T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON NANOTÜPLÜ KOMPRESÖR YAĞLARININ DİNAMİK VİSKOZİTELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

HAMZA TARIK ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISI PROSES PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET SELİM DALKILIÇ

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON NANOTÜPLÜ KOMPRESÖR YAĞLARININ DİNAMİK VİSKOZİTELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Hamza Tarık ÖZTÜRK tarafından hazırlanan tez çalışması 26.04.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zeynep Duriye BİLGE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yaşar İSLAMOĞLU
Sakarya Üniversitesi

ÖNSÖZ

Çalışmamın başından itibaren bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ'a, deney düzeneğinin temini ve diğer birçok konuda destek sağlayan KMUTT'ye ve Prof. Dr. Somchai WONGWİSES'a gönülden teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam boyunca yanımda olan aileme ve kadim dostum Faruk YILDIZ'a manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ümit ederim ki tez çalışmam ülkeme ve insanlığın bilimsel gelişimine katkı sağlayacak, bu alandaki gelecekteki çalışmalara yol gösterecektir.

Nisan, 2017

Hamza Tarık ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ....vi

KISALTMA LİSTESİ....vii

ŞEKİL LİSTESİ.... viii

ÇİZELGE LİSTESİ....x

ÖZET....xi

ABSTRACT....xii

BÖLÜM 1

GİRİŞ....1

1.1 Literatür Özeti....1
1.1.1 Nanoakışkanlar....12
1.2 Tezin Amacı....13
1.3 Orijinal Katkı....13

BÖLÜM 2

DENEYSEL ÇALIŞMA....15

2.1 Kompresör Yağları....15
2.2 Nanopartiküller....16
2.3 Deney Seti....19
2.3.1 Solüsyonların Hazırlanması....19
2.3.2 Sonikatörde Şartlandırma....19
2.3.3 Deney Düzeneği ve Viskozite Ölçümü....20

BÖLÜM 3

TARTIŞMA VE BULGULAR....23

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER....39

KAYNAKLAR....40

EK-A

DİNAMİK VİSKOZİTE DENEYSEL VERİLERİ 43
ÖZGEÇMİŞ.....53

SİMGE LİSTESİ

μ	Dinamik viskozite
μ_{nf}	Nanoakışkanın dinamik viskozitesi
μ_{bf}	Temel akışkanın dinamik viskozitesi
μ_{kor}	Korelasyonlar ile bulunan dinamik viskozite değerleri
μ_{den}	Deneysel olarak elde edilen dinamik viskozite değerleri
υ	Kinematik viskozite
k	Isı iletim katsayısı
T	Sıcaklık
φ	Kütlece yüzde konsantrasyon
Φ	Hacimce yüzde konsantrasyon

KISALTMA LİSTESİ

CNT	Carbon Nanotube
CTAB	Cetrimonium Bromide
FTIR	Fourier Transform Infrared
HFC	Hydrofluorocarbon
MWCNT	Multi Walled Carbon Nanotube
SDBS	Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
SEM	Scanning Electron Microscopy
SWCNT	Single Walled Carbon Nanotube
TEM	Transmission Electron Microscopy

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Asadi vd. [2]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite artış grafiği.....2
Şekil 1. 2 Asadi vd. [2]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....2
Şekil 1. 3 Jo ve Banerjee [3]'nin çalışmasındaki nanoakışkanların taramalı elektron mikroskobundaki görüntüsü a)Gum arabic kullanılan, b)Gum arabic kullanılmayan 3
Şekil 1. 4 Garg vd. [5]'nin çalışmasındaki viskozite-kayma hızı grafiği a)15 °C, b)30 °C 4
Şekil 1. 5 Baratpour vd. [6]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-konsantrasyon grafiği 5
Şekil 1. 6 Baratpour vd. [6]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....5
Şekil 1. 7 Halelfadl vd. [7]'nin çalışmasındaki %0,5 konsantrasyon için dinamik viskozite-kayma hızı grafiği.....6
Şekil 1. 8 Halelfadl vd. [7]'nin çalışmasındaki %0,01 konsantrasyon için dinamik viskozite-kayma hızı grafiği.....7
Şekil 1. 9 Halelfadl vd. [7]'nin çalışmasındaki deneysel verilerin viskozite modelleri ile karşılaştırılması grafiği.....7
Şekil 1. 10 Sabiha vd. [8]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....8
Şekil 1. 11 Ding vd. [9]'nin çalışmasındaki ph 6.0 için dinamik viskozite-kayma hızı grafiği.....9
Şekil 1. 12 Ding vd. [9]'nin çalışmasındaki 25 °C'da dinamik viskozite-kayma hızı grafiği.....9
Şekil 1. 13 Xie vd. [10]'nin çalışmasındaki 25 °C'da dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği.....10
Şekil 1. 14 Xing vd. [11]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği.....11
Şekil 1. 15 Phuoc vd. [12]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-kayma hızı ve kayma gerilmesi-kayma hızı grafikleri 12
Şekil 2. 1 Çok cidarlı karbon nanotüp numunesi 17
Şekil 2. 2 Çalışmada kullanılan MWCNTs'in görüntüleri a)SEM b)TEM 17
Şekil 2. 3 Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi spektroskopisi sonuçları a)Fonksiyonelleştirme işleminden sonra b)Fonksiyonelleştirme işleminden önce 18
Şekil 2. 4 Sonikasyon işlemi için kurulan düzenek ve ultrasonik sonikatör 20
Şekil 2. 5 Viskozimetre 21
Şekil 2. 6 Deney düzeneği 22
Şekil 3. 1 Farklı nanoakışkanların görselleri, a)Saf yağ, b)2 hafta bekleme sonunda %0,01 CNT/SL-32S, c)2 hafta bekleme sonunda %0,1 CNT/SL-32S 24

Şekil 3. 2 SL-32S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....25
Şekil 3. 3 SL-32S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği.....26
Şekil 3. 4 SL-68S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....27
Şekil 3. 5 SL-68S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği.....27
Şekil 3. 6 SL-100S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....28
Şekil 3. 7 SL-100S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği.....29
Şekil 3. 8 SL-220S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği.....30
Şekil 3. 9 SL-220S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği.....30
Şekil 3. 10 Nanoakışkanların kütlece %0,1 konsantrasyonda bağıl viskozite grafiği 31
Şekil 3. 11 SL-32S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması.....33
Şekil 3. 12 SL-68S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması.....33
Şekil 3. 13 SL-100S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması.....34
Şekil 3. 14 SL-220S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması.....34
Şekil 3. 15 SL-32S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması 36
Şekil 3. 16 SL-68S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması 37
Şekil 3. 17 SL-100S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması.....37
Şekil 3. 18 SL-220S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması.....38

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Kompresör yağlarının özellikleri 16
Çizelge 3. 1 Nanoakışkanların çökelme süreleri 24
Çizelge 3. 2 Literatürdeki korelasyonların deney verileri ile karşılaştırılması 32
Çizelge 3. 3 Nanoakışkanların dinamik viskozitesinin hesaplanması için önerilen korelasyonlar 35
Çizelge 3. 3 Nanoakışkanların dinamik viskozitesinin hesaplanması için önerilen korelasyonlar (devamı) 36

ÖZET

KARBON NANOTÜPLÜ KOMPRESÖR YAĞLARININ DİNAMİK VİSKOZİTELERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Hamza Tarık ÖZTÜRK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ

Nanoakışkanların kararlılıklarının araştırılması ve viskozite gibi termofiziksel özeliklerinin ölçümü, nanoakışkan temelli termal sistemlerin tasarlanmasında hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada, fonksiyonelleştirilmiş çok cidarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve soğutma sistemi kompresörlerinin yağlarının karışımından oluşan süspansiyonların kararlılıkları ve viskoziteleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çok cidarlı karbon nanotüpleri fonksiyonelleştirmek için −OH ve –COOH eklenmiş ve bu %65 kütlece yüzde konsantrasyonda nitrik asit solüsyonu kullanılarak sağlanmıştır. Çok cidarlı karbon nanotüplerin duvarlarına eklenen fonksiyonel grupları belirlemek için Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi (FTIR) spektroskopi analizleri yapılmıştır. Sonrasında % 0,1 kütlece yüzde konsantrasyona kadar miktarlarda karbon nanotüpler, dört farklı viskozite değerinde kompresör yağının içinde dağılacak şekilde solüsyon hazırlanmıştır. Kompresör yağlarının viskozitesi arttıkça karbon nanotüp temelli nanoakışkanların kararlılıklarının da iyileştiği gözlemlenmiştir. Nanoakışkanların viskozitesi 15-50 °C aralığında sekiz farklı sıcaklıkta ölçülmüştür. Literatürdeki en geçerli korelasyonların sonuçları deney verileri ile uyumludur. Son olarak nanoakışkanların viskoziteleri için doğrusal, parabolik, Gauss ve Lorentz fonksiyonları şeklinde korelasyonlar önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon nanotüpler, Nanoakışkanlar, Viskozite, Kararlılık, Kompresör yağı

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY ON THE DYNAMIC VISCOSITY FOR THE BLENDS OF CARBON NANOTUBES WITH COMPRESSOR OILS

Hamza Tarik OZTURK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIC

Investigation of nanofluid stability and measurement of thermophysical properties such as viscosity are vital for the design of nanofluid-based thermal systems. In this paper, the stability and viscosity of nanosuspensions combined of functionalized multi-wall carbon nanotubes (MWCNTs) and refrigeration compressor oil have been investigated experimentally. To functionalize MWCNTs, 65 wt% nitric acid solution has been used to attach −OH and −COOH groups. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy analyses have been conducted to determine the functional groups attached to the surfaces of MWCNTs. Next, functionalized MWCNTs with mass concentrations up to 0.1% have been dispersed in refrigeration oil with four different values of viscosity. It is observed that with increasing the viscosity of the base oil, the stability of MWCNTs based nanofluids ameliorates. Next, the viscosity of nanofluids has been measured at a temperature range of 15 °C to 50 °C. Moreover, well-known empirical correlations have been evaluated for the validation study. Finally, four correlations involving plane, paraboloid, Gaussian, and Lorentzian functions are proposed for the viscosity of nanofluids.

Keywords: Carbon nanotubes, Nanofluids, Viscosity, Stability, Compressor oil

BÖLÜM 1

GİRİŞ

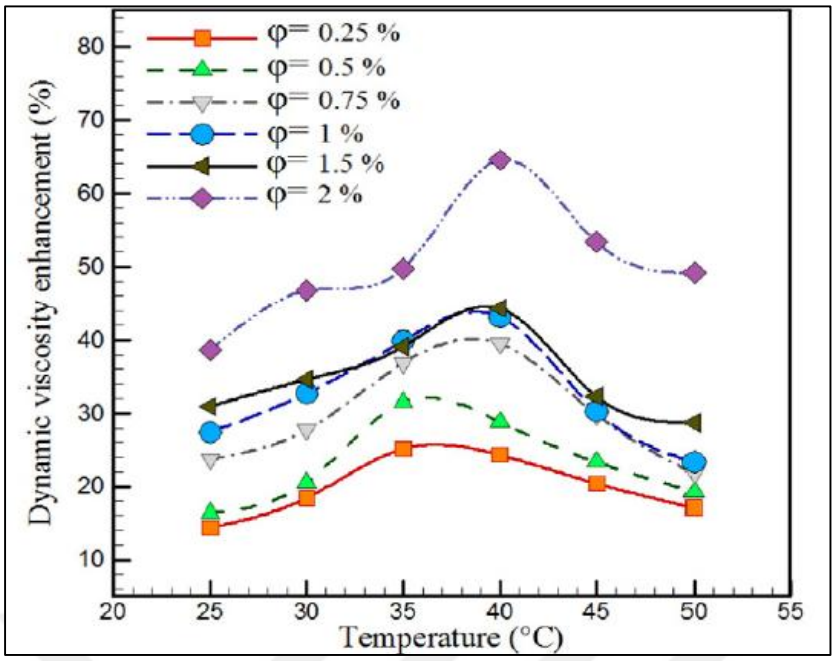
1.1 Literatür Özeti

Fontes vd. [1] karbon nanotüp/transformatör yağı nanoakışkanlarının dinamik viskozitelerini araştırmışlardır. Ölçümlerinde Physica MCR 301 model reometre kullanmışlardır. Solüsyonları %0,005-%0,01-%0,05 olarak üç değişik hacimce yüzde konsantrasyonda hazırlamışlardır. %0,01 konsantrasyonlu CNT içeren nanoakışkanda %25'e kadar viskozite artışı görülmüştür ve bu hazırladıkları solüsyonlar içinde en yüksek orandır. Ayrıca deneysel sonuçları Einstein'ın klasik korelasyonu ile uyumlu sonuç göstermiştir.

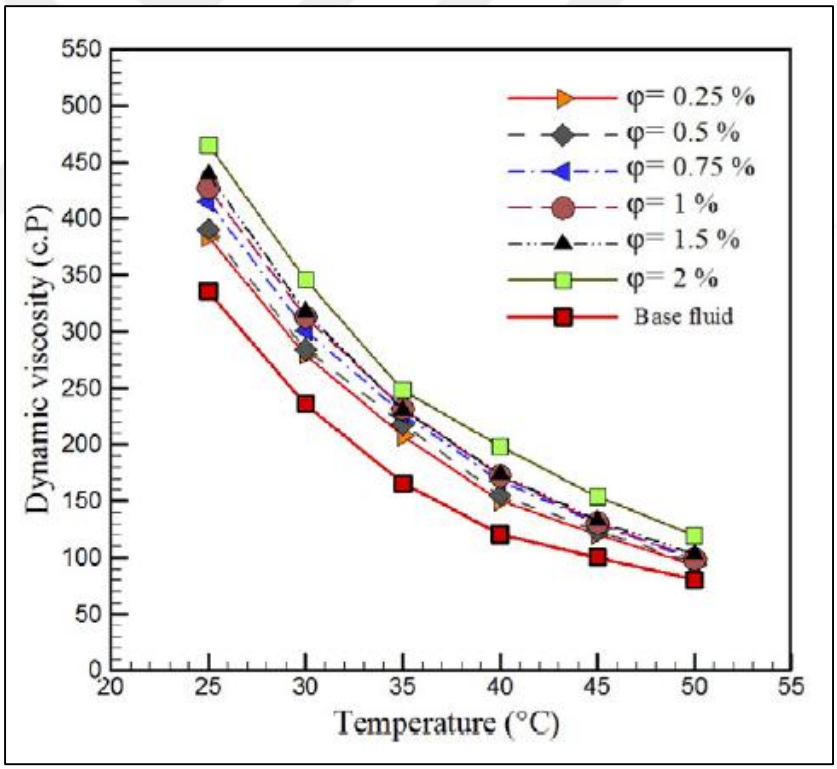
Asadi vd. [2] SAE50 motor yağına çok cidarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve magnezyum oksit (MgO) eklenmiş karışımların dinamik viskozitelerini incelemişlerdir. Karışımlar %20 MWCNT-%80 MgO olacak şekilde %0,25-%0,5-%0,75-%1-%1,5-%2 kütlece yüzde konsantrasyonda hazırlanmıştır. Viskozite ölçümleri Brookfield, CAP2000+ model viskozimetre ile 25-50 °C aralığında 6 değişik sıcaklıkta yapılmıştır. Maksimum viskozite artışı 40 °C'da minimum viskozite artışı ise 25 °C'da gözlemlenmiştir. Ayrıca deneysel verilerini literatürdeki bilinen korelasyonlarla karşılaştırmış, uyumlu sonuçlar gözlemlemişlerdir. Kendileri de %8 hata oranı bulunan bir korelasyon (1.1) önermiş ve çalıştıkları nanoakışkan için bu oranın oldukça iyi olduğunu belirtmişlerdir.

$$\mu_{nf} = 328201 \times T^{-2,053} \times \varphi^{0,09359} \quad (1.1)$$

Ayrıca dinamik viskozite değerlerinin sıcaklıkla değişim ve yüzdesel olarak artış miktarlarını gösterdikleri grafikleri verilmiştir.



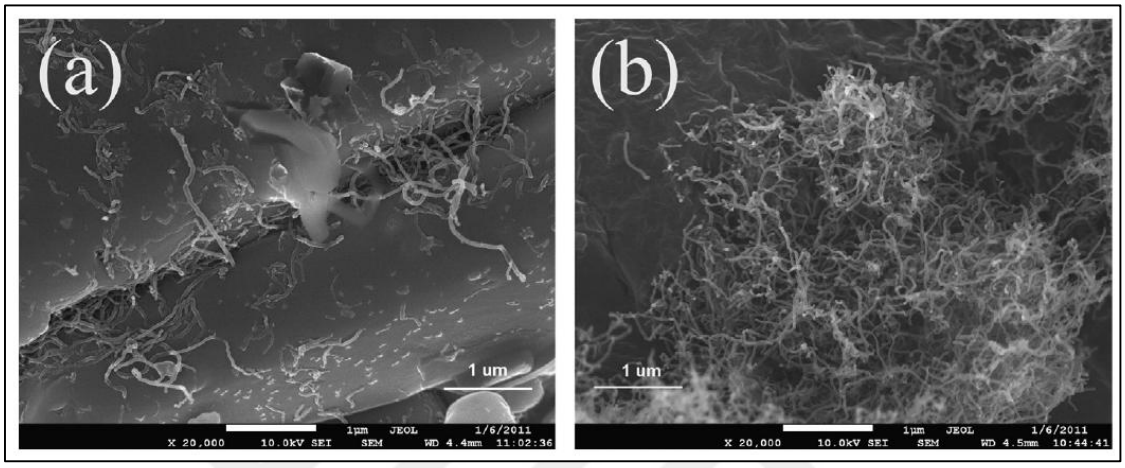
Şekil 1. 1 Asadi vd. [2]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite artış grafiği



Şekil 1. 2 Asadi vd. [2]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

Jo ve Banerjee [3] içinde ergiyik lityum karbonat ve potasyum karbonat tuzları bulunan suyu temel akışkan olarak kullanarak çok cidarlı karbon nanotüp içeren nanoakışkanların dinamik viskozitelerini araştırmışlardır. Çalışmanın ana amacı kule tipi güneş santrallerindeki ısı transferi için kullanılan ergiyik tuz karışımlarının

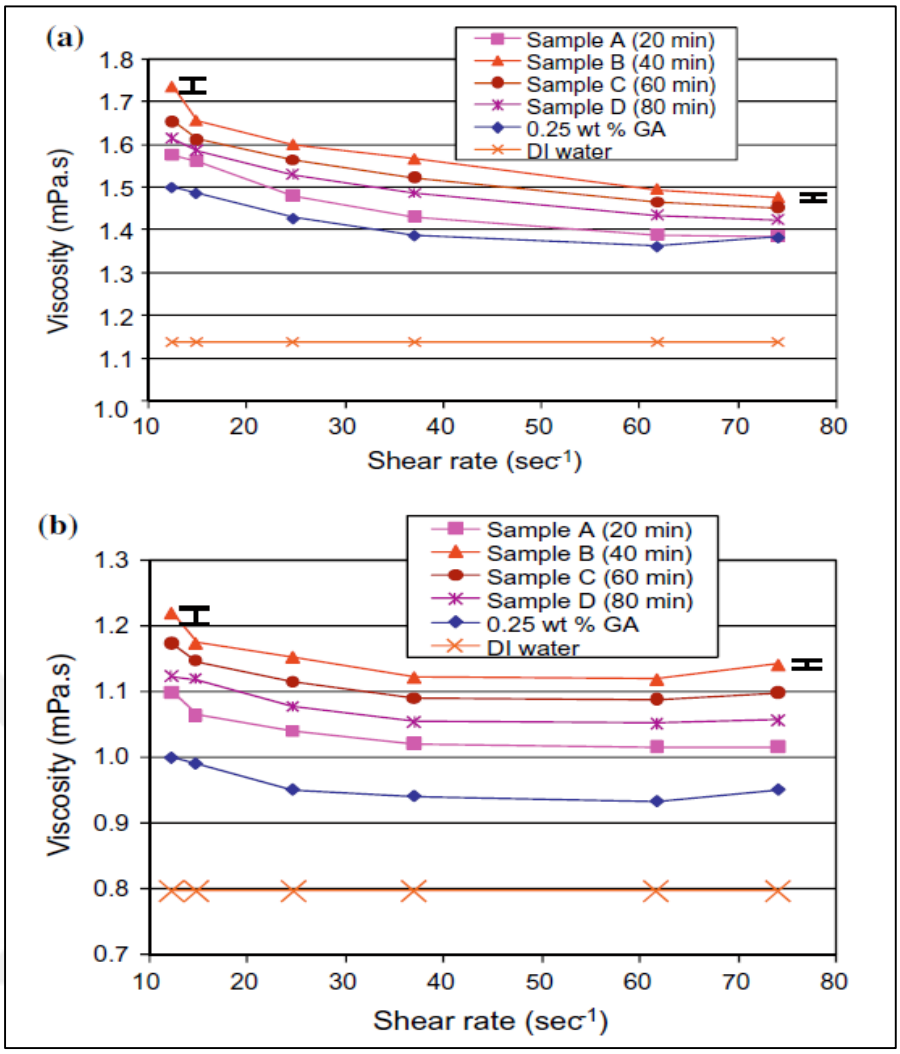
termofiziksel özeliklerinin iyileştirilmesidir. %1-%2 ve %5 kütlece yüzde konsantrasyonda MWCNT içeren nanoakışkanlar düşük kayma hızında newtoniyen olmayan özellik göstermiştir. Maksimum kayma hızı ve konsantrasyonda dinamik viskozite 11 kata yakın artış göstermiştir. Ayrıca kimyasal bileşik (sürfaktan) olarak gum arabic kullanılmadığında, kullanılan nanoakışkanlara göre %18 daha fazla viskozite artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 1. 3 Jo ve Banerjee [3]'nin çalışmasındaki nanoakışkanların taramalı elektron mikroskobundaki görüntüsü a)Gum arabic kullanılan, b)Gum arabic kullanılmayan

Vakili-Nezhaad ve Dorany [4] tek cidarlı karbon nanotüpler içeren ve temel akışkanı endüstriyel yağlar olan nanoakışkanların kinematik viskozitelerini araştırmışlardır. Nanoakışkanlar %0,01-0,2 kütlece yüzde konsantrasyon aralığında hazırlanmış deneyler 25-100 °C sıcaklık aralığında yapılmıştır. %0,2 konsantrasyonda %33 viskozite artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmalarını literatürdeki bilinen korelasyonlarla karşılaştırıp deney sonuçlarının uyumlu ve kabul edilebilir aralıkta olduğunu göstermişlerdir.

