

Al₂O₃-MWCNT/saf su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinin belirlenmesi

Determination of thermal conductivity and viscosity values of Al₂O₃-MWCNT/pure water hybrid nanofluid

Eda Feyza AKYÜREK^{*1,a}

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 07.09.2021

• Düzeltilecek geliş tarihi / Received in revised form: 24.10.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 01.11.2021

Öz

Nanoakışkanlar ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için hibrit nanoakışkanların kullanıldığı görülmektedir. Hibrit nanoakışkanların tekli nanoakışkanlar ve temel akışkanlar (su, yağ, etilen glikol vb.) ile kıyaslanabilmesi için en önemli adım termofiziksel özelliklerinin belirlenmesidir. Bu çalışmanın amacı Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik, viskozite değerlerini artıran hacimsel oran ve sıcaklık ile belirlemek, sonuç olarak da elde edilen değerleri mevcut korelasyonlar ile karşılaştırmaktır. Çalışmada Al₂O₃ ve MWCNT nanopartikülleri %0:100, %50:50 ve %100:0 karışım oranlarında saf su içinde süspansiyon edilerek %0.1, %0.2 ve %0.3 hacimsel oranına sahip Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanları hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlar, hazırlanan hibrit nanoakışkanların hem ısı iletkenliğinin hem de viskozitesinin nanopartikül hacim konsantrasyonu ile arttığını göstermiştir. %0.1 hacimsel oranda %50:50 karışım oranında hazırlanan hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik değerinin mono nanoakışkanlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Saf su ile kıyaslandığında en fazla ısı iletkenlik artışı %8.56 olarak 50°C'de %0.3 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkanı için elde edilmiştir. Hacimsel oranın artışı ile viskozite değerleri artmış ve saf suya kıyasla en fazla artış 20°C'de %0.3 (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanı için %54.73 olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın 20°C'den 50°C'ye çıkmasıyla meydana gelen en fazla viskozite azalışı 50°C'de %0.3 (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanı için %55.72'dir.

Anahtar kelimeler: Hibrit nanoakışkanlar, Isıl iletkenlik, Viskozite

Abstract

When the studies on nanofluids in recent years are examined, it is seen that hybrid nanofluids are used to improve their thermophysical properties. The most important step in the comparison of hybrid nanofluids with single nanofluids and basic fluids (water, oil, ethylene glycol, etc.) is to determine their thermophysical properties. The aim of this study is to determine the thermal conductivity and viscosity values of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water nanofluids with increasing volumetric ratio and temperature, finally compare the obtained values with the existing correlations. In the study, Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluids with 0.1%, 0.2% and 0.3% volumetric ratios were prepared by suspending Al₂O₃ and MWCNT nanoparticles in pure water at mixing ratios of 0:100%, 50:50% and 100:0%. Experimental results showed that both the thermal conductivity and viscosity of the prepared hybrid nanofluids increased with the nanoparticle volume concentration. It was determined that the thermal conductivity value of the hybrid nanofluid prepared at a 50:50 mixture ratio of 0.1% by volume was higher than the mono nanofluids. Compared to pure water, the highest thermal conductivity increase of 8.56% was obtained for 0.3% (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water nanofluid at 50°C. The viscosity values increased with the increase of the volumetric ratio and the highest increase was determined as 54.73% for the 0.3% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at 20°C compared to pure water. The maximum viscosity decrease that occurs when the temperature rises from 20°C to 50°C is 55.72% for the 0.3% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at 50°C.

Keywords: Hybrid nanofluids, Thermal conductivity, Viscosity

^a Eda Feyza AKYÜREK; feyza.akyurek@erzurum.edu.tr, Tel: (0442) 444 53 88, orcid.org/ 0000-0003-4007-6846

1. Giriş

1. Introduction

Isı transfer uygulamalarında genellikle su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılır. Bunların düşük termofiziksel özellikleri ısı transfer performansını da olumsuz etkiler. Bu nedenle günümüze kadar bu geleneksel akışkanların ısı transferi performansını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi de, nanometre boyutundaki parçacıkların temel akışkana süspansiyon edilmesi ile oluşturulan nanoakışkanlardır. Nanoakışkan kavramının oluştuğu ve termofiziksel özelliklerinin araştırıldığı ilk çalışmalardan günümüze kadar nanoakışkanlar ile ilgili birçok araştırma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Choi vd., 2001; Xuan ve Li, 2000; Daungthongsuk & Wongwises, 2007). Kullanılan nanopartiküller genellikle metaller (Cu, Fe, Au, Ag vb.), metal oksitler (CuO, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃ vb.) ve karbon bazlı (Karbon nanotüp, CNT; Çok Cidarlı Karbon Nanotüp, MWCNT; Tek Cidarlı Karbon Nanotüp, SWCNT vb.) malzemelerdir. Çalışmaların çoğunda hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin (özgül ısı kapasitesi, ısı iletkenlik, viskozite, elektriksel iletkenlik ve yoğunluk) artan sıcaklık ve partikül oranıyla nasıl değiştiği incelenmiştir (Giwa vd., 2021). Temel bir akışkana birleşik fiziksel ve kimyasal etkileri nedeniyle farklı nanopartiküllerin eklenmesi ile oluşturulan hibrit nanoakışkanların, tekli nanopartiküllerden oluşan nanoakışkanlara göre termofiziksel özelliklerinin daha iyi olması beklenir (Urmı vd., 2020). Hibrit nanoakışkanlar, olağanüstü ısı iletkenliklerinin yanı sıra ısı transfer davranışları nedeniyle araştırmacılar tarafından ilgi odağı olmuştur (Vidhya vd., 2020). Nanoakışkanlar ile ilgili son yapılan çalışmalar incelendiğinde nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini iyileştirmek için çalışmalarda hibrit nanoakışkanların kullanıldığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada (Huminić vd., 2020) hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliği, 20–50 °C aralığında farklı sıcaklıklarda ve %0.25–1.0 kütleli oranda ölçülmüştür. Sonuçlar, artan sıcaklık ve konsantrasyonun ısı iletkenlikte artışa yol açtığını göstermiştir. Farklı bir çalışmada (Suresh vd., 2011) hacimsel oranı %0.1-2 olan Al₂O₃–Cu (%90:%10)/su hibrit nanoakışkanının viskozitesi ve ısı iletkenliği incelenmiştir. Hacimsel oranın artışı ile viskozitede %8–115 ve ısı iletkenlikte %1.47–12.11 aralığında artış olduğu belirlenmiştir. Literatürde araştırmacılar (Giwa vd., 2021) Deiyonize su (DW) ve etilen glikol (EG) (hacimce %50:50) temel akışkanının içerisine %0.05-0.75 hacim konsantrasyonunda Al₂O₃- γ -Fe₂O₃

nanopartikülleri süspansiyon ederek hibrit nanoakışkan hazırlamış ve hazırlanan hibrit nanoakışkanların 20-50 °C sıcaklıklarda termofiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Çalışmada kullanılan hibrit nanopartiküllerin kütlece oranı %75 (Fe₂O₃) ve %25 (Al₂O₃)'dür. Temel akışkan ile kıyaslandığında viskozite %2.79-49.38 artarken, elektriksel iletkenliğin %717.14–7618.89 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında (Jha & Ramaprabhu, 2008) deiyonize su (DW) ve etilen glikol (EG) içinde MWCNT ve Cu–MWCNT nanoparçacıklarını süspansiyon ederek hibrit nanoakışkan hazırlamışlardır. Çalışmada çeşitli sıcaklık ve hacim konsantrasyonlarında ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, aynı hacim konsantrasyonunda (%0.03 hacim), Cu-MWCNT hibrit nanoakışkanlarının ısı iletkenliğinin MWCNT mono nanoakışkanlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı hacimsel oranlarda su bazlı nanoakışkanların etilen glikol bazlı nanoakışkanlardan ısı iletkenlik artışı için daha iyi olduğu belirtilmiştir. Literatürdeki farklı bir çalışmada eşit karışım oranında γ -Al₂O₃–MWCNT/su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenliği, %0–1 hacimsel oranda ve oda sıcaklığında incelenmişlerdir (Abbasi vd., 2013). Maksimum artışın %1 hacimsel oran için %20.68 olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında (Sundar vd., 2014) MWCNT-Fe₃O₄ nanopartikülleri ile hazırladıkları hibrit nanoakışkanların viskozitesini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, hibrit nanoakışkanların %0.3 hacimsel oranı için 20 °C ile 60 °C arasındaki sıcaklıklarda sırasıyla 1.27 ve 1.5 kat arttığı ifade edilmiştir. Bir diğer yapılan çalışmada (Hamid vd., 2018) %1,0 hacimsel oranda TiO₂-SiO₂ nanopartiküllerinden oluşturdukları hibrit nanoakışkanlarının karışım oranının (%20:80, %40:60, %50:50, %60:40 ve %80:20) ısı iletkenlik ve viskozite üzerindeki etkisini incelenmiştir. Hem ısı iletkenlik hem de viskozite açısından optimum karışım oranlarının %40:60 ve %80:20 olarak elde edilmiştir. Farklı bir çalışmada ise (Asadi vd., 2020) CuO-TiO₂/Su hibrit nanoakışkanının reolojik davranışı ve dinamik viskozitesi araştırılmıştır. Hacimsel oranı %0.1 ile 1 arasında olan hibrit nanoakışkanların dinamik viskozite değerleri, 25 ile 55°C arasında değişen farklı sıcaklıklarda ölçülmüştür. Maksimum dinamik viskozite, hacimsel oranın %1 olduğu 25 °C sıcaklıkta elde edilmiştir.

