



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi

Experimental investigation of thermophysical properties of nano mineralogical fluids

Yazar(lar) (Author(s)): Uğur KARAKAYA¹, Metin GÜRÜ², Adnan SÖZEN³, Duygu Y. AYDIN⁴, İbrahim BİLİCİ⁵

ORCID¹: 0000-0003-2236-5281

ORCID²: 0000-0002-7335-7583

ORCID³: 0000-0002-8373-2674

ORCID⁴: 0000-0003-0557-5279

ORCID⁵: 0000-0001-8151-6911

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Karakaya U., Gürü M., Sözen A., Aydın D. ve Bilici İ., "Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(3): 619-626, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.432034

Nano Mineralojik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Uğur KARAKAYA¹, Metin GÜRÜ¹, Adnan SÖZEN², Duygu Y. AYDIN¹, İbrahim BİLİCİ³

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Ankara, TÜRKİYE

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Ankara, TÜRKİYE

³Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, Çorum, TÜRKİYE

(Geliş/Received : 14.03.2018 ; Kabul/Accepted : 23.05.2018)

ÖZ

Bu çalışmada bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit malzemeleri içeren nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Spex tipi yüksek enerjili öğütücü kullanılarak 50 nm boyutunda nano parçacıklar üretilmiştir. Bu nano parçacıklar kullanılarak kütlece % 2 mineralojik malzeme ve kütlece % 0,5 Sodyum Dodecil Benzen Sülfonat içeren nanoakışkanlar 5 saat ultrasonik karıştırma sonucunda hazırlanmıştır. Termofiziksel özelliklerden olan ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite ölçümleri deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Mineral nanoakışkanlar içerisinde en büyük ısı iletkenlik ve özgül ısı artışının bentonit içeren nanoakışkan ile elde edilmiştir. Bentonit içeren nanoakışkanın askıda bulunan nano parçacık miktarının daha fazla olması nedeniyle diğer mineralojik nanoakışkanlara göre ısı iletkenlik ve özgül ısı diğerlerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan direncin arttığı, sonuç olarak saf suya kıyasla viskozitenin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, özgül ısı, ısı iletkenlik.

Experimental Investigation of Thermophysical Properties of Nano Mineralogical Fluids

ABSTRACT

In this study, the thermophysical properties of nanoparticles containing bentonite, diatomite, sepiolite and clinoptilolite materials were determined. Nano particles with a size of 50 nm were produced using a Spex type high-energy mill. Using these nanoparticles, nanoparticles containing 2% mineralogical material and 0.5% Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate by mass were prepared by ultrasonic mixing for 5 hours. The thermal conductivity, specific heat and viscosity measurements from thermophysical properties have been experimentally measured. The greatest thermal conductivity and specific heat increase in the mineral nano-powders were obtained with the bentonite-containing nanofluid. It is concluded that the nano flux containing bentonite has higher thermal conductivity and specific heat than the other mineralogical nano-fluids because the amount of suspended nano particles is higher. It has been observed that the resistance to flow increases due to the particle-particle interaction generated by the nanoparticles in the nanofluids, resulting in an increase in viscosity compared to pure water.

Keywords: Nanofluids, specific heat, thermal conductivity

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerjinin verimli kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının araştırılması üzerine yapılan çalışmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle alternatif enerji kaynaklarının araştırılması üzerine yürütülen çalışmalar hız kazanmakta, ayrıca mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılabilmesi için yeni çalışmalar yürütülmektedir. Isının taşınması için kullanılan sistemlerde verimin artırılabilmesi amacıyla nano boyutta parçacıkların temel akışkan içerisine eklenerek oluşturulan nanoakışkanlar üzerinde yürütülen çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır.

Nanoakışkan kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içindeki süspansiyonu olarak tanımlanmıştır. Choi'e tarafından düşük konsantrasyon oranlarında bile

nanoakışkanların ısı iletim katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır [1].

Nanoakışkanların kullanımı alanını belirleyen en önemli parametreleri termofiziksel özellikleridir. Temel akışkan içerisine nano parçacık eklenmesi ile oluşturulan nanoakışkanların ısı iletkenlik, viskozite ve özgül ısı gibi termofiziksel özellikleri değişmektedir. Temel akışkan içerisine nano parçacık ilavesi ile oluşan yeni nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır. Bunun birinci nedeni, nanoparçacıkların ısı davranışını kontrol eden mekanizma olan Brown hareketidir. İkinci nedeni ise katı parçacık yüzeyine yakın sıvı moleküller katmanlı yapılar oluşturularak, katı sıvı arasında ısı bir köprü oluştururlar ve bu da nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır [2].

Bir akışkanın viskozitesi ısı transfer uygulamaları, pompalama için gerekli olan güç, akış kanallarında [1] basınç düşüşü ve kanal yüzeylerinde oluşan aşınma gibi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : ugkarakaya@mynet.com.tr

olaylarla doğrudan ilişkilidir. Isıl sistemlerde kullanılan nanoakışkanlar için viskozite önemli bir parametredir. Viskozite doğrudan pompalama gücü ile ilişkilidir. Nanoakışkanın viskozitesi nano parçacık türü, boyutu, şekli, konsantrasyon, kayma hızı ve sıcaklıkta gibi birçok parametreye bağlıdır.

