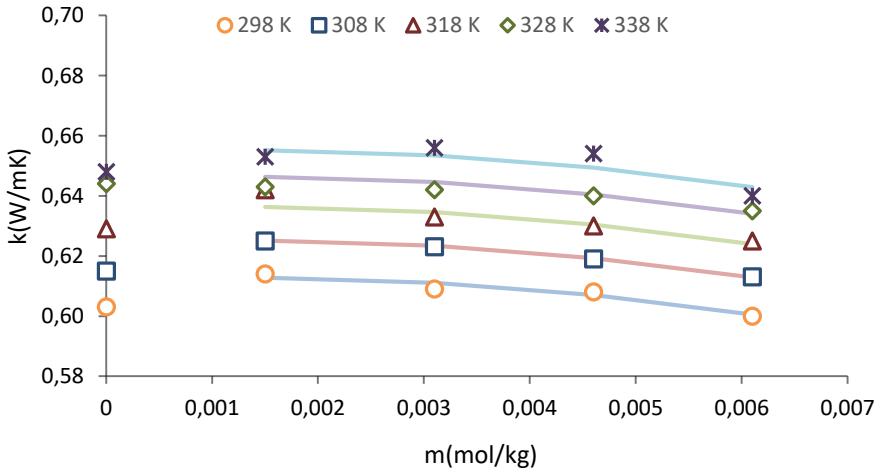
Şekil 4.7-4.9'da sırasıyla farklı konsantrasyonlarda hazırlanan SDS, NP 10 ve Tween 80 sürfaktan çözeltilerinin ve saf suyun farklı sıcaklıklardaki termal iletkenlik değerlerinin molalite ile değişimi grafik olarak verilmiştir. Grafiklere bakıldığında, sıcaklık arttıkça tüm sürfaktan çözeltilerinde termal iletkenlik değerlerinin arttığı gözlemlenmektedir. SDS ile hazırlanan çözeltinin termal iletkenliği önce hafif azalma daha sonra ise artış eğilimi göstermiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da NP 10 ve Tween 80 ile hazırlanan çözeltilerin termal iletkenliklerinin konsantrasyon ile azalma davranışı gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.7 : Farklı sıcaklıklarda SDS eklenen saf suyun termal iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimi.



Şekil 4.8 : Farklı sıcaklıklarda NP 10 eklenen saf suyun termal iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimi.



Şekil 4.9 : Farklı sıcaklıklarda Tween 80 eklenen saf suyun termal iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimi.

2011 yılında Zhou ve diğ. tarafından bazı sürfaktan-su çözeltilerinin farklı konsantrasyonlarda termal iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Çalışmada, sürfaktanların konsantrasyon ile davranışlarının değiştiği ve 25 ^{o}C sıcaklıkta, ağırlıkça %0,2 SDS kullanılarak hazırlanan çözeltinin termal iletkenlik değerinin yaklaşık suyun termal iletkenlik değerine eşit olduğu belirtilmiştir. Ayrıca SDS-su çözeltilerinin termal iletkenlikleri %0,8 konsantrasyona kadar azalmış; %0,8'den sonra ise artmış ve sabit kalmıştır [16]. Yapılan bu deneysel çalışmada ise %0,2 SDS için yaklaşık aynı değerler bulunmuş; fakat termal iletkenlik değeri %0,4 SDS konsantrasyonuna kadar azalmış ardından bu değerden sonra artış görülmüştür.

4.2 Nanoakışkanların Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi

Nanoakışkan deneylerinde sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Partikül miktarı hacimce %0,3, 0,5, 0,7,0,9 ve 1,1 şeklinde sürfaktan oranları ise kütlece %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 oranlarında değiştirilmiştir.

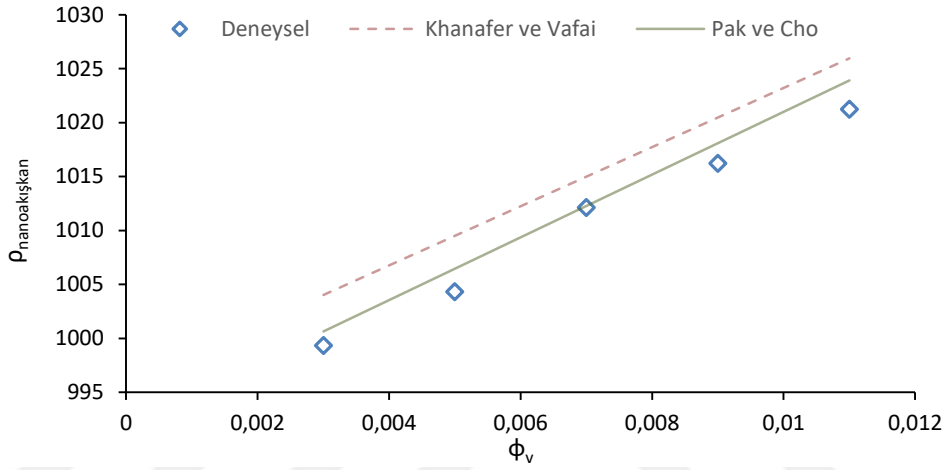
4.2.1 Yoğunluk ölçümleri

Şekil 4.10'da farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 partikülleri kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların deneysel yoğunluk değerleri ile teorik modeller yardımıyla elde edilen yoğunluk değerleri karşılaştırılmıştır. Literatürde nanoakışkanların yoğunluklarının hesaplanmasında teorik modeller de kullanılmaktadır. Al_2O_3 partikülleri ile hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk hesabı için Pak ve Cho [42] karışım yaklaşımını kullanarak yoğunluk hesaplamıştır. Khanafer ve Vafai [49] tarafından Denklem 1.5 kullanılmıştır. Deneysel verilerin teorik modellere göre daha düşük çıktığı; ama Pak ve Cho tarafından kullanılan karışım modeli ile elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.

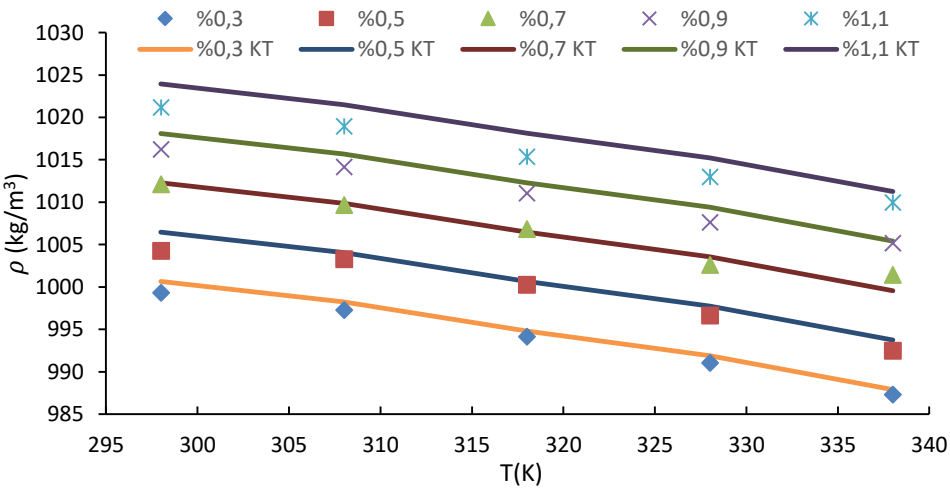
Sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların 298, 308, 318, 328 ve 338 K sıcaklıktaki yoğunlukları ölçülüp, değerler Şekil 4.11'de sunulmuştur. Aynı zamanda farklı konsantrasyonlarda karışım teorisi ile hesaplanan teorik değerler de grafikte verilmiştir. Grafiğe bakıldığında nanoakışkanın yoğunluk değerlerinin kullanılan partikül oranı ile doğru orantılı; sıcaklık ile ters orantılı değiştiği ve karışım teorisinin farklı sıcaklıklar için de uygulanabilir olduğu görülmüştür. Ayrıca düşük

konsantrasyonlarda hazırlanan nanoakışkanların deneysel verileri ile karışım teorisinin daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

Nanoakışkan yoğunluğunun temel akışkan yoğunluğuna oranı, ρ_r, bu tez kapsamında yoğunluk oranı olarak adlandırılacaktır. Partikül hacim oranı %0,3-1,1 aralığında değiştirildiğinde sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanın yoğunluk oranı %0,7-3,1 aralığında değişmektedir. Yoğunluk oranı, incelenen sıcaklık aralıklarında sıcaklıkla değişmediği ölçüm belirsizliği aralığında aynı davranışı gösterdiği görülmüştür.

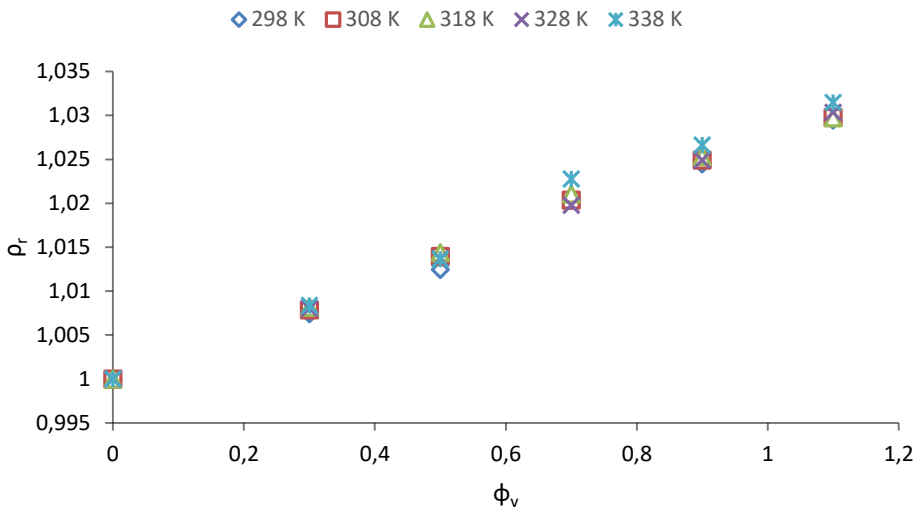


Şekil 4.10 : 25 °C sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkan için teorik modeller ile deneysel yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.11 : Farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi (KT: Karışım teorisi).

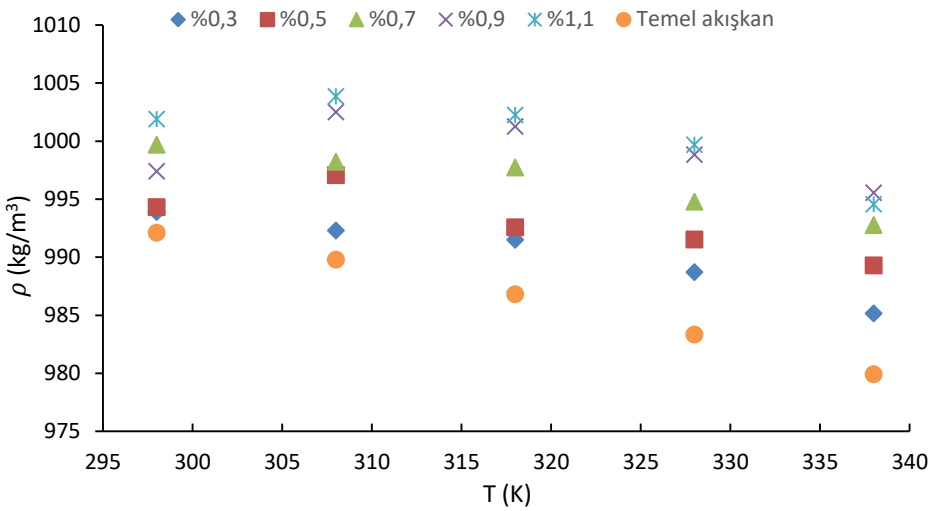
Şekil 4.12'de farklı sıcaklıklarda sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi verilmiştir. Grafiğe bakıldığında sıcaklık ile yoğunluk oranının değişmediği görülmektedir.



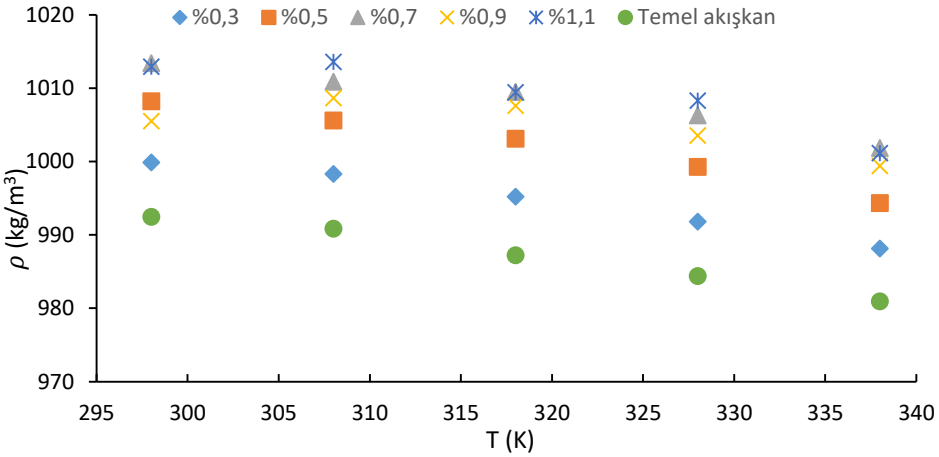
Şekil 4.12 : Farklı sıcaklıklarda ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi.

Şekil 4.13-4.16'da farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 SDS sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Grafiklerde Al_2O_3 konsantrasyonun etkisini görmek ve karşılaştırma amaçlı aynı oranlarda sürfaktan kullanılarak hazırlanan çözeltiler temel akışkan (su+sürfaktan) olarak verilmiştir. Grafikler incelendiğinde temel akışkana göre yoğunluk değerlerinin partikül miktarının artması ile arttığı ve sıcaklık ile azaldığı görülmektedir. Ancak %0,2 ve %0,4 SDS sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın yoğunluk değerlerinde (Şekil 4.13-4.14) sıcaklık ve partikül miktarına göre değişimin, diğer sürfaktan miktarları ile hazırlanan nanoakışkanlara göre daha düzensiz davranış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni %0,2'lik kullanılan SDS sürfaktanın kritik misel noktasından düşük olması, %0,4 oranında kullanılan SDS sürfaktanın ise kritik misel noktasına yakın olması olarak düşünülmektedir.

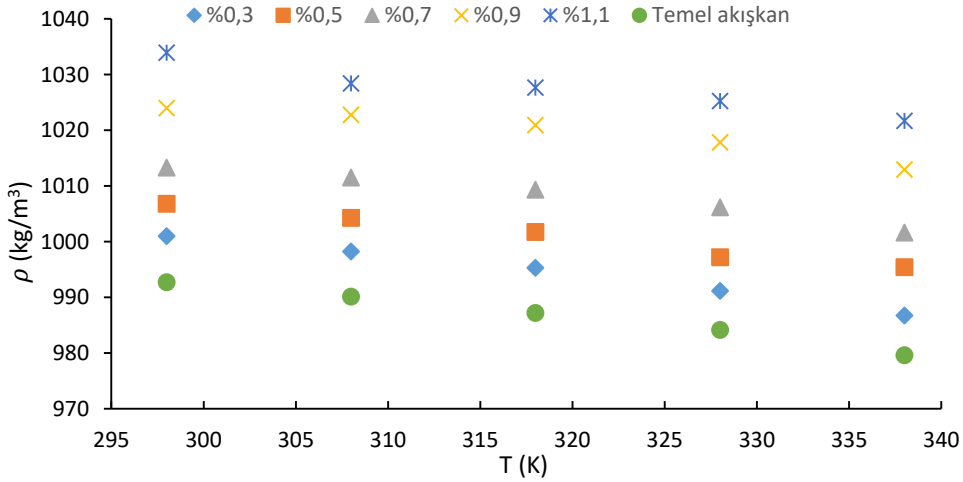
SDS sürfaktanının incelenen tüm konsantrasyonlarında, ultrasonik homojenizatör ile Tween 80 ve NP 10 sürfaktanlarına göre daha fazla köpük oluşturduğu görülmüştür. Şekil 4.17'de görüldüğü üzere beherin üst kısmında büyük miktarda köpük oluşmuştur ve Al_2O_3 partiküllerinin bir kısmı da köpük kısmında bulunmaktadır. Nanoakışkanın yoğunlukları sıcaklığın homojen olması için sürekli karıştırılarak ölçülmüştür. Karışım esnasında, köpük zamanla beherin alt kısmında bulunan çözeltiye geçerek azalmıştır. Bu hususun da ölçümlerde sapmalara sebep olabileceği düşünülmektedir.



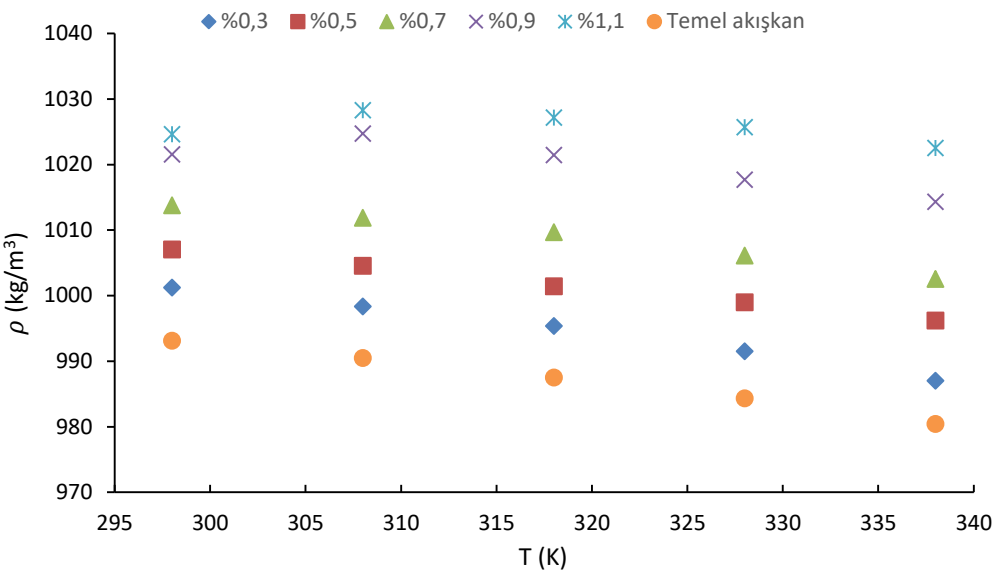
Şekil 4.13 : %0,2 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



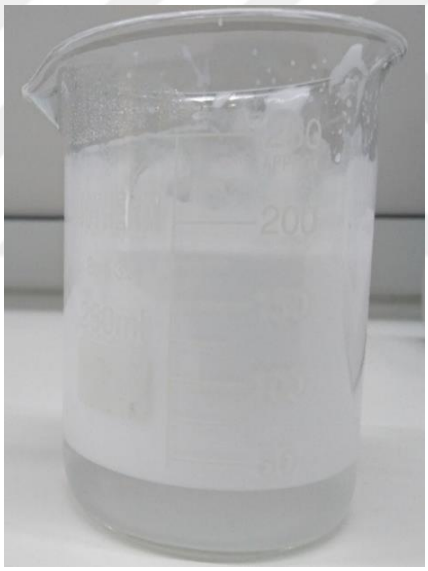
Şekil 4.14 : %0,4 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.15 : %0,6 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.

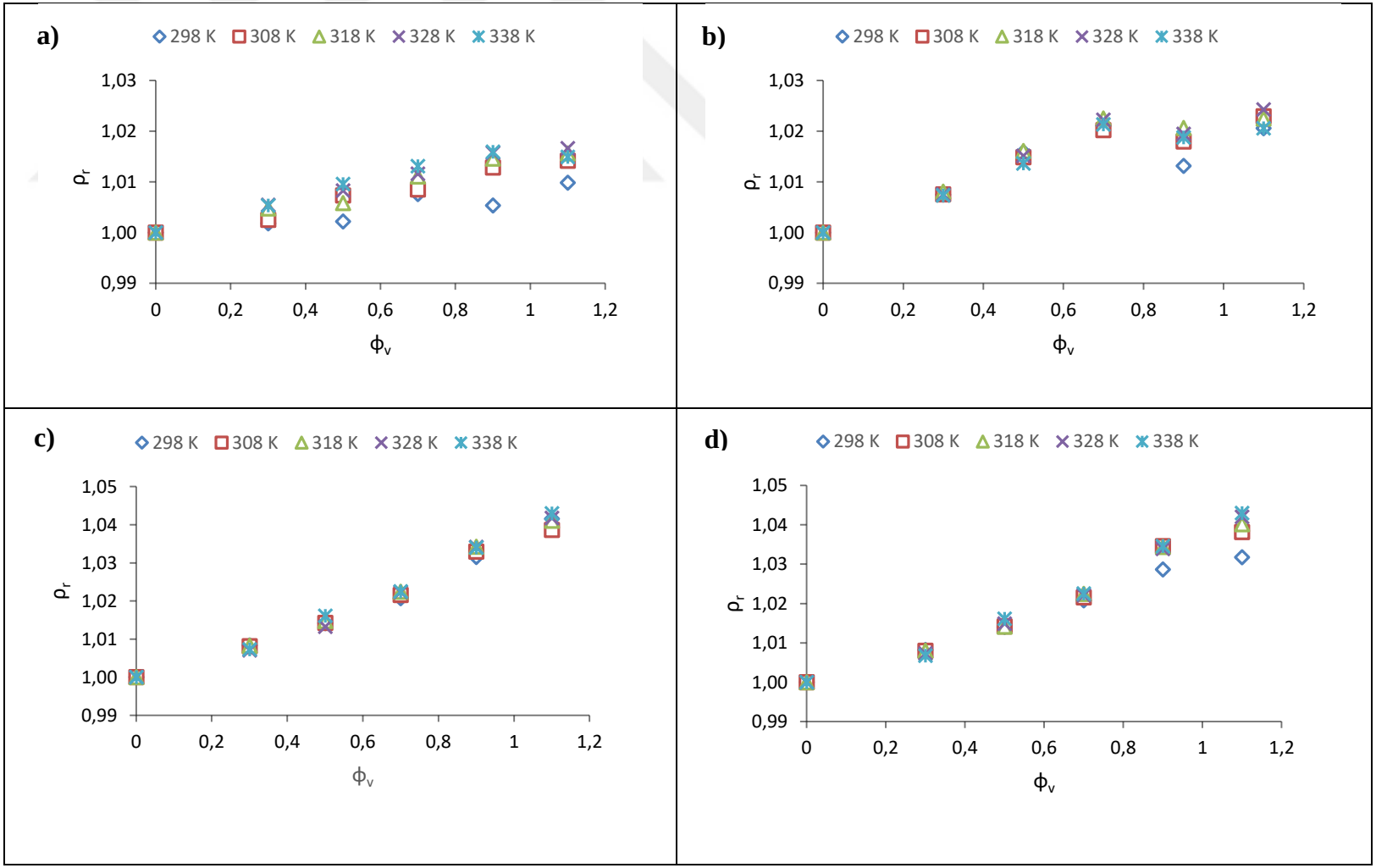


Şekil 4.16 : %0,8 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



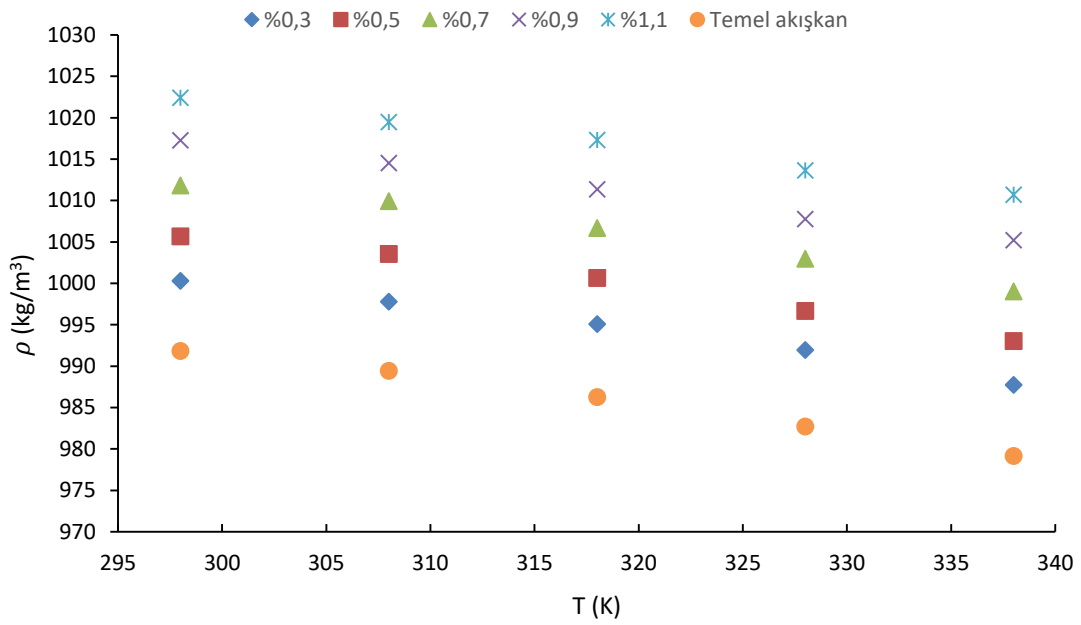
Şekil 4.17 : 0,2 SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın ultrasonik homojenizatör uygulandıktan sonraki görüntüsü.

Şekil 4.18'de SDS sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik edilmiştir. %0,2 SDS için yoğunluk oranlarının sıcaklık ve partikül hacim yüzdesi ile arttığı görülmektedir (Şekil 4.18a); ancak %0,4, 0,6 ve 0,8 SDS ile hazırlanan nanoakışkanlar için 4.18b-d'de verilen grafiklere bakıldığında sıcaklığın etkisinin azaldığı partikül miktarı ile arttığı görülmektedir. Daha önceki kısımda da bahsedildiği gibi %0,2 ve %0,4 değerleri kritik misel konsantrasyonlarına yakın olması bu davranış farklılığının sebebi olarak düşünülmektedir.

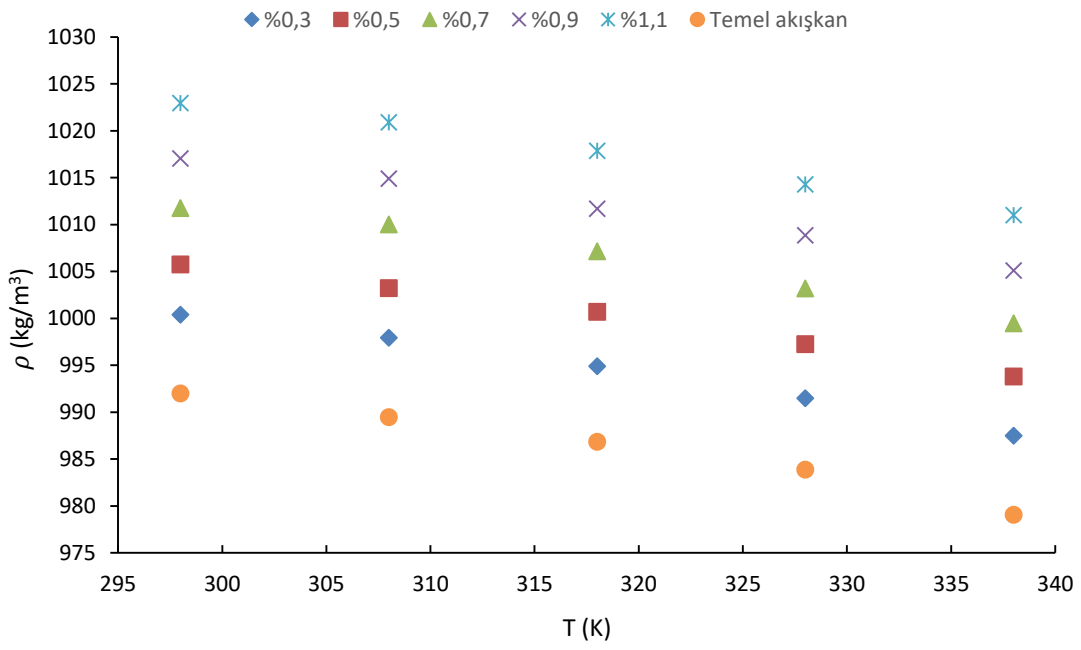


Şekil 4.18 : SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0,2, b) %0,4, c) %0,6, d) %0,8.

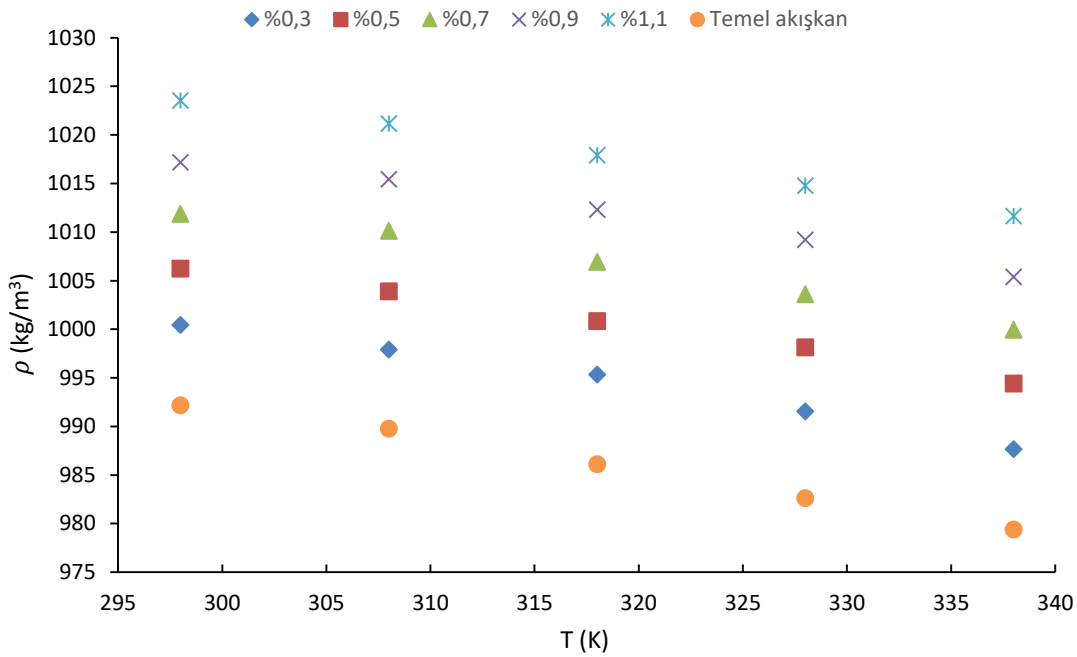
Şekil 4.19-4.22'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 NP 10 sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü üzere kullanılan partikül oranı arttıkça yoğunluk değerleri artmıştır. Aynı zamanda sıcaklık arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.