Hibrit nanoakışkan, iki farklı nanopartikülün temel akışkan içerisine süspansiyon edilmesi ile hazırlanan yeni nanoakışkan türüdür ve bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde ısı

transfer uygulamalarında çoğunlukla hibrit nanoakışkanların kullanıldığı görülmektedir. Hibrit nanoakışkanların geleneksel akışkanlar ve tekli nanoakışkanlara kıyasla termofiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini deneysel olarak araştıran sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir (Giwa vd., 2021). Bu nedenle bu çalışmada hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin hacimsel oran ve sıcaklık artışı ile belirlenmesi ve literatürdeki mevcut korelasyonlar ile karşılaştırması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 3 farklı hacimsel oran (%0.1, %0.2 ve %0.3) ve karışım oranında (100:0, 50:50, 0:100) hazırlanan MWCNT-Al₂O₃/Su hibrit nanoakışkanının viskozite ve ısı iletkenlik değerleri 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarında deneysel olarak belirlenmiştir. Sıcaklık ve hacimsel oran artışı ile ısı iletkenlik ve viskozite değişimleri araştırılmış ve veriler literatürde mevcut korelasyonlar ile karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel yöntem

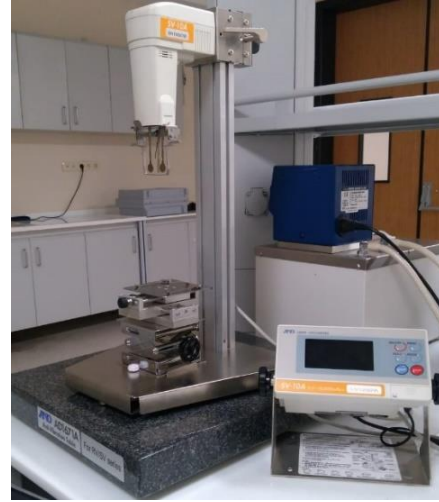
2. Experimental method

2.1. Hibrit nanoakışkanların hazırlanması

2.1. Preparation of hybrid nanofluids

Hibrit nanoakışkanların kararlılığı, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinden doğrudan etkilenir. Nanoakışkanların hazırlanmasındaki en büyük zorluklardan biri, yüzey aktif madde ilavesi ve ultrasonik titreşim etkisi ile üstesinden gelinebilecek stabil nanoakışkan hazırlamaktır (Vidhya vd., 2020). Bu nedenle, nanoakışkanlar ile ilgili yapılan çalışmalarda stabil nanoakışkan hazırlamak en önemli adımdır. Hibrit nanoakışkanlar

hazırlanırken en yaygın kullanılan temel akışkanlar; su, etilen glikol, su etilen glikol karışımı ve motor yağıdır. Hibrit nanoakışkanlar nanopartiküllerin temel akışkan içinde süspansiyon edilmesini içeren iki aşamalı işlem kullanılarak hazırlanabilir. Bu çalışmada da nanoakışkan hazırlama yöntemlerinden iki adım yöntemi kullanılmıştır. İlk adımda MWCNT ve Al₂O₃ nanopartikülleri %0.1-0.2-0.3 hacimsel oranlarında temel akışkan olarak su içerisine 100(MWCNT):0(Al₂O₃), 50(MWCNT):50(Al₂O₃), 0(MWCNT):100(Al₂O₃) karışım oranlarında süspansiyon edilerek hibrit nanoakışkanlar hazırlanmıştır. İkinci adımda ise stabil nanoakışkan elde edebilmek için hibrit nanoakışkanlar mekanik olarak karıştırılmış ve Şekil 1 de verilen Hielscher marka UP400S model ultrasonik homojenizatör ile 2 saat sonike edilmiştir. Çalışmada kullanılan saf suyun ve nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Homojenizatör
Figure 1. Homogenizer

Tablo 1. Nanopartiküllerin ve saf suyun termofiziksel özellikleri (Giwa vd., 2020; Nanografi Inc., 2021)

Table 1. Thermophysical properties of nanoparticles and pure water (Giwa et al., 2020; Nanografi Inc., 2021)

Özellikler	Saf Su	Al ₂ O ₃	MWCNT
Özgül Isı, Cp (J/kgK)	4179	765	710
Isıl İletkenlik, k (W/mK)	0.613	40	2000
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	997.1	3970	2100
Dinamik Viskozite, μ (kg/ms)	0.001	-	-
Partikül Boyutu (nm)	-	18 nm	28-48 nm
Safılık	-	< 99.5	< 96

2.2. Hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliğinin belirlenmesi

2.2. Determination of thermal conductivity of hybrid nanofluid

Hibrit nanoakışkanların ısı transfer uygulamalarında kullanımıyla ilgili en önemli özelliklerden biri ısı iletkenliktir, çünkü ısı transfer katsayısı, sıvının ısı iletkenliğine bağlıdır (Sundar vd., 2017). Hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artırılması, ısı performansını iyileştirilmesini ve daha enerji verimli sistemlerin elde edilmesini sağlar. Nanopartiküllerin malzemesi, şekli ve boyutu, hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliğine karar vermede önemli faktörlerdir (Vidhya vd., 2020). Çalışmada MWCNT-Al₂O₃/Su hibrit nanoakışkanlarının ısı iletkenlikleri Şekil 2’de verilen KD2 Pro ısı özellik analizörü (Linseis marka THB-100 model) ile belirlenmiştir. Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmek için genellikle bu cihaz kullanılmıştır. Ölçüme başlamadan kalibrasyon örneği olarak gliserol kullanılarak cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Isı iletkenlikler 20°C-50 °C sıcaklıklarda %0.1%-0.2 ve %0.3 hacimsel oranlarda ölçülmüştür.



Şekil 2. Isı iletkenlik ölçer

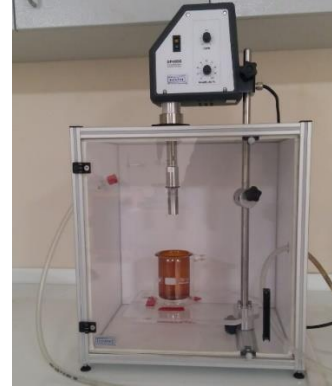
Figure 2. Thermal conductivity meter

2.3. Hibrit nanoakışkanın viskozitesinin belirlenmesi

2.3. Determination of viscosity of hybrid nanofluid

Hibrit nanoakışkanları kullanmanın uygulanabilirliği, doğrudan basınç düşüşü ve buna bağlı olarak pompalama maliyetleri ile ilgilidir. Bu amaçla viskozite çok önemli bir özelliktir (Sundar vd., 2017). Viskozite değerlerinin belirlenmesi, pompalama güçlerinin ve basınç düşüşlerinin değerlendirilmesi için, çalışma akışkanlarının ısı transfer ekipmanından verimli akışı için gereklidir. Dinamik viskozite değerleri Şekil 3’de verilen A&D SV-10 viskozimetre kullanılarak 20°C-50 °C arasında değişen sıcaklıklarda belirlenmiştir. Ölçümler sırasında nanoakışkan numunelerinin

sıcaklığını kontrol etmek için bir ısı banyo kullanılmıştır.



