



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Isı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinde CuO+Fe/Saf su ve CuO/Saf su nano akışkanlarının kullanımının ısı performansına etkisinin incelenmesi

Investigation of the effect of using CuO + Fe / Pure water and CuO / Pure water nano fluids on thermal performance in heat pipe air-to-air heat exchanger

Yazar(lar) (Author(s)): Kerim MARTİN¹, Kurtuluş BORAN²

ORCID¹: 0000-0002-1960-8070

ORCID²: 0000-0003-0184-8233

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Martin K., Boran K., “Isı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinde CuO+Fe/Saf Su ve CuO/Saf su nano akışkanlarının kullanımının ısı performansına etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 763-770, (2021).

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

DOI: 10.2339/politeknik.716768

Isı Borulu Havadan Havaya Isı Değişiricisinde CuO+Fe/Saf Su Ve CuO/Saf Su Nano Akışkanlarının Kullanımının Isıl Performansa Etkisinin İncelenmesi

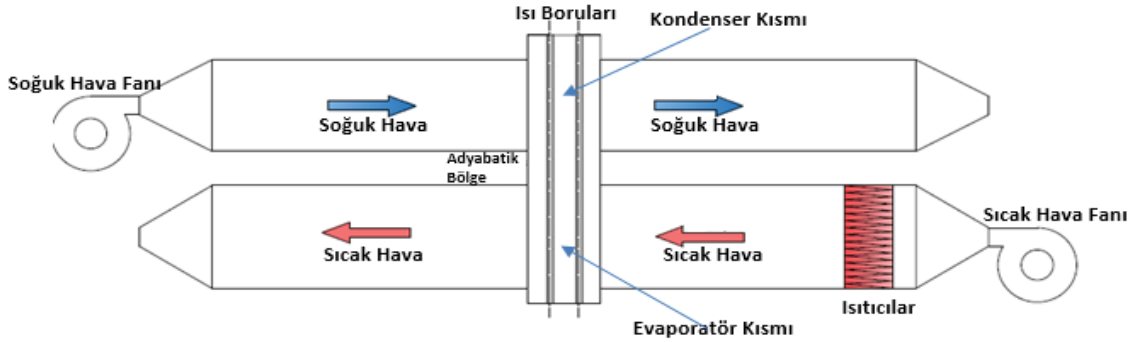
Investigation of the Effect Of Using CuO + Fe / Pure Water and CuO / Pure Water Nano Fluids on Thermal Performance in Heat Pipe Air-To-Air Heat Exchanger

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Havadan havaya ısı değiştirici/Air to air heat exchanger
- ❖ Çoklu ısı borusu demeti/ Multiple heat pipe group
- ❖ CuO+Fe/Saf Su hibrit nano akışkanı/CuO+F/Pure Water hybrid nano fluid

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Isı değiştiricinin alt kanalından geçen sıcak havanın ısısı orta kısımdaki ısı boruları sayesinde üst kanaldan geçen soğuk havayı ısıtmaktadır./The heat of hot air passing through the lower duct of the heat exchanger heats the cold air passing through the upper duct thanks to the heat pipes in the middle of the ducts.



Şekil. Deneý düzeneęinin şematik görünümü/**Figure.** Schematic view of the experimental setup

Amaç (Aim)

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

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Havadan havaya ısı değiştiricisinde termosifon tipi ısı boruları kullanılmıştır./ Thermosiphon type heat pipes are used in the air to air heat exchanger.

Özgünlük (Originality)

Isı borularında daha önce kullanılmamış olan biri hibrit olmak üzere iki farklı nano akışkan ile performans iyileştirilmesi sağlanmıştır./Performance improvement has been achieved with two different nanofluids, one of which is hybrid, which has not been used before in heat pipes.

Bulgular (Findings)

Isı borularının ısı verimlerinde max %87 oranında bir artış sağlanmıştır./An increase of 87% in thermal efficiency of heat pipes has been achieved.

Sonuç (Conclusion)

Isı borularında saf su yerine CuO+Fe/Saf su ve CuO/Saf su nano akışkanları kullanılarak ısı veriminde dikkate değer bir artış gözlemlenmiştir./A remarkable increase in thermal performance was observed by using CuO + Fe / Pure water and CuO / Pure water nano fluids instead of pure water in heat pipes.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

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

Isı Borulu Havadan Havaya Isı Değiştiricisinde CuO+Fe/Saf Su ve CuO/Saf Su Nano Akışkanlarının Kullanımının Isıl Performansa Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Kerim MARTİN*, Kurtuluş BORAN

Gazi Üniversitesi ,Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 08.04.2020 ; Kabul/Accepted : 26.04.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 27.04.2020)

ÖZ

Bu deneysel çalışmada ısı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinde saf su ve baz sıvısı saf su olan iki nano akışkanlar (CuO/ Su ve CuO+Fe/Su) kullanılarak kullanarak ısı transferi deneyleri yapılmıştır. Nano akışkanlar kütlece %2 konsantrasyona sahiptir. Deneysel düzeneği üst üste yerleştirilmiş iki hava kanalından oluşmaktadır. İki kanalın ortasında kanallara dik konumda 5 adet bakır ısı borusu demeti yer almaktadır. Alt kanaldan geçen hava 4 adet 1000' er Watt'lık ısıtıcılarla ısıtılmaktadır. Üst kanaldaki hava ısı borularını soğutarak ısı borusu içindeki akışkanı yoğunlaştırmaktadır. Deneyler 2 soğuk hava, 3 sıcak hava debisi ve 2 ısıtma gücünde yapılmıştır. Yapılan bütün deneylerde nano akışkanların saf suya göre daha iyi ısı verimleri sağladığı gözlemlenmiştir. CuO+Fe/Saf Su nano akışkanı ile diğer iki akışkana göre daha iyi ısı verim değerlerine ulaşılmıştır. CuO/Saf Su akışkanı ile yapılan deneylerde en yüksek verim artışı saf suya göre %68 olurken, aynı deney koşullarında CuO+Fe/Saf Su nano akışkanı ile bu değer %87 olarak elde edilmiştir. Bu iyileşme oranları soğuk ve sıcak kanallardaki hava debileri sırasıyla 0.75 m/s ve 0.7 m/s iken gerçekleşmiştir. Ayrıca su yerine CuO/Saf Su ve CuO+Fe/Saf Su nano akışkanları kullanımı ısı borularının ısı dirençlerini de azaltmıştır. Isıl dirençteki en yüksek azalma oranının CuO/Su için % 72, CuO+Fe/Su için de % 77 olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuO, Fe, hibrit nano akışkan, ısı borusu, ısı performans.

