



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Manyetik nanoakışkanın termosifon tipi ısı borusunun performansına etkisi

Effect of magnetic nanofluid on performance of thermosiphon type heat pipe

Yazar(lar) (Author(s)): Cuma KILINÇ¹

ORCID¹: 0000-0002-6258-617X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kılınç, C., “Manyetik nanoakışkanın termosifon tipi ısı borusunun performansına etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 1309-1316, (2021).

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

DOI: 10.2339/politeknik.993935

Manyetik Nanoakışkanın Termosifon Tipi Isı Borusunun Performansına Etkisi

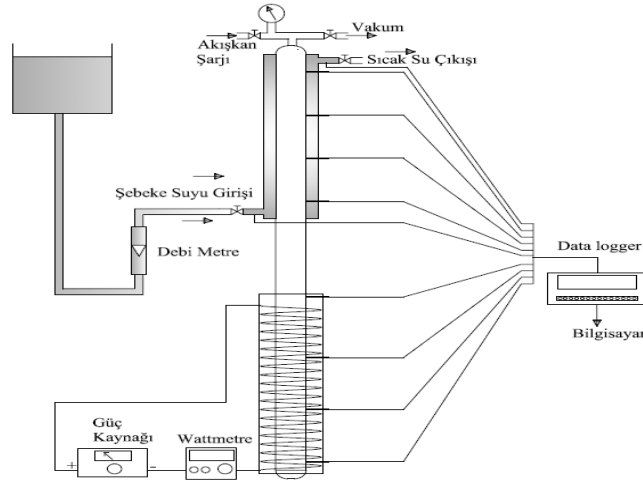
Effect of Magnetic Nanofluid on Performance of Thermosiphon Type Heat Pipe

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Termosifon tipi ısı borusu/ Thermosiphon type heat pipe
- ❖ Manyetik nanoakışkan/ Magnetic nanofluid
- ❖ Performans iyileştirme/ Performance improvement

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Termosifon tipi ısı boruları endüstride çok sık kullanılan hiçbir enerji harcamadan içerisindeki çalışma sıvısının faz değişimi esasına dayanan ısı taşıyıcılarıdır. / Thermosiphon type heat pipes are heat carriers, which are used very frequently in the industry, based on the phase change of the working fluid without consuming any energy.



Şekil. Deney düzeneğinin şematik görünümü/ Figure. Schematic view of the experimental setup

Amaç (Aim)

Nano akışkan kullanarak performansın iyileştirilmesi./ Improving of performance using nano fluid

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Manyetik nanopartikül (Fe_3O_4) içeren nanoakışkanın ısı borusunda kullanılması ile performansın iyileştirilmesi/ Improvement of performance by using nanofluid containing magnetic nanoparticle (Fe_3O_4) in heat pipe

Özgünlük (Originality)

Manyetik nanopartikül (Fe_3O_4) içeren nanoakışkanın eldesi ve ısı borusunda kullanılması/ Production of nanofluid containing magnetic nanoparticles (Fe_3O_4) and its use in heat pipe

Bulgular (Findings)

Isı borularının ısı verimlerinde max %30 oranında bir artış sağlanmıştır./ An increase of 30% in thermal efficiency of heat pipes has been achieved.

Sonuç (Conclusion)

Isı borularında saf su yerine manyetik nanoakışkan kullanılarak ısı performansta dikkate değer bir artış gözlemlenmiştir./ A remarkable increase in thermal performance was observed by using magnetic nanofluid instead of pure water in heat pipes.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Manyetik Nanoakışkanın Termosifon Tipi Isı Borusunun Performansına Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Cuma KILINÇ

Doğa Koleji, Kayseri, Türkiye

(Geliş/Received : 08.04.2020 ; Kabul/Accepted : 26.04.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 13.09.2021)

ÖZ

Bu çalışmada termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak manyetik nanoakışkan kullanılarak performansın değişimi incelenmiştir. Baz akışkan su içerisine ağırlıkça %2 oranında manyetik nanopartikül olan Demir(III) Oksit (Fe_3O_4) ve %0,2 oranında yüzey aktifleştirici (TRITON X-100) eklenerek nanoakışkan elde edilmiştir. Elde edilen nanoakışkanın içerisinde nanopartiküllerin asılı kalmasını sağlamak amacıyla ultrasonik banyoda yaklaşık 4 saat karıştırılmıştır. Deneylerde kullanılan termosifon tipi ısı borusu 1m uzunluğunda ve 15mm dış çapa sahiptir. Deneyler kondenser bölgesinde kullanılan soğutma suyunun farklı debilerinde, evaporatör bölgesinde de farklı güçlerde yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manyetik nano akışkan, ısı borusu, ısıl performans.

Effect of Magnetic Nanofluid on Performance of Thermosiphon Type Heat Pipe

ABSTRACT

In this study, the variation of the performance was investigated by using magnetic nanofluid as the working fluid in the thermosiphon type heat pipe. Nanofluid was obtained by adding 2% by weight of magnetic nanoparticle Iron(III) Oxide (Fe_3O_4) and 0.2% surfactant (TRITON X-100) into the base fluid water. In order to keep the nanoparticles suspended in the obtained nanofluid, it was mixed in an ultrasonic bath for about 4 hours. The thermosiphon type heat pipe used in the experiments has a length of 1m and an outer diameter of 15mm. The experiments were carried out at different flow rates of the cooling water used in the condenser region and at different powers in the evaporator region.

Keywords: Magnetic nano fluid, heat pipe, thermal performance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isı boruları vakum altında çalışma sıvısının faz değişimine dayalı ısı transfer cihazıdır. Evaporatör bölgesinde aldığı ısıyla çalışma akışkanının buharlaşmasının sağlanması ile ısının kondenser bölgesine taşınması, burada ısıyı kondenser soğutma sıvısına bırakarak sıvı faza dönüşen ve böylece yer çekiminin etkisiyle tekrar evaporatör bölgesine dönen çalışma akışkanının döngüsüyle sürekli bir halde ısı transferini sağlayan cihazlardır. Endüstride bir çok uygulamaları bulunan ısı boruları elektronik cihazların soğutulması, ısı geri kazanım ünitelerinde ısının taşınımı, uyduların soğutulması gibi yaygın uygulamaları mevcuttur. Literatürde kullanılan genelde metal, metaloksit ve karbürlerden elde edilen nanoakışkanların uygulama örnekleri aşağıda özetlenmiştir.

