



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

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

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



Sıralı tip ısı borulu ısı değiştiricilerinde MgO+CuO/su ve MgOAl₂O₃/su nanoakışkanları kullanılarak performansın iyileştirilmesi: Karşılaştırmalı deneysel alışma

Improvement of performance by using MgO+CuO/water and MgOAl₂O₃/water nanofluids in sequential heat pipe heat exchangers: A comparative experimental study

Yazar(lar) (Author(s)): Çağdaş FİLİZ¹, Yaşar YETİŐKEN²

ORCID¹: 0000-0002-5438-5853

ORCID²: 0000-0002-0182-2124

Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Filiz ., Yetişken Y., “Sıralı tip ısı borulu ısı değiştiricilerinde MgO+CuO/su ve MgOAl₂O₃/su nanoakışkanları kullanılarak performansın iyileştirilmesi: Karşılaştırmalı deneysel alışma”, *Politeknik Dergisi*, 24(4): 1327-1335, (2021).

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

DOI: 10.2339/politeknik.715787

Sıralı Tip Isı Borulu Isı Değişiricilerinde MgO+CuO/Su ve MgOAl₂O₃/Su Nanoakışkanları Kullanılarak Performansın İyileştirilmesi: Karşılaştırmalı Deneysel Çalışma

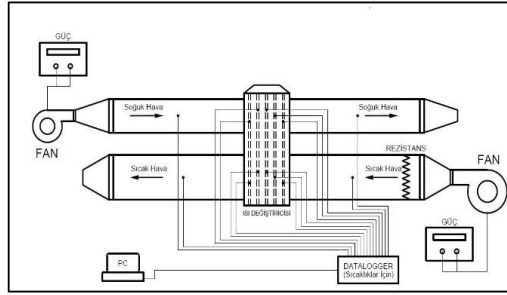
Improvement of Performance by Using MgO+CuO/Water and MgOAl₂O₃/Water Nanofluids in Sequential Heat Pipe Heat Exchangers: A Comparative Experimental Study

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Sıralı tip ısı borulu ısı değiştiricileri/Sequential heat pipe heat exchangers
- ❖ MgO+CuO/Su hibrit nanoakışkanı/MgO+CuO/Water hybrid nanofluid
- ❖ MgOAl₂O₃/Su nanoakışkanı/ MgOAl₂O₃/Water nanofluid
- ❖ Çoklu ısı borusu demeti/Multiple heat pipe group

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sıralı tip ısı borulu ısı değiştiricisinin alt hava kanalından geçen sıcak hava, tesisatın orta kısmında yer alan ısı boruları sayesinde üst hava kanalından geçen soğuk havaya ısısını bırakmak suretiyle buradaki soğuk havayı ısıtmaktadır. / The hot air passing which the lower air duct of the sequential type heat pipe heat exchanger, thanks to the heat pipes in the middle of the installation, it heats the cold air here by leaving its heat to the cold air passing through the upper air duct.



Şekil. Deneysel düzeneğin şematik görünümü/Figure. Schematic view of the experimental setup

Amaç (Aim)

Isı borulu ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanılarak ısı performansının iyileştirilmesi. / Improvement of thermal performance by using nanofluid in heat pipe heat exchanger.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Termosifon tipi ısı boruları havadan havaya ısı değiştiricisinde kullanılmıştır. / Thermosiphon type heat pipes are used in air-to-air heat exchanger.

Özgünlük (Originality)

Isı borulu ısı değiştiricisinde daha önce birlikte kullanılmamış olan iki farklı nanoakışkan ile performans iyileştirmesi sağlanmıştır. / Performance improvement has been achieved with two different nanofluids that have not been used together before in the heat pipe heat exchanger.

Bulgular (Findings)

Isı borularının ısı verimlerinde max %91 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. / A maximum of 91% improvement was achieved in the thermal efficiency of the heat pipes.

Sonuç (Conclusion)

Saf su yerine MgO+CuO/Su ve MgOAl₂O₃/Su nanoakışkanları, ısı borularında kullanılarak ısı performansında önemli bir ölçüde artış gözlemlenmiştir. / A significant increase in thermal performance was observed by using MgO+CuO/Water and MgOAl₂O₃/Water nanofluids in heat pipes instead of pure water.