Investigation of the Effect of Using CuO + Fe / Pure Water and CuO / Pure Water Nano Fluids on Thermal Performance in Heat Pipe Air-to-Air Heat Exchanger

ABSTRACT

In this experimental study, heat transfer experiments were carried out by using pure water and two nanofluids (CuO/Water ve CuO+Fe/Water) whose base fluids are pure water in the heat pipe air-to-air heat exchanger. Nano fluids have a concentration of 2% by weight. The experimental setup consists of two overlapping air ducts. In the middle of the two ducts, there are 5 bundles of copper heat pipes perpendicular to the ducts.. The air passing through the lower duct is heated with 4 units of 1000 Watt heaters. The air in the upper duct cools the heat pipes and condenses the fluid in the heat pipe.. The experiments were carried out at 2 cold air flow rate, 3 hot air flow rate and 2 heating power. In all experiments, it has been observed that nanofluids provide better thermal efficiencies than pure water. Better thermal efficiency values were achieved than the other two fluids in CuO + Fe / Pure water nano fluid experiments. In CuO / Pure water nano fluid experiments, the highest efficiency increase was 68% compared to pure water. In CuO + Fe / Pure water nano fluid experiments the highest efficiency increase was 87% compared to pure water. These recovery rates were realized when the air flows in cold and hot channels were 0.75 m / s and 0.7 m / s, respectively. In addition, the use of CuO / Pure water and CuO + Fe / Pure water nano fluids instead of pure water has reduced the thermal resistance of heat pipes. It has been observed that the highest reduction rate in thermal resistance is 72% for CuO / water and 77% for CuO + Fe / Water.

Keywords: CuO, Fe, hybrid nano fluid, heat pipe, thermal performance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isı geri kazanımı terimi genelde farklı sıcaklıklarda iki kaynak arasında çalışan havadan havaya ısı ya da enerji geri kazanım sistemi olarak bilinir [1]. Havadan havaya ısı geri kazanım sistemleri sayesinde atmosfere atılacak olan yüksek sıcaklıktaki atık gazın enerjisinden yararlanılabilmektedir. Isı geri kazanımı ısı değiştiriciler vasıtasıyla yapılmaktadır. Çeşitli uygulamalarda

kullanılan çok sayıda havadan havaya ısı değiştiricisi tipi vardır. Bunlar ısı transferine, geometriye, akışkan sayısına, yapı tipine vb. şekilde sınıflandırılabilir [2].

Isı boruları bakır ve alüminyum gibi iletken metallere göre daha yüksek etkin ısı iletkenlikleri sayesinde sıklıkla kullanılan ısı transfer ekipmanlarıdır[3]. Isı borularının birkaç türü mevcuttur. Bunlardan biri de termosifon tipi ısı borularıdır. Termosifonlar yer çekiminin etkisiyle yalnızca dik ya da kısmen eğik pozisyonda çalışabilirler. Çalışma akışkanı cihazın ısıtılan alt kısmındadır. Akışkan burada buharlaşarak kondenser bölgesine doğru hareket eder. Kondenser

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : kerimmartin@gazi.edu.tr

bölgesi akışkanın çığ noktasının altındaki bir sıcaklığa kadar soğutulur ve böylece boru iç yüzeyinde bir kondens filmi oluşur [4]. Akışkan yer çekiminin etkisiyle evaporatör bölgesine geri döner.

Isı borularında yaygın olarak kullanılan akışkanlar saf su, metanol, etilen glikol ve bunların karışımları olup ısı borularının verimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi kullanılan akışkanın ısı iletkenliğidir [5]. Nano akışkana süspansiyon edilen parçacıklar ısı borularının ısı performansını iyileştirirler. Parçacıkların etkileşim ve çarpışmaları akışkan temas yüzey alanının, çalkalanmaların ve türbülansın artmasına neden olur. Türbülans yoğunluğu ve geniş yüzey alanı daha yüksek ısı taşınımı ve dolayısıyla daha yüksek ısı transferi sağlar [6].

Bu deneysel çalışmada 5 adet ısı borusundan oluşan bir ısı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinde iki farklı nano akışkan kullanarak ısı performansının artırılması amaçlanmıştır. Isı değiştiricisinin performansını kıyaslayabilmek için deneyler aynı koşullarda hem nano akışkanlar ile hem de saf su ile ayrı ayrı yapılmıştır. Isıl performans kıyaslaması hava giriş çıkış sıcaklıkları yardımı ile hesaplanan verim değerlerine göre yapılmıştır. Ayrıca 3 sıvı için ısı borularının ısı dirençleri de hesaplanmış ve nano akışkanların ısı direnç üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Nano Akışkanın Hazırlanması (Preparation of Nano Fluid)

Nano akışkan hazırlamak için kullanılan CuO ve Fe nano

konsantrasyonda iki farklı nano akışkan hazırlanmıştır. Bunlardan biri kütlece 1:1 oranında CuO ve Fe nano parçacıkları içeren CuO+Fe/Saf su hibrit nano akışkanıdır. Diğeri ise CuO/Saf su nano akışkanıdır. CuO ve Fe nin saflıklar sırası ile %99.99 ve 99.55 dir. CuO'in ortalama parçacık boyutu 38 nm iken Fe 30-40 nm ortalama parçacık boyutuna sahiptir. Nano parçacıkların diğer özellikleri Çizelge'1 de verilmiştir. Şekil 1'de nano parçacıkların parçacık boyut dağılım grafikleri görülmektedir.

