

TiO₂ İçeren Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Erdem ÇİFTÇİ, Adnan SÖZEN, Esra KARAMAN

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

(Geliş / Received : 23.01.2016 ; Kabul / Accepted : 28.03.2016)

ÖZ

Bu çalışma ile nano boyutta TiO₂ (Titanyum dioksit) parçacıkları içeren nanoakışkan kullanılarak çift fazlı kapalı bir termosifonun (ısı borusu) ısıl performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan ısı borusu 1 m uzunluğunda, iç ve dış çapı sırasıyla 13 mm ve 15 mm olan bakır bir borudur. Isı borusunun 400 mm'lik kısımları yoğuşma ve buharlaşma bölgelerini, geriye kalan 200 mm'lik kısmı ise adyabatik bölgeyi oluşturmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada ısı borusunun toplam hacminin 1/3'lük kısmı iş akışkanı ile doldurulmuştur. Yoğuşma bölümünden çekilen ısıyı saptamak amacıyla 3 farklı soğutma suyu debisi (5 g/s, 7.5 g/s ve 10 g/s) ve buharlaşma bölgesi için 3 farklı ısıtıcı gücü (200 W, 300 W ve 400 W) kullanılarak deneyler tamamlanmıştır. Deneyler su ve nanoakışkan için ayrı ayrı yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç, ısıl performansta %16.5 oranında iyileşme sağlayan, iş akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, nanoakışkan, performans

Experimental Investigation of Nano fluid Usage Including TiO₂ on The Effect of Heat Pipe Performance

ABSTRACT

By this study, it is aimed to improve the thermal performance of the two phase closed thermosyphon (TPCT) using nano fluid that contains TiO₂ particles. The heat pipe utilizing in this work had 1 m length. Its inner and outer diameters were 13 mm and 15 mm, respectively. While both the evaporator and the condenser sections had 400 mm length, the rest 200 mm length of the pipe consisted of adiabatic section. In experimental study performed, one third of the overall volume of the heat pipe was filled with working fluid. In order to determine the heat amount extracting from the condenser section, 3 different mass flow rates of cooling water (5 g/s, 7.5 g/s and 10 g/s) was used. The experiments, in addition, were completed for 3 varied heater power (200 W, 300 W and 400 W) for evaporating the working fluid. They were conducted separately not merely for the water, but also the nano fluid and the findings were compared to each other. The best result was acquired from the experiment in which working fluid was nano fluid with the cooling water mass flow rate of 5 g/s and 200 W heater power.

Keywords: Heat pipe, nano fluid, performance

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda yayınlanmış bir raporda, dünya enerji tüketiminde 2035 yılına kadar % 47 oranında bir artış meydana geleceği öngörülmektedir. Ayrıca fosil yakıt kaynaklı karbon emisyonları da 1900'lü yıllardan beri artmaktadır [1]. Her geçen gün artan enerji talebi ve çevre ile ilgili sorunlar, enerjinin daha verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaç doğrultusunda mevcut sistemler üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları da günümüzde bir hayli hız kazanmıştır.

Isı transferi uygulamalarında en önemli parametreler verimlilik ve hız kavramlarıdır [2]. Isıl iletkenliği yüksek olan ısı borularının ısı transferinde sağladığı verimlilik ve hız özelliklerinin yanı sıra; düşük maliyet, bakım maliyetinin yok denecek kadar az olması ve arzu edilen her boyutta imal edilebilmesi de bu cihazların ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır. Isı borusu, iç içe geçmiş iki boru içerisinde yer alan bir iş akışkanının sıcaklık etkisiyle buharlaşması-yoğunlaşması prensibi ile çalışan bir cihazdır. Düşük sıcaklıklarda buharlaşma özelliğine sahip bir akışkanın iş akışkanı olarak kullanıldığı bu cihazlarda, sıcaklık etkisiyle sıvı fazdan buhar fazına geçen iş akışkanı, vakumlu ortamın ve doğal taşınımın etkisiyle yükselerek sahip olduğu ısı enerjisini bir bölgeden başka bir bölgeye taşır.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: asozen@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.3 367-376

Yükseldiği bölgeye enerjisini bıraktıktan sonra da kaybettiği sıcaklık nedeniyle yoğunlaşır (sıvı faza geçer) ve yerçekiminin etkisiyle tekrar aşağı doğru hareket eder. Genel olarak bir ısı borusu; yoğunlaşma (kondenser), buharlaşma (evaporatör) ve adyabatik (yalıtımlı) bölge olmak üzere 3 kısımdan oluşur. Isı borusu içerisindeki akışkan bir sıcaklık değişimi söz konusu olduğunda (evaporatör bölgesinden ısı girişi) akışkan buhar fazına geçerek yükselir ve de buradaki daha düşük sıcaklığın etkisiyle yoğunlaşmaya başlayarak sıvı fazına geçer. Sıvı fazındaki akışkan ise yer çekiminin etkisiyle tekrar buharlaştırıcı bölgesine ulaşır. (Şekil 1) Sisteme ısı girişi sürekli olduğunda da bu işlem periyodik olarak gerçekleşmektedir. Kısaca, iş akışkanının faz değişiminden yararlanarak ısının bir bölgeden başka bir bölgeye taşındığını söylemek mümkündür.

Isı borularında performansı artırmanın iki yolu vardır. Bunlardan biri düşük sıcaklıkta faz değiştiren bir akışkanın iş akışkanı olarak kullanılması, diğeri ise ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanının (ısı iletkenliğinin) artırılmasıdır. Bu çalışmada ikinci yöntem kullanılmak üzere su içerisine nano boyutta hazırlanmış TiO_2 -bir metal oksit çeşidi- parçacıklarının eklenmesi ile ısı iletkenliğinin artırılması ve bu sayede performansta iyileştirme yapılması öngörülmüştür. Su içerisine eklenen nano parçacıklar ile oluşturulan bu çözelti, nanoakışkan olarak adlandırılmaktadır. Son yıllarda nanoakışkanların ısı borularında kullanılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar şöyle özetlenebilir:

Tsai ve diğ. (2004), 6 mm iç çapa ve 170 mm uzunluğa sahip bakır, silindirik örgü fitil ısı borusunda gerçekleştirdikleri deneylerinde altın parçacıkları içeren nanoakışkan kullanmışlardır. Çalışma sonucunda ısı borusunun ısıl direncinin %20 ile %37 oranında azaldığını bulmuşlardır [3].

