



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanların ısı borusu performansına etkisinin incelenmesi

Investigation of the effect of CuO/water and ZnO/water nanofluids on heat pipe performance

Yazar(lar) (Author(s)): İpek AYTAÇ

ORCID: 0000-0003-1213-8325

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Aytaç İ., “CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanların ısı borusu performansına etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 963-971, (2021).

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

DOI: 10.2339/politeknik.755358

CuO/su ve ZnO/su Nanoakışkanların Isı Borusu Performansına Etkisinin İncelenmesi

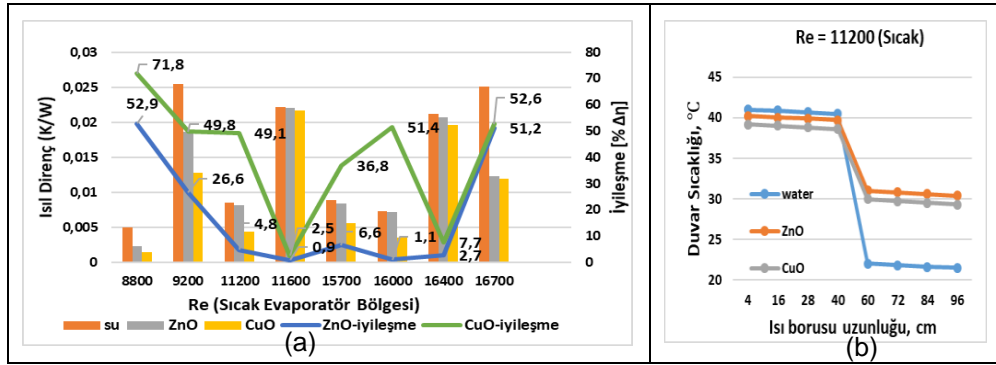
Investigation of the Effect of CuO/Water and ZnO/Water Nanofluids on Heat Pipe Performance

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ CuO ve ZnO içeren nanoakışkanlar hazırlanmıştır/Nanofluids containing CuO and ZnO are prepared.
- ❖ Termodinamik özellikler belirlenmiştir/Thermophysical properties are determined.
- ❖ Isı borusu performansının arttığı belirlenmiştir/It was determined that the heat pipe performance increased.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Isı borusu boyunca ölçülen duvar sıcaklıkları ve Reynolds sayısına bağlı olan ısı direnç ve performansı iyileştirme yüzdelerinin grafikleri incelenmiştir/The graphs of the wall temperatures measured along the heat pipe and the thermal resistance and performance improvement percentages depending on the Reynolds number are examined.



Şekil. Isıl direnç ve iyileşme yüzdelerinin Re sayısına bağlı olarak değişimi (a) ve duvar sıcaklıkları (b) / Figure. Change of heat resistance and recovery percentages depending on the number of Re (a) and wall temperatures (b).

Amaç (Aim)

Nanoakışkanlar ile ısı borusu performansının artırılması /Increasing heat pipe performance with nanofluids.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Tasarlanan ısı borusunda deneysel çalışma yapılmıştır/Experimental work has been done on the designed heat pipe.

Özgünlük (Originality)

Özgün yanı, CuO ve ZnO parçacıkları içeren akışkanların kullanılması ve kıyaslanmasıdır Its special feature is the use and comparison of fluids containing CuO and ZnO particles.

Bulgular (Findings)

Sıcak ve soğuk bölgelerde performanstaki en yüksek iyileşmenin olduğu hızlar sırasıyla 0,555m/s ve 0,751m/s'dir/The speeds with the highest improvement in performance in hot and cold regions are 0,555m/s and 0,751 m/s, respectively.

Sonuç (Conclusion)

Baz sıvıya nanoparçacık ilavesi, ısı borunda ısı transfer özelliklerini arttırmıştır/The addition of nanoparticles to the base liquid increased heat transfer properties in the heat pipe.

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.

CuO/Su ve ZnO/Su Nanoakışkanların Isı Borusu Performansına Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İpek AYTAÇ*

Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 19.06.2020 ; Kabul/Accepted : 29.06.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 29.06.2020)

ÖZ

Çalışmanın amaçları; ısı borularında çalışma sıvısı olarak kullanılan saf su yerine, CuO ve ZnO nano parçacık içeren çok daha yüksek oranda ısı depolayabilme ve taşıyabilme özelliklerine sahip nano parçacık-saf su karışımı nanoakışkanların geliştirilmesi ve bu nanoakışkanların kullanımı ile çalışma sıvısının yüzey gerilimi azaltılarak ısı borusunun ısıl direncini düşürmek, evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki oldukça düşük sıcaklık farklarında bile ısı iletim miktarını arttırmak ve dolayısıyla ısı borusu performansını arttırmaktır. Çalışmada kullanılan ısı borusu 90°'lik açıyla konumlandırılmış, 1 m uzunluğunda, iç ve dış çapı sırasıyla 13 mm ve 15 mm olan bakır bir borudur. Isı borusunun 400 mm'lik kısmı yoğunlaşma bölgesini, 400 mm'lik kısmı buharlaşma bölgesini, geriye kalan 200 mm'lik kısmı ise adyabatik bölgeyi oluşturmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada ısı borusunun evaporatör hacminin 1/3'lük kısmına denk gelecek şekilde 65 ml kadar iş akışkanı ile doldurulmuştur. Deneysel su ve nanoakışkanlar için ayrı ayrı yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Reynolds sayısı değeri 8800 ve sıcak hava hızı 0,555 m/s iken her iki CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanları için ısıl dirençte en yüksek iyileşme oranı sırasıyla %71.8 ve % 52.9 olarak elde edilmiştir. Soğuk hava hızı 0,751 m/s iken bu değerdeki iyileştirme oranlarının CuO/su nanoakışkanı için %73.7 olduğu ve ZnO/su nanoakışkanı için %50.9 olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, nanoakışkan, ısıl performans.

