

ALİMÜNA İÇEREN NANOAKIŞKAN KULLANILARAK ISI BORULARININ PERFORMANSLARININ İYİLEŞTİRİLMESİ

M. Tarık ÇAKIR

Sağlık Bakanlığı, İnşaat Onarım Daire Başkanlığı, 06590, Kurtuluş, Ankara
mutlutar@gmail.com

(Geliş/Received: 06.08.2014; Kabul/Accepted: 06.10.2015)

ÖZET

Bu çalışmada, termosifon (fıtsız) tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak içerisinde hacimsel olarak %2 Al_2O_3 (Alumina) nano partiküller bulunan nanoakışkan kullanılarak ısı performansın artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için 13 mm çapında, 1m uzunluğunda bakır borudan yapılmış ısı borusu deney düzeneği hazırlanmıştır. Evaporatör bölgesi 40 cm uzunluğunda olup ısı kaynağı olarak elektrikli spiral bir ısıtıcı ile sarılarak dış bölgesi tamamen yalıtılmıştır. 20 cm adyabatik bölge ve diğer 40 cm kondenser bölgesidir. Kondenser etrafında ısının alınması için sürekli akışlı su soğutmalı bir paralel akışlı ısı değiştirici kullanılmıştır. Evaporatör ve kondenser bölgesine yerleştirilen dört noktadan sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde kondenser bölümünde ısının alınabilmesi için 3 farklı kütleli debi (5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s) kullanılmış, evaporatör kısmında ise ısı 3 farklı ısı (200W, 300W ve 400W) girişi sağlanmış ve ısı borusunun 2 farklı eğim açısı için deneyler yapılmıştır. Çalışma akışkanının ısı borusu performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, nanoakışkan, alimüna

IMPROVING THE EFFICIENCY PERFORMANCE OF HEAT PIPES USING ALUMINA CONTAINING NANO-FLUIDS

ABSTRACT

The present study aims to improve the efficiency of the heat pipe (without wick) using nano-fluid containing Al_2O_3 (alumina) nanoparticles at a concentration of 2% (v/v). For this purpose, an experimental setup comprised of a copper pipe of 1 m length and 13 mm diameter was prepared. The evaporator section was 40 cm long. An electrical spiral heater was wrapped around that section as the heat source and the whole section was completely insulated. A 20 cm section was assigned as the adiabatic section and the remaining 40 cm of the pipe was the condenser section. A continuous parallel flow cooling heat exchanger was used around the condenser to remove heat from the system. Temperature measurements were made at four locations at the evaporator and the condenser sections. The transfer of heat from the pipe in the condenser section was determined using three different fluid mass flow rates (5 g/s, 7.5 g/s ve 10 g/s) and the heat in the evaporator section was provided at three different power (200W, 300W ve 400W) settings. The experiments were conducted by placing the setup at two different inclination angles. The effect of the working fluid on the efficiency performance of the heat pipe was thus experimentally determined.

Keywords: Heat pipe, nano-fluid, alumina

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerji gereksiniminin artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artması, buna karşılık bir yandan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, diğer yandan da enerji sağlanması ve kullanılmasında çevre sorunlarının getirdiği sınırlamalar, mevcut enerji

kaynaklarının kullanımının yanı sıra yeni arayışları da beraberinde getirmektedir. Isı enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama aktarılmasında en önemli konu taşıma işleminin, en az güç harcanarak ve en verimli şekilde taşınmasıdır. Isı taşıyan pek çok sistem vardır. Isı boruları da ısı taşıyan sistemlerden biridir [1]. Isı borusu ilk olarak Gaugler tarafından 1944 yılında

yapılmıştır. Fakat ne yazık ki bu tarihlerde ısı değişimi için birçok klasik cihazın bulunması yüzünden bu buluş yeterli ilgiyi görmemiş ve uzun zaman unutulmuştur [2]. 1962 yılında Trefethen uzay araçlarında kullanılabilir bir ısı değiştiricisi fikrini ortaya atmıştır. Bu cihaz iç tarafında gözenekli fitil bulunan boş bir borudan ibaretti. Fakat bu yıllarda bu fikri gerçekleştirmek için hiçbir deney yapılmamıştır [2]. 1964 yılında Grover ve arkadaşları bundan önce yapılan çalışmalardan habersiz olarak, Gaugler'in cihazına benzer ısı değiştiriciyi keşfettiler ve adını ısı borusu (Heat Pipe) olarak zikretmişlerdir [3].

1964 yılından sonra ısı borusu performansı üzerine çeşitli konularda çalışmalar yapılmıştır. Isı borularında performansı etkileyen bir etken olan ısı borusundaki ısı direnci; ısı borusu içerisinde faz değişimi esnasında katı-sıvı ara yüzündeki buhar kabarcıklarının yapısıdır. Büyük boyuttaki kabarcık çekirdeği, katı yüzeyden sıvıya olan ısı transferini engelleyerek ısı direnci sebep olmaktadır [4].

Akışkan içerisine süspansiyon edilen partiküller akışkanın ısı kapasitesini büyütürler. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akış geçiş yüzeyinin, çalkantı ve türbülans şiddetinin artmasına neden olur. Daha yüksek ısı iletimiyle birlikte çalkantı şiddeti ve geniş yüzey alanı daha çok ısı transferine izin verir. 20 nm den küçük partiküller atomlarının % 20'sini yüzeylerine taşırlar, bu da onları ısı etkileşim için hazır hale getirir. Diğer bir avantaj ise çok küçük boyutlarından dolayı sıvıda mikro taşınımı ortaya çıkaran ve bundan dolayı ısı transferini artıran partikül hareketliliğidir[5].

Su, motor yağı ve etilen glikoz (antifriz) gibi akışkanlar ısı değiştiricilerde kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarıdır. Bu geleneksel akışkanların ısı transferi performanslarının düşük olması iyileşme veriminin az olmasına neden olmakta ve ayrıca ısı değiştiricinin küçük boyutlarda ve az yer kaplayan geometride olmasını sınırlamaktadır. 1990'lardan beri, araştırmacılar ısı transferi alanına nano-malzeme teknolojisi uygulamaya başladı ve ısı transferi geliştirme üzerinde çok anlamlı sonuçlar elde edildi. Temel akışkan içerisindeki nano partiküller kabarcık oluşumu esnasında buhar kabarcıkları üzerine etki ederek çok daha küçük çekirdekleşmenin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum ısı borusu içerisinde katı yüzeylerden sıvıya ısı geçişini kolaylaştırarak, ısı borularının ısı direncilerinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak temel akışkanın içerisine karıştırılacak metalik malzemelerin boyutları bu işlem üzerinde son derece önemli bir etkiye sahiptir. Isıl direncin azaltılabilmesi için karışımlarda kullanılacak metalik malzemelerin 100nm'den daha küçük parçacık boyutunda olması gerekmektedir [5-6]. Literatürde pek çok çalışma da farklı metal ve metal oksitleri içeren nanoakışkanlar kullanılarak ısı borularının performans deneyleri yapılmıştır. Choi

(1995), metaller (Au, Ag, Cu, Fe), metal oksitler (CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, Fe₃O₄), ve karbürleri (SiC, TiC), Nitrürler (AlN, SiN) nanometrik partiküller halinde baz sıvı içinde süspansiyon oluşturarak "nanoakışkan" kavramını geliştirmişlerdir [7].