Şekil 3. Viskozimetre

Figure 3. Viscosimeter

2.4. Hesap yöntemi

2.4. Calculation method

Hibrit nanoakışkanların yoğunluğu denklem 1’de verilen korelasyon ile belirlenmiştir (Takabi ve Salehi, 2014). Hibrit nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin hacimsel oranı denklem 2 ve denklem 3 kullanılarak hesaplanır. ϕ hacimsel oran, ρ yoğunluk, m kütle ve V hacim olmak üzere denklemlerde geçen ϕ_{p1} ve ϕ_{p2} nanopartiküllerin hacimsel oranı, ρ_{p1} ve ρ_{p2} nanopartiküllerin yoğunluğudur. Denklemlerde geçen alt indisler; t_a : temel akışkanın, p :partikülün ve hna : hibrit nanoakışkanın kısaltmalarıdır.

$$\rho_{hna} = (1 - \phi)\rho_{ta} + \phi_{p1}\rho_{p1} + \phi_{p2}\rho_{p2} \quad (1)$$

$$\phi_{p1} = \frac{V_{p1}}{V_{ta}} \quad (2)$$

$$\phi_{p2} = \frac{V_{p2}}{V_{ta}} \quad (3)$$

Toplam 200 ml hacimli hibrit nanoakışkan hazırlamak için denklem 4 ile verilen bağıntıdan nanopartiküllerin toplam kütlesi belirlendikten sonra nanopartiküllerin karışım oranına bağlı olarak hibrit nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin kütlesi belirlenmiştir.

$$m_p = \rho_p V_p \quad (4)$$

Hibrit nanoakışkanın ölçülen ısı iletkenlik değerleri denklem 5’de verilen Maxwell modeli (Takabi ve Salehi, 2014), denklem 6’da (Kakavvei ve Akbari, 2018) ve denklem 7’de (Abdolbaqi vd., 2016) verilen korelasyonlar ile karşılaştırılmıştır. Denklemlerde geçen T nanoakışkanın sıcaklığıdır.

$$\frac{k_{hna}}{k_{ta}} = \left(\frac{(\varphi_{p,1}k_{p,1} + \varphi_{p,2}k_{p,2})}{\phi} + 2k_{bf} + 2(\varphi_{p,1}k_{p,1} + \varphi_{p,2}k_{p,2}) - 2\varphi k_{bf} \right) * \left(\frac{(\varphi_{p,1}k_{p,1} + \phi\varphi_{p,2}k_{p,2})}{\phi} + 2k_{ta} - (\varphi_{p,1}k_{p,1} + \varphi_{p,2}k_{p,2}) - \varphi k_{ta} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$\frac{k_{hna}}{k_{ta}} = 0.0017 * \varphi^{0.698} * T^{1.386} + 0.9811 \quad (6)$$

$$\frac{k_{hna}}{k_{ta}} = 1.199 * (\varphi/100)^{0.03} * (T/80)^{0.008} \quad (7)$$

Hibrit nanoakışkanın ölçülen dinamik viskozitesi denklem 8 ile verilen Brinkman denkleminin geliştirilmiş bir formu (Hayat ve Nadeem, 2017) ve denklem 9 ile verilen (Abdolbaqi vd., 2016) korelasyon ile karşılaştırılmıştır.

$$\frac{\mu_{hnf}}{\mu_{ta}} = \frac{1}{(1-\varphi_{p,1})^{2.5}(1-\varphi_{p,2})^{2.5}} \quad (8)$$

$$\frac{\mu_{hnf}}{\mu_{ta}} = \left[0.906 * \exp \left(10.975 * \varphi + 0.169 \frac{T}{80} \right) \right] \quad (9)$$

2.5. Belirsizlik analizi

2.5. Uncertainty analysis

DeneySEL çalışmada, parametrelerin belirsizliğini belirlemek için Kline ve McClintock tarafından önerilen metot kullanılmıştır (Kline ve McClintock, 1953). Denklem 10’de R, sistemde ölçülecek sonuç ve $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, R değerini etkileyen bağımsız değişkenlerdir.

$$R = R(x_1, x_2, x_3 \dots, x_n). \quad (10)$$

Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı W_R Denklem 11 ile belirlenir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Tablo 2. Belirsizlik analizi sonuçları

Table 2. Uncertainty analysis results

Hesaplanan Parametreler	Parametrelerin Belirsizlik Değeri (± %)
Viskozite	2
Termal İletkenlik	1

3. Bulgular

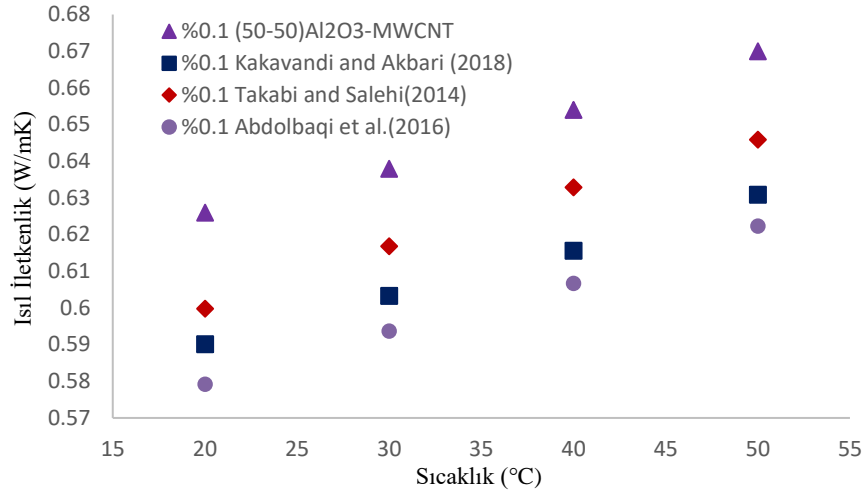
3. Results

Çalışmada 3 farklı hacimsel oranda (%0.1-0.2-0.3) ve 3 farklı karışım oranında (100:0, 50:50 ve 0:100) Al₂O₃-MWCNT nanopartiküllerinin saf su

içerisine süspansiyon edilmesiyle hazırlanan Al₂O₃-MWCNT /Saf Su mono/hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite değerleri 4 farklı sıcaklıkta belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

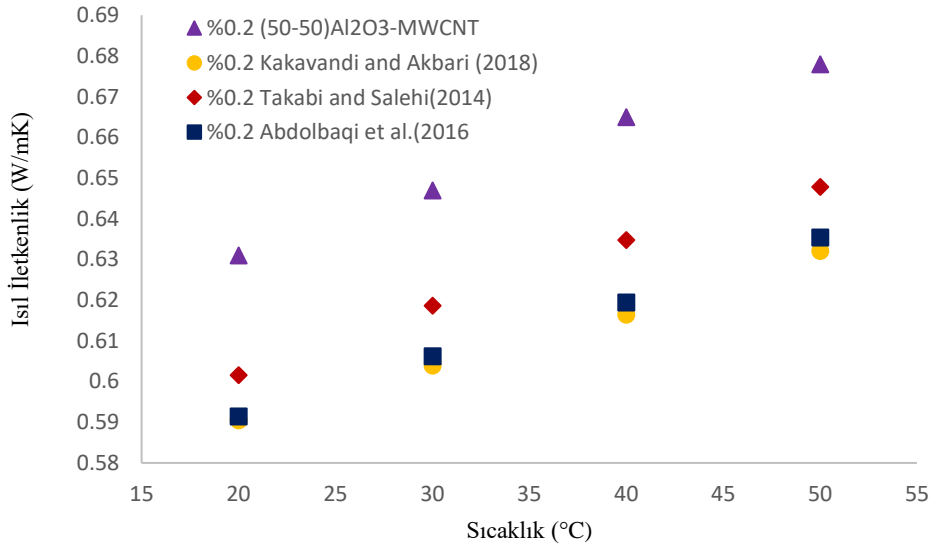
Şekil 4,5,6’da literatürdeki mevcut modeller ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Şekiller incelendiğinde ölçüm sonuçlarının modellerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Hacimsel oran arttıkça modeller ile ölçüm sonuçları arasındaki fark artmaktadır. Bunun sonucunda artan hacimsel oranla modellerin ısı iletkenliği tahmin etmede daha da başarısız olduğu söylenebilir.