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.

Sıralı Tip Isı Borulu Isı Değiştiricilerinde MgO+CuO/Su ve MgOAl₂O₃/Su Nanoakışkanları Kullanılarak Performansın İyileştirilmesi: Karşılaştırmalı Deneysel Çalışma

Araştırma Makalesi / Research Article

Çağdaş FİLİZ^{1*}, Yaşar YETİŞKEN²

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

(Geliş/Received : 07.04.2020 ; Kabul/Accepted : 15.04.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 18.04.2020)

ÖZ

Gerekli temiz havanın ön ısıtılmasında kullanılan sistemler; sanayide ve birçok atık ısı tesislerinde kullanılan atık ısı geri kazanım üniteleridir. Bu çalışmada havadan havaya ısı geri kazanım sistemlerinde saf su ve nanoakışkanlar kullanılarak ısı borulu ısı geri kazanım sisteminin ısı performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Son zamanlarda bayağı uygulama alanı bulan nanoakışkanların deney düzeneğinde kullanılmış olması, çalışmaya özgünlük değeri katmıştır. Çalışma akışkanı olarak MgO+CuO/Su hibrit nanoakışkanı ve MgOAl₂O₃/Su nanoakışkanı ısı borulu ısı değiştiricisinde kullanılmıştır. Bu nanoakışkanların kullanılmasıyla, saf suya göre ısı geri kazanım sisteminin ısı performanstaki iyileşme oranları tespit edilmiş ve bunlara yorum getirilmeye çalışılmıştır. Isı borularının alt kısmı olan kondenser bölgesinde, soğuk hava hızı 0.751 m/s ve Re=12300 iken, MgO+CuO/Su hibrit nanoakışkanı için % 77 oranında ve MgOAl₂O₃/Su nanoakışkanı için % 91 oranında iyileşme olduğu ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, ısı geri kazanımı, nanoakışkan.

Improvement of Performance by Using MgO+CuO/Water and MgOAl₂O₃/Water Nanofluids in Sequential Heat Pipe Heat Exchangers: A Comparative Experimental Study

ABSTRACT

Systems used in pre-heating the required clean air; waste heat recovery units used in industry and many waste heat plants. In this study, it is aimed to improve the thermal performance of the heat pipe heat recovery system by using pure water and nanofluids in air to air heat recovery systems. The fact that nanofluids, which have recently found a lot of application area, have been used in the experimental setup has added originality value to the study. As working fluid, MgO+CuO/Water hybrid nanofluid and MgOAl₂O₃/Water nanofluid were used in the heat pipe heat exchanger. With the use of these nanofluids, the improvement rates of thermal performance of the heat recovery system relative to pure water have been determined and attempted to comment. In the condenser region, which is the lower part of the heat pipes, when the cold air velocity was 0.751 m/s and Re=12300, it was measured that there was 77 % improvement for MgO+CuO/Water hybrid nanofluid and 91 % for MgOAl₂O₃/Water nanofluid.

Keywords: Heat pipe, heat recovery, nanofluid.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile insanlığın enerjiye olan ihtiyacı zaman ilerledikçe artmaktadır. Bu enerji ihtiyacı için öncelikle fosil yakıtlardan faydalanılması, çevre kirliliği gibi birçok probleme sebep olmaktadır.

Çevre kirliliğine karşı alınabilecek en önemli önlemlerden biri enerji verimliliği uygulamalarıdır. Hem enerji sıkıntısı yaşanmasın diye, hem de çevre kirliliği

azalsın diye enerji verimliliğini yükseltmeyi amaçlayan uygulamalara önem verilmiştir.

Bu manada insanlık ısı geri kazanım ünitelerine doğru yönelmiştir. Özellikle çevreye duyarlı olması ve enerjiyi tasarruflu kullanması gibi etmenlerden dolayı ısı geri kazanım ünitelerinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu ısı geri kazanım ünitelerinin kullanıldığı yerler, iklimlendirme ve ısıtma-soğutma sektörleridir. Isı geri kazanım üniteleri sayesinde hem enerji tasarrufu sağlanacak, hem de atık ısı tekrar kullanıldığı için çevre kirliliği minimuma inecektir. Bu yüzden atık ısı geri

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : cfiliz@kilis.edu.tr

kazanım ünitelerinin yaygınlaşması, ülkelerin ekonomik geleceği için son derece önemlidir.