Chen ve diğ. (2008), farklı güç girişlerinde (20 W-40 W) ortalama çapı 35 nm olan su bazlı gümüş nanoakışkanlar kullanarak düz örgü fitil ısı borusunun performansını incelemişlerdir. Nanoakışkan kullanarak yaptıkları deneylerde, ısı borusunun ısıl direncinde saf su kullanılan ısı borusuna kıyasla bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir [4].

Qu ve diğ. (2010), kapalı devre titreşimli ısı borusunda su bazlı Al_2O_3 nanoakışkan kullanımının ısıl performansta oluşturacağı etkiye dair deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları ısı borusu 2 mm iç ve 3 mm dış çapa sahip bakır bir borudur. Deneysel sonuçlarda güç girişi 58.8 W iken, %0.9 konsantrasyondaki metal parçacıkların saf su ile karşılaştırılarak oluşturulduğu nanoakışkan kullanıldığında ısıl direncin % 32.5 oranında azaldığını saptamışlardır [5].

Huminc ve diğ. (2011), termosifon tipi ısı borusunda saf su ve %2 ile %5.3 konsantrasyonunda hazırlanmış demir oksit nanoakışkanları ile deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %5.3 derişime sahip olan nanoakışkan kullanımında suya göre ısıl performansta iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir [6].

Chen ve diğ. (2013), malzemesi bakır olan düz bir ısı borusunun ısıl performansını belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. İş akışkanı olarak su, etanol ve nano akışkan kullandıkları bu çalışmada; çalışma sıcaklığı, çalışma basıncı ve kullanılan iş akışkanı gibi performansı belirleyen parametrelerin ısı verim üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Nanoakışkan kullanımının ısıl performansı artırdığı ve bu akışkanları ısı borularında kullanılabilecek yeni tip akışkanlar olduğu sonucuna varmışlardır [7].

Sarafraz ve diğ. (2014), biyolojik olarak üretilmiş, çevre dostu bir iş akışkanının kullanıldığı fitilsiz termosifon tipi bir ısı borusunun performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında iç çapı 10,7 mm, dış çapı 12 mm ve boyu 280 mm olan bakır bir ısı borusu kullanmışlardır. Evaporatör bölgesinden sabit ısı akışı uygulayarak kondenser bölgesinde tasarladıkları soğuma ceketine olan ısı geçişini gözlemlemişlerdir. Doldurma oranı, ısı borusu eğim açısı, nano parçacık derişimi gibi çalışma parametrelerinin ısıl performans üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Nano akışkan kullanarak ısı borusu performansının artırılmasıyla birlikte ısıl direncin de azarlatılabileceğini göstermişlerdir [8].

Tharayil ve diğ. (2015), grafen-su çiftinin oluşturduğu nanoakışkan kullanarak ısı borusu performansını analiz etmişlerdir. Dikey pozisyonda, 20 W ile 380 W arasında uygulanan ısıl yüklerde farklı derişimlerde nanoakışkanlar kullanarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ısı borularında nanoakışkan kullanımının ısıl performansı artırdığını ve evaporatör ara yüz sıcaklığını azalttığını, ayrıca optimum nano akışkan derişiminde (% 0,006) ısı transferindeki iyileşmenin maksimum olduğunu gözlemlemişlerdir [9].

Lin ve diğ. (2015), çubuk biçiminde ZnO partikülleri içeren nanoakışkan kullanarak türbülanslı akışın hakim olduğu bir boruda sayısal analizler yapmışlardır. Değişken Reynolds sayılarına karşılık gelen Nusselt sayılarını hesaplayarak derişimlerini gözlemlemişlerdir. Su ve nanoakışkan için Nusselt sayılarının artan Reynolds sayılarına paralel olarak arttığını ve nano akışkanın ısı transfer miktarını artırdığını bulmuşlardır [10].

Sadeghinezhad ve diğ. (2016), sinterlenmiş bir ısı borusunun ısıl performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Grafen-su ve saf su kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarında ısı borusunu iki farklı pozisyonda (yatayla 0° ve 60° açı yapacak biçimde) tutarak 4 farklı ısıtıcı gücü için sonuçlar elde etmişlerdir. Saf su yerine nanoakışkan kullanarak ısıl dirençte maksimum % 48,4 oranında bir düşüş gözlemlemişlerdir. ısıl iletkenlikteki iyileşme oranının en büyük değerini ise 60° eğim açısı ve 60 W ısıtıcı gücünde % 37,2 olarak bulmuşlardır [11].

Katılar sıvılara göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olduklarından; nanoakışkanlar ısı borularının performan-sını iyileştirmede başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [12-15]. Bu çalışmada TiO_2 metal oksit

parçacıkları içeren sulu çözelti ısı borusundaki iş akışkanı olarak kullanılmıştır. Nanoakışkanların sahip oldukları yüksek ısıl iletkenlik özelliğinden faydalanılarak ısı borusu performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Nanoakışkanın Hazırlanması (Nanofluid Preparation)

Yapılan deneysel çalışmada, boyutları 100 nm'den küçük olacak şekilde elde edilen % 2 oranındaki TiO₂ metal oksit parçacıkları saf su ile karıştırılmıştır. Elde edilen süspansiyon ultrasonik banyoda 5 saat bekletilmiştir. Çözelti içerisindeki çökelmeleri önlemek amacıyla karışıma yüzey aktifleştirici olarak %0,2 oranında Triton X-100 ilave edilmiştir. Ultrasonik banyoda bekletme işleminde saf su-TiO₂ partikülleri karışımına (nanoakışkan) ultrasonik titreşimler gönderilerek homojen ve kararlı bir karışım elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan ultrasonik banyonun teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ultrasonik banyoya ait özellikler (Specifications of the ultrasonich bath)

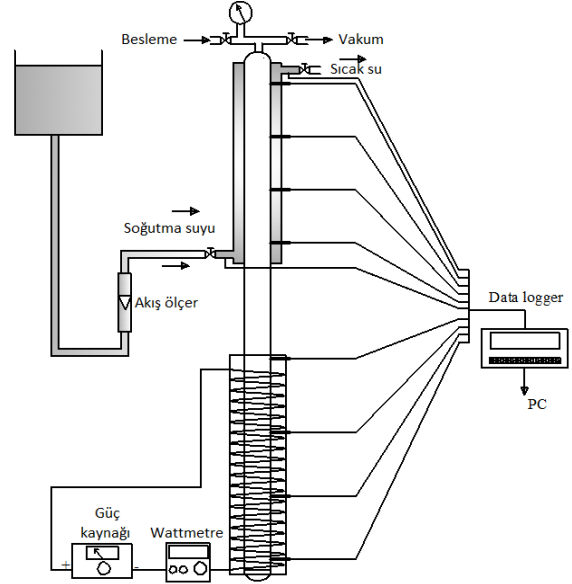
Özellik	Değer
Voltaj (V / Hz)	230 / 50
Ultrasonik Güç (Peak /W)	600 / 300
Ultrasonik Frekans (kHz)	28