Chien ve diğ. (2003), düz plaka ısı borusunda nanoakışkan uygulaması üzerine deneysel bir çalışma yapılmışlardır. Deneysel sonuçlar; nanoakışkan kullanılarak ısı borusu ısı direncinin farklı doluluk oranlarında saf su kullanımına göre daha az olduğunu göstermiştir. Nanoakışkanların kullanımı ile ısı direncinde ortalama % 40 azalma sağlanmıştır [9].

Wei ve diğ. (2005), nanoakışkan kullanan ısı borusunun ısı direnci, saf su kullanılan ısı borusuyla karşılaştırıldığında %28-44 oranında azaltıldığını tespit etmişlerdir [10].

Kang ve diğ.(2006) gümüş nanopartiküller ve saf sudan oluşan nanoakışkanlar kullanarak deneysel çalışmalar yapmışlardır. Gümüş nanoparçacık boyutları sırasıyla 10nm ve 35nm dir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki toplam ısı direnci nanoparçacık konsantrasyonu ve nanoparçacık boyutunun artması ile azalmıştır. Saf su kullanılan ısı borusuyla nanosiviler kullanarak ısı borusu karşılaştırıldığında ısı direnci; 10nm nanopartiküller için %50 ve 35nm için %80 oranında azalma olduğunu göstermektedir [11].

Liu ve Lu (2009) ve Yang ve diğ.(2008), su bazlı CuO nanoakışkan ve su bazlı karbon nanotüpler (CNT) çalışma sıvıları olarak kullanılmıştır. CuO nano sıvılar kullanarak ısı borusu ısı direnci üzerinde optimum %1'lik konsantrasyon ve optimum 75° eğim açısı da maksimum değerler elde edilmiştir [12-13].

Tsai ve diğ. (2004), silindirik örgü fitilli ısı borusu ile ilgili deneyler gerçekleştirmişler ve altın nanopartiküllerin sulu çözeltilerini kullanarak ısı borusunun ısı direncinin %20-37 azaldığını göstermişlerdir [14].

Liu ve Shu (2008), CuO-su karışımı nanoakışkan kullanarak silindirik bir örgü fitil ısı borusunun ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir. Isı borusunun ısı direnci, nanoakışkan kullanımında saf su kullanımına göre çok daha küçük olduğu belirlenmiştir [15].

Chen ve diğ. (2008), farklı güç girişlerinde (20-40 W) gümüş nanopartiküller ile su bazlı gümüş nanoakışkanlar kullanarak düz örgü fitil ısı borusunun performansını incelemişlerdir. Nanosiviler kullanarak ısı borusunun ısı direnci saf su kullanılan ısı borusu ile karşılaştırıldığında azalma gözlemlenmiştir [16]. Kang ve diğ.(2009), silindirik sinterlenmiş fitilli ısı

borusunun ısı direncini incelemişlerdir. Isı borusu bakır tozlarından yapılmış bir 1mm kalınlığında sinterlenmiş-fitil içermektedir. Deneyde; 10nm ve 35nm parçacık boyutlarına sahip olan gümüş nanopartiküller ve saf su kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarda ısı direnci, 60 W ısı yükü için %88 azalmıştır [17].

Shang ve diğ. (2007) farklı dolun oranları altında akışkan olarak Cu-su nanoakışkan ile bir kapalı devre titreşimli ısı borusunun ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir. Akışkan olarak damıtılmış su ile nanoakışkanın karşılaştırılması sonucunda; ısı borusunun Cu-su nanoakışkanların kullanımı %83 daha fazla ısı aktarma kapasitesini arttırdığı ortaya koyulmuştur [18].

Qu ve diğ. (2010), kapalı devre titreşimli ısı borusunda su bazlı Al_2O_3 nanoakışkan kullanımının termal performansında oluşturacağı etkiye dair deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel sonuçlarda ısı direncin % 32.5 azaldığını tespit etmişlerdir [19].

Xue ve diğ.(2006), kapalı iki fazlı termosifonda karbon nanotüp (CNT) kullanımının termal performansı üzerine etkisi hakkında araştırma yapmışlardır. Deneysel sonuçlarda CNT kullanarak ısı borusunun ısı direnci su kullanılan ısı borusu göre daha yüksek olduğu ve baz sıvıya CNT ekleyerek ısı borusunun termal performansının negatif yönde etkilendiğini tespit etmişlerdir [20].

Liu ve diğ. (2007), iki fazlı termosifonda CuO nanoparçacık kullanılmasının termal performansa etkisini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, ısı borusunun nanoparçacık ilavesiyle ısı transferi ve kritik ısı akısının da artırılabilceğini göstermiştir [21-22].

Khandekar ve diğ. (2008), su ve su bazlı Al_2O_3 ve CuO içeren nanoakışkanlar kullanarak kapalı iki fazlı termosifonun ısı direncini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre, nanoakışkanın kullanımının su kullanımına nazaran termal performansına etkisi negatif olmuştur [23].

Naphon ve diğ. (2008), titanyum-etanol nanoakışkanlar ve titanyum-su nanoakışkanlar kullanarak kapalı iki fazlı termosifon arasında ısı transferi performansı araştırmışlardır. Buharlaştırma ısı aktarım katsayısı; nanoakışkan kullanımında etanol kullanımına göre karşılaştırıldığında %10.6 artmıştır[24].

Noie ve diğ. (2009), Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ısı borusundaki performansını araştırmışlardır. %3 Al_2O_3 -Su karışimli nanoakışkanın ısı borusunda saf su ve diğer karışım oranlarına göre daha iyi performans verdiğini tespit etmişlerdir [25].

