

SPİNELOKSİT PARTİKÜL İÇEREN NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Tayfun MENLİK

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 06500 Teknikokullar, Ankara

Adnan SÖZEN

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 06500 Teknikokullar, Ankara

Metin GÜRÜ

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, 06570 Maltepe, Ankara

Nurdan ÇAĞLAYAN

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 06500 Teknikokullar, Ankara

Sinan ÖZTAŞ

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği, 06570 Maltepe, Ankara

ÖZET

Nano boyutta metal ve metal oksit partikül içeren nanoakışkanlar ısı iletkenlik bakımından daha yüksek performans göstermektedir. Bu amaçla ısı sistemlerde çalışma akışkanı olarak kullanılmaktadırlar. Bir çok ısı problemlerinin çözümünde çalışma akışkanlarının ısı ve reolojik özellikleri önemli parametredir. Bu çalışma da magnezyum alüminat spinel ($MgAl_2O_4$) partikülleri nanoboyuta indirgeyerek saf su içerisine belirli oranlarda katılarak yüzey aktifleştiricilerle beraber nanoakışkanlar elde edilmiş ve termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Metal oksitlere göre içerisinde farklı iki metali bulundurması spinel tipi oksitlerin ısı performansına etkilerinin metal oksitlere göre daha fazla olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, termofiziksel

DETERMINATION OF THERMODYNAMIC PROPERTIES OF SPINEL OXIDE PARTICLES CONTAINING NANOFUIDS

ABSTRACT

Nano -sized metal and metal oxide nano - fluids containing particles exhibits higher performance in terms of thermal conductivity. For this purpose, thermal systems are used as working fluids. A lot of thermal and rheological properties of the working fluid is an important parameter to solve the heat problem. Magnesium aluminate spinel in this study ($MgAl_2O_4$) nanoscale particles to degrade the pure water into the nano- fluid obtained by participating in specific proportions together with surface activators and thermodynamic properties are determined experimentally. According to contain two different metals in the metal oxide spinel - type oxides metal oxide according to the effects of thermal performance is thought to be more.

Keywords: *nano- fluid, thermophysical*

1.GİRİŞ

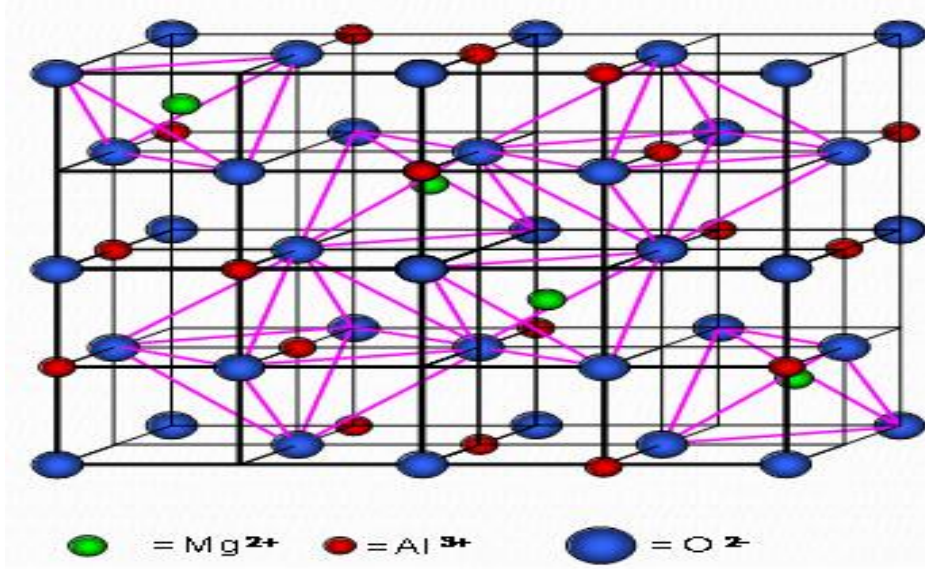
Spinel grubu mineraller, birbirine yakın eş yapıda olup, AB_2O_4 genel formülü ile gösterilirler. Burada A, +2 değerlikli metal iyonu, B ise +3 değerlikli metal iyonudur. Spineller kristalografik açıdan özel bir yapıyı temsil etmektedirler. Kübik kristal formundadırlar. Spinel yapı sekiz alt hücreden oluşan bir birim hücreye sahiptir. Spinel yapıda oksijen iyonları (anyonları) yüzey merkezli kübik yapı oluştururlar.

A ve B iyonları spinelin cinsine bağlı olarak tetrahedral ve oktahedral aralarda yerde bulunurlar.