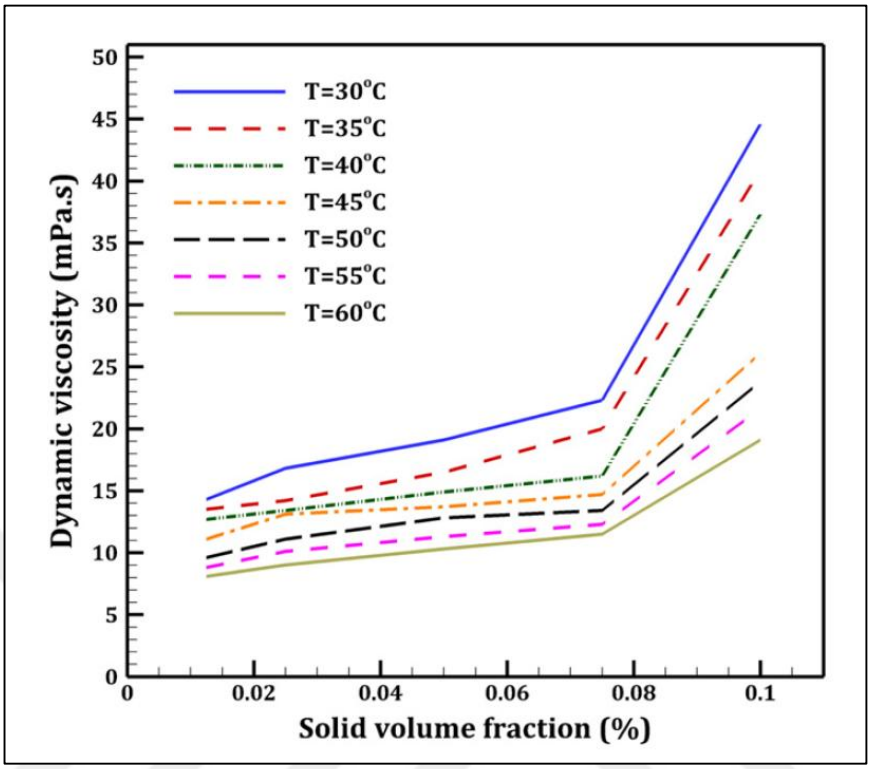
Garg vd. [5] sonikasyon süresinin dinamik viskoziteye etkisini incelemek için MWCNT/su nanoakışkanları üzerinde deneyler yapmışlardır. Çalışmalarında ayrıca ısı iletim katsayısını da ölçmüşlerdir. Solüsyonlar kütlece yüzde konsantrasyonları %1 MWCNT ve %0,25 gum arabic eklenerek hazırlanmış ve 20-40-60-80 dakika sonikasyon uygulanan farklı örnekler hazırlanmıştır. Viskozite ölçümlerinde LVDV-I Prime, Brookfield model viskozimetre kullanmışlardır. Araştırmalarının sonunda viskozitenin bir kritik sonikasyon süresinde maksimuma ulaştığını saptamışlardır. Kritik sonikasyondan sonra viskozitenin azalmasını CNT demetlerinin açılıp daha kısa CNT oluşumuna dayandırmışlardır. Ayrıca nanoakışkanların newtoniyen olmayan özellik gösterdiğini belirlemişlerdir.



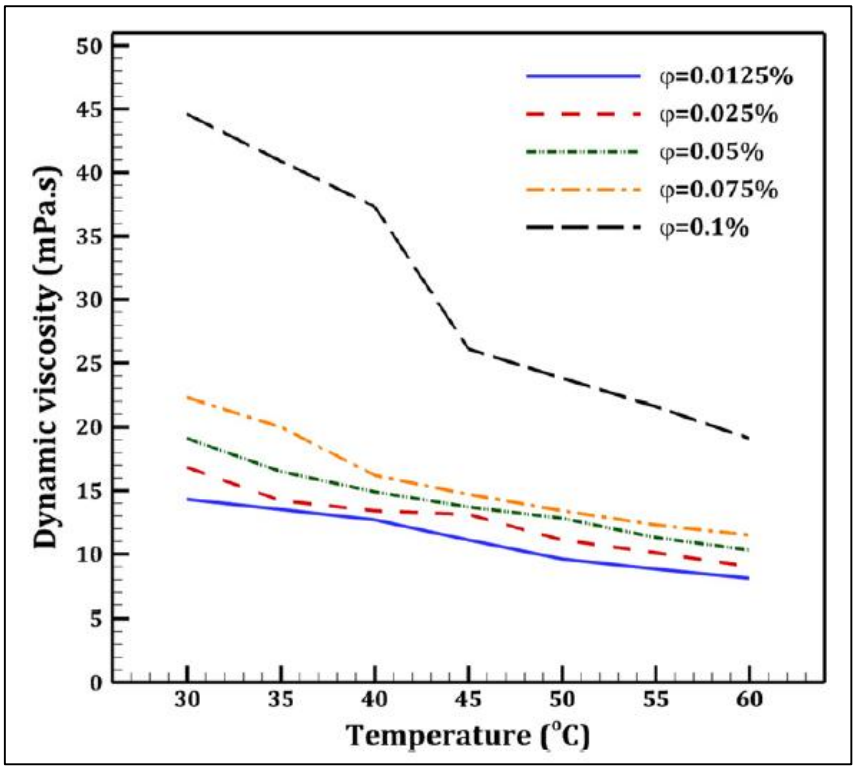
Şekil 1. 4 Garg vd. [5]'nin çalışmasındaki viskozite-kayma hızı grafiği a)15 °C, b)30 °C

Baratpour vd. [6] etilen glikol temelli tek cidarlı karbon nanotüp içeren nanoakışkanların dinamik viskozitesini araştırmışlardır. %0,0125-%0,1 arasında beş farklı hacimce yüzde konsantrasyonda hazırladıkları solüsyonlarla 30-60 °C sıcaklık aralığında deneyler yapmışlardır. Solüsyonlara 6 saat sonikasyon uygulanmış ve viskozite ölçümü Brookfield marka bir viskozimetre ile yapılmıştır. Deneyler sonucunda %0,1'e kadar olan bütün konsantrasyonlarda nanoakışkanların newtoniyen özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca %0,1 konsantrasyon ve 30 °C sıcaklıkta maksimum viskozite artışı görülmüş ve 3,18 kat viskozite artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar literatürdeki korelasyonlarla karşılaştırılmış ve kendileri de bir korelasyon (1.2) önermişlerdir.

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = 1{,}089 + \left[-7{,}722 \times 10^{-9}\left(\frac{T}{\emptyset}\right)^2 + 1{,}1917 T^{0{,}298}\emptyset^{0{,}4777}\right]\exp(19457 T^{-0{,}453}\emptyset^{3{,}219}) \quad (1.2)$$

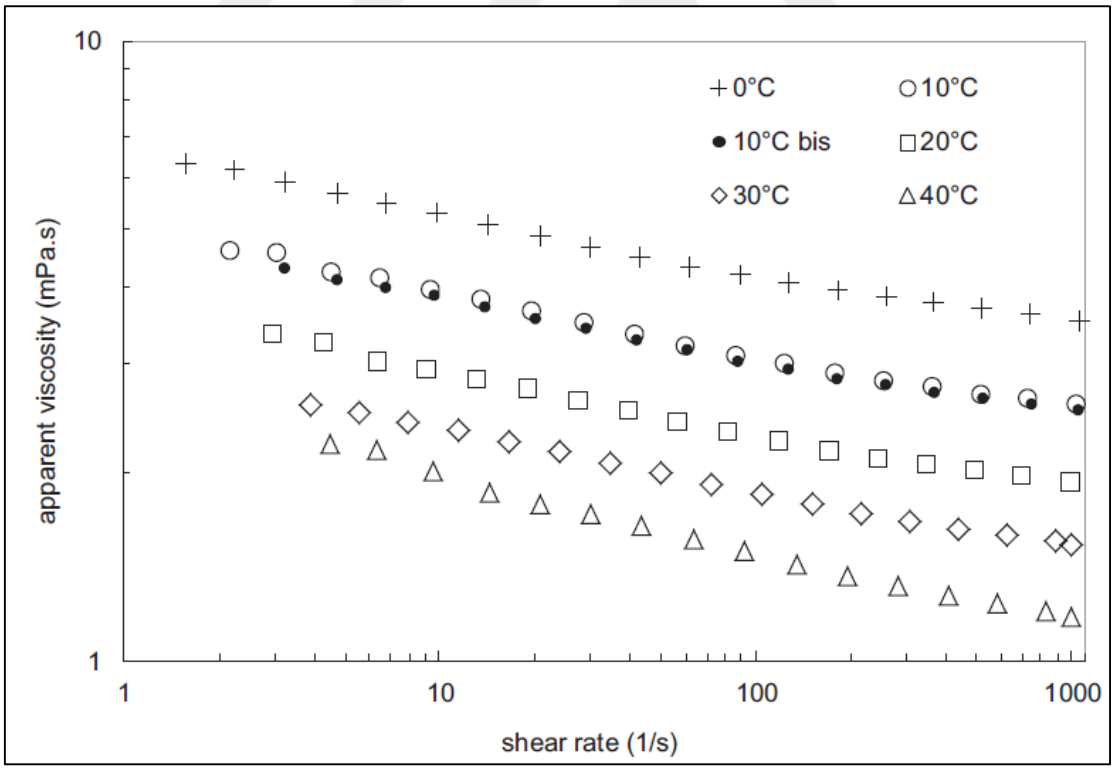


Şekil 1. 5 Baratpour vd. [6]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-konsantrasyon grafiği

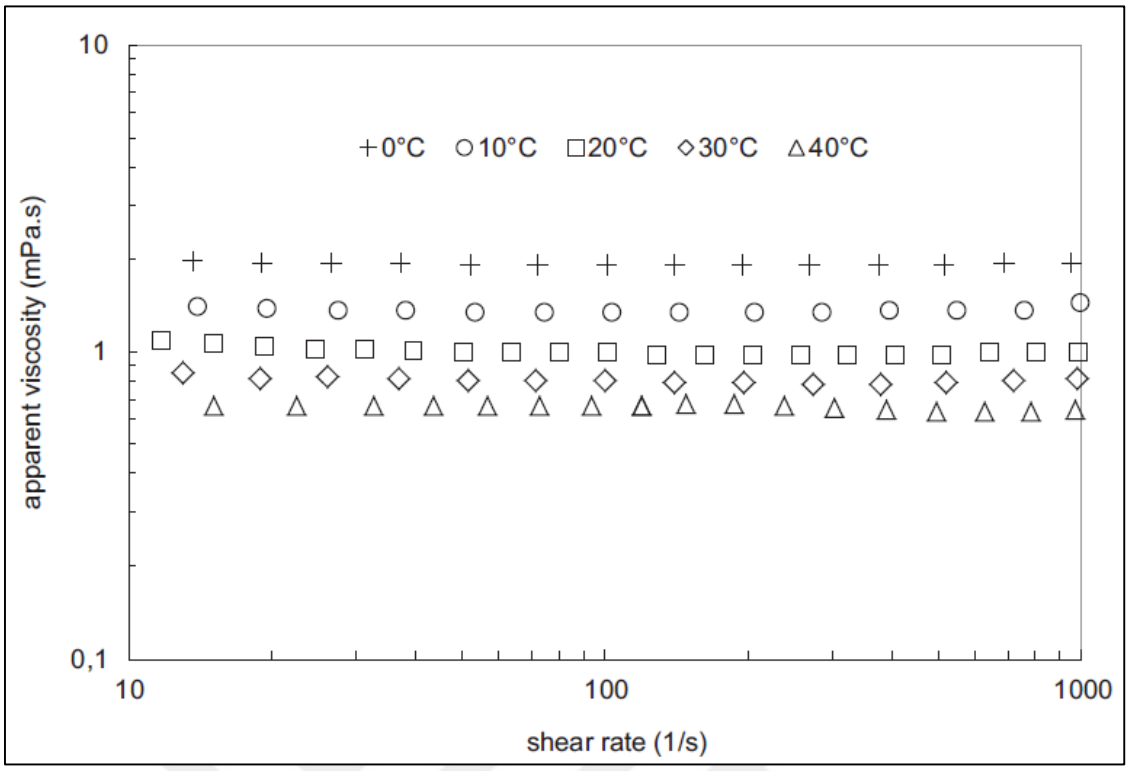


Şekil 1. 6 Baratpour vd. [6]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

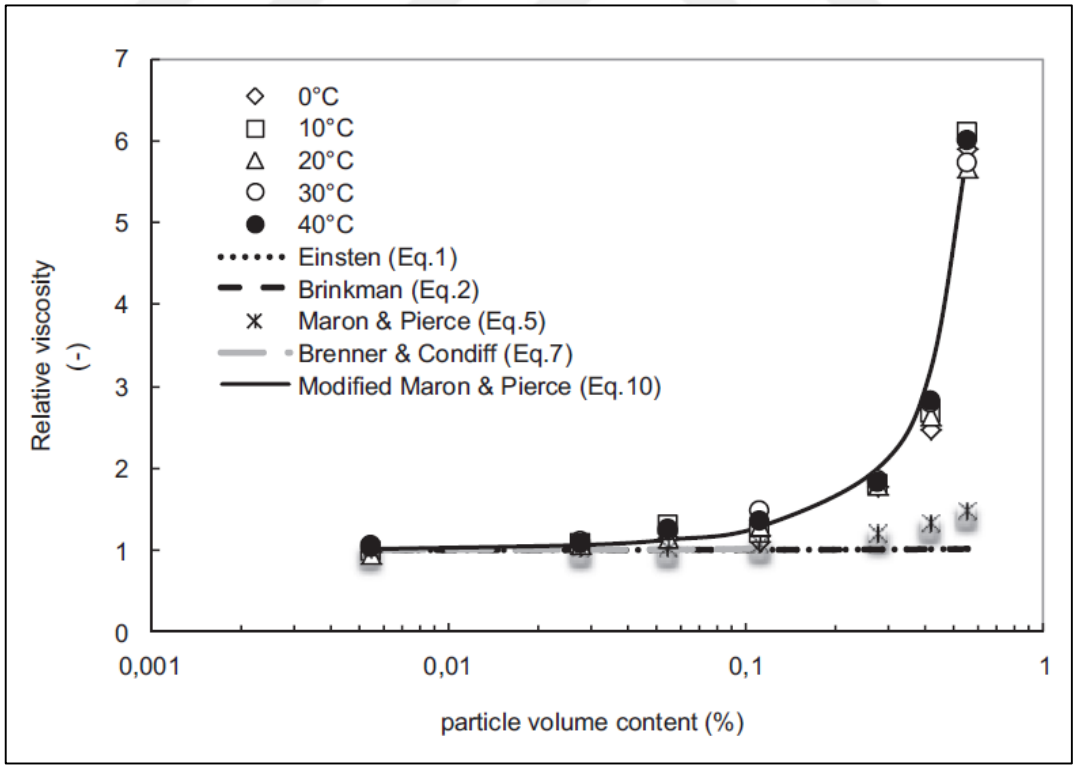
Halelfadl vd. [7] MWCNT/su nanoakışkanının dinamik viskozitesine konsantrasyon ve sıcaklığın etkisini incelemişlerdir. Solüsyonlar Nanocyl (Belçika) firması tarafından sağlanmış ve seyreltmek için iyonsuzlaştırılmış su kullanılmıştır. %0,01-%0,75 aralığında kütlece yüzde konsantrasyonlarda MWCNT ve kimyasal bileşik (sürfaktan) olarak toplam kütlenin %2'si kadar SDBS eklenmiştir. Solüsyonları bir mekanik karıştırıcı ile 30 dakika karıştırmışlar ve bu işlemi 24 saat sonra tekrarlamışlardır. Hazırladıkları solüsyonların reolojik özelliklerini Malvern Kinexus Pro reometre ile ölçmüşlerdir. Ölçümler 0-40 °C sıcaklık aralığında yapılmıştır. Yüksek kayma hızlarında sıcaklığın viskoziteye etkisinin önemli düzeyde olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca nanoakışkanlar düşük konsantrasyonda newtoniyen davranış gösterirken konsantrasyon arttıkça bu newtoniyen olmayan davranışa evrilmiştir. Çalışma oldukça geniş aralıklarda ve kapsamlı olarak yapılmış, sıcaklığın ve konsantrasyonun dinamik viskoziteye etkisini detaylı olarak incelemiştir. Dinamik viskozite-kayma hızı grafiklerinin yanında deneysel verilerin literatürdeki viskozite modelleri ile karşılaştırıldığı grafik de paylaşılmıştır.