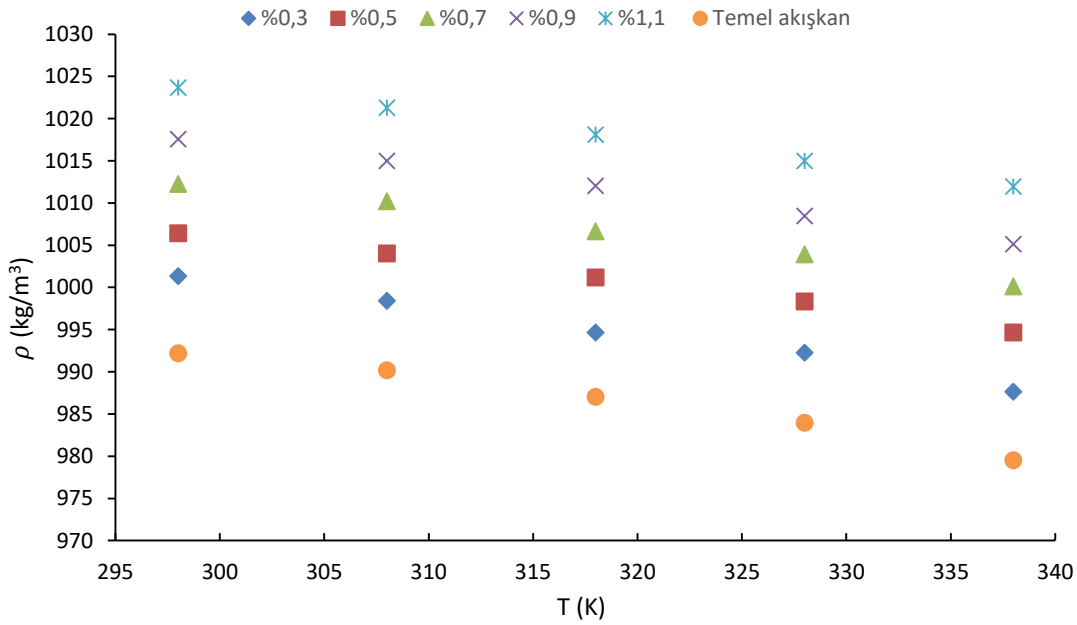
Şekil 4.19 : %0,2 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.20 : %0,4 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.

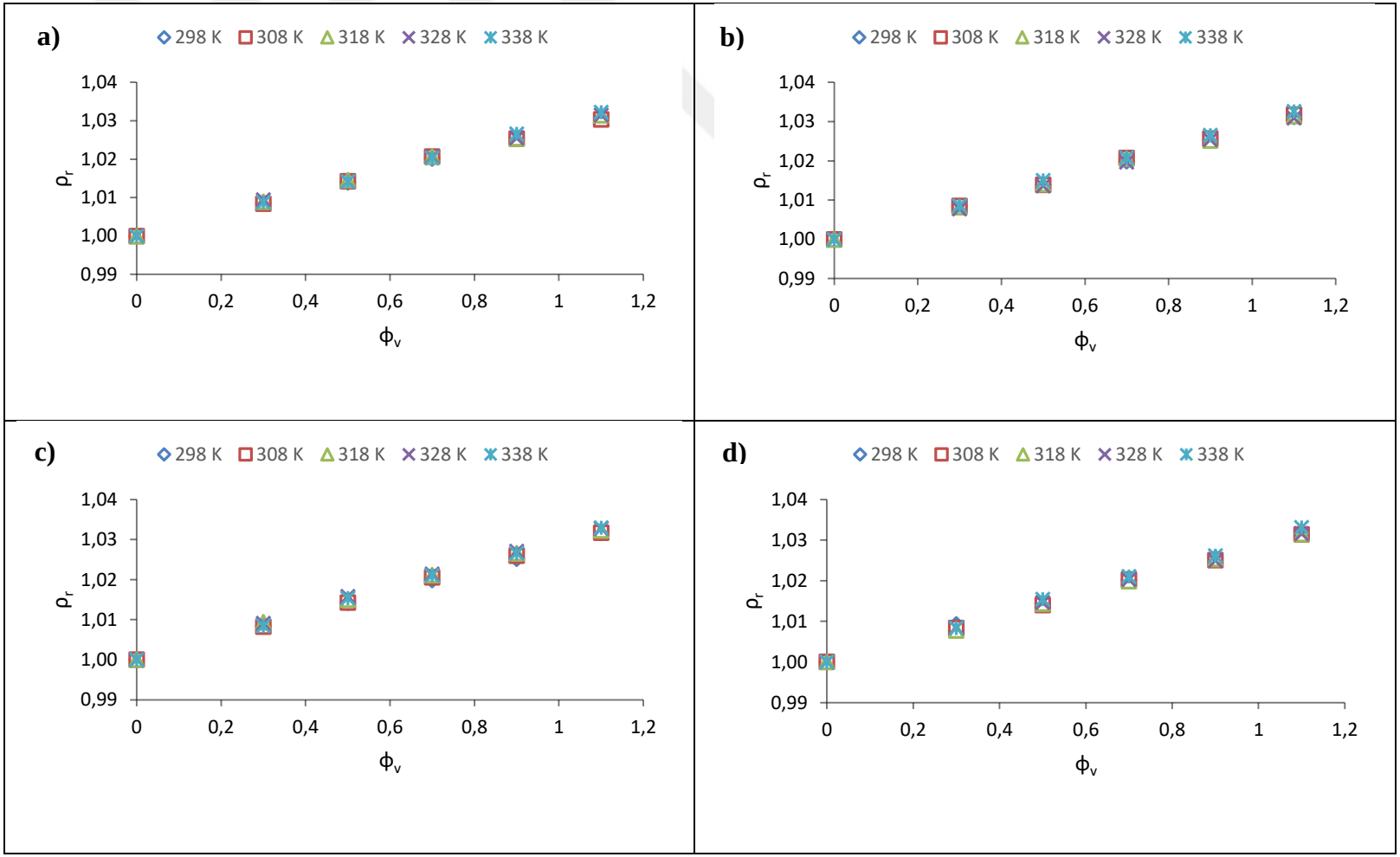


Şekil 4.21 : %0,6 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



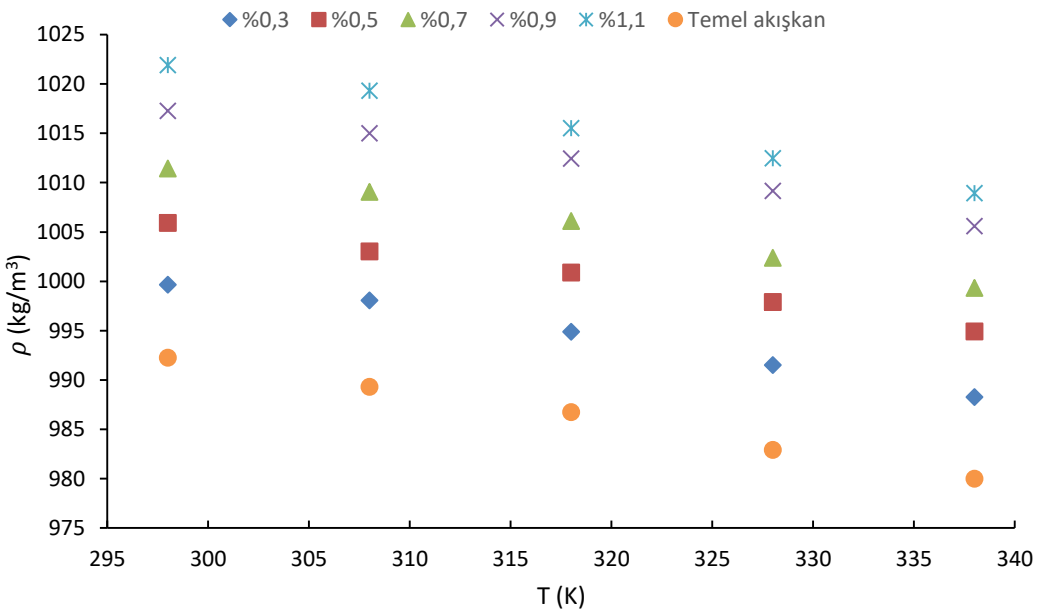
Şekil 4.22 : %0,8 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.

Şekil 4.23a-d'de sırasıyla %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 NP 10 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak sunulmuştur. Partikül konsantrasyonu arttıkça yoğunluk oranları da artmıştır. Aynı zamanda, çalışılan tüm sürfaktan konsantrasyonları için sıcaklık ile yoğunluk oranlarının değişmediği gözlemlenmiştir.

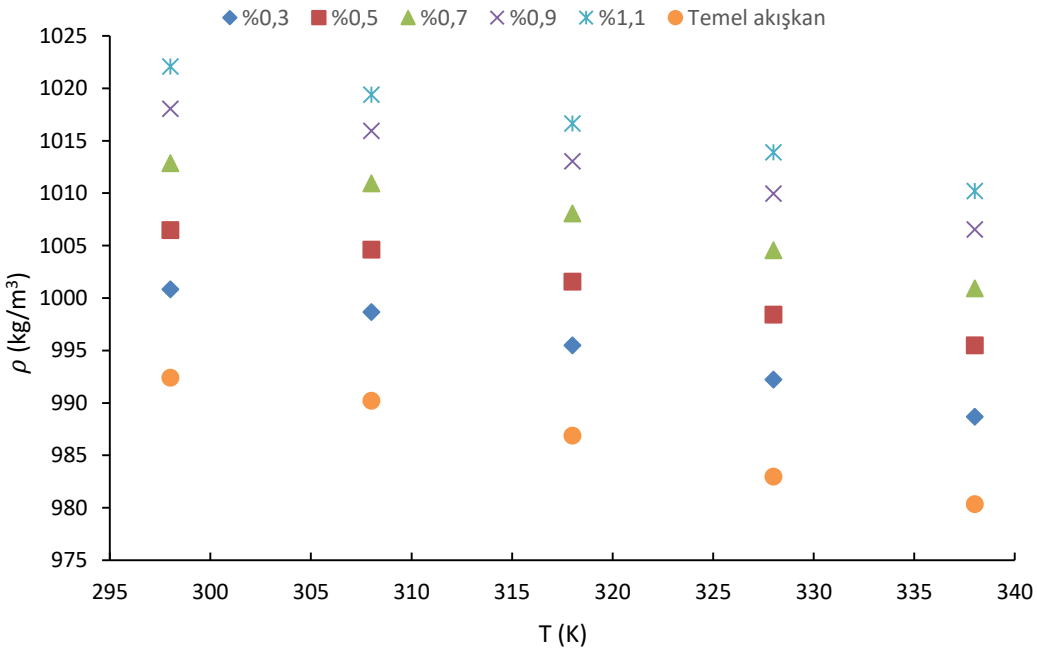


Şekil 4.23 : NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0,2, b) %0,4, c) %0,6, d) %0,8.

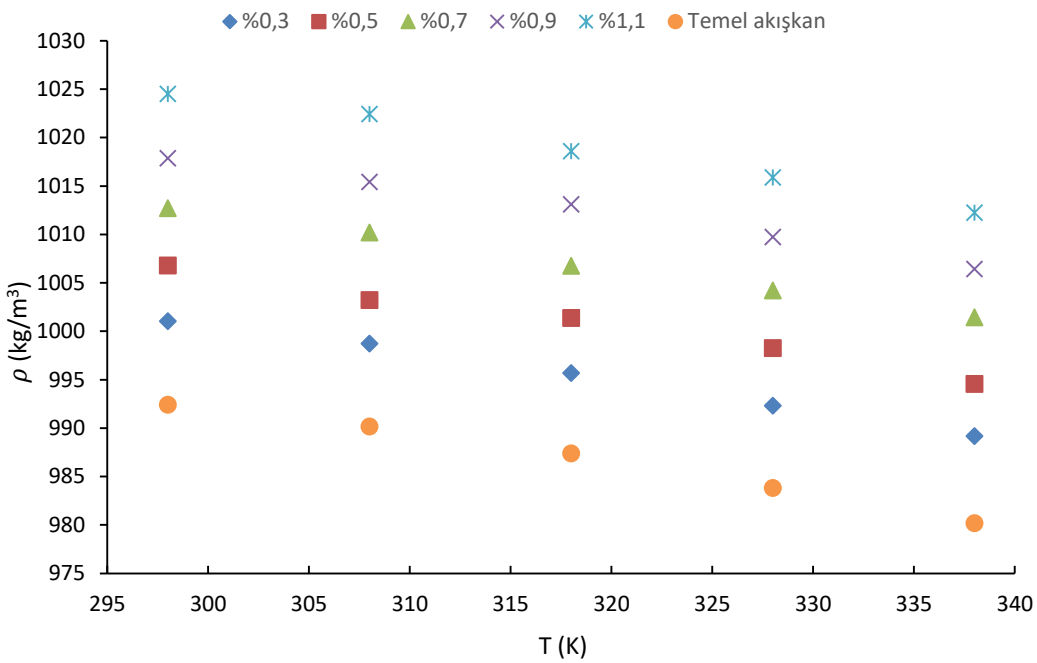
Şekil 4.24-4.27'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 Tween 80 sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Kullanılan partikül oranları ile yoğunluk değerlerinin doğru orantılı değiştiği elde edilmiştir. Aynı zamanda grafiklere göre sıcaklık arttıkça yoğunluk değerlerinde düzenli azalış görülmüştür.



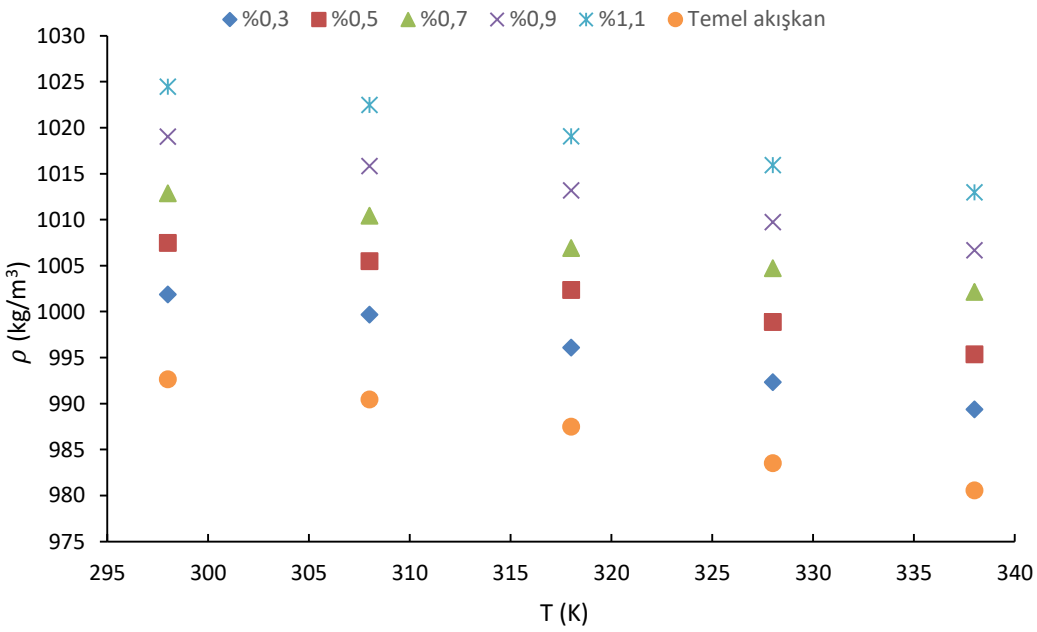
Şekil 4.24 : %0,2 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.25 : %0,4 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.

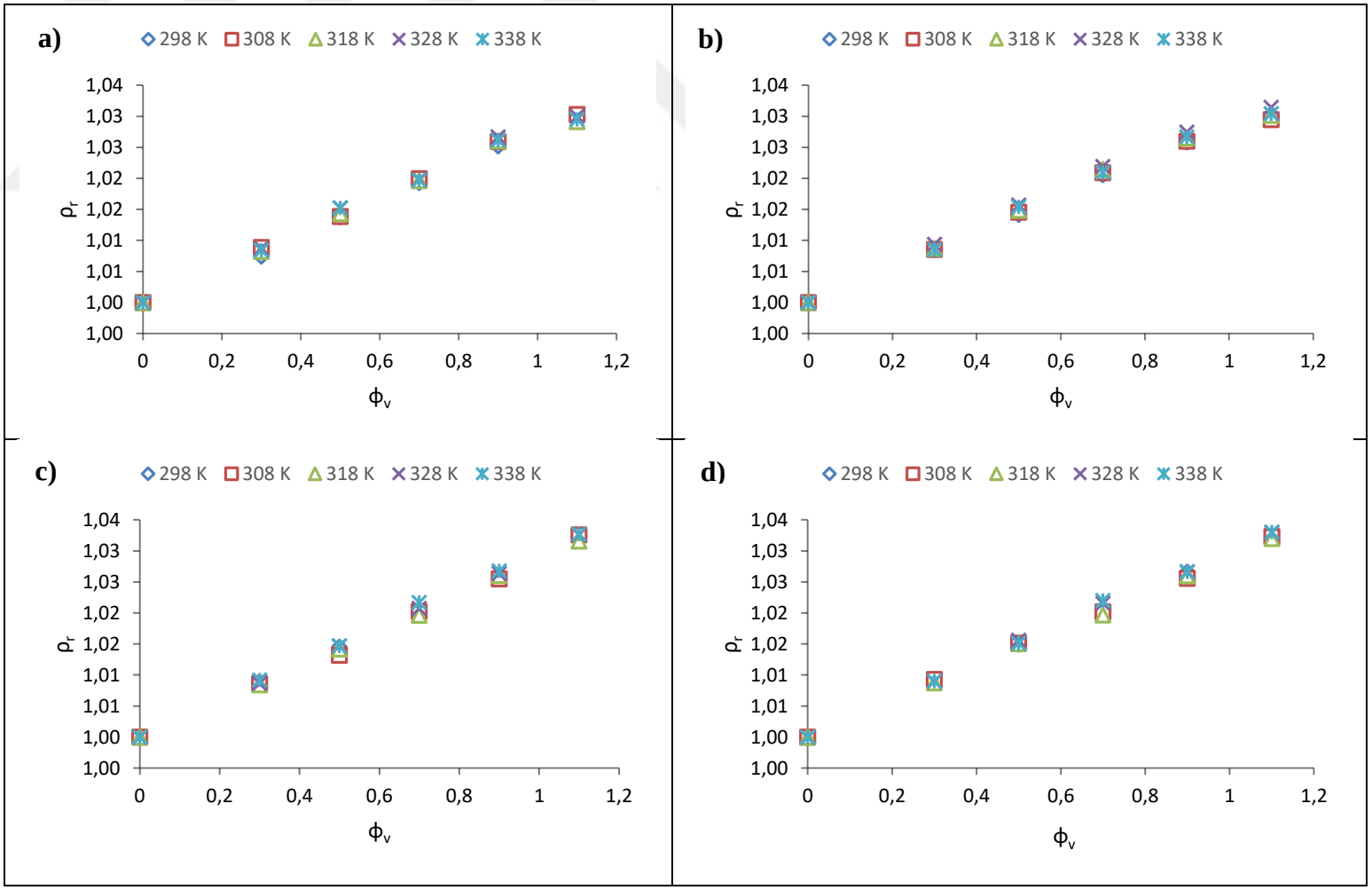


Şekil 4.26 : %0,6 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.27 : %0,8 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluklarının sıcaklık ile değişimi.

Şekil 4.28a-d'de sırasıyla %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 Tween 80 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak sunulmuştur. Beklenildiği üzere partikül konsantrasyonu arttıkça yoğunluk oranları da artmıştır. Aynı zamanda çalışılan tüm sürfaktan konsantrasyonları için sıcaklık ile yoğunluk oranlarının değişmediği gözlemlenmiştir.

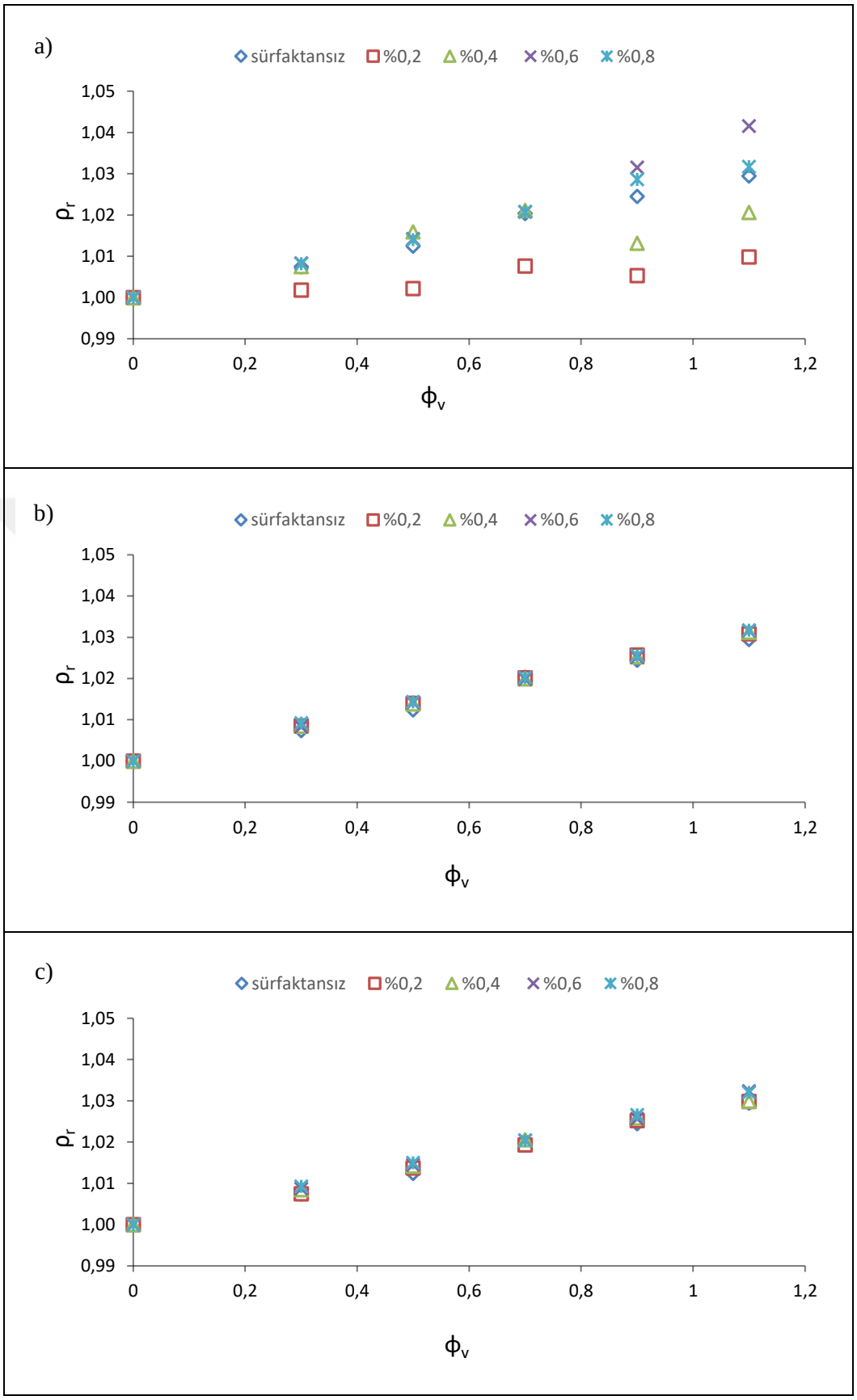


Şekil 4.28 : Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için yoğunluk oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8.

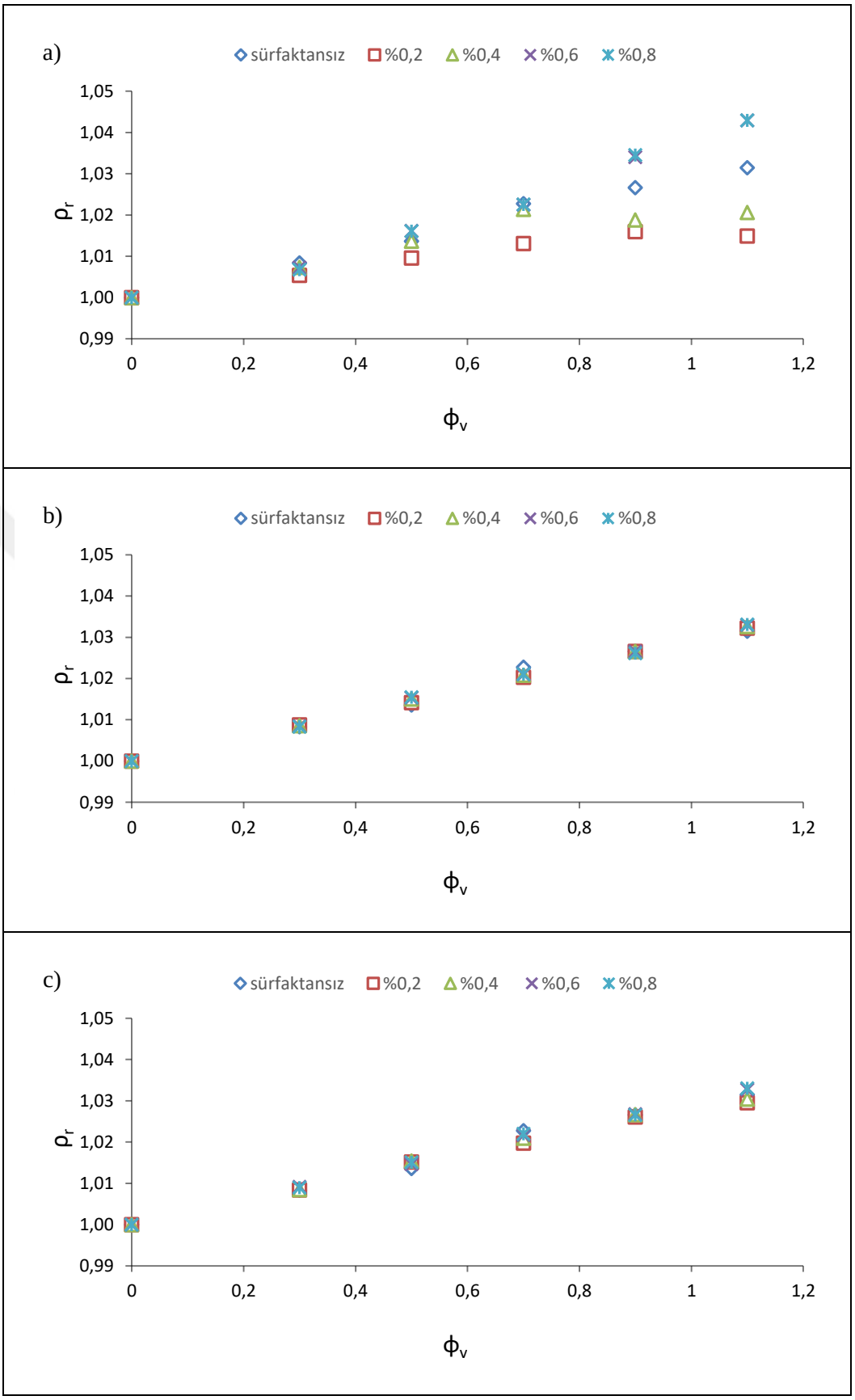
Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298-338 K sıcaklık aralığında yoğunluk oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.29-4.30'da sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için en düşük ve en yüksek sıcaklıklarda (298 K ve 338 K) partikül miktarı ile yoğunluk oranlarının değişimi verilmiştir. Şekil 4.29b-c'de NP 10, Tween 80 sürfaktanları ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarının aynı olduğu görülmektedir. Benzer davranış Şekil 4.30b-c'de verilen 338 K sıcaklıkta elde edilen verilerde de gözlemlenmiştir. Ancak Şekil 4.29a'da SDS için verilen grafikte %0,6 ve %0,8 sürfaktan oranları ile hazırlanan nanoakışkanların ve sürfaktansız hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranları için elde edilen değerler hemen hemen aynı olmasına rağmen %0,2 ve %0,4 için elde edilen değerler sürfaktansız nanoakışkan değerlerinin altına düşmektedir. Özellikle %0,2 için değerler tüm partikül oranlarında farklılık göstermektedir. 338 K sıcaklıkta ve düşük partikül konsantrasyonlarında %0,6 ve %0,8 SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranları sürfaktansız hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarına göre daha yüksektir (Şekil 4.30a). %0,2 ve %0,4 sürfaktan miktarları ile hazırlanan nanoakışkanın 338 K sıcaklıktaki yoğunluk davranışının ise 298 K sıcaklıktaki davranış ile aynı olduğu görülmektedir.

Nanoakışkanların diğer sıcaklıklardaki (308, 318 ve 328 K) yoğunluk oranları değişimlerine bakıldığında NP 10 ve Tween 80 sürfaktanları ile hazırlanan nanoakışkanların sürfaktansız hazırlanan nanoakışkanlar ile aynı davranışları gösterdiği görülmüştür. Bu sürfaktanlarla hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranları sıcaklık değişiminden etkilenmemiştir. Bunun yanı sıra 308, 318 ve 328 K sıcaklıkta %0,6 SDS ve %0,8 SDS ile hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarının, yüksek partikül oranlarında (%0,9 ve %1,1) sürfaktansız hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk oranlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu davranış çalışılan tüm sıcaklıklarda gözlemlenmiştir. SDS ile hazırlanan nanoakışkanların 308, 318 ve 328 K sıcaklıklardaki yoğunluk oran davranışlarının 338 K sıcaklıktaki davranışlar ile aynı olduğu görülmüştür. Tüm sıcaklıklarda en düşük yoğunluk oranları, %0,2 SDS ile hazırlanan nanoakışkanlarda saptanmıştır.



Şekil 4.29 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile yoğunluk oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80.



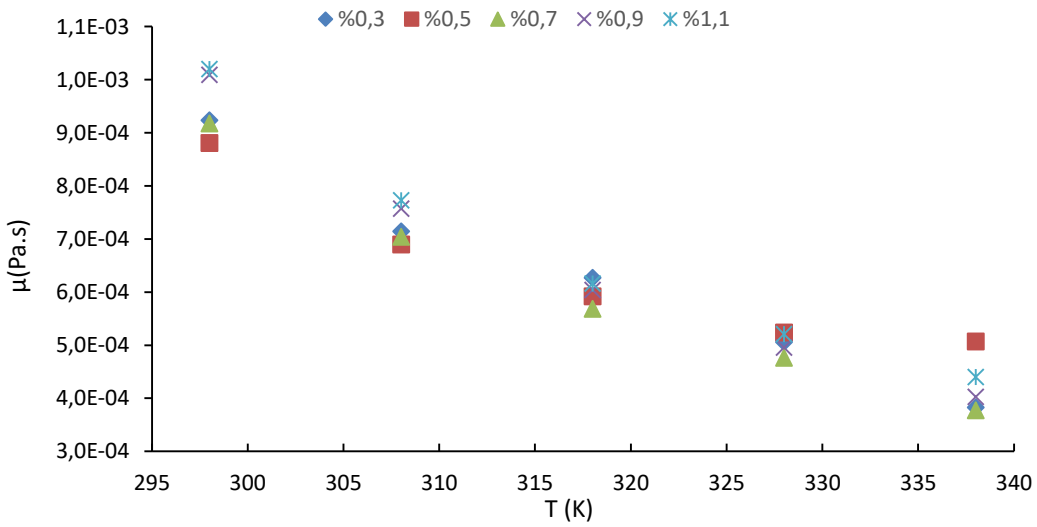
Şekil 4.30 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile yoğunluk oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80.