Isı değiştiriciler atık ısı geri kazanımında önemli bir paya sahiptir. Isı borulu ısı değiştiriciler, bu ısı değiştiricilerinin bir türüdür. Bir sistemin ısını diğer sisteme aktarmak, ısı borularının temel amacıdır [1]. Vakum uygulanmış kapalı bir hacim olan ısı boruları, çeşitli sıcaklık aralıklarında çalışabilen ünitelerdir. İsteğe bağlı olarak farklı geometrilerde üretilebilen ısı boruları, küçük hacimlerde yüksek ısı taşıma kapasitesine sahiptir. Bu da ısı borularının yüksek verimli cihazlar olduğunun göstergesidir. Sessiz çalışması, hareketli parçalarının olmaması, tasarımı ve üretim kolaylığı, farklı sıcaklık aralıklarında çalışabilmesi ve reaksiyon süresinin kısa olması vb. avantajlı özellikler ısı borularının tercih edilme nedenleri arasındadır [2].

Isı boruları, ısı geri kazanımı ünitelerinin en yaygın olarak kullanılanıdır. Isı boruları ilk kez 1942 yılında hayatımıza girmiştir. Bu yıldan itibaren birçok çeşitli alanda kullanılmıştır. Isı borularının bazı uygulama alanları şöyledir: elektrik ve elektronik aletlerin soğutulmasında, uzay araçlarının soğutulmasında, ısı geri kazanım sistemlerinde ısı değiştiricisi olarak, tıpta ve insan vücut sıcaklığının kontrolünde kullanılmıştır [3].

Bir çeşit ısı transfer cihazı olan ısı boruları; kondenser, adyabatik ve evaporatör bölgesi adı altında 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Isı borusu, içerisine bir miktar akışkanın şarj edilerek hazırlandığı ama daha öncesinde vakumlanan ve kapalı ortamda akışkanın faz değişikliğine dayanan bir tür ısı değiştiricisidir. Endüstride ısı geri kazanımı için çeşitli ısı değiştiricileri kullanılmaktadır. Son zamanlarda geniş olarak ısı borulu ısı geri kazanım sistemleri tercih edilmesinin sebebi sahip olduğu avantajlardır [4]. Isı borusunun önemli avantajları vardır. Kolay kontrol ve basit yapısı ile önemli mesafeler üzerinden yüksek oranda ısı iletimi için son derece etkili bir üründür. Isı borusu ayrıca son derece küçük sıcaklık değişimleri ile çalışabilen, yüksek verimliliğe ve olağanüstü esnekliğe sahip bir cihazdır [5].

Sanayi alanında enerji tasarrufu açısından oldukça önemli bir yere sahip olan ısı transferi iyileştirme çalışmaları, bugünlerde çok sık başvurulan yöntemlerdendir. Geleneksel ısı transfer akışkanları (etik alkol, su, hava, yağ gibi) geçmişte yaygın olarak kullanılmaktaydı. Daha sonraları anlaşıldı ki bu akışkanların düşük ısı transferi mekanizmaları yüzünden verimlerinin düşük olması, insanlığı bu akışkanların alternatiflerinin arayışı içine sokmuştur [6]. Bu akışkanların içerisine nano boyutta metal partiküller eklenmesi suretiyle nanoakışkanlar oluşturulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda bu nanoakışkanlar geleneksel akışkanlarla kıyaslanmış, ısı transferi potansiyellerinin ve verimlerinin geleneksel akışkanlara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Geleneksel çalışma akışkanına nano boyuttaki partiküller eklenmesiyle oluşturulan nanoakışkanın yapılan bu çalışmada kullanılmasıyla, ısı borulu ısı geri kazanım ünitesinde ısı transferi ve ısı veriminin artırılmasının

amaçlanması; bu çalışmanın literatüre en büyük katkısı olacaktır. Nanoakışkan içinde dağılan nano boyuttaki parçacıklar yüzey alanını ve ısıyı tutma kapasitesini arttırdığı için; ısı transfer mekanizması ve ısı verim artacağından dolayı, ısı borulu ısı geri kazanım ünitelerinde nanoakışkan kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşacaktır. Isı borulu ısı geri kazanım ünitesinde verim arttığı için, her geçen gün daha düşük sıcaklıktaki atık ısıdan faydalanılma özelliği de artacaktır.