Şekil 7 incelendiğinde %0.1 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça iletkenlik değerleri de artmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile 0.31 ile 0.83 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.76 ile %4.33 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.39 ile %3.75 arasında ısı iletkenlik değerinde artış olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, aynı sıcaklıkta %0.1 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısı iletkenlik artışı için en iyi sonuç verdiği görülmektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı ise 50°C’de %0.1 (50:50)Al₂O₃-MWCNT nanoakışkanda elde edilmiştir. Bu durum literatürde belirtilen hibrit nanoakışkanların üstün ısı transfer özelliklerini deneysel olarak da açıklamaktadır. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C’den 50°C’ye artışı ile ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.11, %7.03 ve %6.9 artış olmuştur.



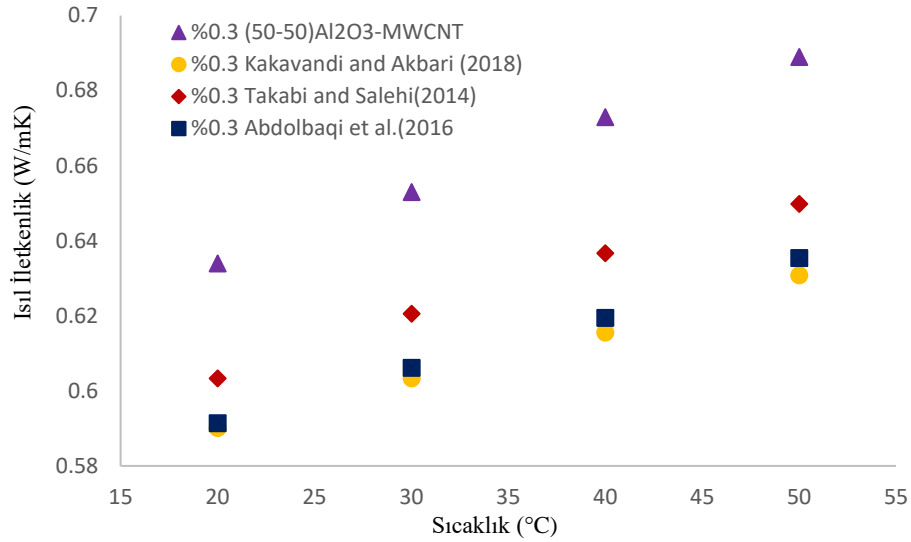
Şekil 4. %0.1 (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 4. Comparison of thermal conductivity measurements of 0.1% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models



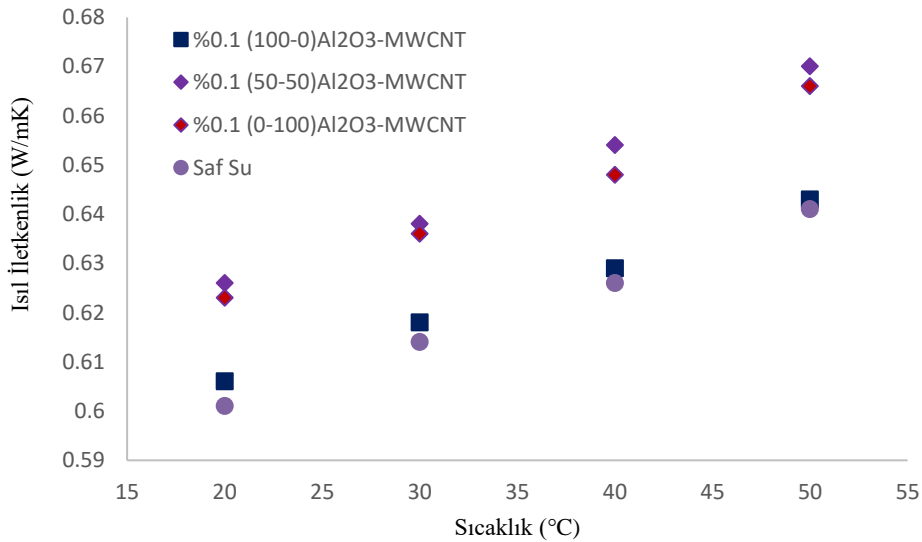
Şekil 5. %0.2 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 5. Comparison of thermal conductivity measurements of 0.2% (50:50)Al₂O₃-MWCNT /Pure Water hybrid nanofluid with models



Şekil 6. %0.3 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının ısı iletkenlik ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 6. Comparison of thermal conductivity measurements of 0.3% (50:50) Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models

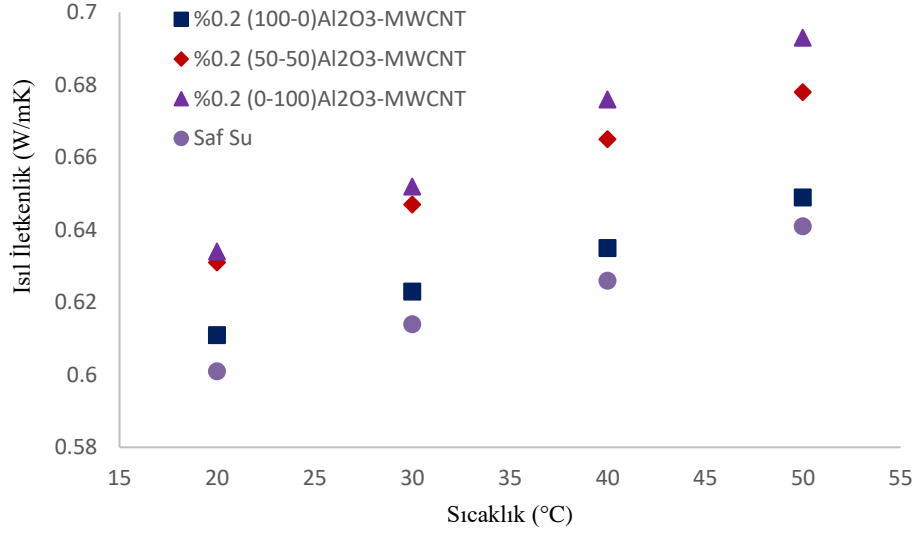


Şekil 7. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 7. Thermal conductivity variation depending on temperature of 0.1% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 8 incelendiğinde %0.2 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça ısı iletkenlik değerleri de artmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.23 ile 1.63 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %4.75 ile %5.86 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %7.5

arasında ısı iletkenlik değerinde artış olmuştur. Sonuçlar aynı sıcaklıkta %0.2 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısı iletkenlik artışı için en iyi sonuç verdiğini göstermektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı ise 50°C'de %0.2 (0:100) Al₂O₃-MWCNT nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.22, %7.45 ve %6.31 artış olmuştur.

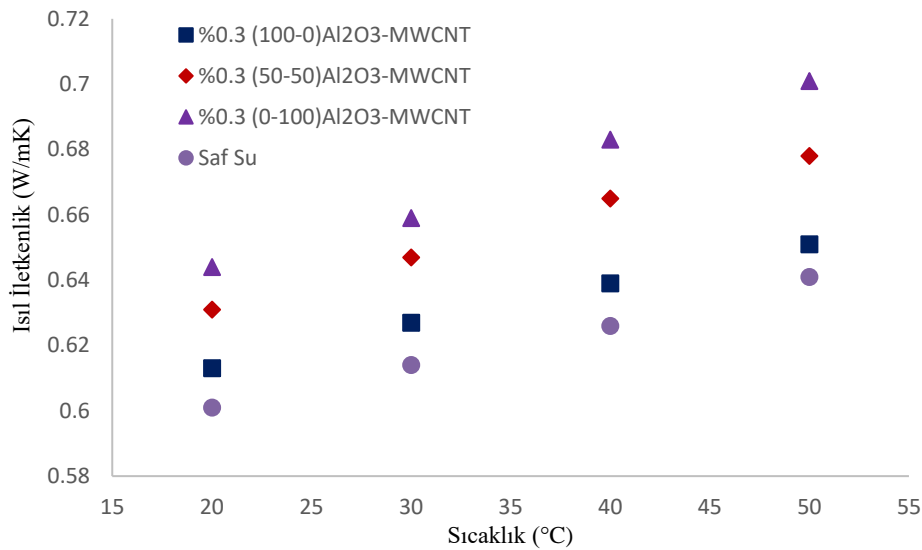


Şekil 8. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 8. Thermal conductivity variation depending on temperature of 0.2% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 9 incelendiğinde %0.3 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça ısı iletkenlik değerleri de artmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.54 ile 2.07 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %6.98 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %6.67 ile %8.56

arasında ısı iletkenlikte artış elde edilmiştir. Sonuçlar aynı sıcaklıkta %0.1 (0:100)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısı iletkenlik artışı için en iyi sonuç verdiğini göstermektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı ise 50°C'de %0.3 (0:100) Al₂O₃-MWCNT nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısı iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.2, %8.68 ve %8.85 artış olmuştur.