Son yıllarda nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar şöyle özetlenebilir:

Temel akışkanın ısı iletkenliğinin nanoakışkanın ısı iletkenliği üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Al_2O_3 içeren nanoakışkan üzerine yapılan çalışmada, temel akışkan olarak su, etilen glikol, gliserin ve yağ kullanılmış ve çalışma sonucunda temel akışkanın ısı iletkenliği azaldıkça nanoakışkanın ısı iletkenliğinin arttığı gözlenmiştir [3].

Temel akışkanı etilen glikol olan bakır nano parçacıkların aynı hacimsel konsantrasyonda oksit nano parçacıklara göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bakır-etilen glikol esaslı % 0,3 hacim konsantrasyona sahip nanoakışkanın ısı iletkenliğinin % 40 arttığı belirlenmiştir [4].

Nanoakışkan çalışmalarında genellikle küresel ve silindirik olmak üzere iki tür parçacık kullanılmaktadır. Temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak küresel ($d = 26$ nm) ve silindirik ($d = 60$ nm) SiC nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanın ısı iletkenlikleri incelenmiştir. Silindirik parçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı % 23 iken küresel parçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenliğinde % 15'lik bir artış olmuştur [5].

Ortalama 47 nm boyutunda Al_2O_3 nano parçacıkları içeren % 1 hacimsel oranda nanoakışkanın ısı iletkenlik artışının aynı hacimsel oranda 150 nm boyutunda parçacık içeren nanoakışkana kıyasla yaklaşık iki kat olduğunu ortaya konulmuştur [6]. TiO_2 nano parçacık içeren nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu % 0,2'den % 2'ye yükseldiğinde, ısı iletkenliği % 7,2'den % 13,2'ye yükselmiştir [7].

Al_2O_3 ($d = 38.4$ nm) - su esaslı nanoakışkanın ısı iletkenlik sıcaklık arasındaki ilişkisi incelenmiştir. Hacim konsantrasyonu % 1 olan nanoakışkanın 21 °C ile 51 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilen deney sonucunda ısı iletkenliğinin % 2'den % 10,8'e yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca hacimsel oran % 4 artırıldığı zaman 21 °C'de ısı iletkenlik % 9,4'den 51 °C'de % 24,3'e yükseldiği, her iki hacim konsantrasyonunda sıcaklıktaki artış bağlı olarak ısı iletkenliğinin doğrusal olarak arttığı sonucuna varılmıştır [8].

SiC esaslı doğal deniz suyu ile hazırlanan nanoakışkanın % 0,4 hacimsel konsantrasyon oranı için ısı iletkenliğinin deniz suyuna göre yaklaşık % 5,2 arttığı, SiC nanoakışkanının iyi kararlılığı ve üstün termal özellikleri nedeniyle güneş enerjisi sistemlerinde uygulanabilir olduğu belirtilmiştir [9].

Saf su ve etilen glikol temel akışkanına sahip ortalama parçacık boyutu 53 nm olan Al_2O_3 esaslı nanoakışkanın,

% 2 hacim konsantrasyon oranı için ısı iletkenliğinde temel akışkana göre sırasıyla % 30 ve 31'lik artış gözlemlenmiştir [10].

Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 esaslı nanoakışkanın termofiziksel özellikleri incelenmiş, hibrit özelliğe sahip bu nanoakışkanın ısı iletkenliğinin % 12 oranında arttığı belirlenmiştir [11].

Su ve etilen glikol temel akışkanı içerisine grafen oksit (GrO) ve Co_3O_4 'den oluşan hibrit nanoparçacıkların ilavesi ile hazırlanan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri incelenmiş, % 0,2 hacimsel konsantrasyon oranı için su bazlı nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı % 19.14 iken etilen glikol bazlı nanoakışkanın ısı iletkenlik artışının % 11.85 olduğu, benzer şekilde su bazlı nanoakışkanın viskozitesinin 1.70 kat ve etilen glikol bazlı nanoakışkan viskozitesinin 1.42 kat arttığı bildirilmiştir [12].

TiO_2 su esaslı nanoakışkanın termofiziksel özelliklerindeki değişim, farklı yüzey aktif maddeler (sodyum dodesil sülfonat, sodyum dodesil benzen sülfonat ve oleik asit) kullanılması durumunda deneysel olarak incelenmiş, ısı iletkenlikteki maksimum artışın sodyum dodesil sülfonat içeren yüzey aktif madde kullanılması durumunda % 1 hacimsel konsantrasyon ve 60 °C sıcaklık için saf suya kıyasla % 5.8 olduğu belirtilmiştir [13].

Su bazlı polivinil alkol ile işlevselleştirilmiş katmanlı grafen (su bazlı PVA-Gr) nanoakışkanının ısı iletkenliği deneysel olarak incelenmiş, 40 °C'de % 0,1 kütleli konsantrasyon için ısı iletkenlik artışının saf suya kıyasla % 40 olduğu gözlemlenmiştir [14].