Çizelge 1. Spinel Grubunun Üyeleri arasındaki ilişki

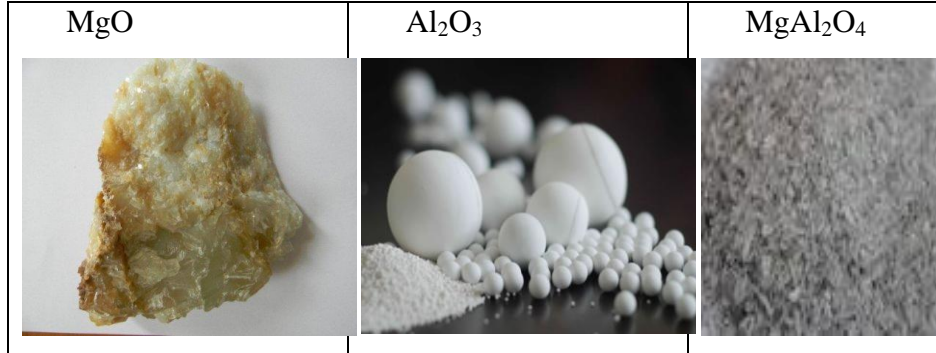
A	B = Al	B = Fe	B = Cr
Mg Spinel	$MgAl_2O_4$	Magnezyo ferrit $MgFe_2O_4$	Magnezyo kromit $MgCr_2O_4$
Fe Hersinit (demir spinel)	$FeAl_2O_4$	Magnetit $FeFe_2O_4$	Kromit $FeCr_2O_4$
Zn Gahnit (Çinko spinel)	$ZnAl_2O_4$	Franklinit $ZnFe_2O_4$	
Mn Galaksit (manganez spinel)	$MnAl_2O_4$	Jakopsit $MnFe_2O_4$	

Şekil 1'deki ($MgAl_2O_4$) spinel yapısının birim hücresinde sekiz adet $MgO \cdot Al_2O_3$ molekülü bulunur. $MgAl_2O_4$ spinel yapısında oksijen iyonları (anyonları) yüzey merkezli kübik yapı (YMK kafesini) oluştururlar ve toplam 32 tane oksijen iyonu bulunmaktadır. 8 Mg^{2+} iyonu, 8 tetrahedral yeri ve 16 Al^{3+} iyonu, 16 oktahedral yeri işgal etmektedir.



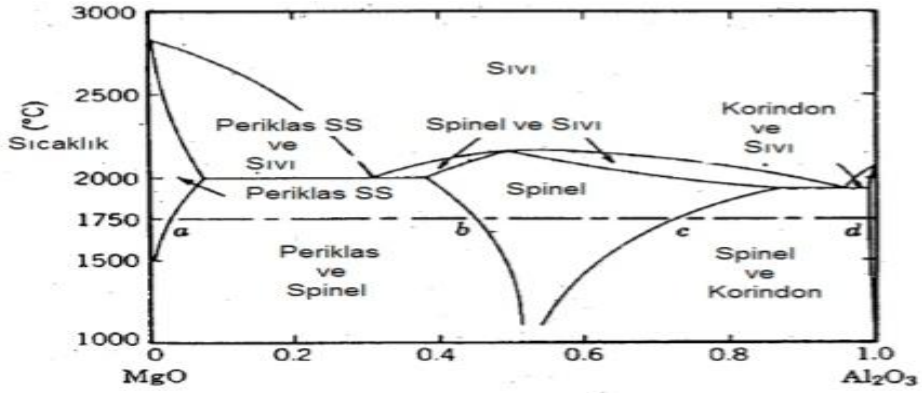
Şekil 1. MgAl₂O₄ spinel yapısı

MgO (magnezya) ve Al₂O₃ (alümina)'nın karışım reaksiyonu sonucunda magnezyum alüminat spinel (MgAl₂O₄) oluşmaktadır. MgO- Al₂O₃ sistemi bir çeşit cüruftur ve metalurji (metal bilimi) için mevcut ilgi alanlarından birisidir. Ayrıca spinel- MgAl₂O₄ ara bileşiği maden (mineral) olarak iyi bilinir ve özellikleri yer bilimleri için mevcut ilgi alanlarından birisidir (Şekil 2).



Şekil 2. Minerallerin görünüşü

MgAl₂O₄'in teorik olarak stokiometrik kompozisyonu ağırlıkça %71.68 Al₂O₃ ve %28.32 MgO içermektedir. Spinel ile MgO'in yoğunluğu ~3.58 g/cm³'tür. Spinelin erime sıcaklığı 2135 °C'dir (Şekil 3). MgO-spinel refrakterler, yüksek sıcaklıklarda mukavemet gerektiren alanlarda yüksek ısı şok direnci göstermeleri, düşük ısı genleşme katsayıları, ayrıca bazik cüruflar, alkali atakları ile ergimiş metal aşındırmalarına karşı gösterdikleri yüksek dirençlerinden dolayı tercih edilmektedirler.