Investigation of the Effect of CuO/Water and ZnO/Water Nanofluids on Heat Pipe Performance

ABSTRACT

The purpose of the study is to develop nanofluid-pure water mixture, which contains CuO and ZnO nanoparticles and has the ability to store and carry a much higher rate of heat than pure water, instead of pure water used as working fluid in heat pipes. In addition, by using these nanofluids, the surface tension of the working fluid is reduced, reducing the thermal resistance of the heat pipe, increasing the heat conduction amount even at very low temperature differences between the evaporator and condenser regions, and thus increasing the heat pipe performance. The heat pipe used in the study is a 1 m long copper pipe with an internal and external diameter of 13 mm and 15 mm, respectively, positioned at an angle of 90°. The 400 mm part of the heat pipe constitutes the condensation zone, the 400 mm part constitutes the evaporation region and the remaining 200 mm part is the adiabatic region. In the experimental study carried out, it was filled with 65 ml of work fluid, corresponding to 1/3 of the evaporator volume of the heat pipe. Experiments were carried out separately for water and nanofluids, and the results obtained were compared. The Reynolds number value was 8800 and the hot air speed was 0,555 m / s, while the highest recovery rate for both CuO/water and ZnO/water nanofluids was 71.8% and 52.9%, respectively. While the cold air velocity is 0,751 m / s, the improvement rates in this value are 73.7% for CuO / water nanofluid and 50.9% for ZnO / water nanofluid.

Keywords: Heat pipe, nanofluid, thermal performance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan nüfus, sanayi ve teknolojiye gelişmeler enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artmasına yol açmaktadır. Her geçen gün artan enerji talebiyle birlikte başta petrol olmak üzere fosil enerji kaynakları da tükenmektedir. Diğer yandan bu tür fosil yakıt tüketimi sonucu, atmosfere bırakılan CO₂ salımı ile küresel ısınmaya yol açan gaz emisyonlarının sebep olduğu çevre sorunları önemli bir problem haline gelmiştir. Son yıllarda dünyanın gündemini meşgul eden bu problemler için çözüm arayışı, hem önlemler almayı hem de yeni arayışlara yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Enerji

verimliliği konusu, bu çözüm arayışlarının başında gelmektedir [1].

Enerji atıklarının değerlendirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve mevcut enerji kayıplarının olabildiğince önlenmesi son derece önemlidir. Sosyal refahı engellemeden yapılacak enerji tasarrufunun, ülkelerin enerji teminiyle ilgili sorunlarının çözümüne katkıları olacaktır. Üretim, sanayi, ulaşım vb. sektörlerde ortaya çıkan atık ısı enerjilerinin çeşitli yöntemlerle geri kazanılarak enerji tasarrufu sağlanması mümkündür. Endüstriyel süreçlerde de enerjinin etkin ve verimli kullanılması, sadece ülke ekonomisine katkı sağlamayacak, ayrıca üretilen ürünün birim maliyetini de azalacaktır. Böylece, sanayi kuruluşlarının iç ve dış pazardaki rekabet gücünü arttıracaktır,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : iaytac@thk.edu.tr

enerji giderleri ve çevre kirliliği de büyük oranda azalacaktır. Isı enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama aktarılmasında en önemli konu, en az güç harcanarak ve en verimli şekilde gerçekleşmesidir. Isı iletimi sağlayan birçok sistem mevcuttur. Isı boruları da ısı taşımakla görevli bu sistemlerden biridir. Isı borularının diğer konvansiyonel ısı taşıma sistemlerine göre birçok avantajı vardır. Isı boruları, fazladan bir güç kaynağına ihtiyaç duyulmaksızın büyük miktarlardaki ısının, çok küçük kesit alanları ile taşınabilmesini mümkün kılar. Ayrıca tasarımının basit ve üretiminin kolay olması, bakım gerektirmemesi dolayısıyla kullanım ömürlerinin uzun olması, maliyetinin düşük olması, çok küçük sıcaklık farklarında bile çalışmaya uygun olması gibi üstünlükleri ısı borularını cazip kılmaktadır [2].

Isı borusu fikri ilk olarak Gaugler tarafından 1944 yılında ortaya atılmıştır. Fakat bu tarihlerde ısı transferi için birçok klasik cihazın bulunması bu buluşun yeterli ilgiyi görmesine engel olmuştur [2]. Gaugler yaptığı çalışmada, cihazın temel işlevinin, buharlaşan akışkanın üst bölgeye taşınıp burada yoğunlaşması olduğunu göstermiştir. 1964 yılında Grover ve arkadaşları bundan önce yapılan çalışmalardan habersiz olarak, Gaugler'in cihazına benzer ısı taşınım cihazını keşfederek ilk kez ısı borusu (Heat Pipe) olarak adlandırmışlardır [3].

Isı boruları evaporatör, adyabatik ve kondenser bölgesi olarak adlandırılan üç temel kısımdan oluşan ısı transfer cihazıdır. Vakumlandıktan sonra içerisine bir miktar çalışma akışkanın şarj edilerek hazırlandığı, kapalı ortamda akışkanın faz değişimine dayanan bir ısı değiştiricisi tipidir [1]. Isı borusunun evaporatör bölgesinden ısı girişi olduğunda içerisindeki akışkan buhar fazına geçerek yukarı doğru hareket eder ve kondenser bölgesine geldiğinde buradaki düşük sıcaklığın etkisiyle yoğunlaşmaya başlayarak sıvı fazına geçer. Sıvı fazındaki akışkan ise yer çekiminin etkisiyle tekrar buharlaştırıcı bölgesine geri döner. Sisteme evaporatör bölgesinden ısı girişi devam ettiği sürece de bu çevrim devam eder.

Endüstriyel, iklimlendirme, ısıtma ve soğutma, elektronik vb. alanlarda su, yağ, etil alkol, hava gibi konvansiyonel ısı transferi akışkanları kullanılmaktadır. Fakat ısı transferinde kullanılan geleneksel iş akışkanlarının düşük ısı transferi özellikleri verimlilik açısından karşılaşılan büyük engellerden biridir. Bu akışkanların ısı iletimlerini yükseltmek amacıyla çeşitli yöntemler denenmiştir. Bunlardan birisi de konvansiyonel akışkanların içerisine nano boyuttaki metal parçacıklar eklenmek suretiyle oluşturulan nanoakışkanlardır. Nanoakışkanların kararlı yapıları, taneciklerin küçük boyutlu olması sayesinde akışkanda mikro hareketliliğe neden olan nano partiküllerin hareketleriyle ısı taşınımını artırması, ısı transfer alanını genişletmesi gibi özellikleri onları geleneksel akışkanlara kıyasla daha cazip kılmaktadır.

Son yıllarda nanoakışkanların ısı borularında kullanılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır.

Chien ve diğ., düz plaka tipli ısı borusunda nanoakışkan kullanılması ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel sonuçlarına göre; nanoakışkan kullanılmasıyla,

saf su kullanımına göre ısı borusu ısı direncinin daha az olduğunu belirtmişlerdir. Nanoakışkanların kullanımı ile ısı dirençte ortalama % 40 azalma sağlandığını göstermişlerdir [4].