Yüzey aktif madde olarak sodyum dodesil benzen sülfonat içeren Cu - su ve Al_2O_3 - su nanoakışkanların pH ısı iletkenlik değişimi incelenmiştir. Al_2O_3 - su nanoakışkanın en yüksek ısı iletkenlik artışını pH 8'de sağladığı, temel akışkan ısı iletkenliğinin pH ile belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür [15].

ZnO nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanın 35 - 55 °C arasında viskozitesi incelenmiş ve sıcaklık artışı ile viskozitenin azaldığı belirlenmiştir [16]. TiO_2 - su içeren nanoakışkanın 13-55 °C sıcaklık aralığında ısı iletkenlik ile viskozitede olan değişim incelenmiş ve sıcaklığın artması ile viskozitenin azaldığı tespit edilmiştir [17].

TiO_2 nanoparçacıkları içeren silikon yağı temel akışkanına sahip nanoakışkanın termofiziksel özellikleri deneysel olarak araştırılmış, nanoakışkanın newtonian davranış gösterdiği, viskozitenin konsantrasyon artışı ile arttığı, ancak artan sıcaklıkla lineer olmayan şekilde azaldığı belirlenmiştir [18].

Temel akışkan olarak yağ kullanılan CuO esaslı nanoakışkanın farklı sıcaklıklarda % 0,2-2 konsantrasyon oranında viskozite değişimleri incelenmiş, tüm konsantrasyon oranı ve sıcaklıklarda newtonian davranış gösterdiği belirlenmiştir [19]. Al_2O_3 - su esaslı 43 nm nano parçacık içeren nanoakışkanın % 5 konsantrasyon oranında viskozitenin iki katına çıktığı ifade edilmiştir [20].

10 nm ve 30 nm tanecik boyutuna sahip Al_2O_3 - su esaslı nanoakışkanın, hacimce % 1, 2, 3 ve 6 katkı oranlarında ısı iletkenlik ve viskozite değerleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar literatürde yer alan efektif ısı iletkenlik ve efektif viskozite modelleri ile karşılaştırılmıştır. Isıl iletkenliğin, tanecik boyutu ile ilişkili olmadığı ve deneysel sonuçların klasik efektif ısı iletkenlik modellerinden biri olan Maxwell ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Reolojik ölçümler sonucunda, numunelerin newtonian davranış gösterdiği ve aynı tanecik katkı oranında, daha büyük tanecik boyutuna sahip numunelerin viskozitelerindeki artış oranının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [21].

Sıvı parafin bazlı CuO nanopartikülleri içeren nanoakışkanın konsantrasyon oranı ile sıcaklığın dinamik viskozite üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları, nanopartiküllerin konsantrasyonu arttıkça nanoakışkanın dinamik viskozitesinin arttığını ve sıcaklığın artmasıyla nanoakışkanın viskozitesinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir [22].

Karbon nanotüpten oluşan nanoakışkanın özgül ısı kapasitesine nano parçacık boyutu ve sıcaklığın etkisi

Alümina içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik ölçümleri yapılmış ve sonuçta nanoakışkanın ısı iletkenliğinin saf suya göre daha yüksek olduğu görülmüştür [26].

Bu çalışmada; bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit içeren mineralojik nanoakışkanların termofiziksel özellikleri olan özgül ısı, viskozite ve ısı iletkenlik değerlerinin deneysel olarak tespit edilmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Nanoakışkanın Hazırlanması (Nanofluid Preparation)

Nanoakışkanlar iki aşamalı olarak hazırlanmıştır. Birinci aşamada sepiyolit, diatomit, bentonit ve klinoptilolit mineralojik malzemeleri kullanılarak nano parçacık üretilmiştir. Nano parçacık üretimi için iri parçadan küçültme yöntemi kullanılmıştır. Öğütme çalışmalarında Şekil 1'de **görülen** Spex tipi yüksek enerjili bilyeli öğütücü kullanılmıştır.

İkinci aşamada üretilmiş olan nanoparçacıklar kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Temel



Şekil 1. Spex tipi yüksek enerjili öğütücü (Spex type high energy mill)

incelenmiş, sonuçta özgül ısının belirli bir sıcaklıkta nano parçacık boyut ve şekline bağlı olmadığı sonucuna varılmıştır [23]. Yüksek sıcaklıkta çalışan nanoakışkan elde etmek amacıyla temel akışkan erimiş tuz olan dört farklı boyutlarda (5, 10, 30 ve 60 nm çapında) silikon-dioksit nano parçacıkları içeren nanoakışkan hazırlanmıştır. Özgül ısı değerleri diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçülmüş, sonuçta özgül ısı değerinin nano parçacık boyuta bağlı olmaksızın temel akışkaninkine göre % 25 oranında arttığı sonucuna varılmıştır [24]. İnorganik hidrat tuzu esaslı kütlece % 0,1, 0,3 ve 0,5 nano parçacık içeren nanoakışkan hazırlanmış ve özgül ısı değişimi diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçülmüştür. Sonuçta, % 0,3 konsantrasyon için özgül ısının % 83,5'e kadar arttığı tespit edilmiştir [25].