Şekil 3. Spinel'in faz diyagramı

Manyezit, dolomit ve kireç fırınlarında da kullanılabilen spinel tuğlalar, özellikle çimento döner fırınlarında uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca çelik potaları refrakter astar reçetelerinde magnezya/alümina spinel adı sık sık görülmeye başlanmıştır. Dünyada magnezya-spinele yönelişin en önemli nedeni magnezya-krom tuğlaların çevre kirliliği yaratması ve bu tuğlaların imhasında ödenen cezalardır. Magnezya bakımından zengin spinelin en önemli avantajı yüksek saflıktaki magnezya ile birlikte kullanılabilme ve yüksek performans elde edilme özelliğidir. Pişmiş magnezya-magnezya/alümina spinel tuğlalar çimento döner fırınlarında kullanılır. Bu tür magnezya spinel tuğlaların temel avantajları:

- Termomekanik streslere yüksek dayanım gösterirler;
- Termal genleşmeleri düşüktür;
- Yakıt ve kül kalıntılarına dirençlidirler;

- Fırın atmosferindeki değişikliklere de yüksek direnç gösterirler;
- Bileşimindeki safsızlık oranı düşüktür;
- Kromit içermemeleri nedeniyle çevre kirliliği oluşturmazlar;
- Renk problemi oluşturmadan beyaz çimento imal kolaylığı sağlarlar.

2. NANOAKIŞKANLAR

Nanoakışkan, nanoparçacıkların bir sıvı içerisindeki süspansiyonlarına denir. Nanoakışkanlar yüksek ısı iletim katsayılarıyla ısı transferi artırımı için gelecek vaat etmektedirler. Nanoakışkanların ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir katı metalin ısı iletkenliği temel akışkanınkinden yüksek olduğu için temel akışkan içerisine süspansiyon olarak katılan ince katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır.
- İş yapan akışkan içine süspansiyon edilen metal partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
- Partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
- Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçitinin yüzeyinin artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar.
- Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine neden olur.

Isı transferi akışkanlarının içine milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin katılması fikri 100 yıl öncesine dayanır. Ancak malzeme konusundaki son yıllardaki gelişmeler partikül boyutlarının nano mertebelere düşmesini sağlamıştır. Bu durum mikrometre boyutundaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlardaki daha az kararlı yapıyı, çökme, tortulaşma, aşınma gibi problemleri gidermiştir. Isı transferi çözeltileri için nanopartikül kullanımını cazip kılan iki temel unsur;

daha fazla yüzey alanı

ve daha az kütlelerdir.

Literatürde nanoakışkan eldesinin başlangıcı Argonne National Laboratory'de Choi (1995) tarafından geliştirilen süspansiyonlardır. Süspansiyonların hazırlanmasına yönelik çalışmalar Xuan and Li tarafından (2000) önerilmiştir.Çalışmalarının devamında Xuan (2003) süspansiyon sıcaklığının bakır-su nanoakışkanının ısı iletkenlik üzerinde oldukça etkili olduğu vurgulamışlardır.

Wang and Mujumdar (2007) çalışmalarında karıştırılan nanopartiküllerin süspansiyonun ısı transferi karakteristiklerini ve taşınım özelliklerini önemli bir şekilde etkilediğini göstermişlerdir.

Saidur ve arkadaşları daha çok oksit grubu(Al_2O_3 , Fe_2O_3) nano partiküllerin kullanılmasıyla elde edilen nano-çözeltilerin ısı iletkenliklerinin nano partikül oranına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Yousefi ve arkadaşları düzlem yüzey güneş kolektörlerinde %0.2 ilaveli MWCNT(multi-duvarlı karbon nanotüpler) nanoakışkan kullanılarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Diğer bir çalışmalarında ise alimüna nano partikül içeren nanoakışkanı düzlem yüzey güneş kolektörlerinde denemişlerdir.

Noie ve diğerleri, Al_2O_3 /Su nanoakışkanının ısı borusundaki performansını test etmişlerdir.

Hung, Teng ve Lin de yine benzer şekilde, farklı karışım oranlarında Al_2O_3 /Su nanoakışkanı kullanarak, farklı eğim açıları için ısı borusunun performansını test etmişleridir.

Benzer deneyler, benzer yöntemler kullanılarak,

titanya/su (Utomo, Poth,Robbins, Pacek, 2012),

FeO/su (Humenic, Morjan, Dumitrache, 2011),

CuO/Su, Laponit kil/Su (Khandekar, Joshi, Mehta, 2008),

TiO₂/Su (Shafahi, Bianco, Vafai, Manca, 2010),

Ag/su (Kang, Wei, Tsai, Yang, 2006)

nanoakışkanları için yapılmıştır.

Literatürde ayrıca, Amonyak-Su akışkan çifti ile çalışan absorpsiyonlu sistemlerde da nano malzeme karışımı ile performans deneyleri yapılmıştır (Yang ve diğerleri 2011, Sun ve ark., 2012, Yang ve ark. 2012).

Yapılan deneysel çalışmaların yanında, Surashkumar, Mohideen ve Nathaji, nano malzemelerin akış ile ısı transfer karakteristiklerini ve nano akışkan elde etme yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

Lu ve arkadaşları yüksek sıcaklık vakum tüplü güneş kolektörleri için CuO partikül ilaveli nanoakışkan kullanımının ısı performans etkilerini araştırmışlardır.