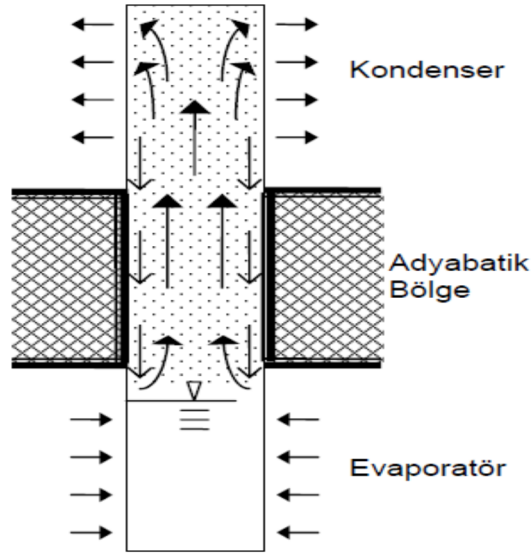
Huminc ve diğ.(2011), termosifon ısı borusunda saf su ve %2 ~ %5.3 konsantrasyonundaki Fe_2O_3 nanoakışkanlarıyla deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %5.3 derişimdeki nanoakışkan kullanımında suya göre termal performansta iyileşmeler gözlemlenmiştir [4].

Bu çalışmada; literatürden farklı olarak ortalama partikül çapı 10nm olan %2 Al_2O_3 (alümina) konsantrasyonunda saf su içerisine %0.2 Triton X-100 yüzey aktifleştirici kullanılarak ultrasonik banyoda yaklaşık 8 saat karıştırılarak elde edilen nanoakışkan ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanılmış ve termal performansın iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Triton X-100 yüzey aktifleştirici sayesinde literatürde çok sık rastlanan nanoakışkanın topaklanması ve ısı borusu üzerine yapışması önlenmiştir. Yüzey aktifleştirici oranı farklı olan çözeltiler hazırlanarak çökeltme ve topaklanma açısından gözlenmiş olup optimum oranın %0.2 olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmada farklı evaporatör ısı yükleri ve farklı kondenser soğutma suyu debileri için ısı borusu boyunca sıcaklık değişimleri ve termal performans değerleri ölçülmüştür.

2. ISI BORUSU (HEAT PIPE)

Isı borusu, küçük kesit ve yüzeylerden çok büyük miktarlarda ısı geçişine olanak sağlayan bir cihazdır. Sistem iç tarafından tabaka halinde bir fitil malzemesi ile kaplanmış içi boş silindirik bir borudan oluşmaktadır. Boru içinde aynı zamanda yoğuşabilen bir akışkan vardır. Akışkanın sıvı fazı kılcal olay yardımıyla fitil içinde hareket edebilmektedir. Buharlaştırıcı adı verilen borunun bir ucuna ısı verildiğinde, fitil içindeki akışkan buharlaşır ve buharlar borunun orta kısmında hareket ederler. Yoğuşurucu denilen borunun diğer kısmından ısı çekilirse bu bölgede buharlar yoğuşarak sıvı faza geçer ve sıvı fitil içinde kılcal olay dolayısıyla tekrar buharlaştırıcı kısmına geri döner. Boyuna doğrultuda ısı borusu buharlaştırıcı ve yoğuşurucu bölgelerinden meydana gelmiştir. Ayrıca buharlaştırıcı ve yoğuşurucu bölgeleri birbirinden ayırmak için ikisi arasında üçüncü bir yalıtılmış bölge vardır [2]. Cihazın çalışma şeması Şekil 1 de görülmektedir.

Bir ısı borusu, ısıyı vakumlu bir metal boruyla bir noktadan diğer bir noktaya taşır. Boru, genelde %90'ı su, geri kalan kısmı ısı transferini optimize edecek maddeler olan bir sıvı içerir. Isı borusu (Heat-pipe), ısı iletimini iyileştirmeye yarayan bir yöntemdir. Isı borusu yönteminde; ısı, içinde kimyasal madde olan bir boru aracılığıyla soğutma yapılacak noktaya iletilir. Isı borusu, vakum prosesi uygulanmış, iç yüzeyleri gözenekli kılcal fitil ile kaplanmış kapalı boru veya farklı şekilli odalardır. Fitil bulunmayan ısı boruları termosifon olarak adlandırılır.



Şekil 1. Isı borusunun çalışma şeması (Heat pipe operating schema)

2.1 Deneysel Düzenek (Testing Apparatus)

Deneysel çalışmalar farklı aşamalardan meydana gelmektedir ve ilk adımını nanoakışkanın hazırlanması oluşturmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan nano partiküller alüminyum oksit (Al₂O₃). Temel akışkan olarak ise saf su kullanılmıştır. Isıl iletkenliği bilinen Al₂O₃ saf suyun içerisine %2 hacimsel oranda ortalama 10nm boyutunda nanopartikül ilave edilerek elde edilen süspansiyon ultrasonik banyoda 4 saat karıştırılmıştır. Ayrıca karışıma yüzey aktifleştirici olarak %0.2 oranında Triton X-100 ilave edilmiştir. Bu işlem sonucu elde edilen nanoakışkanın ısıl özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Deneysel düzenek şematik resmi Şekil 2’de görülmektedir. Deneysel düzenekte

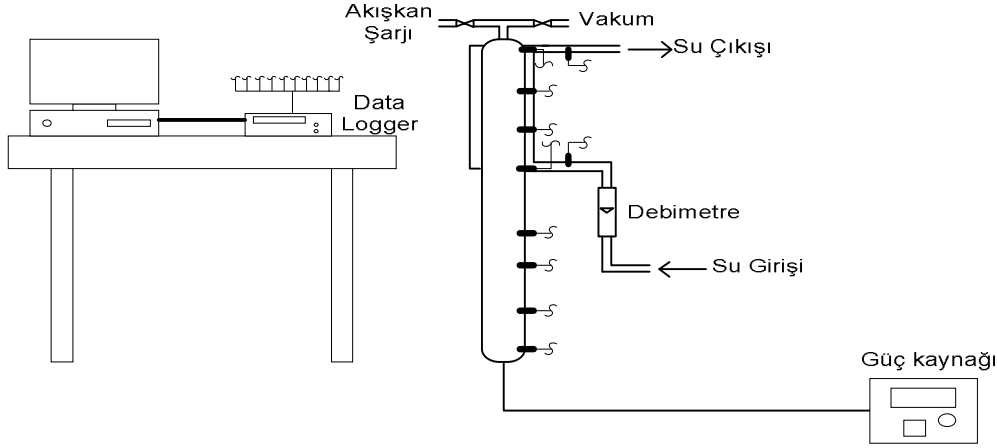
istenilen bölgelerin anlık sıcaklık değerlerinin ölçümü için 10 adet ısı çifti, akış kontrolü için debimetre, vakum işlemini gözlemleyebilmek için manometre, akışkanın doldurulması için doldurma musluğu ve güç kaynağı bulunmaktadır. Veri toplama için bir adet bilgisayar, data logger kullanılmıştır (Şekil 3-4).