Xue ve diğ., iki fazlı kapalı termosifonda karbon nanotüp (CNT) kullanımının termal performans üzerine etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Sonuçlarda, CNT kullanılmasıyla ısı borusunun ısı direnci su kullanılan ısı borusu direncine göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bazı sıvıya CNT ekleyerek ısı borusunun termal performansının negatif yönde etkilendiği sonucuna varmışlardır [5].

Naphon ve diğ., bu çalışmada, soğutucu-nano partiküllerin karışımları kullanılarak ısı borusu verimliliğinin artırılmasını amaçlamışlardır. Düz bakır borudan imal edilen bir ısı borusu ile çalışmışlardır. Soğutucu akışkan (R11), temel çalışma akışkanı olarak kullanılmış, titanyum nano partikülleri kullanılarak çalışma sıvısı yük miktarının ve ısı borusu eğim açısının ısı borusunun verimliliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, çalışma sıvısı olarak kullanılan saf soğutucu akışkan için, 60° eğim açısı ve %50 çalışma sıvısı yük miktarının ısı borusu için en yüksek verimi sağladığını tespit etmişlerdir [6].

Gürü ve diğ., çalışma akışkanı olarak bentonit içeren nanoakışkanın, bir ısı borusunda kullanılmasının evaporatör bölümünde uygulanan farklı ısıtma güçlerinde ve kondenser bölümünde uygulanan farklı kütle debilerinde, verime etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Ek olarak, konsantrasyon değişiminin ısı borusu üzerindeki etkilerini görmek için farklı nanoparçacık konsantrasyonlarında (%0.5, %2 ve %4) deneyler yapmışlardır. Bentonit içeren nanoakışkanın çalışma akışkanı olarak kullanılması durumunda 200 W' ta yapılan deneyde, ısı borusunun verimliliğinde %37' lik bir artış sağlandığını tespit etmişlerdir [7].

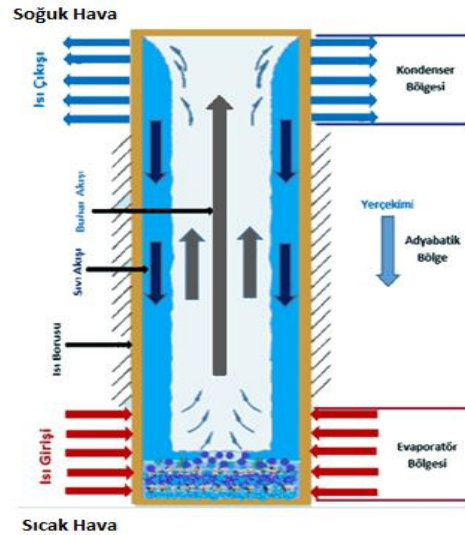
Teng ve diğ., nanoakışkan ile yüklenmiş bir ısı borusunun ısı veriminin artırılmasını araştırmak için ağırlıkça %0.5, %1 ve %3 olan üç farklı konsantrasyondaki Al₂O₃/su nanoakışkanını ısı borularında çalışma sıvısı olarak kullanmışlardır. Deneysel çalışmada su ve nanoakışkan yüklü ısı borularını sırasıyla test etmişlerdir. Çalışma akışkanının şarj miktarının, ısı borusunun eğim açısının ve nano partiküllerin ağırlık oranlarının, ısı borusunun ısı verimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre, ısı borusunun optimum koşulu nano parçacıkların ağırlıkça %1 olduğu durum olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu koşulda, ısı verim %16.8 olarak hesaplanmış ve suyla yüklü ısı borusundan daha yüksek olduğunu ve şarj miktarının %60' tan %20' ye düşürülebileceği sonucuna varmışlardır [8].

Yapılan bu çalışmanın literatüre katkısı, nano boyutta hazırlanmış, geleneksel akışkanlara göre ısı iletkenliği yüksek CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanları kullanılarak ısı borusunun ısı performansını iyileştirmektir.

2. ISI BORUSU (HEAT PIPE)

Isı boruları, küçük yüzeylerden oldukça büyük miktarlarda ısı enerjisi çekebilen ısı değiştiricileridir. Isı boruları, düşük basınç altında ve sıcaklıkları farklı ortamlar arasında ısı enerjisini taşımak amacıyla tasarlanıp kullanılırlar. Tamamen aynı özellikte parametrelere sahip içleri dolu metal çubuklarla karşılaştırıldıklarında, ısı borularının taşıdıkları ısı akısının metal çubuklara göre 1000-10000 kez daha fazla olduğu görülmüştür.

“Perkin Borusu” olarak adlandırılan “termosifon” mekanizması ısı borularının temelini oluşturmaktadır [9]. Termosifonda çevrim, yerçekimi etkisiyle gerçekleştiğinden, yoğunlaşma işleminin gerçekleştiği kondenser bölgesi üst tarafta ve buharlaşma işleminin gerçekleştiği evaporatör bölgesi ise alt tarafta olmalıdır. Isı borusunda ise, evaporatör ve kondenser konumlarında herhangi bir kural olmaz çünkü yoğunlaşma akışkan kılcal etkiler yardımıyla evaporatör bölgesine dönmektedir. Fitilli bir ısı borusunda yoğunlaşma çalışma akışkanı, ısı borusunda yer çekimine zıt yönde olacak şekilde çevrimini yapabilir. Isı borusu ile aynı çalışma prensibine sahip çift fazlı termosifonun çalışma prensibi ise şu şekildedir; vakumlanmış dik bir borudaki belirli miktardaki şarj edilmiş akışkan, dışarıdaki bir kaynaktan ısıya maruz kalır. Isı borusu duvarlarından akışkana



Şekil 1. Isı borusu çalışma prensibi şematik gösterimi (Schematic view of the heat pipe working principle)

Deneyde kullanılan ısı borusunun fiziksel özellikleri Çizelge 1’ de verilmiştir. Borunun buharlaşma bölgesinden Ni-Cr kablodan oluşan, ortalama gücü 1500 W olan bir elektrikli ısıtıcı kullanılarak ısı girişi sağlanmıştır. Buradaki giriş gücü ölçülmüş ve bir

Çizelge 1. Isı borularının fiziksel özellikleri (Physical properties of heat pipes)