Akışkanların ısı iletim katsayısının belirlenmesi için silindirik metoda göre ölçüm yapan deney düzeneği tasarlanmış, üretilmiş ve ölçümler gerçekleştirilmiştir.

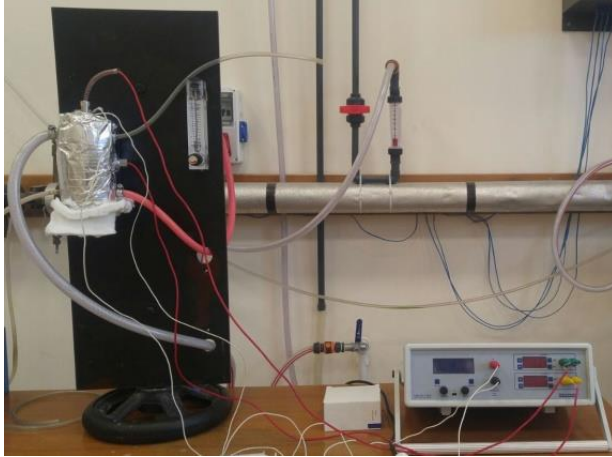
akışkan olarak saf su kullanılarak kütlece % 2 bentonit, klinoptilolit, sepiyolit, diatomit ve kütlece % 0,5 oranında sodyum dodasil benzen sülfonat içeren nanoakışkan üretilmiştir. Hazırlanmış olan süspansiyon ultrasonik banyoda 5 saat ultrasonik titreşim uygulanarak kararlı bir karışım haline getirilmiştir.

2.2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

2.2.1. Isıl iletkenlik deneyi (Thermal conductivity experiment)

Deney düzeneği Şekil 2'deki gibidir. Deney düzeneği pirinçten üretilmiş olan iç içe geçmiş eksenel iki silindirden oluşmaktadır. Isı iletim katsayısı ölçülecek nanoakışkanın bulunduğu iki tüp arasındaki radyal boşluk 0,345 mm'dir. İçteki silindire istenilen ısıtıcı gücünde enerji vermek için değeri ayarlayabilen dimmer devresi kullanılmıştır. Devreden geçen akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülerek ısıtıcının gücü ayarlanabilmektedir. Dış silindirin etrafından soğutma

suyu geçirilerek sistem soğutulmaktadır. Soğutucu akışkanın debisini ayarlamak amacıyla bir akış ölçer kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümleri iç silindir ve ısıl iletkenliği ölçülecek olan numune akışkandan yapılmaktadır. Sıcaklık ölçümleri için 2 adet termokupl (K- tipi) kullanılmıştır. Sistemdeki ısı kaybını en aza indirmek için tüm bölümler yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır.



Şekil 2. Isıl iletkenlik deney düzeneği (Thermal conductivity experimental setup)

Isıl iletkenliği ölçülecek nanoakışkanın bulunduğu radyal boşluk 0,345 mm gibi çok ince bir tabaka olduğundan dolayı taşınım ile ısı transferinin ihmal edilebilecek değerler arasında yer aldığı kabulü yapılmıştır. Deneysel düzende ölçümü yapılacak nanoakışkan içerisinde sadece iletimle ısı transferi gerçekleştiği dikkate alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma aşağıda sunulan işlem basamakları takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Kontrol panelinde yer alan ısıtıcı açma düğmesi açılarak ısıtıcı çalıştırılmıştır. Soğutma suyu akış hızı 30 g/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Isıl iletkenliği ölçülecek olan nanoakışkan sisteme enjekte edilmiştir. Panel üzerindeki gerilim ayarlayıcı kullanılarak 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri sırasıyla seçilmiş ve sistem yatışkın hale gelinceye kadar beklenmiştir. Sistem yatışkın hale geldiği zaman kontrol panelinde yer alan ısıtıcı sıcaklığı ve numune sıcaklığı kaydedilmiştir. Deney düzeneğinden kaynaklanabilecek hatayı önleyebilmek için öncelikle ısıl iletkenlik deneyi saf su kullanılarak gerçekleştirilmiş, sonuçların literatürde yer alan veriler kapsamında doğruluğu belirlendikten sonra deneyler nanoakışkan kullanılarak tekrarlanmıştır.

2.2.2. Özgül ısı deneyi (Specific heat experimental)

Deney düzeneği Şekil 3'deki gibidir. Deney düzeneği kalorimetre kabı esasına göre çalışan iç içe iki kaptan oluşmaktadır. Sıcaklık ölçümleri için 2 adet termokupl (K- tipi) kullanılmıştır. Sıcaklık verileri Elimko marka veri katdedici kullanılarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Tüm sistem tam olarak yalıtılmıştır.