Şekil 1. 7 Halelfadl vd. [7]'nin çalışmasındaki %0,5 konsantrasyon için dinamik viskozite-kayma hızı grafiği

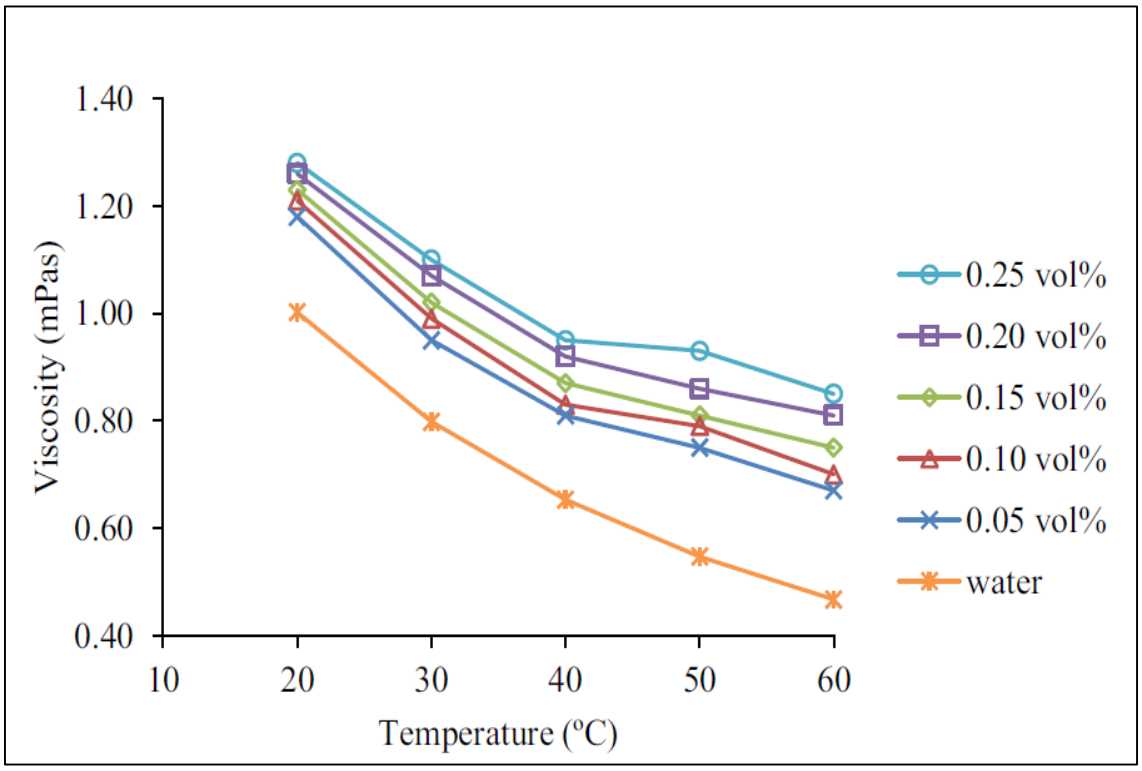


Şekil 1. 8 Halelfadl vd. [7]'nin çalışmasındaki %0,01 konsantrasyon için dinamik viskozite-kayma hızı grafiği



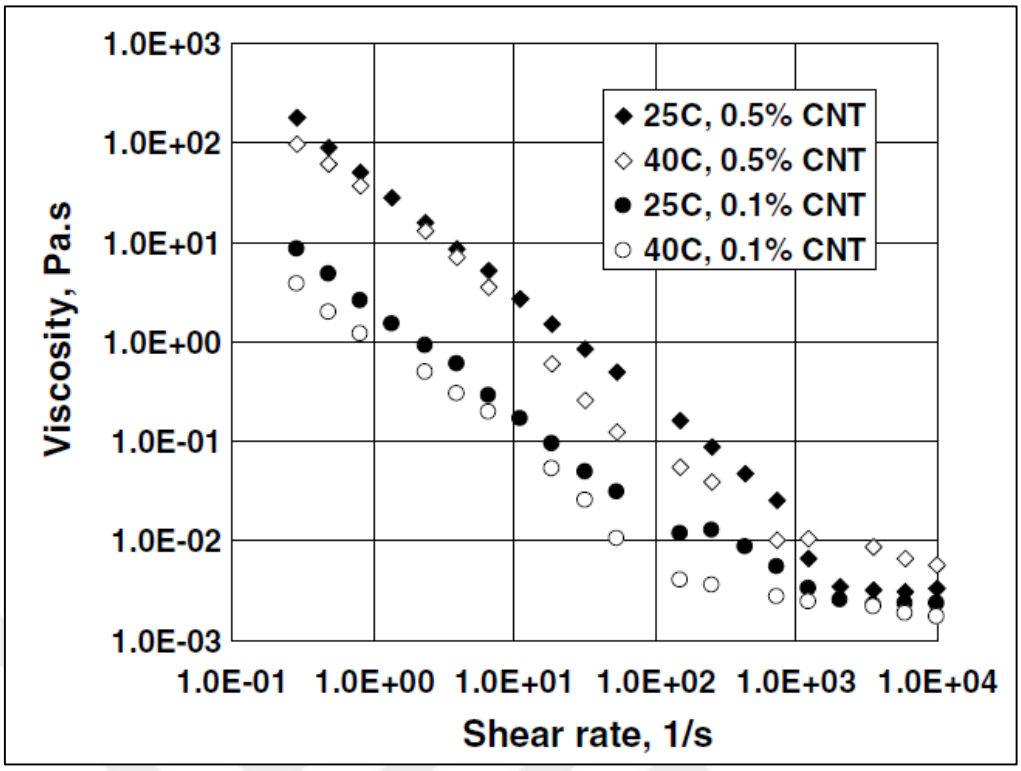
Şekil 1. 9 Halelfadl vd. [7]'nin çalışmasındaki deneysel verilerin viskozite modelleri ile karşılaştırılması grafiği

Sabiha vd. [8] SWCNT/su nanoakışkanlarının dinamik viskozitesini araştırmışlardır. Temel akışkan olarak saf su ve kimyasal bileşik (sürfaktan) olarak SDS kullanılmıştır. Solüsyonlar %0,05-%0,1-%0,15-%0,2 ve %0,25 hacimce yüzde konsantrasyonda hazırlanmış, homojenize etmek için 1 saat sonikasyon uygulanmıştır. Çalışmalarında ayrıca ısı iletim katsayısı, özgül ısı gibi başka termofiziksel özelikleri de araştırmışlardır. Dinamik viskozitenin hacimce yüzde konsantrasyon arttıkça arttığını ve %17,76'den %82,01'e kadar artış gösterebildiğini belirtmişlerdir.

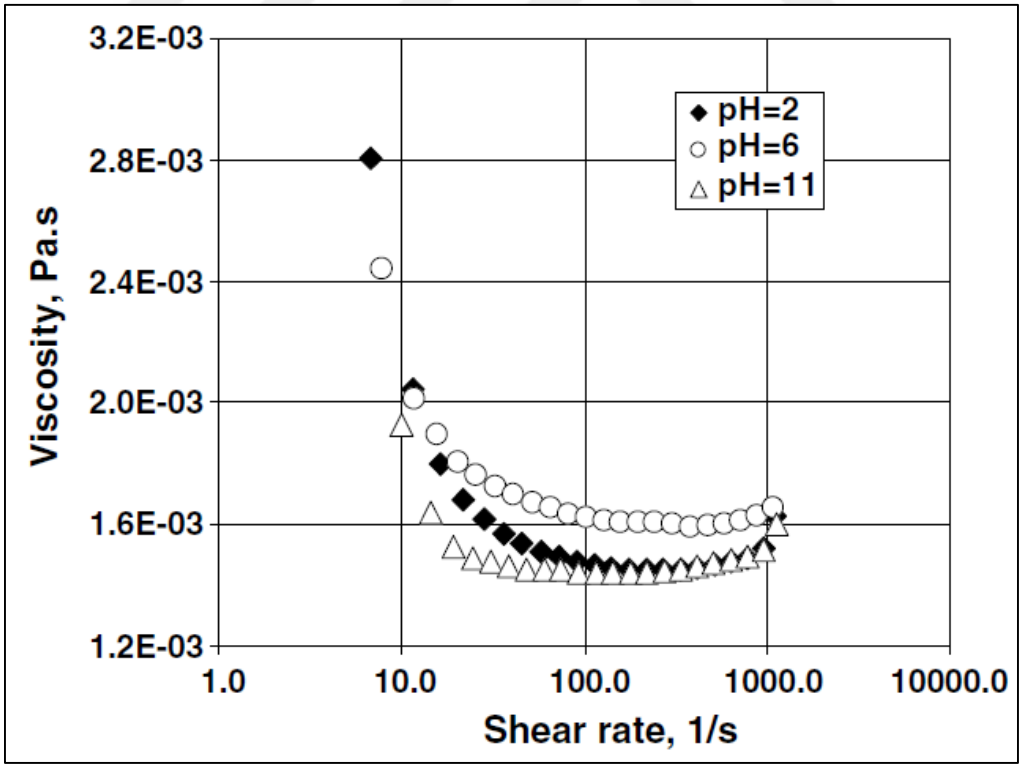


Şekil 1. 10 Sabiha vd. [8]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

Ding vd. [9] yatay borudaki ısı transferine karbon nanotüplerin etkisini incelemişlerdir. Deneyde akışa viskozite dışında etki eden diğer faktörler Reynolds sayısı ve pH seviyesidir. Deneyler 25 °C ve 40 °C'da yapılmış, %0,5 ve %0,1 kütlece yüzde konsantrasyonda CNT, %0,25 kütlece yüzde konsantrasyonda gum arabic içeren solüsyonlar kullanılmıştır. Yüksek kayma hızında CNT ve kimyasal bileşik (sürfaktan) etkisi ile oluşan viskozite artışının düşük kayma hızlarına göre daha belirgin olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında ısı transferindeki maksimum artış %350 ile %0,5 konsantrasyonda gerçekleşmiştir.

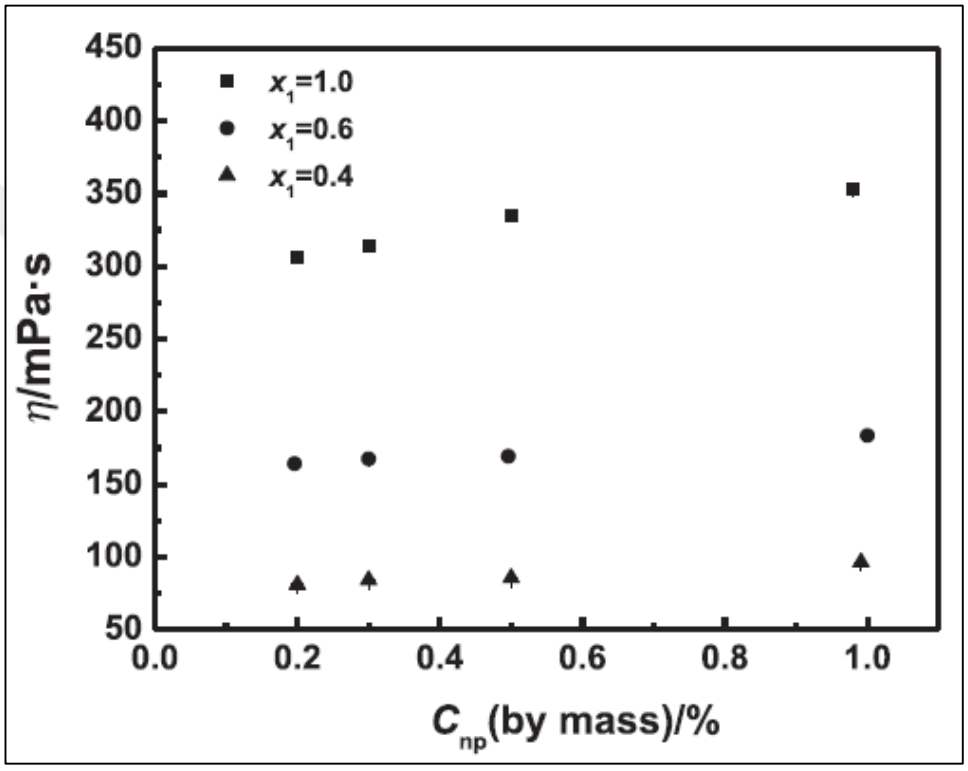


Şekil 1. 11 Ding vd. [9]'nin çalışmasındaki ph 6.0 için dinamik viskozite-kayma hızı grafiği



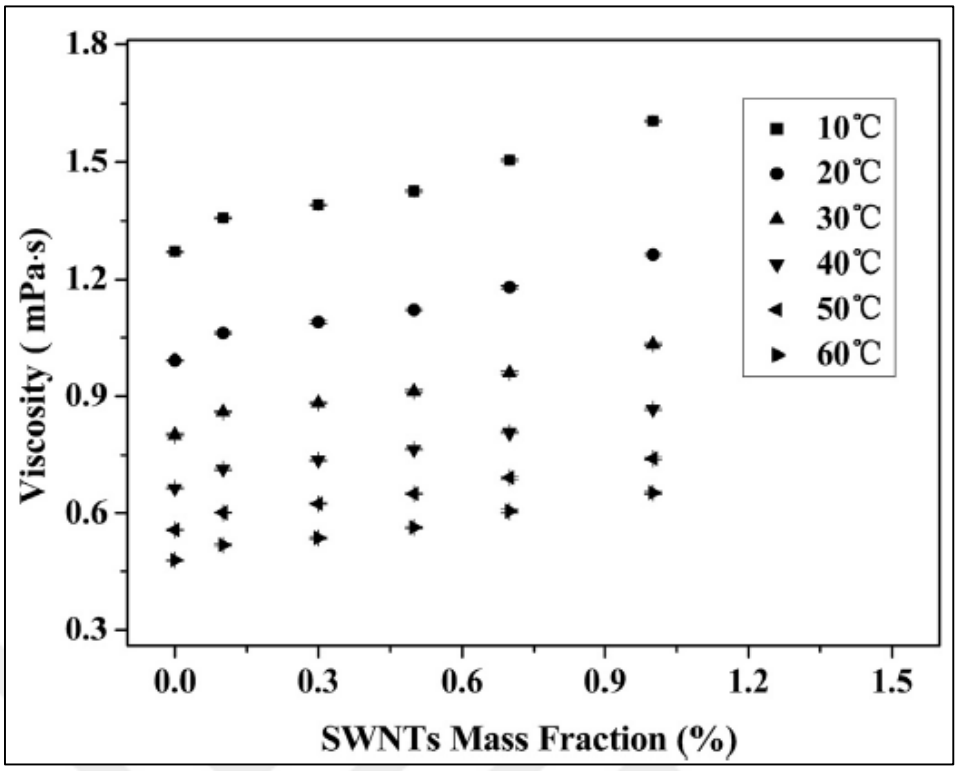
Şekil 1. 12 Ding vd. [9]'nin çalışmasındaki 25 °C'da dinamik viskozite-kayma hızı grafiği

Xie vd. [10] iyonik akışkan temelli MWCNTs içeren nanoakışkanların dinamik viskozitesini araştırmışlardır. Çalışmada ayrıca ısı iletim katsayısı ve yoğunluk da ölçülmüş, kimyasal bileşik (sürfaktan) kullanılmamıştır. MWCNT konsantrasyonları kütlece yüzde olarak %0,2-%0,5-%1 olan solüsyonlar hazırlanmıştır. MWCNT konsantrasyonu arttıkça viskozitede önemli bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca sıcaklık artışıyla viskozitenin büyük oranda azaldığını hatta ana akışkana yakın değerlere yaklaştığını belirtmişlerdir.



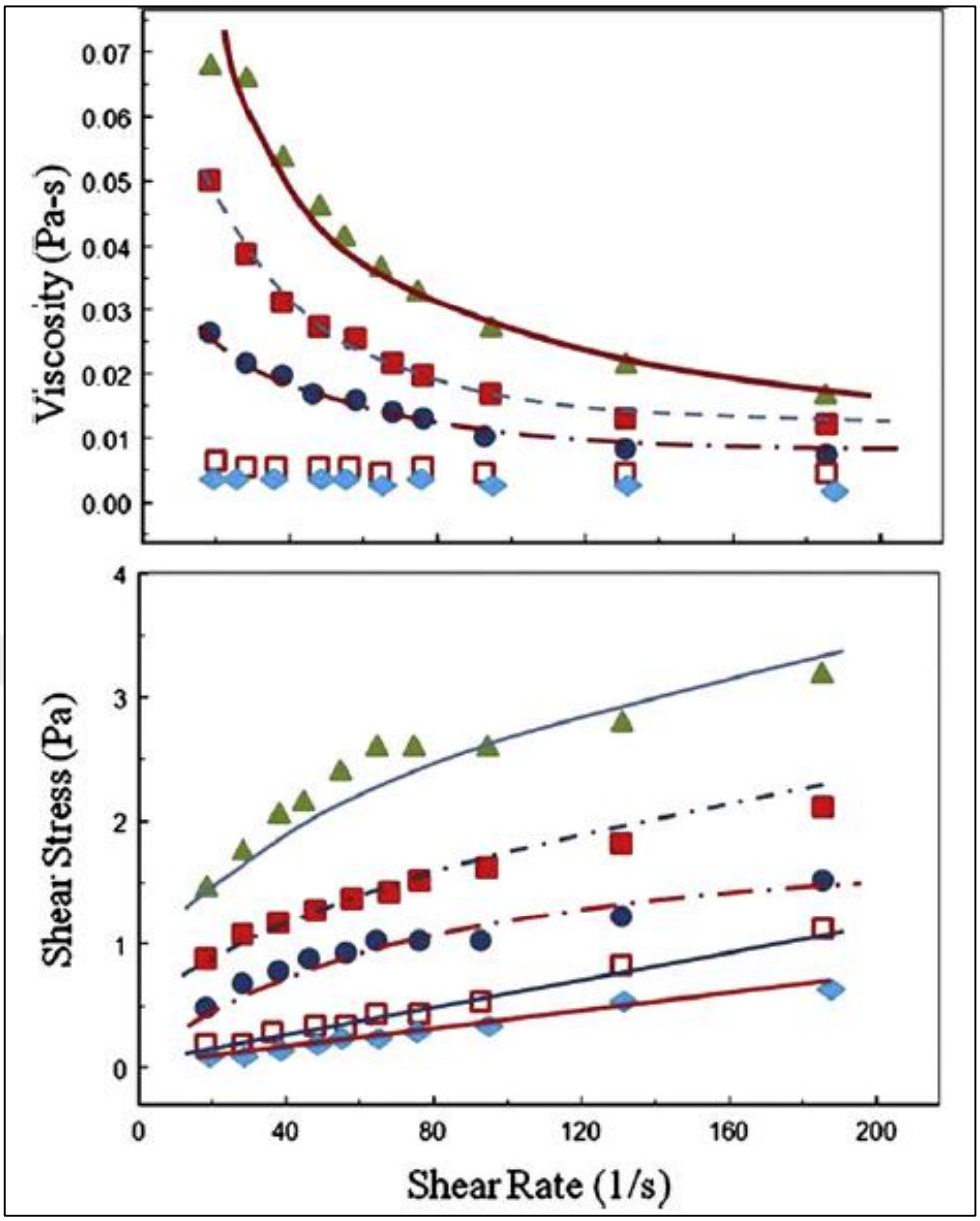
Şekil 1. 13 Xie vd. [10]'nin çalışmasındaki 25 °C'da dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği

Xing vd. [11] SWCNT/su nanoakışkanının dinamik viskozitesini incelemişlerdir. Çalışmalarında ayrıca ısı iletim katsayısı ve yoğunluk da ölçülmüştür. Solüsyonlar kütlece yüzde olarak %0,1-%1 aralığında hazırlanmış ve deneyler 10-60 °C aralığında yapılmıştır. Solüsyonların kararlı hale getirilmesi için 120 dakika mekanik bir mille karıştırma ve 60 dakika sonikasyon uygulamaları yapılmıştır. Ayrıca kimyasal bileşik (sürfaktan) olarak SWCNT miktarının %25'i kadar CTAB eklenmiştir. %1 kütlece yüzde konsantrasyonda ve 60 °C'da maksimum viskozite artışı gözlemlenmiş ve %35,9 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. 14 Xing vd. [11]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği

Phuoc vd. [12] katyonik kitosan ile kararlı hale getirilmiş MWCNT/su nanoakışkanlarının dinamik viskozitelerini incelemişlerdir. İyonsuzlaştırılmış su ile hazırlanan ve %0,5-%1-%2-%3 kütlece yüzde konsantrasyonlarda MWCNTs içeren solüsyonlara %0,1-%0,2-%0,5 konsantrasyonlarda kitosan eklenmiştir. Viskozite ölçümleri Brookfield R/S Coaxial Cylinder reometre ile yapılmıştır. %0,1 kitosan eklentisiyle dahi %3 MWCNTs içeren solüsyonların kararlı hale getirilebildiklerini göstermişlerdir.



Şekil 1. 15 Phuoc vd. [12]'nin çalışmasındaki dinamik viskozite-kayma hızı ve kayma gerilmesi-kayma hızı grafikleri

1.1.1 Nanoakışkanlar

Nanoakışkanlar nanopartikül olarak isimlendirilen nanometrik boyutlardaki tanecikleri içeren çözeltilerdir. Temel akışkan olarak su, etilen glikol, çeşitli yağlar, aseton ve decene en yaygın kullanılanlardır. Nanopartikül olarak bakır (Cu), bakır(II)oksit (CuO), alüminyum oksit (Al_2O_3), karbon nanotüp (CNT) en yaygın kullanılanlardır. Nanopartikül boyutları 1-100 nanometre arasında değişmektedir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ile görüntülenebilirler. Bu görüntüleme yöntemleri nanopartiküllerin tanecik büyüklüğü, büyüklük dağılımını ve

morfolojisini belirlemeyi sağlar. Nanoakışkanların hazırlanmaları için iki farklı metot uygulanmaktadır. Tek adım metodunda temel akışkan içinde nanopartikül oluşturulurken, iki adım metodunda önceden hazırlanan nanopartikül temel akışkana karıştırılarak solüsyon oluşturulur. Nanoakışkanlar temel akışkandan birçok farklı termofiziksel özelikte farklılık gösterebilirler. En yaygın üretim amaçları temel akışkana göre daha yüksek ısı transfer kapasitesi elde etmek olsa da viskozite, ısı iletim katsayısı, özgül ısı, elektrik iletkenliği gibi özellikleri değişik oranlarda artış ve azalış gösterdiğinden her bir termofiziksel özelik farklı araştırma konusunu oluşturur. Nanoakışkanlar yüksek ısı transfer kapasiteleri ile ön plana çıkmaktadırlar ve gelecek nesil ısı transfer akışkanları olarak düşünülmektedirler. Otomobil radyatörlerinden nükleer reaktörlere kadar birbirinden farklı birçok sektörde kullanılmakta ve kullanılması planlanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Kompresör yağlarının termofiziksel özeliklerinin iyileştirilmesi kompresörlerin güç tüketiminin azaltılması için oldukça önemlidir. Kompresörde soğutucu akışkanın belli oranda yağ ile karışması ve sistemde bu şekilde dolaşması soğutucu akışkanın performansını iyileştirmek için kompresör yağının termofiziksel özeliklerini de iyileştirmek gerekliliğini ortaya koymuştur.

Tezin amacı kompresör yağı/CNT nanoakışkanlarının kararlılığını gözlemlemek, belirli sıcaklık aralığında viskozitelerini ölçmek, viskozitelerindeki değişimi belirlemek ve bu verilere dayalı korelasyonlar ortaya koymaktır.