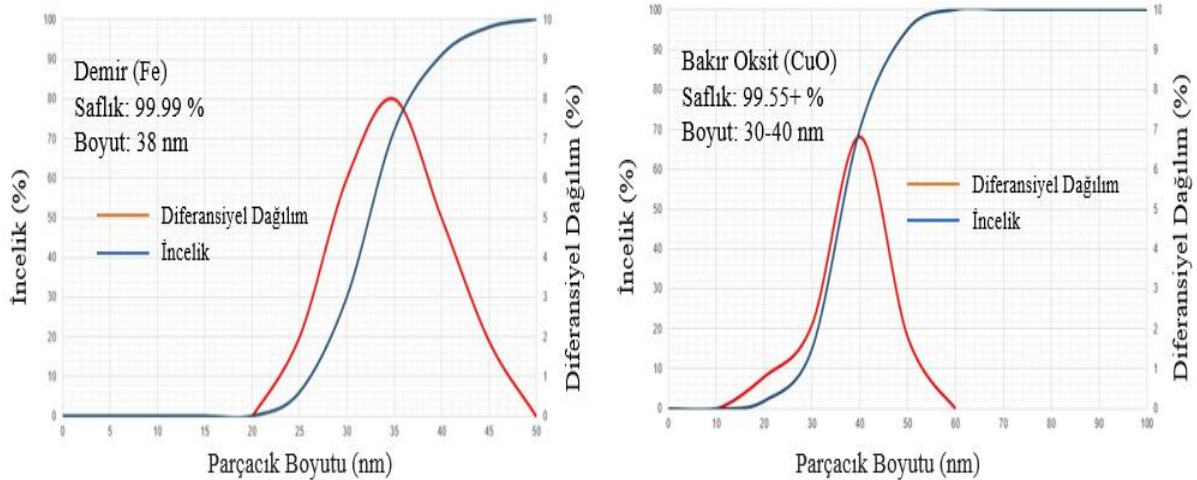


Şekil 2: (a) CuO+Fe/ Saf Su nano akışkanı, (b) CuO/Saf Su nano akışkanı, (c) Ultrasonik banyo (a) CuO + Fe / Pure Water nano fluid, (b) CuO / Pure Water nano fluid, (c) Ultrasonic bath

Akışkan hazırlamak için kullanılan metal ve metal oksitlerin suda çözünmesi söz konusu olmadığı için bir miktar çökeltmenin olması muhtemeldir. Çökeltmeyi en aza indirmek için yüzey aktifleştirici olarak kimyasal formülü C₁₄H₂₂O (C₂H₄O)_n olan Triton X-100 %0.2

Çizelge 1. Nano parçacıkların özellikleri (Properties of nano particles)

Nano Parçacık	Yoğunluk(kg/m ³)	Isıl İletkenlik(W/mK)	Öz Isı(J/kgK)
Bakır Oksit (CuO)	6320	32.9	531
Demir (Fe)	7800	76.2	440



Şekil 1. Parçacık boyut dağılımları (Particle size distributions)

parçacıkları toz halinde tedarik edilmiştir. Kütlece %2 oranında karışıma eklenmiştir. Saf su, nano parçacık ve

Çizelge 2. Nano akışkanların özellikleri (Properties of nanofluids)

Nano Akışkan	Viskozite(kg/ms)	Isı İletim Katsayısı(W/mK)	Özgül Isı Kapasitesi(J/kgK)
CuO/Saf su	0.000937	0.66598	4107.02
CuO+Fe/Saf su	0.001231	0.70318	4095,56

Triton X-100 den oluşan karışım dayanıklılığının artırılması ve parçacıkların baz sıvı içindeki dağılımının daha iyi sağlanması için 6 saat süreyle ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Şekil 2 de hazırlanan nano akışkanlar ve kullanılan ultrasonik banyo görülmektedir.

CuO/Saf su ve CuO+Fe/Saf su nano akışkanlarının yoğunlukları deneysel olarak sırasıyla 1006.3 kg/m³ ve 1010 kg/m³ olarak bulunmuştur. Nano akışkanların termofiziksel özellikleri ise literatürdeki bazı teorik bağlantılar kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2 de verilmiştir.

CuO/Saf su tekil nano akışkanı için aşağıdaki bağlantılar kullanılmıştır. Viskozite eşitlik 1 [7], özgül ısı kapasitesi eşitlik 2 [7] yardımıyla bulunmuştur. Burada μ_{nf} nano akışkanın viskozitesi, μ_{bf} baz sıvının viskozitesi, φ_{np} nano akışkanın konsantrasyonunu göstermektedir. $c_{p,nf}$ nano akışkanın özgül ısı kapasitesi, $c_{p,bf}$ baz sıvının özgül ısı kapasitesi, $c_{p,np}$ nano parçacığın özgül ısı kapasitesidir.

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{(1-\varphi_{np})^{2.5}} \quad (1)$$

$$c_{p,nf} = (1 - \varphi_{np})c_{p,bf} + \varphi_{np}c_{p,np} \quad (2)$$

Isıl iletkenlik katsayısı eşitlik 3 [8] ile bulunmuştur. Burada k_{statik} , k_f ve k_p sırasıyla nano akışkanın statik ısı iletim katsayısı, baz sıvının ısı iletim katsayısı ve nano parçacığın ısı iletim katsayısını göstermektedir.

$$\frac{k_{statik}}{k_f} = 1 + \frac{3\left(\frac{k_p}{k_f}-1\right)\varphi}{\left(\frac{k_p}{k_f}+2\right)-\left(\frac{k_p}{k_f}-1\right)\varphi} \quad (3)$$

CuO+Fe/Saf su hibrit nano akışkanı için ise aşağıdaki bağlantılar kullanılmıştır. Viskozite eşitlik 4 [9], özgül ısı kapasitesi eşitlik 5 [10], ısıl iletkenlik katsayısı eşitlik 6 [9] ile bulunmuştur.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 32.795\varphi - 7214\varphi^2 + 714600\varphi^3 - 0.1941\varphi^4) \quad (4)$$