Literatüre bakıldığında nanoakışkan kullanılarak deneysel testleri yapılan düzlem yüzey güneş kolektörü çalışmaları son birkaç yıl içerisinde yayınlanmıştır. Bunlarda kullanılan nanoakışkanlar genelde Çizelge 2'nin 1.sütununda yer alan metal oksitlerdir.

Çizelge 2. Oksit tipleri

X_2O_3	XY_2O_4
Al_2O_3 Alimüna	$MgAl_2O_4$ Spinel
Fe_2O_3	$ZnAl_2O_4$
CuO	$FeAl_2O_4$
ZnO	$CuAl_2O_4$

Magnezyum alüminat spinelinden ($MgAl_2O_4$) nano partikül eldesi, SPEX tipi öğütücüler kullanılarak yüksek enerji çarpımlı üç boyutlu çalkalama ile mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak elde edildi.

Elde edilen partiküller ağırlıkça %2 oranında saf su içerisine katılarak %0.2 oranında yüzey aktifleştirici (XTRON-100 gibi) ilave edilerek 8 saat süreyle ultrasonik banyoda karıştırılarak nanoakışkan elde edildi.

3.DENEYSEL ÇALIŞMA

İncelenen termofiziksel özellikler:

1. Isıl iletkenlik
2. Özgül ısı kapasitesi
3. Viskozite

3.1. ISI İLETİM KATSAYISININ BELİRLENMESİ DENEYİ

Isı iletimi; bir katı malzeme veya durgun akışkan içerisindeki sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye doğru ısının geçmesidir İletimle ısı geçişi deneysel gözlemlere dayanan Fourier kanunu ile belirlenir.

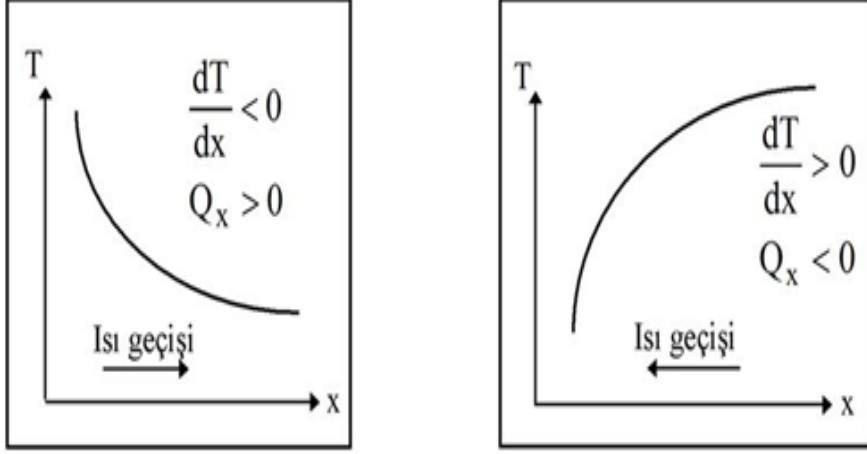
Fourier kanununa göre herhangi bir yönde (örneğin x yönünde) geçen ısı miktarı, x yönündeki sıcaklık gradyanı dT/dx ve ısı geçiş yönüne dik alan A ile orantılıdır. Fourier kanununun matematiksel ifadesi

$$Q_x = -kA(dT/dx) \quad (1)$$

şeklindedir.

Q_x = x yönünde ve bu x yönüne dik A alanı üzerinden geçen ısı miktarıdır.

k=ısı iletim katsayısı olarak adlandırılır, SI birim sistemindeki birimi W/mK 'dir. "-" işareti ısı geçişinin yönünü belirtir (Şekil 4).