4.2.2 Viskozite ölçümleri

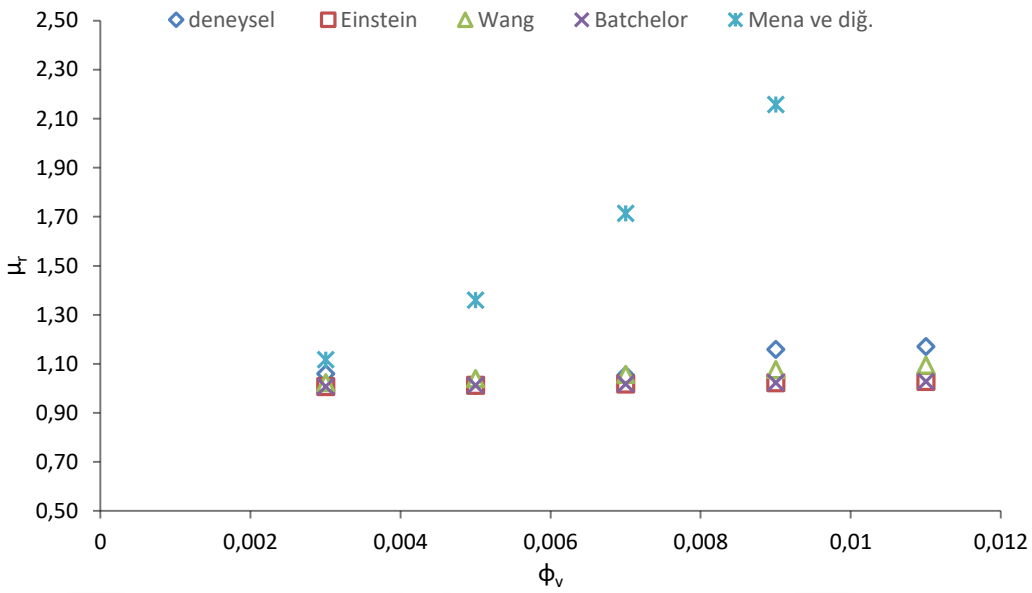
Şekil 4.31'de farklı hacimsel katı oranlarında sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların sıcaklık ile viskozite değişimleri grafik edilmiştir. Aynı partikül konsantrasyonlarında hazırlanan nanoakışkanların viskozite değerlerinin sıcaklık arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.32'de 25 ºC sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların deneysel viskozite değerleri ile teorik modeller yardımıyla elde edilen viskozite değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 1.4'te kullanılan teorik modeller verilmiştir. Viskozite değerlerinin Mena ve diğ. tarafından [108] önerilen model hariç diğer teorik modeller ile büyük oranda uyumlu olduğu [7,51,55,108]; gözlemlenmiştir. Mena ve diğ. tarafından yapılan çalışmada daha önce yapılan bir çalışmanın verileri kullanılarak ekstrapolasyon ile model oluşturulmuştur.

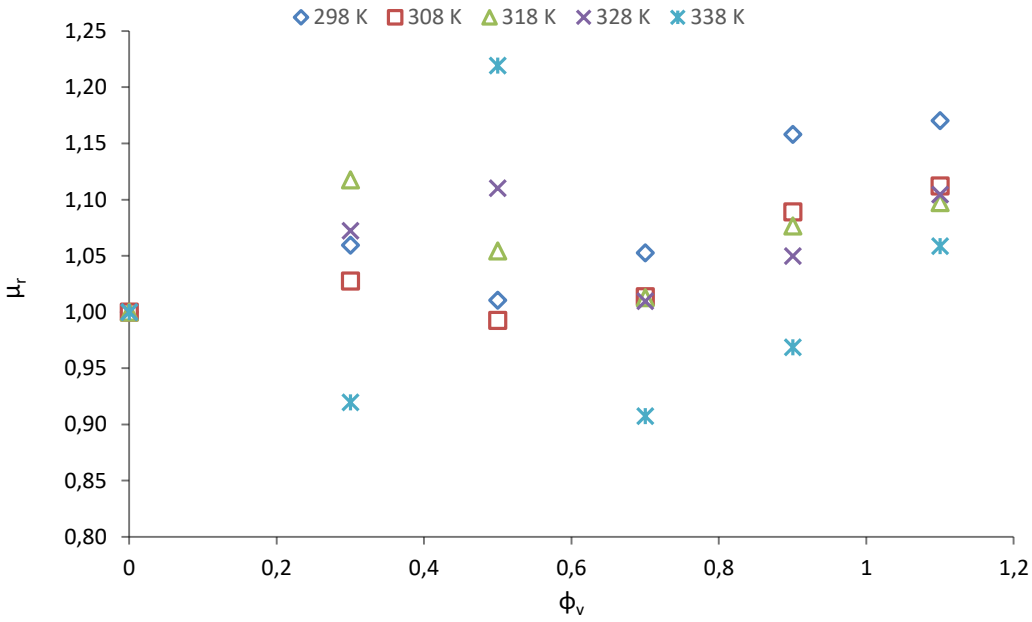
Nanoakışkanın viskozitesinin temel akışkan viskozitesine oranı, μ_r, bu tez kapsamında viskozite oranı olarak adlandırılacaktır. Partikül hacim oranı %0,3-1,1 aralığında değiştirildiğinde viskozite oranı maksimum %22 oranında değişmektedir. Şekil 4.33'te farklı sıcaklıklarda sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi verilmiştir. Konsantrasyon arttıkça viskozite değerleri doğrusal olmayan bir şekilde artış eğilimi göstermektedir. Aynı partikül konsantrasyonu ile hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta viskozite oranlarının diğer sıcaklıklara göre farklı davranış sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.31 : Farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



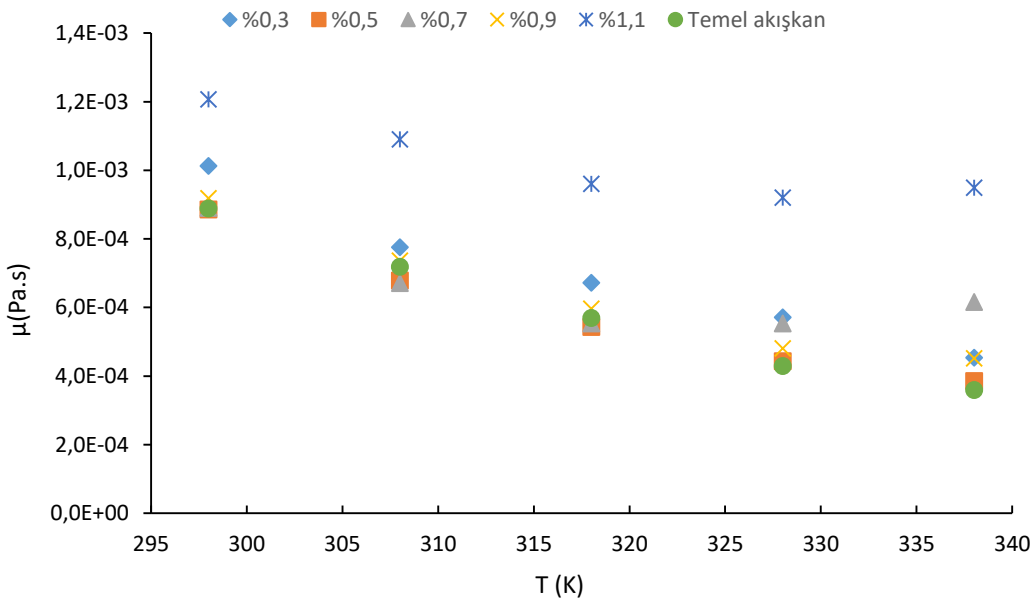
Şekil 4.32 : 25 ^{o}C sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için elde edilen teorik modeller ile deneysel viskozite değerlerinin karşılaştırılması.



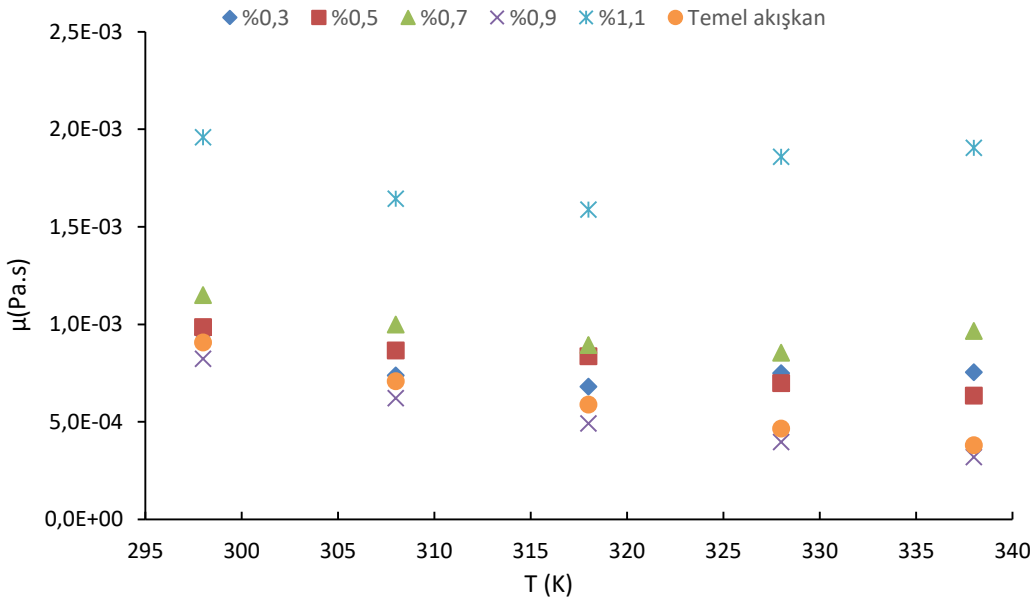
Şekil 4.33 : Farklı sıcaklıklarda ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi.

Şekil 4.34-4.37'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 SDS sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozite değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Grafiklere göre bu çalışmada incelenen 55-65 ^{o}C sıcaklıklarda edilen viskozite değerleri hariç sıcaklık arttıkça nanoakışkanların viskoziteleri azalmıştır. Ayrıca viskozite değerlerinin konsantrasyon ile düzenli değişmediği gözlemlenmiştir. Bu davranışın sebebi olarak

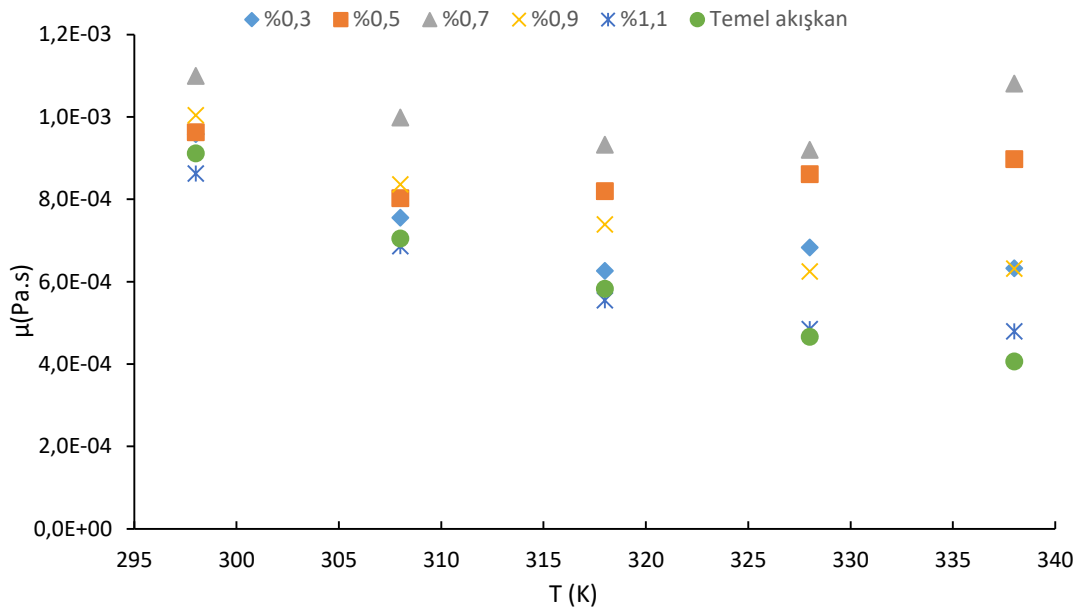
nanoakışkanların dispersiyon derecelerinin aynı olmamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Partikül dispersiyonu nanoakışkanların viskozitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Tüm nanoakışkanlar hazırlanırken aynı yöntem ve karıştırma süresi kullanılmasına rağmen elde edilen viskozite sonuçlarından oluşan dispersiyonun aynı olmadığı anlamına gelmektedir.



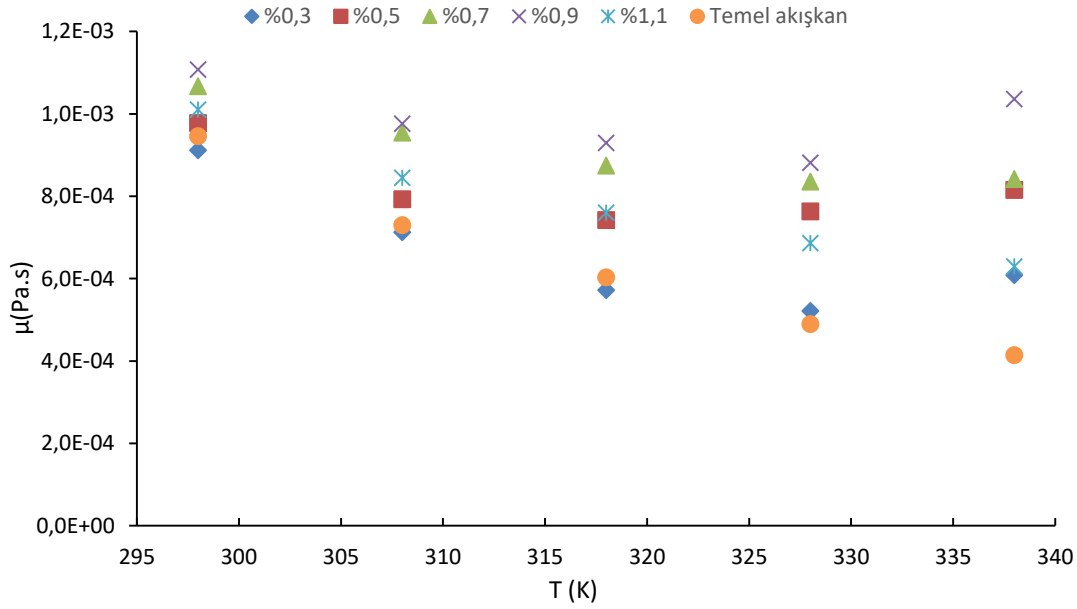
Şekil 4.34 : %0,2 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.35 : %0,4 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.

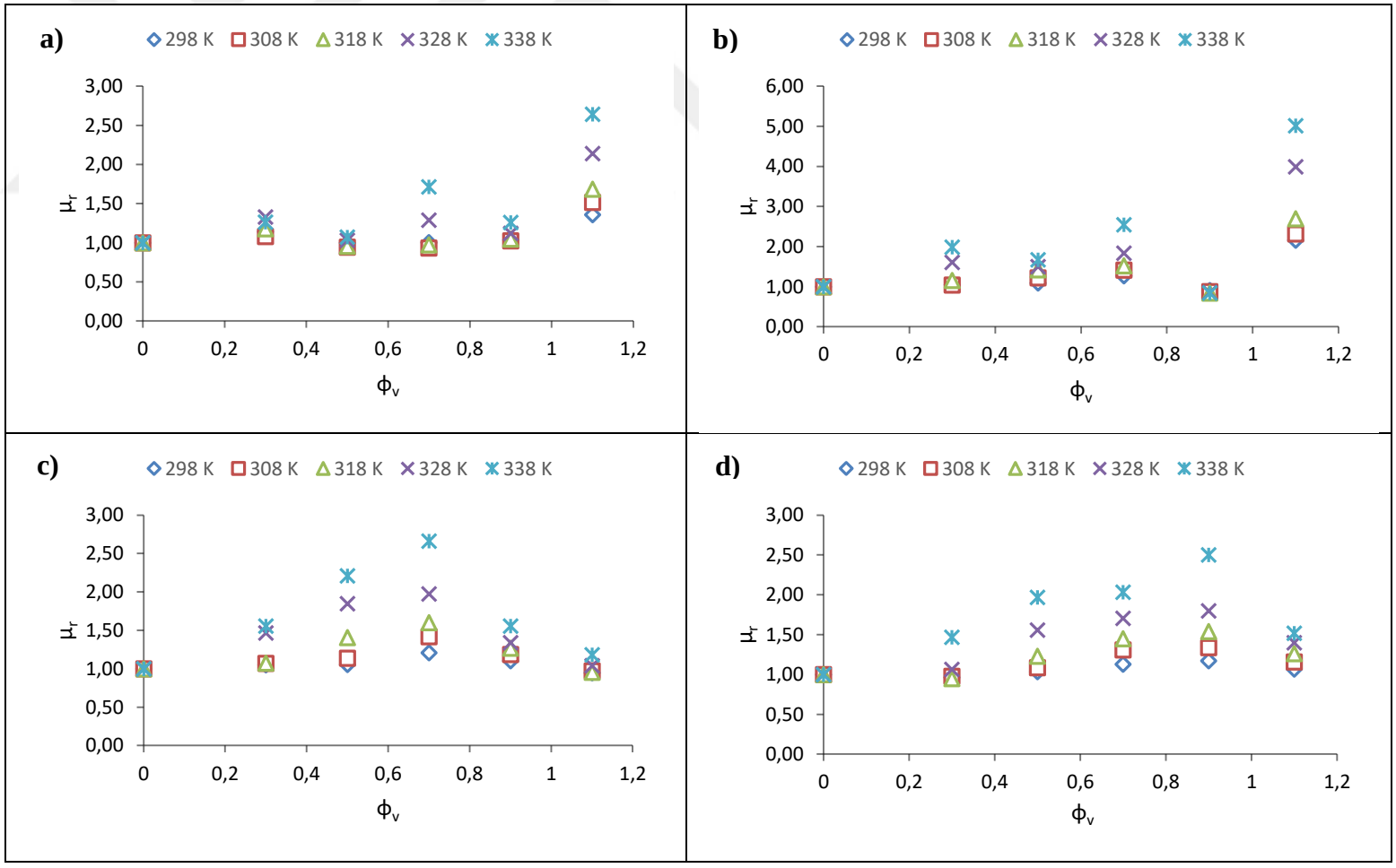


Şekil 4.36 : %0,6 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



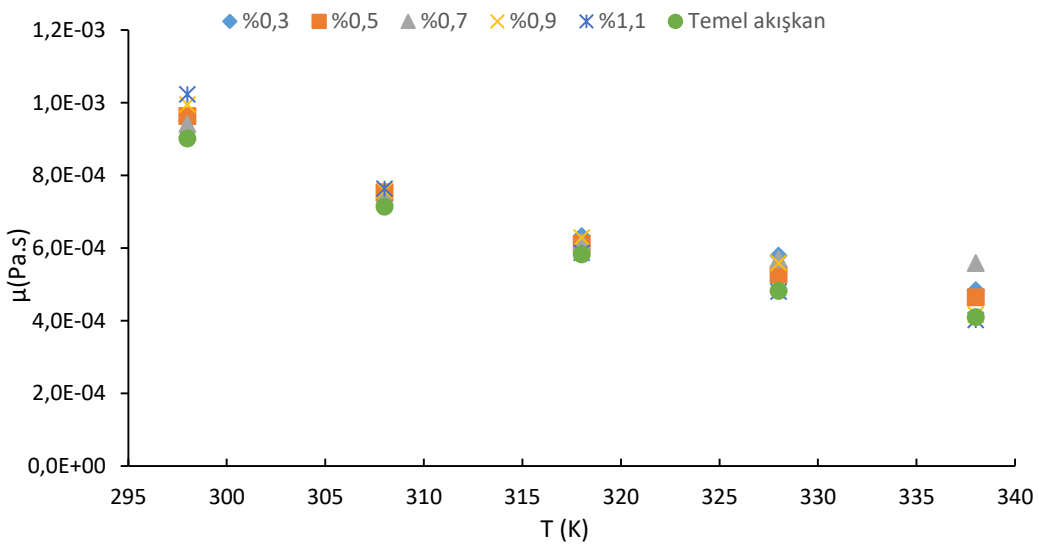
Şekil 4.37 : %0,8 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.

SDS sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak Şekil 4.38'de verilmiştir. Viskozite oranı bazı konsantrasyon değerleri haricinde genel olarak partikül konsantrasyonu ile artma eğilimi göstermektedir. Tüm SDS konsantrasyonlarında hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranı sıcaklık yükseldikçe artmakta olup bu değerlerin yüksek olduğu görülmektedir. Maksimum değer 5 civarında elde edilmiştir.

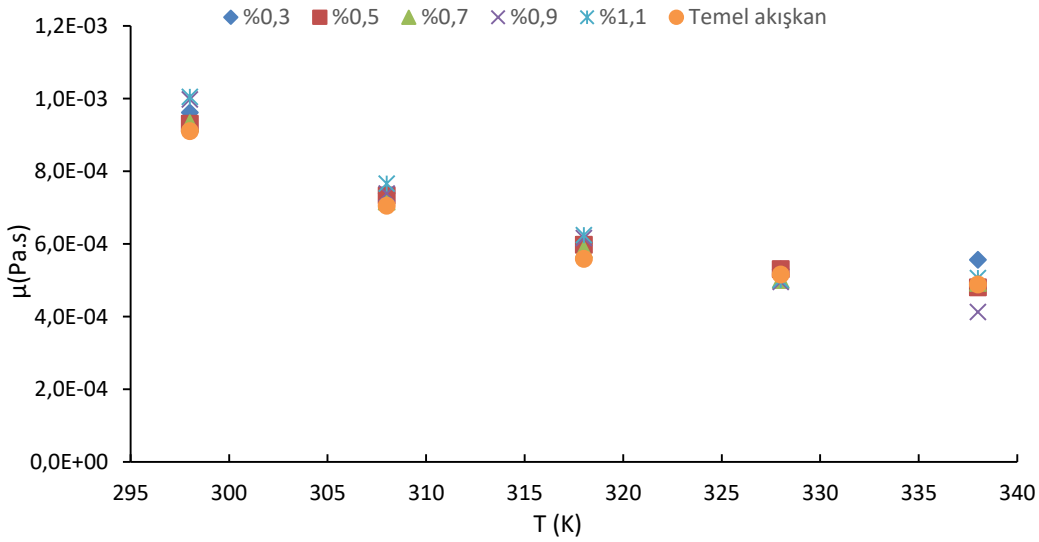


Şekil 4.38 : SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0,2, b) %0,4 c) %0,6 d) %0,8.

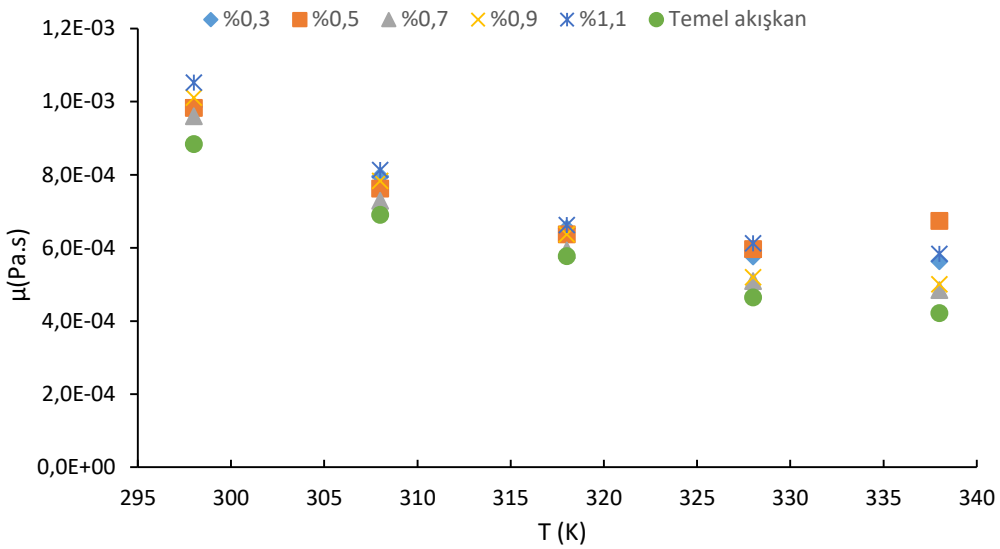
Şekil 4.39-4.42'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 NP 10 sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozite değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Sıcaklık arttıkça nanoakışkanların viskoziteleri azalma eğilimi göstermiş; ancak %0,6 ve %0,8 NP 10 ile hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinde 328 K sıcaklıktan sonra ise bir artış görülmüştür. Bu davranış, NP 10 sürfaktan çözeltisi ile benzer davranış göstermektedir. Ayrıca partikül konsantrasyonu ile viskozitenin düzenli değişmediği gözlemlenmiştir. Bazı konsantrasyonlarda aglomerasyon oluşması bu durumun sebebi olabilir.



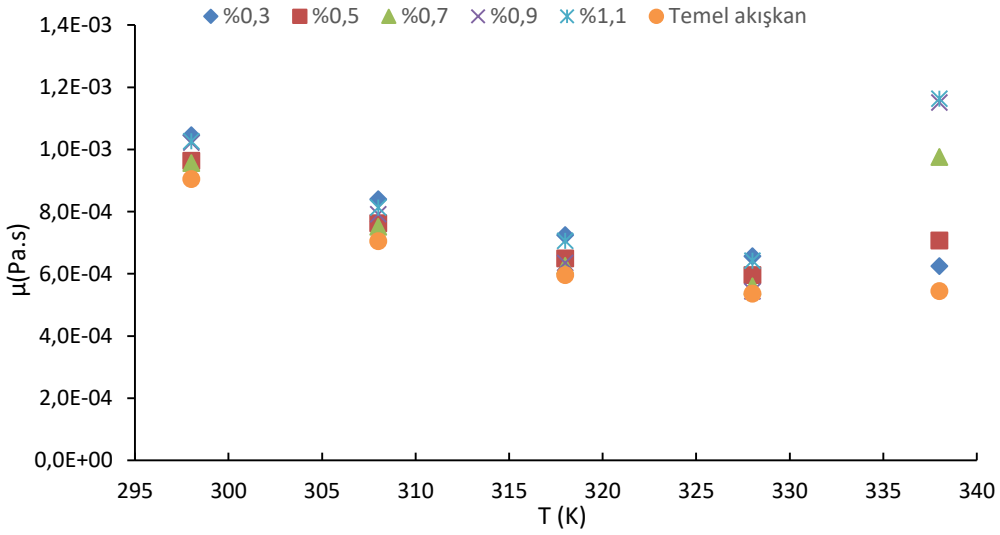
Şekil 4.39 : %0,2 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.40 : %0,4 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.

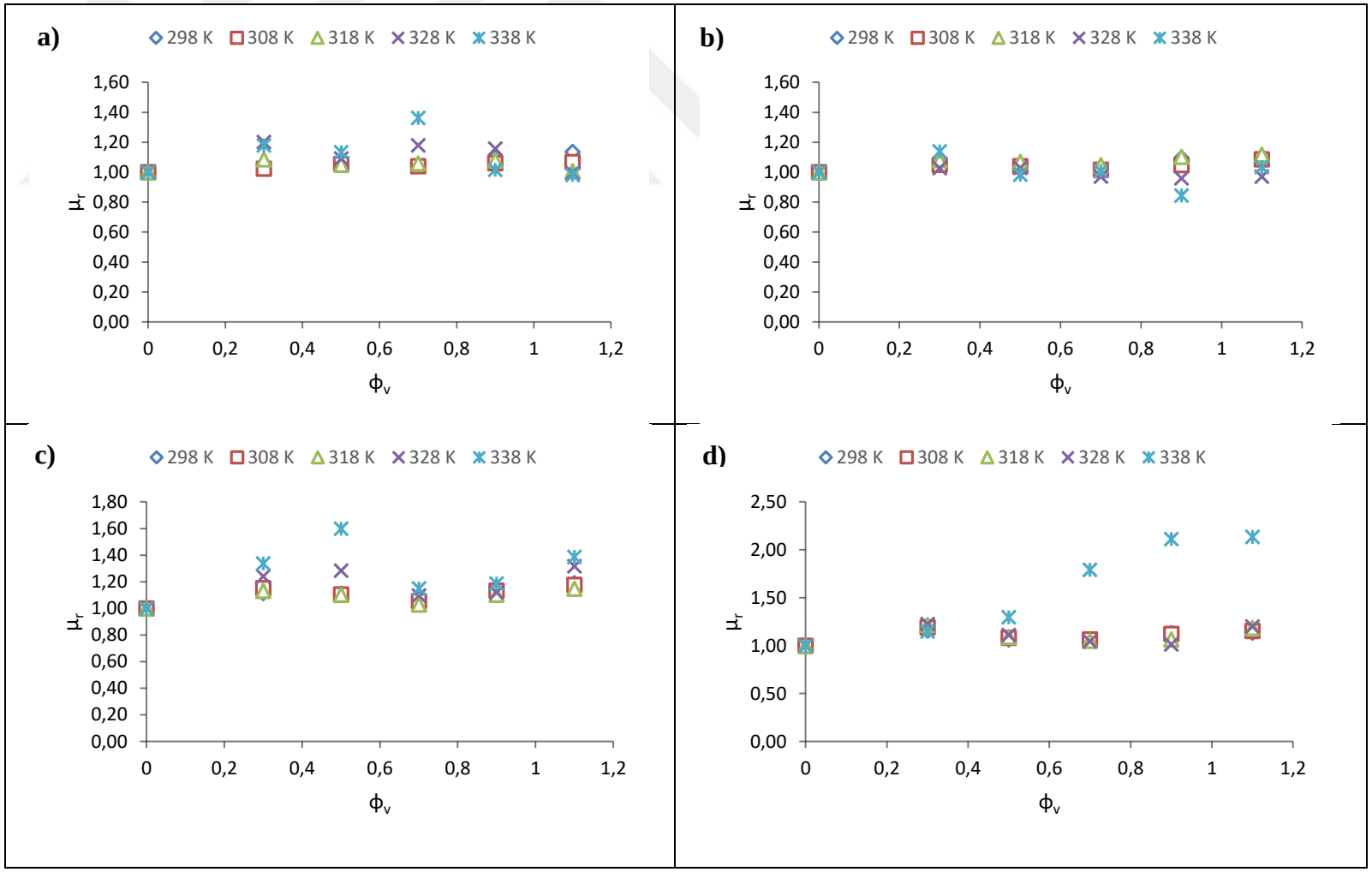


Şekil 4.41 : %0,6 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



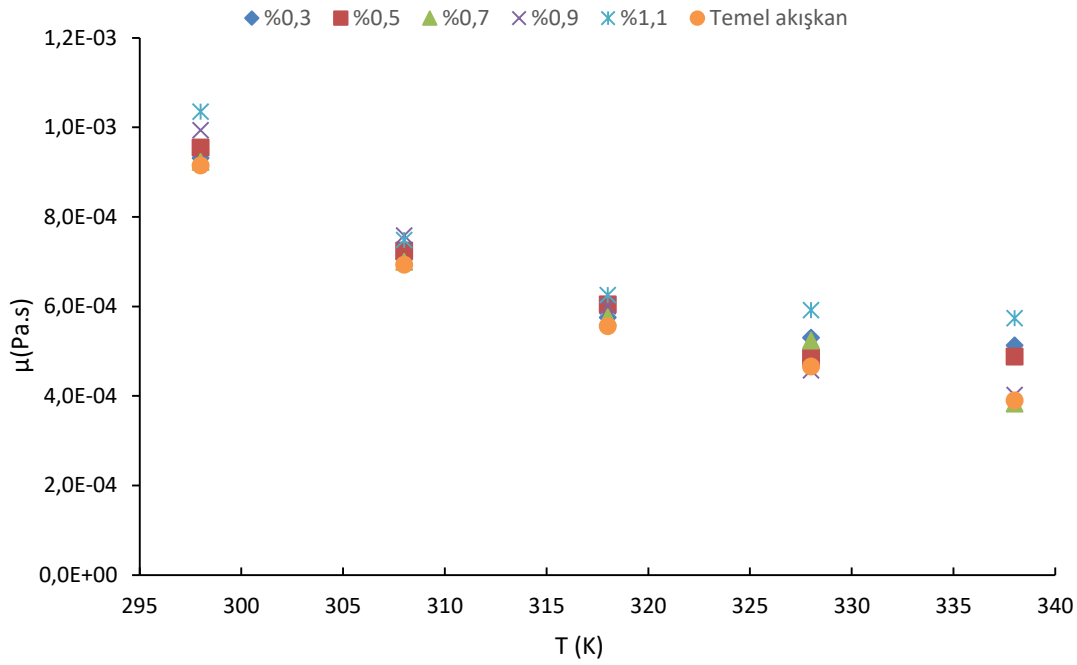
Şekil 4.42 : %0,8 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.