1.3 Orijinal Katkı

Kompresör yağlarının termofiziksel özeliklerinin nanopartiküller kullanarak iyileştirilmesi henüz yeterince araştırılmamış önemli bir konudur. Çalışmam konuya geniş perspektifte bir bakış açısı sağlamak için dört farklı viskozite ve altı farklı konsantrasyonda solüsyonlar hazırlanarak yapılmıştır. Nanoakışkanların kararlılıklarını artırmak için fonksiyonelleştirilmiş karbon nanotüp kullanılmıştır.

Literatürde karbon nanotüp/kompresör yağı nanoakışkanlarının termofiziksel özeliklerinin tespiti için yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan konusunda ilk

araştırma olma özelliği taşıyan çalışmam ümit ederim ki gelecekte benzer konularda çalışacak araştırmacılara önemli bir kaynak olacaktır.

Ayrıca bu çalışma Yiamsawas vd. [13], Yiamsawas vd. [14], Bashirnezhad vd. [15], Dalkılıç vd. [16], Dalkılıç vd. [17] çalışmalarının devamı niteliğinde kabul edilebilir.

BÖLÜM 2

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada kompresör yağı temelli CNT eklentili nanoakışkanların viskozitelerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Deneyler 15 °C'dan başlayarak 5 °C sıcaklık artırımlarıyla 50 °C'a kadar 8 farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Deneylerde sıcaklığın ve CNT konsantrasyonunun viskoziteye etkisi araştırılmıştır.

2.1 Kompresör Yağları

Soğutma sistemlerinin kompresörlerinde kullanılan yağlar mineral ve sentetik yağlardır. Mineral yağlar fiyat olarak daha ucuz olmasına rağmen içerdikleri petrol türevi hidrokarbonlar sebebiyle sisteme çeşitli zararlar verirler. Sentetik yağlar ise endüstriyel olarak üretildikleri için bu tip hidrokarbonlar içermez ve mineral yağlara göre değişim periyotları daha uzundur. Kompresörde kullanılacak yağ tipi ve yağın viskozitesi kompresör üreticisi tarafından tavsiye edilir. Hemen hemen her yağ tipi ve viskozitesi için muadil yağlar üreten birçok firma vardır ve istenilen özelliklere göre bu firmaların kataloglarından seçim yapılabilir.

Çalışmamda kullanacağım kompresör yağı seçilirken, yağın soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan R-134a akışkanı ve pistonlu kompresörler ile kullanılabilir olması en önemli kriter olmuştur. Birçok marka incelendikten sonra SUNISO markasının SL-S serisi yağlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Yeni nesil sentetik yağ serisi olan SL-S altı farklı viskozitede üretilmekte ve R-134a da dahil olmak üzere birçok HFC soğutucu akışkan ile çalışabilmektedir. SL-S serisi yağlar 40 °C'daki kinematik viskozitesine göre isimlendirilmiş olup (örneğin SL-32S yağının 40 °C'da viskozitesi 32,37 mm^2/s'dir) tez boyunca da bu katalog isimleri kullanılmıştır.

Çalışmayı daha geniş bir viskozite aralığında yapmak için dört viskozite değeri belirlenmiş ve SL-32S, SL-68S, SL-100S, SL-220S yağları seçilmiştir. Çizelge 2. 1 'de SUNISO markasına ait katalogdan alınan bu yağların özelliklerini içeren bir tablo verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Kompresör yağlarının özellikleri

Özellik Türü	**SL-32S**	**SL-68S**	**SL-100S**	**SL-220S**
ISO Viskozite Sınıfı	32	68	100	220
Yoğunluk @15 °C g/cm³	0,949	0,96	0,978	1,012
Renk ASTM	L0.5	L0.5	L0.5	L0.5
Tutuşma Noktası °C	208	256	236	222
Akma Noktası °C	-42,5	-37,5	-35,0	-32,5
Viskozite @40 °C mm²/s	32,370	66,320	98,200	210,200
@100 °C mm²/s	5,315	8,212	11,170	20,080
Bakır Korozyon Testi @100 °C x 3 saat	1a	1a	1a	1a
Toplam Asit Sayısı mgKOH/g	0,01	0,01	0,01	0,01

2.2 Nanopartiküller

Boyutları 100 nanometreden küçük olan parçacıklar nanopartikül olarak adlandırılır. Nanoteknolojinin uygulandığı birçok farklı alanda değişik türlerde nanopartiküller kullanılmaktadır. Bunlara bakır (Cu), bakır(II)oksit (CuO), alüminyum (Al), alüminyum oksit (Al_2O_3), alüminyum nitrit (AlN), alüminyum karbonat [$Al_2(CO_3)_3$], silisyum nitrit (Si_3N_4), silisyum karbür (SiC), silisyum dioksit (SiO_2), titanyum dioksit (TiO_2), gümüş (Ag), bor nitrür (h-BN), karbon nanotüp (CNT), grafit örnek verilebilir.

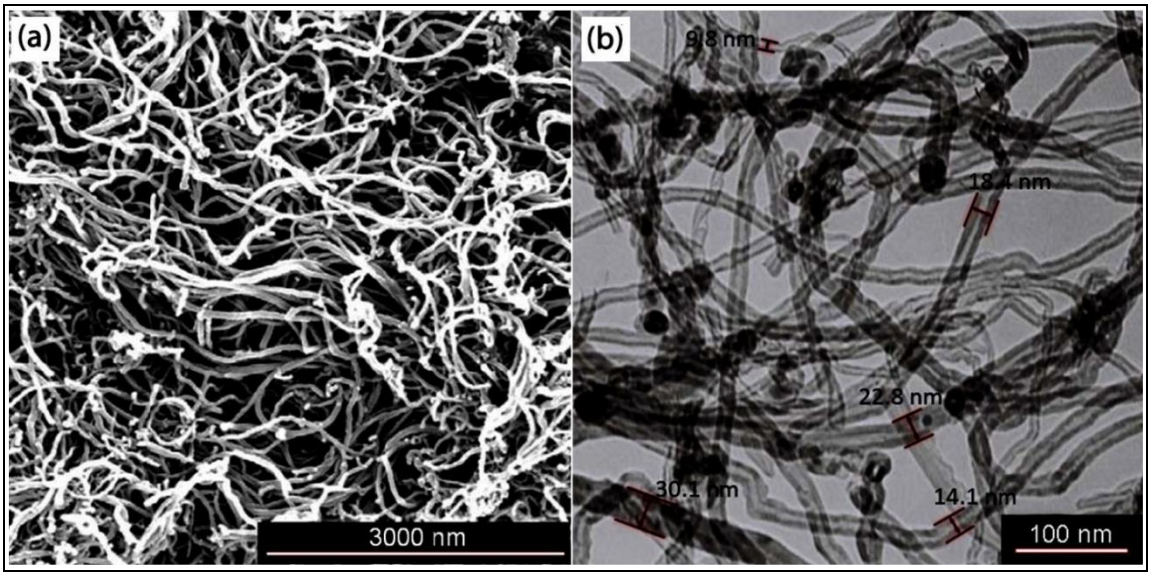
Nanoakışkanlarda kullanılan nanopartiküller temel akışkanın termofiziksel özeliklerini değiştirir. Her nanopartikülün sahip olduğu farklı tanecik boyutu ve yapısı sebebiyle etkisi farklı olmakta bu değişimler ancak deneysel olarak ölçülerek tespit edilmektedir. Günümüzde birçok araştırmacı nanopartiküllerin sıvıların termofiziksel özeliklerine yaptığı etkiyi incelemek ve bunu sıvıların termofiziksel özeliklerini iyileştirmekte kullanmak için bu konuda çalışmalar yapmaktadır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda çalışmamda kullanılacak nanoakışkanlar için CNT kullanılması uygun görülmüştür. CNT'lerin yağ içinde iyi çözünmeleri ile kimyasal bileşik (sürfaktan) kullanılmadan da kararlı nanoakışkanlar hazırlanabilmiştir.

Kullanılan çok cidarlı karbon nanotüpler (MWCNTs) ~10-30 nm boyutlarında olup, sıkıştırılmış yoğunluğu 0,14 g/cm^3, gerçek yoğunluğu 2,1 g/cm^3, özgül yüzey alanı 140m^2/g'dır. Nanotüpler minimum %85 saflıkta olup Chengdu Organic Chemicals Co. Ltd. firmasından temin edilmiştir. Şekil 2. 1'de çalışmada kullanılan nanotüpler ve Şekil 2. 2'de nanotüplere ait SEM ve TEM görüntüleri görülmektedir.



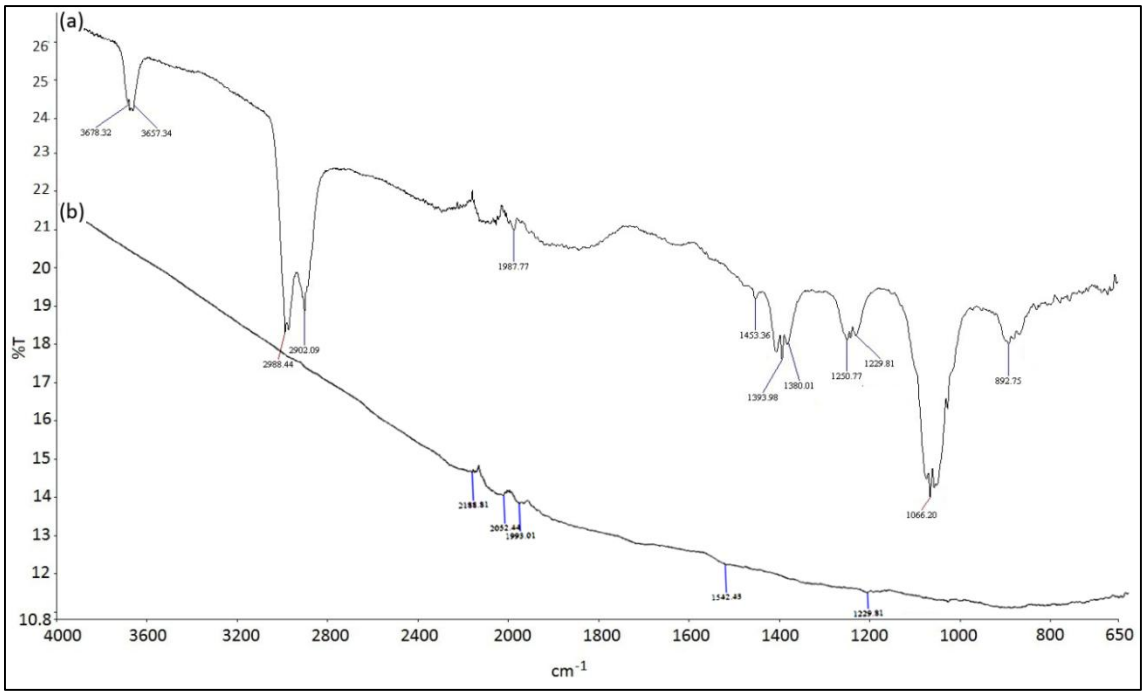
Şekil 2. 1 Çok cidarlı karbon nanotüp numunesi



Şekil 2. 2 Çalışmada kullanılan MWCNTs'in görüntüleri a)SEM b)TEM

CNT'lerin nanoakışkan içinde homojen dağılması ve çökelme yapmaması için CNT yüzeylerine -OH ve –COOH grupları eklenerek fonksiyonelleştirilmiştir. Bu işlem için nanotüpler ultrasonik karıştırıcı yardımıyla güçlü oksitleyici özelliği olan %65 nitrik asit (HNO_3) içerisinde çözdürülüp 125 °C'da 48 saat süreyle Graham tipi kondenser boruda geri akış (reflux) prosesine tabi tutulmuştur. Sonrasında nötr pH seviyesine gelene kadar saf su ile yıkanan nanotüpler 40 °C'da 48 saat kurutulmuştur. Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR kullanılarak Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi spektroskopi analizleri yapılmış ve fonksiyonel grupların MWCNT yüzeylerine bağlandığı görülmüştür.

Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi spektroskopi sonuçları Şekil 2. 3'te görülmektedir. Spektruma bakılarak yapıda bulunduğu belirlenen hidroksil ve karboksil grupları CNT'lerin akışkan tarafından ıslatılabilirliğini arttıracağını ve çökelmeden kaçınmamızı sağlayacağını göstermektedir. Grafikte görülen 3650-3680 cm^{-1} arasındaki pikler hidroksil grubundaki O-H bağlarına işaret eder, görece geniş ve uzun pik ise CNT'lerin ana oksidasyonunun C-O bağları ve düşük sürtünme katsayıları sebebiyle homojen dağılma oranını artırabilen diğer C-X bağları ile ilişkilidir. 2902 - 2988 cm^{-1} arasındaki geniş pikden, karboksil grupları içinde H-C bağlarının bulunduğunu ayrıca kalıntı olarak N-H bulunma ihtimali olduğunu anlıyoruz.



Şekil 2. 3 Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi spektroskopisi sonuçları
a)Fonksiyonelleştirme işleminden sonra b)Fonksiyonelleştirme işleminden önce

2.3 Deney Seti

Deneyler King Mongkut's University of Technology Thonburi bünyesinde Future Lab'da yapılmıştır. Deney düzeneği ve gerekli ekipmanlar Future Lab tarafından sağlanmıştır.

2.3.1 Solüsyonların Hazırlanması

Solüsyonlar 200 ml cam şişelere her yağ için 6 farklı kütlece yüzde konsantrasyonda hazırlanmıştır. Bu kütlece yüzde konsantrasyonlar %0,01-%0,02-%0,04-%0,06-%0,08-%0,1'dir. Darası alınan şişelere 200 ml yağ koyulmuş ve dolu şişe tartılarak yağın kütlesi belirlenmiştir. Belirlenen yağ kütlesi üzerinden eklenmesi gereken kütlece yüzde CNT miktarları hesaplanmış ve hassas tartı ile tartılarak şişeye eklenmiştir. Ağırlık ölçümleri 0,001 gram hassasiyetle ölçüm yapan A&D markasının GF-300 model elektronik tartısı ile yapılmıştır.

2.3.2 Sonikatörde Şartlandırma

Sonikasyon işlemi CNT demetlerinin açılması ve nanotüplerin akışkan içinde homojen dağılması açısından çok önemlidir. CNT ve akışkanın yeterli düzeyde karışması sağlanmadığında nanoakışkanların kararlı halde kalmasını ve homojen nanotüp dağılımını sağlamak çok zordur. Karıştırma işlemi ultrasonik banyo, mekanik karıştırıcılar veya ultrasonik sonikatör yardımıyla yapılabilir. En hızlı sonuç veren yöntem ultrasonik sonikatör kullanımıdır. Ultrasonik sonikatör, sıvı içine daldırılan bir prob vasıtası ile akışkana ultrasonik ses dalgaları gönderen ve bu şekilde akışkan içindeki kümelenmiş nanotüplerin açılarak homojen dağılmasını sağlayan bir cihazdır.

Çalışmamda hazırladığım solüsyonlara 1 saatlik sonikasyon uygulanmıştır. İşlemler için, Alman markası olan Hielscher'in UP200Ht model cihazı kullanılmıştır. Sonikasyon işlemi maksimum cihaz kapasitesi ile (200 W ve 26 kHz) yapılmıştır.

İşlem sırasında cihaz sıvıya yüksek enerjili ses dalgaları gönderdiğinden sıvının sıcaklığı hızla artmaktadır. Kullanılan temel akışkana göre değişmekle birlikte bu çeşitli sorunlara neden olabilmekte bu sebeple işlem sırasında sıvının sıcaklığını kontrol altında tutmak gerekmektedir. Çalışmamda solüsyonun bulunduğu şişe su dolu bir kap içinde tutulmuştur. Bu kap içinde buz bulunan başka bir kapla mini pompa düzeneği ile bağlanmış ve suyun iki kap arasında devirdaim etmesi sayesinde sıcaklığının düşük

kalması sağlanmıştır. İçinde bulunduğu suyun sıcaklığının düşük kalması sayesinde şişe içindeki akışkanın da sıcaklığı düşük tutulabilmiş ve kontrolsüz yükselmesi önlenmiştir. Şekil 2. 4'te cihazın resmi ve sonikasyon işlemi için kurulan düzenek görülmektedir.

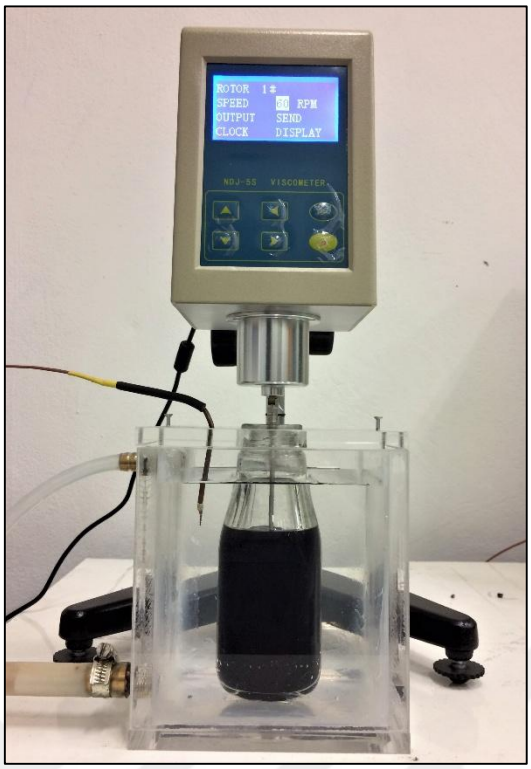


Şekil 2. 4 Sonikasyon işlemi için kurulan düzenek ve ultrasonik sonikatör

2.3.3 Deney Düzeneği ve Viskozite Ölçümü

Sonikasyon işlemi biten nanoakışkanlar çökelme olup olmadığının gözlenmesi için 3 gün süreyle oda koşullarında bekletilmiştir. Bu süre sonunda kararlı halde kaldıkları görüldüğünde viskozite ölçümü yapılmış ve çökelme olmadan ne kadar süre kararlı halde kalabildiklerinin gözlenmesi için tekrardan oda sıcaklığında bekletilmiştir.

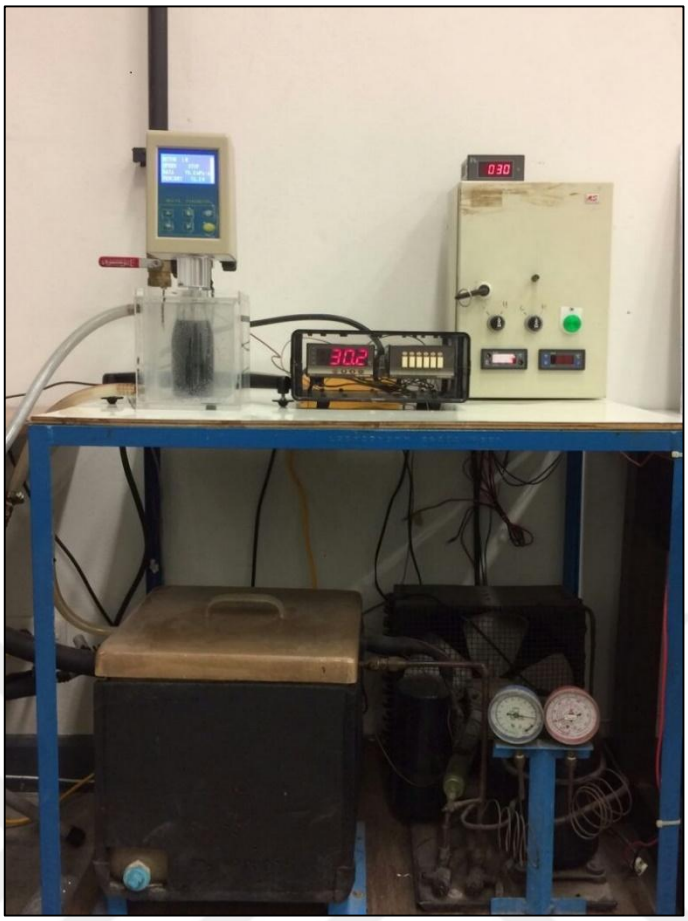
Viskozite ölçümü için Çin menşeili TBT firmasının NDJ-5S model dijital rotasyonel viskozimetresi kullanılmıştır. Rotasyonel viskozimetreler akışkan içine daldırılan rotorun dönmek için kullandığı torktan yararlanarak viskoziteyi hesaplarlar. Kullandığımız NDJ-5S model cihaz 4 farklı rotoru ve 4 farklı hız ayarı ile 10-100.000 mPa.s aralığındaki viskoziteleri %±5 hata payı ile ölçebilmektedir. Şekil 2. 5'te ölçümlerde kullanılan viskozimetre görülmektedir.