Sözen vd.'nin 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında, bir metal oksit ve deiyonize su nanoparçacıklarının karışımı olan bir nanoakışkan kullanarak ısı borusu demeti dahil olmak üzere bir hava-hava ısı eşanjörü olan reküperatörün termal performansını iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Testler, ısı borusunu, sırasıyla deiyonize su ve alümina nanofluid ısı borusu hacminin 1/3'ü oranında doldurarak gerçekleştirilmiştir. Kondenser bölümünden ne kadar ısı çekilebileceğini belirlemek için soğutucu hava kullanılmıştır. Testlerden elde edilen bulgular, deiyonize su yerine çalışma sıvısı içeren nanoparçacıklar kullanıldığında, ısı borusu demetini içeren bir reküperatörün termal performansının önemli ölçüde arttığı sonucuna ulaşmışlardır. 6 kW ısıtıcı gücünde yapılan testlerde maksimum gelişme % 37.04 olarak gerçekleştiğini bulmuşlardır [7].

Aydın vd.'nin 2020 yılında yaptıkları çalışmalarında, etilen glikole nanoparçacık ilavesinin ısı borusunun termal performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak analiz etmişlerdir. Her testi, sırasıyla iki değişken çalışma sıvısı, etilen glikol ve dolomit nanopartikülleri katkılı etilen glikol kullanarak yapmışlardır. Dolomit/etilen glikol nanoakışkanı hazırlanırken, dolomit nanopartikülleri (ağırlıkça % 2) ve Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (ağırlıkça % 0.5) etilen glikole katılmıştır. Isı borusunu doldurduktan sonra değişen çalışma koşulları altında deneyler yapılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak ısı borusunun verimliliğini ve termal direncini incelediler. Her çalışma akışkanının viskozitesini belirlediler. Elde edilen bulgular sayesinde, baz sıvı, yani etilen glikol içine nanoparçacık dahil edilmesinin termal performansı (verimliliği) artırdığını ve ısı borusunun termal direncini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuşlardır [8].

Sözen vd.'nin 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında, plakalı bir ısı eşanjöründe çalışma sıvısı olarak nanofluid kullanımının etkileri bu çalışmada deneysel ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Isı transferindeki iyileşme oranını göstermek için deneyler, deiyonize su ve TiO₂-deiyonize su nanofluid kullanılarak yapılmıştır. Nanofluid, ağırlıkça % 1.5 oranında hazırlanmıştır. Yüzey aktif bir madde olan Triton X-100 de çözeltinin içindeki nanoparçacıkların tortulaşmasını ve topaklaşmasını önlemek için nihai konsantrasyonun % 0.2'si oranında karışıma katılmıştır. Deneyler 40 °C, 45 °C, 50 °C gibi farklı sıcaklıklarda ve 3, 4, 5, 6 ve 7 lpm olarak değişen soğuk akışkan kütle akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneysel veriler kullanılarak ANSYS Fluent yazılımı tarafından sayısal bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada ısı

transferinde maksimum gelişme oranı % 11 olarak elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçların da uyumlu olduğu görülmektedir. Her iki sonuç da plakalı ısı eşanjöründeki ısı aktarım hızının, deiyonize su yerine çalışma sıvısı olarak nanofluid kullanılarak iyileştirilebileceğini göstermektedir [9].