Şekil 4.43a-d'de sırasıyla %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 NP 10 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak sunulmuştur. Partikül konsantrasyonu arttıkça viskozite oranları genellikle artmaktadır; ancak bazı partikül konsantrasyonlarında düzensiz bir davranış görülmüştür. Bunun nedeni olarak aglomerasyon oluşumu düşünülmektedir. Aynı zamanda çalışılan tüm sürfaktan konsantrasyonları için yüksek sıcaklıktaki sapmalar hariç sıcaklık ile viskozite oranlarının büyük oranlarda değişmediği; fakat genellikle yüksek sıcaklıklarda elde edilen viskozite oranlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

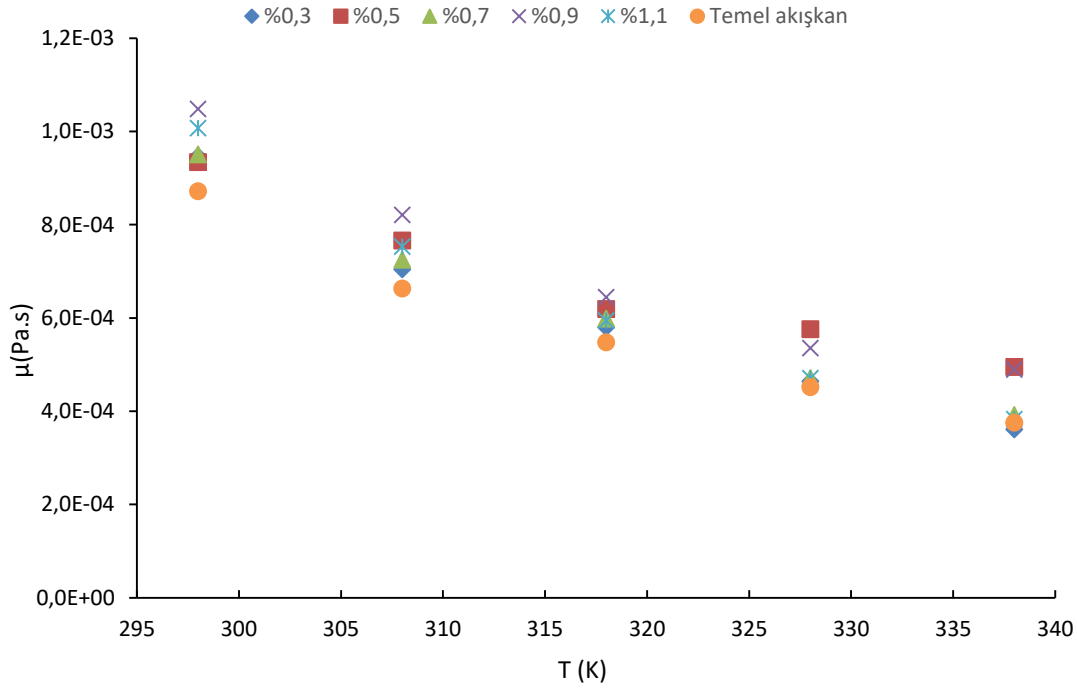


Şekil 4.43 : NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8.

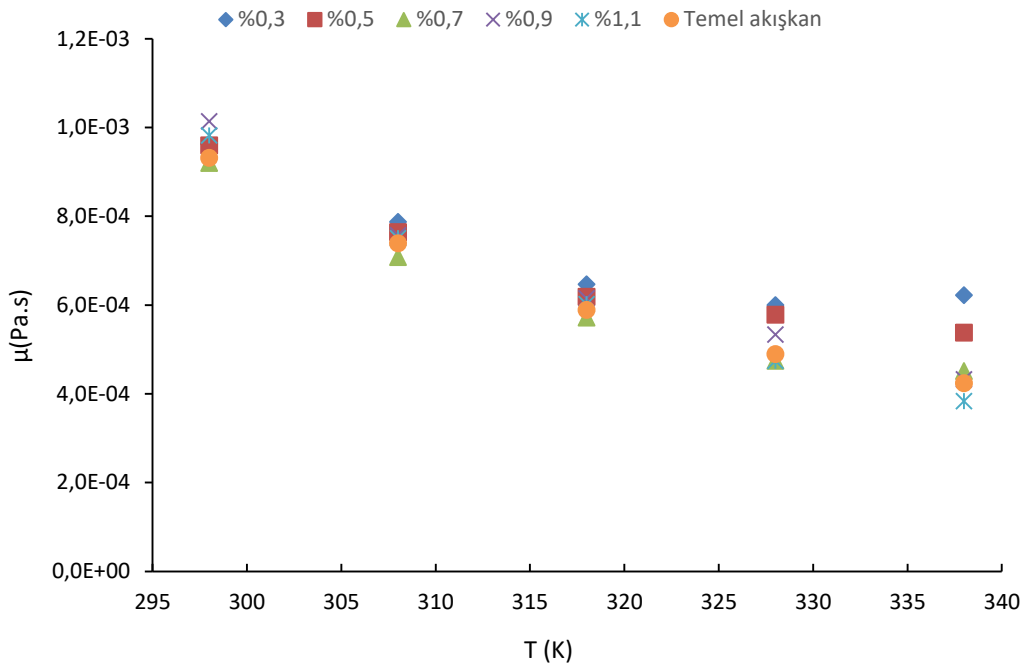
Şekil 4.38-4.41'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 Tween 80 sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozite değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir.



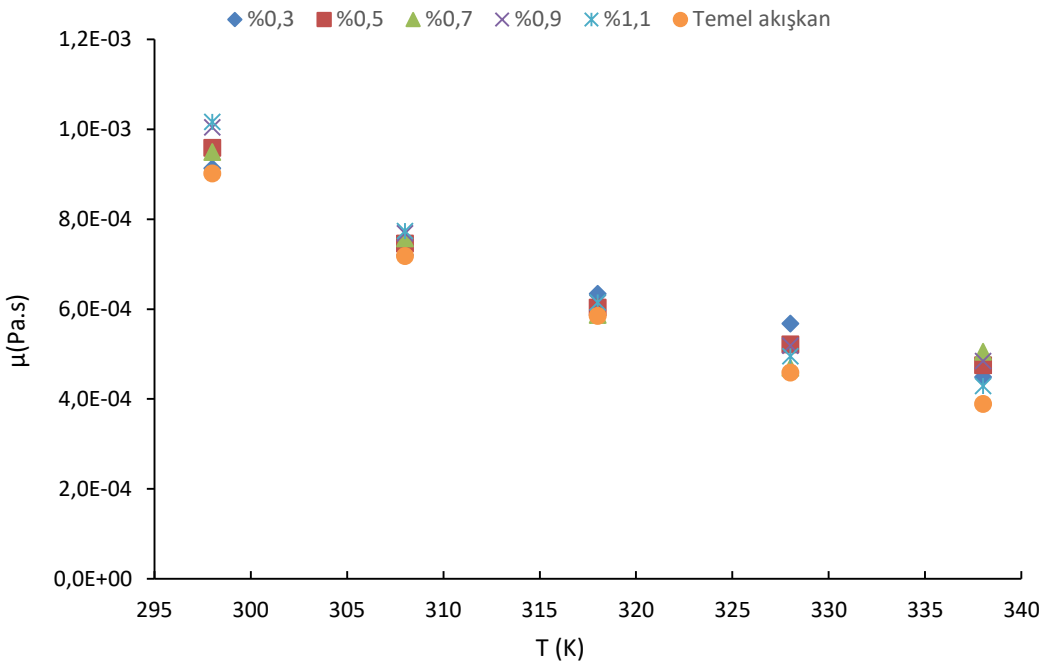
Şekil 4.44 : %0,2 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.45 : %0,4 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.46 : %0,6 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.47 : %0,8 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklık ile değişimi.

Şekil 4.48a-d'de sırasıyla %0,2, 0,4, 0,6 ve 0,8 Tween 80 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak sunulmuştur. Tween 80 ve NP 10 sürfaktanları benzer özellikler göstermektedir. Partikül konsantrasyonu arttıkça viskozite oranları genellikle

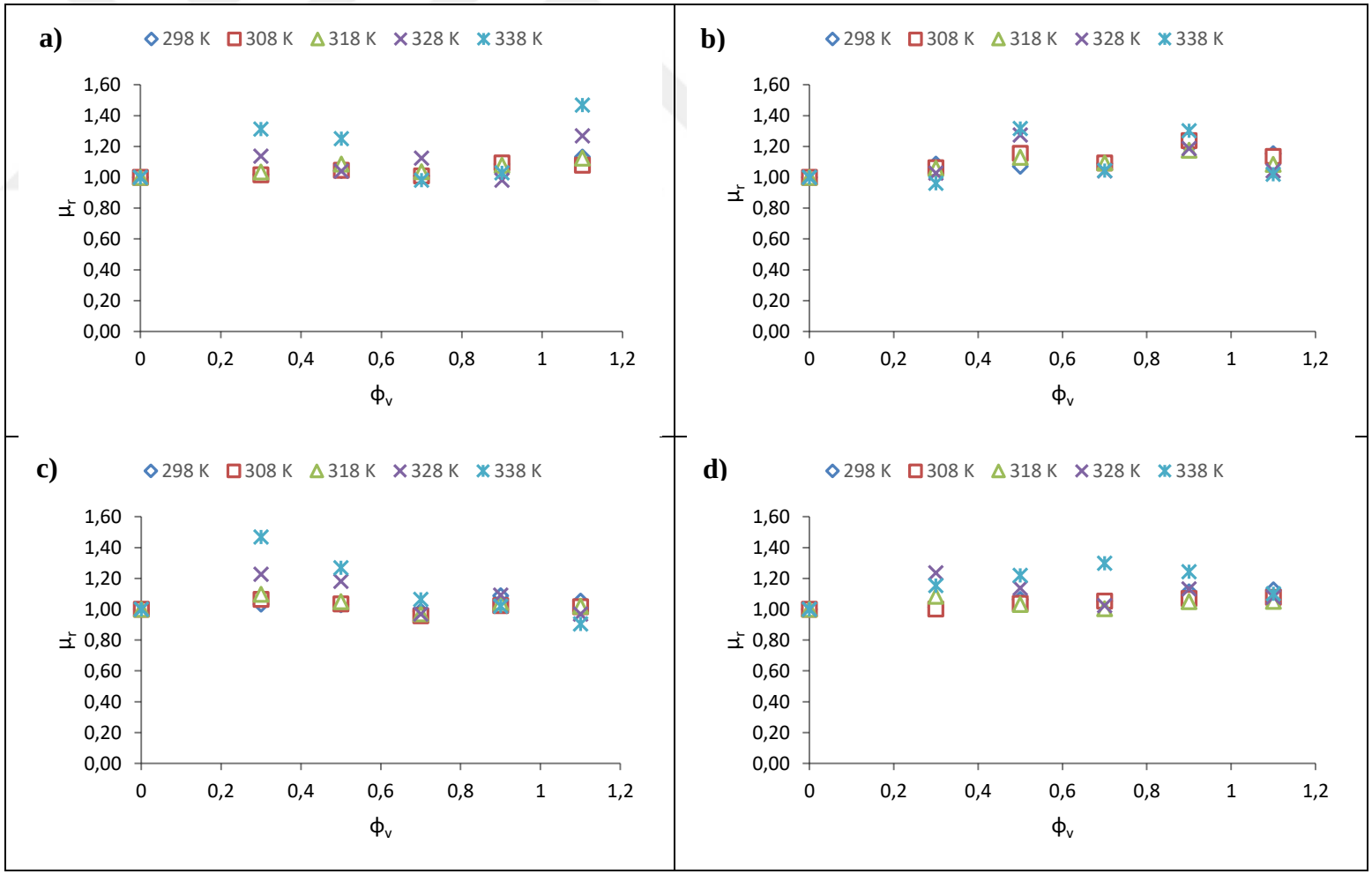
artmaktadır; ancak bazı partikül konsantrasyonlarında aglomerasyon oluştuğu düşünülmektedir. Ayrıca tüm sürfaktan konsantrasyonları için yüksek sıcaklıktaki sapmalar hariç sıcaklık ile viskozite oranlarının yüksek oranda değişmediği gözlemlenmiştir.

Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K-338 K sıcaklık aralığında viskozite oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimleri incelenmiştir. Şekil 4.49-4.50'de sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için en düşük ve en yüksek sıcaklıklarda (298 K ve 338 K) partikül miktarı ile viskozite oranlarının değişimi verilmiştir.

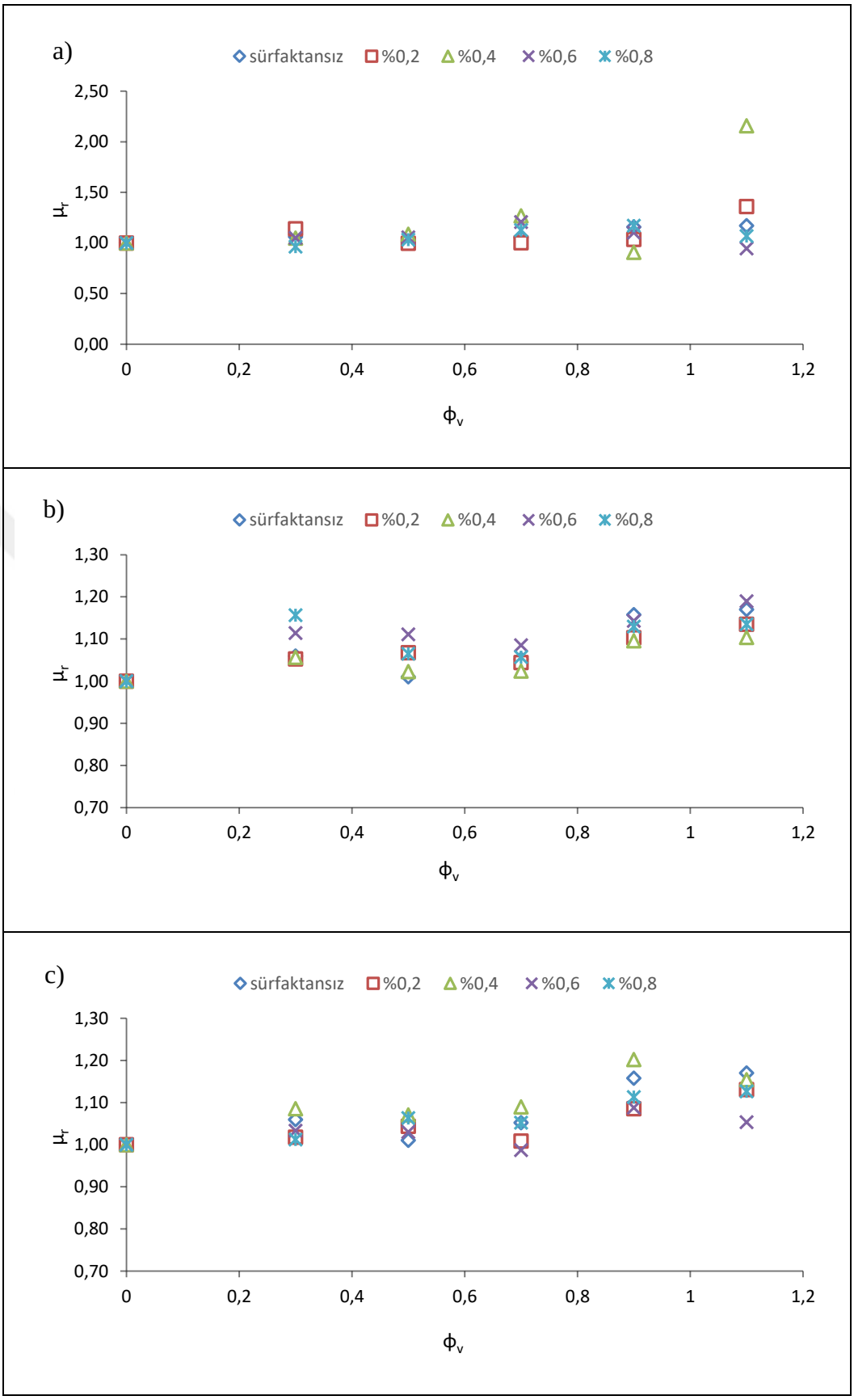
Şekil 4.49a'da farklı oranlarda SDS ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranlarının değişimlerinin her partikül konsantrasyonu için farklı olduğu görülmektedir ve en büyük değişim %1,1 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ve %0,4 SDS ile hazırlanan nanoakışkan ile gerçekleşmiştir. Şekil 4.49b-c NP 10 ve Tween 80 sürfaktanları ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir; fakat %0,4 NP 10 ile hazırlanan nanoakışkan viskozite oranları diğer konsantrasyonlardaki oranlara göre daha düşüktür. Buna karşın yüksek partikül oranlarında %0,6 Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranları diğer sürfaktan konsantrasyonlarında hazırlanan nanoakışkanlara göre daha azdır.

Şekil 4.50'de 338 K sıcaklıkta tüm sürfaktanlar ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite oran değişiminin 298 K sıcaklıkta elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğu ve en az değişimin Tween 80 sürfaktanı ile gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Her partikül konsantrasyonu için SDS ve Tween 80 ile hazırlananan nanoakışkanların en düşük viskozite oranlarının sürfaktan oranı ile değiştiği görülmektedir.

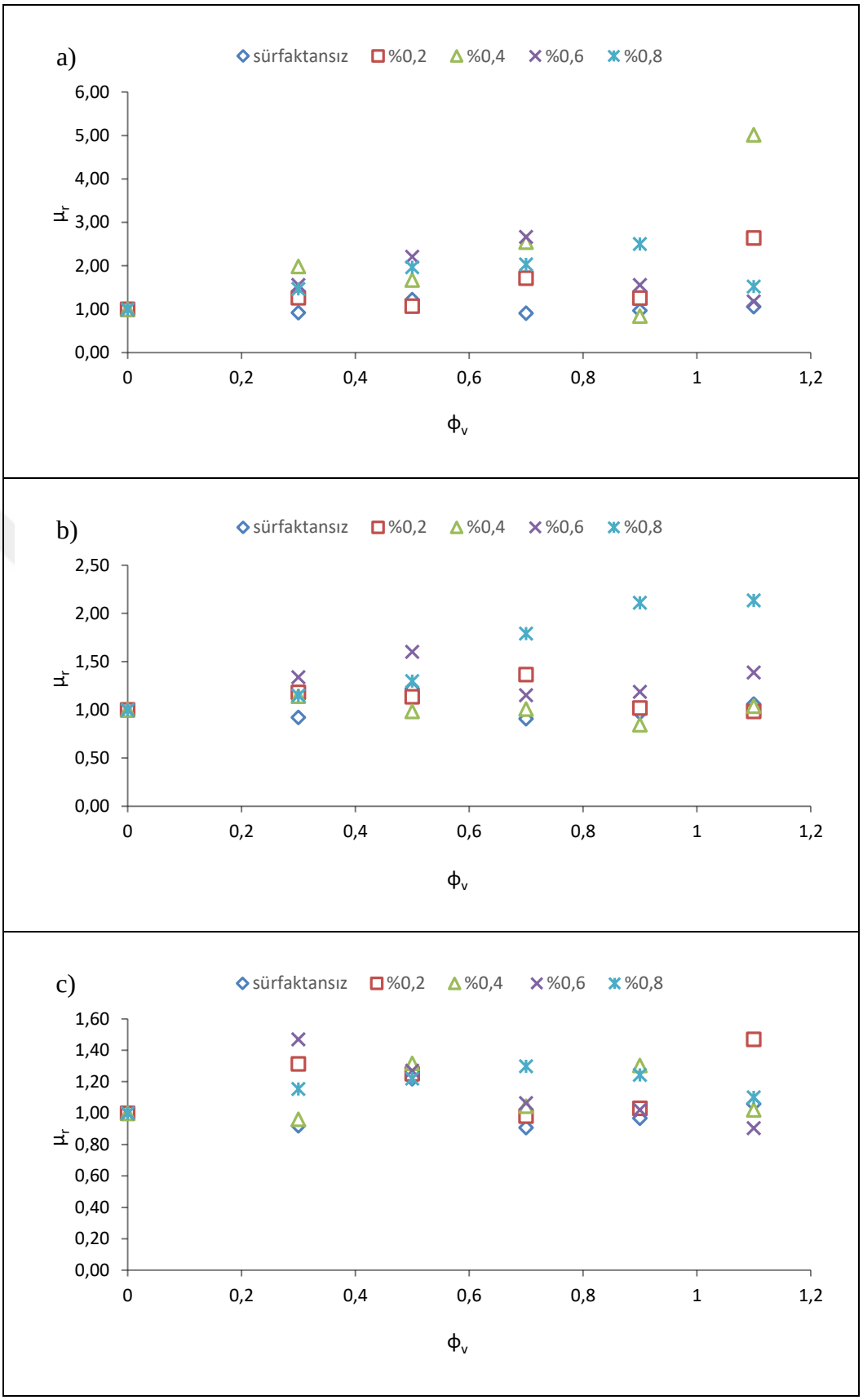
Aynı zamanda nanoakışkanların diğer sıcaklıklardaki (308 K, 318 K ve 328 K) viskozite oranları değişimlerine bakıldığında çalışılan tüm sıcaklıklarda en yüksek viskozite oranının %1,1 partikül konsantrasyonu ve 0,4 SDS ile hazırlanan nanoakışkan ile oluştuğu görülmüştür. Bunun yanı sıra 308 K, 318 K ve 328 K sıcaklıkta Tween 80 ve NP 10 ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranlarının her partikül konsantrasyonu için sürfaktan miktarı ile değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.48 : Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için viskozite oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8.



Şekil 4.49 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile viskozite oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80.



Şekil 4.50 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile viskozite oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80.

Bu kısımda sürfaktan cinsi ve konsantrasyonunun, sıcaklığın ve partikül konsantrasyonunun nanoakışkanların viskozite ve viskozite oranları üzerine etkisi incelenmiştir. Sürfaktan miktarları ile viskozite değerlerinin doğrusal olmayan şekilde değiştiği gözlemlenmiştir. Khairul ve diğ. tarafından yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar bulunmuştur. Buna göre nanoakışkanın viskozite değerinin, süspansiyonlardaki SDBS sürfaktanı konsantrasyonunun ağırlık fraksiyonuna bağlı olduğu ve SDBS ile nanoakışkan viskozitesinin düzensiz değiştiği görülmüştür. Ayrıca, nanoakışkanların stabilitesinin viskozite ile doğrudan bir ilişkiye sahip olduğunu ve nanopartiküllerin çökelmesinin hidrodinamik boyut, morfoloji ve ağırlık konsantrasyonunda değişikliklere dolayısıyla yüksek bir viskoziteye neden olacağını belirtmişlerdir [109]. Yapılan ölçümlerde SDS ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranları Tween 80 ve NP 10 ile hazırlanan nanoakışkanlara göre daha yüksek çıkmıştır. SDS ile hazırlanan nanoakışkanların viskozite oranı en yüksek 5 civarı iken NP 10 ve Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanların maksimum viskozite oranları sırası ile 2,1 ve 1,5 civarındadır. Bunun en önemli nedeni olarak SDS içeren nanoakışkanın kararsız olması düşünülmektedir. Zhai ve diğ. tarafından Al_2O_3-EG ile sürfaktan kullanılmadan ve SDS ve PVP sürfaktanları eklenerek hazırlanan nanoakışkanların kararlılığı analiz edilmiştir. Bu çalışmaya göre SDS ile hazırlanan nanoakışkanın kararsız olduğu ve viskozitesinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklıkta daha yüksek viskozite oranının elde edileceğini çünkü sıcaklık arttıkça, hidrojen bağı ağının viskoziteye katkısının azalsa da, viskoz yayılımın baskın olduğu ifade edilmiştir [36]. Aynı zamanda özellikle sürfaktanlar kullanılmadığında parçacık-parçacık etkileşimleri ve dolayısıyla parçacık yapıları sıcaklıktan etkilenmektedir. Yüksek viskozite oranları, sıcaklık değiştiğinde temel akışkanın farklı parçacık yapıları ile etkileşimi arasındaki farktan kaynaklanabilir. Sürfaktan kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlarda yüksek sıcaklıklarda sürfaktanlar aglomerasyon oluşumunu engelleyemeyebilir. Bu durum da yüksek sıcaklıklarda viskozitenin artmasına sebep olabilir [80]. Sıcaklık ve katı konsantrasyonu nanoakışkanın viskozitesini etkileyen önemli iki faktör olarak bilinmektedir [110]. Buna karşın literatürde sıcaklığın viskozite oranı üzerine etkisi hakkında tartışmalı sonuçlar bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar tarafından viskozite oranının sıcaklıktan bağımsız olduğu ileri sürülmüştür [111-113]. Bu durumun aşağıdaki nedenlerden kaynaklı olabileceği iddia edilmiştir [80].

I. Farklı sıcaklıklarda konveksiyon ile karşılaştırıldığında Brownian hareketin ihmal edilebilir olması.

II. Nanoakışkan ve temel akışkanın viskoziteleri, sıcaklıkla aynı ölçüde azalır. Parçacık etkileşimleri olmadığında, daha yüksek sıcaklıktaki nanoakışkanın, düşük viskoziteli bir sıvıdaki nanopartiküllerin bir dağılımı olduğu varsayılabilir (sıvıların viskozitesi sıcaklıkla azalır). Dolayısıyla, viskozite oranları sıcaklıktan değil, sadece parçacık konsantrasyonundan etkilenecektir.

III. Agregasyon oluşumu özellikle yüksek mutlak zeta potansiyeline sahip olan nanoakışkanlarda sıcaklıktan bağımsızdır. Bu yüzden ortam sıcaklığındaki agregasyon durumu daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklarda sürebileceği varsayılabilir.

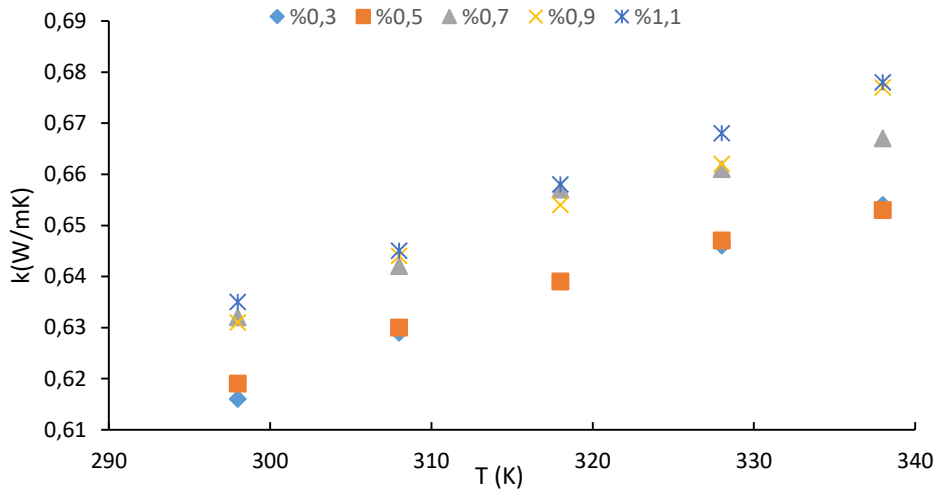
Sıcaklık arttıkça viskozite oranlarının azaldığını içeren çalışmalar da bulunmaktadır [114,115].

Nanoakışkanların viskozite davranışları karmaşıktır. Yapılan bir çalışmada, konsantrasyon ile viskozite oranı artışının genellikle nanometrik boyut dağılımları için bulunduğundan hacim fraksiyonuna klasik bağımlılığını izlemediği öne sürülmüştür. Bu durumda, deneysel viskozite eğilimini tahmin etmek için parçacık boyutu ve kümelenme oluşumu ile parçacık boyutu dağılımını açıklayan iki farklı teori uygulanmaktadır. Bu iki teorinin, nanoakışkanların viskozite davranışını test edilen teoriler çerçevesinde açıklayamayacağı ve bu süspansiyonda ek mikroskopik etkilerin varlığı göz önünde bulundurularak tamamlanması gerektiği vurgulanmıştır [116].