Isı Borusu Malzemesi	Bakır
Isı Borusu Uzunluğu	1 m
Evaporatör Bölge Uzunluğu	400 mm
Kondenser Bölge Uzunluğu	400 mm
Adyabatik Bölge Uzunluğu	200 mm
Eğim Açısı	90°
Isı Borusu Sayısı	1 adet
Isı Borusu Dış Çap	15 mm
Isı Borusu İç Çap	13 mm

doğru ısı transferi gerçekleşir ve akışkan faz değiştirerek buhar fazına geçer. Buharlaşmanın meydana geldiği bu alt bölgeye evaporatör bölgesi denir. Dik borudaki buhar yukarı doğru hareket etmeye başlar ve üst ucunda gizli ısını boru dışındaki bir kaynağa vererek yoğunlaşmış sıvı faza döner. Burası kondenser bölgesidir. Sıvı fazdaki bu akışkan yerçekimi etkisiyle tekrar evaporatör bölgesine döner. Böylece çevrim tamamlanır (Şekil 1). Sonuç olarak ısı boruları, çalışma akışkanının faz değişiminden yararlanarak, ısının bir bölgeden başka bir bölgeye transferini gerçekleştirir.

wattmetre aracılığıyla (Fluke-43b analizör) görüntülenmiştir. Güç Watt cinsinden deneysel olarak ölçülmüştür. Isıtıcı yani buharlaşma bölgesi tamamıyla yalıtılmış ve deneysel olarak ölçülen ısıtıcı gücünün tamamının iş akışkanına aktarıldığı kabul edilmiştir. Isı borusunun yoğunlaşma bölümü, bu bölüm dışına yapılan bir cep vasıtasıyla soğutulmaktadır. Isı cep içerisinde dolaşan soğutucu akışkan aracılığıyla kondenserden atılmıştır. Soğutucu akışkanın debisini ayarlamak ve kontrol edilebilirliği sağlamak amacıyla bir akış ölçer kullanılmıştır. Tüm sistemdeki ısı kaybını en aza indirmek için ısı borusunun tüm bölümleri cam yünü ile yalıtılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğini genel görünümü (A general view of the experimental setup)

Isı borusu duvarı boyunca ısı dağılımını gözlemlemek için K tipi termokupllar kullanılmıştır. Soğutucu akışkanın sıcaklık değişimini gözlemlemek amacıyla bu termokuplların 4 tanesi kondenser bölgesine, 4 tanesi evaporatör bölgesine konumlandırılmıştır. Temokupllardan sıcaklık değerleri datalogger aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Çalışma akışkanı, ısı borusunun evaporatör bölgesinin hacminin 1/3'lük kısmı kadar olacak şekilde 65 ml kadar doldurulmuştur. Deneyler sırasında ısı borusu yatayla 90° açı yapacak şekilde tutulmuştur.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERİMENTAL STUDY)

3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması (Preparation of Nanofluids)

Çalışmada, ısı borularında çalışma sıvısı olarak kullanılan saf su yerine, nano boyutta CuO ve ZnO parçacıkları içeren yüksek ısı depolayabilme ve taşıyabilme özelliklerine sahip nano akışkanlar geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu nano akışkanların ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanımı sayesinde çalışma akışkanının yüzey gerilimi azaltılarak ısı borusunun ısıl direncini düşürmek, evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki oldukça düşük sıcaklık farklarında bile ısı iletim miktarını arttırmak böylelikle ısı borusu performansının yükseltilmesi amaçlanmıştır.

Nanoakışkanların deneyde kullanılmaya uygun hale getirilmesi amacıyla parçacıkların boyutu efektif nano düzeyine indirilmiştir. Bunun için, kırıcı ve bilyeli öğütücü kullanılarak işlenmeden önce boyutu 5-50 nm olan nano parçacıkların boyutunu küçültmek ve üniform nanopartiküller elde etmek hedeflenmiştir. Baz akışkan sıvısı içinde %2 kütleli derişimde karıştırılmak üzere CuO ve ZnO nano parçacıklarının boyutları sırasıyla 38

nm ve 18 nm olarak son haline getirilmiştir. Baz sıvı içindeki nanoparçacık oranının artması, nanoakışkanın termal performansının da artmasına olanak verir. Fakat, bu artışın basınç düşüşü, çökelmeye sebep olma vb. problemlere yol açabilmesinden dolayı çeşitli partikül oranları test edilerek optimum partikül oranının %2 olduğu belirlenmiştir.

Nanoakışkan süspansiyonu hazırlanırken kullanılan yöntemler üç şekilde sıralanabilir [9]:

- Süspansiyonun pH değerini kontrol etmek.
- Yüzey aktifleştirici madde kullanmak.
- Ultrasonik karıştırıcılar ile titreşimler sağlamak.

Hazırlanan bu çözeltiye, olası çökelmeleri engellemek amacıyla ve daha kararlı bir akışkan elde etmek amacıyla yüzey aktif özelliği olan Triton X-100, yüzey aktifleştirici madde %0.2 oranında eklenmiştir. Yüzey aktif madde; temas açılarını azaltarak, nanopartiküllerin dış bölgelerinin daha kolay ıslanmasına olanak sağlar, aynı zamanda yüzey gerilimini de azaltmaya yardımcı olur. Baz akışkanın içinde nano malzemenin daha homojen ve kararlı bir şekilde karışabilmesi amacıyla kullanılan nanoakışkan, ultrasonik banyoda 5 saat bekletilmiştir (Şekil 3). Ultrasonik banyo moleküller arasındaki çekim kuvvetini engelleyerek taneciklerin kümeleşmesine engel olmaktadır. Nanoakışkanlara ait termofiziksel özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Ultrasonik banyoda nanoakışkan hazırlama görüntüsü (View of fluid preparation in the ultrasonic bath)

Çizelge 2. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri (Thermophysical properties of nanofluids)

Nanoakışkan	Yoğunluk (kg/m ³)	Viskozite (kg/ms)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Öz Isı (J/kgK)
ZnO/su	1007,6	0,000936	0,665	4107,2
CuO/su	1006,3	0,000936	0,666	4106,28
Saf su	997	0,00089	0,6	4180

3.2. Teorik Analiz ve Hesaplamalar (Theoretical Analysis and Calculations)

Deneyler sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak, ısı borusunun performansı, ısı dirençleri ve ısı borusu boyunca sıcaklık değerleri değerlendirilerek analiz edilmiştir.

Kondenser bölgesindeki ısıyı çekmek amacıyla kullanılan soğutma havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı, havanın kütleli debisi ve özgül ısı değerleri; soğutucu akışkandan çekilen ısı transferi miktarını hesaplamada kullanılmıştır. Burada \dot{Q}_k kondenser bölgesinden çekilen ısıdır.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_c \times C_p \times (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad [\text{Watt}] \quad (1)$$

Benzer denklem evaporatör bölgesi için ısıtma havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı, sıcak havanın kütleli debisi kullanılarak evaporatör bölgesindeki nanoakışkanın buharlaşmasını sağlayan ısının (\dot{Q}_e) hesaplanmasında kullanılır.