Şekil 3. Özgül ısı deney düzeneği (Specific heat experimental setup)

Özgül ısı ölçümleri için, sıcak akışkanın bulunduğu dış kaba 210 g saf su ve özgül ısı değeri ölçülecek olan numune akışkanın bulunduğu iç kaba 50 g saf su konularak deney yapılmış ve kabın öz sığasının sıcaklığa bağlı olarak değişimi belirlenmiştir. Kabın öz sığası belirlendikten sonra sıcak akışkanın bulunduğu dış kaba aynı miktarda saf su ve iç kaba nanoakışkan konularak deney tekrarlanmıştır. Sıcaklıklar veri kaydedici kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sistem yatışkın hale gelinceye kadar 2 saat süreyle sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

2.2.3. Viskozite deneyi (Viscosity experimental)

Viskozite ölçümleri Brookfield marka viskozitemetre ile gerçekleştirilmiştir. Viskozitemetre 0,1 RPM'den 250 RPM'ye kadar bilgisayar kontrollü test edebilmekte ve 'Shear Rate' ve 'Shear Stress' değerlerini gösterebilmektedir.

Viskozitemetre ölçümlerinde aşağıda açıklanan işlem basamakları takip edilmiştir. Viskozitemetre ve bilgisayar çalıştırılmış, bilgisayar ekranından Rheocale V2.7 yazılımı açılmıştır. Viskozitesi ölçülecek numune yaklaşık 50 ml kadar bir mezüre konulmuştur. Ölçüm öncesinde viskozitemetre sıfır ayarı Rheocale V2.7 yazılımındaki ilgili sekme kullanılarak yapılmıştır. Viskozite metre ölçüm başlığı mezürde içerisinde bulunan numuneye daldırılmış ve milin dönüş hızı ayarlanarak ölçümler alınmıştır. Ölçümler ilk olarak 20 °C daha sonra sırasıyla 40 °C, 60 °C ve 80 °C'de tekrar yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS & DISCUSSION)

Özgül ısı deneyleri üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Saf su kullanılarak deneysel olarak özgül ısı ölçümleri yapılmıştır. Kütlece % 2 mineralojik malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak özgül ısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Konsantrasyon değişiminin özgül ısı üzerine etkisinin incelenmesi

amacıyla % 0,5, % 2 ve % 4'lük konsantrasyon oranları için deneyler tekrarlanmıştır.

Mineralojik nanoakışkanların özgül ısı ölçüm sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mineralojik nanoakışkanların özgül ısı değerleri (Specific heat values of mineralogical nanofluids)

	Özgül Isı (J/g °C)
Saf Su	4,18
Klinoptilolit	4,31
Sepiyolit	4,32
Diatomit	4,33
Bentonit	4,34

Deney sonuçları incelediğinde her bir nanoakışkanın özgül ısısının suya kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum nanoakışkanların içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitesinin saf suya göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bentonit nanoakışkanın özgül ısı değeri diğer mineralojik malzemeler ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Literatürde nanoakışkanların özgül ısı değerinin temel akışkana göre arttığı bilgisi yer almaktadır [23-25]. Deneysel çalışma sonucunda da mineralojik nanoakışkanların özgül ısı değerinin saf suya kıyasla arttığı belirlenmiş olup, deney sonuçları literatür verileri ile de desteklenir niteliktedir.

Bentonit nanoakışkanının % 0,5, % 2 ve % 4'lük konsantrasyon oranları için özgül ısı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

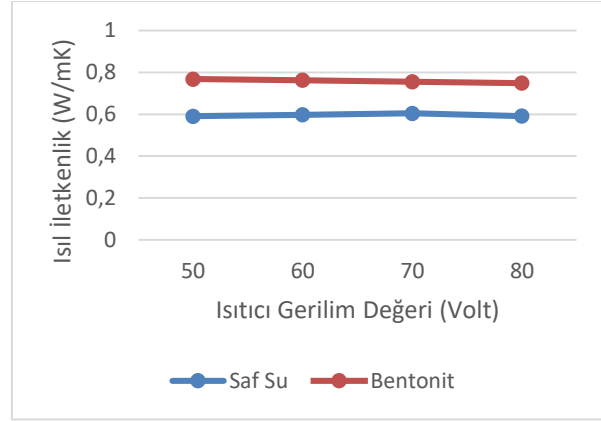
Çizelge 2. Bentonit içeren nanoakışkanın konsantrasyon değişimine bağlı özgül ısı değerleri (Specific heat results of the bentonite-containing nanoparticle due to the concentration change)

	KONSANTRASYON			
		% 0,5	% 2	% 4
ÖZGÜL ISI (J/g °C)		4,2030	4,3425	4,3598

Deney sonuçlarından da görüleceği üzere nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça özgül ısı değerinin de arttığı belirlenmiştir. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısı taşıma kapasitesinin arttığını göstermektedir. Ancak konsantrasyon artışı ile orantılı olarak özgül ısı değerinde bir artış olmamıştır. Konsantrasyon artsada süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının konsantrasyon artışı ile paralel olarak artmadığı, buna bağlı olarak çökeltmenin arttığı gözlemlenmiştir.