2.2. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Deney düzeneğinin şematik olarak görünümü ve deney düzeneğine ait bir fotoğraf Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Deneyde kullanılan ısı borusu 1000 mm uzunluğa, 13 mm iç çapa ve 15 mm dış çapa sahiptir. Malzemesi bakır olan borunun buharlaşma ve yoğunlaşma bölgeleri 400 mm uzunluğuna sahip olmasına karşın adyabatik bölgesi 200 mm uzunluğundadır. Borunun buharlaşma bölümü Ni-Cr kablodan oluşan, ortalama gücü 1500 W olan bir elektrikli ısıtıcı kullanılarak ısıtılmıştır. Isıtıcı tamamen yalıtılmıştır. Buradaki giriş gücü ölçülmüş ve bir wattmetre aracılığıyla (Fluke-43b analyzer) görüntülenmiştir. Güç Watt cinsinden deneysel olarak ölçülmüştür. Isıtıcı yani buharlaşma bölgesi tamamıyla yalıtılmış ve buna istinaden deneysel olarak ölçülen ısıtıcı gücünün tamamıyla 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 gerektiği zaman kontrol altında tutmak amacıyla bir akış ölçer kullanılmıştır. Sistemdeki ısı kaybını en aza indirmek için ısı borusunun tüm bölümleri cam yünü ile yalıtılmıştır.

Isı borusu duvarı boyunca ısı dağılımını gözlemlemek için 10 adet termokupl (K- tipi) kullanılmıştır. Soğutucu akışkanın sıcaklık değişimini gözlemlemek amacıyla bu termokuplların 4 adeti yoğunlaşma bölümü, 4 adeti buharlaşma bölümü ve 2 adeti de soğutucu giriş-çıkışına yerleştirilmiştir. Şekil 4'de termokuplların ısı borusu üzerindeki yerleşimleri görülmektedir. Temokupl kayıtları datalogger (E-680 Elimko, Türkiye) kullanılarak görüntülenmiştir.

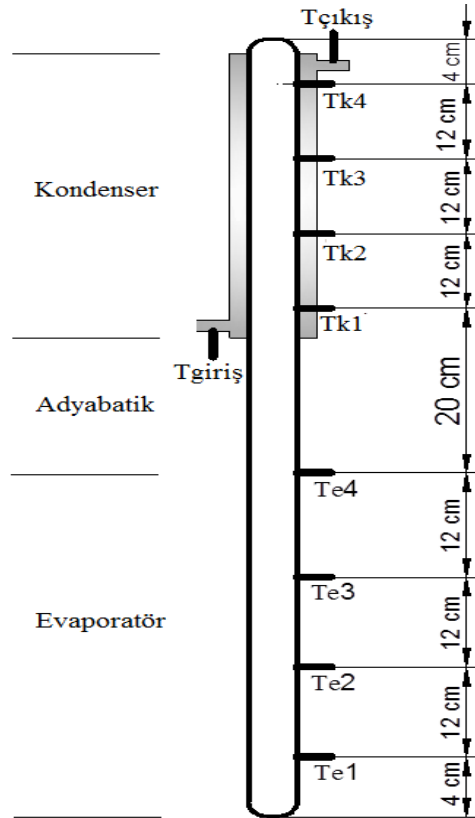
Sistemde kullanılan iş akışkanının debisi kullanılan akışkanın türünü gözetmeksizin 44,2 ml değerinde sabit tutulmuştur. Bu değer ısı borusundaki toplam hacmin 1/3'üne karşılık gelmektedir. Deneyler sırasında ısı borusu yatayla 90° açı yapacak şekilde tutulmuştur. Giriş gücü 200 W ile 400 W aralığında 100 W farkla uygulanmıştır. Kondenserdeki iş akışkanını yoğunlaştırmada kullanılan soğutma suyunun debisi 3 farklı değere (5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s) ayarlanmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünümü (The schematic digram of experimental setup)



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



Şekil 3. Isı borusu üzerine yerleştirilen termokuplların dağılımı (The distribution of the thermocouples mounted on the heat pipe)

2.3. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Çizelge 2. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri, hassasiyetleri ve toplam belirsizlikleri (Technical properties of measurement equipments, accuracy, total uncertainty)

Cihaz	Teknik Özellikler	Hassasiyet	Toplam Belirsizlik
Termokupl (Data logger, Elimko E-680 model)	K tipi; ölçüm aralığı - 200°C - + 1200°C	± % 0.5 °C	± % 1.224 °C
Debimetre	Ölçüm aralığı 0-12 g/s	± 0.01 g/s	± 0.0141 g/s
Wattmetre	Fluke-43b analizyer	± 1 W	± 1.414 W

Deneyel çalışmada kullanılan cihaz ve ekipmanlardan kaynaklanan belirsizlikler, belirsizlik analizi ile çözümlenmiştir. Cihaz seçimi, deney şartları, kullanılan cihazların kalibrasyonu, verilerin okunması, ölçüm aletlerinin bağlantı noktaları ve deneyin yapıldığı ortam gibi deney sonuçlarını etkileyen (hata ve belirsizliklere yol açan) birçok parametre vardır. Bu nedenle arzu edilen deney standartları belirsizlik analizi yapılarak elde edilebilir. S sonucu bağımsız değişkenler (x_1, x_2, \dots, x_n) cinsinden verilen bir fonksiyon, W_s sonuçlardaki belirsizlik ve w_1, w_2, \dots, w_n bağımsız değişkenlerdeki belirsizlikler olsun. Bağımsız değişkenlerdeki belirsizliklerin hepsinin aynı oranda verilmesi durumunda, sonuçlardaki belirsizlik de aynı oranda olacaktır (Eş.1).