Choi (1995), baz sıvı içinde süspansiyon haline nanometrik partiküllerden saf metaller (Au, Ag, Cu, Fe), metal oksitler (CuO , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO , Fe_3O_4), karbürler (SiC , TiC), Nitrürler (AlN , SiN) kullanmışlardır [1].

Chien ve ark.(2003) İlk olarak, nanoakışkanların düz ısı plaka borularında uygulanması üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Daha sonra minyatür oluklu disk

şeklinde bir ısı borusu ile çalıştılar. Isı borusu; 9 mm çapında ve 2 mm et kalınlığında 18 mikro oluktan oluşur. Sıcaklık ve ısı borularının termal dirençlerini içeren nanoakışkanların deneysel verileri saf su ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar; Nanoakışkanları kullanan ısı borusunun termal direnci, farklı oranlardaki saf su değerinden daha düşüktü. Nanoakışkanların kullanılmasıyla, termal dirençte ortalama %40'lık bir azalma elde edildi [2].

Wei ve ark.(2005) 6 mm çapında ve 200 mm uzunluğunda mikro oluklu silindirik bir ısı borusu kullandılar. Dikdörtgen oluğun genişliği ve derinliği sırasıyla 211 mm ve 217 μm . Akışkan 10nm gümüş nanoparçacık ve saf sudan oluşur. Nanoakışkan kullanan ısı borusunun ısıl direnci, saf su ısı borusuna kıyasla %28-44 oranında iyileşmiştir [3].

Kang ve ark. (2006), dış çapı 6 mm ve uzunluğu 200 mm olan sinterlenmiş silindirik bir ısı borusunun termal direncini incelediler. Isı borusu , bakır tozlarından yapılmış 1 mm'lik sinterlenmiş bir fitil içerir. Deneyde; Parçacık boyutları 10 nm ve 35 nm olan gümüş nanoparçacıklar ve saf su kullanılmıştır. Test edilen nanoakışkan konsantrasyonu 1mg/lt, 10mg/lt, 100mg/lt; İncelenen güç aralığı 30 W ila 70 W arasındadır. Deneysel sonuçlarda, 60 W'lık bir termal yük için termal direnç %88 azaldı [4].

*Sorumlu yazar (Corresponding author)

e-posta : cumaakilinc@yahoo.com

Liu ve Lu(2009) ve Yang ve ark.(2008), performansı incelemek için silindirik bir mikro oluklu ısı borusunda çeşitli sıcaklıklarda ısı transferi deneyleri gerçekleştirdiler. Çalışma akışkanları olarak su bazlı CuO nanoakışkan ve su bazlı dağıtıcı içermeyen karbon nanotüpler kullanıldı. Isı borusunun uzunluğu ve iç çapı 350 mm ve 8 mm'dir. 0,2 mm derinliğinde ve 0,25 mm genişliğinde 60 adet dikdörtgen kanal üretilmiştir. Deneyler 40°C, 50°C ve 60°C sıcaklıklarda ve 7.45kPa, 12.38kPa ve 19.97kPa'lık üç sabit çalışma basıncında gerçekleştirilmiştir [5-6].

Tsai ve ark.(2004), fitilli silindirik ısı borusu üzerinde deneyler yaptılar. Kullanılan sıvı , farklı boyutlarda nanopartiküllerin sulu bir çözeltisidir. Bakır borunun iç çapı ve uzunluğu; sırasıyla 6 mm ve 170 mm'dir. Deneysel sonuçlar ısı borusu termal direncinin %20 ila %37 oranında azaldığını gösterdi [7].

Liu ve Shu(2008) , bir CuO-su karışımı kullanarak bir silindirik fitil ısı borusunun ısı transfer özelliklerini inceledi. İç çapı ve boru uzunluğu 10mm ve 350mm'dir. Isı borusundaki konsantrasyonun ve ısının yoğunlaşma yoluyla transferinin önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. %1'lik bir optimum konsantrasyon ve çeşitli çalışma sıcaklıkları altında, buharlaşma ve yoğunlaşma yoluyla ısı transferi , daha düşük çalışma sıcaklıklarında maksimum ısı akışı elde edildi. Nanoakışkanların kullanımında termal direncin saf su kullanımına göre çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir [8].

Chen ve ark.(2008), farklı güç girişlerinde ortalama çapta(35 nm) nanopartiküller ve farklı konsantrasyonlarda su bazlı nanoakışkanlar kullanarak düz fitil ısı borusunun performansını araştırdı. Nanosiviler kullanarak ısı borusunun ısıl direnci , saf su kullanılan ısı borusu ile karşılaştırıldığında azalma gözlemlenmiştir [9].

Kang ve ark.(2009), 6mm dış çapı ve 200mm uzunluğu olan bir silindirik sinterlenmiş fitilli ısı borusunun ısıl direncini incelemişlerdir. Isı borusu, bakır tozlarından yapılmış 1 mm sinterlenmiş fitil içerir. Deneyde; Parçacık boyutları 10 nm ve 35 nm olan gümüş nanoparçacıklar ve saf su kullanılmıştır. Test edilen nanoakışkan konsantrasyonu 1mg/lt, 10mg/lt, 100mg/lt; incelenen güç aralığı 30-70W'tır . Deneysel sonuçlarda ısıl direnç, 60 W ısı yükü için %88 azalmıştır [10].

Shang ve ark.(2007) Farklı doldurma oranlarında Cu-su nanoakışkanları ile kapalı devre titreşen ısı transfer özelliklerini incelemiştir. Akışkan ve nanoakışkan olarak saf suyun sonucuna; Isı borusundan Cu-su nanoakışkanlarının kullanılması, ısı transfer kapasitesini %83 oranında artırdı [11].