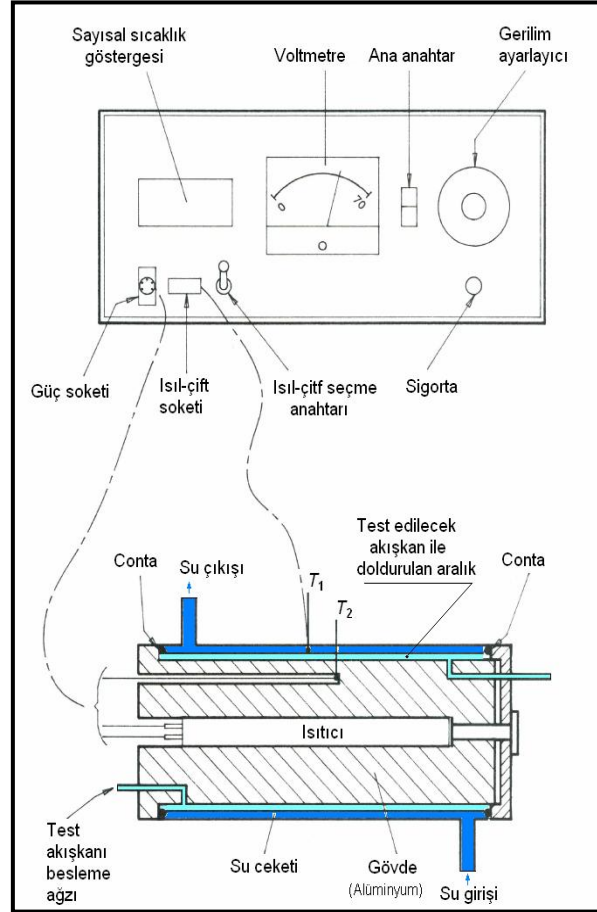
Şekil 4. Isı geçişi yönü

3.2. ISIL İLETKENLİK DENEYİ

Şekil 5'den görüldüğü gibi cihaz iki farklı üniteden oluşmuştur.

Test Ünitesi; pirinç malzemeden yapılmış silindirik su ceketli ve anodize alüminyumdan imal edilmiş silindirden yapılmış bir düzenektir. Su ceketinin her iki tarafında yüzey sıcaklığını ölçmek için K tipi ısıl-çiftler vardır. Silindirik alüminyum parçasının ortasında elektrikli ısıtıcı vardır. Cihazın dışında ısıtıcının elektrik bağlantısı, ısıl-çift termometrelerin bağlantısı ve su ile numune için uygun bağlantı ağzları bulunmaktadır.

Kontrol Ünitesi; Gerilim değiştirici, voltmetre, 0,1 °C çözünürlüklü sayısal sıcaklık göstergesi ve sıcaklık seçme anahtarı içerir. Ayrıca kontrol ünitesinin dış kısmı alüminyum, plastik ve çelik sacdan meydana gelmektedir.



Şekil 5. Isıl İletkenlik Deneyi

Isıl iletkenlik ölçüm deney setine ait değerler:

Piston çapı(dm)= 49 mm

Etkin uzunluk (l)= 110 mm

Radyal aralık (Δr) = 0,345 mm

Nominal ısıtıcı direnci (R) = 55,5 ohm

Etkin ısı geçiş alanı (A)=0.0169 m²

Deneyin yapılışı: Şebeke suyu musluğu açılır ve yaklaşık 30 ml/dak debisinde soğutma suyunun ceketten dolaşarak drenaja gitmesi sağlanır. Isı iletim katsayısı ölçülecek olan sıvı (veya gaz) yavaşça sisteme enjekte edilir. Kontrol ünitesi üzerinde bulunan açma/kapama anahtarı açılarak sistemin ısıtıcısı çalıştırılır. Sistem; gerilim ayarlayıcı ile uygun bir gerilim değerine ayarlanarak, dijital sıcaklık göstergesinde okunan sıcaklık değeri sabitleninceye kadar beklenir. Gerilim ölçerden gerilim (V) değeri, dijital sıcaklık göstergesinden alüminyum tapa sıcaklığı (T_1) ve soğutucu akışkan sıcaklığı (T_2) okunur ve bu değerler not edilir. Gerilim ayarlayıcı ile gerilim değeri biraz artırılarak yeni durumdaki değerler alınmak üzere, sistemdeki sıcaklık değerleri sabitleninceye kadar beklenir. Bu işlem farklı gerilim ve debi değerleri için tekrarlanır.

Isıl iletkenlik deneyi doğruluğunun test edilmesi için literatürdeki deney sonuçları ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla saf su için yapılmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğu ispatlandıktan sonra spineloksit içeren nanoakışkan deneyler yapılmış ve sonuçları Çizelge 3 te verilmiştir.

Çizelge 3. $MgAl_2O_4$ için deneysel ısı iletim katsayıları

m (g/s)	V (volt)	T_1 (°C)	T (°C)	q_e (W)	q_i (W)	q (W)	k (W/m.K)
30	39,9	17,2	16,6	28,68	2,139	26,55	0,90319
30	50	18	16,9	45,05	3,548	41,50	0,77012
30	60	19,1	17,2	64,86	5,802	59,10	0,63459
30	70	20	17,2	88,29	8,338	79,95	0,5829
30	80	21	17,2	115,3	11,16	104,16	0,55956

3.3. ÖZGÜL ISI KAPASİTESİ (C_p) BELİRMENMESİ DENEYİ

Bir cismin ısı sığası(kapasitesi) (C), cismin sıcaklığını 1°C yükseltmek için gerekli ısı enerjisidir.