Tablo 1. %2 derişimindeki alümina nanoakışkanının termal özellikleri (Thermal characteristics of 2% concentration alümina nanofluids)

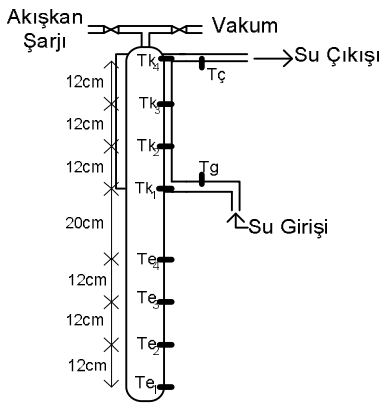
Yoğunluk (d)	kg/m ³	1056.1384
Özgül Isı (C _p)	j/kgK	3931.5972
Isıl İletkenlik (K)	W/mK	0.62337083



Şekil 2. Isı borusunun deneysel düzenekinin görünümü (Schematic diagram of heat pipe testing apparatus)



Şekil 3. Deneysel düzeneğin Şematik Gösterimi (Schematic diagram of testing apparatus)



Şekil 4. Isı borusunda ısıçift yerleşimi (Lay-out of thermocouples on heat pipe)

Deneysel düzeneği; 1 adet ısı borusu, 1 adet debimetre, 1 adet manometre, 10 adet ısıçift, 1 adet data logger, doldurma vanası, güç kaynağı ve bilgisayardan oluşmaktadır.

3. NANOAKIŞKAN TEKNOLOJİSİ (NANO-FLUID TECHNOLOGY)

Isı transferi cihazları üzerinde ki mevcut araştırma ve gelişim çabalarına rağmen klasik ısı transfer akışkanlarının düşük ısıl iletkenliği bu cihazların performansları üzerinde önemli kısıtlamalara neden olmuştur. Oda sıcaklığındaki bakırın ısıl iletkenliği suyunkinden yaklaşık 700 kat, motor yağından 3000 kat daha büyüktür.

Metal akışkanların ısıl iletkenlikleri ametal akışkanlarından çok daha fazladır. Bu nedenle katı partikül içeren akışkanların ısıl iletkenliklerinin geleneksel akışkanların ısıl iletkenliklerinden daha yüksek olması beklenir [31].

Sıvıların içerisine katı tanecik ekleyerek ısı transfer özelliğini iyileştirme çabaları çok daha önceleri de denenmiş bir yöntemdir, fakat büyük boyutlu katı taneler ancak yüksek hacimsel katkı oranlarında ısıl özelliklerde çok düşük oranda bir iyileşme sağlarken;

taneciklerin çökmesi, sistemde parçaların aşınması ve basınç düşümü gibi olumsuzluklar nedeniyle istenilen sonuçları vermemektedir. Üstelik gittikçe küçülen ısı değiştirici elemanların ve mikrokannaların bu mikrotanecik katkılı akışkanlar ile tıkanması mikro boyutlu taneciklerin kullanımını imkânsız kılmaktadır [5].

Argonne National Laboratory’de Choi tarafından nano boyuttaki partiküller temel akışkan içine karıştırılarak ısıl özellikleri iyileştirilmiştir. ısıl iletkenlikleri yüksek nano boyuttaki katı partiküllerin (bakır, gümüş, alüminyum vs.) klasik ısı transferi akışkanının içerisine katılmasıyla elde edilen yeni ısı transferi akışkanına “nanoakışkan” denilmektedir. Nanoakışkan; temel akışkan ve nanopartikülden oluşan süspansiyon olarak tanımlanabilir. Katı bir metalin ısıl iletkenliği temel akışkanından yüksek olduğu için temel akışkan içerisine katılan nano boyuttaki katı metaller; akışkanın ısıl iletkenliğini, taşınım özelliklerini ve ısı transferi performansını değiştirir [7]. Dünya genelindeki nanoakışkan araştırma gruplarından elde edilen araştırma sonuçları, nanoakışkanların bilinen ısı geçişi akışkanlarının sahip olduğundan çok farklı ısıl özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Bir çalışmada bilinen ısı geçişi akışkanlarına küçük miktarda (hacim konsantrasyonu %1’den daha az) nanoparçacık eklenmesi, akışkanların ısıl iletkenliğini hemen hemen iki katına kadar arttırmıştır [32].

3.1 Nanoakışkanların Hazırlanması (Nano-fluid Preparation)

Nanoakışkanlar basit katı-sıvı süspansiyonu değildir. Sıvı içerisine partikül ilave edilmesiyle elde edilen yeni akışkan aşığıdaki özellikleri sağlamalıdır.

- Kararlı (stabil) ve dayanıklı (durabil) bir süspansiyon oluşturmalıdır.
- Partiküllerdeki toplanma ihmal edilebilir düzeyde olmalıdır.
- Akışkanın kimyasal özelliklerini değiştirmemelidir [5].

Nanoakışkanlar nano boyutlarda katı partiküllerin temelde su, etilen glikol veya yağ gibi akışkanlara katılması ile hazırlanırlar. Nanoakışkan hazırlanmasında iki metot kullanılmaktadır.

1. Tek adım metodu
2. İki adım metodu

Tek adım metodu olarak bilinen yöntemin ana fikri temel akışkan içerisinde nano partikül üretimidir. İki adım metodunda önceden hazırlanmış olan nano partiküller temel akışkan içerisine uygun yöntemlerle karıştırılarak süspansiyon oluşturulur. Tek adım metodu ile karşılaştırıldığında iki adım metodu metalik partiküller için daha az uygun olmasına karşın oksit partikülleri için iyi sonuç vermektedir [33].

Genelde nanoakışkan süspansiyonu hazırlanırken kullanılan yöntemler üç türdür [34]:

- Süspansiyonun pH değerini değiştirmek.
- Yüzey aktivatörleri ve /veya seyrelticiler kullanmak.
- Ultrasonik titreşimler kullanmak.

Homojen partikül dağılımının sağlanması ve topaklanmanın azaltılması için ultrasonik ekipman kullanımının dışında yüzey aktivatörleri eklenmesi ve pH kontrolü gibi metotlarda kullanılmaktadır. Tüm bu teknikler, kararlı bir süspansiyon elde etmek için partiküllerin kümelenmesini ortadan kaldırmayı ve asılı partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmeyi amaçlamaktadır. Nanoakışkan süspansiyonlarında en büyük problem topaklanmadır. Topaklanmayı önlemek için partiküllerin ve çözeltilerin özelliklerine bağlı olarak süspansiyona uygun bir yüzey aktivatörü veya seyreltici çok az miktarda ilave edilmektedir. Genelde kullanılan aktivatörler ve seyrelticiler thioller, oleik asit ve laurate tuzlarıdır [35]. Seyrelticilerin eklenmesi özellikle yüksek sıcaklıklarda nanoakışkanların ısı transferi performansını etkilemektedir. Boru içindeki aşınma ve basınç düşümü problemleri düşük partikül hacim oranları kullanılarak (genellikle %5 den az hacimsel oranlarda) büyük ölçüde azaltılmaktadır [5].