Qu ve ark.(2010) su bazlı Al₂O₃ nanoakışkan kullanımının kapalı devrede titreşen ısı borusunun termal performansı üzerindeki etkisi üzerine deneysel bir çalışma yürütmüştür. İç çapı 2 mm ve dış çapı 3 mm olan paslanmaz çelikten yapılmış kılcal boru bükülerek yapılmıştır. Sırasıyla 50 mm, 105 mm 70 mm'lik buharlaşma ve yoğunlaşma bölümlerinden oluşan

paslanmaz çelikten ısı borusu dikey olarak yönlendirmiştir. Doldurma oranları, alümina nanoparçacıklarının konsantrasyonları ve titreşen ısı borusunun termal direnci incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda güç tüketimi ise 58,8 W iken; %0.9 konsantrasyondaki nanoakışkan ile saf su ile karşılaştırıldığında, maksimum ısıl direnç % 32.5 azalmıştır [12].

Xue ve ark.(2006), karbon nanotüplerin kullanımının iki fazlı kapalı termosifon termal performansı üzerindeki etkisi üzerine araştırma yürütmüştür. Deney iç çapı 20 mm olan bir bakır boru ile gerçekleştirilmiştir[13].

Kapalı iki fazlı termosifon olandoldurma oranı %20'dir. Deneysel sonuçlar, CNT'lerin kullanılmasının termal direncinin, su ısı borusununkinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, ısı borusunun termal performansı , baz akışkana CNT eklenmesiyle negatif olmuştur [13].

Khandekar ve ark.(2008) , su ve su bazlı nanoakışkanlar kullanarak termal direnç kapalı iki fazlı termosifon üzerinde çalıştılar. Kapalı iki fazlı termosifonun Uzunluğu test iç çapı sırasıyla, 720mm ve 16mm'dir. Deneysel sonuçlarına göre, nanoakışkan kullanımı suya kıyasla termal performans üzerinde olumsuz bir etkiye sahipti [14].

Naphon ve ark.(2008) titanyum-etanol nanoakışkanları ve titanyum-su nanoakışkanlarını kullanarak iki fazlı kapalı termosifon arasındaki ısı transferinin performansını inceledi. İki fazlı kapalı su ısıtıcısı, dış çapı 15 mm ve 600 mm uzunluğunda olan bir düz bakır borudan oluşur. Deneylerde kullanılan titanyum nanopartikül boyutu 21nm'dir. Evaporatif ısı transfer katsayısı; Nanoakışkanların kullanımı etanol kullanımına kıyasla %10,6 arttı [15].

Noie ve ark.(2009) 1000 mm uzunluğa ve 20 mm iç çapa sahip deneysel bir ısı borusunda Al₂O₃-Su nanoakışkanının performansını test etti. Deneyler, nanoakışkanlar kullanılarak 20 nm çapındaki Al₂O₃ nanoparçacıklarının %1, %1.5, %2,5 ve %3 konsantrasyonlarının, farklı güçler için su ile karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçta saf su ve diğer akışkanlardan daha verimli olduğunu gözlemlenmişlerdir [16].

Huminc ve ark.(2011), termosifon ısı borusunda saf su ve %2 ~ %5.3 konsantrasyonundaki demir oksit nanoakışkanlarıyla deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlarına göre, nanoakışkanların suya göre %5,3 konsantrasyonunda kullanılmasında termal performansta iyileşmeler gözlemlendi [17].

Bu araştırmanın temel amacı, normal çalışma sıvısına göre ısıl iletkenliği daha yüksek olan bir metal oksit nanopartikülün sıvıya eklenmesiyle elde edilen nanoakışkanlardan olan manyetik (Fe₃O₄) nanoakışkanların ısı borusu performansına olan etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

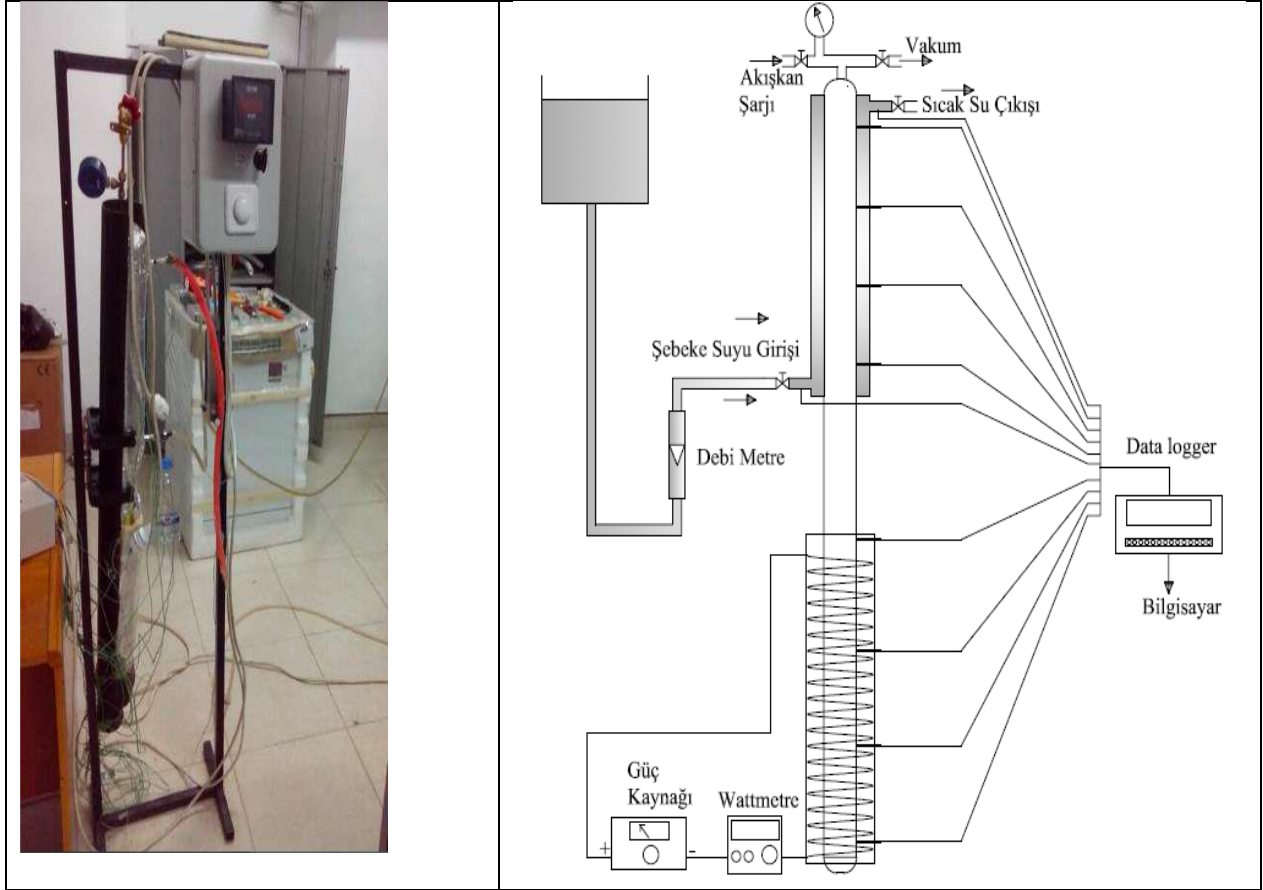
2.1. Deneysel Düzeneği (Experimental Set up)