Isı borusunun performansını değerlendirmede ısı direnç hesabı da önemli rol oynamaktadır.

Isıl direnç:

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_e} \quad \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (2)$$

Yoğuşturucu kısmından çekilen ısı miktarının buharlaştırıcı kısmına uygulanan ısı miktarına oranı, ısı borusunun performansını yani ısı verimi ifade eder ve aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_e} = \frac{\text{Kondenserdan sistemden çekilen ısı}}{\text{Evaporatörden sisteme verilen ısı}} \quad (3)$$

Ortalama sıcaklık farkı (ΔT) terimi, nanoakışkanın yoğunlaşma ve buharlaşma bölgelerinde ölçülen sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki fark olarak hesaplanmıştır.

$$\Delta T = \left(\frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4}}{4} \right) - \left(\frac{T_{k1} + T_{k2} + T_{k3} + T_{k4}}{4} \right) \quad (4)$$

Isı borusunun verimindeki iyileştirme saf su ve CuO/saf su ve ZnO/saf su nanoakışkanları kullanılarak belirlenmiştir. Deneyler ilk olarak ısı borusunun saf su ve daha sonra CuO ve ZnO parçacıkları içeren nanoakışkan ile doldurulmasıyla gerçekleştirilmiştir.

3.3. DENEY DÜZENİNDEKİ ÖLÇÜM BELİRSİZLİKLERİ (Measurements Uncertainties in Experiment Setup)

Deneyler sırasında meydana gelen çeşitli hatalar yüzünden deney sonuçlarında orantısızlık oluşabilmektedir. Dikkatsizlik, sıcaklık ölçmede kullanılan termokupulların ve diğer cihazların kalibrasyonlarındaki yanlışlar, ortam şartları, okuma hataları, cihaz, donanım ve malzeme seçimindeki uyumsuzluklar gibi hatalar bunlara örnektir [10].

Nanoakışkanların ısı transferi değerlerini hesaplamadan önce, deney sistemi saf su ile test edilerek kontrol edilmiştir.

Deney sonuçlarındaki ölçüm belirsizlikleri, deneysel parametrelerdeki sapmalara göre belirlenmiştir. Termal iletkenlikteki belirsizlikler en küçük kareler yöntemiyle

hesaplanmıştır. Cihaz ve ölçüm aletlerinin hatalarını ölçebilmek için belirsizlik analizi yönteminde ulaşılmış istenilen büyüklük M ve bu büyüklüğe etki eden n tane bağımsız değişkene de $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ denildiğinde;

$$M = M(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Toplam hata oranı:

$$Z_M = \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\partial Y}{\partial x_1} Z_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_2} Z_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_3} Z_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial x_n} Z_n \right)^2 \right]} \quad (5)$$

Bağımsız değişkenlerin hata oranı, $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ olarak gösterilir [5]. Deneylerde hataya sebep olan değişkenin tespiti Eşitlik 5 ile mümkündür.

Isı borusunda yapılan deneyler süresince sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği; kullanılan K tipi termokupulların hassasiyeti, ölçüm problemlerinin bağlantı noktaları ve ölçüm cihazından okunan sonuçlardaki hatalardan oluşmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinin belirsizliği Eşitlik 6'da verilen bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$Z_T = \pm \sqrt{[(a)^2 + (b)^2 + (c)^2]} \quad (6)$$

a= Termokupulların sebep olduğu hata = ± 0.5 °C,

b= Dataloggerın sebep olduğu okuma hatası = ± 0.2 ,

c= Bağlantı elemanlarının ve noktaların sebep oldukları hata = ± 0.1 °C.

$$Z_T = \pm \sqrt{[(0.5)^2 + (0.2)^2 + (0.1)^2]} = \pm 0.5477$$

Elektrikli ısıtıcının belirsizliğinin hesaplanmasında Wattmetre ve bu cihazdan okunan sayısal değerlerin büyüklüğü göz önünde bulundurulmuştur (Eşitlik 7).

$$Z_E = \pm \sqrt{[(d)^2 + (e)^2]} \quad (7)$$

d= Wattmetrenin sebep olduğu hata = ± 1 ,

e= Okuma hatası = ± 1 ,

$$Z_E = \pm \sqrt{[(1)^2 + (1)^2]} = 1.414$$

Belirsizlik analizindeki değerler dikkate alındığında sistemin deneysel ölçüm belirsizliğinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmanın amaçları, ısı borularında çalışma sıvısı olarak kullanılan saf su yerine, CuO ve ZnO nano parçacık içeren çok daha yüksek oranda ısı depolayabilme ve taşıyabilme özelliklerine sahip nano parçacık-saf su karışımı nanoakışkanların geliştirilmesi ve bu nanoakışkanların kullanımı ile çalışma sıvısının yüzey gerilimi azaltılarak ısı borusunun ısı direncini düşürmek, evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki oldukça düşük sıcaklık farklarında bile ısı iletim miktarını arttırmak ve dolayısıyla ısı borusu performansını arttırmaktır.

Üç farklı çalışma akışkanı için, ısı borusunun evaporatör ve kondenser bölgelerindeki farklı hava debileri ve farklı

Reynolds sayısı değerlerine bağlı olarak değişim gösteren ısı borusu boyunca sıcaklık dağılım grafikleri incelenmiştir. Böylece gerek soğuk hava tarafı gerekse sıcak hava tarafında optimum ısı borusu verimini sağlayacak hava kütle debisi ve hava akış hızının belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 4'ten görüleceği üzere ısı borusunda nanoakışkan kullanımı ile saf su kullanımına göre daha düşük evaporatör sıcaklığında buharlaşma sağlanmakta ve daha düşük sıcaklıkta yoğuşma sağlanarak buharlaşma ve yoğuşma arasındaki sıcaklık farkını düşürmektedir. Bu da ısı borusu ısıl direncini küçültmektedir. Sıcak hava bölgesinde en iyi performans CuO/Su nanoakışkanı ile sağlanmaktadır. Her bir Reynolds sayısı için saf suya göre her iki nanoakışkanın da sıcaklık farkı daha düşük olmuştur.