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Isı borusunda yapılan deneyler süresince değişkenler ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği; kullanılan termokuplların hassasiyeti, ölçüm problemlerinin bağlantı noktaları ve ölçüm cihazından okunan sonuçlardaki hatalardan kaynaklanmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinin belirsizliği Eş. 2'de verilen bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$W_T = \left[(w_{termokupl})^2 + (w_{baglant,nok})^2 + (w_{okuma})^2 \right]^{1/2} = \quad (2)$$

$$[(0.5)^2 + (1)^2 + (0.5)^2]^{1/2} = 1.224$$

Akış hızını ölçmek için kullanılan debimetrenin belirsizliği ise, debimetreden ve okuma hatasından kaynaklanmaktadır. Debimetrenin belirsizliği, Eş.3'de verilen bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$W_m = \left[(w_{debimetre})^2 + (w_{okuma})^2 \right]^{1/2} = \quad (3)$$

$$[(0.01)^2 + (0.01)^2]^{1/2} = 0.0141$$

Elektrikli ısıtıcının belirsizliğinin hesaplanmasında Wattmetre ve bu cihazdan okunan sayısal değerinin büyüklüğü göz önünde bulundurulmuştur (Eş.4).

$$W_{Ph} = \left[(w_{Wattmetre})^2 + (w_{okuma})^2 \right]^{1/2} = \quad (4)$$

$$[(1)^2 + (1)^2]^{1/2} = 1.414$$

Ölçümlen değişkenlerin belirsizlik analizleri sonucu hesaplanan belirsizliklerinin kabul edilebilir aralıklarda olduğu görülmektedir. Ölçüm cihazlarına ait teknik bilgiler ve bu cihazların toplam belirsizlikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

3.BULGULAR (FINDINGS)

Kondenser bölgesindeki ısıyı çekmek amacıyla kullanılan soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı, suyun kütsel debisi ve özgül ısı değerleri; soğutucu akışkana olan ısı transferi

miktarını hesaplamada kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_k c_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (2)$$

Yoğuşma ile atılan ısının evaporatör alınan ısıya oranı, ısı borusunun verimi olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_e} = \frac{\dot{Q}_{\text{çıkış}}}{\dot{Q}_{\text{giriş}}} \quad (3)$$

Burada \dot{Q}_e buharlaşma bölgesinden verilen ısıtıcı güçtür (200 W, 300 W ve 400 W).

Evaporatör ve kondenser bölümleri arasındaki ısı direnç bu iki bölge arasındaki ortalama sıcaklık farkının ısıtıcı gücüne oranlanmasıyla bulunmuştur.

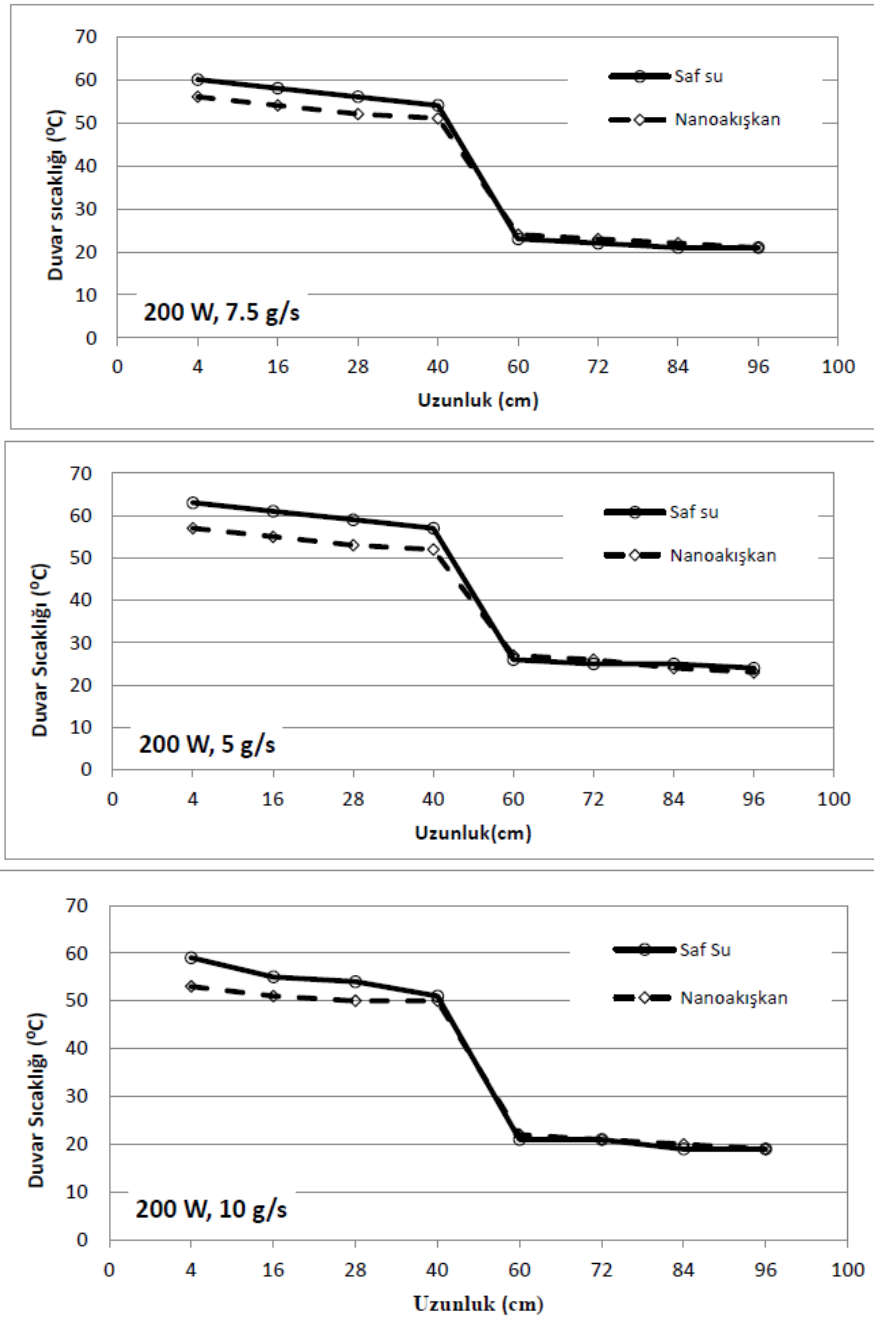
$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_{\text{giriş}}} \quad (4)$$

Buradaki ortalama sıcaklık farkı (ΔT) terimi, yoğuşma ve buharlaşma bölgelerinde ölçülen sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki fark olarak hesaplanmıştır.

$$\Delta T = \left(\frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4}}{4} \right) - \left(\frac{T_{k1} + T_{k2} + T_{k3} + T_{k4}}{4} \right) \quad (5)$$

Isı borusunun verimindeki iyileştirme saf su ve nanoakışkan kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel olarak ilk olarak ısı borusunun saf su ve daha sonra TiO₂ metal oksit parçacıkları içeren nanoakışkan ile doldurulmasıyla gerçekleştirilmiştir.