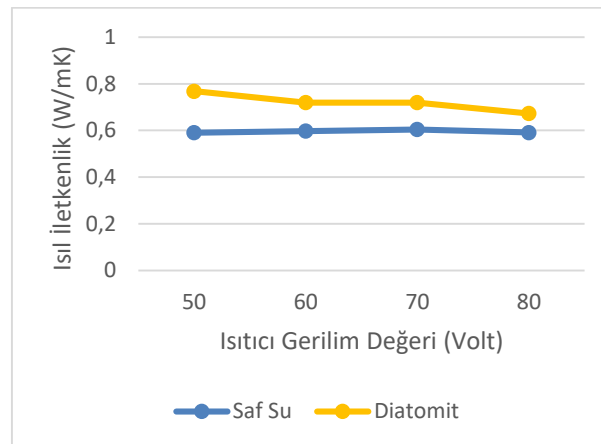
Isıl iletkenlik deneyleri öncelikle saf su ile gerçekleştirilmiş, daha sonra kütlece % 2 mineralojik

malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Isıl iletkenlik deney sonuçları ısıtıcı gerilim değerine karşı grafiğe geçirilmiş ve sırasıyla bentonit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 4'de, diatomit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 5'de, sepiyolit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 6'da klinoptilolit içeren nanoakışkan grafiği Şekil 7'de verilmiştir.

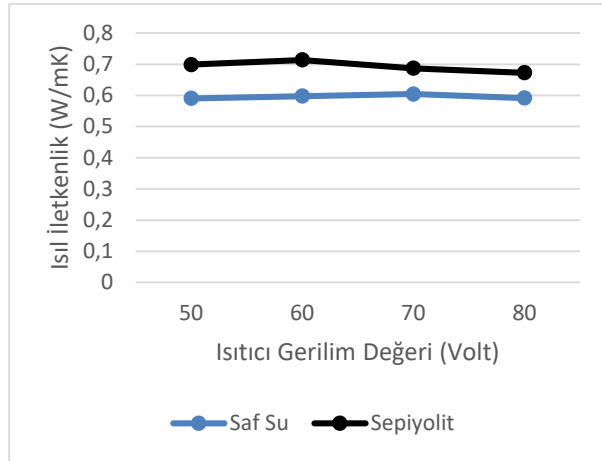


Şekil 4. Bentonit içeren nanoakışkanın ısıl iletkenlik sonucu (Bentonite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)

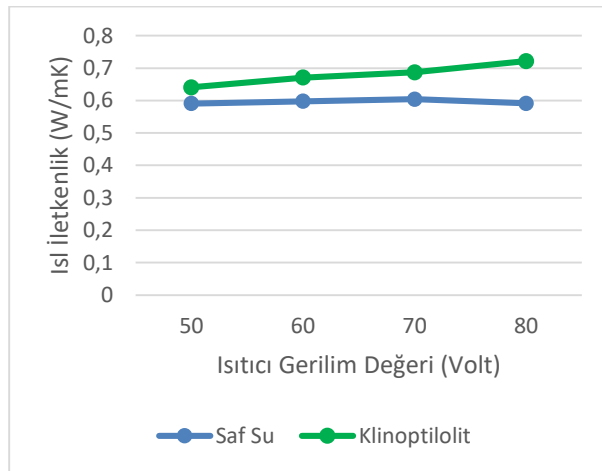
Deneysel çalışma sonucunda tüm ısıtıcı gerilim değerleri için bentonit içeren nanoakışkanın saf suya kıyasla daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Daha üstün ısıl iletkenliğe sahip metal oksit nanoparçacık içeren bentonit nanoakışkanının ısıl iletkenliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin temel akışkanın ısıl iletkenliğinden daha yüksek olduğu raporlanmıştır [9-16]. Deneysel çalışma sonucunda bentonit içeren nanoakışkanın ısıl iletkenliğinin saf suya kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiş olup, sonuçlar literatür verileri ile de desteklenmektedir.



Şekil 5. Diatomit içeren nanoakışkanın ısıl iletkenlik sonuçları (Diatomite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)



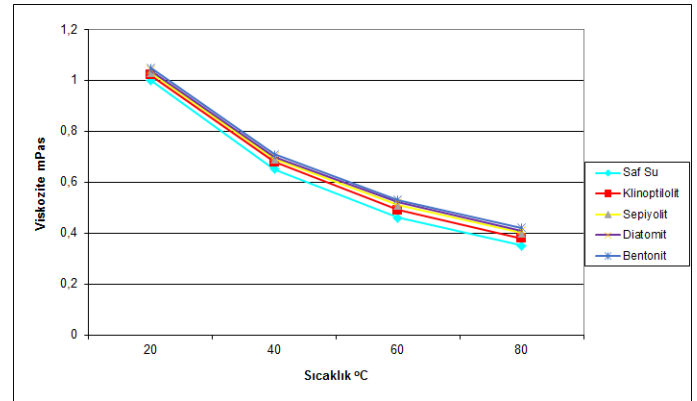
Şekil 6. Sepiyolit içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik sonuçları (Sepiolite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)



Şekil 7. Klinoptilolit içeren nanoakışkan ısı iletkenlik sonuçları (Clinoptilolite-containing nanofluid is the result of thermal conductivity)

Isıl iletkenlik deney sonuçlarından da görüleceği üzere tüm mineralojik nanoakışkanların saf suya kıyasla ısı iletkenlik sonuçlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum mineralojik nanoakışkanların daha büyük ısı iletkenliğe sahip metal oksitler içermesi ile açıklanabilmektedir. Mineral nanoakışkanlar arasında ise en yüksek artışın bentonit içeren nanoakışkan ile sağlandığı gözlemlenmiştir. Bentonit içeren nanoakışkanın diğer mineral nanoakışkanlara göre çok daha fazla askıda nano parçacıklar içermesi nedeniyle ısı iletkenliğinin diğer mineralojik nanoakışkanlara göre daha büyük olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca ısı iletkenlik sonuçlarının özgül ısı sonuçları ile paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Literatürde yer alan nanoakışkanların üstün termofiziksel özelliklere sahip olduğu yönündeki çalışma sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları birbirini destekler niteliktedir.