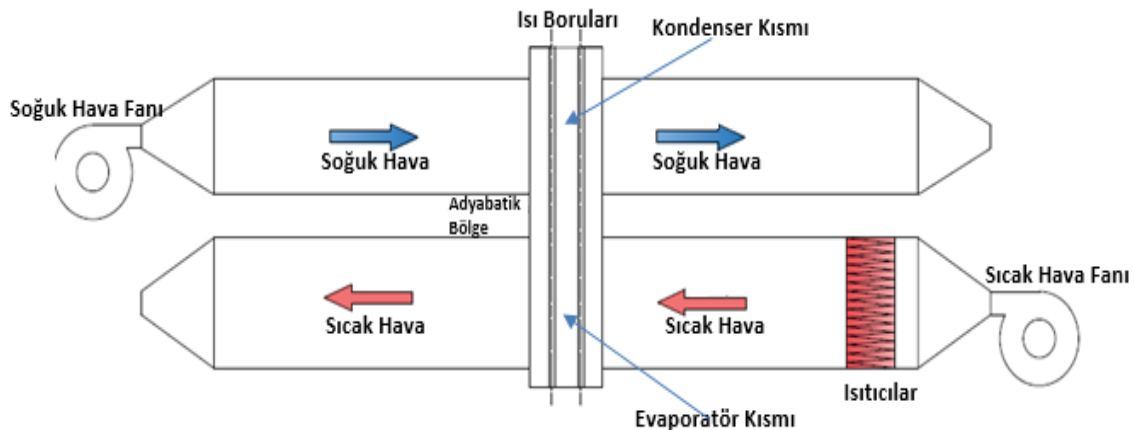
$$c_{p,hnf} = \frac{\varphi_{np1}\rho_{np1}c_{p,np1} + \varphi_{np2}\rho_{np2}c_{p,np2} + (1-\varphi_{np1}-\varphi_{np2})\rho_{bf}c_{p,bf}}{\rho_{hnf}} \quad (5)$$

$$k_{nf} = k_{bf} \left(\frac{0.1747 \cdot 10^5 + \varphi_p}{0.1747 \cdot 10^5 - 0.1498 \cdot \varphi_p + 0.1117 \cdot 10^7 \cdot \varphi_p^2 + 0.1997 \cdot 10^8 \cdot \varphi_p^3} \right) \quad (6)$$

2.2. Deneysel Düzenek (Experimental Setup)

Deneysel düzenek, sıcak ve soğuk havanın birbirine karışmadığı, üst üste yerleştirilmiş, aralarında 150 mm mesafe bulunan, uzunlukları yaklaşık 2.5 m olan dikdörtgen kesitli iki hava kanalından oluşmaktadır. Deneysel düzenek şematik görünümünü Şekil 3 te verilmiştir.

Şekil 3'ten de görüleceği gibi üstteki kanaldan soğuk hava alttaki kanaldan sıcak hava akışı olmaktadır. Her iki kanalın girişinde yer alan frekans kontrollü fanlar sayesinde kanal içindeki hızlar kontrol edilmektedir. Alt kanalın giriş kısmında 1000'watt gücünde 4 adet ısıtıcı rezistans yer almaktadır. Bu rezistanslar bağımsız olarak devreye alınabilmektedir. Böylece sistemin farklı sıcaklıklardaki performansı da incelenebilmektedir. Kanalların tam ortasında dış çapları 25.4 mm, iç çapları 23.4 mm olan 5 adet ısı borusu yer almaktadır. Isı boruları kanala saptırmalı olarak yerleştirilmiştir. Bu sayede her bir ısı borusu kanaldan geçen hava ile doğrudan temas halindedir. Şekil 4a da ısı borularının yerleşimi görülmektedir.


Şekil 3: Deneysel düzenek şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)



Şekil 4: a) Isı borularının yerleşimi b) Manometreler
(a)Layout of heat pipes b) Manometers

Her bir ısı borusu 100 cm uzunluğundadır. Bu 100 cm nin 45 cm lik kısmı evaporatör, 40 cm lik kısmı kondenser ve 15 cm lik kısmı da adyabatik bölge olarak ayrılmıştır. Evaporatör kısmında akışkana bir ısı geçişi olmakta ve akışkan buharlaşmaktadır. Adyabatik bölgede herhangi bir ısı girişi çıkışı olmamaktadır. Kondenser kısmında ise akışkandan bir ısı çıkışı olmakta ve akışkan yoğunlaşmaktadır. Deney düzeneği üzerinde toplam 14 adet K tipi ısı çifti yer almaktadır. Bunların 4 tanesi kanal giriş ve çıkışlarına, 5 tanesi evaporatör bölgesine, 5 tanesi de kondenser bölgesine yerleştirilmiştir. Isıl çiftlerden alınan sıcaklık değerleri 16 kanallı bir veri kaydedici ile bilgisayara kaydedilmiştir.

2.3. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Deneylere başlamadan önce ısı boruları 30'ar dakika süreyle vakuma tabi tutulmuştur. Vakum sayesinde içerdeki akışkanın kaynama noktası atmosferdeki kaynama noktasından aşağıya çekilmiş ve sistemin düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi sağlanmıştır. Vakumlama işlemi bu çalışmanın en kritik adımındır. Vakum doğru yapılmadığı takdirde ısı borusu düzgün çalışmayacaktır. Boruların üst kısmında yer alan manometreler sayesinde boru içindeki basınçlar anlık olarak takip edilebilmektedir (Şekil 4b). Vakulamadan sonraki işlem ısı borularına sıvı şarjı işlemidir. Her bir ısı borusuna evaporatörün 1/3'lük kısmını dolduracak kadar (65ml) sıvı şarjı yapılmıştır.

Her iki akışkan ve saf su için 12 farklı koşulda deneyler yapılmıştır. Bu koşullar 3 farklı sıcak hava debisi, 2 farklı soğuk hava debisi ve 2 farklı ısıtma gücü ile sağlanmıştır. Deneyler her bir koşul için sistem ısıl dengeye gelene kadar sürdürülmüştür. Isıl dengeye geldikten sonra veriler kaydedilip diğer koşula geçilmiştir. İki deney arasında sistem soğutulularak her deneyin eşit şartlarda yapılması sağlanmıştır.

2.4. Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

Deneysel çalışmalarda çeşitli sebeplerden dolayı bazı hatalar (sapmalar) meydana gelmektedir. Bu hataların kabul edilebilir aralıkta olup olmadığı belirsizlik analizi ile anlaşılabilir. Bu çalışmada sıcaklık ölçümü için ısıl çiftler, kanal içindeki hava debisi tayini için hava hızı ölçümü dijital anemometre ile yapılmıştır. Bu ölçüm ve hesaplamalardaki belirsizlikler eşitlik 7 [11] yardımı ile bulunmuştur.

$$W_F = \left[\left(\frac{\partial F}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Burada F bağımsız değişkenler (x_1, x_2, \dots, x_n) ile ifade eden bir fonksiyon, WF bulguların belirsizliği ve w_1, w_2, \dots, w_n bağımsız değişkenlerin belirsizliğini ifade etmektedir.