200 W ısıtıcı güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir.

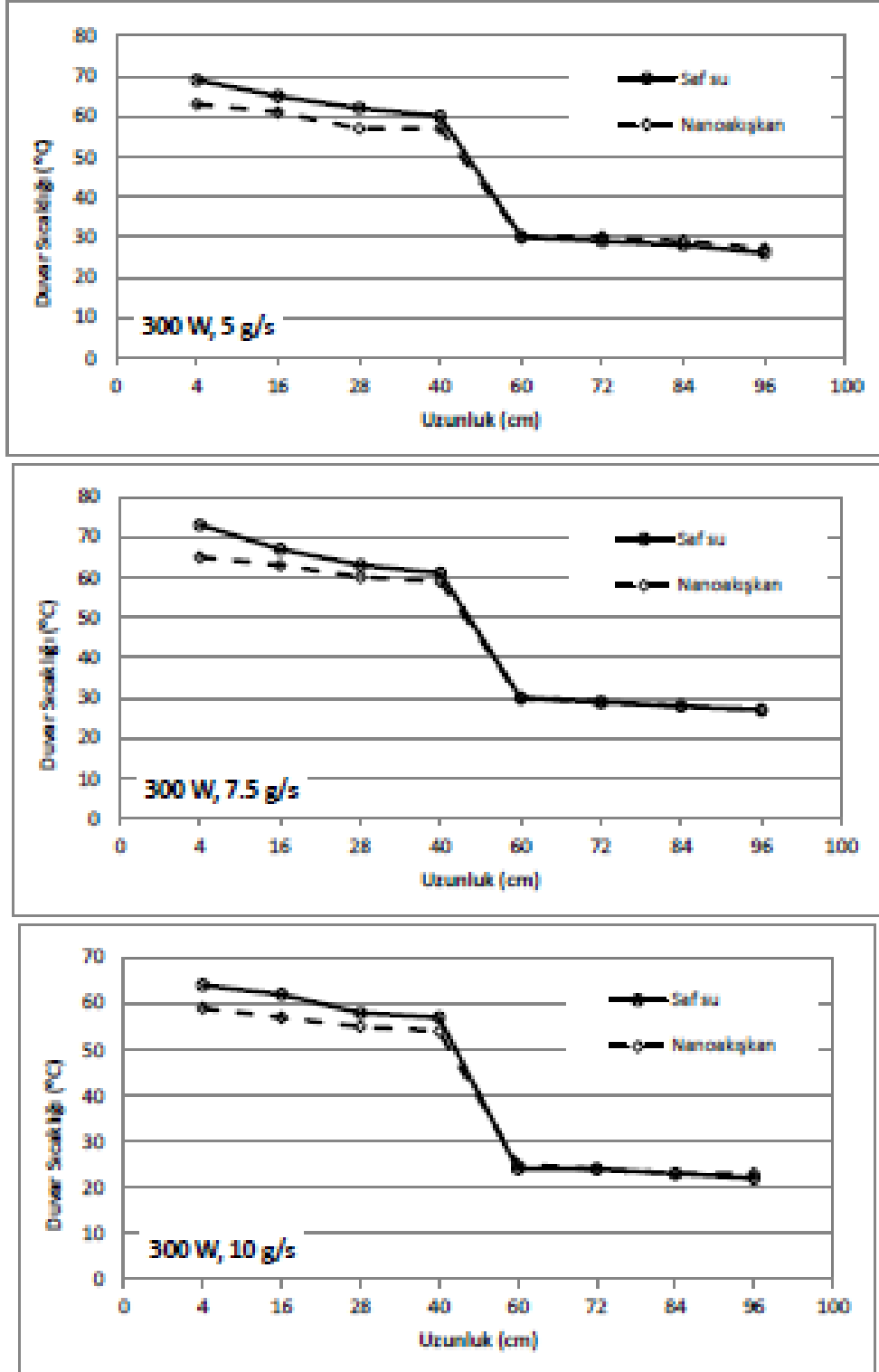


Şekil 4. 200 W ısıtıcı gücünde ölçülen duvar sıcaklıkları (The wall temperatures measured at 200 W heater power)