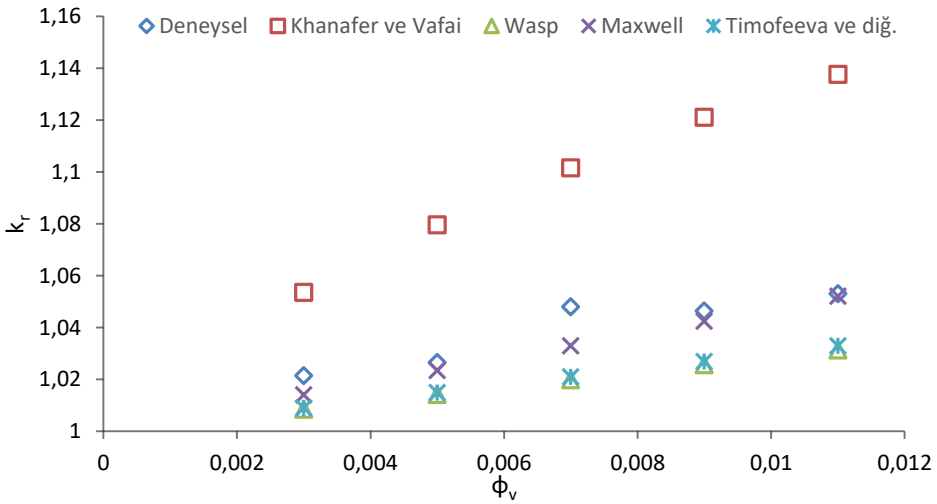
4.2.3 Termal iletkenlik ölçümleri

Şekil 4.51'de sürfaktan kullanılmadan farklı Al_2O_3 partikül hacim oranlarında hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerleri sıcaklığa karşı grafik olarak sunulmuştur. Şekil 4.51'de sıcaklık ve katı partikül miktarının artması ile termal iletkenlik katsayısının arttığı görülmektedir. Grafiğe bakıldığında tüm sıcaklıklar için en yüksek termal iletkenlik hacimce %1,1 Al_2O_3 ile hazırlanan nanoakışkan ile elde edilmiştir; fakat hacimce %0,7 ve %0,9 Al_2O_3 ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Aynı konsantrasyonlarda hazırlanan nanoakışkanların sıcaklık arttıkça termal iletkenlik değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Nanoakışkanın termal iletkenliğinin temel akışkanın termal iletkenliğine oranı, k_r, bu tez kapsamında termal iletkenlik oranı olarak adlandırılacaktır. Şekil 4.52'de sürfaktan kullanılmadan su ile hazırlanan nanoakışkanlarda farklı Al_2O_3 partikül oranları için deneysel termal iletkenlik oran değerleri ile teorik modeller yardımıyla elde edilen termal iletkenlik oran değerleri karşılaştırılmıştır. Teorik modellerden Maxwell denklemi yardımıyla elde edilen veriler ile deneysel sonuçların büyük oranda eşleştiği gözlemlenmiştir [49,59,61,77]; ancak Khanafer ve Vafai tarafından önerilen modelden büyük oranda farklıdır. Partikül hacim oranı %0,3-1,1 aralığında değiştirildiğinde sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranı %0,31-5 aralığında değişmektedir.

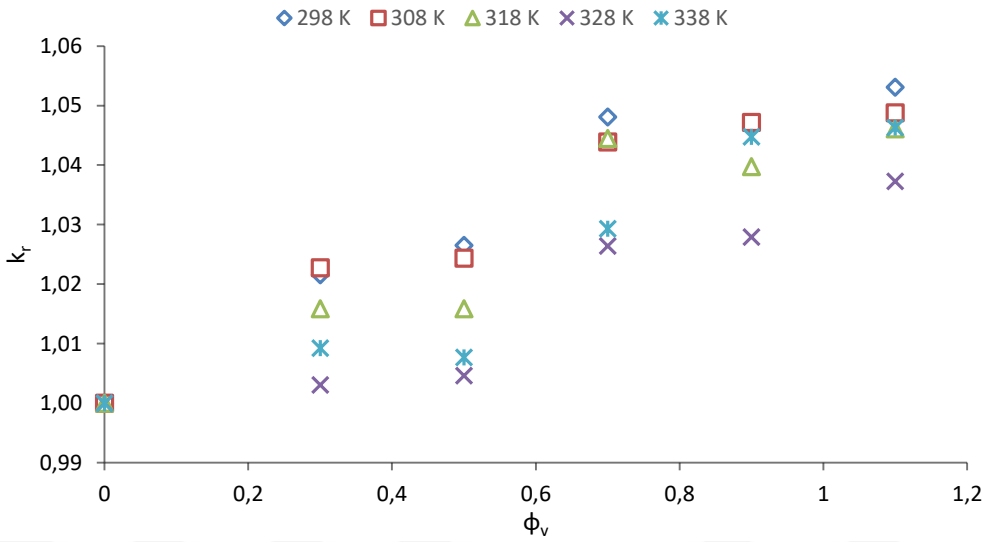


Şekil 4.51 : Farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.52 : 25 °C sıcaklıkta ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için elde edilen teorik modeller ile deneysel termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.53'te farklı sıcaklıklarda sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi verilmiştir. Termal iletkenlik oranı partikül konsantrasyonu ile doğrusal olmayan şekilde değişmektedir. Sıcaklığın artması ile termal iletkenlik oranlarının azaldığı görülmektedir. Grafiğe bakıldığında bir önceki partikül konsantrasyonuna göre en yüksek artış %0,7 partikül konsantrasyonu ile gerçekleşmiştir. En yüksek termal iletkenlik oranı 1,053 olarak 298 K sıcaklıkta %1,1 partikül konsantrasyonu ile elde edilmiştir.

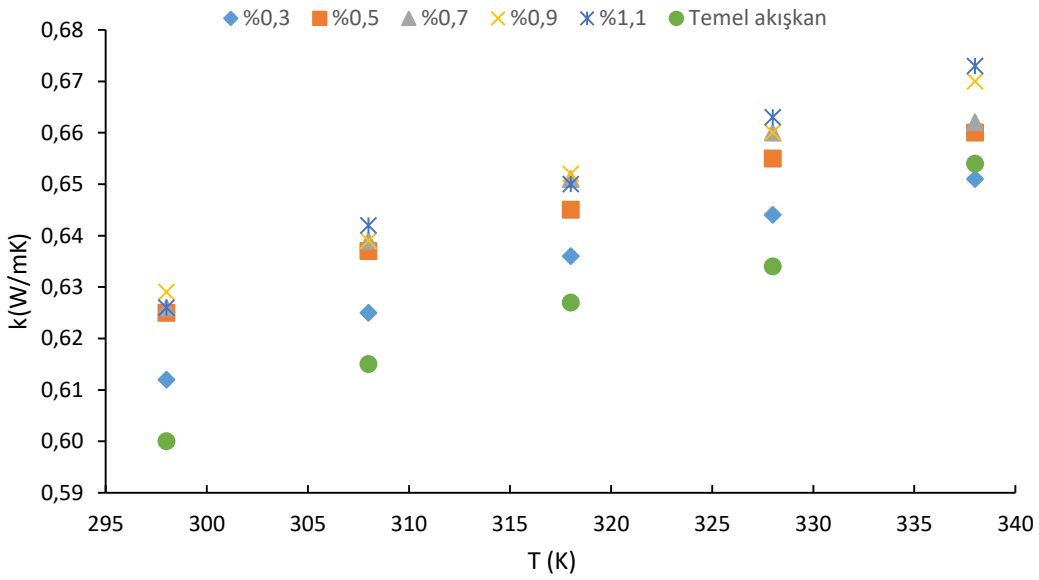


Şekil 4.53 : Farklı sıcaklıklarda ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimi.

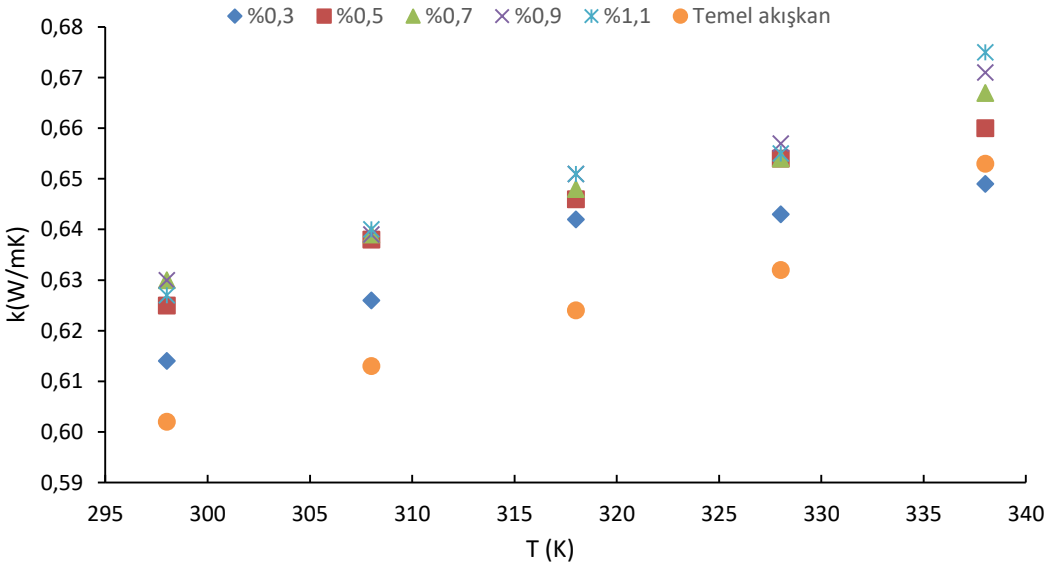
Şekil 4.54-4.57'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 SDS sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Sıcaklık ve partikül miktarı arttıkça termal iletkenlik değerleri artmaktadır. SDS ile hazırlanan nanoakışkanların genellikle yüksek konsantrasyonlardaki termal iletkenlik değerlerinin birbirlerine yaklaşma eğilimi gözlemlenmiştir.

SDS sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak Şekil 4.58'de verilmiştir. Termal iletkenlik oranı, partikül konsantrasyonu ile artma eğilimi göstermektedir. Nanoakışkanların termal iletkenlik oranı sıcaklık ile düzensiz değişmektedir. Kütlece %0,2 ve %0,4 SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için sıcaklık artışı ile termal iletkenlik oranının azaldığı, en düşük termal iletkenlik oranının 338 K sıcaklıkta elde edildiği görülmüştür. Bu davranış sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkan davranışına benzerdir; ancak diğer sürfaktan oranları için düzensiz bir değişim

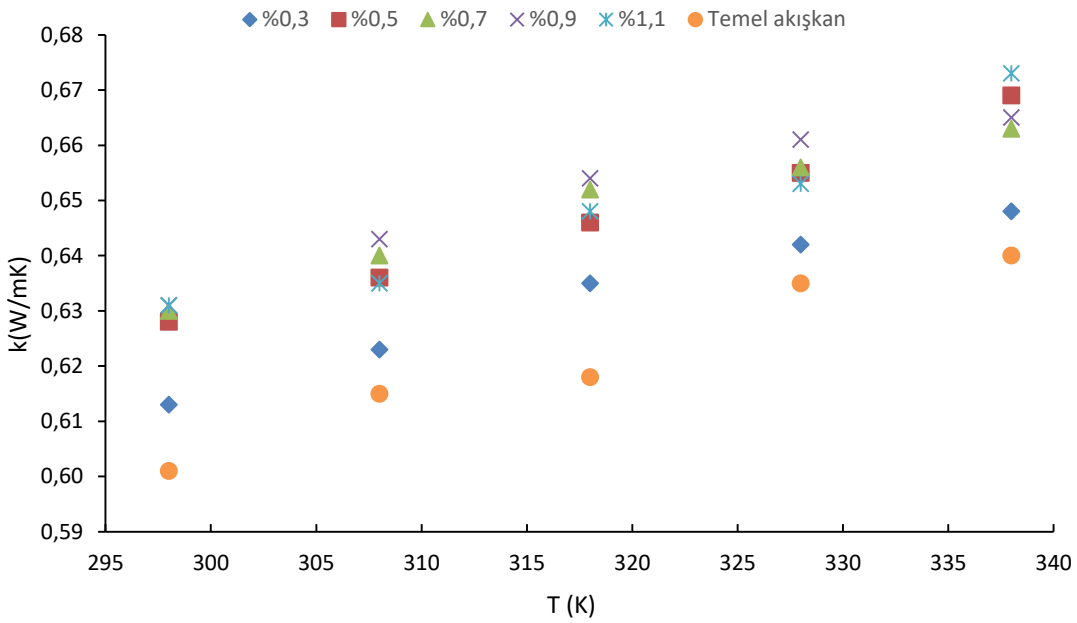
görülmektedir. Düşük sürfaktan konsantrasyonlarında termal iletkenlik katsayısı üzerine sıcaklığın etkisi belirgin olmasına rağmen yüksek konsantrasyonlarda sıcaklığın etkisi değişmektedir. Bu sıcaklık ve dispersiyon derecesinin etkinliğinin baskınlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. %0,6 ve 0,8 SDS kullanılan nanoakışkanların ısı iletim katsayılarındaki davranışın sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanlardan farklı olmasının sürfaktan etkisinden nanoakışkanın dispersiyon durumu ve aglomerizasyon oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat, bu çalışmada kantitatif analiz ile bu oluşum gösterilememiştir.



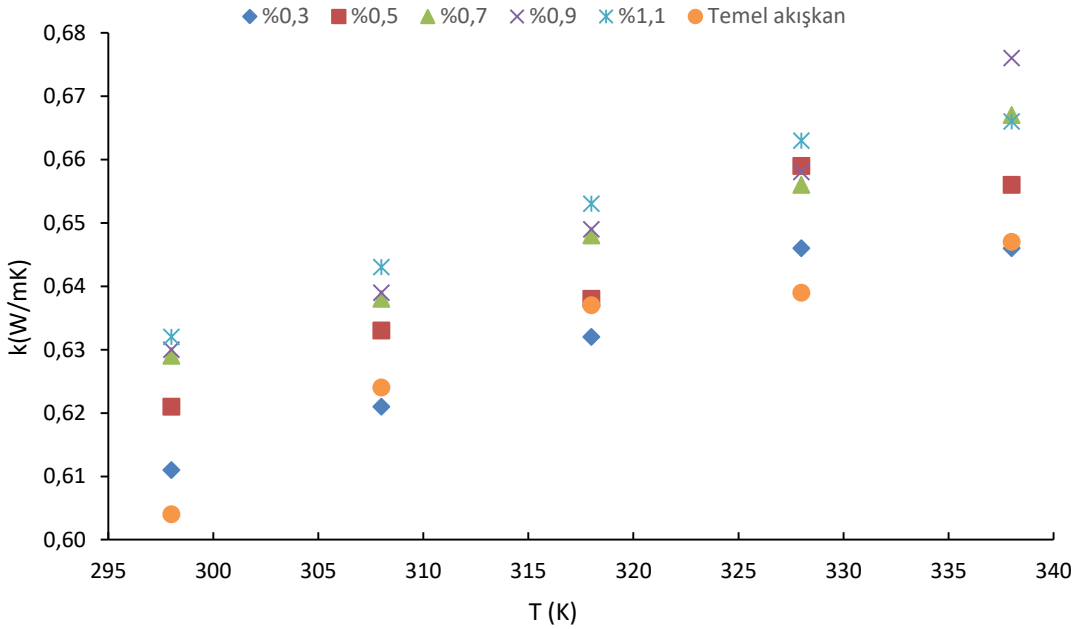
Şekil 4.54 : %0,2 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.55 : %0,4 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

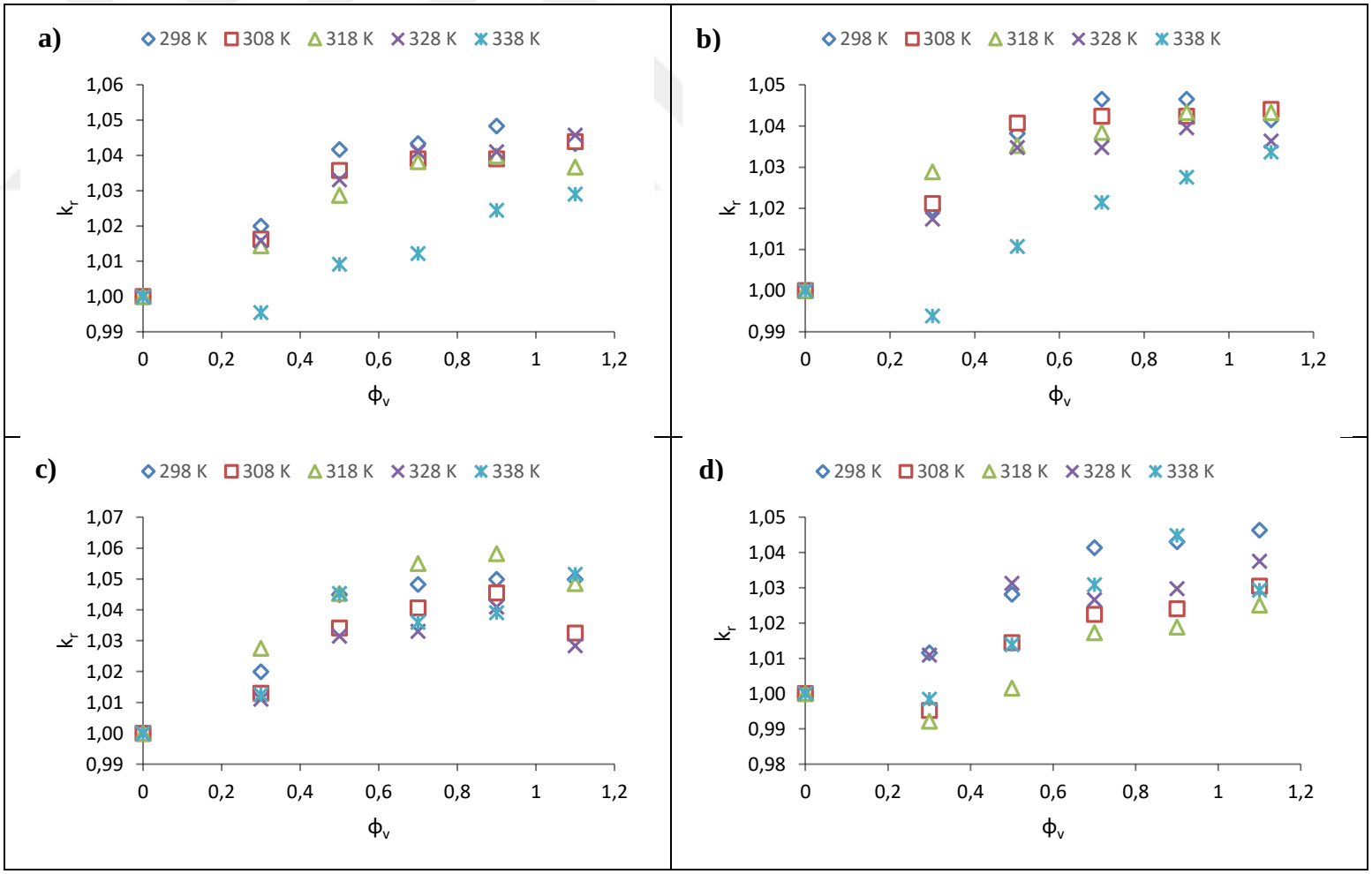


Şekil 4.56 : %0,6 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



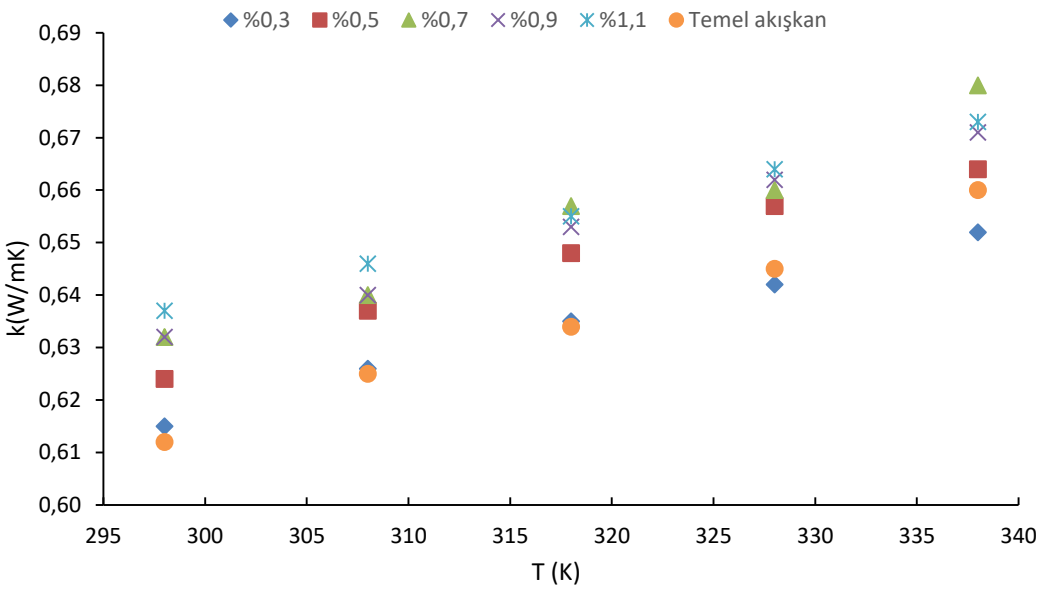
Şekil 4.57 : %0,8 SDS ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

En yüksek termal iletkenlik oranı yaklaşık 1,058 olarak %0,6 SDS ve %0,9 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ile hazırlanan nanoakışkan ile 318 K sıcaklıkta elde edilmiştir.

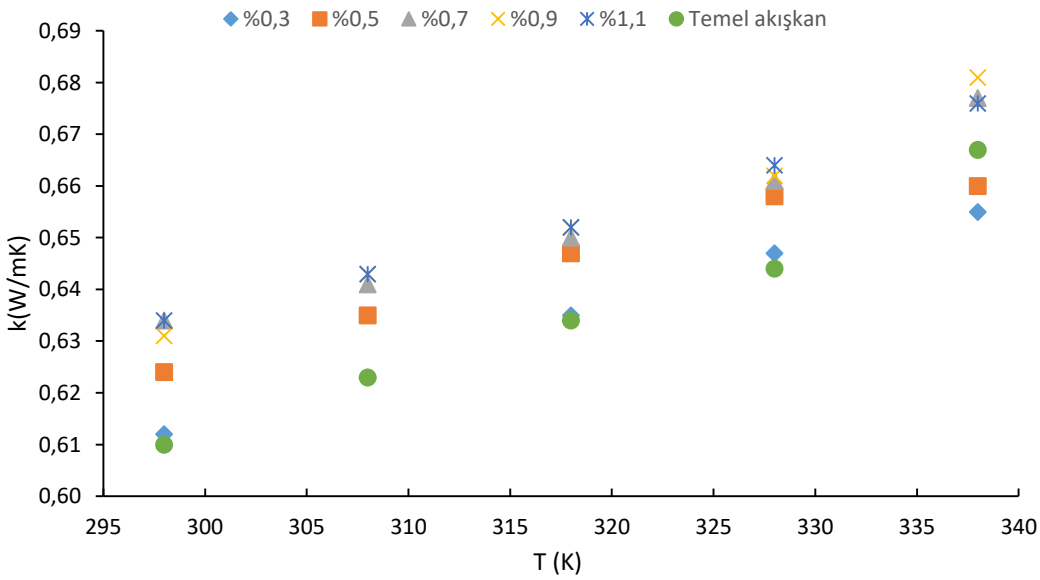


Şekil 4.58 : SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8.

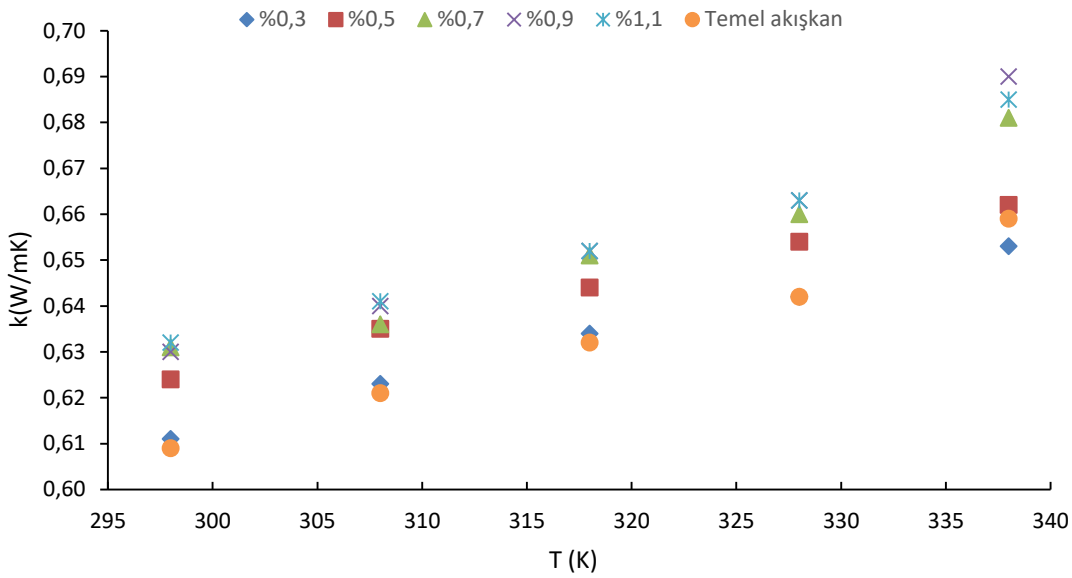
Şekil 4.59-4.62'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 NP 10 sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Çalışılan tüm NP 10 konsantrasyonlarında termal iletkenlik değerleri sıcaklık ile artarken, partikül konsantrasyonu ile doğrusal olmayan bir şekilde arttığı görülmektedir. Bazı partikül konsantrasyonlarında elde edilen değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.



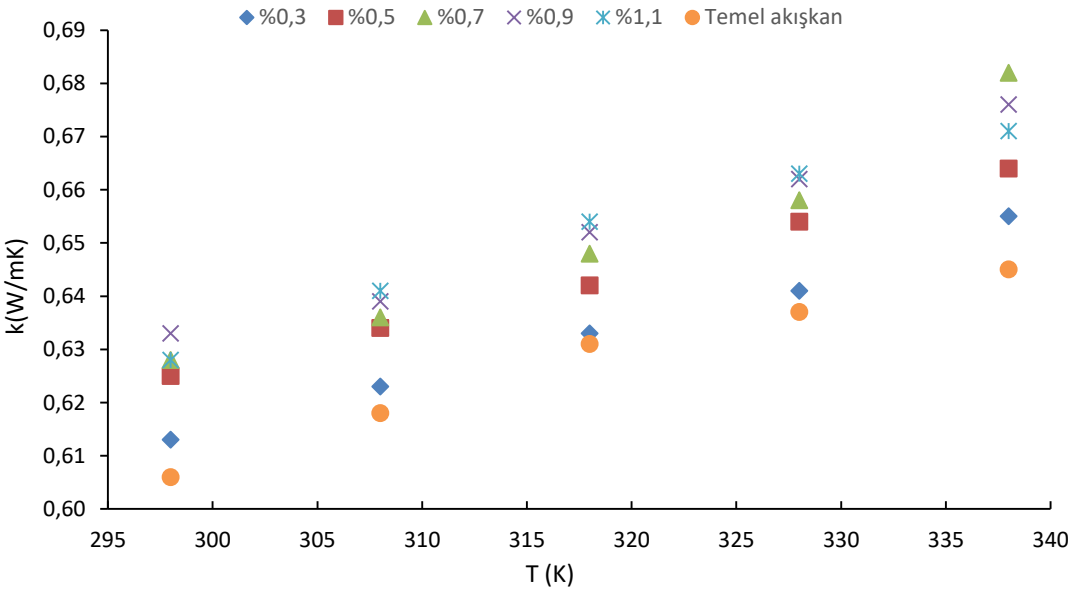
Şekil 4.59 : %0,2 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.60 : %0,4 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

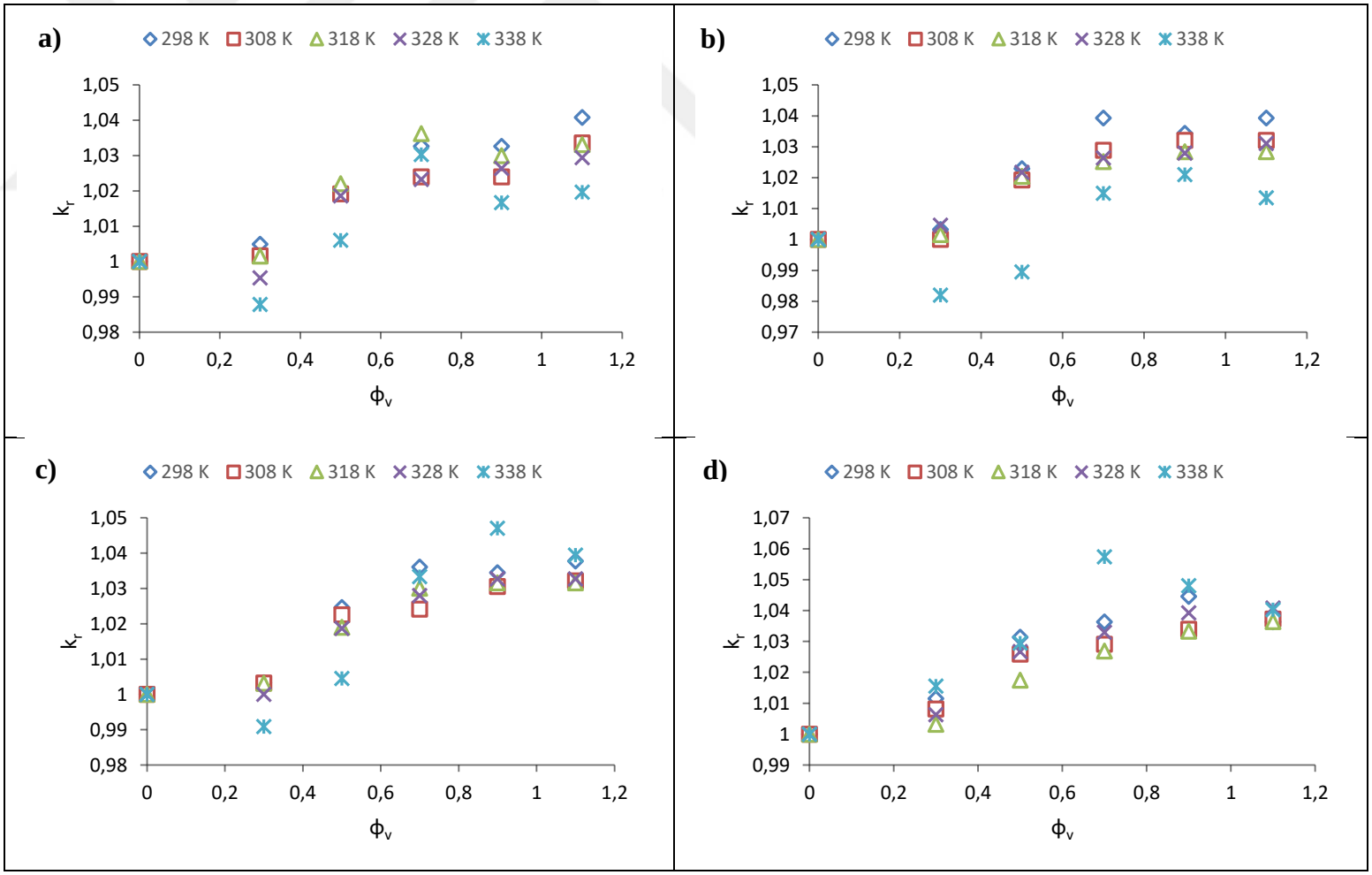


Şekil 4.61 : %0,6 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



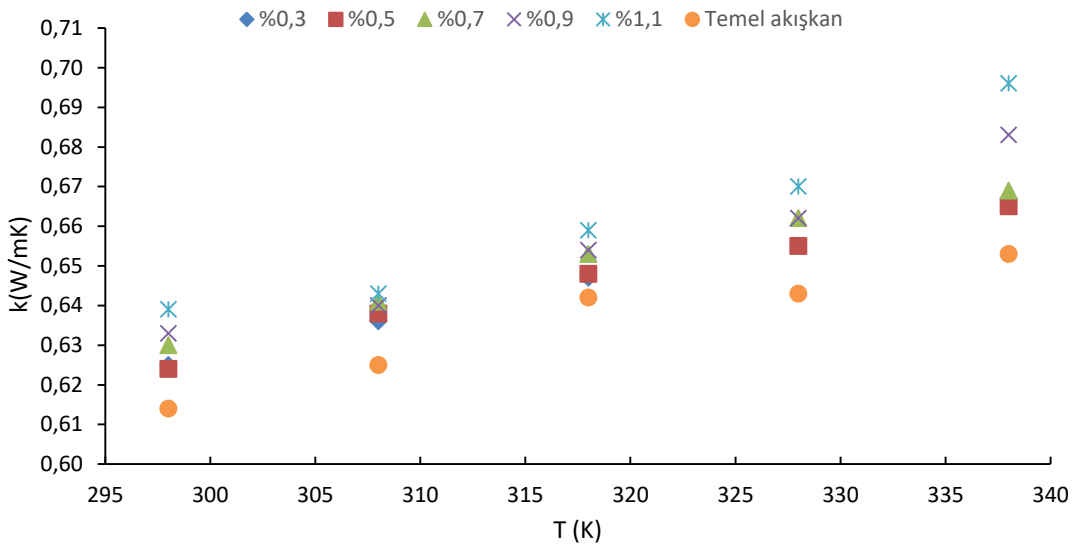
Şekil 4.62 : %0,8 NP 10 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

NP 10 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak Şekil 4.63'te verilmiştir. Termal iletkenlik oranı, bazı konsantrasyon değerlerindeki sapmalar haricinde genel olarak partikül konsantrasyonu ile artma eğilimi göstermektedir. Nanoakışkanların termal iletkenlik oranı sıcaklık ile düzensiz değişmektedir. En yüksek termal iletkenlik oranı yaklaşık 1,057 olarak %0,8 NP 10 ve %0,7 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ile hazırlanan nanoakışkan ile 338 K sıcaklıkta elde edilmiştir.