Şekil 2. 5 Viskozimetre

Nanoakışkanların sıcaklıklarının viskozite ölçümlerinin yapılacağı sıcaklığa getirilmesi ve sıvı içinde homojen sıcaklık dağılımının sağlanması için deney düzeneği hazırlanmıştır. Düzenek soğutucu ve ısıtıcı bölümleri olan bir adet su tankı ve su tankına borular ve pompa sistemiyle bağlı cam bölmeden oluşmaktadır. Tank suyu istenilen sıcaklığa getirilip cam bölme suyla doldurulduktan sonra, nanoakışkanın bulunduğu şişe su dolu cam bölmeye koyularak istenilen sıcaklığa gelene kadar beklenmiştir. Tank içinde ve cam bölme içindeki sıcaklıklar T tipi termokupl ile ölçülerek dataloggerdan değerler anlık olarak okunabilmektedir. Şişe içindeki sıcaklık dengesi oluşana kadar yeterli süre beklendikten sonra farklı bir T tipi termokupl ile şişe içindeki sıcaklık tekrar ölçülmüş, istenilen değerde ise viskozite ölçümü yapılmaya başlanmıştır.

Viskozite ölçüm işlemi her sıcaklık ve konsantrasyon için üç tekrarla yapılmıştır. Nanoakışkanın sıcaklığı istenilen düzeye geldikten sonra yapılan viskozite ölçümü görece çok kısa sürdüğü ve bu sırada nanoakışkanın içinde bulunduğu şişe aynı sıcaklıktaki su ile dolu cam bölme içinde olduğundan gözlenebilir düzeyde bir ısı transferi ve buna bağlı sıcaklık değişimi olmamıştır. Şekil 2. 6'da deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2. 6 Deney düzeneği

BÖLÜM 3

TARTIŞMA VE BULGULAR

Deneysel çalışmalar sonucunda hazırladığımız solüsyonların kararlılıkları incelenmiş, geniş bir sıcaklık ve konsantrasyon aralığında viskoziteleri ölçülmüştür. Bulunan veriler kullanılarak çeşitli korelasyonlar önerilmiş ve veriler literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılmıştır.

Viskozite ölçümleri yapılan solüsyonlar 2 hafta süreyle gözlemlenmiş ve çökelme olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında nanoakışkanların ne kadar süreyle kararlı halde kaldıkları belirlenmiştir. Ayrıca konsantrasyon artışının ve temel akışkanın viskozite artışının nanoakışkanların kararlılıklarına etkisi gözlemlenmiştir.

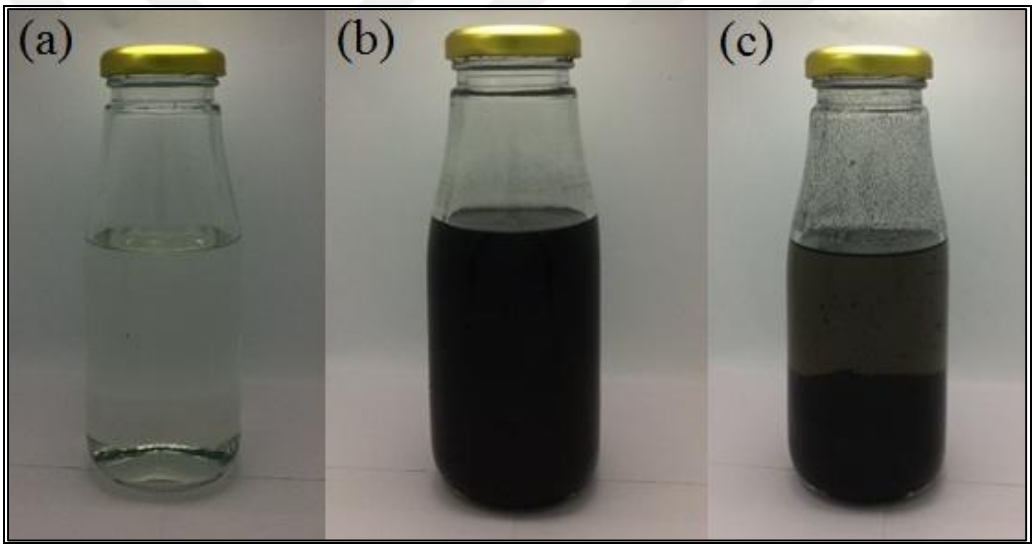
Çizelge 3. 1'de nanoakışkanların çökelme süreleri görülmektedir. Çizelgeden anlaşıldığı üzere, nanoakışkan içerisindeki CNT'nin kütlece yüzde konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın daha çabuk çökeldiğini dolayısıyla kararlı halde kalma süresinin azaldığını görüyoruz. Yine çizelgeden anlaşıldığı üzere, temel akışkanın viskozitesi arttıkça daha geç çökelme olduğunu ve kararlı halde kalma süresinin arttığını görüyoruz.

Şekil 3. 1'de saf SL-32S yağının ve farklı nanoakışkanların görselleri görülmektedir. Çalışmamızda hazırlanan nanoakışkanlar içerisinde en düşük kütlece yüzde konsantrasyon oranında (%0,01) CNT içeren SL-32S/CNT nanoakışkanının 2 haftalık süre sonunda dahi homojenliğini yitirmeden kararlı halde kalabildiğini görüyoruz. Ayrıca herhangi bir çökelme belirtisi de bulunmamaktadır. Buna karşın çalışmamızda hazırlanan nanoakışkanlar içerisinde en yüksek kütlece yüzde konsantrasyon oranında (%0,1) CNT içeren SL-32S/CNT nanoakışkanının 2 hafta süre sonunda homojenliğini yitirmiş olduğu açıkça görülmektedir. Bariz bir şekilde görülen çökelme ve CNT-yağ

ayrışması, nanoakışkanın bu süre sonunda kararlı halde kalamadığını kesin şekilde göstermektedir.

Çizelge 3. 1 Nanoakışkanların çökelme süreleri

Kütlece Yüzde Konsantrasyon	**SL-32S**	**SL-68S**	**SL-100S**	**SL-220S**
0,01	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+
0,02	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+
0,04	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+
0,06	7 GÜN	1 HAFTA+	1 HAFTA+	1 HAFTA+
0,08	5 GÜN	5 GÜN	7 GÜN	1 HAFTA+
0,1	5 GÜN	5 GÜN	7 GÜN	1 HAFTA+

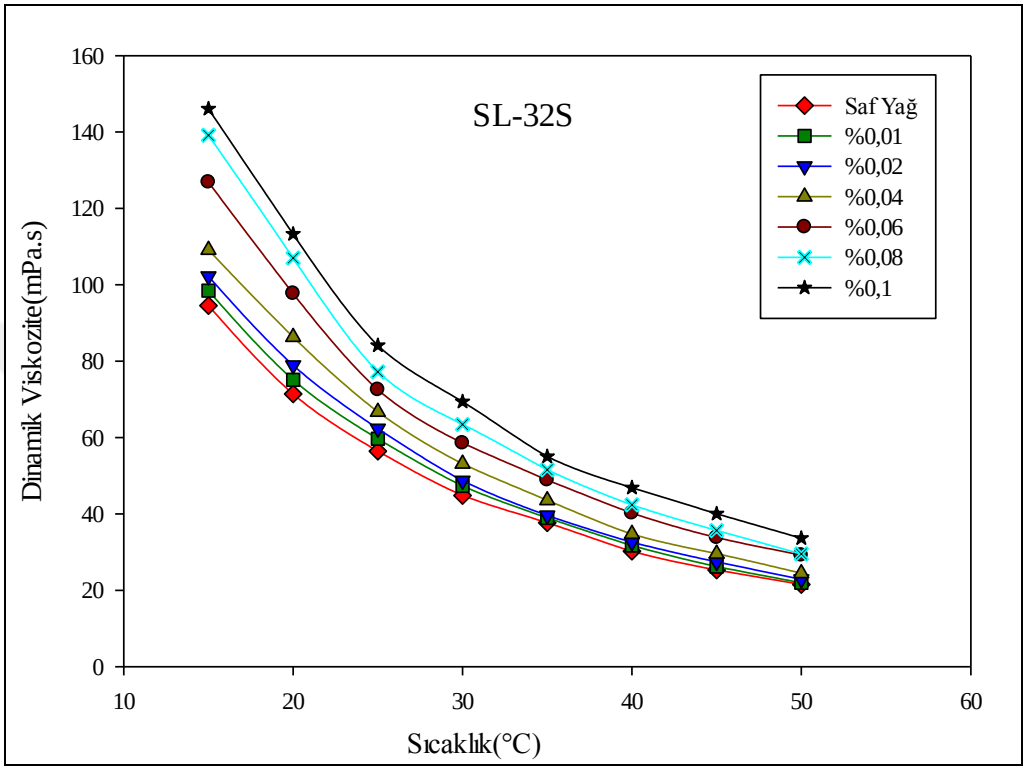


Şekil 3. 1 Farklı nanoakışkanların görselleri, a)Saf yağ, b)2 hafta bekleme sonunda %0,01 CNT/SL-32S, c)2 hafta bekleme sonunda %0,1 CNT/SL-32S

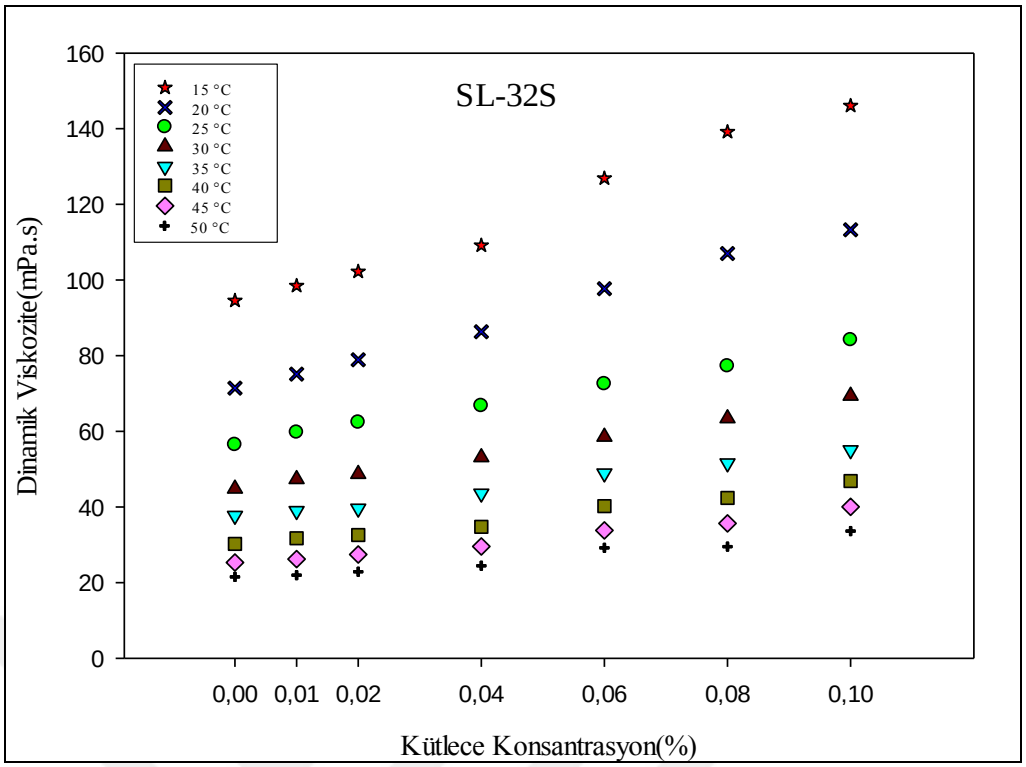
Viskozite ölçümleri sonucu elde edilen deneysel verilerle her yağ için sıcaklık-dinamik viskozite grafikleri çizilmiştir. Her bir grafik yağın deney yapılan bütün konsantrasyonlarının eğrilerini içermektedir.

Şekil 3. 2 ve Şekil 3. 3'de SL-32S/CNT nanoakışkanının farklı kütlece yüzde konsantrasyon oranlarındaki dinamik viskozite-sıcaklık eğrileri ve farklı sıcaklıklardaki dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon eğrileri görülmektedir. Şekil 3. 2'ye bakıldığında sıcaklık artışıyla birlikte viskozitenin lineer olmayan bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur ve sebebinin artan sıcaklıkla birlikte azalan

moleküller arası çekim kuvvetlerinin sıvının katmanları arasındaki sürtünme kuvvetini azaltması olduğu düşünülmektedir. Nanoakışkanın 50 °C'daki viskozitesi ile 15 °C'daki viskozitesi arasında her kütlece yüzde konsantrasyonu için %300'den fazla fark olduğu görülmektedir. Şekil 3. 3'e bakıldığında artan kütlece yüzde konsantrasyon miktarının her sıcaklık için viskozitede artışa sebep olduğu görülmektedir.

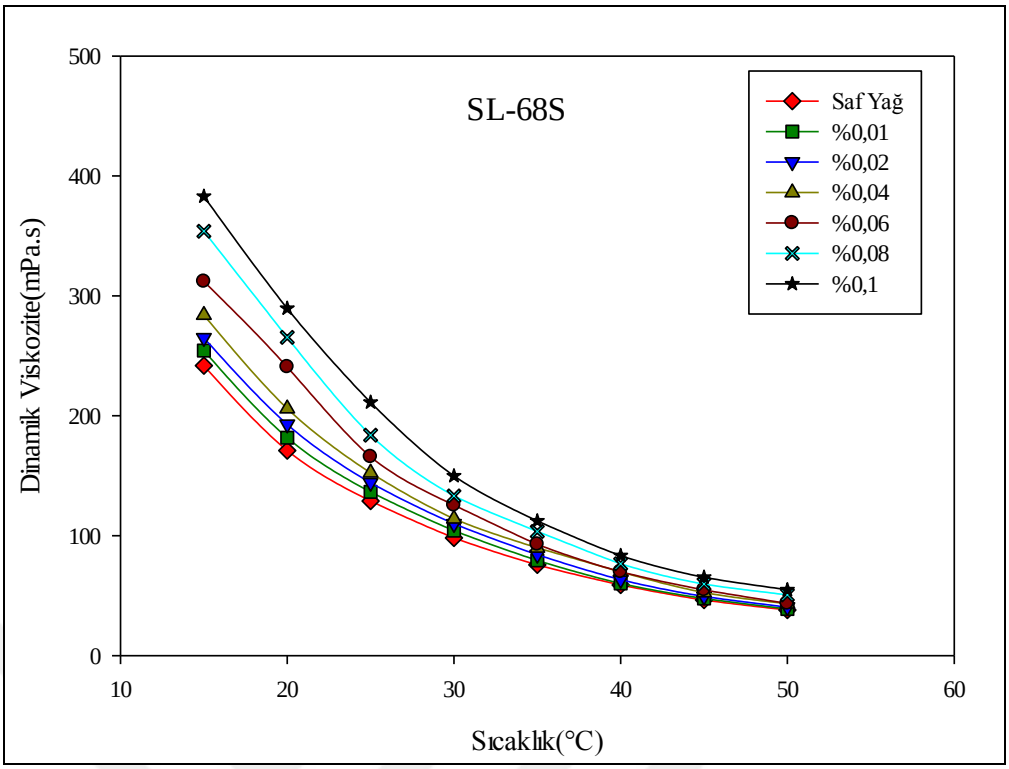


Şekil 3. 2 SL-32S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

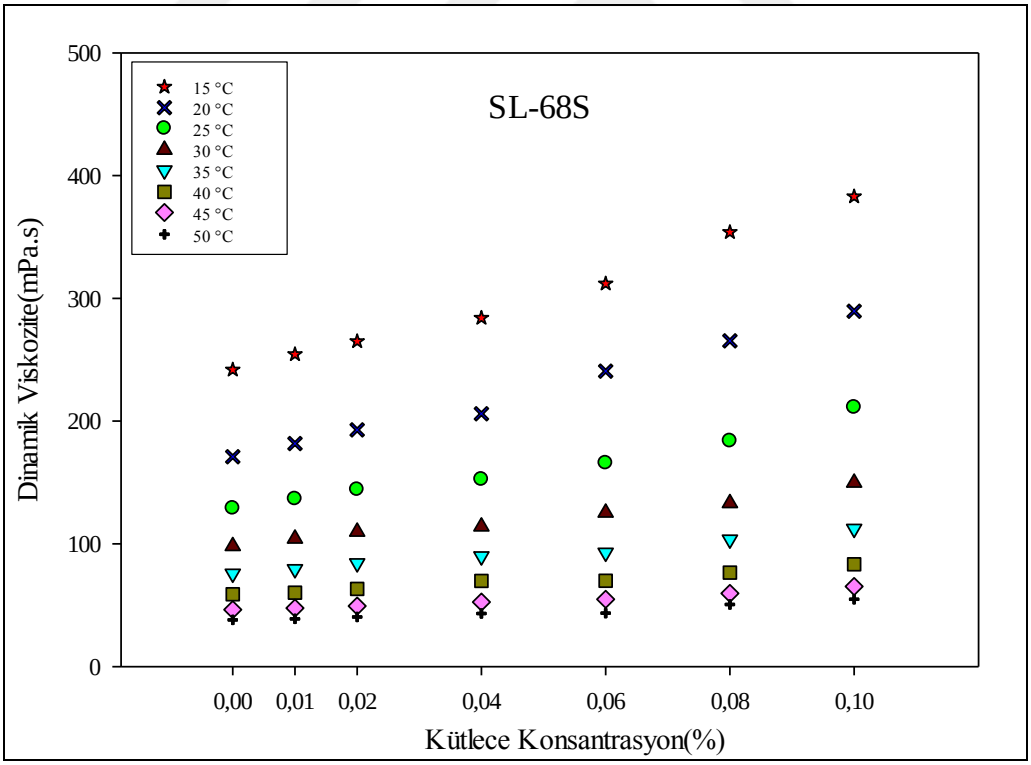


Şekil 3. 3 SL-32S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği

Şekil 3. 4 ve Şekil 3. 5'te SL-68S/CNT nanoakışkanının farklı kütlece yüzde konsantrasyon oranlarındaki dinamik viskozite-sıcaklık eğrileri ve farklı sıcaklıklardaki dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon eğrileri görülmektedir. Şekil 3. 4'e bakıldığında SL-32S/CNT nanoakışkanının grafikleri ile benzer şekilde sıcaklık artışıyla birlikte viskozitenin lineer olmayan bir şekilde azaldığı görülmektedir. Nanoakışkanın 50 °C'daki viskozitesi ile 15 °C'daki viskozitesi arasında her kütlece yüzde konsantrasyonu için %500-%600 oranında fark olduğu görülmektedir. SL-68S/CNT nanoakışkanının grafiğini SL-32S/CNT nanoakışkanının grafiği ile karşılaştırdığımızda temel akışkanın viskozitesi arttıkça sıcaklığa bağlı viskozite değişim oranının arttığı görülmektedir. Şekil 3. 5'e bakıldığında SL-32S/CNT nanoakışkanının grafikleri ile benzer olarak artan kütlece yüzde konsantrasyon miktarının her sıcaklık için viskozitede artışa sebep olduğu görülmektedir.