3.2 Nanoakışkanların Isıl İletkenlikleri (Thermal Conductivity of Nano-fluids)

Isıl iletkenlik akışkanın ısı transferi performansını arttırmada önemli bir parametredir. Katı metallerin ısıl iletkenliğinin akışkanların ısıl iletkenliğinden daha yüksek olduğu için, süspansiyon edilmiş akışkanın ısıl iletkenliğini ve ısı transferi performansını arttırabileceği düşünülmektedir [5].

Nanoakışkanların ısıl iletkenliği hem partikülün hem de temel akışkanın ısıl iletkenliğine bağlıdır ve nanopartiküllerin hacimsel oranının artışıyla artar. Nanoakışkanın ısıl iletkenliği nanoakışkanın viskozitesine, temel akışkanın ısıl iletkenliğine, katı

partikülün özelliklerine (yoğunluğu, gizli ısısı gibi) ve nanopartikülün hacimsel oranına bağlıdır. Nanoakışkanın ısıl iletkenliği nanopartikül kümesinin dönme yarıçapıyla ve topaklanmanın oransal yapısıyla değişir. Akışkan içerisine süspansiyon edilmiş kümelerin dönme yarıçapı ne kadar küçükse nanoakışkanların ısıl iletkenliği o kadar büyük olur. Çünkü daha küçük kümeler birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket ederler ve nanoakışkan içerisinde daha güçlü enerji taşınımına neden olurlar [35].

Tüm bu faktörler dikkate alınarak nanoakışkanların ısıl iletkenliği;

- Hem temel akışkanın hem de nanopartikülün ısıl iletkenliği,
- Hacimsel oran,
- Yüzey bölgesi,
- Sıvı içerisine süspansiyon edilmiş nanopartiküllerin biçimi,

gibi parametrelerinin fonksiyonu olarak artar [5].

3.3 Nanoakışkan Hazırlanması (Preparation of nanofluid)

Ticari olarak satılan alümina nano parçacıkları istenilen nano boyutta olmadığı için Spex-8000 (Spex Industries, Inc., Edison, NJ) tipi bilyeli öğütücü ile ortalama 10nm'e getirilmiştir. Hazırlanan saf su içerisine %2 oranında alumina nanopartikülleri ilave edilmiştir. Yüzey aktifleştirici olarak hazırlanan süspansiyon içerisine %0,2 oranında Triton X-100 yüzey aktifleştirici katılarak 8 saat süreyle ultrasonic banyoda (Bandelin Sonorex Super RK514H) karıştırılmıştır. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran iki temel özellik bulunmaktadır. Bunlardan biri nanopartikül tanecik boyutunun literatürdekinden çok daha düşük hale gelmiş olması diğeri ise kullanılan yüzey aktifleştiricinin nanoakışkanın çökeltme ve topaklanma problemini çözmesidir. Kullanılan yüzey aktifleştirici Triton X-100 orjinalinde ticari olarak Rohm & Haas Co tarafından üretilmekte olup daha çok deterjan endüstrisinde kullanılmaktadır. Triton X-100 kimyasal olarak $(C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n)$ ifade edilir. Jelleşerek bir kayganlık sağlar ve temas açısını düşürür.

Temel akışkan-nanopartikül karışımının homojen bir şekilde karışması ve kararlı olabilmesi için uygulanan yöntemlerden biri karışımı bir süre ultrasonik titreşime maruz bırakmaktır. Deneysel çalışmada kullanılan Ultrasonik Banyonun teknik özellikleri aşağıdaki gibidir (Şekil 5).

- Voltaj: 230 V- 50 Hz
- Ultrasonik Gücü: 600 peak/300 Watt
- Isıtıcı Gücü: 500 Watt
- Ultrasonik Frekansı : 28 kHz



Şekil 5. Ultrasonik Banyo (Ultrasonic bath)

3.4 Deneysel Prosedürü (Testing Procedure)

Deneysel önce saf su ile sonra %2 oranındaki Al_2O_3 süspansiyonu ile yapılmıştır. Isı akışı sağlanacak olan akışkan kondensere 3 farklı ($m_1=0,005\text{kg/s}$, $m_2=0,0075\text{kg/s}$ ve $m_3=0,01\text{kg/s}$) debide verilmiştir. Sisteme 300W, 400W, 500W'lık farklı ısı enerjileri evaporatörden aktarılmıştır. Yapılan her deneyde 20 dakika süren kararlı hale ulaşma süresinden sonra veriler kaydedilmiş, akış şartları bir alt debi değerine ayarlanmış ve son debi değerine kadar deneyler tekrarlanmıştır. Isı borusunun 45° ve 75° 'lik eğim açıları için aynı işlemler tekrar yapılmıştır. Evaporatöre ısı girişi Ni-Cr spiral tipi ısıtıcı ile sağlanarak güç kontrolü sayesinde sabit ısı çalışma akışkanına aktarılmıştır. Aktarılan ısı wattmeter (Fluke-43b analyzer) ile kaydedilmiştir. Kondenserde kullanılan debi metre ± 0.01 g/s hassasiyetlidir.

3.5 Teorik Analiz (Theoretical Analysis)

Kondenserde soğutma suyu vasıtasıyla çekilen ısı miktarı Eş. 1'de verilmiştir. Soğutma devresinde su kullanılmaktadır. Suyun giriş ve çıkış sıcaklığı termokupul vasıtasıyla ölçülmüştür.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

Evaporatörde elektrikli ısıtıcı vasıtasıyla çalışma akışkanına verilen ısı ile kondenserde soğutma suyu tarafından çekilen ısı yardımıyla ısı borusunun verimi Eş.2 deki bağıntı ile hesaplanır.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_e} = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \quad (2)$$

Burada \dot{Q}_e sisteme verilen ısıdır (200W, 300W and 400W). Evaporatör tamamen yalıtıldığı için verilen ısının tamamının çalışma akışkanına aktarıldığı kabul edilmiştir.