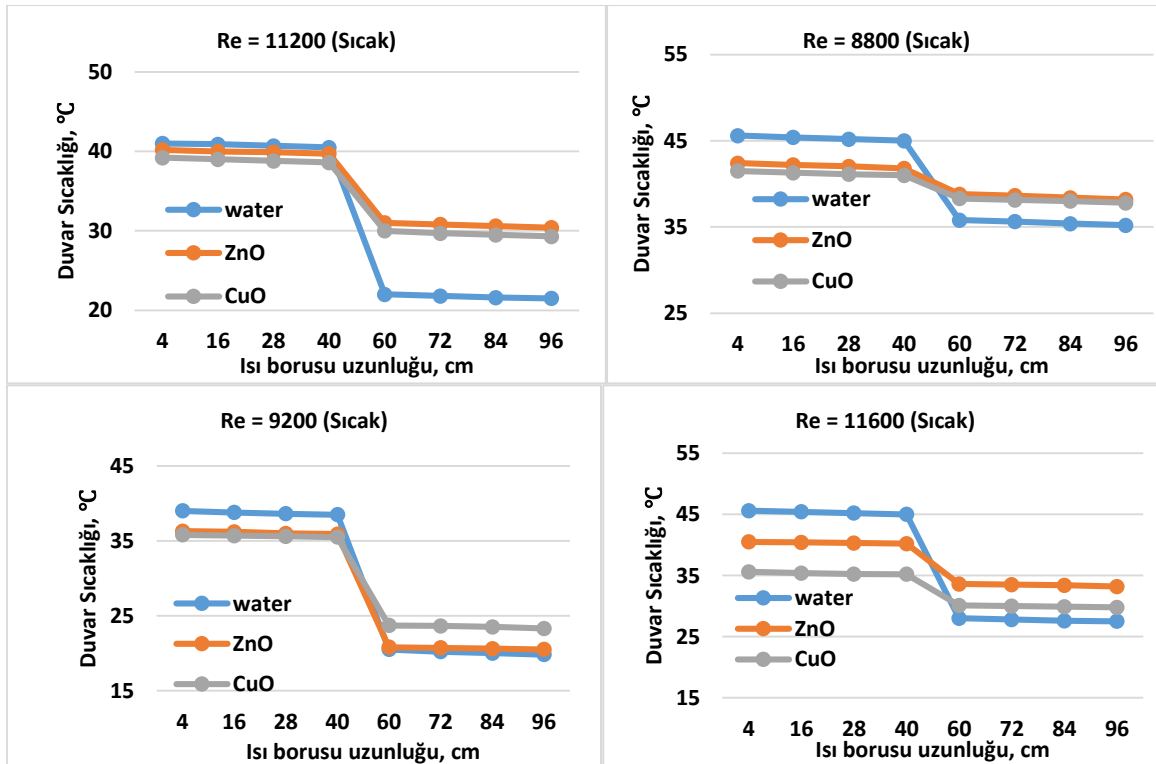
Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, üç önemli nokta göze çarpmaktadır. Birincisi, her üç çalışma akışkanı için de evaporatör bölümünden kondenser bölümüne doğru ısı borusu duvarındaki sıcaklık dağılımında kademeli bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. İkinci olarak saf su yerine nanoakışkanların çalışma akışkanı olarak kullanıldığı deneylerde, evaporatör ve kondenser arasındaki ortalama sıcaklık farkının daha az olduğu görülmektedir. Evaporatör bölgesinden uygulanan hava sıcaklığı ve farklı soğutma havası debilerinde yapılan deney sonuçlarına göre nanoakışkan kullanımıyla evaporatör bölgesinde daha düşük duvar sıcaklıkları elde edilmiştir. Bu durum aynı zamanda, ısı borusunda nano akışkanları

bir göstergesidir. Üçüncü olarak, nanoakışkanların kaynama sıcaklığının saf suya göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Anlaşılacağı üzere, nanoakışkan kullanımıyla iş akışkanının kaynama noktası sıcaklığında önemli miktarda bir düşüş sağlanmıştır. Bu da akışkanın hal değiştirmesi için daha az enerjiye ihtiyaç duyduğunun göstergesi olmaktadır.

Grafikler incelendiğinde, nanoakışkan kullanımının, ısı borularının veriminde önemli ölçüde bir iyileştirme yapabileceğini göstermektedir.

Sıcak hava bölgesinde üç farklı hava akış hızında, ısı borusu ısıl direncinin üç farklı çalışma sıvısına bağlı olarak elde edilen dirençteki ısıl iyileşme oranlarını gösteren değişim grafiği Şekil 6' da verilmiştir. Grafiğe bakıldığında, yapılan deneyler sonucunda nanoakışkan kullanımı ile tüm deneylerde ısıl dirençte belirli bir miktarda azalma sağlandığı görülmektedir. Isıl direncin azalması ısı transferinin iyileşmesine yardımcı olmuştur. Isıl direncin azalması ile amaçlanan ısı transferi miktarı artar. Isı borularının sıcak hava bölgesinden elde edilen verilere ait grafik genel olarak analiz edildiğinde, Reynolds sayısı değeri 8800 ve sıcak hava hızı 0,555m/s iken her iki CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanları için ısıl dirençte en yüksek iyileşme oranı sırasıyla %71.8ve % 52.9 olarak elde edilmiştir.

Soğuk hava bölgesinde iki farklı hava akış hızında, ısı borusu ısıl direncinin üç farklı çalışma sıvısına bağlı olarak elde edilen dirençteki ısıl iyileşme oranlarını