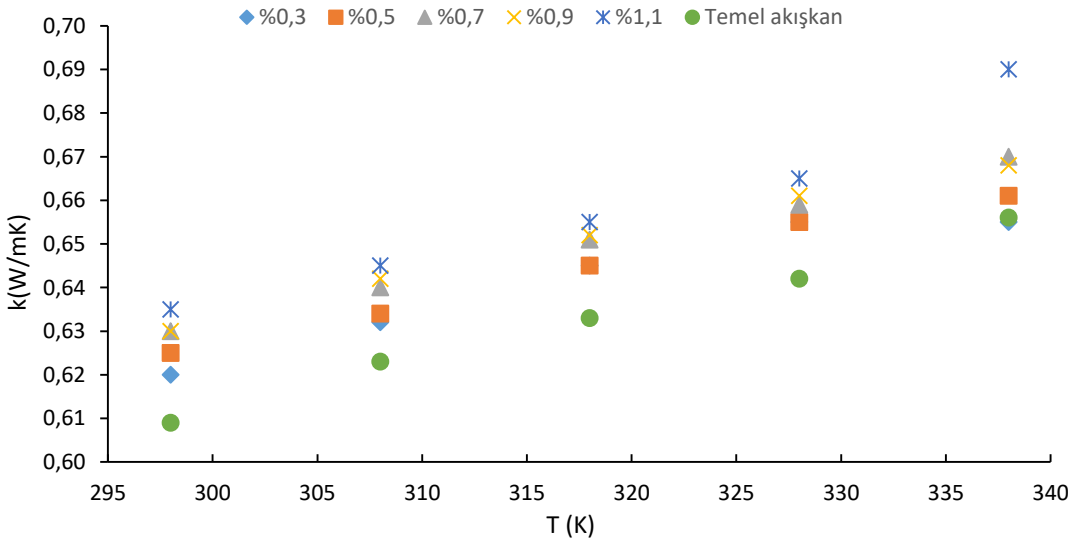


Şekil 4.63 : NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8.

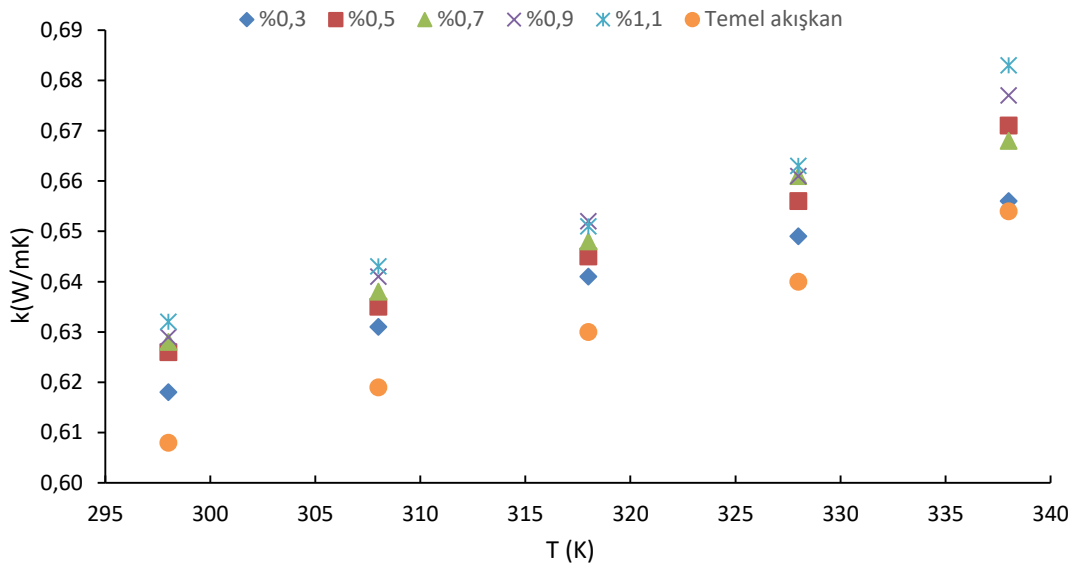
Şekil 4.64-4.67'de farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve sırasıyla kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 Tween 80 sürfaktanı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Tüm konsantrasyonlarda sıcaklık ile termal iletkenlik artmaktadır. Bu yönden temel akışkan davranışına benzer bir davranış göstermektedir. Bazı sapmalar haricinde partikül konsantrasyonu arttıkça termal iletkenlik değerleri artmaktadır; ancak farklı partikül konsantrasyonlarında hazırlanan nanoakışkanların bazı sıcaklıklardaki termal iletkenlik değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.



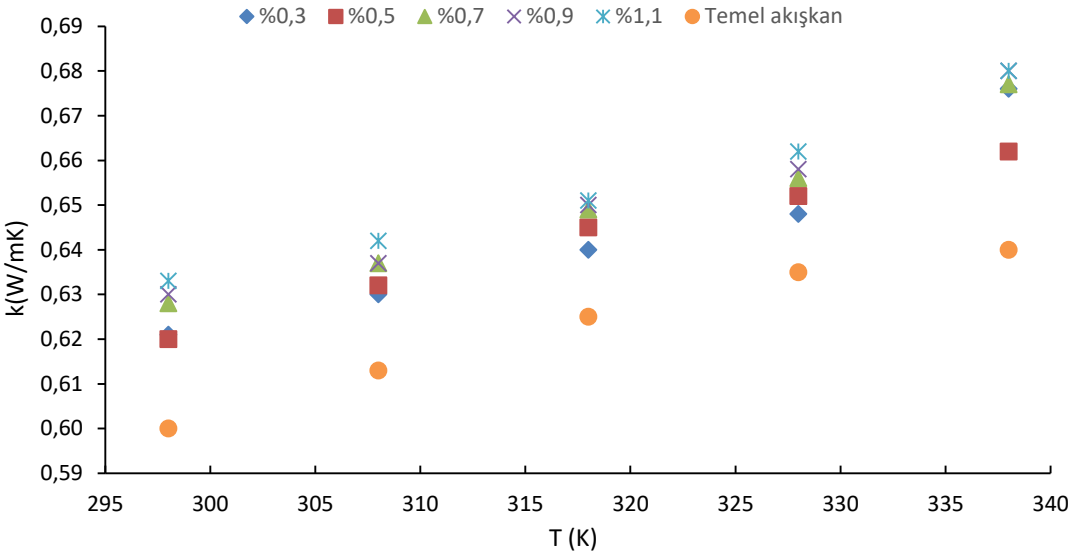
Şekil 4.64 : %0,2 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.65 : %0,4 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

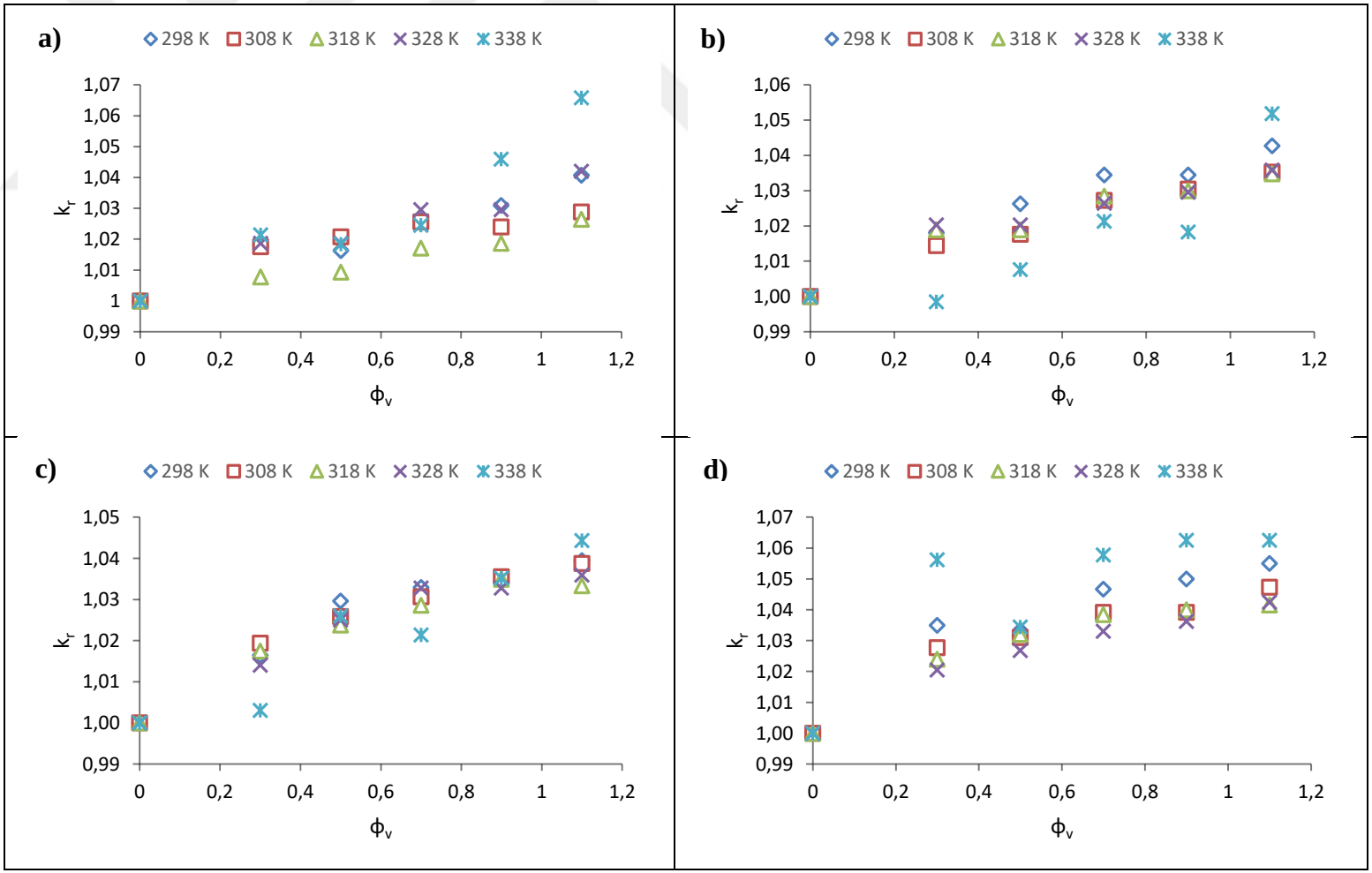


Şekil 4.66 : %0,6 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil 4.67 : %0,8 Tween 80 ve farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

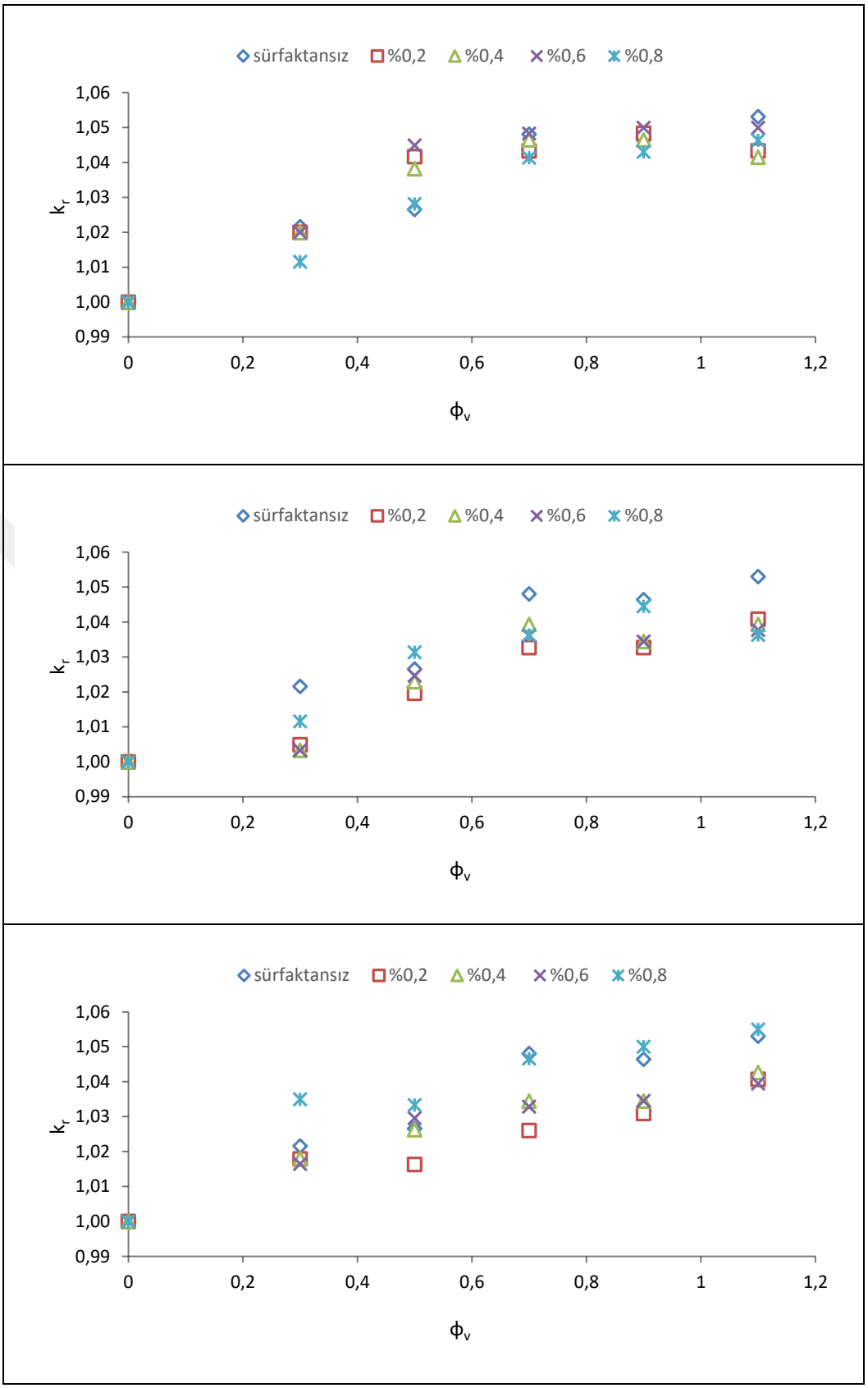
Tween 80 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranları katı partikül hacim yüzdelerine karşı grafik olarak Şekil 4.68'de verilmiştir. Termal iletkenlik oranı, bazı konsantrasyon değerlerindeki sapmalar haricinde genel olarak partikül konsantrasyonu ile artma eğilimi göstermektedir. Nanoakışkanların termal iletkenlik oranı sıcaklık ile düzensiz değişmektedir. %0,2 Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın en düşük değeri 318 K sıcaklıkta ölçülmüştür. En yüksek termal iletkenlik oranı yaklaşık 1,066 olarak, %0,2 Tween 80 ve %1,1 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ile hazırlanan nanoakışkan ile 338 K sıcaklıkta elde edilmiştir.



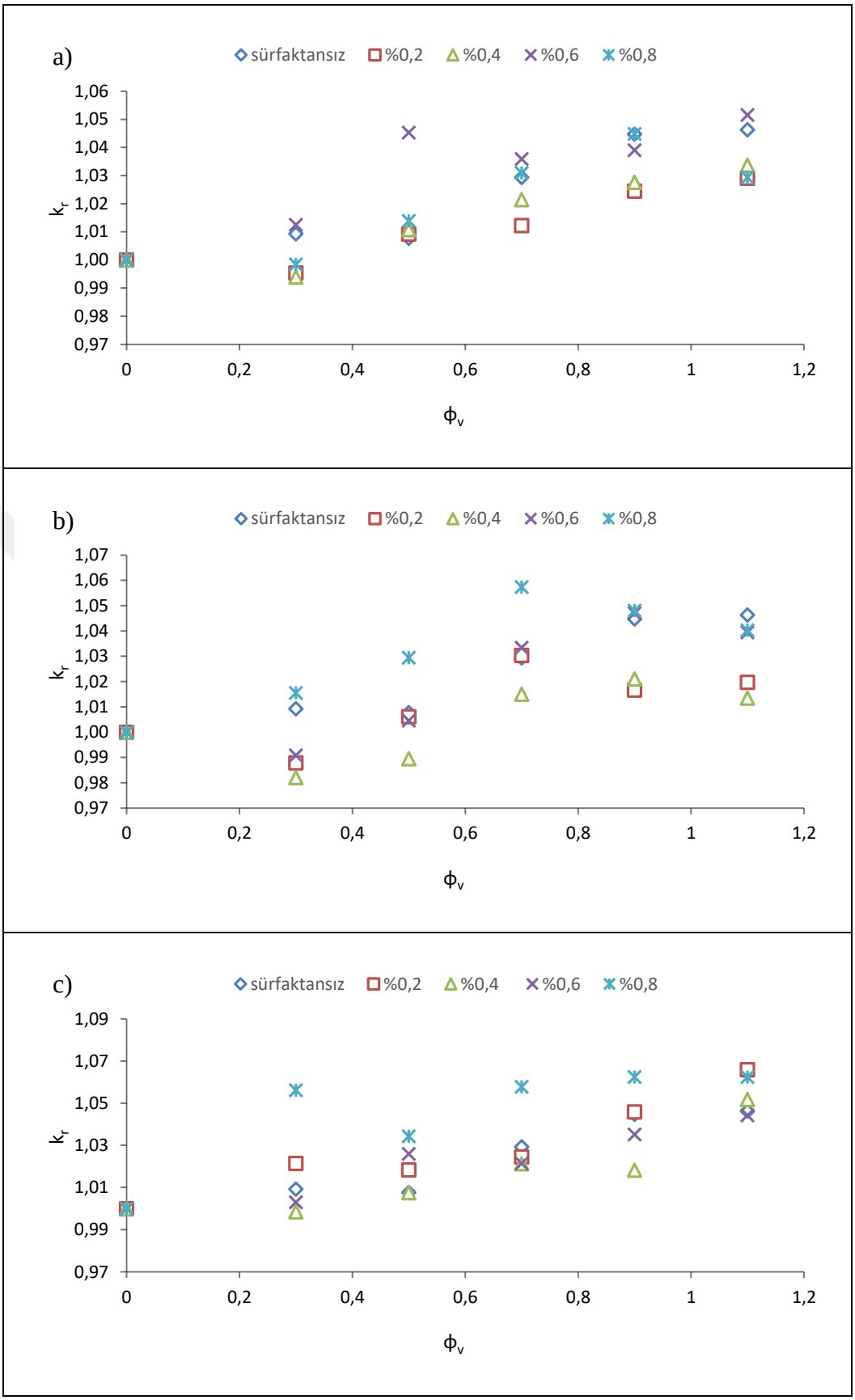
Şekil 4.68 : Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için termal iletkenlik oranlarının partikül miktarı ile değişimi. a) %0.2, b) %0.4 c) %0,6 d) %0,8.

Sürfaktan kullanılmadan ve farklı sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298-338 K sıcaklık aralığında termal iletkenlik oranlarının partikül konsantrasyonu ile değişimleri incelenmiş olup, Şekil 4.69-4.70'de en düşük ve en yüksek sıcaklıklarda (298 K ve 338 K) partikül miktarı ile termal iletkenlik oranlarının değişimi verilmiştir. Şekil 4.69a-b'de farklı sürfaktan oranlarında hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranlarının partikül konsantrasyonu ile değiştiği görülmektedir; ancak en yüksek değişim %1,1 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ve sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkan ile gerçekleşmiştir. Sürfaktan kullanılan nanoakışkanların termal iletkenlik oranları, sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanlarınkine yakın ya da daha azdır. Bu ısı transferi açısından bir dezavantaj olarak görülebilir; ancak NP 10 ve Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanların, sürfaktansız nanoakışkanlara göre kararlılık süresinin fazla olmasının uzun süreli kullanımda avantaj getireceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra Şekil 4.69c'de %1,1 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ve %0,8 Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanın termal iletkenlik oranı daha yüksek elde edilmiştir. Farklı oranlarda SDS ve NP 10 ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Her partikül konsantrasyonu için optimum sürfaktan oranı farklılık gösterebilmektedir. Şekil 4.70'de 338 K sıcaklıkta tüm sürfaktanlar ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oran değişiminin Şekil 4.69'dan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklıktaki bazı termal iletkenlik oranlarının 1'in altına düştüğü görülmektedir. 338 K sıcaklıkta genellikle sürfaktan konsantrasyonu fazla olan nanoakışkanlar daha yüksek termal iletkenlik oranına sahiptir; fakat en yüksek değer %1,1 Al_2O_3 partikül konsantrasyonu ve %0,2 Tween 80 içeren nanoakışkan ile sağlanmıştır.

Nanoakışkanların diğer sıcaklıklardaki (308 K, 318 K ve 328 K) termal iletkenlik oranları değişimleri de incelenmiştir. SDS ile hazırlanan nanoakışkanların bu sıcaklıklardaki termal iletkenlik oranı da sürfaktan oranı ile düzensiz değişmektedir. SDS ile hazırlanan nanoakışkanlar içerisinde en yüksek değer %0,6 sürfaktan ve %0,9 partikül konsantrasyonuna sahip nanoakışkan ile 318 K sıcaklıkta bulunmuştur. NP 10 ile hazırlanan nanoakışkanların yüksek sıcaklıkta en yüksek oran değerleri %0,8 sürfaktan miktarı ile olurken düşük sıcaklıkta sürfaktansız hazırlanan nanoakışkanların değerlerinin genellikle daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerine göre 308 K, 318 K ve 328 K sıcaklıktaki optimum sürfaktan değeri genellikle %0,8 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.69 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 298 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile termal iletkenlik oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80.



Şekil 4.70 : Sürfaktan kullanılmadan ve farklı oranlarda sürfaktanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların 338 K sıcaklıkta partikül konsantrasyonu ile termal iletkenlik oranlarının değişimi a) SDS b) NP 10 c) Tween 80.

Nanaoakışkanların termal iletkenliği partikül materyali, partikül hacim fraksiyonu, partikül dispersiyon derecesi, partikül boyutu ve şekli, temel akışkan tipi, sıcaklık ve pH gibi faktörlere bağlıdır. Nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerindeki artış nedenlerinin aşağıdaki mekanizmalar ile ilgili olduğu belirtilmiştir [79].

- Brownian hareketlerin indüklediği mikro karıştırma.
- Partikül yüzeyinde bulunan molekül tabakası ile sıvının ısıl direncinin azalması.
- Metalik nanopartiküllerin yüksek ısı iletimi.
- İletim yolunun nanopartikül şekil fonksiyonu olarak tercih edilebilmesi.
- Nanopartikül gruplarından dolayı artan iletim.

Bu çalışmada sürfaktan cinsi ve konsantrasyonunun, partikül konsantrasyonu ve sıcaklığın nanoakışkanların termal iletkenlik ve termal iletkenlik oranları üzerine etkisi incelenmiştir. Tüm deneylerde aynı partikül türü ve temel akışkan ile farklı sürfaktan oranları kullanılmıştır.

Bu çalışma ile farklı sürfaktanların, nanoakışkanın termal iletkenliği üzerine etkilerinin farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca sürfaktan miktarları ile termal iletkenlik oran değerlerinin doğrusal olmayan şekilde değiştiği gözlemlenmiştir. Benzer bir çalışma Xia ve diğ. tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sürfaktan konsantrasyonu değiştirilerek farklı partikül konsantrasyonları ile hazırlanan nanoakışkanın termal iletkenlik oranları araştırılmıştır. Termal iletkenlik oranları sürfaktan oranlarına bağlı olarak değişmiş ve optimum değerler her partikül konsantrasyonu için farklı sürfaktan oranı ile sağlanmıştır [117]. Nanoakışkana optimize edilen sürfaktan miktarının uygulanmasının, dispersiyon davranışı ve termal iletkenlik etkinliği açısından düşünülen geliştirme teknikleri arasında iyi bir yol olduğu Li ve diğ. tarafından öne sürülmüştür [118]. Sürfaktan miktarı yetersiz olduğunda, sürfaktanlar partikülleri tamamen kaplayamaz ve bu durum partiküller arasındaki elektrostatik itilmenin zayıflamasına ve topaklaşmaya neden olur. Sürfaktan miktarı aşırı olduğunda ise aşırı doymuş adsorpsiyon oluşur ve partiküller arasındaki ısı transferini zayıflatacak olan flokülasyonların oluşmasında rol oynar. Yüksek sürfaktan konsantrasyonlarında termal iletkenliğin zayıflamasının bir diğer nedeni, sürfaktanların partikül yüzeyi üzerinde daha fazla adsorbe edilmesiyle sonuçlandığı için ısı transfer alanının daralması olabilir [119].

Yapılan ölçümlerde en yüksek termal iletkenlik oranı Tween 80 sürfaktanı ile sağlanmıştır. Bunun nedeni olarak Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanın kararlılığının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Nanoakışkan kararlılığının termal iletkenlik üzerine etkisi konusunda literatürde fikir ayrılıkları bulunmaktadır. Daha yüksek elektrostatik kuvvet, parçacıklar arası mesafenin arttırılmasıyla daha fazla serbest parçacık sağlar. Böylece bu mesafe parçacıklar arasındaki hidrojen bağı aralığını aşar ve parçacıkların kümelenme olasılığını daha da azaltır ve nanopartiküllerin dinamikliğini arttırır. Bunun sonucunda ısı taşıma işlemi geliştirilir. Bu nedenle kararlılığın, nanoakışkanların termal iletkenliğinin artması ile ilişkili olduğu öne sürülmüştür [109]. Meibodi ve diğ. [120] ise daha kararlı nanoakışkanların daha yüksek termal iletkenlik değerlerine sahip olmadığını söyleyerek aksini iddia etmişlerdir.

Bu deneysel çalışmada termal iletkenlik ve termal iletkenlik oran değerlerinin, partikül konsantrasyonu ile doğrusal değişmediği gözlemlenmiştir. Literatürde bulunan bir çok çalışmada, nanofluidin termal iletkenliğinin nanoparçacığın ağırlık fraksiyonu ile yaklaşık olarak doğrusal olmayan şekilde arttığı, değerlerin yakın çıktığı ve daha yüksek partikül hacmi ile hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik oranlarının tahmin edilen değerlerden daha düşük çıktığı sonucuna varılmıştır. Bunun nedenlerinden biri yüksek hacim konsantrasyonlarına sahip nanoakışkanlardaki partiküllerin düşük hacim konsantrasyonuna göre daha kolay aglomeratlar oluşturması olabilir [8,109,117,119,121].