Sıcaklık ölçümünde kullanılan ısıl çiftlerin hassasiyeti $\pm 0.5^\circ\text{C}$, ısıl çiftlerin yerleşim yerlerinden kaynaklanan hata 0.8, okuma hassasiyeti de 0.6 olarak dikkate alınmış ve sıcaklık ölçümlerindeki toplam belirsizlik aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$W_{\text{sıcaklık}} = \left[(w_{\text{ısıl çift}})^2 + (w_{\text{yerleşim}})^2 + (w_{\text{okuma}})^2 \right]^{1/2} = [(0.5)^2 + (0.8)^2 + (0.6)^2]^{1/2} = 1.118034 \quad (8)$$

Kanal içindeki debi tayini için hava hızı ve alandan yola çıkılarak hesaplama yapılmıştır. Burada belirsizliğe neden olan etkenler arasında hız ölçümünde kullanılan anemometrenin hassasiyeti, hız ölçümü yapılan yer, kanalın ebatlarının ölçümündeki hassasiyet sayılabilir. Anemometrenin hassasiyeti ± 0.1 m/s, yerleşim yeri hatası 0.7 ve kanal ebatlarındaki hatadan kaynaklı alanın belirsizliği de 0.4 olarak hesaba katılmıştır. Debi hesabında meydana gelebilecek belirsizlik durumu benzer şekilde aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$W_{\text{debi}} = \left[(w_{\text{anemometre}})^2 + (w_{\text{yerleşim}})^2 + (w_{\text{kanal ebatları}})^2 \right]^{1/2} = [(0.1)^2 + (0.7)^2 + (0.4)^2]^{1/2} = 0.8124 \quad (9)$$

Hesaplanan belirsizlik değerleri 11. ve 12. kaynaklardaki değerlerle karşılaştırılmış ve bulunan değerlerin kabul edilebilir bir aralıkta yer aldığı gözlemlenmiştir [11],[12].

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

Deney düzeneğindeki ısı boruları alt kanaldaki sıcak havadan aldığı enerjini üst kanaldaki soğuk havaya aktarmaktadır. Bu enerjiler eşitlik 10 ve eşitlik 11 yardımı ile hesaplanmıştır. Isı borularının verimi soğuk havanın aldığı enerjinin (Q_k) sıcak havanın verdiği enerjiye (Q_e) oranı olarak hesaplanmıştır (Eş.12). Isı borusunun evaporatörü ve kondenseri arasındaki ortalama sıcaklık farkının evaporatör kısmında ısı borusuna aktarılan ısıya oranı ısıl direnç olarak değerlendirilir (Eş. 13). Kanal içindeki akışın tipini belirlemek için Re sayısı eşitlik 14 ile hesaplanmıştır.

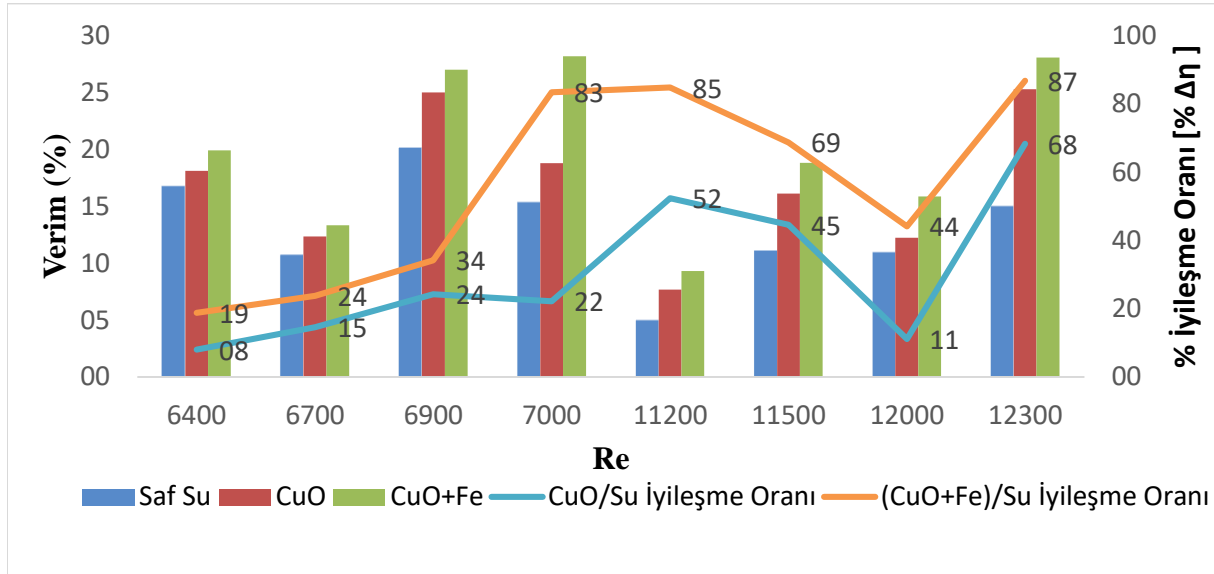
$$\dot{Q}_k = \dot{m}_{\text{soğuk hava}} c_{p,\text{soğuk hava}} (T_{\text{soğuk çıkış}} - T_{\text{soğuk giriş}}) \quad (10)$$

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{\text{sıcak hava}} c_{p,\text{sıcak hava}} (T_{\text{sıcak çıkış}} - T_{\text{sıcak giriş}}) \quad (11)$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_e} \quad (12)$$