Jasim vd.'nin 2020 yılında yaptıkları çalışmalarında, bir çift borulu ısı eşanjöründe ısı transferini arttırmak için hem gözenekli ortam hem de nanoakışkan kullanılarak deneyler yapmışlardır. Test düzeneği, sırasıyla 1.10 m uzunluğunda, 16 mm ve 14 mm dış ve iç çaplı iç bakır boru ile imal edilmiştir. Dış PVC boru 1 m uzunluğunda, sırasıyla 31 mm ve 27 mm dış ve iç çaplıdır. Deneyler, iki hacim konsantrasyonu % 0.5 ve % 1 olan alümina nanoakışkanını (Al₂O₃/Su) kullanılarak yapılmıştır. Hacimsel debiler, iç ve dış boru boyunca sırasıyla (2-5) litre/dk ve 10 litre/dk arasındadır. Sonuçlardan, nanoakışkan hacim konsantrasyonları ve hacimsel debiler arttıkça ısı transferinin arttığına ulaşılmıştır. Akış hızı ve nanoakışkan konsantrasyonlarının artmasıyla etkinliğin arttığını gözlemlemişlerdir [10].

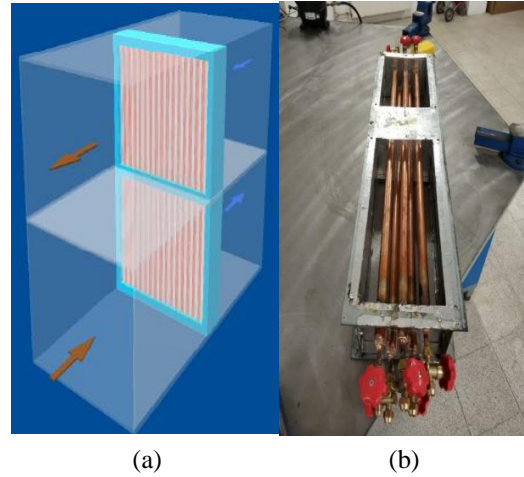
Gürü vd.'nin 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında, 400 mm kondansatör ve 200 mm adyabatik bölümlerden oluşan bir ısı borusunda çalışma sıvısı olarak bentonit içeren nanoakışkan kullanımının etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler, bentonit nanoparçacıkları ve sodyum dodesil benzen sülfonat içeren deiyonize su ve nanoakışkan kullanılarak sırasıyla % 2 ve % 0.5 oranında (kütle olarak) gerçekleştirilmiştir. Her test sırasında, ısı borusuna 44.2 ml çalışma sıvısı doldurulmuş ve ısı borusunu vakum koşullarında yatay olarak 90° açıyla tutarak deneyler yapılmıştır. Bentonit içeren nanoakışkan çalışma sıvısı olarak kullanıldığında, 200 W ısıtma gücü ve 5 g/s soğutma suyu kütle akış hızında gerçekleştirilen testte, ısı borusunun verimliliğinde % 37'lik bir artış sağlandığını gözlemlemişlerdir [11].

2. ISI BORULU ISI GERİ KAZANIM ÜNİTESİ (HEAT PIPE HEAT RECOVERY UNIT)

Isı borulu ısı geri kazanım ünitelerinde, borular aralarında birleştirilmiş gruplar halinde veya tek tek bağımsız haldedirler. Borular içine faz değiştiren akışkanlar şarj edilmektedir. Hal değişikliği sırasında bu akışkanlar, ısıyı emer ya da yayarlar. Başka bir ifadeyle ısıyı emdiklerinde veya yaydıklarında hal değiştirirler. Isı geri kazanımını ve ısı transferini, bu termofiziksel özellikleri ve yapıları sayesinde gerçekleştirirler. Tam ortasına yerleştirilen bir seperatör parçası ile uzunlukları ikiye ayrılır. Bu ayırımın bir tarafından taze hava, diğer tarafından da egzoz havası geçer. Ayırım, borular veya devrelerin içindeki akımı bölmez; sadece iki hava akımının karışmasını engellemek ve hava akımını yönlendirmek içindir.

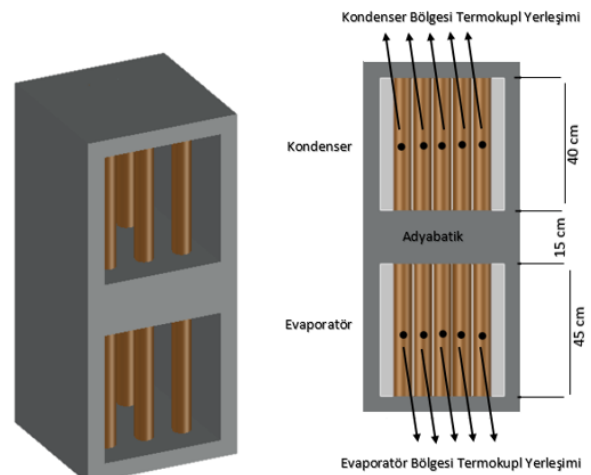
Bu çalışmada, MgO+CuO/Su ve MgOAl₂O₃/Su nanoakışkanları ısı borularına şarj edilmiştir. Bu nanoakışkanlar havadan havaya ısı borulu ısı değiştiricisinde kullanılmış ve bu nanoakışkanların