Şekil 1'den görüleceği gibi deney düzeneğinde kullanılan ısı borusu 1000 mm uzunluğunda, 15 mm dış çapa ve 13 mm iç çapa sahiptir. Bakır malzemeden imal edilen borunun yoğuşma (kondenser) ve buharlaşma (evaporatör) bölgeleri 400 mm uzunluğunda, adyabatik bölgesi 200 mm uzunluğa sahiptir. Buharlaşma bölgesinde Ni-Cr kablodan oluşan bir elektrikli ısıtıcı kullanılarak ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan ısıtıcı tamamen yalıtılmıştır. Kullanılan ısıtıcının giriş gücü wattmetre ile (Fluke-43b analyzer) Watt cinsinden deneysel olarak ölçülmüştür. Buharlaşma bölgesinde tamamen yalıtılmış olduğundan deneysel olarak ölçülen gücün sisteme direkt aktarıldığı kabul edilmiştir. Deneysel düzeneğin yoğuşma bölümünde uygulanan bir dış cep yardımıyla soğutma gerçekleştirilmektedir. Kondenser bölgesindeki ısı dış cepte dolaşan soğutucu akışkan yardımı ile atılmıştır. Deneysel düzeneğinde debimetre kullanılarak soğutucu akışkanın debisi ayarlanmış ve soğutucu akışkanın kontrolü sağlanmıştır. Sistemin ısı kaybını minimum hale getirmek amacıyla ısı borusunun tüm bölümleri cam yünü kullanılarak yalıtılmıştır. Isı borusu yüzeyi boyunca ısı dağılımını gözlemlemek için 10 adet termokupl(K-tipi) kullanılmıştır. Sistemde kullanılan nanoakışkanın sıcaklık değişimlerini gözlemlemek için kullanılan termokuplların 4 tanesi yoğuşma bölümünde 4 tanesi buharlaşma bölümünde 2 tanesi de yoğuşma bölgesinin dış cebinde dolaşan soğutucu akışkanın sıcaklığını ölçmek üzere yerleştirilmiştir. Termokuplın ölçtüğü sıcaklık değerlerini kaydetmek ve görüntülemek için data logger (E-680 Elimko, Türkiye) kullanılmıştır. Deneysel düzeneğinde kullanılan nanoakışkan sıcaklık, debi ve nanoakışkan türü gözetmeksizin 44,2 ml hacminde sabit tutulmuştur. Deneysel düzeneğinde kullanılan ısı borusunun hacmi 132,6 ml'dir. Sisteme ısı borusu hacminin 1/3'ü oranında (44,2 ml) nanoakışkan koyulmuştur. Deneyler esnasında sistem yatayla 90° açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Yoğuşma bölgesinin dış cebinde kullanılan soğutma suyunun debisi 3 g/s, 6 g/s ve 9 g/s şeklinde üç farklı değerde ayarlanmıştır [18].

2.2. Nanoakışkanın Hazırlanması (Preparation of Nanofluids)

Uygulanan deneysel çalışmada, boyutları 90nm'den küçük olacak şekilde elde edilen %2 oranındaki Fe₃O₄ metal oksit parçacıkları ile saf su karıştırılmıştır. Elde edilen karışım ultrasonik banyoda 4 saat bekletilmiştir. Çökeltmeleri engellemek için karışıma yüzey aktifleştirici olarak %0,2 oranında Triton X-100 eklenmiştir. Ultrasonik banyoda bekletme işlemi