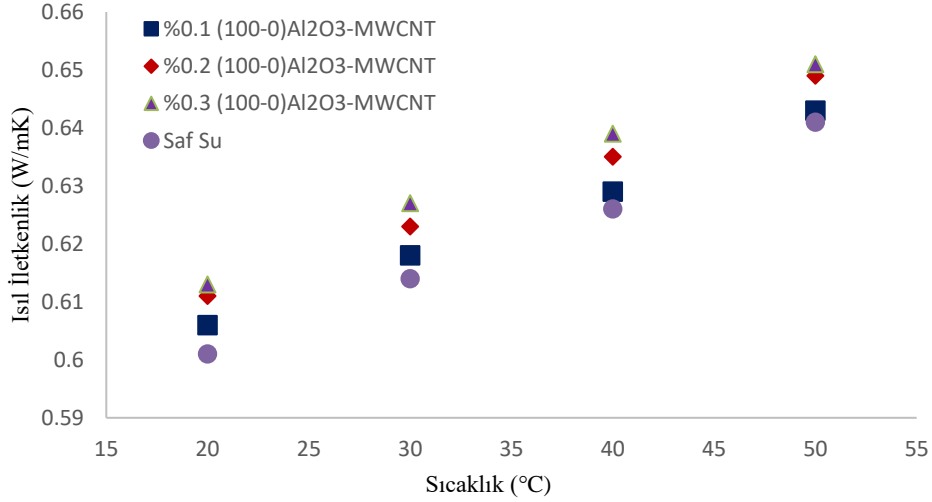


Şekil 9. %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 9. Thermal conductivity variation depending on temperature of 0.3% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

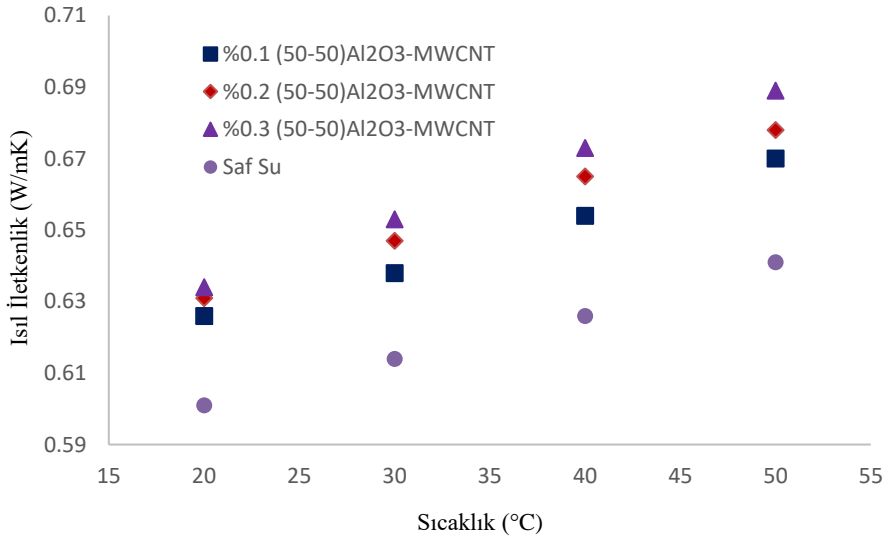
Şekil 10, 11 ve 12 incelendiğinde farklı hacimsel oranlarda hazırlanan Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %0:100, %50:50 ve %100:0 karışım oranları için sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimleri verilmiştir. Sıcaklık artışı ile partiküller arasındaki etkileşim artar. Nanopartiküllerin ısı iletkenlik değerleri saf suya kıyasla çok yüksektir

ve karışım içinde oranları arttıkça hibrit nanoakışkanın da ısı iletkenliğinin artması beklenir. Bu nedenle sıcaklığın ve nanopartikül hacimsel oranının artışı ile tüm karışım oranlarında hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerinin arttığı görülmektedir. En fazla ısı iletkenlik artışı $50^{\circ}C$ 'de %0.3 hacimsel oranda belirlenmiştir.



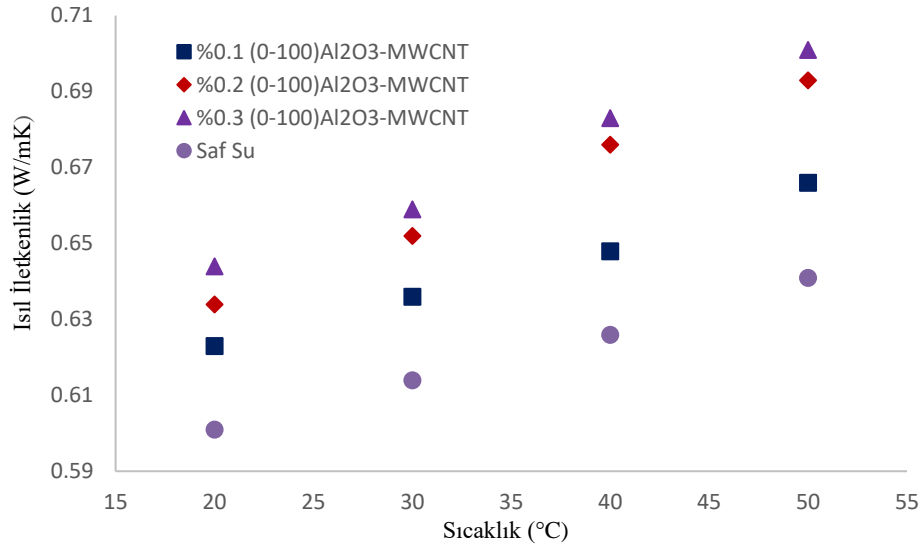
Şekil 10. Farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %100 Al_2O_3 -%0 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 10. Thermal conductivity variation depending on temperature at 100% Al_2O_3 -0% MWCNT mixture ratios of Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios



Şekil 11. Farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %50 Al_2O_3 -%50 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 11. Thermal conductivity variation depending on temperature at 50% Al_2O_3 -50% MWCNT mixture ratios of Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios

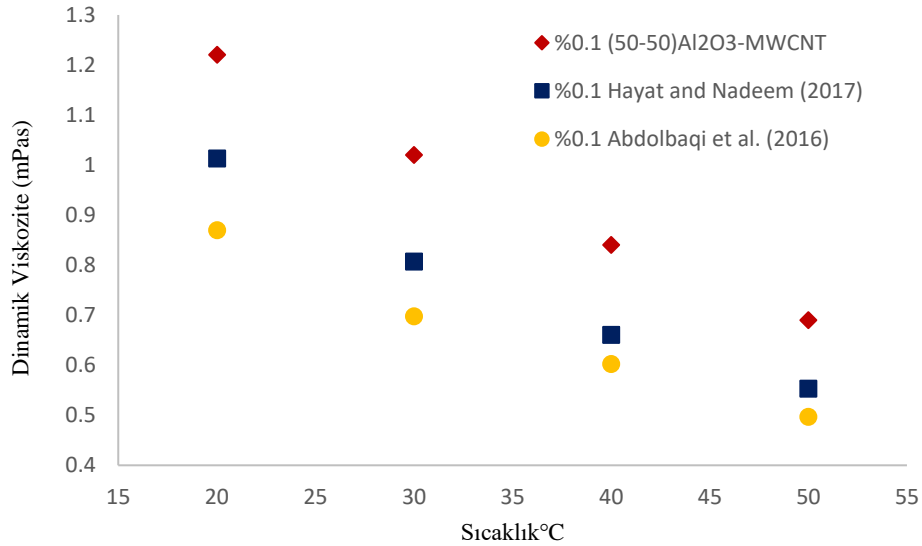


Şekil 12. Farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %0 Al₂O₃-%100 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı ısı iletkenlik değişimi