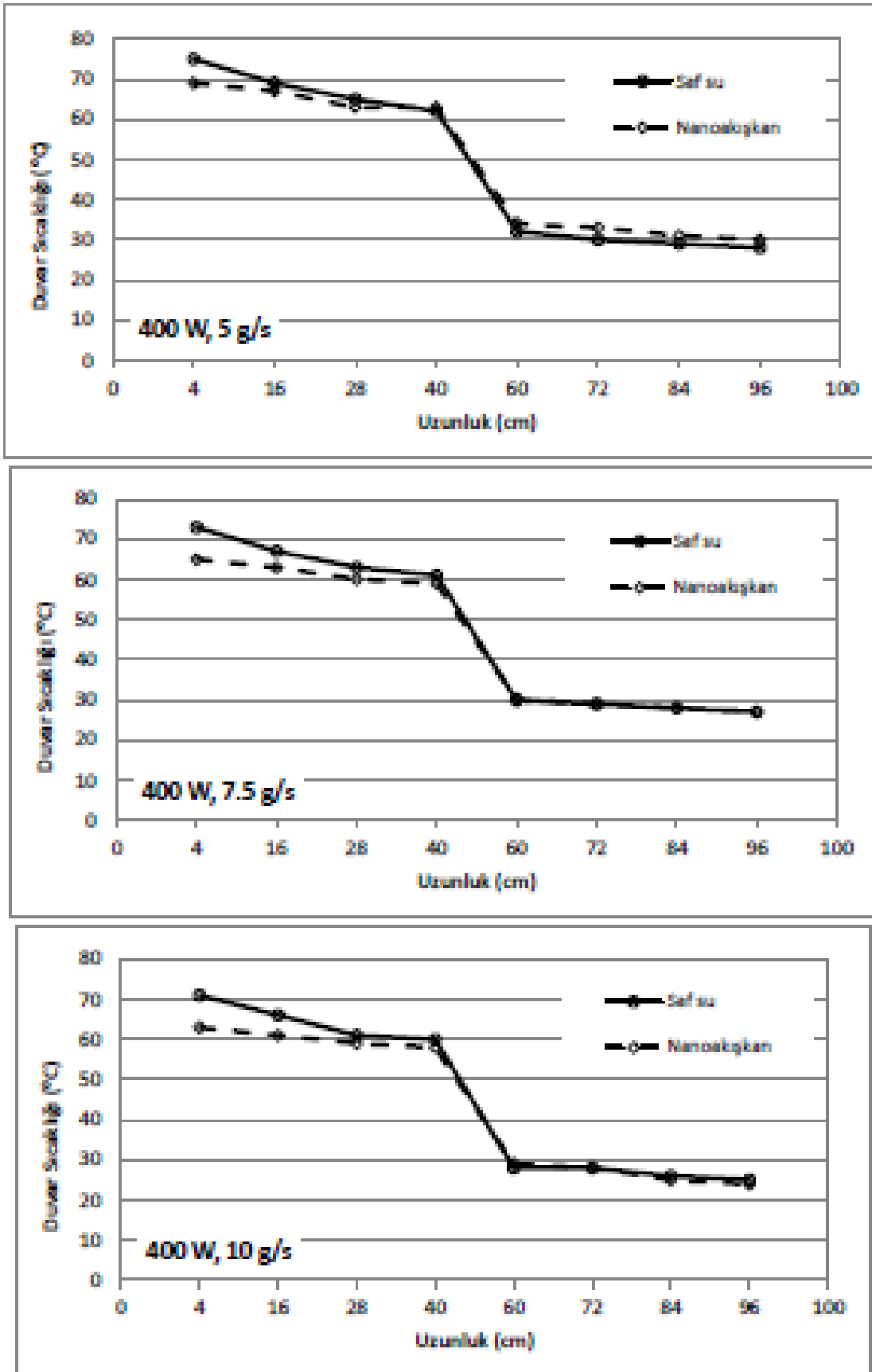
200 W ısıtıcı gücü ile yapılan deneyler sonucunda nanoakışkan kullanımının evaporatör bölümünün ortalama duvar sıcaklıklarını 5°C ile 7°C azalttığı görülmüştür. Bu durum, iş akışkanı olarak saf su yerine nanoakışkan kullanılması durumunda nanoakışkanın yoğuşma bölgesine daha fazla ısı taşıdığını göstermektedir. Şekil 4’de görüldüğü gibi kondenser

bölgesi duvar sıcaklıkları her bir iş akışkanı için çok yakın değerlere sahiptir. Yapılan deneyler sonucunda 200 W ısıtıcı gücü için kondenser bölgesinde ortalama duvar sıcaklığının 23°C olduğu gözlemlenmiştir.

300 W ve 400 ısıtıcı güç değerinde ve farklı soğutma suyu debilerinde ısı borusu duvarında ölçülen sıcaklık dağılımları Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 5. 300 W ısıtıcı gücünde ölçülen duvar sıcaklıkları (The wall temperatures measured at 300 W heater power)



Şekil 6. 400 W ısıtıcı gücünde ölçülen duvar sıcaklıkları (The wall temperatures measured at 400 W heater power)

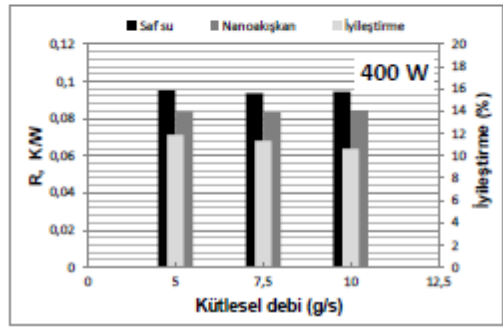
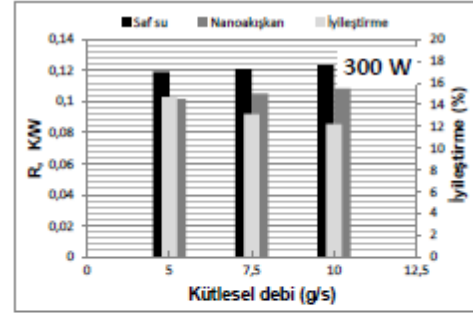
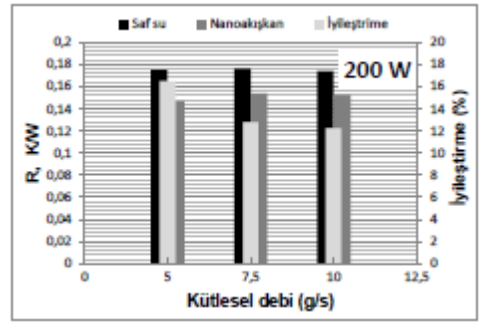
Evaporatör bölgesinden uygulanan 300 W ısıtıcı gücünde ve farklı soğutma suyu debilerinde yapılan deney sonuçlarına göre nanoakışkan kullanımıyla evaporatör bölgesinde daha düşük duvar sıcaklıkları elde edilmiştir (Şekil 5). Aynı çalışma şartları için kondenser bölgesindeki duvar sıcaklıkları ortalama 27°C olarak ölçülmüştür. Deneylerde iş akışkanı olarak kullanılan saf su ve nanoakışkan için ortalama kaynama sıcaklıkları sırasıyla 68,7°C ve 62,3°C olarak hesaplanmıştır. Anlaşılacağı üzere, nanoakışkan kullanımıyla iş akışkanının kaynama noktası sıcaklığında 6,4°C'lik bir düşüş sağlanmıştır.

400 W ısıtıcı gücünde yapılan deney sonuçları incelendiğinde diğer deney sonuçlarına yakın verilerin elde edildiği görülmektedir. Ancak, diğer deney sonuçlarından farklı olarak 400 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deneyde nanoakışkan kullanılan durumda kondenser bölgesindeki ortalama duvar sıcaklığının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Artan ısıtıcı güce karşılık olarak kondenser bölgesindeki soğutma suyu debisinin az olması, bu bölgede gerçekleşen enerji aktarımı sırasında bir miktar enerjinin kondenser duvarlarında hapsedilmesine yol açmıştır. Nanoakışkan kullanımıyla artan ısı transfer alanına rağmen 5 g/s soğutma suyu debisi, 400 W ısıtıcı gücü için soğutma suyu ile iş akışkanı arasında gerçekleşen ısı transferinin etkin gerçekleşmesinde yetersiz kalmıştır.