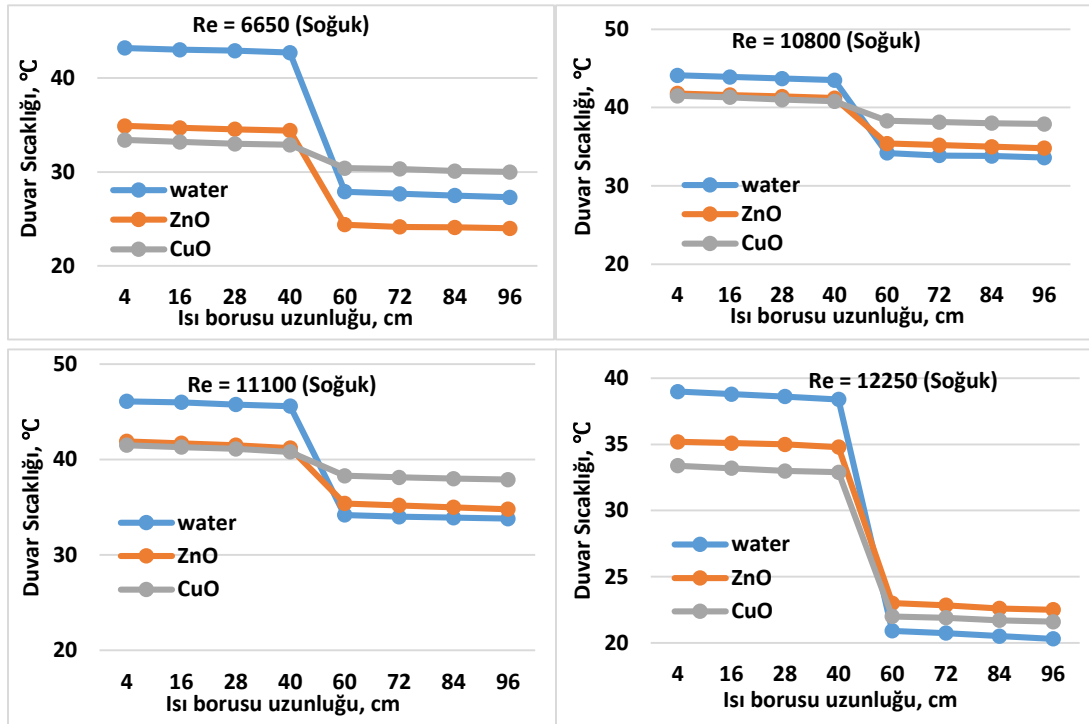
Şekil 4. $Re_{sıcak}=8880, 9200, 11200, 11600$ iken üç farklı akışkan için ısı borusu boyunca ölçülen duvar sıcaklıkları (Wall temperatures measured across the heat pipe for three different fluids when the $Re_{hot}=8880, 9200, 11200, 11600$)

kullanarak ısıl dirençte bir azalmanın sağlandığının dolayısıyla ısı transferinin daha hızlı gerçekleştiğinin de

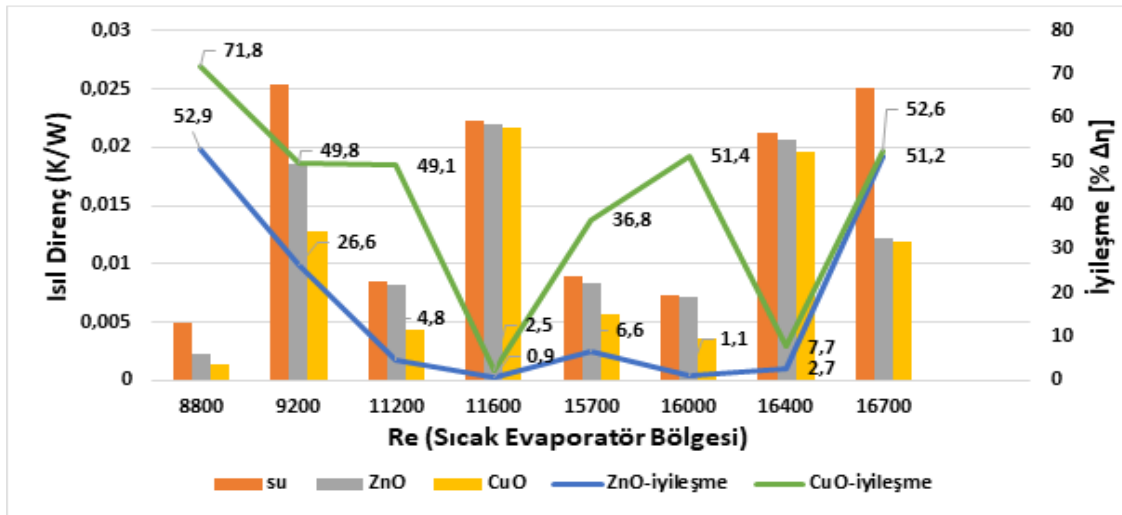
gösteren değişim grafiği Şekil 7' de verilmiştir. Grafik genel olarak analiz edildiğinde, her bir Reynolds

sayısındaki CuO/su nanoakışkanının ısı dirençteki iyileştirme oranının ZnO/su nanoakışkanına kıyasla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Grafiğe bakıldığında, yapılan deneyler sonucunda nanoakışkan

Reynolds sayısı 10800 ve soğuk hava hızı 0,751 m/s'dir. Bu değerdeki iyileştirme oranlarının CuO/su nanoakışkan için %73.7 olduğu görülmektedir. ZnO/su nanoakışkan için Reynolds sayısı 11100 ve soğuk hava



Şekil 5. $Re_{soğuk}=6650, 10800, 11100, 12250$ iken üç farklı akışkan için ısı borusu boyunca ölçülen duvar sıcaklıkları (Wall temperatures measured across the heat pipe for three different fluids when the $Re_{cold}=6650, 10800, 11100, 12250$)



Şekil 6. Üç farklı akışkan için ısı borusunda sıcak hava bölgesindeki ısı direnç ve iyileştirme yüzdeliklerinin Reynolds sayısına bağlı olarak değişimi (Change of thermal resistances and improvement percentages in hot zone of the heat pipe for three different fluids relative to Reynolds number)

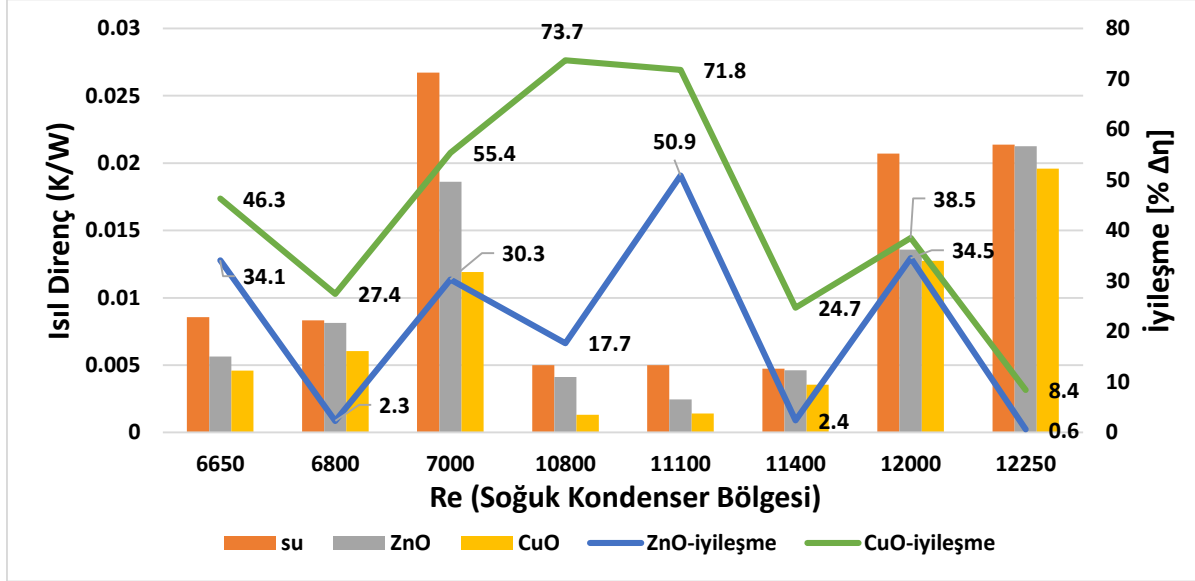
kullanımı ile tüm deneylerde ısı dirençte belirli bir miktarda azalma sağlandığı görülmektedir. Isıl direncin azalması ısı transferinin iyileşmesine yardımcı olmuştur. Temel akışkana göre CuO/su nanoakışkanının ısı dirençteki en yüksek iyileştirme oranına sahip olduğu