$$R = \frac{\Delta T}{Q_e} \quad (13)$$

$$Re = \frac{\rho_{\text{hava}} V_{\text{ort}} D_h}{\mu} \quad (14)$$



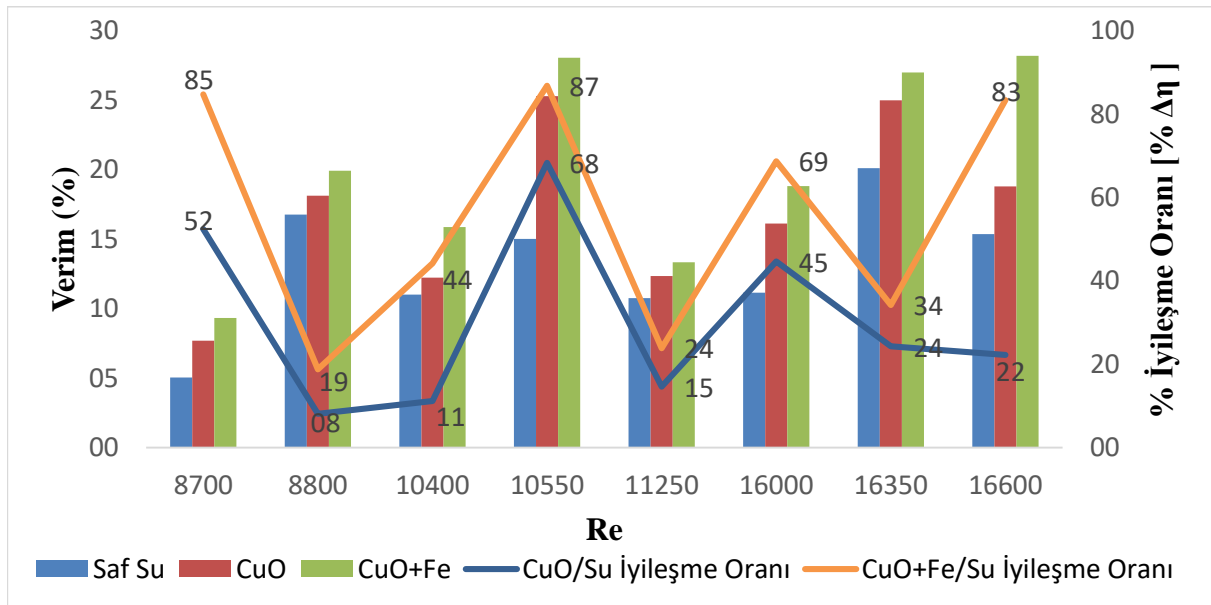
Şekil 5: Soğuk hava kanalındaki Re sayılarına göre ısı değiştiricisinin verim değerleri ve iyileşme oranları (Efficiency values and recovery rates of heat exchanger according to Re numbers in cold air duct)

Isı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinin verimindeki iyileşme saf su ve nano akışkan sonuçları kıyaslanarak eşitlik 15 ile hesaplanmıştır. Deneyler önce saf su ile daha sonra da nano akışkanlar ile yapılmıştır. Kanal içindeki Re sayıları türbülanslı akışa geçiş için kritik değer olan 4000'den büyük olduğu için bütün deneylerde türbülanslı akış koşulları söz konusudur.

$$iO = \frac{\eta_{nanoakışkan} - \eta_{saf\ su}}{\eta_{saf\ su}} * 100 \quad (15)$$

Şekil 5'deki grafik soğuk kanaldaki Re sayılarına göre üç farklı akışkanın verimlerini ve iki nano akışkanın suya göre verimindeki iyileşme oranını göstermektedir. Grafığe göre Re sayılarındaki artış ile verimler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu söylenemez. Ancak bütün deney koşullarında nano akışkanların kullanıldığı

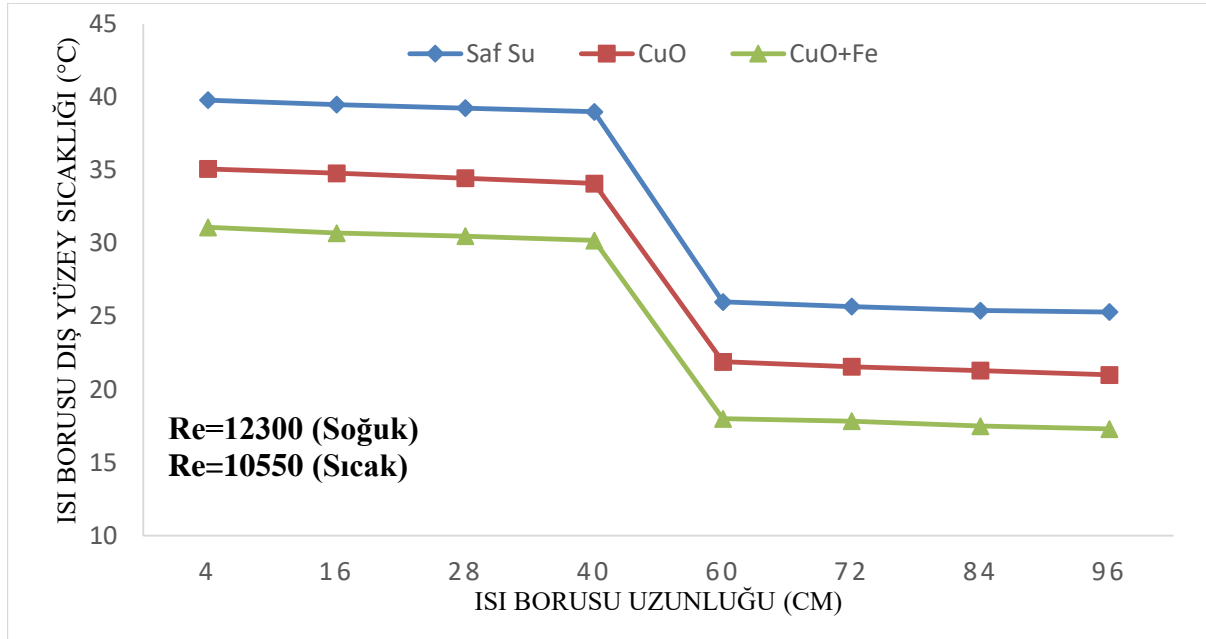
deneylerde saf suya göre ciddi anlamda bir verim artışı söz konusudur. Ayrıca CuO+Fe hibrit nano akışkanının kullanıldığı deneylerde verim, hem suyun kullanıldığı hem de CuO nano akışkanının kullanıldığı deneylere göre daha yüksek çıkmıştır. Re sayısı 11200 iken tüm akışkanlar için en düşük verimler elde edilmiştir. CuO nano akışkanı kullanıldığında verimlerde suya kıyasla % 8 ile % 68 arasında değişen iyileşme oranları elde edilmiştir. İyileşme oranının en fazla (% 68) olduğu Re sayısı 12300 olmuştur. Bu koşullarda soğuk kanaldaki hız değeri 0.75 m/s dir. İyileşme oranının % 8 olarak gerçekleştiği deney koşullarında kanal içi hız 0.44 m/s olarak ölçülmüş ve Re sayısı 6400 olarak hesaplanmıştır. CuO+Fe hibrit nano akışkanının kullanıldığı deneylerde ise iyileşme oranları % 19 ile % 87 arasında değişiklik