Isı borusunun termal direnci ise Eş.3 kullanılarak hesaplanabilir:

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_{in}} \quad (3)$$

Burada $\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_e$ olup ΔT evaporator bölgesinde dört termokupul ile ölçülen sıcaklığın ortalaması ile condenser bölgesinde ölçülen dört sıcaklığın ortalaması arasındaki farktır ve Eş.4'de verilmiştir.

$$\Delta T = \left(\frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4}}{4} \right) - \left(\frac{T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} + T_{c4}}{4} \right) \quad (4)$$

3.6 Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Deneysel sonuçların belirsizlik değerleri deney parametrelerinin diferansiyeline bağlı olarak ölçülür. Yapılan deneysel çalışmalar üç kez tekrarlanarak aşağıdaki Eş.5'deki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$U_m = \sqrt{\frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta \dot{m}}{\dot{m}}} \quad (5)$$

Termokupul ile ölçülen sıcaklığın, debimetrenin ve wattmetrenin ölçme hassasiyetleri sırasıyla $\pm 0,5^\circ\text{C}$, $\pm 0,01$ g/s and ± 1 W, bulunmuştur. Bu değerlerle deney düzeneğinin ölçme belirsizliği $\pm 3\%$ arasındadır.

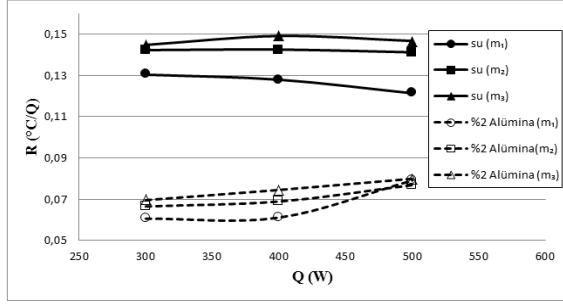
4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Çalışmanın amaçları, ısı borularında çalışma sıvısı olarak kullanılan saf su yerine, Al_2O_3 nano malzeme içeren daha yüksek ısı depolayabilme ve taşıyabilme özelliklerine sahip nano malzeme-saf su karışımı nanoakışkan geliştirilmesi ve bu nanoakışkan kullanımı ile,

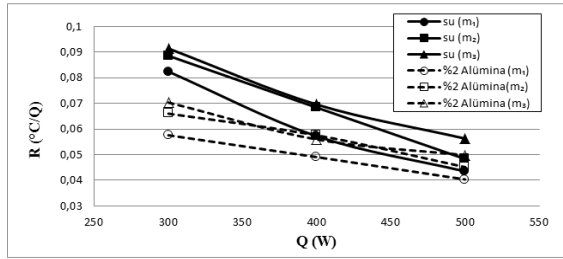
- Çalışma sıvısının yüzey gerilimi azaltılarak ısı borusunun ısıl direncini düşürmek,
- Evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki oldukça düşük sıcaklık farklarında ısı iletim miktarını arttırmak,
- Isı borusu performansını arttırmaktır.

Isı değiştiricilerde nanoakışkan kullanımının amaçlarından biri olan düşük ısı farklarında bile yüksek ısı aktarımı sağlamaktır. Farklı açılardaki ısı borusu eğimlerinde elde edilen ısıl direnç değerleri, 45° için Şekil 6' da 75° için Şekil 7'de verilmiştir.

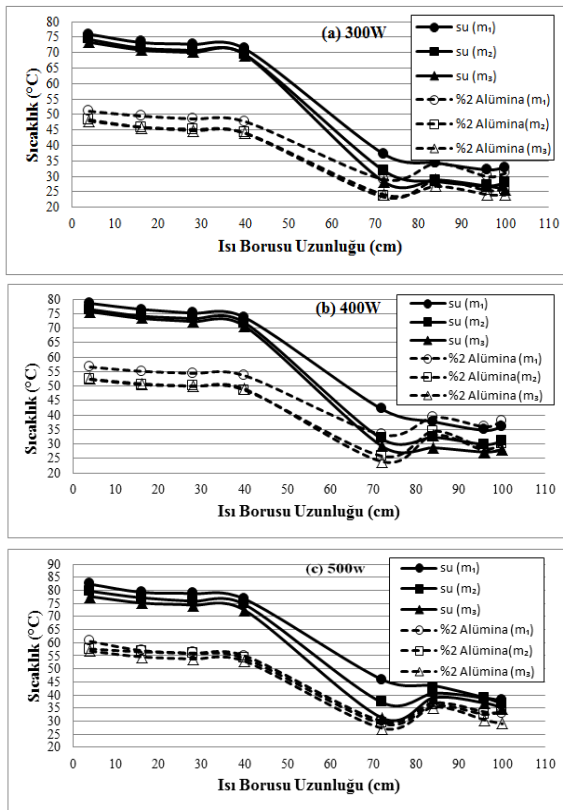
Nanoakışkan kullanımı ile ısı borusunun ısıl direnci 45° eğimli ısı borusu için 0,07 seviyelerinde iken saf su kullanımında 0,13 civarındadır. Nanoakışkan kullanımı ortalama olarak %46 ısıl direncin azalmasına neden olmuştur. Benzer durum ısı borusunun 75° eğimi içinde elde edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6. 45° lik ısı borusu açısıyla elde edilen ısı direnç grafiği (The thermal resistance figure getting from 45° heat pipe angle)



Şekil 7. 75° lik ısı borusu açısıyla elde edilen ısı direnç grafiği (The thermal resistance figure getting from 75° heat pipe angle)



Şekil 8. (a-c) Nanoakışkan ve saf su kullanılan 45° lik eğime sahip ısı borusunun belirli noktalarından ölçülen ortalama sıcaklıkların karşılaştırılması ((a-c) Comparison of mean temperature measuring from specific point in heat pipe having 45° slope using nano-fluid and water)

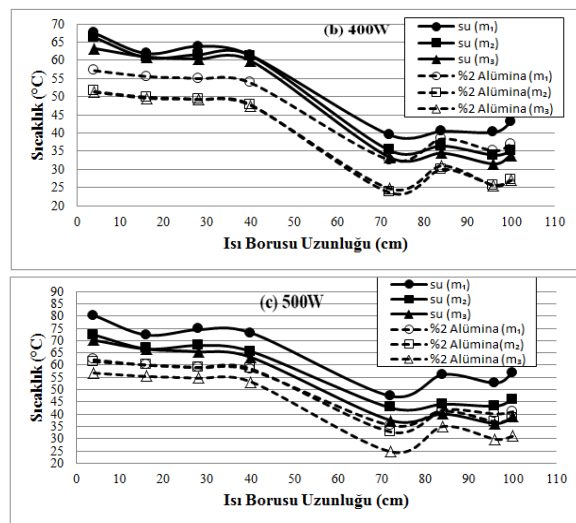
Isı direncin azalmasına neden olan nanoakışkan ile çalışan ısı borusunda çalışma akışkanının ısıyı

absorplayarak daha düşük sıcaklıkta buharlaşması ve bu suretle ΔT sıcaklık farkının düşmesidir. Daha düşük sıcaklıkta nanoakışkanın buharlaşması Şekil 8 a-c'de farklı ısı yükleri için verilmiştir. Saf su ısı borusunda vakum altında 75-80°C evaporatör sıcaklığında buharlaşırken nanoakışkan kullanılan ısı borusunda 45-50°C'larda buharlaşma sağlanmıştır. Bu da ısı direnci düşürmektedir.