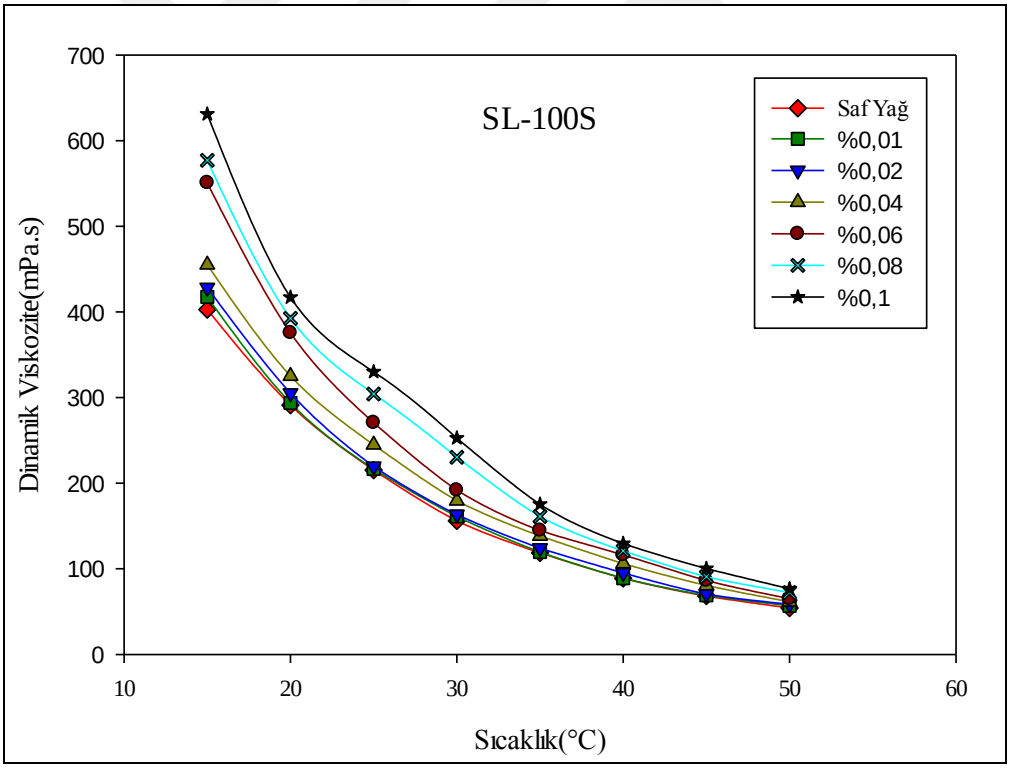


Şekil 3. 4 SL-68S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

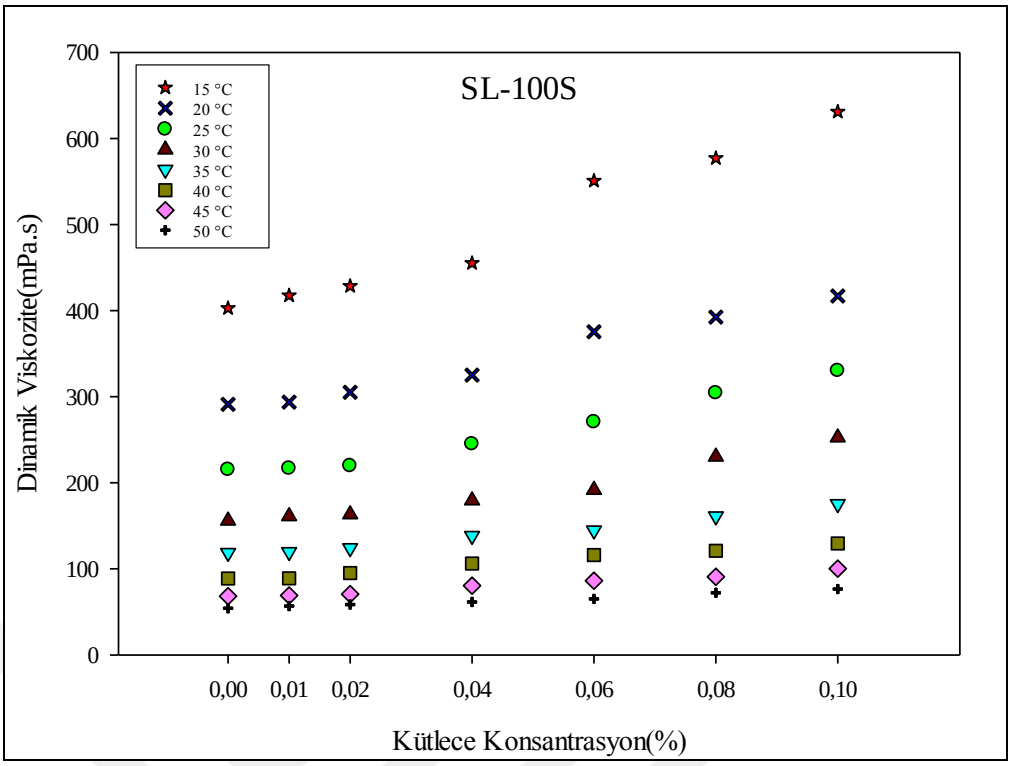


Şekil 3. 5 SL-68S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği

Şekil 3. 6 ve Şekil 3. 7'de SL-100S/CNT nanoakışkanının farklı kütlece yüzde konsantrasyon oranlarındaki dinamik viskozite-sıcaklık eğrileri ve farklı sıcaklıklardaki dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon eğrileri görülmektedir. Şekil 3. 6'ya bakıldığında SL-32S/CNT ve SL-68S/CNT nanoakışkanlarının grafiklerine benzer şekilde sıcaklık artışıyla birlikte viskozitenin lineer olmayan bir şekilde azaldığı görülmektedir. Nanoakışkanın 50 °C'daki viskozitesi ile 15 °C'daki viskozitesi arasında her kütlece yüzde konsantrasyonu için %600-%750 oranında fark olduğu görülmektedir. SL-32S/CNT ve SL-68S/CNT nanoakışkanlarının grafikleri karşılaştırıldığında gözlemlendiği gibi bu grafik de diğer nanoakışkanların grafikleri ile karşılaştırıldığında temel akışkanın viskozitesi arttıkça sıcaklığa bağlı viskozite değişim oranının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3. 7'e bakıldığında SL-32S/CNT ve SL-68S nanoakışkanlarının grafikleri ile benzer olarak artan kütlece yüzde konsantrasyon miktarının her sıcaklık için viskozitede artışa sebep olduğu görülmektedir.

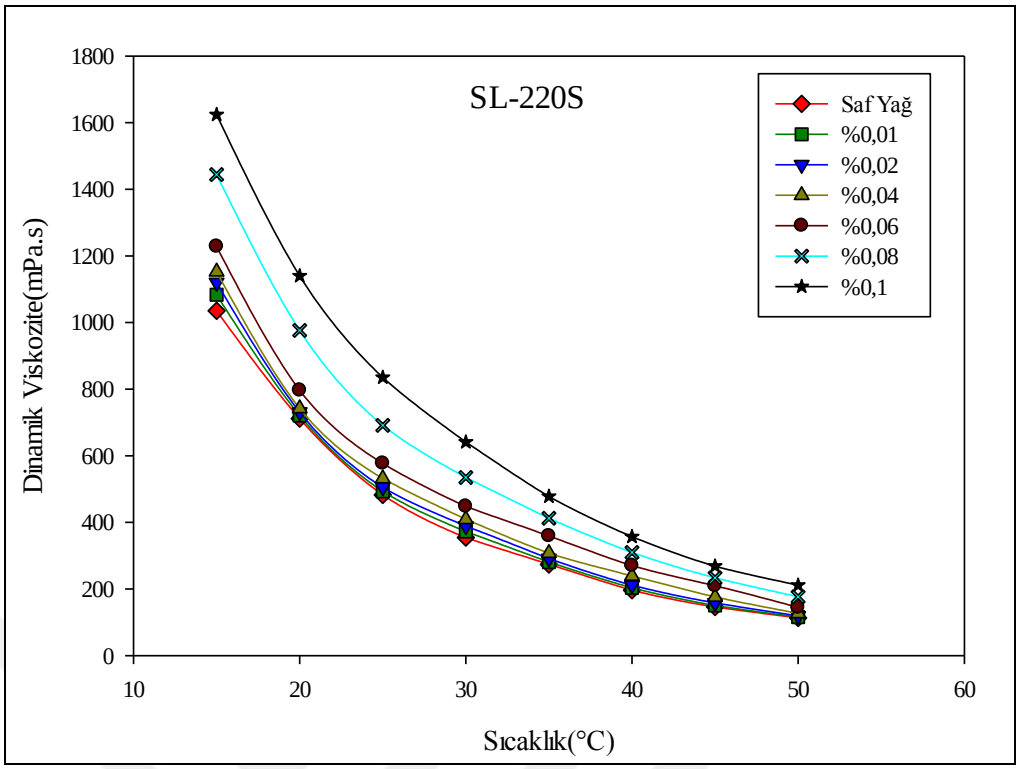


Şekil 3. 6 SL-100S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

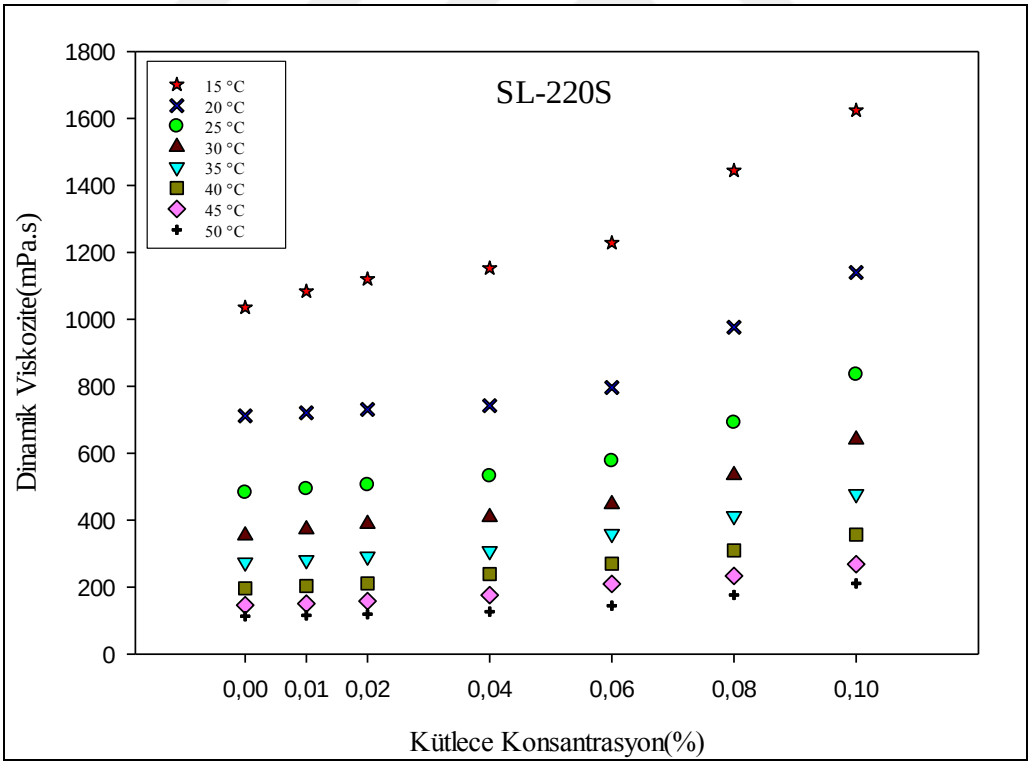


Şekil 3. 7 SL-100S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği

Şekil 3. 8 ve Şekil 3. 9'da SL-220S/CNT nanoakışkanının farklı kütlece yüzde konsantrasyon oranlarındaki dinamik viskozite-sıcaklık eğrileri ve farklı sıcaklıklardaki dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon eğrileri görülmektedir. Şekil 3. 8'e bakıldığında SL-32S/CNT, SL-68S/CNT ve SL-100S/CNT nanoakışkanlarının grafiklerine benzer şekilde sıcaklık artışıyla birlikte viskozitenin lineer olmayan bir şekilde azaldığı görülmektedir. Nanoakışkanın 50 °C'daki viskozitesi ile 15 °C'daki viskozitesi arasında her kütlece yüzde konsantrasyonu için %650-%850 oranında fark olduğu görülmektedir. SL-32S/CNT, SL-68S/CNT ve SL-100S/CNT nanoakışkanlarının sonuçları karşılaştırıldığında gözlemlendiği gibi bu grafik de diğer nanoakışkanların grafikleri karşılaştırıldığında temel akışkanın viskozitesi arttıkça sıcaklığa bağlı viskozite değişim oranının arttığını gözlemlenmiştir. Şekil 3. 9'a bakıldığında SL-32S/CNT, SL-68S/CNT ve SL-100S/CNT nanoakışkanlarının grafikleri ile benzer olarak artan kütlece yüzde konsantrasyon miktarının her sıcaklık için viskozitede artışa sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 8 SL-220S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-sıcaklık grafiği

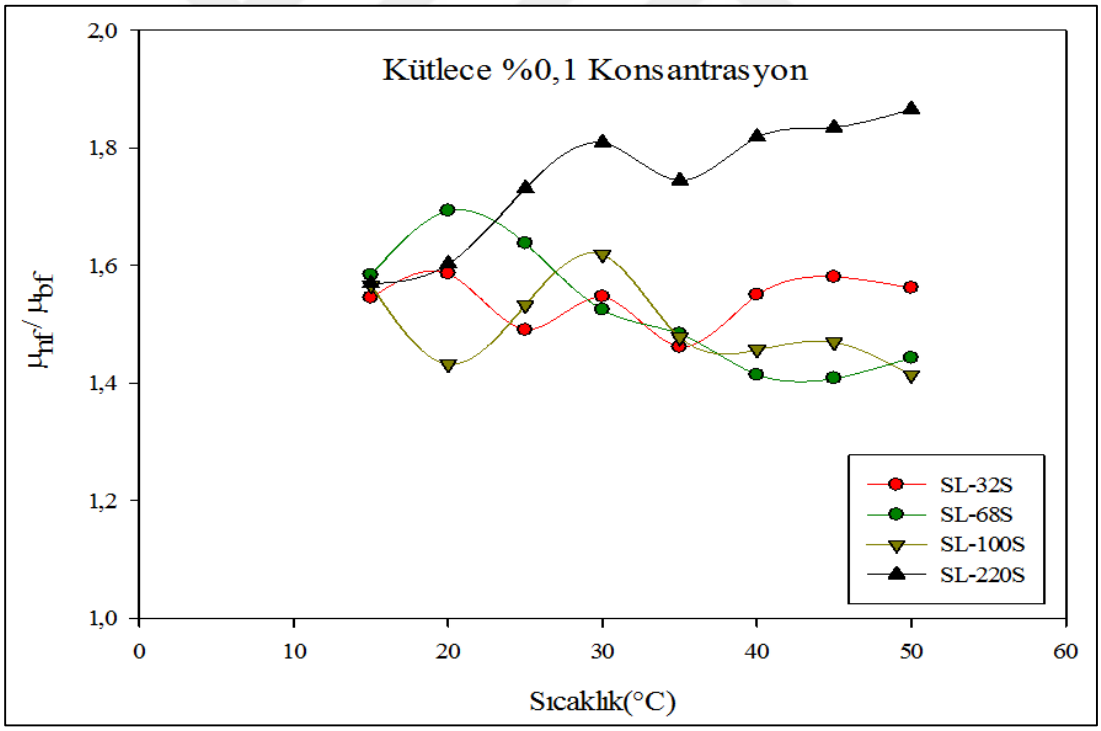


Şekil 3. 9 SL-220S temelli nanoakışkanın dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafiği

Nanoakışkanların dinamik viskozite-sıcaklık ve dinamik viskozite-kütlece yüzde konsantrasyon grafikleri karşılaştırıldığında temel akışkanın viskozitesinden bağımsız

olarak benzer eğriler ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi sıcaklık ile viskozitenin ters orantılı, CNT konsantrasyonu ile viskozitenin ise doğru orantılı değişim göstermesidir. Bu iki genel davranış nanoakışkanlarla ilgili yapılan deneysel araştırmaların genelinde gözlemlenmektedir ve beklenen bir sonuçtur. Ayrıca temel akışkanın viskozitesi yükseldikçe, sıcaklığın azalması ile oluşan viskozite artış miktarı da yükselmiştir. Bu bize temel akışkanımızın viskozitesi ne kadar büyük olursa sıcaklık azalması ile oluşacak viskozite artışının o derece fazla olacağını göstermektedir.

Şekil 3. 10'da kütlece %0,1 konsantrasyon için nanoakışkanların viskozitelerinin temel akışkanların viskozitelerine oranları görülmektedir. Bağıl viskozite olarak adlandırılan bu değerler temel akışkanların nanoakışkan haline getirildiğinde viskozitelerinde oluşan artışı göstermekte ve termal sistemlerin tasarımı için önemli bir parametre olarak görülmektedir. Temel akışkanların viskozitelerindeki artış yağın viskozitesine göre değişiklik göstermekte ve %40 ile %90 arasında olduğu grafikten de görülmektedir. En yüksek artış SL-220S yağında en düşük artış ise SL-100S yağında görülmektedir.



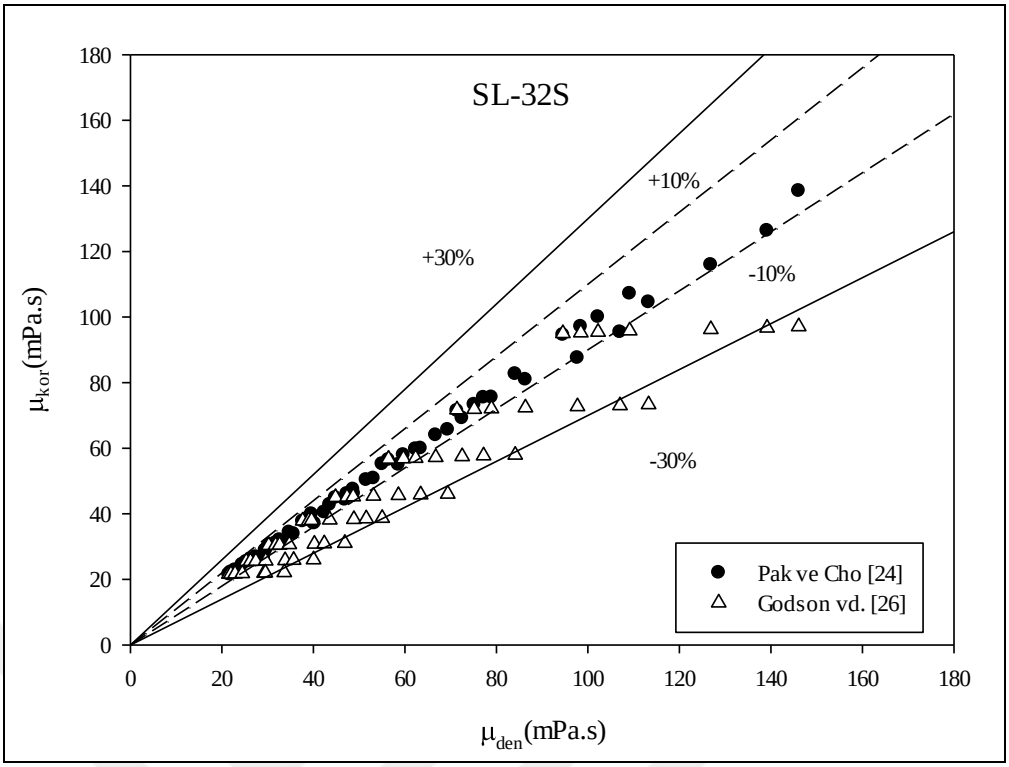
Şekil 3. 10 Nanoakışkanların kütlece %0,1 konsantrasyonda bağıl viskozite grafiği

Nanoakışkanların viskoziteleri hakkında daha önce birçok çalışma yapılmış ve araştırmacılar tarafından viskozitelerin hesaplanması için birçok korelasyon önerilmiştir. Çalışmamda elde ettiğimiz deneysel veriler literatürdeki güncel korelasyonlar ile karşılaştırılmış ve hata yüzdeleri hesaplanmıştır.

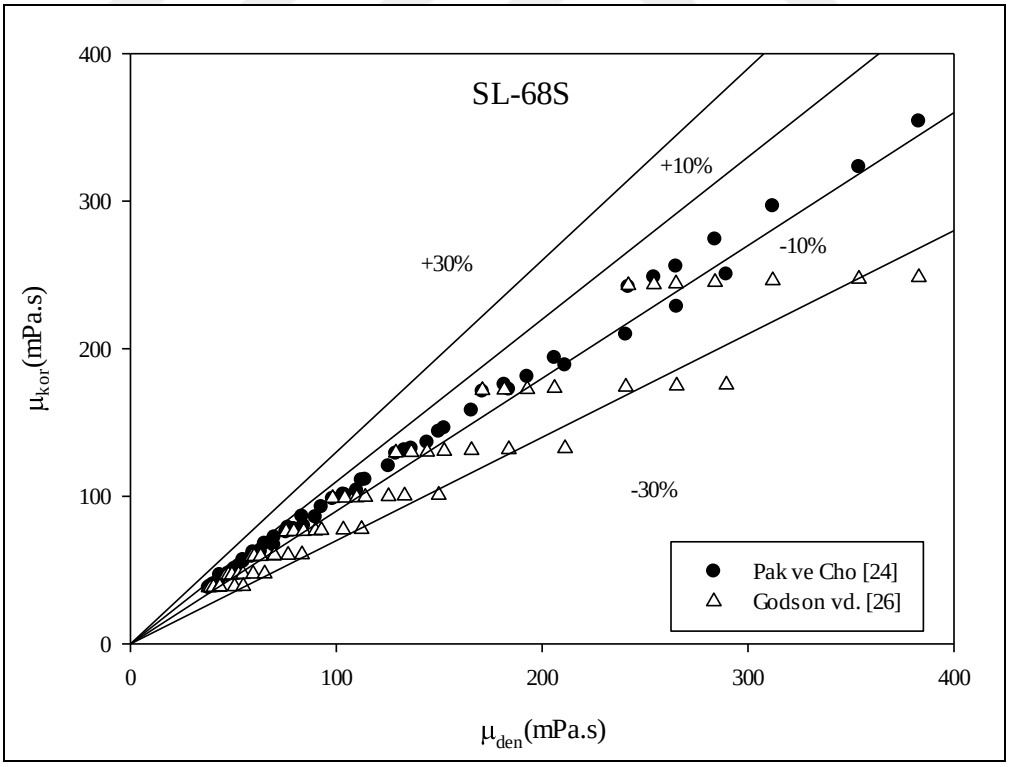
Çizelge 3. 2'de sonuçlar gösterilmiştir. Ayrıca her farklı viskozitedeki yağ için en düşük ve en yüksek hata yüzdesindeki korelasyondan elde edilen değerler ve deneysel veriler grafiklerle karşılaştırılmıştır. Grafikler Şekil 3. 11-Şekil 3. 12-Şekil 3. 13-Şekil 3. 14 ile gösterilmiştir. Grafiklerden Pak ve Cho [24]'nun çalışmasında önerilen korelasyonun %10'un altında hata oranıyla deneysel verilerimizi doğruladığı görülmektedir.