Şekil 6: Sıcak hava kanalındaki Re sayılarına göre ısı değiştiricisinin verim değerleri ve iyileşme oranları (Efficiency values and recovery rates of heat exchanger according to Re numbers in hot air duct)

göstermiştir. Bu iyileşme değerlerine de CuO deneylerinde olduğu gibi sırasıyla Re sayısı 6400 ve

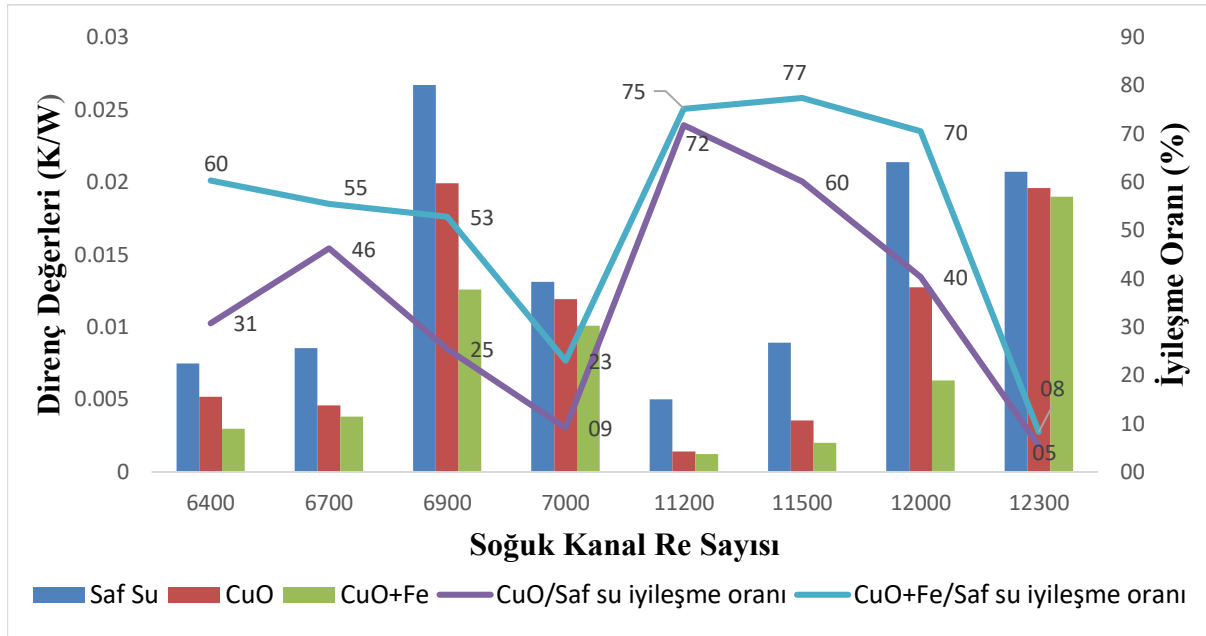
CuO+Fe için sırasıyla % 68 ve % 87 olmuştur. Bu koşullarda sıcak kanal içindeki hız 0.7 m/s'dir.



Şekil 8: Isı borusu boyunca olan sıcaklık dağılımı (Temperature distribution along the heat pipe)

12300 iken ulaşılmıştır. Yani Re sayısı 12300 iken her iki akışkanın iyileşme oranı maksimum olmuştur.

Isı borularının ısı dirençleri ısı transferini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Isıl direncin azalması ısı



Şekil 7: Soğuk hava kanalındaki Re sayılarına göre ısı direnç değerleri ve ısı dirençlerdeki iyileşme oranları (Thermal resistance values and improvement rates in thermal resistances according to Re numbers in cold air duct)

Şekil 6'daki grafik ise elde edilen verimlerin ve iyileşme yüzdelерinin sıcak hava kanalındaki hangi Re sayısına karşılık geldiğini göstermektedir. Bu grafiğe göre üç akışkan için de en düşük verim değerlerine sıcak kanal içindeki Re sayısı 8700 iken ulaşılmıştır. Re sayısı 8800 iken verimdeki iyileşme oranları CuO ve CuO+Fe nano akışkanları için sırasıyla % 8 ve % 19 olmuştur. Bu değerler en düşük iyileşme oranlarıdır. En yüksek iyileşme oranları ise Re sayısı 10550 iken CuO ve

transferini artıracaktır. Şekil 7'de görüldüğü gibi yapılan çalışmada ısı borularında saf su yerine nano akışkan kullanımı ısı dirençlerde bir azalma sağlanmıştır. Üç akışkan için en küçük ısı dirençlere soğuk kanaldaki Re sayısı 11200 iken ulaşılmıştır. CuO nano akışkanının ısı dirençte sağladığı en yüksek iyileşme oranı yine Re sayısı 11200 iken % 72 olarak gerçekleşmiştir. CuO+Fe nano akışkanı için ise en yüksek iyileşme oranı Re sayısı 11500 olduğunda % 77 olarak elde edilmiştir.

Şekil 8'deki grafik verimdeki en yüksek iyileşme oranının elde edildiği sıcak kanal ve soğuk kanal Re değerlerinde ısı borusu boyunca olan duvar sıcaklıklarını göstermektedir. Grafikten de görüleceği gibi evaporatör ve kondenser arasındaki sıcaklık farkının en fazla olduğu akışkan saf su olmuştur. Bu sıcaklık değerinin yüksek olması ısıl direncin yüksek olmasına dolayısıyla da ısı transferinin daha az olmasına neden olmuştur. Isı borularında nano akışkan kullanımı evaporatör ve kondenser arasındaki ortalama sıcaklık farkını azaltmıştır. Böylece bir verim artışı elde edilmiştir. Kullanılan nano akışkanlar kıyaslanacak olursa CuO+Fe/Saf su nano akışkanının kullanıldığı deneylerde en az sıcaklık farkı ve maksimum verim artışı oluşmuştur. CuO/Saf su nano akışkanı da saf suya göre daha az sıcaklık farkı oluştururken CuO+Fe/Saf su hibrit nano akışkanına göre daha fazla bir sıcaklık farkı oluşturmuştur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Isı borulu havadan havaya ısı değiştiricisinin performansını belirlemek için yapılan bu çalışmada iki nano akışkanın verimleri saf suyun verimi ile karşılaştırılmıştır. Nano akışkanlar saf su ile hazırlanmış olup ağırlıkça %2 'lik konsantrasyona sahiptirler. Kullanılan nano parçacıklardan biri CuO diğeri ise ağırlıkça eşit miktarlarda CuO ve Fe içeren bir karışımdır. Bu deneysel çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve sonraki çalışmalarda yapılabilecek uygulamalar aşağıda sunulmuştur;