nanoakışkan(saf su-Fe₃O₄) karışımına ultrasonik titreşimler gönderilerek çözeltinin kararlı hale getirilmesi amaçlanmıştır. Nanoakışkanların hazırlanmasında temel prensip, ısı iletkenliğinin baz akışkana göre iyileştirilmesidir. Nanoakışkanların yüksek ısı iletkenliğine yol açan ana mekanizmanın, parçacıkların "Brownian hareketi" olduğuna inanılmaktadır [18]. Brownian hareketi, çevreleyen ortamın moleküllerinin neden olduğu sıvı içinde yüzen veya askıda kalan mikroskobik parçacıkların rastgele hareketidir. Adımı, konuyu ilk kez 1827'de inceleyen İskoç botanikçi Robert Brown'dan almıştır. Baz akışkandaki nanopartiküller düşünüldüğünde bu mekanizma çok benzerdir. İkinci olarak, arayüz katmanının (yani nano katman) termal iletkenlik için etkili bir mekanizma olduğu belirlenmiştir. Bu katmanlar partiküllerin yüzeyine yakın yerlerde bulunurlar ve nanopartikül ile akışkan kütlesi arasında bir ısı köprü oluştururlar [18]. Birçok farklı parametreye göre ısı iletkenliğinin artırılma derecesi değişiklik gösterecektir. Bu parametreler; partiküller ve alkali akışkan malzemeler, partikül boyutu ve şekli, sıcaklık, asit değeri (pH), aglomerasyon ve diğer kimyasallardır. 100 nanometrenin altında farklı boyutlarda nanopartiküller sentezlenebilir. Nanoparçacık boyutunun ısı iletkenlik üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarda [18], parçacık boyutu küçüldükçe iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Nanopartiküllerin şekli ve boyutu, termal iletkenliklerini önemli ölçüde etkileyecektir. Nanoakışkanların sıcaklığı, nanopartiküllerin Brownian hareketini ve agregasyon davranışını etkilediği için termal iletkenliklerini de doğrudan etkiler. Bu parametrenin önemi nedeniyle bu alanda birçok deney ve sayısal çalışma yapılmış ve nanoakışkanların sıcaklığa karşı ısı iletkenliği anlaşılmasına çalışılmıştır. Konunun literatürü oldukça geniştir ve başlı başına bir araştırma alanıdır. İlgili çalışmaları derleyen çalışmada[18] toplanan bilgiler, bazı çalışmalarda sıcaklık artışının ısı iletkenliği artırdığı, bazı çalışmalarda ise olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Yani sıcaklık etkisi literatürde henüz fikir birliğine varılmamış ve değerlendirilmesi gereken bir parametredir. Nanoakışkanların uzun süreli stabilitesini sağlamak ve nanopartiküllerin çökmesini önlemek için kullanılan çeşitli kimyasallar, çözeltinin kimyasal ve fiziksel yapısını değiştirerek, çözeltinin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Kullanılan yüzey aktif maddenin konsantrasyonuna bağlı olarak, sıvının termal iletkenliği önemli ölçüde etkilenebilir. Kullanılan nanoparçacıkların ve baz akışkanın tipine bağlı olarak, doğru miktarda kimyasalın doğru miktarda eklenmesi önemlidir.



Şekil 1. Deney setinin resmi ve şematik görünüşü [18]

2.3. Teori/Theory

Deneyler sonucu elde edilen verilerle termal verim ve ısı dirençleri karşılaştırabilmek için kullanılması gereken eşitlikler:

Elde Edilen Isı Transfer Miktarı:

$$Q_k = \dot{m} c_p (T_{\text{ç}} - T_g) \text{ [W]} \quad (1)$$

Isıl Direnç:

$$R = \frac{\Delta T}{Q} \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right] \quad (2)$$

Verim:

$$\eta = \frac{Q_k}{Q} \quad (3)$$

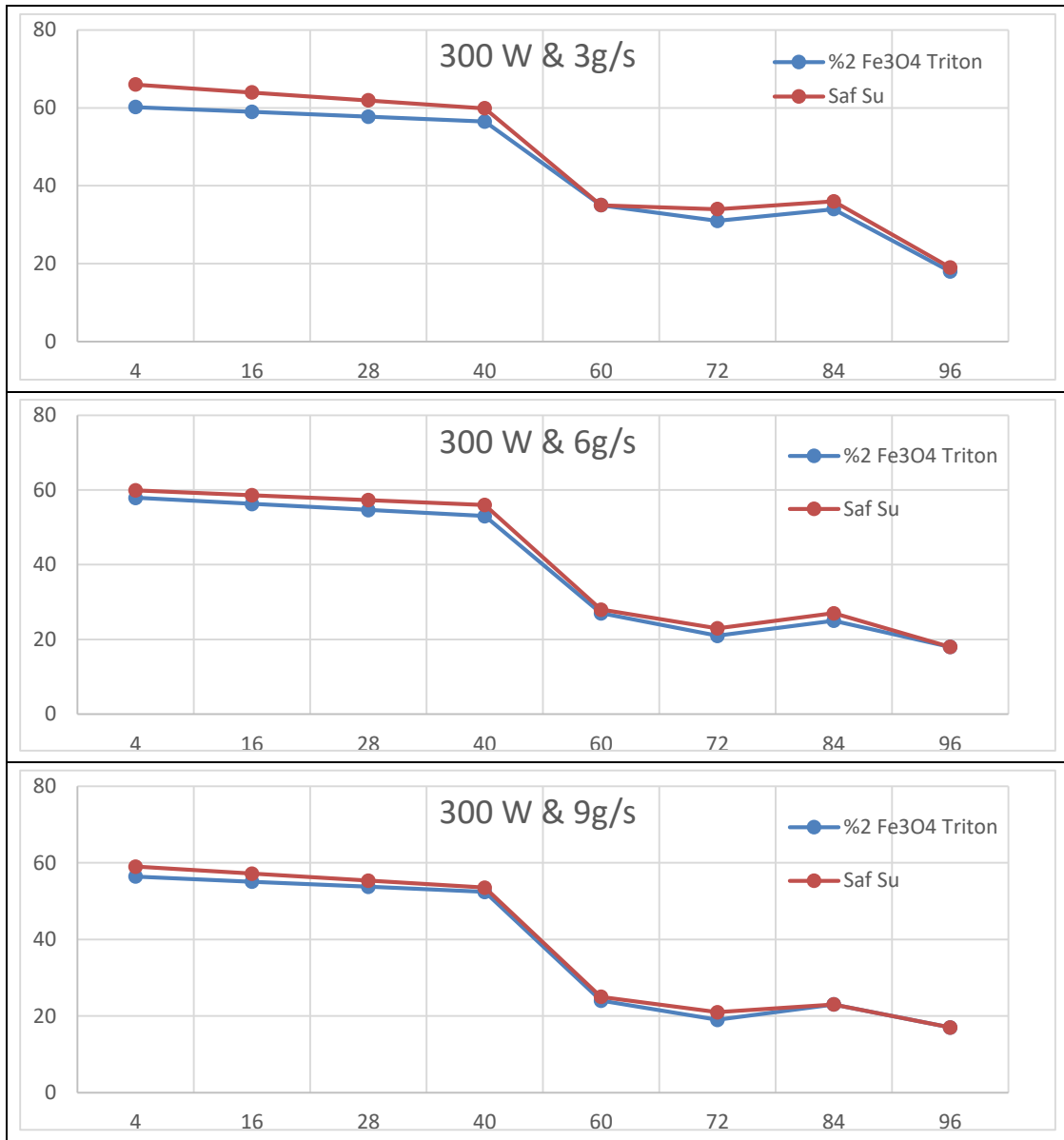
şeklindedir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