Figure 12. Thermal conductivity variation depending on temperature at 0% Al₂O₃-100% MWCNT mixture ratios of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios

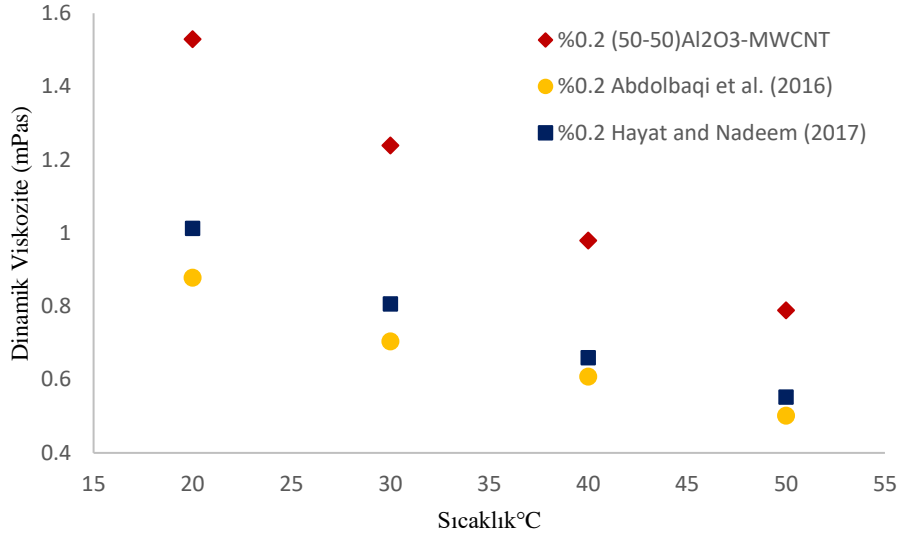
Şekil 13,14 ve 15’de %0.1, 0.2 ve 0.3 hacimsel oranlarda hazırlanan (50:50)Al₂O₃-MWCNT /Saf Su hibrit nanoakışkanlarının viskozite ölçüm değerlerinin modeller ile karşılaştırılması verilmektedir. Viskozite ölçüm değerleri literatürde mevcut modellere göre daha fazladır. Hacimsel oranın artışıyla ölçüm sonuçları mevcut modellerden uzaklaşmaktadır. Viskozite

değerlerinin tahmini için geliştirilen model (Abdolbaqi vd. 2016) içerisinde hacimsel orana bağlı terim bulunmadığından hacimsel oranın artışı ile viskozite değerleri değişmemiştir. Bu da bu modelin hacimsel orana bağlı viskozite değerlerinin belirlenmesinde doğru sonuç veremeyeceğinin göstergesidir.



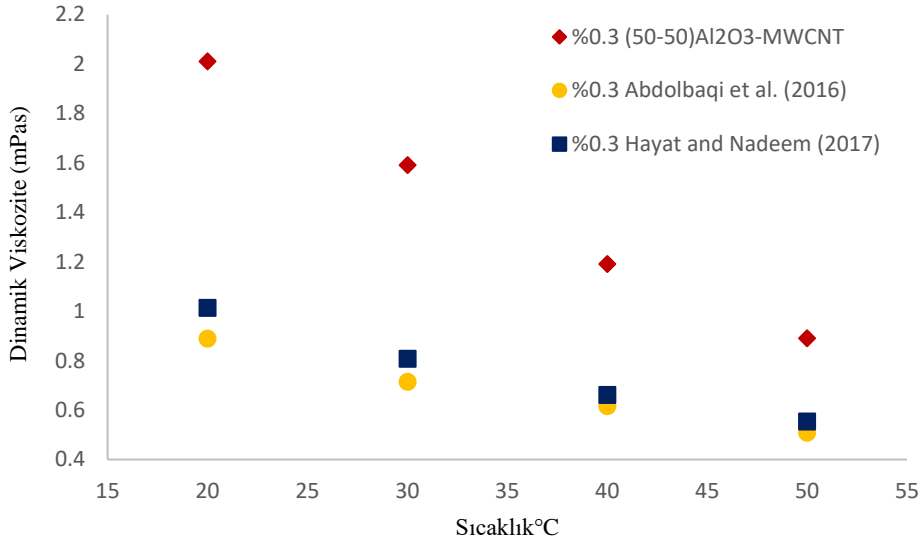
Şekil 13. %0.1 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının viskozite ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 13. Comparison of viscosity measurements of 0.1% (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models



Şekil 14. %0.2 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının viskozite ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 14. Comparison of viscosity measurements of 0.2% (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models

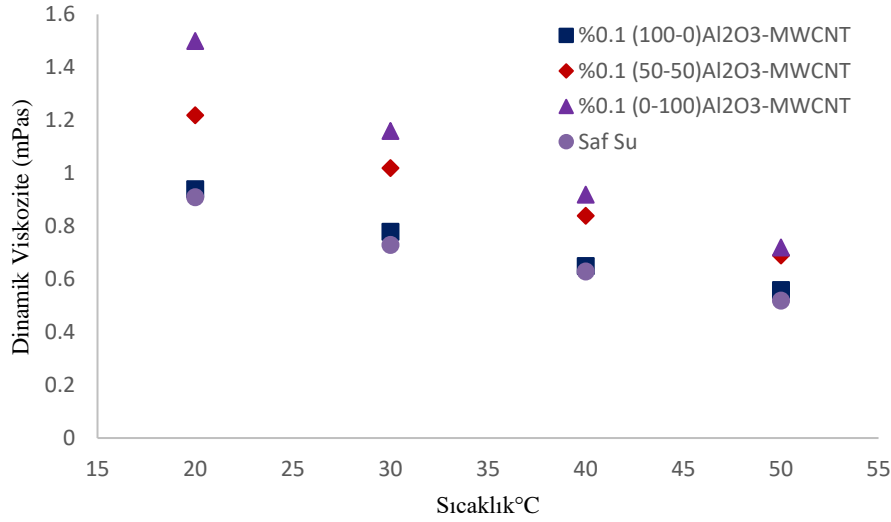


Şekil 15. %0.3 (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının viskozite ölçümlerinin modeller ile karşılaştırılması

Figure 15. Comparison of viscosity measurements of 0.3% (50:50)Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid with models

Şekil 16 incelendiğinde %0.1 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %3.08 ile %7.14 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %24.64 ile %28.43 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su

mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %27.78 ile %39.33 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur. En fazla viskozite artışı ise 20°C'de %0.1 (0:100)Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50, 0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.43, %43.44 ve %52 azalmıştır.

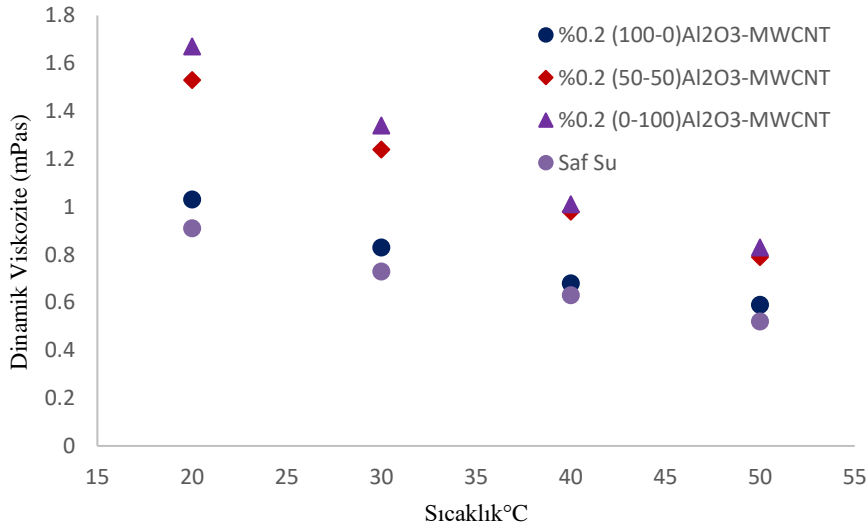


Şekil 16. %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 16. Temperature dependent viscosity change of 0.1% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 17 incelendiğinde %0.2 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması %7.35 ile %12.04 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %34.17 ile %41.13 arasında ve

0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %37.35 ile %45.53 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur. En fazla viskozite artışı ise 20°C'de %0.2 (0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50, 0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %42.72, %48.37 ve %50.3 azalmıştır.