- ✓ Su yerine CuO ve CuO+Fe nano parçacıkları ile hazırlanan akışkanlarının kullanımı ısı değiştiricisinin veriminde bir artış sağlamıştır. Verimdeki maksimum artış CuO+Fe kullanılan deneyde %87 olarak gerçekleşmiştir.
- ✓ CuO+Fe/saf su hibrit nano akışkanı bütün deneylerde CuO/saf su nano akışkanı ve saf suya göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
- ✓ CuO+Fe karışımı kullanıldığında ısı borusunun evaporatör ve kondenser sıcaklıkları arasındaki fark en az olmuş dolayısıyla en küçük ısıl dirençlere ulaşılmıştır.

- ✓ Nano akışkan kullanımı ısı borularının ısıl dirençlerini düşürerek ısı transferlerini iyileştirmiştir. ısıl dirençteki maksimum azalma oranı %77 olarak CuO+Fe/saf su nano akışkanı ile elde edilmiştir.
- ✓ Yine CuO+Fe karışımı ısıl dirençleri azaltma konusunda CuO'e göre daha etkili olmuştur.
- ✓ Yapılan deneyler kanallardaki Re sayıları ile ısı değiştiricisinin verimi arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığını ortaya koymuştur.
- ✓ Sonraki çalışmalarda farklı metal ve metal oksitler ya da farklı baz akışkanlar kullanılarak ısı değiştiricisinin performansı incelenebilir.
- ✓ Hava hızları değiştirilerek farklı koşullar için sistemin işleyişi değerlendirilebilir.
- ✓ Isı borularına yapılan vakum miktarı artırılarak sistemin daha düşük sıcaklıklar için uygunluğu araştırılabilir.

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)

Kerim MARTİN: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiştir ve makalenin yazım kısmında görev yapmıştır.

Kurtuluş BORAN: Sonuçların yorumlanması ve yazım kısmında görev yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

<i>CuO:</i> Bakır oksit nano parçacık	<i>R:</i> Isıl direnç [K/W]
<i>Fe:</i> Demir nano parçacık	<i>Re:</i> Reynolds sayısı
\dot{Q}_k : Kondenserdeki ısı transfer miktarı [W]	ρ_{hava} : Havanın yoğunluğu [kg/m ³]
\dot{Q}_e : Evaporatördeki ısı transfer miktarı [W]	V_{ort} : Havanın ortalama hızı [m/s]
\dot{m} : Havanın kütleli debisi [kg/s]	D_h : Hidrolik çap [m]
c_p : Havanın özgül ısı [kJ/kgK]	μ : Dinamik viskozite [kg/ms]
η : Verim	$\dot{I}O$: İyileşme oranı [%]
μ_{nf} : Nano akışkanın viskozitesi [kg/ms]	T : Sıcaklık
μ_{bf} : Baz akışkanın viskozitesi [kg/ms]	k_{statik} : Nano akışkanın statik ısı iletim katsayısı [W/mK]
φ_{np} : Nano akışkanın konsantrasyonu [%]	k_f : Baz akışkanın ısı iletim katsayısı [W/mK]
$c_{p,nf}$: Nano akışkanın özgül ısı [kJ/kgK]	k_p : Nano parçacığın ısı iletim katsayısı [W/mK]
$c_{p,bf}$: Baz akışkanın özgül ısı [kJ/kgK]	$c_{p,hmf}$: Hibrit nano akışkanın özgül ısı kapasitesi [kJ/kgK]

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Mert P. ve Riffat S., “A comprehensive review of heat recovery systems for building applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 47: 665–682, (2015).
- [2] Zeng C., Liu S., ve Shukla A., “A review on the air-to-air heat and mass exchanger technologies for building applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 75: 753–774, (2017).
- [3] Ramezanizadeh M. ve Alhuyi M., “Application of nano fluids in thermosyphons: A review,” *J. of Molecular Liq.*, 272: 395–402, (2018).
- [4] Bianco V., Manca O., Nardini S., ve Vafai K., “*Heat Transfer Enhancement with Nanofluids Enhancement*”, CRC Press, New York, (2015).
- [5] Menlik T., Sözen A., Gürü M., ve Oztas S., “Heat transfer enhancement using MgO / water nano fluid in heat pipe,” *J. Energy Inst.*, 88: 247–257, (2015).
- [6] Sözen A., Menlik T., Gütü M., Boran K., Kılıç F., Aktaş M., ve Çakır M. T., “A comparative investigation on the effect of fly-ash and alumina nanofluids on the thermal performance of two-phase closed thermo-syphon heat pipes,” *Appl. Therm. Eng.*, 96: 330–337, (2016).
- [7] Aramesh M., Pourfayaz F., Haghiri M., Kasaeian A., ve M. Ahmadi, “Investigating the Effect of Using Nanofluids on the Performance of a Double-Effect Absorption Refrigeration Cycle Combined with a Solar Collector,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, 1–32, (2019).
- [8] Sheikholeslami M. ve Ganji D. D., “Nanofluid flow and heat transfer between parallel plates considering Brownian motion using DTM,” *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 283: 651–663, (2015).
- [9] Huminic G. and Huminic A., “Hybrid nanofluids for heat transfer applications – A state-of-the-art review,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, 125: 82–103, (2018).
- [10] Babar H. and Ali H. M., “Towards hybrid nanofluids: Preparation, thermophysical properties, applications, and challenges,” *J. Mol. Liq.*, 281: 598–633, (2019).
- [11] Çiftçi E., Sözen A., ve Karaman E., “TiO₂ içeren nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi” *Politeknik Dergisi*, 19(3): 367–376, (2016).
- [12] Sözen A., Gürü M., Khanlari A., and Çiftçi E., “Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid,” *Appl. Therm. Eng.*, 160: 114001, (2019).