hızı 0,751 m/s iken ısı direnci iyileştirme oranı %50.9 olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, ağırlıkça %2 hacimsel konsantrasyona sahip CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanlarının kullanımının ısı borusunun ısı performansına etkisi

incelenmiştir. Deneylerde hem saf su hem de nano akışkanlar kullanılmış ve bu üç akışkanın ısı performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma soğuk

• Nanoakışkan hazırlarken kararlılık sağlanması için eklenen farklı özelliklere sahip yüzey aktifleştirici maddeler kullanılarak bu maddelerin ısı borusunun



Şekil 7. Üç farklı akışkan için ısı borusunda soğuk hava bölgesindeki ısı direnç ve iyileşme yüzdelere Reynolds sayısına bağlı olarak değişimi (Change of thermal resistances and improvement percentages in cold zone of the heat pipe for three different fluids relative to Reynolds number)

ve sıcak hava kanalı içindeki farklı Reynolds sayılarında ve farklı hava hızlarındaki veriler sonucunda yapılmıştır. Isı borusuna farklı debiler ve giriş gücü uygulanarak yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen çıktılar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar şu şekildedir:

- Saf su yerine CuO/su ve ZnO/su nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun duvar sıcaklıklarındaki dağılım daha dar bir aralıkta sınırlandırılmıştır. Benzer şekilde, kondenser ve evaporatör bölgelerinin duvar sıcaklıkları, çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanıldığında daha küçük değerlerde seyretmiştir.

- Isı borularının sıcak hava bölgesinden elde edilen verilere ait grafik genel olarak analiz edildiğinde, Reynolds sayısı değeri 8800 ve sıcak hava hızı 0,555m/s iken her iki CuO/su ve ZnO/su nanoakışkanları için ısı dirençte en yüksek iyileşme oranı sırasıyla %71.8 ve % 52.9 olarak elde edilmiştir.

- Isı borularının soğuk hava bölgesinden elde edilen verilere ait grafik genel olarak analiz edildiğinde her iki nanoakışkan için de ısı dirençte en yüksek iyileşme oranı hava hızı 0,751 m/s olduğunda elde edilmiştir.

- Nanoakışkan kullanımı ile buharlaşma sıcaklığı ortalama 3°C -10°C düşmüştür.

- Su yerine çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılması, bütün Reynolds sayılarında verimi arttırdığını ve ısı borusunun ısı direncini azalttığını göstermiştir. Dolayısıyla ısı transferi artmıştır. Ancak akışın türbülanslı olması, Reynolds sayıları ile verim arasında doğrusal bir ilişkinin oluşmasına engel olmuştur.

performansındaki etkileri incelenebilir.

- Farklı nano boyutlardaki parçacıklarla hazırlanan nanoakışkanların kullanılmasıyla, nano parçacık boyutunun performans üzerindeki etkileri gözlemlenebilir.

- Grafikler incelendiğinde, nanoakışkanların kullanılması durumunda daha düşük sıcaklıklarda kaynama gerçekleştiğini dolayısıyla pompalama maliyetinin azaldığını ve ısı borusunun daha düşük çalışma sıcaklıklarında kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

(\dot{Q}_k) = Kondenser bölgesinden ısı transfer miktarı [W]

(\dot{Q}_e) = Evaporatör bölgesinden ısı transfer miktarı [W]

\dot{m} = Akışkan kütleli debisi [kg/s]

ρ = Akışkanın yoğunluğu [kg/m³]

V = Hava hızı [m/s]

A = Kanal alanı [m²]

C_p = Özgül ısı [kcal/kg°C]

ΔT = Sıcaklık farkı [°C]

R = Direnç [K/W]

Re = Reynolds sayısı

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Araştırma süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Adnan SÖZEN' e teşekkürlerimi sunarım.

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)

İpek AYTAÇ: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Özsoy A. ve Acar M., “Yerçekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma,”*Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90: 13-18, (2005).
- [2] Sözen A., Variyenli H. İ., Özdemir M. B., Gürü M. and Aytaç İ., “Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers”, *Journal of the Energy Institute*, 89: 414-424, (2016).
- [3] Genceli, O.F., “Isı Borusu”, *İ.T.Ü. Makine Fakültesi Isı Tekniği ve Ekonomisi Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 1-29, (1976).
- [4] Chien, H.T., Tsai, C.Y., Chen, P.H., Chen, P.Y., “Improvement on thermal performance of a diskshaped miniature heat pipe with nanofluid”, *Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology*, IEEE, 389-391, (2003).
- [5] 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*, 100: 104909–104914, (2006).
- [6] Naphon, P., Thongkum, D. and Assadamongkol, P., “Heat pipe efficiency enhancement with refrigerant–nanoparticles mixtures”, *Energy Conversion and Management*, 50(3):772-776, (2009).
- [7] Gürü M., Sözen A., Karakaya U. and Çiftçi E., “Influences of bentonite-deionized water nanofluid utilization at different concentrations on heat pipe performance: An experimental study”, *Applied Thermal Engineering*, 148: 632-640, (2019).
- [8] Teng, T. P., Hsu, H. G., Mo, H. E. and Chen, C. C., “Thermal efficiency of heat pipe with alumina nanofluid”, *Journal of Alloys and Compounds*, 504(1): 380-384, (2010).
- [9] Ray, D. and Kew, P., “*Heat pipes (Fifth edition)*. England: *Butterworth-Heinemann*”, Elsevier, 1-30, (2007).
- [10] Aytaç, İ., Sözen, A., “Isı borulu-ısı geri kazanım ünitesinde ZnO/su ve ZnOAl₂O₃/su nanoakışkanları kullanılarak performansın iyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, (2020, baskıda).