Şekil 17. %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

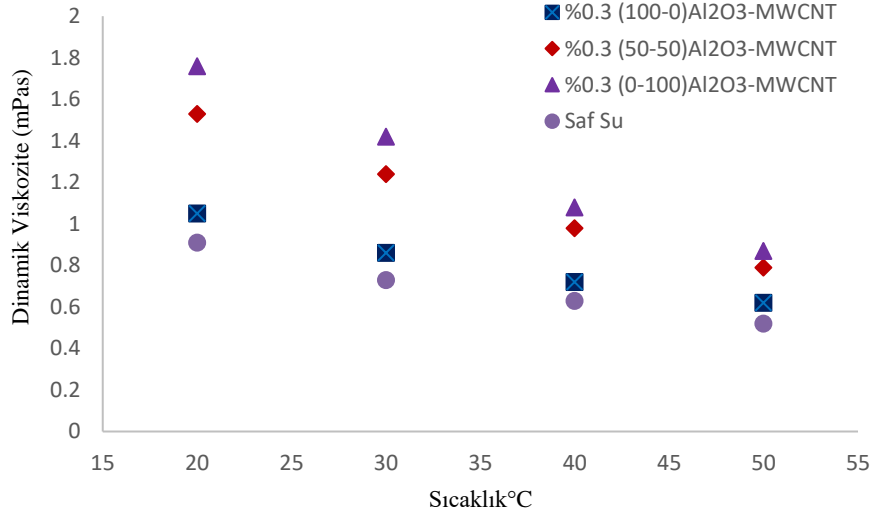
Figure 17. Temperature-dependent viscosity change of 0.2% Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

Şekil 18 incelendiğinde %0.3 hacimsel oranda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının tüm nanopartikül karışım oranlarında sıcaklık arttıkça viskozite değerleri azalmıştır. Saf su ile

kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %12.5 ile %16.12 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-

MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %41.57 ile %54.72 arasında ve 0:100 karışım oranında Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %40.22 ile %48.59 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur. En fazla viskozite artışı ise 20°C'de

%0.3 (0:100) Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su nanoakışkan için elde edilmiştir. %0.3 Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.95, %55.72 ve %50.57 azalmıştır.

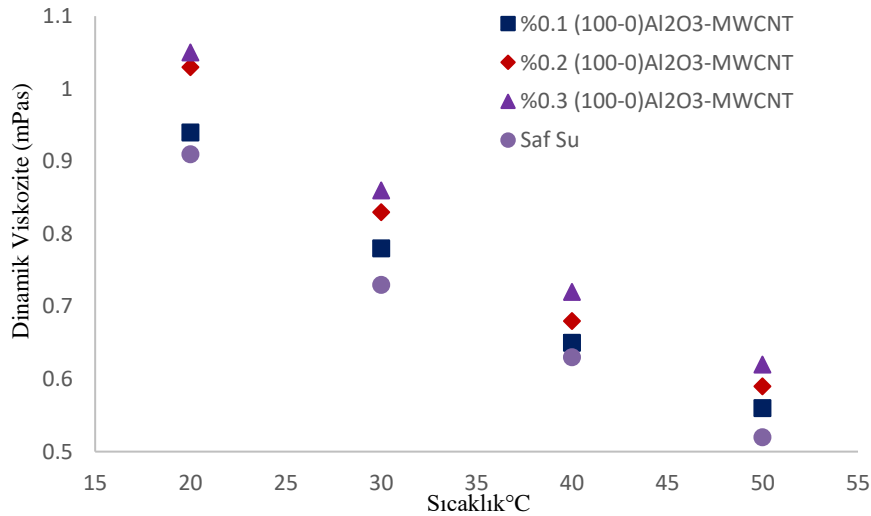


Şekil 18. %0.3 Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının farklı karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 18. Temperature dependent viscosity change of 0.3% Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different mixing ratios

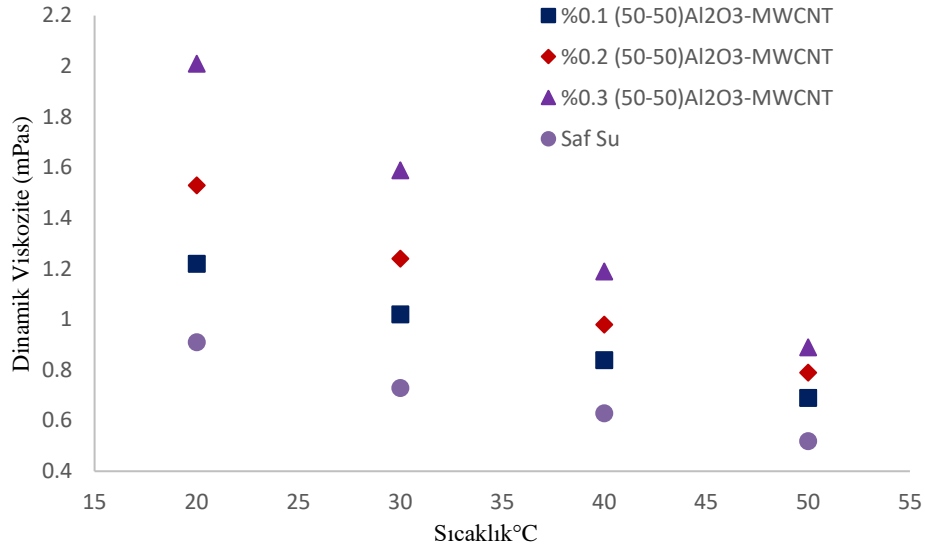
Şekil 19,20 ve 21 incelendiğinde farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %100 Al_2O_3 -%0 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi verilmiştir. Hacimsel oran arttıkça viskozite artmış sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu durum; sıcaklığın artması ile moleküller arasındaki kohesif kuvvetlerin azalması

sonucunda akışın serbest hale gelmesi olarak açıklanabilir. Hacimsel oranın artışı ile en fazla viskozite artışı 20°C'de %0.3 (50-50) Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su nanoakışkanında %54.73, sıcaklığın 20°C'den 50°C'ye çıkmasıyla meydana gelen en çok viskozite azalışı 50'de %0.3 (50-50) Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanında %55.72'dir.



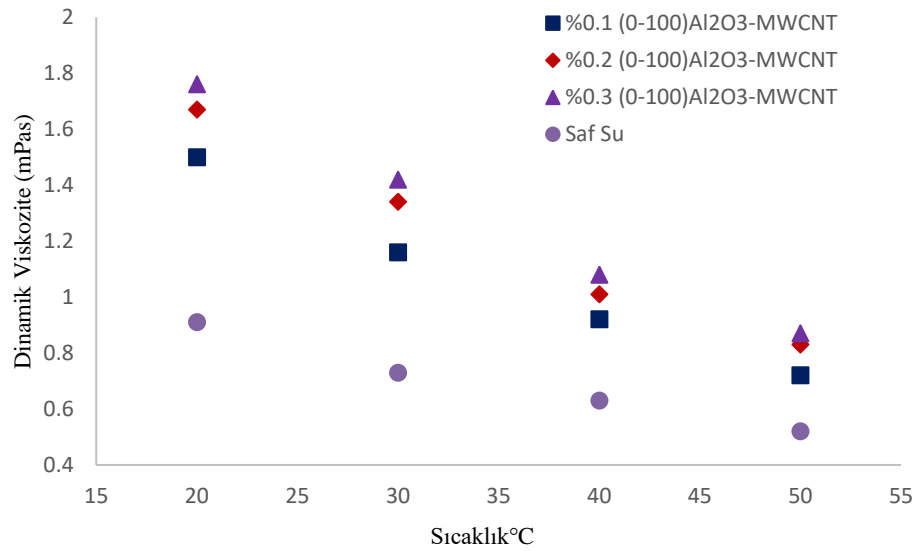
Şekil 19. Farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %100 Al_2O_3 -%0 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 19. Temperature-dependent viscosity change of Al_2O_3 -MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios at 100% Al_2O_3 -0% MWCNT mixing ratios