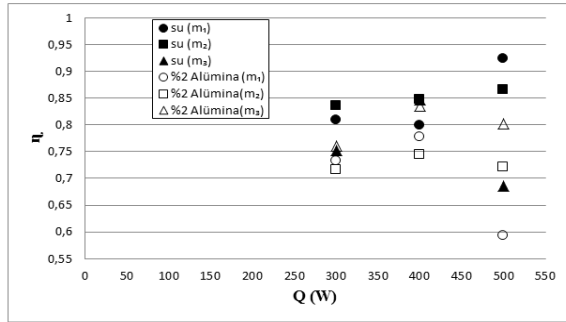
75° eğimli ısı borusu için ölçülen sıcaklıklar da ise 45°'ye göre bir ΔT sıcaklık farkında azalma görülmüştür. Dolayısıyla ısı dirençteki kazanç 45° ye daha düşük olmuştur. 75° eğimli ısı borusu için ölçülen sıcaklıklar ise Şekil 9 a-c'de farklı ısı yükleri için verilmiştir. 45° eğimli ısı borusuna benzer özellikler gösteriyor ancak sıcaklıklarda çalışma akışkanı olarak su kullanılmasındaki buharlaşma sıcaklığı düşerken nanoakışkan kullanılan ısı borusundaki buharlaşma sıcaklığı yükselmektedir. Bu da ısı direnci 45° ye göre artırmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmada ölçülen sıcaklık, ısı yükü, ve soğutma suyu debisine göre hesaplanan ısı borusu verim değerleride her iki eğim açısındaki ısı borusu için Eş.2'ye göre hesaplanarak Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11'de görüleceği üzere ısı borusunun performansında 75° eğimli ısı borusunda nanoakışkan kullanımının 7,5 g/s soğutma suyu debisinde, 300 ve 500W ısı yüklerinde ısı verimi önemli bir miktarda artırdığı görülmektedir. Isıl verim 300W için %85'lerden %95'lere çıkarken 500 W ısı yükünde %70'lerden %98'lere çıkmaktadır. Farklı soğutma suyu debileri ile farklı ısı yüklerinde çalışma akışkanının nanoakışkan ile kıyaslanması ise Şekil 12'de verilmiştir.

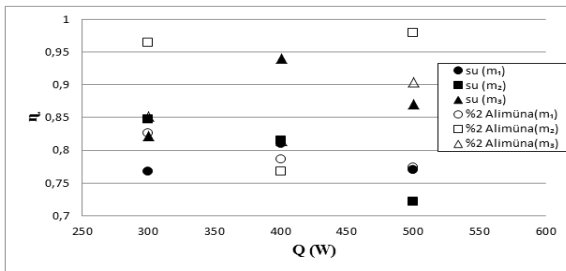
Çalışmanın sonuçları irdelendiğinde nanoakışkan kullanımının ısı borusunun ısı direncini azalttığı ve termal verimi artırdığı gözlenmiştir.



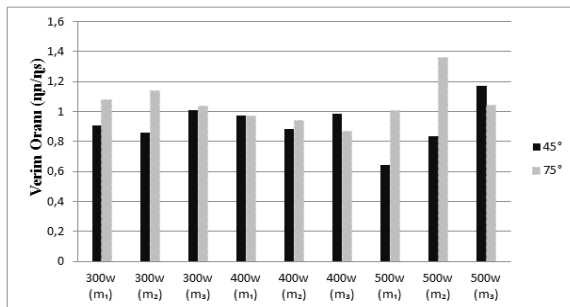
Şekil 9. (a-c) Nanoakışkan ve saf su kullanılan 75° lik eğime sahip ısı borusunun belirli noktalarından ölçülen ortalama sıcaklıkların karşılaştırılması ((a-c) Comparison of mean temperature measuring from specific point in heat pipe having 75° slope, using nano-fluid and water)



Şekil 10. Nanoakışkan ve saf su kullanılan 45° lik eğime sahip ısı borusunun verimlerinin karşılaştırılması (Comparison of effectiveness of heat pipe having 45° slope, using nano-fluid and water)



Şekil 11. Nanoakışkan ve saf su kullanılan 75° lik eğime sahip ısı borusunun verimlerinin karşılaştırılması (Comparison of effectiveness of heat pipe having 45° slope, using nano-fluid and water)



Şekil 12. 45° ve 75° yapılan deneylerde; Nanoakışkan verimlerinin saf su verimlerine göre karşılaştırılması (Comparison of nano-fluid efficiency with respect to pure water efficiency, on testing making at 45° and 75° angle)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Hareketli parçalarının bulunmaması büyük miktarlardaki ısıyı aktarabilmesi gibi birçok özelliğinden dolayı ısı boruları çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Isı borularının performanslarının iyileştirilmesi üzerine gerek geometrik, gerek yapısal ve gerekse çalışma akışkanları üzerine yoğunlaşılacak çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada ısı borusunda kullanılan çalışma akışkanının içerisinde nano boyutta partiküller içeren metal oksit kullanılmasıyla ısı performansının iyileştirilmesine katkı amaçlanmıştır. Bu doğrultuda literatürde nanoakışkanların en büyük sorunu olan çökeltme ve topaklanmayı engelleyen bir yüzey aktifleştirici kullanılmış ve performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece ısı borusunun ısıl direncini düşürmek, düşük sıcaklık farklarında ısı

iletim miktarını arttırmak ve ısı borusu performansını arttırmak amaçlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen verilere göre ısıl dirençte önemli düşüşler elde edilmiş ısıl verim değerlerinde tam bir stabilizasyon sağlamazken; 500W'lık giriş gücünde, 0,0075 kg/s'lik kütleli debide ve 75°'lik ısı borusu eğiminde nanoakışkan ile yapılan deneyde, aynı veriler için, su ile yapılan deneye göre % 35,7 verim iyileştirilmesi elde edilmiştir.