Viskozite ölçümleri Brookfield marka viskozitemetre ile 20, 40, 60 ve 80 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Mineralojik nanoakışkanların viskozite (Viscosity of mineralogical nanofluids)

Saf suya kıyasla nanoakışkanların viskozite değerleri daha yüksektir. Nanoakışkanlar içerisinde askıda bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan direnç artar ve viskozite artmış olur. Literatürde nanoakışkanların viskozitesinin temel akışkanın viskozitesinden daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Deneysel çalışma sonucunda mineralojik nanoakışkanların viskozitesi temel akışkan olan suyun viskozitesinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak deneysel çalışma sonuçlarının literatür verileri ile desteklendiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklığın artmasına bağlı olarak viskozite değişimleri suya benzer bir şekilde, sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Literatürde nanoakışkanlarda sıcaklığın artışı ile viskozitenin azaldığı raporlanmaktadır [17-22]. Buda sıcaklık artışı ile birlikte nano parçacık ve temel akışkan arasındaki etkileşimin azaldığını göstermektedir. Deneysel çalışma sonuçları literatür verileri ile de desteklenmektedir.

Nanoakışkanların endüstride kullanımını belirleyen önemli termofiziksel özelliklerden biride viskozitedir. Viskozite değerine bağlı olarak akış kanallarında basınç düşüşü oluşmakta, akış için gerekli olan pompa gücü artmakta ve kanal boyunca erozyon oluşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı viskozitenin kontrol altında olması gerekmektedir.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde üretilen bentonit, klinoptilolit, diatomit ve sepiyolit mineralojik malzemeleri kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmış, nanoakışkanların termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir.

Yüksek Enerjili Spex tipi öğütücülerde gerçekleştirilen öğütme sonucunda nano parçacıkların boyutu 50 nm'ye düşürülmüştür.

Çalışmada kullanılan nanoakışkan ağırlıkça %2 konsantrasyon oranındaki bentonit, diatomit, sepiyolit ve

ağırlıkça % 0,5 oranında SDBS içermektedir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- i. Mineral nanoakışkanlar içerisinde en büyük ısı iletkenlik ve özgül ısı artışının bentonit içeren nanoakışkan ile elde edilmiştir.
- ii. Bentonit içeren nanoakışkanın askıda bulunan nano parçacık miktarının daha fazla olması nedeniyle ısı iletkenliğinin ve özgül ısı değerinin diğer mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlara göre daha büyük olduğu sonucuna varılmaktadır.
- iii. Nanoakışkanlar içerisindeki metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitesinin saf suya göre daha fazla olduğunu belirlemiştir.
- iv. Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça özgül ısı değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısı taşıma ve depolama kapasitesinin arttığını göstermektedir.
- v. Konsantrasyon artışı ile doğru orantılı olarak özgül ısı değerinde bir artış olmadığı, % 2 konsantrasyon değerinden daha büyük oranlar için süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının konsantrasyon artış oranı ile paralel olarak artmadığı, konsantrasyon artışı ile süspansiyon içerisindeki çökeltmenin arttığı gözlemlenmiştir.
- vi. Nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan diren arttığı, buna bağlı olarak saf suya kıyasla viskozitenin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklığın artması sonucunda nano parçacık ile temel akışkan arasındaki etkileşimin azalması nedeniyle viskozite azalmıştır.
- vii. Termofiziksel özellikleri saf suya kıyasla daha üstün olan nanoakışkanların ısı borusu, ısı levhası, ve ısı değiştiricilerde kullanılması ile söz konusu ısı sistemlerin veriminin çok daha yüksek olacağı değerlendirilmektedir.
- viii. Ayrıca mineralojik malzeme içeren nanoakışkanların ısı sistemlerin yanısıra etilen glikol içeren otomobil soğutma sistemlerinde kullanımı önerilmektedir. Otomobillerde mineralojik nanoakışkanların kullanımı ile motorda daha yüksek sıcaklıklara çıkılarak motor performansı yükseltilebilecektir.