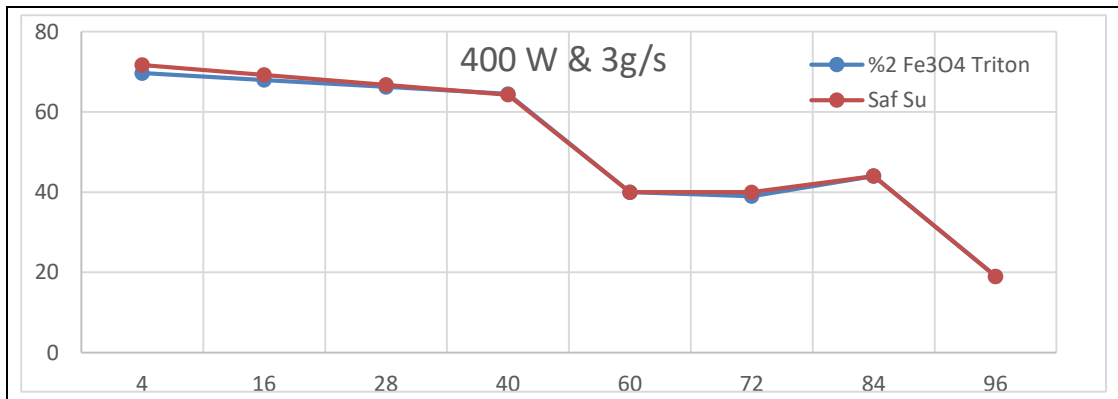
Deneyler önce saf su ile sonra %2 oranındaki Fe_3O_4 süspansiyonu yapılmıştır. Kondenser bölgesinin soğutulması için şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun debisi $m_1=3\text{g/s}$, $m_2=6\text{g/s}$ ve $m_3=9\text{g/s}$ olarak alınmıştır. Evaporatörde verilen ısı 300W ve 400W tır. Yapılan her deneyde 30 dakika süren kararlı hale ulaşma süresinden sonra veriler kaydedilmiş, akış şartları bir alt debi

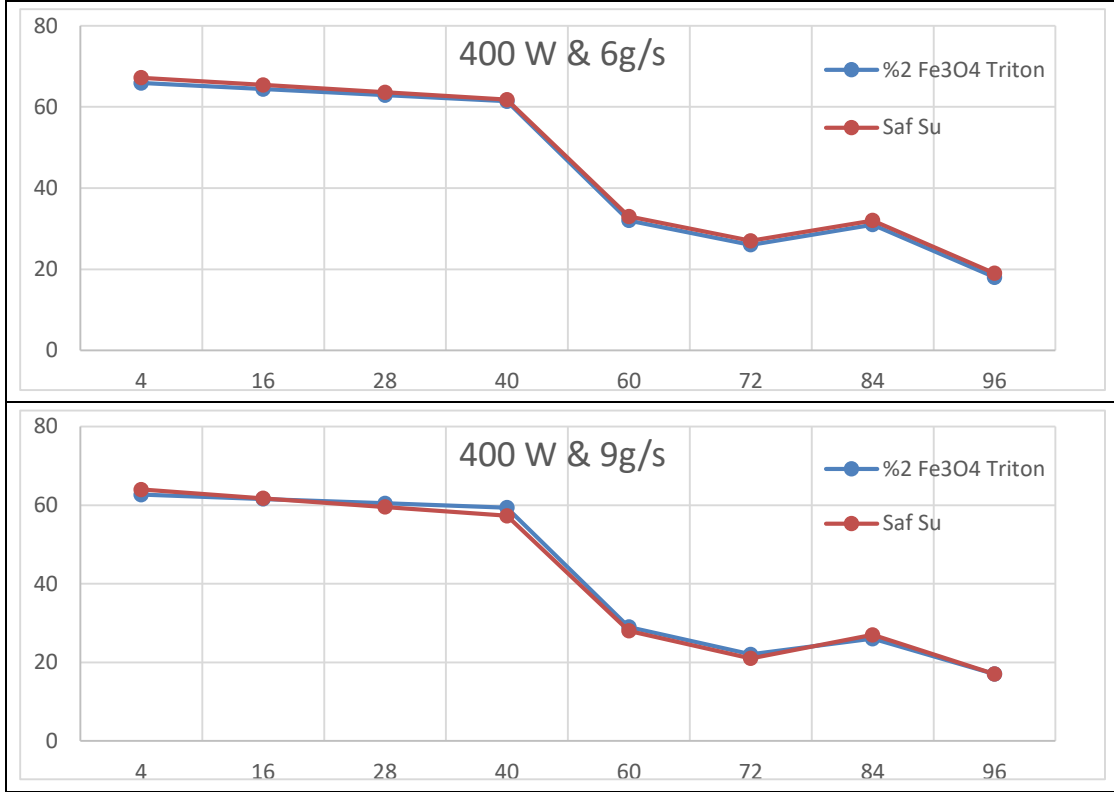
değerine ayarlanmış ve son debi değerine kadar deneyler tekrarlanmıştır.

Şekil 2’de evaporatörde verilen ısının 300 Watt olması durumunda ve 3 farklı soğutma suyu debisinde ısı borusu duvar sıcaklığının ısı borusu boyunca değişimi verilmektedir. Soğutma suyu debisinin $m = 0.003\text{kg/s}$ olması durumunda evaporatördeki su sıcaklığı çalışma akışkanı olarak su kullanıldığında yaklaşık $66\text{ }^\circ\text{C}$ iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık $33\text{ }^\circ\text{C}$ civarlarındadır. Aynı deneyin $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkanı kullanılması durumunda evaporatör sıcaklığı yaklaşık $60.2\text{ }^\circ\text{C}$ iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı $32\text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır. Görüleceği üzere evaporatör ve kondenser sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı suya göre daha düşük olmaktadır. Bu da ısı borusu direncini düşürmektedir. Benzer şekilde soğutma suyunun diğer debileri için $m=0.006\text{kg/s}$, debide yapılan deneyde çalışma akışkanı su olduğunda evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık $59,9\text{ }^\circ\text{C}$ iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık $28\text{ }^\circ\text{C}$ civarlarındadır. Çalışma akışkanı olarak $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{su}$ nanoakışkan kullanılması durumunda da evaporatör sıcaklığı yaklaşık $57,9\text{ }^\circ\text{C}$ iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı $27\text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır.