KISALTMALAR

C_p Özgül ısı kapasitesi, ($kJ kg^{-1}K^{-1}$)

\dot{m} Kütleli debi, ($kg s^{-1}$)

R Isıl direnç, (K/W)

\dot{Q} Isı yükü, (W)

T Sıcaklık, (K)

ΔT Sıcaklık farkı, (K)

ALTINDISLER

c Kondenser

e Evaporatör

HP Heat pipe

in Kondenser soğutma suyu girişi

nf nanoakışkan

out Kondenser soğutma suyu çıkışı

p partikül

w, water Deionized water

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. "Isı Borusu İle CPU Soğutulması", Atatürk Üniversitesi Meslek Seçmeli II Dönem Projesi, 2011.
2. Seven, M., Isı Borusunun Yalıtılmış Bölgesindeki Akının Analitik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2007.
3. Genceli, O.F., "Isı Borusu", İ.T.Ü. Makine Fakültesi Isı Tekniği ve Ekonomisi Araştırma Enstitüsü Bülteni, 1-29, 1976.
4. Humnic, G., Humnic, 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, Cilt 54, No 1, 656-661, 2011.
5. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karanlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M., "Nanoakışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi", Tübitak, Proje No: 105M292, 2010.
6. Sureshkumar, R., Mohideen, S., T., Nethaji, N., "Heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt 20, 397-410, 2013.
7. Choi, J.A., "Eastman, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in: D.A.

- Siginer, H.P. Wang (Eds.), **Developments and Applications of Non-Newtonian Flows**, ASME, 99–105, 1995.
8. Zhen, H.L., Yuan, Y.L., “A New Frontier of Nanofluid Research – Application of Nanofluids in Heat Pipes”, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, Cilt 55, 6786-6797, 2012.
 9. Chien, H.T., Tsai, C.Y., Chen, P.H., Chen, P.Y., “Improvement on thermal performance of a disk-shaped miniature heat pipe with nanofluid”, **Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology**, IEEE, 389-391, 2003.
 10. Wei, W.C., Tsai, S.H., Yang, S.Y., Kang, S.W., “Effect of nano-fluid concentration on heat pipe thermal performance”, **IASME Trans.** 2 1432–1439, 2005.
 11. Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H., Yang, S.Y., “Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance”, **Appl. Thermal Eng.** Cilt 26, 2377-2382, 2006.
 12. Liu, Z.H., Lu, L., “Thermal performance of axially microgrooved heat pipe using carbon nanotube suspensions”, **J. Thermophys Heat Transfer**, Cilt 23, 170-175, 2009.
 13. Yang, X.F., Liu, Z.H., Zhao, J., “Heat transfer performance of a horizontal microgrooved heat pipe using CuO nanofluid”, **J. Micromech Microeng.** Cilt 18, 2008.
 14. Tsai, C.Y., Chien, H.T., Ding, P.P., Chan, B., Luh, T.Y., Chen, P.H., “Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance”, **Mater. Lett.** Cilt 58, 1461-1465, 2004.
 15. Liu, Z.H., Shu, T., “Application of nanofluids in thermal performance enhancement of horizontal screen heat pipe”, **J. Aerospace Power**, Cilt 23, 1623-1627, 2008.
 16. Chen, Y.T., Wei, W.C., Kang, S.W., Yu, C.S., “Effect of nanofluids on flat heat pipe thermal performance”, **Proceedings of the 24th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium**, IEEE, 16-20, 2008.
 17. Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H., Huang, C.C., “Experimental investigation of nanofluids on sintered heat pipe thermal performance”, **Appl. Thermal Eng.**, Cilt 29, 973-979, 2009.
 18. Shang, F.M., Liu, D.Y., Xian, H.Z., Yang, Y.P., Du, X.Z., “Flow and heat transfer characteristics of different forms of nanometer particles in oscillating heat pipe”, **J. Chem. Indust.** Cilt 58, 2200-2204, 2007.
 19. Qu, J., Wu, H.Y., Cheng, P., “Thermal performance of an oscillating heat pipe with Al₂O₃-water nanofluids”, **Int Commun Heat Mass Transfer**, Cilt 37, 111-115, 2010.
 20. Xue, H., Fan, J., Hu, Y., Hong, R., Cen, K., “The interface effect of carbon nanotube suspension on the thermal performance of a two-phase closed thermosyphon”, **J. Appl. Phys.** Cilt 100, 2006.
 21. Liu, Z.H., Yang, X.F., Guo, G.L., “Effect of nanoparticles in nanofluid on thermal performance in a miniature thermosyphon”, **J. Appl. Phys.**, Cilt 102, 2007.
 22. Liu, Z.H., Yang, X.F., Wang, G.S., Guo, G.L., “Influence of carbon nanotube suspension on the thermal performance of a miniature thermosyphon”, **Int. J. Heat Mass Transfer**, Cilt 53, 1914-1920, 2010.
 23. Khandekar, S., Joshi, Y., Mehta, B., “Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids”, **Int. J. Thermal Sci.**, Cilt 47, 659-667, 2008.
 24. Naphon, P., Assadamongkol, P., Borirak, T., “Experimental investigation of titanium nanofluids on the heat pipe thermal efficiency”, **Int. Commun. Heat Mass Transfer**, Cilt 35, 1316-1319, 2008.
 25. Noie, S.H., Heris, S.Z., Kahani, M., Nowee, S.M. “Heat transfer enhancement using Al₂O₃/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon”, **Int. J. Heat Fluid Flow**, Cilt 30, 700-709, 2009.
 26. Çıkmış, A., “**Isı boruları**”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1988.
 27. Alt, N.,” **Tek Kanallı Isı Borusu İle Çok Kanallı Isı Borusu Verimlerinin Karşılaştırılması**”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010.
 28. Yüksel, T., “**Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Isı Borulu Güneş Kolektörünün Kullanılabilirliğinin Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması**”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1998.
 29. Ong, K.S., Haider-E- Alahi, M., “Performance of a R-134A filled thermosyphon”, **Applied Thermal Engineering**, Cilt 23, 2373-2381, 2003.
 30. Feldman, K.T. and Whiting, G.H., “Applications of the Heat Pipe”, **Mechanical Engineering**, Cilt 90, 48-53, 1968.
 31. Touloukian Y. S., Powell R. W., Ho C. Y., and Klemens, P. G., “Thermophysical Properties of Matter”, **Plenum Press**, New York, Cilt 2, 1970.
 32. Choi, S. U. S., Zhang Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E. and Grulke, E. A., “Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspensions”. **Applied Physics Letters**, Cilt 79, 2252-2254, 2001.
 33. Wang X., Mujumdar A.S., “Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: A Review”, **International Journal of Thermal Sciences**, Cilt 46, 1-19, 2007.
 34. Xuan Y., Li Q., “Heat Transfer Enhancement of Nanofluids”, **International Journal of Heat and Fluid Flow**, Cilt 21, No 1, 58-64, 2000.
 35. Xuan Y., Li Q., Hu W., “Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids”, **AIChE Journal**, Cilt 49, No 4, 1038-1043, 2003.