performansları daha sonradan aynı üniteye şarj edilen saf su ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. (a) Isı borulu ısı geri kazanım ünitesi (b) Isı borulu ısı değiştiricisinin genel görünümü ((a) Heat pipe heat recovery unit) (b) (General view of the heat pipe heat exchanger))

Isı borulu ısı geri kazanım ünitesi örneği ve tasarlanan 5 adet ısı borusundan oluşan ısı değiştiricisi demeti Şekil 1'de gösterilmiştir. Her bir ısı borusu bakır malzemeden oluşmakta ve hepsi birbirinden bağımsız olarak üretilmiştir. Bakır boruların iç çapı 23.4 mm, dış çapı 25.4 mm ve uzunlukları 100 cm'dir. Bakır boruların kondenser bölgesi 400 mm, adyabatik bölgesi 150 mm ve evaporatör bölgesi 450 mm olarak imal edilmiştir. Isı borularından oluşan ısı değiştiricisi demetinin şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Isı değiştiricisi demetindeki 5 ısı borusu üzerine 10 adet K tipi termokupl bağlanmıştır. 5 adet termokupl evaporatör bölgelerinin tam ortasına, 5 adet termokupl kondenser bölgelerinin tam ortasına termal bantla sabitlenerek yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Isı borularından oluşan ısı değiştiricisi demetinin şematik gösterimi (Schematic view of the heat exchanger unit with heat pipes)

Hem sıcak hava kanalı hem de soğuk hava kanalı giriş çıkışlarına birer adet termokupl konulması ile toplamda 4 adet termokupl yardımıyla da kanallar içindeki hava

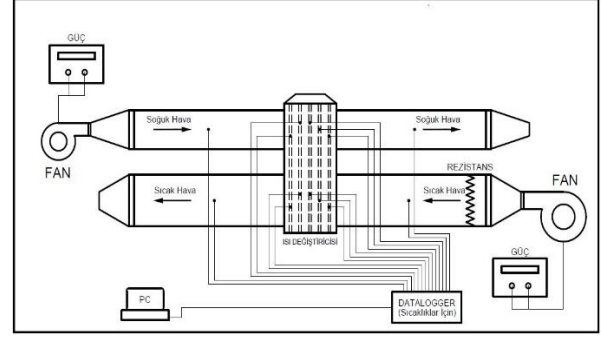
sıcaklıkları ölçülmüştür. Genel toplamda bu 14 adet termokupl; anlık ölçtükları sıcaklıkları, bir adet 16 kanallı elimko marka datalogger yardımıyla bilgisayara göndermektedir. K tipi termokupllar ile sıcaklıklar 0.1 °C toleransla ölçülerek kaydedilmiştir. Isı boruları deney düzeneğine saptırmalı olarak yerleştirildiğinden dolayı, her bir ısı borusu hava ile doğrudan temas halindedir. Isı borularının fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

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

Isı Borusu Malzemesi	Bakır
Isı Borusu Uzunluğu	100 cm
Kondenser Bölge Uzunluğu	40 cm
Adyabatik Bölge Uzunluğu	15 cm
Evaporatör Bölge Uzunluğu	45 cm
Eğim Açısı	90°
Isı Borusu Sayısı	5 adet
Isı Borusu İç Çapı	23.4 mm
Isı Borusu Dış Çapı	25.4 mm

Isı borusu duvarlarından içindeki akışkana doğru, ısı transfer mekanizması gerçekleşir. Sıcak hava kanalından gelen ısıyla, evaporatör bölgesinden buharlaşmaya başlayan akışkan, kondenser bölgesine doğru taşınır. Taşınan bu ısı, daha sonra kondenser bölgesinden soğuk hava kanalı içindeki akışkana aktarılır. Bu ısı aktarımı ile kondenser bölgesindeki buhar yoğunlaşarak, boru duvarlarından yer çekiminin de etkisiyle evaporatör bölgesine geri dönmektedir. Sisteme ısı girişi sürekli olduğunda da bu işlem çevrim olarak devam etmektedir. Kısacası, faz değişiminden yararlanarak, iş akışkanının ısının bir bölgeden başka bir bölgeye taşındığını pratikte söylemek mümkündür.

Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3’te ve deneylerin yapıldığı deney düzeneğine ait bir fotoğraf Şekil 4’te konumlandırılmıştır. Deney düzeneğinde iki adet 19.5 cm x 46.5 cm, iki adet 19.5 cm x 33.5 cm alanına ve 1.3 m uzunluğa sahip hava kanalları, iki adet frekans kontrollü radyal fan ve gövdesi borulu tip bir adet ısı değıştiricisi bulunmaktadır. Bu radyal fanlardan biri kondenser bölgesine soğuk hava, diğeri fan da evaporatör bölgesine sıcak hava iletmektedir. 1 adet anemometre ile hava kanalları içinden geçen hava akımının hızı ve kütleli akış debisi ölçülmüştür. Hava kanallarının alt, orta ve üst kısımlarında, anemometre belli bir süre tutularak ölçümler yapılmış ve üçe bölünerek ortalaması alınarak veriler elde edilmiştir. Ayrıca 4 adet her biri 1000 W gücündeki rezistanslar alttaki sıcak hava kanalı içine yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Şekil 3’te görüldüğü üzere alt hava kanalı kesit alanı üst hava kesit alanından daha büyük seçilmiştir. Bunun nedeni ısı değıştiricisinin evaporatör bölgesinin sıcak hava kanalındaki havayla daha fazla temas etmesini sağlamaktır. Böylece buharlaşması gereken akışkan miktarının da daha fazla olabilmesi sağlanacaktır.



Şekil 4. Deney düzeneğinin genel görünümü (A general view of the experimental setup)

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması (Preparation of Nanofluids)

Çalışma sıvısı; hazırlanan sıvı içerisinde nano partiküllerin askıda kalabilmesi ile, ısı transferi miktarını yükseltmektedir. Yani kısaca, baz sıvı içindeki nanoparçacık oranının artması, nanoakışkanın termal performansının da artmasına olanak sağlar. Ama bu artış, çökelmeye sebep olma, basınç düşüşü vb. sorunların ortaya çıkmasına yol açabileceğinden dolayı çeşitli partikül oranları test edilerek optimum partikül oranının % 2 olduğu belirlenmiştir [12].

Deney tesisatında kullanılan nanoakışkanların içinde bulunan nanopartiküllerin boyutu 40-60 nm olacak şekilde temin edilmiştir. Nanoakışkanlar % 2 oranında nanopartikül içermektedir. Çözelti içerisindeki çökelmeleri önlemek amacıyla karışıma yüzey

aktifleştirici madde % 0.2 oranında ilave edilmiştir. Nano parçacıkların saf su içinde homojen ve daha kararlı bir şekilde dağılabilmesi için, oluşturulan karışımlar ultrasonik banyoda 5 saat bekletilerek nanoakışkanlar elde edilmiştir. Böylelikle nanoakışkanlar deneyde kullanıma hazır hale getirilmiştir. Nanoakışkanların hazırlanması sırasında buharlaşarak sıvı azalmasını engellemek amacıyla kap iyi bir şekilde kapatılmalıdır. Hazırlanan çalışma akışkanları, deneylere başlamadan önce ısı borularının evaporatör kısmının 1/3'lük kısmına kadar şarj edilmiştir.

Deneyler önceden belirlenen, kondenser ve evaporatör bölgeleri için farklı soğuk ve sıcak hava hızlarında ve debilerinde yapılmıştır. Evaporatör bölgesine sıcak hava kanalından uygulanan 1 kW'lık ve 2 kW'lık güçlerle deneyler tekrarlanmıştır. Deneylerde ilk akışkan olarak önce saf su kullanılmış, daha sonra MgO+CuO/su ve MgOAl₂O₃/su nanoakışkanları kullanılarak tekrarlanmıştır.