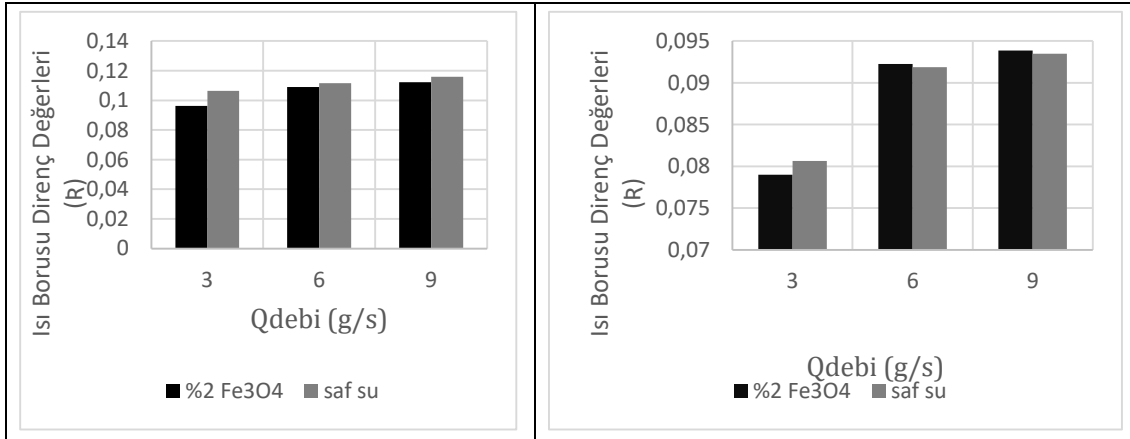


Şekil 2. Evaporatörde verilen ısının 300 Watt olması durumunda farklı soğutma suyu

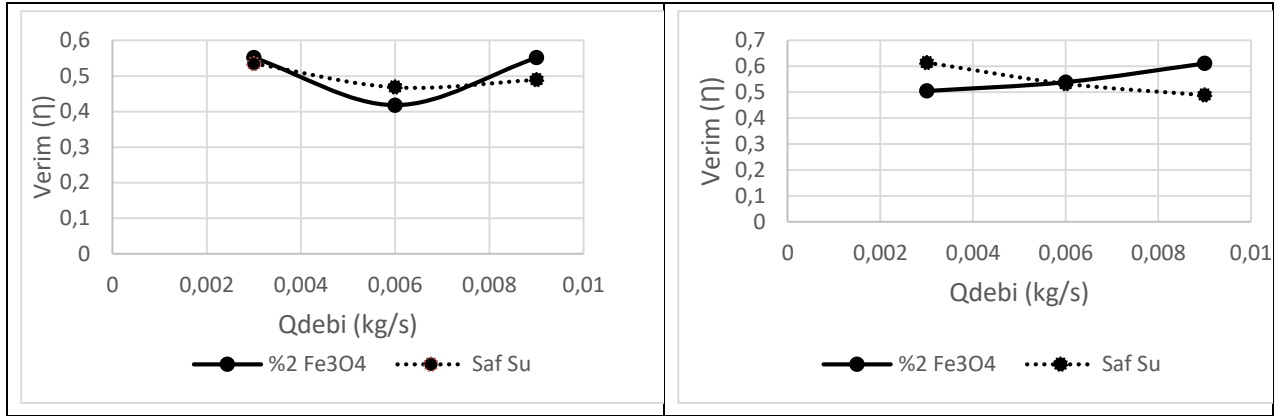




Şekil 3. Evaporatörde verilen ısınnın 400 Watt olması durumunda farklı soğutma suyu debileri için ısı borusu duvar sıcaklığının ısı borusu boyunca değişimi



Şekil 4. Soğutma suyu debisine göre ısı direnç R (K/W) değerleri a)300W b)400W



Şekil 5. Soğutma suyu debisine göre ısı verim değerleri a)300W b)400W

Soğutma suyu debisi $m=0.009$ kg/s olduğunda ise çalışma akışkanı olarak su kullanılması durumunda evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 59 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 23 °C civarlarındadır. Benzer olarak Fe₃O₄ /su nanoakışkan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık $56,4$ °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 22 °C civarındadır.

Şekil 3'de evaporatörde verilen ısının 400 Watt olması durumunda ve 3 farklı soğutma suyu debisinde ısı borusu duvar sıcaklığının ısı borusu boyunca değişimi verilmektedir. Soğutma suyu debisinin $m = 0.003$ kg/s olması durumunda evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık $71,7$ °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 41 °C civarlarındadır. Aynı deneyin Fe₃O₄/su nanoakışkanı kullanılması durumunda evaporatör sıcaklığı yaklaşık $69,7$ °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 41 °C civarındadır. Benzer şekilde soğutma suyunun diğer debileri için $m=0.006$ kg/s, debide yapılan deneyde çalışma akışkanı su olduğunda evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık $67,2$ °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 31 °C civarlarındadır. Çalışma akışkanı olarak Fe₃O₄/su nanoakışkan kullanılması durumunda da evaporatör sıcaklığı yaklaşık $65,9$ °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı $30,8$ °C civarındadır. Soğutma suyu debisi $m=0.009$ kg/s olduğunda ise çalışma akışkanı olarak su kullanılması durumunda evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık $62,7$ °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 25 °C civarlarındadır. Benzer olarak Fe₃O₄ /su nanoakışkan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 64 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 24 °C civarındadır.