Bu tanıma göre, cisme Q birimlik bir ısı verildiğinde, cismin sıcaklığı ΔT kadar değişir.

$$Q=C \cdot \Delta T \Rightarrow C=dQ/dT \text{ (J/K)}$$

Herhangi bir cismin özgül ısısı (c), birim kütle başına ısı sığası olarak tanımlanır. Yani bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını birim derece arttırmak için gerekli olan ısı enerjisi miktarıdır. O halde, kütlesi m olan bir maddeye ısı yolu ile Q kadar enerji aktarırsa numunenin sıcaklığı ΔT kadar değişir.

$$c=C/m \Rightarrow c=Q/m \cdot \Delta T \text{ (J/g.K ,kJ/kg.K veya cal/g.°C)}$$

Kalorimetre kabı dışarıyla ısı alışverişi olmayacak şekilde yalıtılmış ve içinde ısı alışverişi olaylarının gerçekleştiği bir kaptır. *Kalorimetre, maddelerin öz ısısını ve ısı sığasını bulmada kullanılır.*

İşlemler:

1. İlk olarak ortam hava sıcaklığına bakılır ve not edilir.
2. Sırasıyla dış kabın, iç kısımdaki küçük behirin ve ara köpüğün kütleleri ayrı ayrı hassas terazi yardımıyla ölçülür.
3. 210g sıcak su kalorimetre kabına doldurulur ,ısı çiftlerinden biri sıcak suyun içine gelecek şekilde delikten geçirilir ve dış kapak kapatılır.
4. Dış kapak kapatıldıktan sonra hızlı bir şekilde önceden hazırlanan 50g saf su bir şırınga yardımıyla kapaktaki delikten küçük behere enjekte edilir, ısı çiftlerinden diğeri soğuk suya gelecek şekilde delikten geçirilir.
5. Bilgisayar programı yardımıyla ölçümler 5s aralıkla alınır.

$$Q_{\text{alınan}} = Q_{\text{verilen}}$$

$$Q_{\text{sıcak su}} = Q_{\text{soğuk su}} + Q_{\text{kap}}$$

$$m_{\text{sıcak}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{sıcak}} = m_{\text{soğuk}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{soğuk}} + C_{\text{kap}} \cdot \Delta T_{\text{sıcak}}$$

$$C_{\text{kap}} = (Q_{\text{sıcak}} - Q_{\text{soğuk}}) / \Delta T_{\text{sıcak}} \text{ şeklinde bulunur.}$$

Örnek hesaplama:

$$m_{s.su} = 210g, m_{spinel} = 50g, c_{su} = 4,18 J/g.°C$$

$$\Delta T_{su} = 0,1°C (57,3-57,2), \Delta T_{spinel} = 0,1°C (57-56,9)$$

$$Q_{sıcak su} = m_{sıcak} \cdot c_{su} \cdot \Delta T_{sıcak} = 87,78 J$$

$$C_{kap} = -0,279 \cdot (T_{sıcak})^2 + 73,78 \cdot T_{sıcak} - 2543 = 768,5561 J/°C$$

$$Q_{kap} = C_{kap} \cdot \Delta T_{sıcak} = 76,85561 J$$

$$c_{spinel} = (Q_{sıcak su} - Q_{kap}) / (m_{spinel} \cdot \Delta T_{spinel}) = 2,184878 J/g.°C$$

olarak bulunur.

3.4. VİSKOZİTE BELİRLENMESİ DENEYİ

Kıvamlılık, akarlık ya da viskozite, bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir.

Akışkanların viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişir. Sıcaklık yükseldikçe viskozite değeri küçülür, sıcaklık düştükçe viskozite değeri artar.

Viskozluk terimi, sıvıdaki iç sürtünmenin büyüklüğünü karakterize etmek için sıvı akışında sıkça kullanılır. Bu iç sürtünme ya da viskoz kuvveti, birbirine göre hareket eden iki komşu sıvı tabakasının karşılaştığı dirençle ortaya çıkar. Viskozluk sebebiyle sıvının kinetik enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür.

viskozitenin (μ) SI birimi (Pa·s) 'dir.

$$Pa \cdot s = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$$

viskozitenin cgs birimi, *poise* (P) dir.

Rotasyonel Viskozimetre: Viskozite akışkanın içerisine daldırılmış olan silindirik yapıdaki rotoru döndürmek için kullanılan torkdan yararlanılarak tespit edilir. Rotasyonel viskozite ölçümü tork ve hız ölçümüne dayalıdır.

Araştırmalarda en çok kullanılan rotasyonel viskometresi *Brookfield* tipidir.

Brookfield viskometresinde bir yay ile aletin motoruna bağlanan, farklı hızda dönüş yapabilen miller bulunmaktadır. Milin örnek içinde dönmesiyle oluşan viskoz sürüklenme, kayma geriliminin fonksiyonu olarak aletin göstergesinden okunur. Milin dönüş hızı (rpm) genel olarak gerçek kayma hızı yerine, göstergede okunan değer ise gerçek kayma gerilimi yerine kullanılır. Kullanılan milin boyutuna ve hızına bağlı olarak geliştirilen bir faktör yardımıyla okunan değerler viskoziteye çevrilir.

Yapılmış ve yapılacak olan deneylerimizde 'BROOKFIELD' markasına ait rotasyonel viskozimetre kullanılacaktır.Rheocale V2.7 yazılımı ile ölçüm verileri alınacaktır.