SİMGE VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

c	Özgül ısı [$Jg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$]
m	Uzunluk [m]
T	Sıcaklık [$^\circ C$]
μ	Viskozite [Pa.s]
W	Güç [Watt]
SDBS	Sodyum Dodosil Benzen Sülfonat

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Choi S. U. S. and Eastman J. A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *ASME International Mechanical Engineer Congress Exposition*, 99-105, (1995).
- [2] Koblinski P., Eastman J.A. and Cahill D.G., "Nanofluids for thermal transport", *Materials Today*, 8(6): 36-44. (2005),
- [3] Xie H., Wang J., Xi T., Liu Y. and Ai F., "Dependence of the thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture on the base fluid", *Journal of Materials Science Letters*, 21 (9), 1469-1471 (2002).
- [4] Eastman J.A., Choi S.U.S., Li S. and Thompson L.J., "Thompson L.J. Anomalous increased effective thermal conductivities of ethyleneglycol-based nanofluids containing copper nanoparticles", *Applied Physics Letters*, 78 (6): 718-720, (2001).
- [5] Xie H., Wang J., Xi T. and Liu Y., "Thermal conductivity of suspensions containing nanosized SiC particles", *International Journal of Thermophysics*, 23(2): 571-580, (2002).
- [6] Chon, C.H., Kihm K.D., Lee S.P. and Choi S.U.S., "Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement", *Applied Physics Letters*, 87 (15): 153107 (1-3), (2005).
- [7] Duangthongsuk W. and Wongwises S., "Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-water nanofluids", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33 (4): 706-714, (2009).
- [8] Das S.K., Putra N., Thiesen P. and Roetzel W., "Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids", *Journal of Heat Transfer*, 125 (4): 567-574, (2003).
- [9] Chen W., Zou C., Li X. and Li L., "Experimental investigation of SiC nanofluids for solar distillation system: Stability, optical properties and thermal conductivity with saline waterbased fluid", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 264-270, (2017).
- [10] Agarwal R., Verma K., Agrawal N.K. and Singh R., "Sensitivity of thermal conductivity for Al₂O₃ nanofluids" *Experimental Thermal and Fluid Science*, 80 19-26, (2017).
- [11] Adriana M.A., "Hybrid nanofluids based on Al₂O₃, TiO₂ and SiO₂ Numerical evaluation of different approaches", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 104, 852-860, (2017).
- [12] Sundar L.S., Singh M.K., Ferro M.C. and Sousaa A.C.M. "Experimental investigation of the thermal transport properties of graphene oxide/Co₃O₄ hybrid nanofluids" *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 84, 1-10, (2017).
- [13] Das P.K., Mallik A.K., Ganguly and Santra A.K., "Stability and thermophysical measurements of TiO₂ (anatase) nanofluids with different surfactants", *Journal of Molecular Liquids*, 254, 98-107, (2018).
- [14] Azizi M., Honarvar B., "Investigation of thermophysical properties of nanofluids containing poly(vinyl alcohol)-functionalized graphene", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, in press. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7210-2>
- [15] Wang X., Zhu D. and Yang S., "Investigation of pH and SDBS on enhancement of thermal conductivity in nanofluids", *Chemical Physics Letters*, 470 (1-3): 107-111, (2009).

- [16] Suganthi K.S. and Rajan K.S, “Temperature induced changes in ZnO – water nanofluid: zeta potential, size distribution and viscosity profiles”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25-26), 796:-7980, (2012).
- [17] Turgut A., Tavman I., Chirtoc M., Schuchmann H.P., Sauter C. and Tavman S., “Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO₂ nanofluids”, *International Journal of Thermophysics*, 30(4): 1213-1226, (2009).
- [18] Murshed S. M. S. Santos F. J. V., Nieto de Castro C. A., Patil V. S. and Patil K. R., “Morphology and thermophysical properties of non-aqueous titania nanofluids”, *Heat and Mass Transfer*, in press. <https://doi.org/10.1007/s0023>.
- [19] Saeedinia M., Akhavan-Behabadi M.A. and Razi P., “Thermal and rheological characteristics of CuO–Base oil nanofluid flow inside a circular tube”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1): 152-159, (2012).
- [20] Chandrasekar M., Suresh S. and Bose A.C., “Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (2): 210-216 (2010).
- [21] Turgut A., Sağlanmak Ş. ve Doğanay S., “Nanoakışkanların Isıl İletkenlik ve Viskozitesinin Deneysel İncelenmesi: Tanecik Boyutu Etkisi” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31, 93-103, (2016).
- [22] Ghasemi S. and Karimipour A., “Experimental investigation of the effects of temperature and mass fraction on the dynamic viscosity of CuO-paraffin nanofluid”, *Applied Thermal Engineering*, 128, 189-197, (2018).
- [23] Wang B.X., Zhou L.P. and Peng X.F., “Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles”, *International Journal of Thermophysics*, 27(1): 139-151 (2006).
- [24] Tiznobaik H. and Shin D., “Enhanced specific heat capacity of high-temperature molten salt-based nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2): 542-548, (2013).
- [25] Liu Y. and Yang Y., “Investigation of specific heat and latent heat enhancement in hydrate salt based TiO₂ nanofluid phase change material”, *Applied Thermal Engineering*, 124: 533-538, (2017).
- [26] Varyenli H. İ. ve Arslan C., “Sıvıların ve gazların ısı iletkenlik katsayısını belirleyebilmek için laboratuvar tipi bir deney cihazının tasarımı, imalatı ve test edilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20 (3): 599-605, (2017).