Şekil 4'de ısı borusunun direncinin farklı soğutma suyu debisi ve farklı evaporatörde verilen ısıya bağlı olarak değişimlerini göstermektedir. Evaporatörde verilen ısının 300 Watt olması durumunda soğutma suyu akış debisine göre deneyler sonucunda çalışma akışkanının saf su kullanılmasında ısı direncinin ortalama $\%11,5$

civarında olduğu görülürken Fe₃O₄ /su nanoakışkanının kullanılması durumunda bu değer $\%10,8$ civarında olduğu görülmektedir. Benzer olarak evaporatördeki ısı gücün 400 Watt olması durumunda soğutma suyu akış debisine göre deneyler sonucunda çalışma akışkanının saf su olması durumunda ısı direncinin ortalama $\%8,6$ civarında olmasına rağmen bu değer çalışma akışkanı olarak $\%2$ 'lik Fe₃O₄ /su nanoakışkanı kullanıldığında $\%8,3$ değere düştüğü görülmektedir.

Termosifon tipi ısı borusunun performans deneylerinde elde edilen verimin çalışma akışkanı kullanımına bağlı olarak değişimlerinin seçilen çalışma parametrelere bağlı olarak Şekil 5'de gösterilmiştir. Evaporatörde verilen ısının 300 W olması durumuna göre 400 Watt'ta elde edilen verimin daha yüksek olduğu görülmektedir. 300 W güç için 6 g/s soğutma suyu debisinde nanoakışkanlı çalışma sıvısının kullanılmasındaki verim daha yüksek iken 400 W ısı gücü için 3 g/s debide daha yüksek verim elde edilmiştir. Aslında buda sistemin çalışma parametrelerinin değişimine göre tercih edilmesi gereken çalışma şartlarını gösterdiği görülmektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Isı boruları, hareketli parça olmaması ve enerji harcamadan büyük miktarda ısı transfer edebilme gibi birçok özelliğinden dolayı çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

DeneySEL çalışmada farklı çalışma parametreleri kullanılarak farklı çalışma sıvısında ısı borusunun performans değişiklikleri incelenmiştir. Manyetik nanoakışkanların baz çalışma sıvısı suya göre yaklaşık $\%20$ seviyesinde performans iyileştirmesi sağladığı ancak bunun evaporatörde verilen ısı ve kondenserden çekilen ısıya bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Cuma KILINÇ: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiştir ve makalenin yazım kısmında görev yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Choi, J.A., (1995). Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, in: D.A. Siginer, H.P. Wang (Eds.). *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, ASME, 231(2), 99-105.
- [2] Chien, H.T., Tsai, C.Y., Chen, P.H. ve Chen, P.Y. (2003, 28-30 October). *Improvement on thermal performance of a Disk-Shaped Miniature Heat Pipe with Nanofluid*. Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology, IEEE, Shanghai.
- [3] Wei, W.C., Tsai, S.H., Yang, S.Y. and Kang, S.W. (2005). Effect of Nano-fluid Concentration on Heat Pipe Thermal Performance. *IASME Transactions*, 2, 1432-1439.
- [4] Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H. and Yang, S.Y., (2006). Experimental investigation of Silver Nano-Fluid on Heat Pipe Thermal Performance. *Appl. Thermal Eng.*, 26(17), 2377-2382.
- [5] Liu, Z.H. and Lu, L. (2009). Thermal Performance of Axially Microgrooved Heat Pipe Using Carbon Nanotube Suspensions. *J. Thermophys Heat Transfer*, 23(1), 170-175.
- [6] Yang, X.F., Liu, Z.H. and Zhao, J. Heat Transfer Performance of a Horizontal Microgrooved Heat Pipe Using CuO Nanofluid. *J. Micromech Microeng.*, 18(3), 035038, (2008).
- [7] Tsai, C.Y., Chien, H.T. , Ding, P.P., Chan, B., Luh, T.Y. and Chen, P.H. Effect of Structural Character of Gold Nanoparticles in Nanofluid on Heat Pipe Thermal Performance. *Mater. Lett.*, 58(9), 1461-1465, (2004).
- [8] Liu, Z.H. and Shu, T. Application of Nanofluids in Thermal Performance Enhancement of Horizontal Screen Heat Pipe. *J. Aerospace Power*, 23, 1623-1627, (2008).
- [9] Chen, Y.T., Wei, W.C., Kang, S.W. and Yu, C.S. *Effect of Nanofluids on Flat Heat Pipe Thermal Performance*. Proceedings of the 24th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, IEEE, Dallas, (2008).
- [10] Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H. and Huang, C.C. Experimental Investigation of Nanofluids on Sintered Heat Pipe Thermal Performance. *Appl. Thermal Eng.*, 29, 973-979, (2009).
- [11] Shang, F.M., Liu, D.Y., Xian, H.Z., Yang, Y.P. and Du, X.Z. Flow and Heat Transfer Characteristics of Different Forms of Nanometer Particles in Oscillating Heat Pipe. *J. Chem. Indust.*, 58, 2200-2204, (2007).
- [12] Qu, J., Wu, H.Y. and Cheng, P. Thermal Performance of an Oscillating Heat Pipe with Al₂O₃ Water Nanofluids. *Int Common Heat Mass Transfer*, 37(2), 111-115, (2010).
- [13] Xue, H., Fan, J., Hu, Y., Hong, R. and Cen, K. The Interface Effect of Carbon Nanotube Suspension on The Thermal Performance of a Two-Phase Closed Thermosyphon. *J. Appl. Phys.*, 100(10), 104909, (2006).
- [14] Khandekar, S., Joshi, Y. and Mehta, B. Thermal Performance of Closed Two-Phase Thermosyphon Using Nanofluids. *Int. J. Thermal Sci.*, 47, 659-667, (2008).
- [15] Naphon, P., Assadamongkol, P. and Borirak, T. Experimental Investigation of Titanium Nanofluids on the Heat Pipe Thermal Efficiency. *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 35, 1316-1319, (2008).
- [16] Noie, S.H., Heris, S.Z., Kahani, M. and Nowee, S.M. Heat Transfer Enhancement Using Al₂O₃ Water Nanofluid in a Two-Phase Closed Thermosyphon. *Int. J. HeatFluid Flow*, 30(4), 700-709, (2009).
- [17] 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*, 54(1), 656-661, (2011).
- [18] Çiftçi, E., Sözen, A., Karaman, E., TiO₂ İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, (Lisans Tezi), "Journal of Polytechnic", Ankara, 367-376, (2016).