Çizelge 3. 2 Literatürdeki korelasyonların deney verileri ile karşılaştırılması

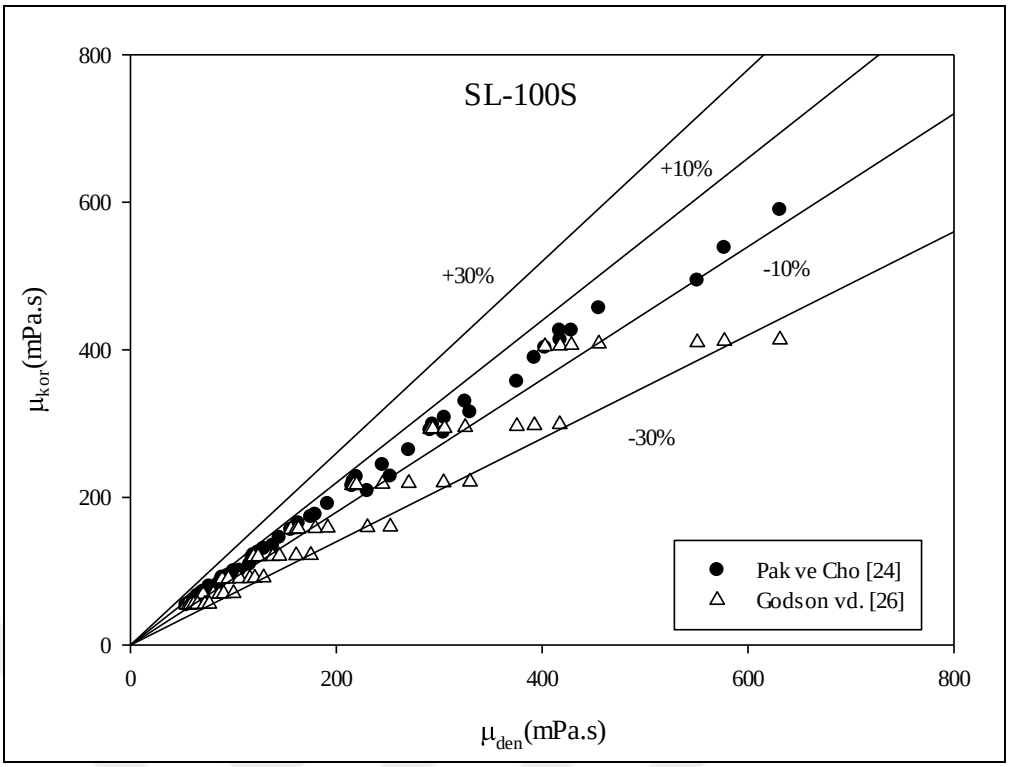
Araştırmacı	**Korelasyon**	**Hata Oranı (%)**			
		SL-32S	**SL-68S**	**SL-100S**	**SL-220S**
Vand [18]	$\mu_{nf} = \mu_{bf} e^{2,5\emptyset + 2,7\emptyset^2/(1-0,609\emptyset)}$	12,355	11,409	10,318	12,797
Davalos vd. [19]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(6,17\emptyset^2 + 2,5\emptyset + 1)$	12,436	11,492	10,401	12,873
Batchelor [20]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2,5\emptyset - 6,2\emptyset^2)$	12,993	12,062	10,975	13,402
Chen vd. [21]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 10,6\emptyset - (10,6\emptyset)^2)$	5,842	4,771	3,617	6,356
Wang vd. [22]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 7,3\emptyset - 123\emptyset^2)$	11,183	10,226	9,115	11,529
Nguyen vd. [23]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1,1250 - 0,0007T)$	7,852	6,919	5,738	8,179
Pak ve Cho [24]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(108,2\emptyset^2 + 5,45\emptyset + 1)$	3,494	2,350	1,194	4,296
Khanefer ve Vafai [25]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1,0538 + 0,1448\emptyset - 0,00363T - 0,0147\emptyset + 0,00006735T^2 - 1,337\frac{\emptyset}{T})$	14,951	14,056	12,999	15,291
Godson vd. [26]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1,005 + 0,497\emptyset - 0,1149\emptyset^2)$	15,251	14,373	13,303	15,589
Duanghonguk ve Wongwises [27]	$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1,013 + 0,092\emptyset - 0,015\emptyset^2)$	15,175	14,302	13,228	15,498



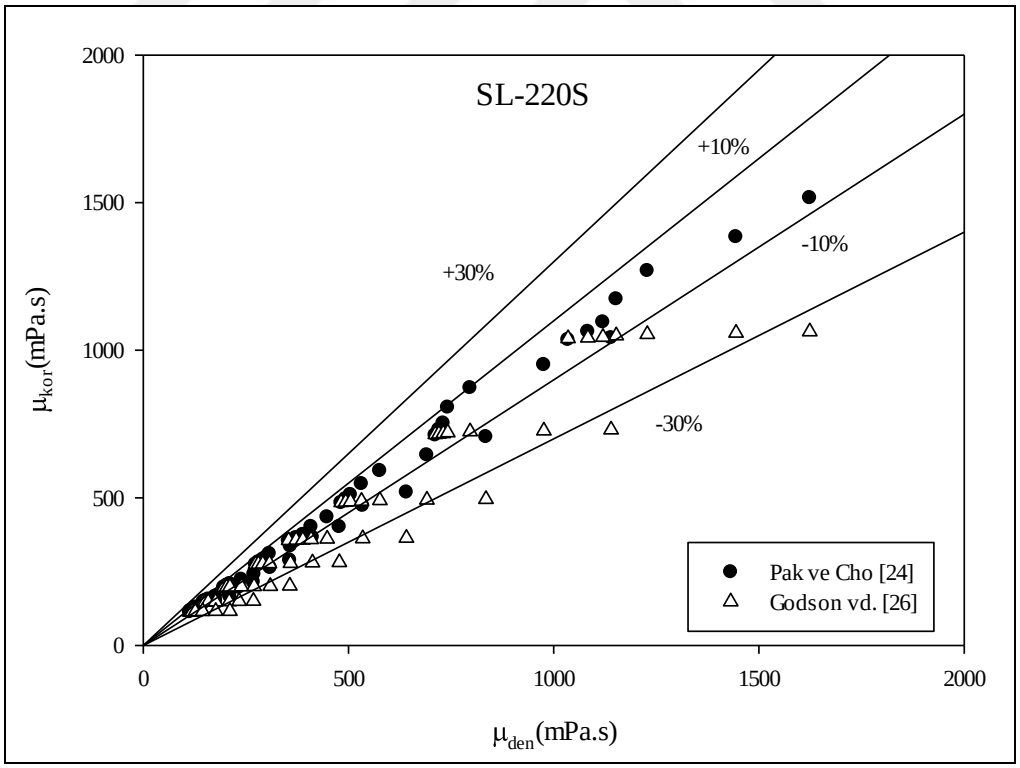
Şekil 3. 11 SL-32S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması



Şekil 3. 12 SL-68S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması



Şekil 3. 13 SL-100S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması



Şekil 3. 14 SL-220S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin literatürdeki korelasyonlar ile karşılaştırılması

Deneysel çalışmalar sonucu elde ettiğim veriler ile Sigma Plot programı kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve çeşitli korelasyonlar çıkarılmıştır. Bu korelasyonlar her yağ tipi için doğrusal, parabolik, gauss ve lorentz fonksiyonları şeklinde 4 farklı korelasyon önerilmiştir.

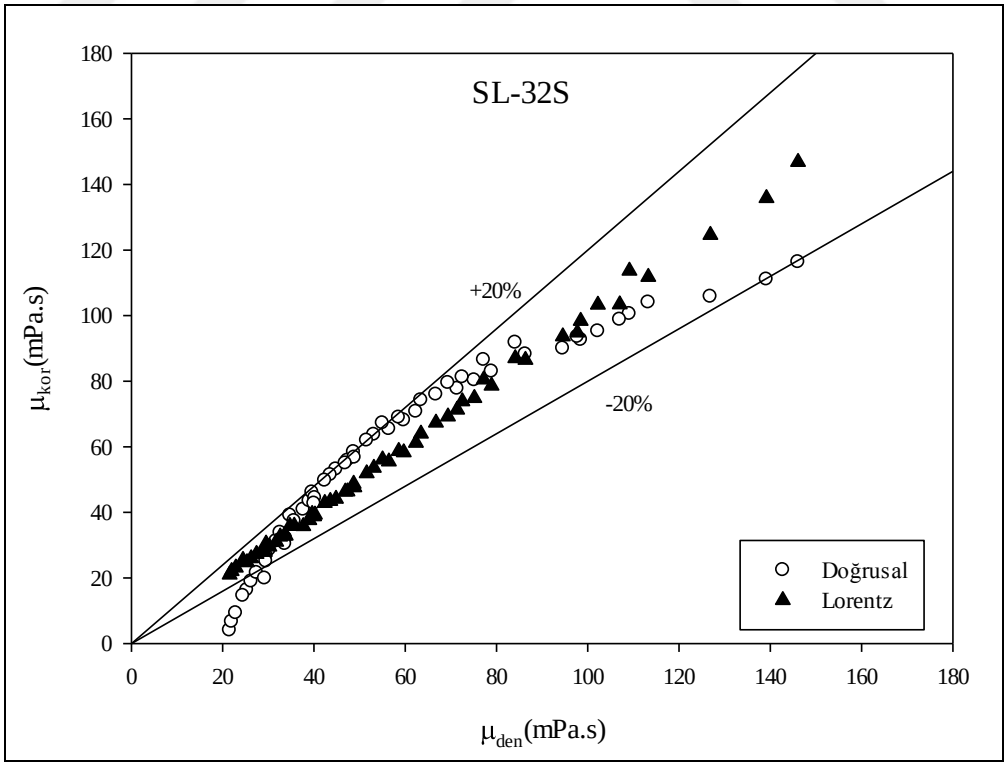
Çizelge 3. 3'te önerilen korelasyonlar gösterilmiştir. Tabloda da görülebildiği gibi Lorentz fonksiyonu şeklinde çıkartılan korelasyon en düşük hata yüzdesiyle, doğrusal fonksiyon şeklinde çıkartılan korelasyon ise en yüksek hata yüzdesiyle nanoakışkanların viskozitesini belirleyebilmektedir. Ayrıca önerilen korelasyonların en düşük ve en yüksek hata yüzdesi olanları da Şekil 3. 15-Şekil 3. 16-Şekil 3. 17-Şekil 3. 18'de grafikler halinde gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında önerilen Lorentz fonsiyonu şeklindeki korelasyonların nanoakışkanların dinamik viskozitesini %20'nin altında hata payı ile belirleyebildiği görülmektedir.

Çizelge 3. 3 Nanoakışkanların dinamik viskozitesinin hesaplanması için önerilen korelasyonlar

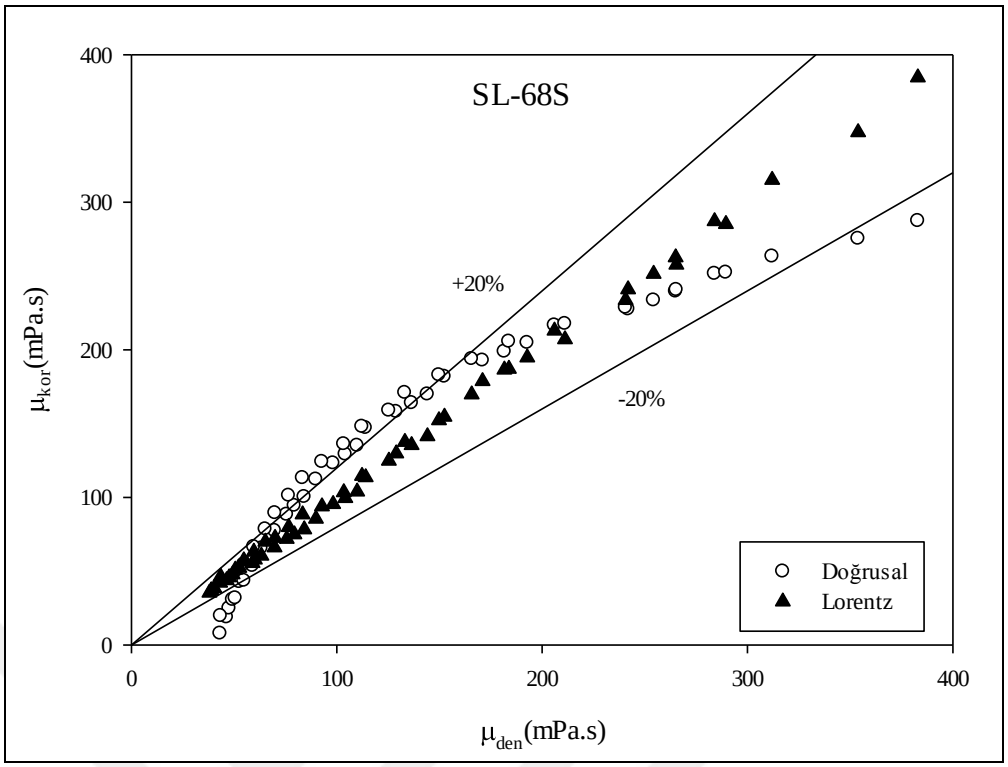
Yağ Tipi	**Korelasyon**		**R^2**
SL-32S	Doğrusal	$\mu = 126{,}8 - 2{,}456T + 263{,}6\varphi$	0,899
	Parabolik	$\mu = 194{,}3 - 7{,}163T + 224{,}3\varphi + 0{,}072T^2 + 400{,}6\varphi^2$	0,970
	Gauss	$\mu = 631000e^{-0{,}5\left[\left(\frac{T+336{,}8}{89{,}13}\right)^2+\left(\frac{\varphi-0{,}411}{0{,}284}\right)^2\right]}$	0,990
	Lorentz	$\mu = \frac{532{,}1}{\left[1+\left(\frac{T+8{,}597}{16{,}57}\right)^2\right]\left[1+\left(\frac{\varphi-0{,}190}{0{,}203}\right)^2\right]}$	0,998
SL-68S	Doğrusal	$\mu = 332{,}0 - 6{,}962T + 596{,}7\varphi$	0,879
	Parabolik	$\mu = 541{,}5 - 21{,}49T + 375{,}5\varphi + 0{,}223T^2 + 2251\varphi^2$	0,964
	Gauss	$\mu = 1572000e^{-0{,}5\left[\left(\frac{T+223}{64{,}97}\right)^2+\left(\frac{\varphi-0{,}839}{0{,}409}\right)^2\right]}$	0,995
	Lorentz	$\mu = \frac{4451}{\left[1+\left(\frac{T-6{,}661}{15{,}55}\right)^2\right]\left[1+\left(\frac{\varphi-0{,}442}{0{,}121}\right)^2\right]}$	0,998

Çizelge 3. 3 Nanoakışkanların dinamik viskozitesinin hesaplanması için önerilen korelasyonlar (devamı)

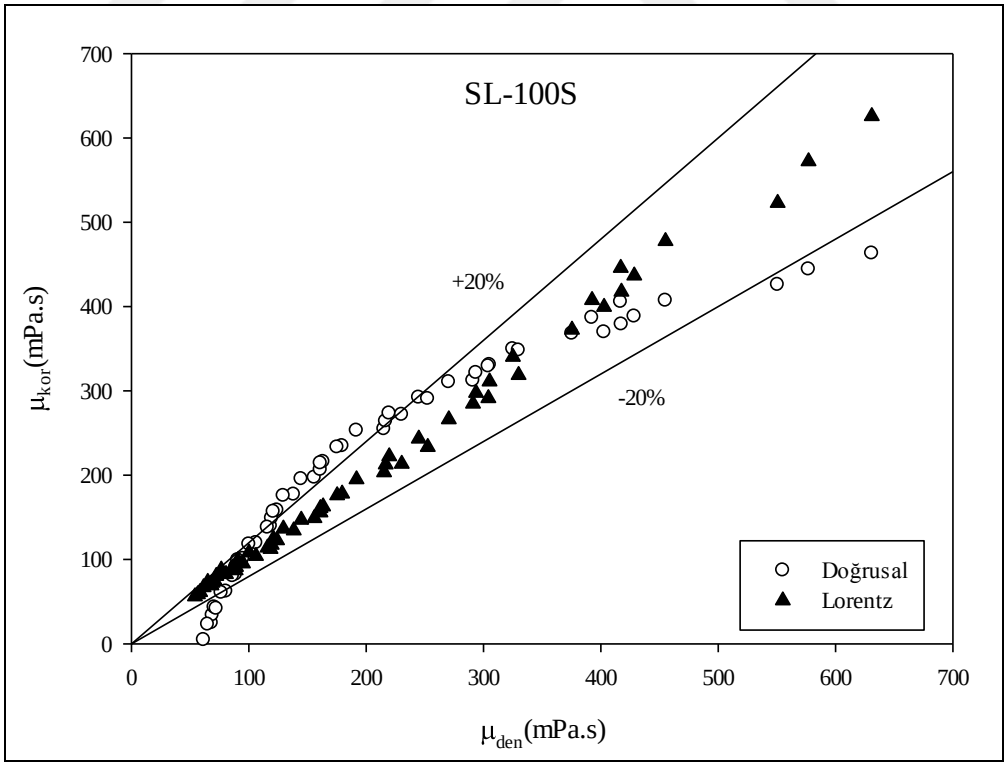
SL-100S	Doğrusal	$\mu = 542 - 11{,}5T + 934{,}6\varphi$	0,876
	Parabolik	$\mu = 894{,}8 - 36{,}03T + 635\varphi + 0{,}377T^2 + 3050\varphi^2$	0,965
	Gauss	$\mu = 3208000e^{-0{,}5\left[\left(\frac{T+231{,}6}{64{,}48}\right)^2+\left(\frac{\varphi-0{,}0702}{0{,}380}\right)^2\right]}$	0,993
	Lorentz	$\mu = \frac{1579}{\left[1+\left(\frac{T-4{,}616}{14{,}54}\right)^2\right]\left[1+\left(\frac{\varphi-0{,}281}{0{,}221}\right)^2\right]}$	0,996
SL-220S	Doğrusal	$\mu = 1315 - 28{,}52T + 2660\varphi$	0,859
	Parabolik	$\mu = 2279 - 93{,}87T - 200{,}5\varphi + 1{,}005T^2 + 29120\varphi^2$	0,963
	Gauss	$\mu = 28110000e^{-0{,}5\left[\left(\frac{T+216{,}1}{61{,}13}\right)^2+\left(\frac{\varphi-1{,}217}{0{,}484}\right)^2\right]}$	0,984
	Lorentz	$\mu = \frac{134200}{\left[1+\left(\frac{T-1{,}880}{12{,}80}\right)^2\right]\left[1+\left(\frac{\varphi-0{,}442}{0{,}054}\right)^2\right]}$	0,992



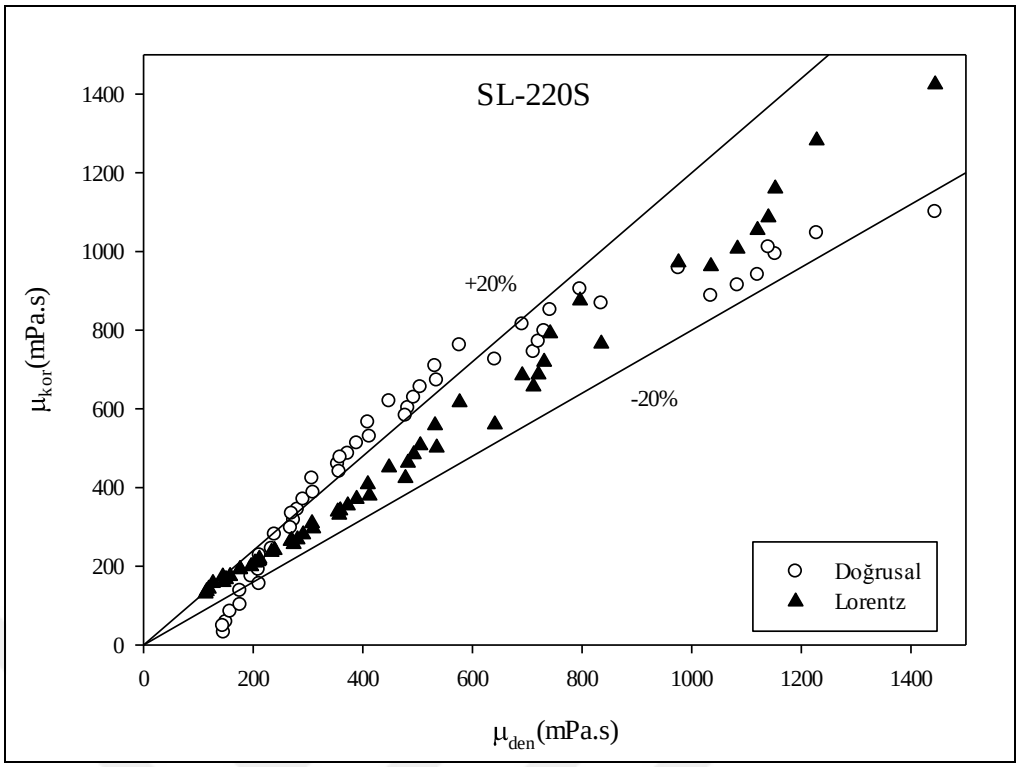
Şekil 3. 15 SL-32S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması



Şekil 3. 16 SL-68S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması



Şekil 3. 17 SL-100S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması



Şekil 3. 18 SL-220S/CNT nanoakışkanının deneysel verilerinin önerilen korelasyonlar ile karşılaştırılması

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fonksiyonelleştirilmiş çok cidarlı karbon nanotüpler ve kompresör yağları ile oluşturulan nanoakışkanların kararlılıkları ve dinamik viskoziteleri incelenmiştir.