Elde edilen tüm grafikler incelendiğinde, evaporatör bölümünden kondenser bölümüne doğru ısı borusu duvarındaki sıcaklık dağılımında kademeli bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 200 W gücünde ve 10 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deney bu gözlemin bir örneği olarak verilebilir. Metal oksit parçacıkları içeren nanoakışkan kullanımıyla, iş akışkanının kaynama sıcaklığının kayda değer miktarda düşürülmüştür. Sonuç olarak, ısı transferi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ısı borularının veriminde önemli ölçüde bir iyileştirme yapıldığı söylenebilir.

Isı borusu duvarındaki en yüksek sıcaklık farkı 9 °C olarak 400 W güc ve 10 g/s soğutma suyu debisindeki nanoakışkan ile yapılan deney sonucu elde edilmiştir.

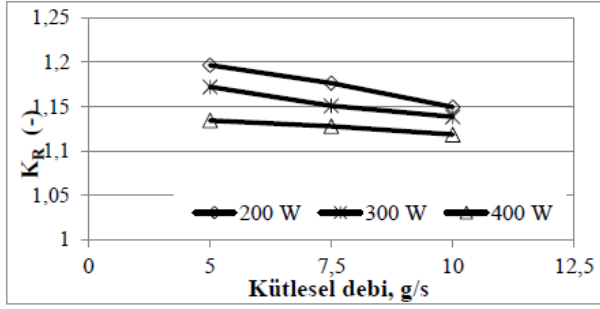
Şekil 7'de, su ve nanoakışkan için ısı direnci (R) ve iyileştirme oranının ısı borusu kondenserindeki değişken soğutucu akışkan debilerine göre değişimi görülmektedir. Düşük ısı yüklerinde hem su hem de nanoakışkan için ısı direnci yüksek olduğu belirlenmesine rağmen, artan ısı yüküne bağlı olarak ısı direnci en küçük değerine ulaşmıştır.



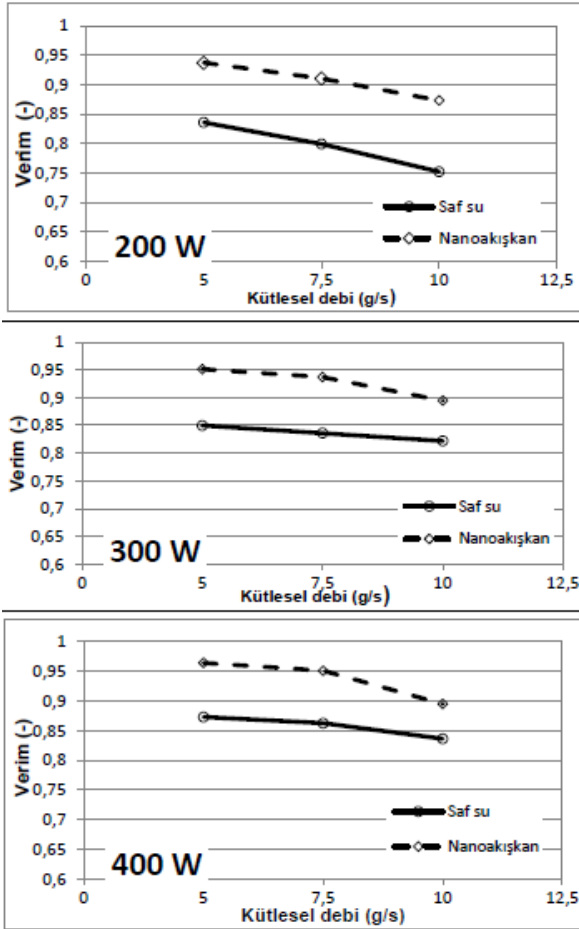
Şekil 7. Isı borusundaki ısı direnci değişimi ve elde edilen iyileştirme miktarları (Distribution of thermal resistance along the heat pipe and obtained improvement)

Isı direnci için iyileştirme miktarındaki en iyi sonuç, % 16,5 oranındaki iyileştirme ile iş akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı 200 W ve 5 g/s soğutma suyu debisiyle yapılan deneyde elde edilmiştir. Bu iyileştirmenin en büyük nedeni nanoakışkan içerisinde yer alan TiO₂ parçacıklarının iş akışkanının yüzey alanını, dolayısıyla ısı transfer alanını arttırmasıdır. Ayrıca, nanoakışkan kullanımıyla arttırılan ısı iletkenlik, bu akışkanın kullanıldığı deneylerin daha iyi sonuçlar verdiğini deneysel olarak göstermiştir. İş akışkanı olarak nanoakışkan kullanıldığında, ısıtıcı gücünün artmasıyla akışkana aktarılan ısı transferi hızlanmış ve buna bağlı olarak iş akışkanının evaporatör bölgesine doğru hızla hareket ettiği gözlemlenmiştir. İş akışkanının vakumlu ortam içerisindeki hızının artmasına neden olan bu etken ile boru içerisindeki akış özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği (kayıpların arttığı) düşünülmektedir. 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde elde edilen sonuçlar bunun en belirgin göstergesidir. Bahsi geçen deneyde ısıtıcı gücünün ve soğutma suyu debisinin çok küçük olması

karışım içerisindeki kararsızlığı arttıracak etmenleri elimine etmektedir.



Şekil 8. Isı iletim katsayısında gerçekleşen iyileştirme miktarları (The improvements acquired in heat conductivity values)



Şekil 9. Farklı soğutma suyu debileri ve ısıtıcı güçlerinde ısı borusu veriminin değişimi (Alteration of the heat pipe efficiency toward different cooling water amount and heater power)

Su ve nanoakışkan kullanılarak yapılan deneyler sonucunda; hem su hem de nanoakışkanın ısı iletim katsayısındaki değişimin ısıtıcı gücü ve soğutma suyu debisine bağlı olarak değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda nano akışkan kullanımıyla ısı iletim katsayısında (iletkenlik) bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. İyileştirme oranının en yüksek ve en düşük değerlerine sırasıyla 200 W ısıtıcı gücü, 5 g/s

soğutma suyu debisinde (% 1.19) ve 400 W ısıtıcı gücü, 10 g/s soğutma suyu debisinde yapılan deneylerde ulaşılmıştır. Bu sonuca göre artan ısı iletim katsayısı ile daha hızlı ve daha verimli gerçekleşen ısı transferinin mümkün olacağı söylenebilir.