Şekil 20. Farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %50 Al₂O₃-%50 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 20. Viscosity change depending on temperature at 50% Al₂O₃-50% MWCNT mixing ratios of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios



Şekil 21. Farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının %0 Al₂O₃-%100 MWCNT karışım oranlarında sıcaklığa bağlı viskozite değişimi

Figure 21. Temperature-dependent viscosity change of Al₂O₃-MWCNT/Pure Water hybrid nanofluid at different volumetric ratios at 0% Al₂O₃-100% MWCNT mixing ratios

4. Tartışma ve sonuçlar

4. Discussion and conclusions

%0.1-0.2 ve 0.3 hacimsel oranlarda ve 3 farklı karışım oranında (100:0, 50:50 ve 0:100) Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanlarının 4 farklı sıcaklıkta ısı iletkenlik ve viskozite değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

- Literatürde hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite değerlerinin belirlenmesi için verilen modeller yetersiz kalmaktadır.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile 0.31 ile 0.83 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.76 ile %4.33 arasında ve 0:100 karışım oranında

Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %3.39 ile %3.75 arasında ısıl iletkenlik değerinde artış olmuştur.

- %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C'den 50°C'ye artışı ile ısıl iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.11, %7.03 ve %6.9 artış olmuştur.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.23 ile 1.63 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %4.75 ile %5.86 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %7.5 arasında ısıl iletkenlik değerinde artış olmuştur.
- %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısıl iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.22, %7.45 ve %6.31 artış olmuştur.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %1.54 ile 2.07 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %5.2 ile %6.98 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %6.67 ile %8.56 arasında ısıl iletkenlikte artış elde edilmiştir.
- %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile ısıl iletkenlik değerlerinde sırasıyla %6.2, %8.68 ve %8.85 artış olmuştur.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.1 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %3.08 ile %7.14 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %24.64 ile %28.43 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %27.78 ile %39.33 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur.
- %0.1 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50, 0:100 karışım

oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.43, %43.44 ve %52 azalmıştır.

- Saf su ile kıyaslandığında %0.2 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması %7.35 ile %12.04 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %34.17 ile %41.13 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %37.35 ile %45.53 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur.
- %0.2 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %42.72, %48.37 ve %50.3 azalmıştır.
- Saf su ile kıyaslandığında %0.3 hacimsel oran için, 100:0 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılması ile %12.5 ile %16.12 arasında, 50:50 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının kullanılmasıyla %41.57 ile %54.72 arasında ve 0:100 karışım oranında Al₂O₃-MWCNT/Saf Su mono nanoakışkanının kullanılmasıyla %40.22 ile %48.59 arasında viskozite değerlerinde artış olmuştur.
- %0.3 Al₂O₃-MWCNT/Saf Su hibrit nanoakışkanının 100:0, 50:50,0:100 karışım oranlarında sıcaklığın 20°C, 50°C'ye artışı ile viskozite değerlerinde sırasıyla %40.95, %55.72 ve %50.57 azalmıştır.

Literatürde son yıllarda hibrit nanoakışkanlara ilginin arttığı görülmektedir fakat hibrit nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini deneysel olarak inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır. Hacimsel oran, karışım oranları ve sıcaklıklar dikkate alınarak viskoziteyi çok artırmadan ısıl iletkenlik değerini artıran optimizasyon çalışmaları yapılabilir. Ayrıca termofiziksel özelliklerin doğru tahmininde kullanılacak modeller geliştirilebilir.

Yazar katkısı

Author contribution

Yazar çalışmanın tamamını kendisi yapmıştır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Abbasi, S. M., Rashidi, A., Nemati, A. & Arzani, K. (2013). The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina. *Ceramics International*, 39(4), 3885–3891. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.10.232>
- Abdolbaqi, M. K., Sidik, N. A. C., Rahim, M. F. A., Mamat, R., Azmi, W. H., Yazid, M. N. A. W. M. & Najafi, G. (2016). Experimental investigation and development of new correlation for thermal conductivity and viscosity of BioGlycol/water based SiO₂ nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 77, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.07.001>
- Asadi, A., Alarifi, I. M. & Foong, L. K. (2020). An experimental study on characterization, stability and dynamic viscosity of CuO-TiO₂/water hybrid nanofluid. *Journal of Molecular Liquids*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112987>
- Choi, S. U. S., Zhang, Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E. & Grulke, E. A. (2001). Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions. *Applied Physics Letters*, 79(14), 2252–2254. <https://doi.org/10.1063/1.1408272>
- Daungthongsuk, W. & Wongwises, S. (2007). A critical review of convective heat transfer of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 797–817. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.005>
- Giwa, S. O., Sharifpur, M., Goodarzi, M., Alsulami, H. & Meyer, J. P. (2021). Influence of base fluid, temperature, and concentration on the thermophysical properties of hybrid nanofluids of alumina-ferrofluid: experimental data, modeling through enhanced ANN, ANFIS, and curve fitting. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(6), 4149–4167. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09372-w>
- Giwa, S. O., Sharifpur, M. & Meyer, J. P. (2020). Experimental study of thermo-convection performance of hybrid nanofluids of Al₂O₃-MWCNT/water in a differentially heated square cavity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 148, 119072. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119072>
- Hamid, K. A., Azmi, W. H., Nabil, M. F., Mamat, R. & Sharma, K. V. (2018). Experimental investigation of thermal conductivity and dynamic viscosity on nanoparticle mixture ratios of TiO₂-SiO₂ nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 1143–1152. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.087>
- Hayat, T. & Nadeem, S. (2017). Heat transfer enhancement with Ag-CuO/water hybrid nanofluid. *Results in Physics*, 7, 2317–2324. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.06.034>
- Huminic, G., Huminic, A., Dumitrache, F., Fleacă, C. & Morjan, I. (2020). Study of the thermal conductivity of hybrid nanofluids: Recent research and experimental study. *Powder Technology*, 367, 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.052>
- Jha, N. & Ramaprabhu, S. (2008). Synthesis and thermal conductivity of copper nanoparticle decorated multiwalled carbon nanotubes based nanofluids. *Journal of Physical Chemistry C*, 112(25), 9315–9319. <https://doi.org/10.1021/jp8017309>
- Kakavandi, A. & Akbari, M. (2018). Experimental investigation of thermal conductivity of nanofluids containing of hybrid nanoparticles suspended in binary base fluids and propose a new correlation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 742–751. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.03.103>
- Kline, S. J. & McClintock, F. A. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mechanical Engineering*, 3–8. <https://doi.org/10.1111/jcmm.13453>
- Nanografi Inc., Nanoparticles, accessed March 27, 2021, from <https://www.nanografi.com.tr/>
- Sundar, L. S., Sharma, K. V., Singh, M. K. & Sousa, A. C. M. (2017). Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(March 2016), 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.108>
- Sundar, L. S., Singh, M. K. & Sousa, A. C. M. (2014). Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT-Fe₃O₄/water hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass*

- Transfer*, 52, 73–83.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.01.012>
- Suresh, S., Venkitaraj, K. P., Selvakumar, P. & Chandrasekar, M. (2011). Synthesis of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 388(1–3), 41–48.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.08.005>
- Takabi, B. & Salehi, S. (2014). Augmentation of the heat transfer performance of a sinusoidal corrugated enclosure by employing hybrid nanofluid. *Advances in Mechanical Engineering*, 2014.
<https://doi.org/10.1155/2014/147059>
- Urmi, W. T., Rahman, M. M. & Hamzah, W. A. W. (2020). An experimental investigation on the thermophysical properties of 40% ethylene glycol based TiO₂-Al₂O₃ hybrid nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 116(June), 104663.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104663>
- Vidhya, R., Balakrishnan, T. & Kumar, B. S. (2020). Investigation on thermophysical properties and heat transfer performance of heat pipe charged with binary mixture based ZnO-MgO hybrid nanofluids. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 3423–3433.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.284>
- Xuan, Y. & Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1), 58–64.
[https://doi.org/10.1016/S0142-727X\(99\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0142-727X(99)00067-3)