1. Deneye başlamadan önce bilgisayar açılır ve Rheocale V2.7 yazılımı çalıştırılır. Ayrıca viskozimetre de çalıştırılır.

2. Viskozitesi tayin edilecek numune bir mezüre yaklaşık 50ml konur.

3.Kıskaç ve mil (SC4-21) viskozimetreye dikkatlice takılır.

4. Başlık numunenin tamamen içinde kalacak şekilde numunenin içerisine dikkatlice indirilir.Ayrıca mil numunenin içerisine daldırılmadan önce numune iyice karıştırılır.

5. Numunenin ilk olarak oda sıcaklığında (~20°C) viskozitesi tayin edilecektir

6. Yazılımda milin dönüş hızı RPM (dakikadaki devir sayısı) 70 olarak ayarlanır , program başlatılır ve veriler alınır.

7. Devamında numune sırasıyla 40°C, 60°C ve 80°C'ye kadar ısıtılır ve istenilen sıcaklıklarda viskozite tayini yukardaki işlemleri takip edecek şekilde belirlenir.

Magnezyum alüminat spinelin ($MgAl_2O_4$) sırasıyla 20,40,60 ve 80°C'deki deneysel viskozite sonuçları aşağıdaki Çizelge 4'de gösterilmektedir

Çizelge 4. Magnezyum alüminat spinelin ($MgAl_2O_4$) viskozitesi

T (°C)	Viskozite (Pa.s)
20	1,05
40	0,8
60	0,4
80	0,2

4.SONUÇLAR

Nano boyutta metal ve metal oksit partikül içeren nanoakışkanlar ısı iletkenlik bakımından daha yüksek performans göstermektedir.Yapmış olduğumuz deneyler sonucunda da $MgAl_2O_4$ nanoakışkanının saf suya göre ısı iletkenlik bakımından daha iyi performans gösterdiği tespit edildi.Sıcaklık arttıkça ısı iletkenliğinin arttığı gözlemlendi.

Özgül ısı kapasitesi ise bir cisme verilen enerjiye karşı, o cismin ısı duyarlılığının bir ölçüsüydü.Yapmış olduğumuz deneyler sonucunda $MgAl_2O_4$ nanoakışkanının özgül ısı değerlerinin saf suya göre daha büyük olduğu görüldü.

Son olarak $MgAl_2O_4$ nanoakışkanının viskozite değerinin saf suya göre daha büyük olduğu tespit edildi.Ayrıca sıcaklık arttıkça nanoakışkanın viskozite değerinin küçüldüğü görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 112M770 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Thermodynamic assessment and experiments in the system MgO–Al₂O₃ Tilo Zienert , Olga Fabrichnaya . TU Bergakademie Freiberg, Institute of Material Science, Gustav-Zeuner Str.5, 09599 Freiberg, Germany
2. Shackelford, J.F., Alexander, W. and Park, J.S., Eds., **CRC Materials Science and Engineering Handbook**, CRC Press, Boca Raton, Florida 1994.
3. Alper, A.M., McNally, R.N., Ribbe, P.H. and Doman R.C., J. Am. Ceram. Soc., Volume 45, Page 263, 1962.
4. Harries-Rees, K. 1993. **Industrial Minerals Consumer Survey**, 1993, London.
5. Clarke, G. 1993. **Industrial Minerals Consumer Survey**, 1993, London.
6. Soady, J. S. ve Plint, S. 1991. **UNITECR'91 Congress**, 1991, Aachen.
7. Yamamura, T. et al, 1993. **Taikabutsu Overseas**, June 1993, Japan.
8. Hobrecht et al, 1988. Ciments, Betons, Plâtres, Chaux, 4, 1988. France.
9. Kuennecke, M. et al, 1986. **World Cement**, June 1986. Kuennecke, M. et al, 1986. **World Cement**, July/August 1986.
10. Aksel C. et al, 1996. 3. **Seramik Kongresi**, Ekim 1986, İstanbul.
11. Gonzalves, G. E. et al, 1993. **Amer. Cer. Soc. Bull.**, February 1993, USA.
12. Dal Maschio, R., Fabbri, B. and Fiori, C., *Industrial Applications of Refractories Containing Magnesium Aluminate Spinel*, **Industrial Ceramics**, Volume 8, Issue 3, Pages 121-126, 1988.
13. Tokunaga, K., Kozuka, H., Honda, T. and Tanemura, F., *Further improvements in high temperature strength, coating adherence, and corrosion resistance of magnesia-spinel bricks for rotary cement kiln*, **UNITECR 91 Congress, Aachen, Germany**, Pages 431-435, 1991.
14. Cooper, S.C. and Hodson, P.T.A., *Magnesia-Magnesium Aluminate Spinel as a Refractory*, **Trans. J. Br. Ceram. Soc.**, Volume 81, Pages 121-128, 1982.
15. Bartha, P., *Magnesia Spinel Bricks – Properties, Production and Use*, Proc. Int. Symp. Refractories, Refractory Raw Materials and High Performance Refractory Products, eds. X. Zhong et al., **Pergamon, Hangzhou**, Pages 661-674, 1989.
16. Aksel, C., Rand, B., Riley, F.L., and Warren, P.D., *Mechanical Properties of Magnesia-Spinel Composites*, **J. Eur. Ceram. Soc.**, Volume 22, Issue 5, Pages 745-754, 2002.
17. Aksel, C., Davidge, R.W., Warren, P.D. and Riley, F.L. *Mechanical Properties of Model Magnesia-Spinel Composite Materials*, Euro Ceramics V, Part 3, **Key Engineering Materials**, Volume 132-136, Pages 1774-1777, Versailles, France, 1997.