Görsel gözlem sonucunda nanoakışkanların içerdiği CNT miktarının artması sonucunda kararlılıklarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca yine görsel gözlem sonucunda nanoakışkanları oluşturan temel akışkanın viskozitesi arttıkça kararlılıklarının da arttığı belirlenmiştir.

Nanoakışkanların dinamik viskozitelerinin deneysel olarak belirlenmesi sonucunda sıcaklığın ve CNT konsantrasyonunun dinamik viskoziteye etkisi incelenmiştir. Dinamik viskozitenin artan sıcaklık ile azaldığı, artan CNT konsantrasyonu ile arttığı belirlenmiştir. Sıcaklık değişiminin temel akışkanın viskozitesine ve içerdiği CNT miktarına bağlı olarak %300 ile %850 arasında viskozite değişimine sebep olabildiği görülmüştür. Dinamik viskozitenin aynı sıcaklık ve konsantrasyon için temel akışkanın viskozitesine bağlı olarak %40 ile %90 arasında artış gösterdiği görülmüştür.

Çalışmada solüsyonları homojen hale getirmek için 1 saatlik sonikasyon uygulanmıştır. Sonikasyon miktarının nanoakışkanın dinamik viskozitesine etkisini incelemek için de çalışmalar yapılabilir. Ayrıca nanoakışkanın kullanılacağı endüstriyel sistemlerdeki ısı transfer miktarının kullanılan kompresör gücüne oranı önem teşkil edeceğinden bu nanoakışkanın ısı iletim katsayısı da incelenmelidir.

CNT içeren nanoakışkanların reolojik özellikleri temel akışkanlardan çok farklı olduğundan önümüzdeki yıllarda dinamik viskozite dışındaki ısı iletim katsayısı, özgül ısı gibi termofiziksel özeliklerin de belirlenmesine dönük çalışmalar yapılacaktır. Yapılacak bilimsel çalışmalarla konu hakkında bilgi birikimi artacak ve CNT içeren nanoakışkanların ısıl sistemlerde kullanımı yaygınlaşacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Fontes, D.H., Ribatski, G., Filho, E.P.B., (2015). "Experimental Evaluation of Thermal Conductivity, Viscosity and Breakdown Voltage AC of Nanofluids of Carbon Nanotubes and Diamond in Transformer Oil", Diamond & Related Materials, 58:115–121.

[2] Asadi, A., Asadi, M., Rezaei, M., Siahmargoi, M., Asadi, F., (2016). "The Effect of Temperature and Solid Concentration on Dynamic Viscosity of MWCNT/MgO (20–80)–SAE50 Hybrid Nano-Lubricant and Proposing a New Correlation: An Experimental Study", International Communications in Heat and Mass Transfer, 78:48–53.

[3] Jo, B., Banerjee, D., (2014). "Viscosity Measurements of Multi-Walled Carbon Nanotubes-Based High Temperature Nanofluids", Materials Letters, 122:212–215.

[4] Vakili-Nezhaad, G., Dorany, A., (2012). "Effect of Single-Walled Carbon Nanotube on the Viscosity of Lubricants", Energy Procedia, 14:512–517.

[5] Garg, P., Alvarado, J.L., Marsh, C., Carlson, T.A., Kessler, D.A., Annamalai, K., (2009). "An Experimental Study on the Effect of Ultrasonication on Viscosity and Heat Transfer Performance of Multi-Wall Carbon Nanotube-Based Aqueous Nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, 52:5090–5101.

[6] Baratpour, M., Karimipour, A., Afrand, M., Wongwises, S., (2016). "Effects of Temperature and Concentration on the Viscosity of Nanofluids Made of Single-Wall Carbon Nanotubes in Ethylene Glycol", International Communications in Heat and Mass Transfer, 74:108–113.

[7] Halelfadl, S., Estellé, P., Aladag, B., Doner, N., Maré, T., (2013). "Viscosity of Carbon Nanotubes Water-Based Nanofluids: Influence of Concentration and Temperature", International Journal of Thermal Sciences, 71:111-117.

[8] Sabiha, M.A., Mostafizur, R.M., Saidur, R., Mekhilef, S., (2016). "Experimental Investigation on Thermo Physical Properties of Single Walled Carbon Nanotube Nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, 93:862–871.

[9] Ding, Y., Alias, H., Wen, D., Williams, R.A., (2006). "Heat Transfer of Aqueous Suspensions of Carbon Nanotubes (CNT Nanofluids)", International Journal of Heat and Mass Transfer, 49:240–250.

[10] Xie, H., Zhao, Z., Zhao, J., Gao, H., (2016). "Measurement of Thermal Conductivity, Viscosity and Density of Ionic Liquid [EMIM][DEP]-Based Nanofluids", Chinese Journal of Chemical Engineering, 24:331–338.

[11] Xing, M., Yu, J., Wang, R., (2015). "Thermo-Physical Properties of Water-Based Single-Walled Carbon Nanotube Nanofluid as Advanced Coolant", Applied Thermal Engineering, 87:344-351.

[12] Phuoc, T.X, Massoudi, M., Chen, R., (2011). "Viscosity and Thermal Conductivity of Nanofluids Containing Multi-Walled Carbon Nanotubes Stabilized by Chitosan", International Journal of Thermal Sciences, 50:12-18.

[13] Yiamsawas, T., Mahian, O., Dalkilic, A.S., Kaewnai, S., Wongwises, S., (2013). "Experimental Studies on the Viscosity of TiO2 and Al2O3 Nanoparticles Suspended in a Mixture of Ethylene Glycol and Water for High Temperature Applications", Applied Energy, 111:40-45.

[14] Yiamsawas, T., Dalkilic, A.S., Mahian, O., Wongwises, S., (2013). "Measurement and Correlation of the Viscosity of Water Based Al2O3 and TiO2 Nanofluids in High Temperatures and Comparisons with Literature Reports", Journal of Dispersion Science and Technology, 34:1697-1703.

[15] Bashirnezhad, K., Bazri, S., Goodarzi, M., Safaei, M.R., Dahari, M., Mahian, O., Dalkılıç, A.S., Wongwises, S., (2016). "Viscosity of Nanofluids: A Review of Recent Experimental Studies", International Communications in Heat and Mass Transfer, 70:114-123.

[16] Dalkilic, A.S., Çebi, A., Celen, A., Yıldız, O., Acikgoz, O., Jumpholkul, C., Bayrak, M., Surana, K., Wongwises, S., (2016). "Prediction of Graphite Nanofluids' Dynamic Viscosity by Means of Artificial Neural Networks", International Communications in Heat and Mass Transfer, 73:33-42.

[17] Dalkilic, A.S., Küçükyıldırım, B.O., Akdogan Eker, A., Çebi, A., Tapan, S., Jumpholkul, C., Wongwises, S., (2017). "Experimental Investigation on the Viscosity of Water-CNT and Antifreeze-CNT Nanofluids", International Communications in Heat and Mass Transfer, 80:47-59.

[18] Vand, V., (1948). "Viscosity of Solutions and Suspensions, I. Theory", Journal of Physics Colloid Chemistry, 52:277-299.

[19] Davalos, L.A., Orozco, L.A., Del Castillo, L.F., (2002). "Hydrodynamic Behavior of Suspensions of Polar Particles", Encyclopedia of Surface and Colloid Science, 4:2375-2396.

[20] Batchelor, G., (1977). "The Effect of Brownian Motion on the Bulk Stress in a Suspension of Spherical Particles", Journal of Fluid Mechanics, 83:97-117.

[21] Chen, H., Ding, Y., He, Y., Tan, C., (2007). "Rheological Behavior of Ethylene Glycol Based Titanianofluids", Chemical Physics Letters, 444:333-337.

[22] Wang, X., Xu, X., Choi, S.U.S., (1999). "Thermal Conductivity of Nanoparticle–Fluid Mixture", Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 13:474-480.

[23] Nguyen, C., Desgranges, F., Roy, G., Galanis, N., Mare, T., Boucher, S., Anguemintsa, H., (2007). "Temperature and Particle-Size Dependent Viscosity

Data for Water-Based Nanofluids-Hysteresis Phenomenon", International Journal of Heat and Fluid Flow, 28:1492-1506.

[24] Pak, B.C., Cho, Y.I., (1998). "Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles", Experimental Heat Transfer, 11:151-170.

[25] Khanafer, K., Vafai, K.A., (2011). "A Critical Synthesis of Thermophysical Characteristics of Nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, 54:4410-4428.

[26] Godson, L., Raja, B., Lal, D.M., Wongwises, S., (2010). "Experimental Investigation on the Thermal Conductivity and Viscosity of Silver-Deionized Water Nanofluid", Experimental Heat Transfer, 23:317-332.

[27] Duangthongsuk, W., Wongwises, S., (2009). "Measurement of Temperature-Dependent Thermal Conductivity and Viscosity of Tio2-Water Nanofluids", Experimental Thermal Fluid and Science, 32:706-714.

EK-A

DİNAMİK VİSKOZİTE DENEYSEL VERİLERİ

Saf SL-32S Yağı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	94,4	94,8	94,4	94,53333333
20	70,6	71,4	72,2	71,4
25	56,5	56,4	56,4	56,43333333
30	45,1	44,8	44,6	44,83333333
35	37,8	37,6	37,6	37,66666667
40	30,8	30,1	29,8	30,23333333
45	25,6	25,3	25,1	25,33333333
50	21,3	21,8	21,5	21,53333333

SL-32S/%0,01 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	98	98,6	98,8	98,46666667
20	74,6	75,2	75,6	75,13333333
25	59,5	59,7	59,8	59,66666667
30	47,2	47,4	47,4	47,33333333
35	39,2	38,9	38,8	38,96666667
40	31,9	31,6	31,7	31,73333333
45	26,4	26,1	26,2	26,23333333
50	22,4	21,9	21,6	21,96666667

SL-32S/%0,02 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	101,8	102,2	102,6	102,2
20	78,4	78,6	79,8	78,93333333
25	62,1	62,4	62,5	62,33333333
30	48,8	48,4	48,9	48,7
35	39,7	39,6	39,5	39,6
40	32,7	32,7	32,4	32,6
45	27,9	27,2	27,2	27,43333333
50	23,2	22,7	22,7	22,86666667

SL-32S/%0,04 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	108,8	109,2	109,4	109,1333333
20	86	86,3	86,7	86,33333333
25	66,5	66,5	67,2	66,73333333
30	52,8	53,3	53,3	53,13333333
35	43,4	43,7	43,6	43,56666667
40	35,2	34,7	34,3	34,73333333
45	30,1	29,5	29,1	29,56666667
50	24,7	24,4	24,3	24,46666667

SL-32S/%0,06 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	127	126,8	126,8	126,8666667
20	97,4	97,9	97,8	97,7
25	72,3	72,6	72,6	72,5
30	58,7	58,6	58,4	58,56666667
35	49,1	48,8	48,7	48,86666667
40	40,3	40,2	40,2	40,23333333
45	34,2	33,6	33,6	33,8
50	29,5	29,2	28,9	29,2

SL-32S/%0,08 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	139	139,2	139,3	139,1666667
20	107,2	107	106,8	107
25	77,5	77,1	77	77,2
30	63,5	63,5	63,3	63,43333333
35	51,7	51,7	51,3	51,56666667
40	42,6	42,2	42,3	42,36666667
45	35,8	35,6	35,6	35,66666667
50	29,7	29,5	29,3	29,5

SL-32S/%0,1 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	146	146,2	146	146,0666667
20	113,6	113,2	113	113,2666667
25	83,5	84,3	84,5	84,1
30	69,4	69,1	69,6	69,36666667
35	55,2	55,1	54,8	55,03333333
40	47	46,7	46,9	46,86666667
45	40,5	39,9	39,7	40,03333333
50	34	33,5	33,4	33,63333333

Saf SL-68S Yağı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	241	242,5	242	241,8333333
20	170,6	171,4	171	171
25	129,2	128,8	128,8	128,9333333
30	98,4	98,2	98	98,2
35	75,8	75,7	75,5	75,66666667
40	58,6	58,8	59,4	58,93333333
45	46,7	46,3	46,1	46,36666667
50	38,4	37,9	37,8	38,03333333

SL-68S/%0,01 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	255	253,5	254,5	254,3333333
20	181,4	181,8	181,8	181,6666667
25	136,4	136,4	136,6	136,4666667
30	104	104,2	104,4	104,2
35	79,6	79,3	79,2	79,36666667
40	60,4	60,2	59,8	60,13333333
45	47,9	47,5	47,4	47,6
50	39,4	38,7	38,5	38,86666667

SL-68S/%0,02 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	265	265,5	264,5	265
20	192,8	192,6	193	192,8
25	144	144,2	144,2	144,1333333
30	110,2	110	109,6	109,9333333
35	84,5	84	83,9	84,13333333
40	63,7	63,3	62,9	63,3
45	49,6	49,3	49,1	49,33333333
50	40,5	40,4	40,2	40,36666667

SL-68S/%0,04 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	284,5	284	283,5	284
20	205,5	206	206,5	206
25	152,6	152,4	152,4	152,466667
30	114,2	114,2	113,8	114,066667
35	90,2	89,8	89,6	89,8666667
40	70	69,6	69,6	69,7333333
45	52,7	52,5	52,4	52,5333333
50	43,4	43	43,2	43,2

SL-68S/%0,06 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	312	311,8	312,2	312
20	240,5	241	240,5	240,6666667
25	165,6	165,8	165,8	165,7333333
30	125,2	125,2	125,8	125,4
35	92,6	93,1	92,7	92,8
40	70,2	69,9	69,8	69,96666667
45	55,1	54,6	54,6	54,76666667
50	43,5	43,5	43,4	43,46666667

SL-68S/%0,08 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	352,5	354	355	353,8333333
20	266,5	265,5	264	265,3333333
25	184,4	183,6	183,4	183,8
30	133	133,2	133,4	133,2
35	103,6	103,4	103,4	103,4666667
40	76,6	76,6	76,6	76,6
45	59,5	59,6	59,8	59,63333333
50	50,7	50,6	50,6	50,63333333

SL-68S/%0,1 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	382,5	383,5	383	383
20	288	291	289,5	289,5
25	210	211,5	212	211,1666667
30	150,6	149,6	149	149,7333333
35	112,6	112,4	111,8	112,2666667
40	83,7	83,3	83	83,33333333
45	65,2	65,2	65,4	65,26666667
50	54,8	55	54,8	54,86666667

Saf SL-100S Yağı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	402,5	403	403	402,8333333
20	292	291	290,5	291,1666667
25	215,5	215,5	215	215,3333333
30	156,2	155,8	156	156
35	118,4	118,6	118,8	118,6
40	88,8	88,9	89	88,9
45	68,4	68,2	68	68,2
50	54	54,2	54,3	54,16666667

SL-100S/%0,01 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	418	417,5	417	417,5
20	293,5	294	293,5	293,6666667
25	217	216,5	216,5	216,6666667
30	161	161	161,2	161,0666667
35	119,2	119,8	119,6	119,5333333
40	88,9	89,1	89,3	89,1
45	68,9	69,1	69,1	69,03333333
50	56,3	56,8	57,1	56,73333333

SL-100S/%0,02 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	429	428,5	428	428,5
20	305,5	305	305	305,1666667
25	221	219	219	219,6666667
30	163	163,5	163,5	163,3333333
35	123,6	124,2	124,6	124,1333333
40	94,8	95,2	95,4	95,13333333
45	70,9	70,5	70,4	70,6
50	58,4	58,6	58,6	58,53333333

SL-100S/%0,04 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	455	455,5	455	455,166667
20	325,5	325	325	325,166667
25	244,5	245	245	244,833333
30	179,6	179,6	179,4	179,533333
35	138,2	138,6	138,4	138,4
40	106	106,2	106,2	106,133333
45	80,4	80,6	80,8	80,6
50	61,8	61,3	61,3	61,4666667

SL-100S/%0,06 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	551	551	550	550,6666667
20	376	375	375,5	375,5
25	271	270,5	270	270,5
30	191,6	192	191,8	191,8
35	145,2	144,6	144,6	144,8
40	115,8	116	116,4	116,0666667
45	86,2	86,2	86,6	86,33333333
50	65,2	65	65,2	65,13333333

SL-100S/%0,08 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	578	578	575	577
20	394,5	392	391	392,5
25	305	304	303,5	304,1666667
30	230,5	230,5	230	230,3333333
35	161	161,2	161	161,0666667
40	120,8	121,2	120,8	120,9333333
45	90,8	90,7	90,6	90,7
50	72,3	72,3	72,3	72,3

SL-100S/%0,1 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	630	632	631	631
20	418,5	416,5	416	417
25	329,5	330,5	330	330
30	253,5	252,5	251,5	252,5
35	175,6	175,4	174,8	175,2666667
40	129,2	129,6	129,8	129,5333333
45	100,2	100,2	100,2	100,2
50	76,4	76,7	76,7	76,6

Saf SL-220S Yağı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1032,5	1037,5	1035	1035
20	713	710	711	711,3333333
25	480	485	482	482,3333333
30	355	354	354	354,3333333
35	276	273,5	272	273,8333333
40	197	196	196	196,3333333
45	146,2	146,4	146,2	146,2666667
50	113	113,6	113	113,2

SL-220S/%0,01 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1085	1085	1080	1083,333333
20	721	720,5	720	720,5
25	493	494	492	493
30	374	372	371,5	372,5
35	280	281	281,5	280,8333333
40	204	203	203,5	203,5
45	150	150,4	151	150,4666667
50	115,2	115,6	115,2	115,3333333

SL-220S/%0,02 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1118	1120	1122	1120
20	730	731	731,5	730,8333333
25	505	506	504	505
30	387,5	389	389,5	388,6666667
35	290,5	291	292	291,1666667
40	211	212	211	211,3333333
45	159	158	157,5	158,1666667
50	118,2	119	120,2	119,1333333

SL-220S/%0,04 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1150	1152	1155	1152,33333
20	741	741,5	743	741,833333
25	530	532	533,5	531,833333
30	410	409,5	408	409,166667
35	307	308	307,5	307,5
40	241	238,5	238	239,166667
45	177,5	177	174	176,166667
50	127,6	126	126,6	126,733333

SL-220S/%0,06 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1222	1230	1232	1228
20	799	796	794	796,3333333
25	573	578	579	576,6666667
30	447	448,5	448,5	448
35	350	348	378,5	358,8333333
40	271,5	269,5	269,5	270,1666667
45	210	209,5	209	209,5
50	144,4	144,6	145,2	144,7333333

SL-220S/%0,08 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1437,5	1450	1445	1444,166667
20	977	976	975	976
25	689	692	692	691
30	533	532	539	534,6666667
35	414	411,5	411	412,1666667
40	311	309,5	308,5	309,6666667
45	235,5	233,5	231,5	233,5
50	176,6	176,8	176	176,4666667

SL-220S/%0,1 CNT Nanoakışkanı

Sıcaklık	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
15	1620	1625	1627	1624
20	1135	1140	1145	1140
25	838	835	832	835
30	643	641	639	641
35	477	478	478	477,6666667
40	353	359	359	357
45	270	268	267	268,3333333
50	212	212,5	209	211,1666667

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Hamza Tarık ÖZTÜRK

Doğum Tarihi ve Yeri :09.03.1991/Adapazarı

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :tarikhmza@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Bursa Anadolu Lisesi	2009

YAYINLARI

Bildiri

1. Dalkilic, A.S., Ozturk, H.T., Akdogan Eker, A., Küçükyıldırım, B.O., Jumpholkul, C., Wongwises, S., (2017). "Determination of the Viscosity of Refrigeration Compressor Oils with Carbon Nanotubes", International Conference on Advances in Science and Arts Istanbul 2017, 29 – 31 Mart 2017, İstanbul, Türkiye