Kullanılan iş akışkanına bağlı olarak değişen ısı borusunun verimi Şekil 9'da gösterilmiştir

Yapılan deneyler sonucunda, nanoakışkan kullanımının ısı borusu verimini artırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek verim, $\eta = 0.95$ ile 400 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde nanoakışkan kullanılarak yapılan deney sonucu elde edilmiştir. İş akışkanı ne olursa olsun, soğutma suyu debisi arttıkça ısıl verimde bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS & DISCUSSION)

Isı borularının performanslarını belirlemek amacıyla yapılan bu deneysel çalışmada iş akışkanı olarak kullanılan iki farklı akışkanın performans üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan iş akışkanları, ağırlıkça %2 derişimdeki TiO₂ parçacıkları ile saf suyun karıştırılması sonucu elde edilen TiO₂ nanoakışkanı ve saf sudur. Isı borusuna farklı debiler ve farklı giriş güçleri uygulanarak yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen çıktılar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar şu şekildedir:

- Saf su yerine TiO₂ nanoakışkanı kullanıldığında ısı borusunun duvar sıcaklıklarındaki dağılım daha dar bir aralıkta sınırlandırılmıştır. Benzer şekilde, yoğunlaşma ve buharlaşma bölgelerinin duvar sıcaklıkları, iş akışkanı olarak nanoakışkan kullanıldığında daha küçük değerlerde seyretmiştir.
- Nanoakışkan kullanımı ile buharlaşma sıcaklığı ortalama 10°C daha düşük olmuştur.
- Nanoakışkan içerisindeki metal oksit parçacıklarının iş akışkanının iletkenliğini artırdığı, bunun sonucunda da ısı borusunun veriminde artış olduğu görülmüştür. Bu artış miktarı yaklaşık olarak % 11.76 civarındadır.
- Termofiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından ısı transferinde etkin rol alabilecek materyallerle yeni tür nanoakışkanlar hazırlanarak ısı borusu veriminin incelendiği deneysel çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Literatürdeki deneysel çalışma sonuçları kullanılarak farklı analiz yöntemleri (teorik analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği yaklaşımı gibi) ile performans belirleme çalışmaları yapılabilir ve elde edilen bulgular birbirleriyle kıyaslanabilir.
- Nanoakışkan hazırlama sürecinde farklı özelliklere sahip yüzey aktifleştiriciler kullanılarak bu maddelerin ısı borusunun performansında yaratacağı değişimler gözlemlenebilir.
- Farklı nano boyutlarda üretilen nano parçacıklarla hazırlanan nanoakışkanların iş akışkanı olarak

- kullanılmasıyla, nano parçacık boyutunun performans üzerindeki etkilerinin inceleneceği çalışmalar yapılabilir.
- viii. Nanoakışkanların sadece ısı borularında değil aynı zamanda ısı değiştiricilerinde kullanılmasıyla da bu tür cihazların performans iyileştirmesi yapılabilir.

SİMGE VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

c_p	Özgül ısı [$\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$]
\dot{m}	Kütleli debi [gs^{-1}]
R	Isıl direnç [KW^{-1}]
\dot{Q}	Isı transferi [W]
T	Sıcaklık [K]
ΔT	Sıcaklık farkı [K]
η	Verim (-)
ρ	Yoğunluk [kgm^{-3}]
μ	Viskozite [Pa.s]

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Zhang L. Z., 'Conjugate Heat and Mass Transfer in Heat Mass Exchanger Ducts', 1:Elsevier, USA, (2014).
- Çiftçi E., Sözen A., Menlik T. ve Gürü M., 'Füzel Yağı Kullanılarak Isı Borusu Performansının İyileştirilmesi', 3. Anadolu Enerji Sempozyumu(AES), Muğla, 205-212, (2015).
- Chen, Y.T., Wei, W.C., Kang, S.W. and Yu, C.S., 'Effect of Nanofluids on Flat Heat Pipe Thermal Performance', 24th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (IEEE), Dallas, (2008).
- Tsai, C.Y., Chien, H.T., Ding, P.P., Chan, B., Luh, T.Y. and Chen, 'Effect of Structural Character of Gold Nanoparticles in Nanofluid on Heat Pipe Thermal Performance', Mater. Lett., 58(9): 1461-1465, (2004).
- Qu, J., Wu, H.Y. and Cheng, P., 'Thermal Performance of an Oscillating Heat Pipe with Al_2O_3 Water Nanofluids', International Communications in Heat and Mass Transfer, 37(2): 111-115, (2010).
- Huminic, G., Huminic, A., Morjan, I. and 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).
- Chen, .Y-J., Wang, P.-Y., Liu, Z.-H. and Li, Y.-Y., "Heat transfer characteristics of a new type of copper wire-bonded flat heat pipe using nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, 67:548-559, (2013).
- Sarafraz, M. M., Hormozi, F. and Peyghambarzadeh, S. M., "Thermal performance and efficiency of a thermosyphon heat pipe working with a biologically ecofriendly nanofluid", International Communications in Heat and Mass Transfer, 57:297-303, (2014).
- Tharayil, T., Asirvatham, L. G., Ravindran, V. and Wongwises, S. "Thermal performance of miniature loop heat pipe with graphene-water nano Fluid", International Journal of Heat and Mass Transfer", 93:657-968, (2015).
- Lin, J. Z., Xia, Y. and Ku, X. K., "Flow and heat transfer characteristics of nanofluids containing rod-like particles in a turbulent pipe flow", International Journal of Heat and Mass Transfer, 93:57-66, (2015).
- Sadeghinezhad, E., Mehrli, M., Rosen, M. A., Akhiani, A. R., Latibari, S. T., Mehrli, M and Metselaar, H. S. C., "Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance", Applied Thermal Engineering, 100:775-787, (2016).
- S. Khandekar, Y.M. Joshi and B. Mehta, 'Thermal Performance of Closed Two-Phase Thermosyphon Using Nanofluids', International Journal of Thermal Sciences, 47: 659-667, (2008).
- P. Naphon, P. Assadamongkol and T. Borirak, 'Experimental Investigation of Titanium Nanofluids on The Heat Pipe Thermal Efficiency', International Communications in Heat and Mass Transfer, 35: 1316-1319, (2008).
- Naphon, D. Thongkum and P. Assadamongkol, 'Heat Pipe Efficiency Enhancement With Refrigerant-Nanoparticles Mixtures', Energy Conversion and Management, 50: 772-776, (2009).
- S.H. Noie, S.Z. Heris, M. Kahani and S.M. Nowee, 'Heat Transfer Enhancement Using Al_2O_3 /Water Nanofluid in a Two-Phase Closed Thermosyphon', International Journal of Heat and Fluid Flow, 30: 700-705, (2009).