18. Aksel, C., Rand, B., Riley, F.L. and Warren, P.D., *Thermal Shock Behaviour of Magnesia-Spinel Composites*, J. Eur. **Ceram. Soc.**, Volume 24, Issue 9, Pages 2839-2845, 2004.
19. Kingery, W.D. , Bowen, H.K., Uhlmann, D.R., *Introduction to Ceramics*, **John Wiley & Sons**, 1976,ISBN 0-471-47860-1.
20. W.F.Smith, *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, **Literatür Yayıncılık**, 2001, ISBN: 975 843103-X.
21. Yazıcı, O., Sol-Jel Yöntemiyle Üretilmiş Spinel Katkılı Döflük Çimentolu Alüminalı Refrakterlerin incelenmesi, **Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi**, 2008.
22. Wulfsberg, G., *Inorganic Chemistry*, **University Science Books**, 2000
23. UTOMO, A., HEIKO POTH. B., ROBBINS, A., ANDRZEJ W. PACEK A. A. W., Experimental and theoretical studies of thermal conductivity, viscosity and heat transfer coefficient of titania and alumina nanofluids, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 55, 7772–7781, (2012).
24. CHOI US., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, ASME FED, 231, 99–103, (1995).
25. HAN W., S., RHI, S., H., “Thermal characteristics of grooved heat pipe with hybrid nanofluids”. **Thermal Science**, 15/1, 195-206 (2011).
26. HUMINIC, G., HUMINIC, A., MORJAN, I., DUMITRACHE, F., Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles, *International Journal Of Heat And Mass Transfer - Int J Heat Mass Transfer*, vol. 54, no. 1, 656-661, (2011).
27. KHANDEKAR, S., JOSHI, Y. M., MEHTA, B., Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids, **International Journal of Thermal Sciences**, 47, 659–667, (2008).
28. LU, L., LIU, Z., XIAO, H., Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors Part 1: Indoor experiment, **Solar Energy** 85 :379–387, (2011)
29. NOIE, S.H., HERIS, S. Z., KAHANI, M., NOWEE, S.M., Heat transfer enhancement using Al₂O₃/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon, **International Journal of Heat and Fluid Flow**, 30, 700–705, (2009).
30. SAİDUR, R., MENG, T.C., SAİD, Z., HASANUZZAMAN, M., KAMYAR, A., Evaluation of the effect of nanofluids-based absorbers on direct solar collector, **I.J.Heat and Mass Transfer**, 55:5899-5907, (2012).
31. SHAFARI, M., BIANCO, V., VAFAI, K., MANCA, O., An investigation of the thermal performance of cylindrical heat pipes using nanofluids, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 53, 376–383, (2010).

32. SHUNG-WEN, K., WEI-CHIANG, W., SHENG-HONG, T., AND SHIH-YU, Y., Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance”, **Applied Thermal Engineering**, Volume 26, Issues 17-18, 2377-2382, (2006).
33. SURESHKUMAR, R., MOHIDEEN, S., T., NETHAJI, N., Heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: **A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 20, 397-410, (2013)
34. WANG X., Mujumdar A.S., Heat transfer characteristics of nanofluids: **a review, International Journal of Thermal Sciences**, 46, 1–19, (2007).
35. XUAN Y., Li Q., Hu W., Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids, **AIChE Journal**, 49/4, 1038 – 1043, (2003).
36. XUAN Y., Roetzel W., Conceptions for heat transfer correlation of nanofluid, **Internat. J. Heat Mass Transfer**, 43, 3701–3707, (2000).
37. YI-HSUAN HUNG, TUN-PING TENG, BO-GU LIN, Evaluation of the thermal performance of a heat pipe using alumina nanofluids, **Experimental Thermal and Fluid Science**, 44, 504–511, (2013).
38. YOUSEFIA, T., SHOJAEIZADEHA, E., VEYSIA, F., ZINADINIB, S., An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT–H₂O nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector, **Solar Energy** 86:771–779, (2012)
39. YOUSEFIA, T., VEYSIA, F., SHOJAEIZADEHA, E., ZINADINIB, S., An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, **Renewable Energy** 39:293-298, (2012)