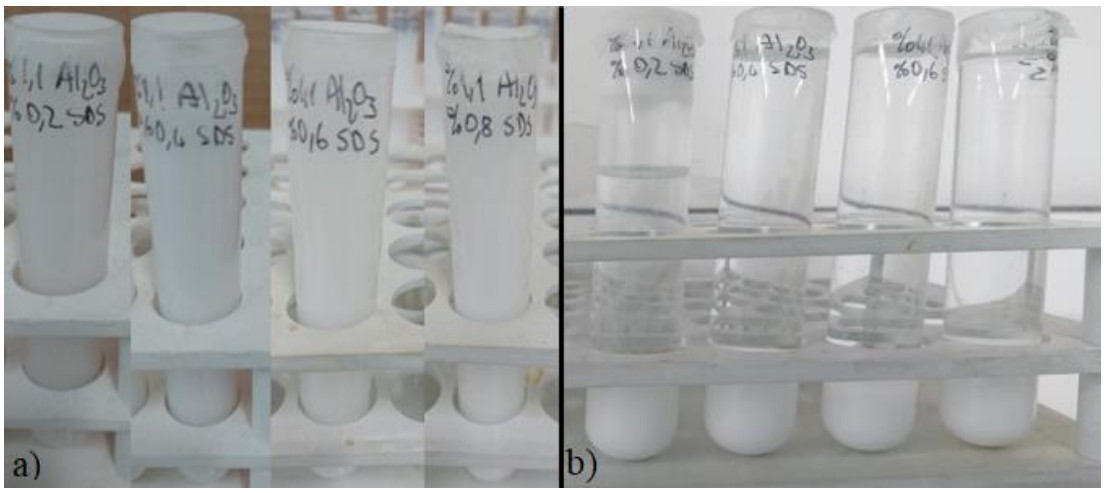
Literatürde sıcaklığın termal iletkenlik oranına etkisi ile ilgili farklı sonuçlar rapor edilmiştir. Elde edilen deneysel verilere göre nanoakışkanların termal iletkenlik oranları sıcaklık ile doğrusal değişmemiştir. Zhai ve diğ. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda sürfaktan kullanıldığında termal iletkenlik oranı her sıcaklık için farklı bulunmuştur [36]. Literatürde Brownian hareketlerin katkısı ve sıcaklık artışı ile moleküllerin ve partiküllerin daha aktif olduğu ve bu şekilde enerjileri bir noktadan diğer noktaya aktarmaları sayesinde genellikle sıcaklık ile termal iletkenlik oranının doğrusal yada doğrusal olmayan şekilde arttığı belirtilmiştir; ancak sıcaklık arttıkça termal iletkenlik oranının azaldığını içeren çalışmalar da yer almaktadır [79,80]. Bir başka çalışmada ise termal iletkenlik oranının sıcaklıktan neredeyse bağımsız olduğu iddia edilmiş olup bu durumun nanoakışkanın sıcaklığa bağlı bu özelliğinde katı fazın değil sıvı fazın daha baskın olduğu belirtilmiştir [121].

4.3 Nanoakışkan Kararlılığının İncelenmesi

Nanoakışkan kararlılığının analizi için sedimentasyon metodundan yararlanılmıştır. Sürfaktan kullanılmayan ve dört farklı konsantrasyonda 3 farklı sürfaktan kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların belli aralıklarda çekilen fotoğrafları yardımıyla partikül çökelmeleri gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre, kullanılan tüm konsantrasyonlardaki SDS sürfaktanlarının, nanoakışkan kararlılığı üzerine negatif etkisi olduğu görülmüştür. Şekil 4.71 ve 4.72'de örnek olarak hacimce %1,1 Al_2O_3'lük sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkan ve SDS ile hazırlanan nanoakışkanlar verilmiştir. Buna göre %1,1 Al_2O_3'lük sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkan kararlı kalırken, kütlece %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların tümü 4 saat içinde tamamen çökmüştür.

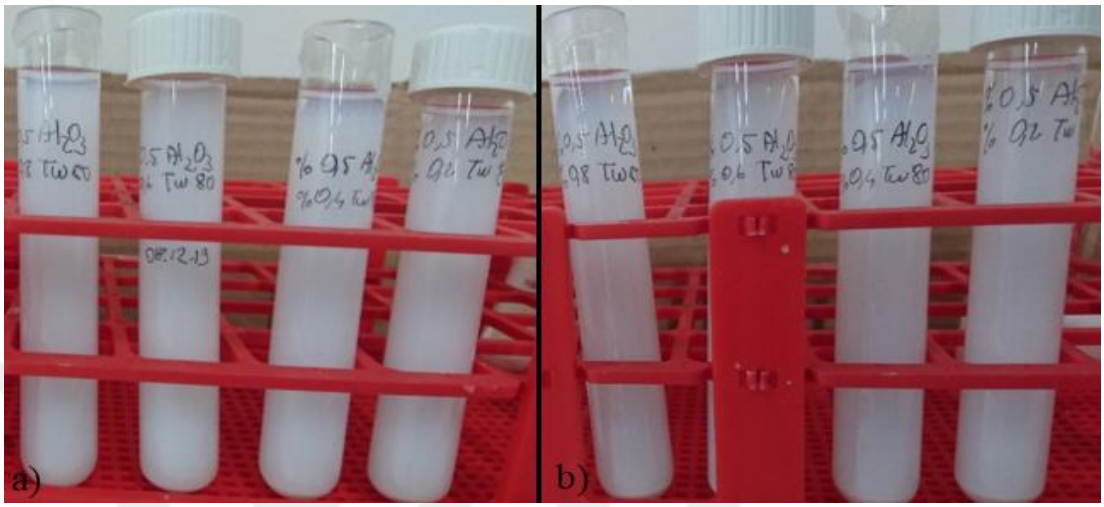


Şekil 4.71 : %1,1 Al_2O_3 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın a) hazırlandıktan hemen sonra b) 13 gün sonra oluşan görüntüsü.

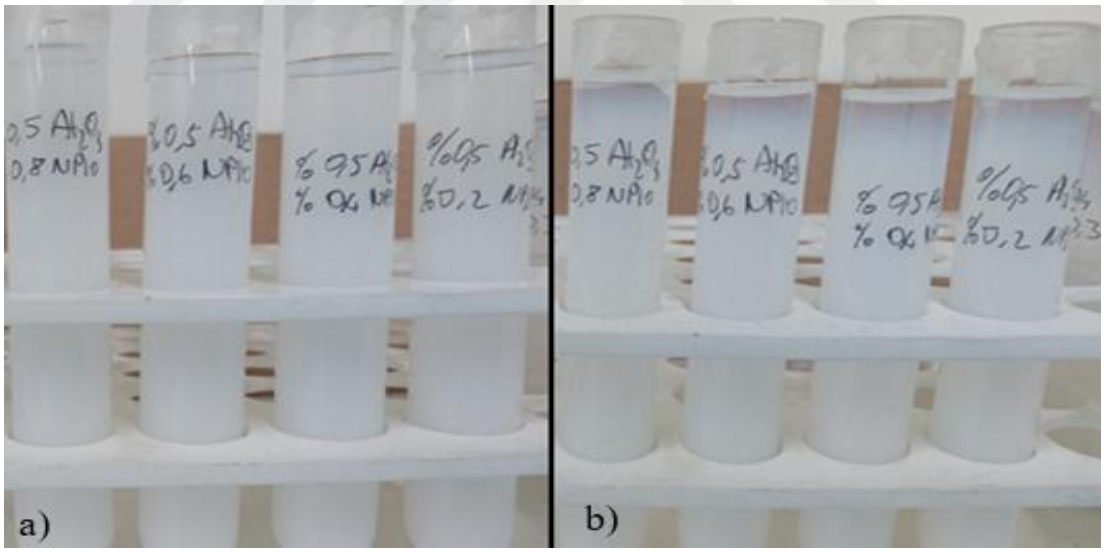


Şekil 4.72 : %1,1 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda SDS kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların a) hazırlandıktan hemen sonraki b) 4 saat sonra oluşan görüntüsü.

Şekil 4.73 ve 4.74'te %0,5 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda Tween 80 ve NP 10 sürfaktanları kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların görüntüleri verilmiştir. Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkan en az 10 güne kadar NP 10 ve sürfaktansız hazırlanan nanoakışkanlar ise en az 7 güne kadar kararlı kalabilmektedir



Şekil 4.73 : %0,5 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların a) 4 gün sonraki görüntüsü b) 10 gün sonra oluşan görüntüsü.



Şekil 4.74 : %0,5 Al_2O_3 ve farklı konsantrasyonlarda NP 10 kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların a) 2 gün sonraki görüntüsü b) 7 gün sonra oluşan görüntüsü

Literatürde nanoakışkan hazırlamak için Al_2O_3 nanopartikülü ile SDS sıklıkla birlikte kullanılmıştır [117,122,123]; fakat bu çalışmalarda çelişkili sonuçlar bulunmaktadır. Zhai ve diğ. [122] tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada SDS'nin Al_2O_3 nanopartikülü ile hazırlanan nanoakışkanın kararlılığını artırdığı belirtilmiştir. Buna karşılık diğer çalışmalarda SDS ile hazırlanan nanoakışkanların kararlılığının daha

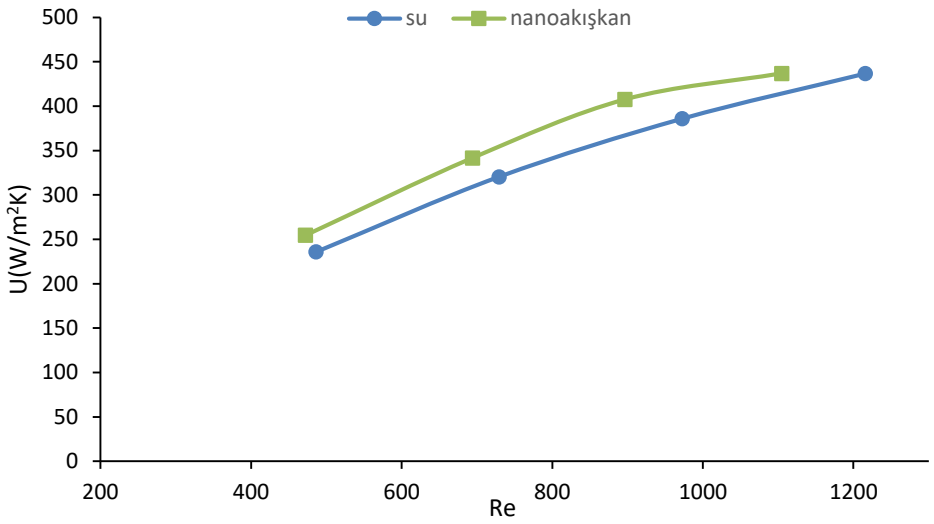
düşük olduğu gözlemlenmiştir [29,117,123]. Bunun yanısıra literatürde Tween 80 ve NP 10 kullanılarak hazırlanan noakışkanlar çok sınırlıdır. Bu çalışmada nanoakışkandaki en iyi kararlılık sırasıyla Tween 80, NP 10 ve SDS sürfaktanları ile elde edilmiştir.

4.4 Nanoakışkanların Isı Transferi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

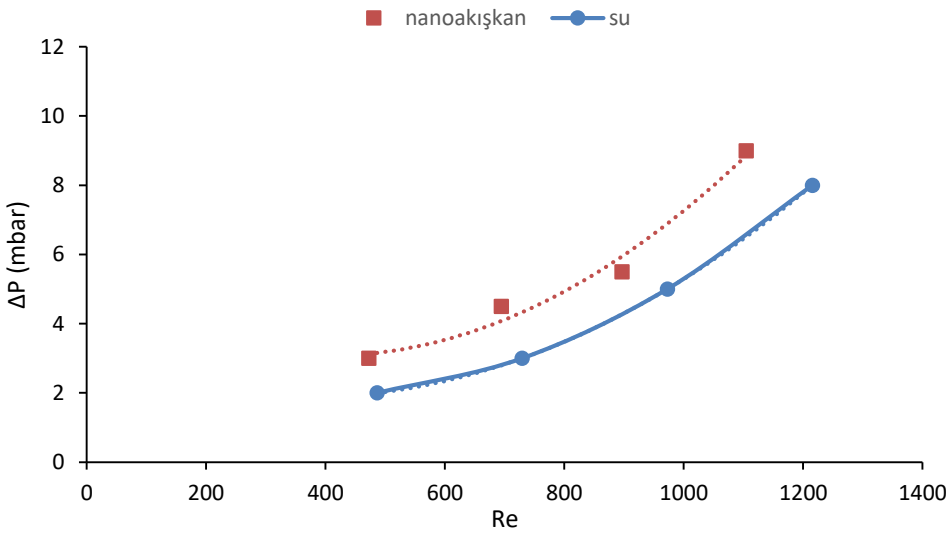
Isı transferi ölçümleri için saf su ve en düşük partikül konsantrasyonunda en yüksek termal iletkenlik değerine sahip olan 0,2 Tween 80 ve %0,3 Al_2O_3 ile hazırlanan nanoakışkan kullanılmıştır. Isı transfer deneyleri Şekil 3.5'te verilen deney düzeneği yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Deney boyunca ısı transferinin gerçekleştiği gövde borulu ısı değiştiricinin gövde kısmından sıcak su, boru kısmından ise 5, 4, 3 ve 2 L/dk debiler ile soğuk akışkan geçirilmiştir. Sıcak akışkanın debisi tüm ölçümlerde sabit tutulmuştur. Soğuk akışkan debileri Denklem 3.11 yardımı ile Reynolds sayısına dönüştürülmüştür. Hesaplanan Reynolds sayıları saf su için 486-1215 aralığında, nanoakışkan için ise 472-1105 aralığındadır. Sıcak akışkan için kullanılan debi Denklem 3.7 kullanılarak Reynolds sayısına dönüştürülmüştür. Gövde tarafı için hesaplanan Reynolds sayısı 951 olarak bulunmuştur. Dairesel borusal bir akışta kritik Reynolds sayısı 2300 olarak dikkate alındığında, bu çalışmada boru tarafındaki akış laminer akış bölgesinde kalmaktadır.

Saf su ile yapılan ölçümlerde soğuk akışkan ve sıcak akışkan için hesaplanan ısıl yüklerden maksimum ısı kaybının %3,85 olduğu hesaplanmıştır. U değerinin hesaplanmasında (Denklem 3.12) soğuk ve sıcak tarafa ait ısıl yüklerin ortalaması kullanılmıştır. Nanoakışkan ile yapılan deneylerde sıcak akışkan olan suyun ısıl yükü hesaplanmış ve soğuk akışkana geçen ısıl yüke eşit olduğu varsayılmıştır. Hesaplanan tüm ısı aktarım katsayıları boru tarafı Reynolds sayısına karşı Şekil 4.75'te grafik olarak sunulmuştur. Aynı grafik üzerinde saf su kullanılarak yapılan ölçümlerde elde edilen değerler de karşılaştırma amaçlı verilmiştir. Tüm ısı aktarım katsayısı beklenildiği gibi hem su hem de nanoakışkan için Reynolds sayısının artması ile artmaktadır. Ayrıca nanoakışkan kullanımı ile ısı transfer katsayısının arttığı görülmektedir. Tüm ısı aktarım katsayısında maksimum iyileşme %11,54 olarak elde edilmiştir. Isı transferi ölçümleri partikül miktarının düşük (%0,3) olduğu nanoakışkan için gerçekleştirildiği göz önüne alınırsa meydana gelen iyileşmenin anlamlı olduğu düşünülmektedir.

Bunun yanı sıra, fark basınç transmitteri ile su ve nanoakışkan için ısı değiştiricinin boru tarafından geçirilen soğuk akışkanın basınç düşüşleri ölçülmüştür. Basınç ölçümleri ısı transfer deneyleri ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Soğuk akışkanın Reynolds sayısına karşı basınç düşüşü Şekil 4.76'da grafik edilmiştir. Grafiğe bakıldığında, basınç düşüşünün nanoakışkan için daha yüksek olduğu görülmektedir; ancak akışların laminar olması ve ısı değiştiricinin boyutlarının küçük olmasından dolayı oluşan basınç farkları düşüktür. Nanoakışkan için en yüksek Reynolds sayısı baz alındığında nanoakışkan kullanımı ile basınç farkı suya oranla yaklaşık %36 oranında artmıştır.



Şekil 4.75 : Su ve nanoakışkan için toplam ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.



Şekil 4.76 : Basınç düşüşünün Reynolds sayısı ile değişimi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Isı transfer özelliklerinin iyileştirilmesi için nanoakışkan kullanımı ile ilgili çalışmalar son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Bu çalışmada iki adımlı metot kullanılarak nanoakışkan hazırlanmıştır. Temel akışkan olarak distile su, nanopartikül olarak ise ekonomik ve kolay ulaşılabilir olmasından dolayı Al_2O_3 seçilmiştir. Nanoakışkan kullanımını kısıtlayan en önemli faktörlerden biri uzun süre nanoakışkan kararlılığını sağlayamamaktır. Sürfaktan kullanımı, kararlılığı artırmak için yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada kararlılığı artırmak için SDS anyonik sürfaktanı , NP 10 ve Tween 80 noniyonik sürfaktanları olmak üzere 3 farklı sürfaktan 4 farklı oranlarda denenmiştir. Aynı zamanda an itibariyle, literatürde sürfaktanların temel akışkanın termofiziksel özellikleri üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu nedenle SDS, NP 10 ve Tween 80 ile kütlece %0,2 %0,4 %0,6 ve %0,8 oranlarında kullanılarak, temel akışkan olarak kullanılan suyun özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu oranlarda hazırlanan çözeltilerin 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C ve 65 °C olmak üzere 5 farklı sıcaklıkta yoğunluk, viskozite ve termal iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hacimce %0,3 %0,5 %0,7 %0,9 ve %1,1 oranlarında Al_2O_3 ile su sürfaktan kullanılmadan ve %0,2 %0,4 %0,6 ve %0,8 oranlarında sürfaktan kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmış ve termofiziksel özellikleri ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışma ile ilgili aşağıdaki sonuçlar vurgulanabilir

- Nanopartikül kullanılmadan sadece su ve sürfaktanlar ile hazırlanan çözeltide, beklenildiği üzere sürfaktan konsantrasyonu arttıkça yoğunluk artarken sıcaklık ile azalmıştır. Ayrıca sıcaklık artıkça viskozite azalırken termal iletkenlik artmıştır. Sürfaktan konsantrasyonunun artması ile SDS kullanılarak hazırlanan çözeltilerin termal iletkenliği artma eğiliminde iken, NP 10 ve Tween 80 ile hazırlanan çözeltilerin termal iletkenliğinin azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

- Hacimce %0,3 %0,5 %0,7 %0,9 ve %1,1 oranlarında Al_2O_3 ile sürfaktan kullanılmadan hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri literatür ile karşılaştırılmış ve büyük oranda uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Partikül

konsantrasyonu arttıkça yoğunluk artmış ve maksimum artış hacimce %1,1 partikül oranı ile %3,1 olarak hesaplanmıştır. Yoğunluk oranı, incelenen sıcaklık aralıklarında sıcaklıkla değişmemiştir. Viskozite oranı maksimum %22 oranında değişirken termal iletkenlik oranı %5 değişmiştir.

- Hacimce %0,3 %0,5 %0,7 %0,9 ve %1,1 oranlarında Al_2O_3 ile su ve %0,2 %0,4 %0,6 ve %0,8 oranlarında sürfaktan kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin literatürle büyük oranda uyumlu olduğu saptanmıştır. Tüm konsantrasyonlarda hazırlanan nanoakışkanlar için partikül miktarı ile nanoakışkanın yoğunluğunun doğru orantılı arttığı görülmüştür; ama literatürdeki çalışmalara göre daha düşük elde edilmiştir. 25 ^oC sıcaklıkta elde edilen maksimum termal iletkenlik değeri, hacimce % 1,1 Al_2O_3 ve kütlece %0,2 Tween 80 kullanılarak hazırlanan nanoakışkan ile sağlanmıştır. Nanoakışkanın yoğunluk oranının (ρ_r) partikül konsantrasyonu ile doğrusal değişirken, sabit konsantrasyonda sıcaklık ile değişmediği saptanmıştır. Viskozite oranları (μ_r) ve termal iletkenlik oranları (k_r) partikül konsantrasyonu ile doğrusal olmayan şekilde artma göstermiştir; ancak bazı konsantrasyonlarda partikül kümelenmesinden kaynaklı düzensiz değişimler gözlemlenmiştir. En yüksek viskozite oranı daha kararsız olan SDS kullanılarak hazırlanmış nanoakışkan ile gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra en yüksek termal iletkenlik oranı yaklaşık olarak 1,066 olarak %1,1 partikül oranı ve Tween 80 eklenerek hazırlanan nanoakışkan ile sağlanmıştır. Hazırlanan nanoakışkanların viskozite ve termal iletkenlik oranlarının sıcaklık ile düzensiz değiştiği görülmüştür. Sürfaktan cinsi ve konsantrasyonunun nanoakışkan özelliklere üzerine etkisinin yüksek olduğu ve elde edilen özelliklere göre optimum sürfaktan ve miktarı ile çalışmanın daha verimli olacağı düşünülmektedir.
- Hazırlanan nanoakışkanların kararlılığının belirlenmesi için sedimentasyon metodundan yararlanılmıştır. Yapılan gözlemlere göre anyonik bir sürfaktan olan SDS sürfaktanının, nanoakışkan üzerinde negatif etkisi olduğu görülmüştür. Non-iyonik olan NP 10 ve Tween 80 sürfaktanlarının nanoakışkanın kararlılığını arttırdığı ve Tween 80 sürfaktanı ile hazırlanan nanoakışkanların daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda partikül oranlarına göre kararlılık sürelerinin farklı olduğu ve Tween 80 sürfaktanı ile

hazırlanan nanoakışkanların en az 10 güne kadar kararlı oldukları gözlemlenmiştir.

- Nanoakışkanların ısı transferine etkisinin belirlenmesi için sırasıyla su ve %0,2 Tween 80 ve %0,3 Al_2O_3 konsantrasyonları ile hazırlanan nanoakışkan gövde borulu bir ısı değiştiricinin boru kısmından 2, 3, 4 ve 5 L/dk olmak üzere 4 farklı debide beslenmiş olup deney boyunca gövde kısmından sabit 5 L/dk debi ile su geçirilmiştir. Reynolds sayısı 2300 olarak dikkate alındığında, bu çalışmada boru ve gövde taraflarındaki akış laminer akış bölgesinde kalmaktadır. Elde edilen verilere göre toplam ısı transfer katsayıları hesaplanmıştır. Suya nazaran nanoakışkan kullanımı ısı transfer katsayısını artırmış ve debi arttıkça toplam ısı transfer katsayısında artış görülmüştür. Maksimum artış değeri %11,54 olarak hesaplanmıştır. Düşük konsantrasyonda kullanılan Al_2O_3 partikül konsantrasyonuna göre artış değeri önemlidir.
- Tween 80 sürfaktanının nanoakışkan kararlığını arttıdığı ve ısı transfer sonuçları da dikkate alındığında, nanoakışkan hazırlanmasında Tween 80 sürfaktanı kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Choi, S. U. S.** (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FED*, *231*, 99–105.

[2] **Kong, L., Sun, J., & Bao, Y.** (2017). Preparation, characterization and tribological mechanism of nanofluids. *RSC Advances*, *7*, 12599–12609.

[3] **Li, Y., Zhou, J., Tung, S., Schneider, E., & Xi, S**. (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization. *Powder Technology*, *196*, 89–101.

[4] **Zhu, H.-T., Lin, Y.-S., & Yin, Y.-S.** (2004). A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids. *Journal of Colloid and Interface Science*, *277* (1), 100–103.

[5] **Lo, C.-H., Tsung, T.-T., & Chen, L.-C.** (2005). Shape-controlled synthesis of Cu-based nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system (SANSS). *Journal of Crystal Growth*, *277*(1–4), 636–642.

[6] **Lee, S., Li, S., & Eastman, J. A.** (1999). Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. *Journal of Heat Transfer, 121(2),* 280–289.

[7] **Wang, X., Xu, X., & Choi, S. U. S.** (1999). Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, *13(4),* 474–480.

[8] **Li, C. H., & Peterson, G. P.** (2006). Experimental investigation of temperature and volume fraction variations on the effective thermal conductivity of nanoparticle suspensions (nanofluids). *Journal of Applied Physics, 99(8).*

[9] **Vajjha, R. S., & Das, D. K.** (2009a). Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *52(21–22),* 4675–4682.

[10] **Xuan, Y., & Li, Q.** (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *Kung Cheng Je Wu Li Hsueh Pao/Journal of Engineering Thermophysics*, *21*(4), 58-64.

[11] **Hong, T.-K., Yang, H.-S., & Choi, C. J.** (2005). Study of the enhanced thermal conductivity of Fe nanofluids. *Journal of Applied Physics, 97(6).*

[12] **Patel, H. E., Das, S. K., Sundararajan, T., Sreekumaran Nair, A., George, B., & Pradeep, T.** (2003). Thermal conductivities of naked and monolayer protected metal nanoparticle based nanofluids: Manifestation of anomalous enhancement and chemical effects. *Applied Physics Letters, 83(14),* 2931–2933.

[13] **Putnam, S. A., Cahill, D. G., Braun, P. V., Ge, Z., & Shimmin, R. G.** (2006). Thermal conductivity of nanoparticle suspensions. *Journal of Applied Physics, 99(8).*

[14] **Murshed, S., Leong, K., & Yang, C.** (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO2-water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences,* 44, 66.

[15] **Liu, M.-S., Ching-Cheng Lin, M., Huang, I.-T., & Wang, C.-C.** (2005). Enhancement of thermal conductivity with carbon nanotube for nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer, 32(9),* 1202–1210.

[16] **Mingzheng, Z., Guodong, X., Jian, L., Lei, C., & Lijun, Z.** (2012). Analysis of factors influencing thermal conductivity and viscosity in different kinds of surfactant solutions. *Experimental Thermal and Fluid Science, 36,* 22–29.

[17] **Babita, Sharma, S. K., & Gupta, S. M.** (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: A review. *Experimental Thermal and Fluid Science, 79,* 202–212.

[18] **Setia, H., Gupta, R., & Wanchoo, R. K.** (2013). Stability of nanofluids. In *Materials Science Forum, 757,* 139-149.

[19] **Farahmandjou, M., Sebt, S. A., Parhizgar, S. S., Aberomand, P., & Akhavan, M.** (2009). Stability investigation of colloidal FePt nanoparticle systems by spectrophotometer analysis. *Chinese Physics Letters, 26*(2).

[20] **Nakama, Y.** (2017). Surfactants. In *Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications,* 231–244.

[21] **Gül, G. D.** (2010). *Atık suların biyolojik arıtımına surfaktanların etkisinin belirlenmesi. (2010).* (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[22] **Holmberg, K., Jönsson, B., Kronberg, B., & Lindman, B.** (2002). *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution* (second edi). West Sussex : John Wiley & Sons Ltd.

[23] **Url-23** < https://merlab.metu.edu.tr/tr/zeta-potansiyel-ve-mobilite-olcum-cihazi >, erişim tarihi 26.01.2020.

[24] **Choudhary, S., Sachdeva, A., & Kumar, P.** (2020). Investigation of the stability of MgO nanofluid and its effect on the thermal performance of flat plate solar collector. *Renewable Energy, 147,* 1801–1814. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.126

[25] **Sarafraz, M. M., & Abad, A. T. K. (2019).** Statistical and experimental investigation on flow boiling heat transfer to carbon nanotube-therminol nanofluid. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 536.*

[26] **Nasiri, A., Shariaty-Niasar, M., Rashidi, A., Amrollahi, A., & Khodafarin, R.** (2011). Effect of dispersion method on thermal conductivity and stability of nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science, 35*(4), 717–723.

[27] **Ilyas, S. U., Narahari, M., Theng, J. T. Y., & Pendyala, R.** (2019). Experimental evaluation of dispersion behavior, rheology and thermal analysis of functionalized zinc oxide-paraffin oil nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, *294*.

[28] **Hemmat Esfe, M., Saedodin, S., & Shahram, J.** (2017). Experimental investigation, model development and sensitivity analysis of rheological behavior of ZnO/10W40 nano-lubricants for automotive applications. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, *90*, 194–203.

[29] **Das, P. K., Islam, N., Santra, A. K., & Ganguly, R.** (2017). Experimental investigation of thermophysical properties of Al2O3–water nanofluid: Role of surfactants. *Journal of Molecular Liquids*, *237*, 304–312.

[30] **Lee, J.-H., Hwang, K. S., Jang, S. P., Lee, B. H., Kim, J. H., Choi, S. U. S., & Choi, C. J.** (2008). Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al2O3 nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *51*(11–12), 2651–2656.

[31] **Qi, C., Hu, J., Liu, M., Guo, L., & Rao, Z.** (2017). Experimental study on thermo-hydraulic performances of CPU cooled by nanofluids. *Energy Conversion and Management*, *153*, 557–565.

[32] **Abdullah, M., Malik, S. R., Iqbal, M. H., Sajid, M. M., Shad, N. A., Hussain, S. Z., … Javed, Y.** (2018). Sedimentation and stabilization of nano-fluids with dispersant. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *554*, 86–92.

[33] **Cacua, K., Buitrago-Sierra, R., Herrera, B., Chejne, F., & Pabón, E.** (2017). Influence of different parameters and their coupled effects on the stability of alumina nanofluids by a fractional factorial design approach. *Advanced Powder Technology*, *28*(10), 2581–2588.

[34] **Alias, H., Ani, M. F. C., Sa'Ad, S. F., & Ngadi, N.** (2017). Heat transfer of alumina-deionized water nanofluids in concentric tube heat exchanger. *AIP Conference Proceedings*, *1901* Langkawi, Malaysia, November 28–29.

[35] **Cacua, K., Ordoñez, F., Zapata, C., Herrera, B., Pabón, E., & Buitrago-Sierra, R**. (2019). Surfactant concentration and pH effects on the zeta potential values of alumina nanofluids to inspect stability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *583*.

[36] **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.

[37] **Mahbubul, I. M., Elcioglu, E. B., Amalina, M. A., & Saidur, R.** (2019). Stability, thermophysical properties and performance assessment of alumina–water nanofluid with emphasis on ultrasonication and storage period. *Powder Technology*, *345*, 668–675.

[38] **Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P., & Roetzel, W.** (2003). Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids.

Journal of Heat Transfer, *125*(4), 567–574.

[39] **Choudhary, R., Khurana, D., Kumar, A., & Subudhi, S**. (2017). Stability analysis of Al2O3/water nanofluids. *Journal of Experimental Nanoscience*, 1–12.

[40] **Ilyas, S. U., Pendyala, R., Narahari, M., & Susin, L.** (2017). Stability, rheology and thermal analysis of functionalized alumina- thermal oil-based nanofluids for advanced cooling systems. *Energy Conversion and Management*, *142*, 215–229.

[41] **Chein, R., & Chuang, J.** (2007). Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, *46*(1), 57–66.

[42] **Pak, B. C., & Cho, Y. I.** (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer*, *11*(2), 151–170.

[43] **Xuan, Y., & Roetzel, W.** (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *43*(19), 3701–3707.

[44] **Sekhar, Y. R., & Sharma, K. V.** (2015). Study of viscosity and specific heat capacity characteristics of water-based Al2O3 nanofluids at low particle concentrations. *Journal of Experimental Nanoscience*, *10*(2), 86–102.

[45] **Yiamsawasd, T., S. Dalkilic, A., & Wongwises, S**. (2012). Measurement of Specific Heat of Nanofluids. *Current Nanoscience*, *8*(6), 939–944.

[46] **Vajjha**, **R. S., & Das, D. K.** (2009b). Specific heat measurement of three nanofluids and development of new correlations. *Journal of Heat Transfer*, *131*(7), 1–7.

[47] **Chandrasekar, M., Suresh, S., & Senthilkumar, T.** (2012). Mechanisms proposed through experimental investigations on thermophysical properties and forced convective heat transfer characteristics of various nanofluids - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(6), 3917–3938.

[48] **Heyhat, M. M., Kowsary, F., Rashidi, A. M., Alem Varzane Esfehani, S., & Amrollahi, A.** (2012). Experimental investigation of turbulent flow and convective heat transfer characteristics of alumina water nanofluids in fully developed flow regime. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *39*(8), 1272–1278.

[49] **Khanafer, K., & Vafai, K.** (2011). A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *54*(19–20), 4410–4428.

[50] **Akilu, S., Sharma, K. V., Baheta, A. T., & Mamat, R.** (2016). A review of thermophysical properties of water based composite nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *66*, 654–678.

[51] **Einstein, A.** (1906). A new determination of molecular dimensions. *Ann. Phys.*, *19*, 289–306.

[52] **de Bruijn, H.** (1942). The viscosity of suspensions of spherical particles. (The fundamental η-c and φ relations). *Recueil Des Travaux Chimiques Des Pays-Bas*, *61*(12), 863–874.

[53] **Mooney, M.** (1951). The viscosity of a concentrated suspension of spherical particles. *Journal of Colloid Science*, *6*(2), 162–170.

[54] **Brinkman, H. C.** (1952). The viscosity of concentrated suspensions and solutions. *The Journal of Chemical Physics*, *20*(4), 571.

[55] **Batchelor, G. K.** (1977). The effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles. *Journal of Fluid Mechanics*, *83*(1), 97–117.

[56] **Krieger, I. M., & Dougherty, T. J.** (1959). A Mechanism for Non-Newtonian Flow in Suspensions of Rigid Spheres. *Transactions of the Society of Rheology*, *3*(1), 137–152.

[57] **Hatschek, E.** (1913). The general theory of viscosity of two-phase systems. *Transactions of the Faraday Society*, *9*(0), 80–92.

[58] **Jeffrey, D. J., & Acrivos, A.** (1976). The rheological properties of suspensions of rigid particles. *AIChE Journal*, *22*(3), 417–432.

[59] **Maxwell, J.** (1881). *A treatise on electricity and magnetism*.

[60] **Hamilton, R. L., & Crosser, O. K.** (1962). Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, *1*(3), 187–191.

[61] **Wasp, E. J., Gandhi, R. L., & Kenny, J. P.** (1975). Solid-liquid flow. Slurry pipeline transportation. *Clausthal, german fed. repbl., trans tech. publıcatıons, 1977*, 1, 4.

[62] **Bruggeman, D. A. G.** (1935). Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen. I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus isotropen Substanzen. *Annalen Der Physik*, *416*(7), 636–664. https://doi.org/10.1002/andp.19354160705

[63] **Yu, W., & Choi, S. U. S.** (2003). The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: A renovated Maxwell model. *Journal of Nanoparticle Research*, *5*(1–2), 167–171.

[64] **Wang, X.-Q., & Mujumdar, A. S.** (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International Journal of Thermal Sciences*, *46*(1), 1–19.

[65] **Kumar**, **D. H., Patel, H. E., Kumar, V. R. R., Sundararajan, T., Pradeep, T., & Das, S. K.** (2004). Model for heat conduction in nanofluids. *Physical Review Letters*, *93*(14).

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

[67] **Wu, D., Zhu, H., Wang, L., & Liu, L.** (2009). Critical issues in nanofluids preparation, characterization and thermal conductivity. *Current Nanoscience*, *5*(1), 103–112.

[68] **Saidur, R., Leong, K. Y., & Mohammed, H. A.** (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(3), 1646–1668.

[69] **Xie**, **H., Wang, J., Xi, T., & Liu, Y.** (2002). Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized SiC Particles. *International Journal of Thermophysics*, *23*(2), 571–580.

[70] **Tavman, I., Turgut, A., Chirtoc, M., Hadjov, K., Fudym, O., & Tavman, S.** (2010). Experimental study on thermal conductivity and viscosity of water-based nanofluids. *Heat Transfer Research*, *41*(3), 339–351.

[71] **Serebryakova, M. A., Dimov, S. V., Bardakhanov, S. P., & Novopashin, S. A.** (2015). Thermal conductivity, viscosity and rheology of a suspension based on Al2O3 nanoparticles and mixture of 90% ethylene glycol and 10% water. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *83*, 187–191.

[72] **Pang, C., Jung, J. Y., Lee, J. W., & Kang, Y. T.** (2012). Thermal conductivity measurement of methanol-based nanofluids with Al2O3 and SiO2 nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *55*(21–22), 5597–5602.

[73] **Chon, C. H., Kihm, K. D., Lee, S. P., & Choi, S. U. S.** (2005). Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al 2O 3) thermal conductivity enhancement. *Applied Physics Letters*, *87*(15), 1–3.

[74] **Beck, M. P., Yuan, Y., Warrier, P., & Teja, A. S.** (2009). The effect of particle size on the thermal conductivity of alumina nanofluids. *Journal of Nanoparticle Research*, *11*(5), 1129–1136.

[75] **Mintsa, H. A., Roy, G., Nguyen, C. T., & Doucet, D.** (2009). New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, *48*(2), 363–371.

[76] **Jiang, Y., Bahrami, M., Bagherzadeh, S. A., Abdollahi, A., Sulgani, M. T., Karimipour, A., … Bach, Q.-V.** (2019). Propose a new approach of fuzzy lookup table method to predict Al2O3/deionized water nanofluid thermal conductivity based on achieved empirical data. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *527*.

[77] **Timofeeva, E. V., Gavrilov, A. N., McCloskey, J. M., Tolmachev, Y. V., Sprunt, S., Lopatina, L. M., & Selinger, J. V.** (2007). Thermal conductivity and particle agglomeration in alumina nanofluids: Experiment and theory. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, *76*(6).

[78] **Wen, D., & Ding, Y.** (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *47*(24), 5181–5188.

[79] **Kleinstreuer, C., & Feng, Y.** (2011). Experimental and theoretical studies of nanofluid thermal conductivity enhancement: A review. *Nanoscale Research Letters*, *6*(1).

[80] **Suganthi, K. S., & Rajan, K. S.** (2017). Metal oxide nanofluids: Review of formulation, thermo-physical properties, mechanisms, and heat transfer performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *76*, 226–255.

[81] **Wang, X.-Q., & Mujumdar, A. S.** (2008). A review on nanofluids - Part II: Experiments and applications. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *25*(4), 631–648.

[82] **Devendiran, D. K., & Amirtham, V. A.** (2016). A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 21–40.

[83] **Kalogirou, S.** (2009). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Elsevier, Inc.

[84] **Rosensweig, R. E.** (1987). Magnetic fluids. *Annual Review of Fluid Mechanics*, *19*(1), 437–461.

[85] **Pantzali, M. N., Mouza, A. A., & Paras, S. V.** (2009). Investigating the efficacy of nanofluids as coolants in plate heat exchangers (PHE). *Chemical Engineering Science*, *64*(14), 3290–3300.

[86] **Çengel, Y. and, & Ghajar, A. A. J**. (2015). *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Transfer* (fıfth edit). McGraw-Hill Education.

[87] **Godson, L., Raja, B., Mohan Lal, D., & Wongwises, S.** (2010). Enhancement of heat transfer using nanofluids-An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(2), 629–641.

[88] **Yu, W., & Xie, H**. (2012). A review on nanofluids: Preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of Nanomaterials*, *2012*.

[89] **Yu, W., France, D. M., Choi, S. U. S., & Routbort, J. L.** (2007). Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications. (Rapor No. ANL/ESD/07-9). In *Renewable Energy*.

[90] **Hwang, Y., Park, H. S., Lee, J. K., & Jung, W. H.** (2006). Thermal conductivity and lubrication characteristics of nanofluids. *Current Applied Physics*, *6*(1), 67–71.

[91] **Sidik, N. A. C., Mohammed, H. A., Alawi, O. A., & Samion, S.** (2014). A review on preparation methods and challenges of nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *54*, 115–125.

[92] **Tertsinidou, G. J., Tsolakidou, C. M., Pantzali, M., Assael, M. J., Colla, L., Fedele, L.,Wakeham, W. A.** (2017). New measurements of the apparent thermal conductivity of nanofluids and investigation of their heat transfer capabilities. *Journal of Chemical and Engineering Data*, *62*(1), 491–507.

[93] **Mikkola, V., Puupponen, S., Granbohm, H., Saari, K., Ala-Nissila, T., & Seppälä, A.** (2018). Influence of particle properties on convective heat transfer of nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, *124*, 187–195.

[94] **Dharmalingam, R., Sivagnanaprabhu, K. K., Yogaraja, J., Gunasekaran, S.,**

& Mohan, R. (2015). Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics of Nanofluid Using Parallel Flow, Counter Flow and Shell and Tube Heat Exchanger. *Archive of Mechanical Engineering*, *62*(4), 509–522.

[95] **Nallusamy, S.** (2017). Characterization of Al2O3 water nanofluid through shell and tube heat exchangers over parallel and counter flow. *Journal of Nano Research*, *45*, 155–163.

[96] **Maddah, H., Alizadeh, M., Ghasemi, N., & Wan Alwi, S. R.** (2014). Experimental study of Al2O3/water nanofluid turbulent heat transfer enhancement in the horizontal double pipes fitted with modified twisted tapes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *78*, 1042–1054.

[97] **Kumar, N., Sonawane, S. S., & Sonawane, S. H.** (2018). Experimental study of thermal conductivity, heat transfer and friction factor of Al2O3 based nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *90*, 1–10.

[98] **Darzi, A. A. R., Farhadi, M., & Sedighi, K.** (2013). Heat transfer and flow characteristics of Al2O3-water nanofluid in a double tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *47*, 105–112.

[99] **Albadr, J., Tayal, S., & Alasadi, M.** (2013). Heat transfer through heat exchanger using Al2O3 nanofluid at different concentrations. *Case Studies in Thermal Engineering*, *1*(1), 38–44.

[100] **Raei, B., Shahraki, F., Jamialahmadi, M., & Peyghambarzadeh, S. M.** (2017). Experimental study on the heat transfer and flow properties of γ-Al2O3/water nanofluid in a double-tube heat exchanger. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *127*(3), 2561–2575.

[101] **Zamzamian, A. H., & Jamal-Abadi, M. T.** (2013). Factor effect estimation in the convective heat transfer coefficient enhancement of Al2O3/EG nanofluid in a double-pipe heat exchanger. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, *26*(8), 837–844.

[102] **Shahrul, I. M., Mahbubul, I. M., Saidur, R., Khaleduzzaman, S. S., Sabri, M. F. M., & Rahman, M. M.** (2014). Effectiveness study of a shell and tube heat exchanger operated with nanofluids at different mass flow rates. *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, *65*(7), 699–713.

[103] **Khoshvaght-Aliabadi, M., Davoudi, S., & Dibaei, M. H.** (2018). Performance of agitated-vessel U tube heat exchanger using spiky twisted tapes and water based metallic nanofluids. *Chemical Engineering Research and Design*, *133*, 26–39.

[104] **Kern, D. Q.** (1950). *Process heat transfer* Tokyo: McGraw-hill.

[105] **Holman, J. P.** (2001). *J.P. Holman* (Eighth Edi). New York: McGraw-Hill.

[106] **Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O.** (1997). Chemical engineers' handbook (Seventh Edi). New York: McGraw-Hill.

[107] **Khatun, R., & Islam, M. N.** (2012). Volumetric studies of sodium dodecyl sulphate in aqueous and aqueous amino acid solutions. *Oriental Journal*

of Chemistry, *28*(1), 165–187.

[108] **Mena, J. B., Ubices De Moraes, A. A., Benito, Y. R., Ribatski, G., & Parise, J. A. R.** (2013). Extrapolation of Al2O3-water nanofluid viscosity for temperatures and volume concentrations beyond the range of validity of existing correlations. *Applied Thermal Engineering*, *51*(1–2), 1092–1097.

[109] **Khairul, M. A., Shah, K., Doroodchi, E., Azizian, R., & Moghtaderi, B.** (2016). Effects of surfactant on stability and thermo-physical properties of metal oxide nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 98, 778–787.

[110] **Asadi, A., Aberoumand, S., Moradikazerouni, A., Pourfattah, F., Żyła, G., Estellé, P., Arabkoohsar, A.** (2019). Recent advances in preparation methods and thermophysical properties of oil-based nanofluids: A state-of-the-art review. *Powder Technology*, *352*, 209–226.

[111] **Vajjha, Ravikanth S., Das, D. K., & Kulkarni, D. P.** (2010). Development of new correlations for convective heat transfer and friction factor in turbulent regime for nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 4607–4618.

[112] **Jarahnejad, M., Haghighi, E. B., Saleemi, M., Nikkam, N., Khodabandeh, R., Palm, B., … Muhammed, M.** (2015). Experimental investigation on viscosity of water-based Al2O3 and TiO2 nanofluids. *Rheologica Acta*, *54*(5), 411–422.

[113] **Longo, G. A., & Zilio, C.** (2011). Experimental measurement of thermophysical properties of oxide-water nano-fluids down to ice-point. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 1313–1324.

[114] **Lee, S. W., Park, S. D., Kang, S., Bang, I. C., & Kim, J. H.** (2011). Investigation of viscosity and thermal conductivity of SiC nanofluids for heat transfer applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 433–438.

[115] **Syam Sundar, L., Venkata Ramana, E., Singh, M. K., & Sousa, A. C. M**. (2014). Thermal conductivity and viscosity of stabilized ethylene glycol and water mixture Al2O3 nanofluids for heat transfer applications: An experimental study. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *56*, 86–95.

[116] **Pastoriza-Gallego, M. J., Casanova, C., Legido, J. L., & Piñeiro, M. M.** (2011). CuO in water nanofluid: Influence of particle size and polydispersity on volumetric behaviour and viscosity. *Fluid Phase Equilibria*, 300, 188–196.

[117] **Xia, G., Jiang, H., Liu, R., & Zhai, Y.** (2014). Effects of surfactant on the stability and thermal conductivity of Al2O3/de-ionized water nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, *84*, 118–124.

[118] **Li, X. F., Zhu, D. S., Wang, X. J., Wang, N., Gao, J. W., & Li, H.** (2008). Thermal conductivity enhancement dependent pH and chemical surfactant for Cu-H2O nanofluids. *Thermochimica Acta*, 469, 98–103.

[119] **Wang, Xian ju, Zhu, D. sheng, & yang, S.** (2009). Investigation of pH and SDBS on enhancement of thermal conductivity in nanofluids. *Chemical Physics Letters*, 470, 107–111.

[120] **Meibodi, M. E., Vafaie-Sefti, M., Rashidi, A. M., Amrollahi, A., Tabasi, M., & Kalal, H. S.** (2010). The role of different parameters on the stability and thermal conductivity of carbon nanotube/water nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 319–323.

[121] **Zhang, X., Gu, H., & Fujii, M.** (2006). Experimental study on the effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids. *International Journal of Thermophysics*, *27*(2), 569–580.

[122] **Zhai, Y. L., Xia, G. D., Liu, X. F., & Li, Y. F.** (2015). Heat transfer enhancement of Al2O3-H2O nanofluids flowing through a micro heat sink with complex structure. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *66*, 158–166.

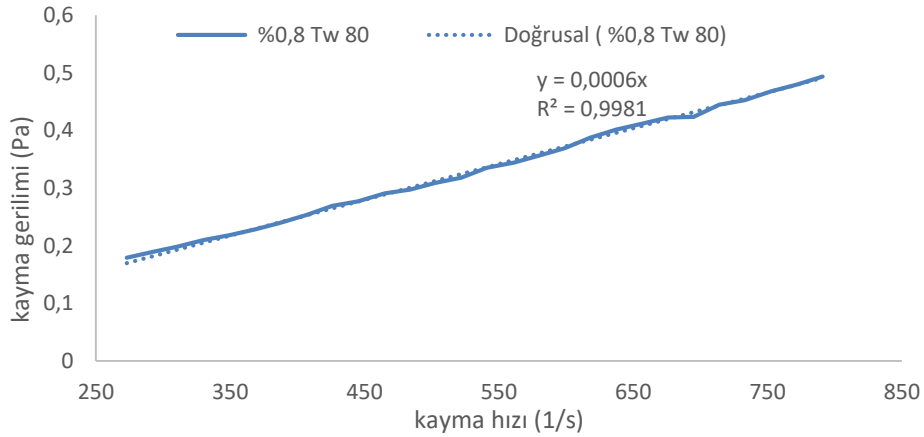
[123] **Kaggwa, A., Carson, J. K., Atkins, M., & Walmsley, M.** (2019). The effect of surfactants on viscosity and stability of activated carbon, alumina and copper oxide nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, *18*, 510–519.

EKLER

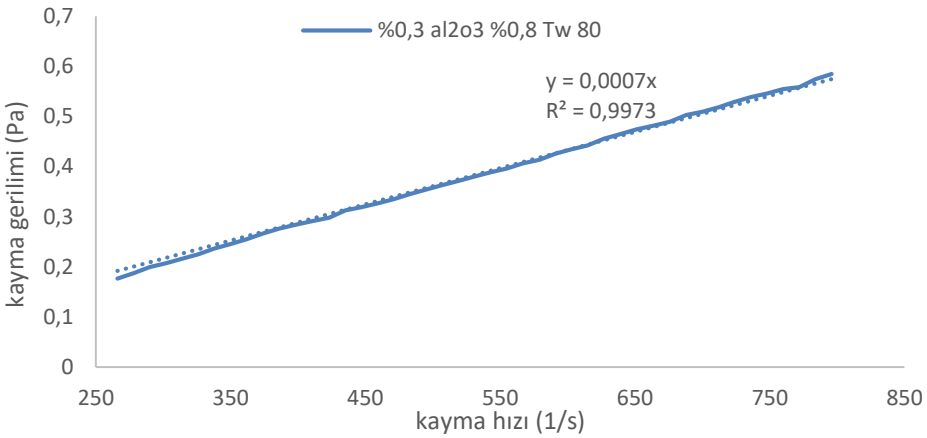
EK A: Viskozite grafikleri

EK B: Isı transferi örnek hesaplamaları

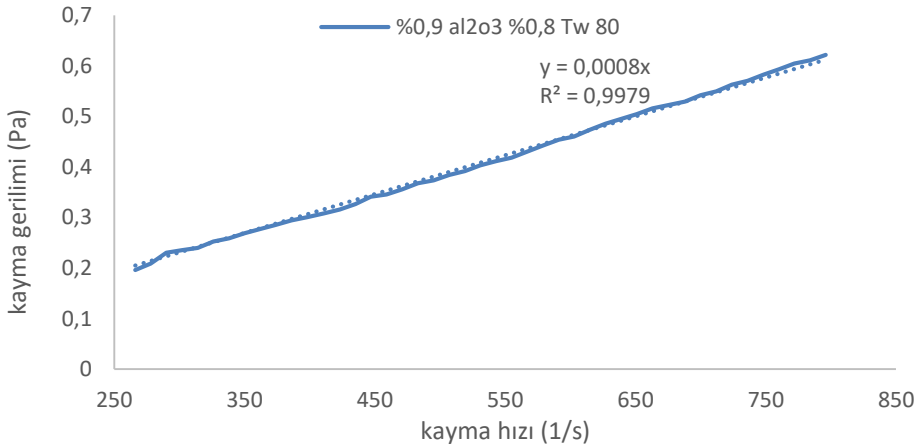
EK A



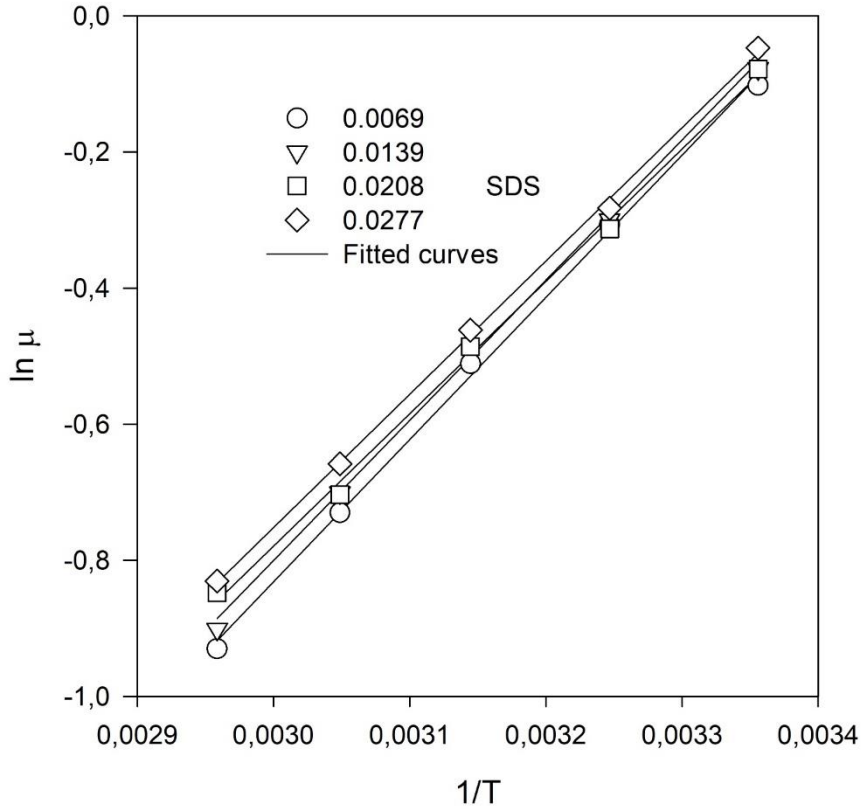
Şekil A.1 : %0,8 Tween 80-su çözeltisinin 35 °C sıcaklıktaki kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.



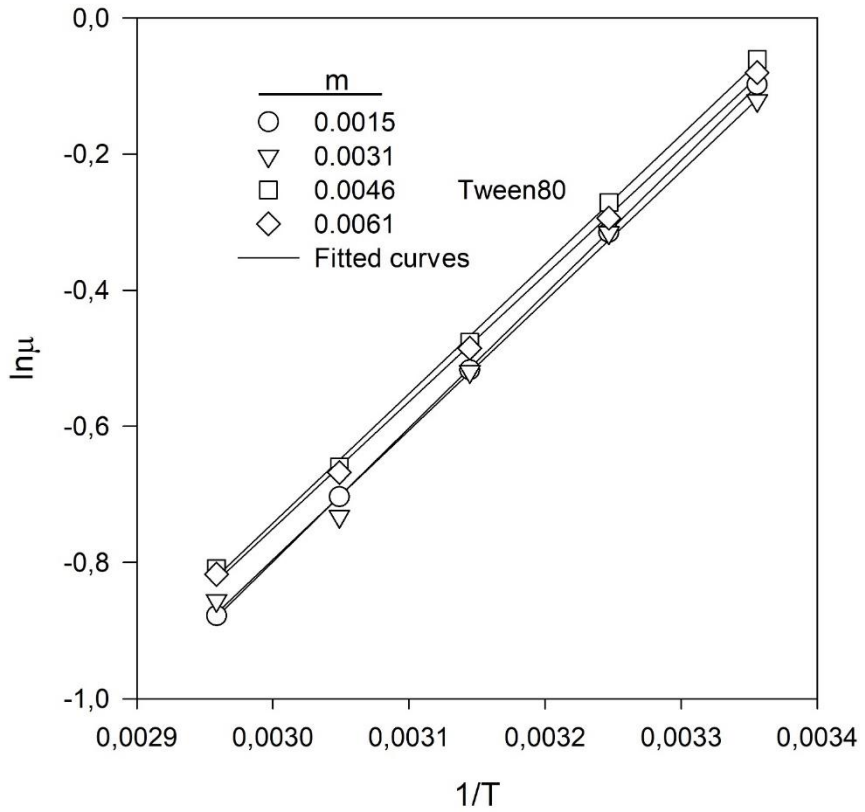
Şekil A.2 : %0,3 Al_2O_3 ve %0,8 Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanın 35 °C sıcaklıktaki kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.



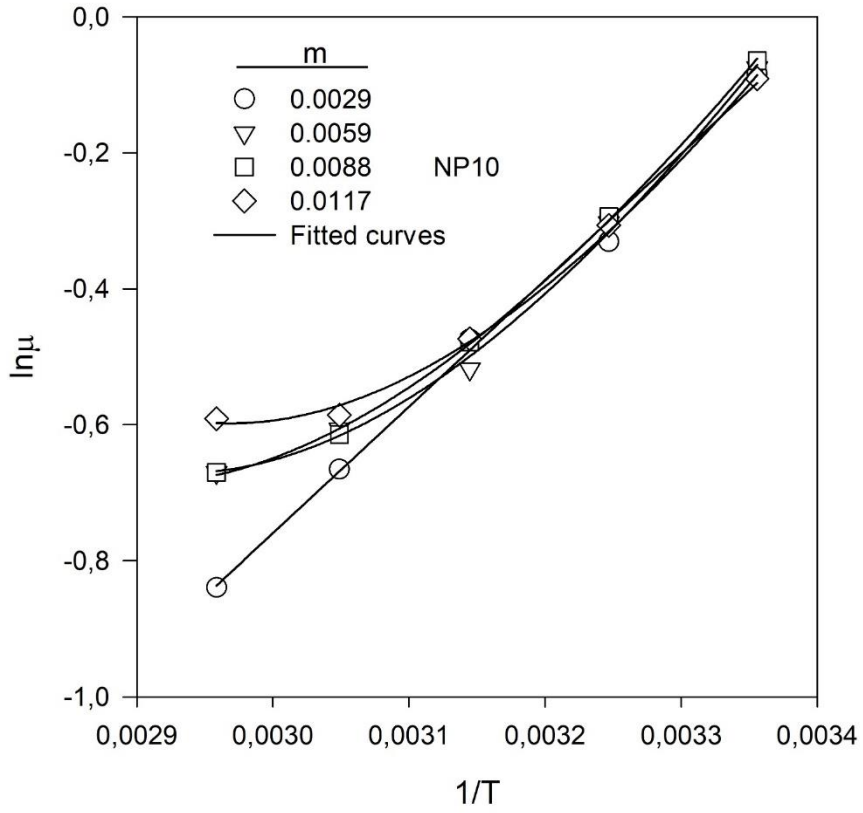
Şekil A.3 : %0,9 Al_2O_3 ve %0,8 Tween 80 ile hazırlanan nanoakışkanın 35 °C sıcaklıktaki kayma geriliminin kayma hızı ile değişimi.



Şekil A.4 : Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan SDS sürfaktan çözeltisinin logaritmik viskozite değerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil A.5 : Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Tween 80 sürfaktan çözeltisinin logaritmik viskozite değerinin sıcaklık ile değişimi.



Şekil A.6 : Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan NP 10 sürfaktan çözeltisinin logaritmik viskozite değerinin sıcaklık ile değişimi.

EK B

Gövde Kısım Re Hesaplama

Hesaplamalar su akışkanı için gösterilmiştir.

P_T = 11,9 x10^{-3} m

d_o = 9,53 x10^{-3} m

$$D_e = \frac{4\left(\frac{P_T^2\sqrt{3}}{4} - \frac{\pi d_o^2}{8}\right)}{\pi d_o/2}$$

D_e=6,855 x$10^{-3}m$

$$G_s = \frac{\dot{m}}{A_s}$$

$$A_s = \frac{D_s C B}{P_T}$$

$$A_s = \frac{83x10^{-3} * 2{,}37x10^{-3} * 68x10^{-3}}{11{,}9x10^{-3}}$$

A_s =1,124 x10^{-3} m^2

Giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamaları 48 ^oC olarak hesaplandı ve Bu sıcaklıktaki viskozite değerleri alındı.

μ =5,3435x10^{-4} kg/m.s

$$Re_s = \frac{G_s D_e}{\mu}$$

Re_s = 951 olarak hesaplandı.

Boru kısım Re Hesaplama

Isı değiştiricinin boru kısmından 5 L/dk debi ve gövde kısmından 5 L/dk debi ile gönderilen su için örnek hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$Re_b = \frac{4 * \dot{m}_c}{(15) * \pi * \mu * 8{,}616x10^{-3}}$$

Giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamaları 37 ^oC olarak hesaplandı ve Bu sıcaklıktaki yoğunluk ve viskozite değerleri alındı.

$\dot{m}_c$= 0,082400333 kg/s

μ= 6,6824 x10^{-4} kg/m.s

Re_b =1215 olarak hesaplanmıştır.

Isıl Yüklerin Hesaplanması

Hesaplamalar, ısı değiştiricinin boru kısmından 4 L/dk ve gövde kısmından 5 L/dk debi ile geçen su akışkanı için gösterilmiştir.

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h c_{ph}(T_{h,çıkan} - T_{h,giren})$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c c_{pc}(T_{c,çıkan} - T_{c,giren})$$

$T_{h,giren}$ =47,3 ^oC

$T_{h,çıkan}$ =42,5 ^oC

$T_{c,giren}$ =31,4 ^oC

$T_{c,çıkan}$ =37,2 ^oC

Giren çıkan akışkanların ortalama sıcaklıkları için c_p ve ρ değerleri alınmıştır.

c_{ph} = 4,18 J/g.K

c_{pc} = 4,18 J/g.K

$\dot{m}_h$= 65,88 g/s

$\dot{m}_c$ =82,08 g/s

$\dot{Q}_h$ = 1632,0 J/s

$\dot{Q}_c$ = 1607,4 J/s olarak hesaplanmıştır.

Isı kaybı aşağıdaki formül yardımı ile % 1,5 olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\dot{Q}_h - \dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} * 100$$

Toplam Isı Transfer Katsayısının Hesaplanması

Hesaplamalar, ısı değiştiricinin boru kısmından 4 L/dk ve gövde kısmından 5 L/dk debi ile geçen su akışkanı için gösterilmiştir.

$\dot{Q}_h$ = 1632,0 J/s

$\dot{Q}_c$ = 1607,4 J/s

$$\dot{Q} = \frac{\dot{Q}_h + \dot{Q}_c}{2}$$

$\dot{Q}$ =1619,7 J/s

$$\dot{Q} = U_o A_o F \Delta T_{lm}$$

A_o =0,36 m^2

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$$

ΔT_1 =11,1

ΔT_2 =10,1

ΔT_{lm} =10,59

$$F = \frac{\sqrt{(R^2+1)}\,\ln[\frac{1-S}{1-RS}]}{(R-1)\ln[\frac{2-S(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-S(R+1+\sqrt{R^2+1})}}$$

$$R = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{c2} - T_{c1}}$$

$$S = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}}$$

R = 0,815

S = 0,367

F = 1,114 olarak hesaplanmıştır.

U = 381,4 W/m^{2}K olarak elde edilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Aycan ALTUN

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1992 MALATYA

E-posta **:** aycanaltun92@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2015, ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** **:** 2020, BTÜ, Kimya Mühendisliği ABD, Kimya Mühendisliği