3.2. Analiz ve Hesaplamalar (Analysis and Calculations)

Saf su, MgO+CuO/su ve MgOAl₂O₃/su çalışma akışkanları için verimler ve sağlanan iyileşme oranları % olarak hesaplanmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Yoğusturucu bölgesinden elde edilen ısı miktarını hesaplayabilmek için ihtiyaç duyulan kütleli debi formülü Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$\dot{m} = \rho_{bg} x V_{bg} x A \quad (1)$$

Isı transferi miktarı; kütleli debisine, özgül ısıya ve sıcaklık farkına bağlı olarak Eşitlik 2'de gösterilmiştir.

$$\dot{Q} = \dot{m} x c_p x \Delta T \text{ [Watt]} \quad (2)$$

Kanal içi havaların Reynolds sayıları (Re) Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanır.

$$Re = \frac{u x D x \rho}{\mu} \quad (3)$$

Kondenser bölgesi ısı çıkışının evaporatör bölgesi ısı girişine oranı, ısı borusunun ısıl performansı, yani ısıl verim olarak tanımlanır. ısıl verim aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\eta (\%) = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_E} = \frac{\dot{Q}_{çıkan}}{\dot{Q}_{giren}} = \frac{\text{Kondenserden sistemden çekilen ısı}}{\text{Evaporatörden sisteme verilen ısı}} \quad (4)$$

Aşağıdaki Eşitlik 5 ile de ısı borulu ısı değiştiricisinin % iyileşme oranını hesap ederiz [13]:

$$\% \text{ iyileşme oranı} = \frac{(\eta_{su} - \eta_{nanoakışkan}) \times 100}{\eta_{su}} \quad (5)$$

3.3. Deney Düzenindeki Belirsizlikler (Uncertainties in Experimental Setup)

Deney bulgularında bazı hatalar; deneylerin yapım sürecinde ortaya çıkabilmektedir. Deneyler sırasında meydana gelebilecek bu hataları; yanlış alet seçimi, yanlış tasarımlar, sistematik okuma hataları, tecrübesizlik, dikkatsizlik ve rastgele hatalar olarak sıralayabiliriz [14]. Belirsizlik analizi, yapılan deneylerden sonra ortaya çıkan sonuçlardan göre yapılmalıdır. Deneyler tekrarlanırken ortaya çıkan çeşitli hatalar yüzünden deney sonuçlarında orantısızlık

oluşmaktadır. Yapılan deneylerde en çok karşılaşılan hata termokupların hatalı kalibrasyonundan ötürü yanlış hesaplama yapılabilmektedir.

Deney tesisatı, nanoakışkanların ısı transferleri hesaplanması öncesi birçok kez saf su ile test edilerek kontrol edilmiştir. Deneysel sonuçlardaki termal iletkenlikteki belirsizlikler en küçük kareler yöntemi ile bulunmuştur. Ölçüm aletleri ve cihazların hatalarını ölçebilmek için belirsizlik analizi yönteminde ulaşılmış istenilen büyüklük Y ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişken de $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olarak adlandırıldığında Y değeri aşağıdaki gibi yazılabilir:

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

Toplam hata oranı ise aşağıdaki eşitlikle bulunur [15]:

$$Z_Y = \pm \left[\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1} Z_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2} Z_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_3} Z_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n} Z_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

Her bir bağımsız değişkene ait olan hata oranları $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ olarak gösterilir.

Deneyler boyunca ısı borularında birtakım değişkenler ölçülmüştür. Ölçümlerdeki bağlantı noktaları ve dataloggerdan okunan sonuçlardaki hatalar, termokupların hassasiyeti gibi kavramlar; sıcaklık ölçümlerinde toplam belirsizliğin oluşma nedenleri arasındadır. Yapılan deneyler sürecinde sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar aşağıda sıralanmıştır;

a1= Termokupl ölçümlerinin neden olduğu hata = $\pm 0.25 - 0.5$ °C,

b1= Dataloggerin neden olduğu hata = ± 0.2 °C,

c1= Bağlantı elemanları ve noktalarının neden olduğu hata = ± 0.1 °C,

d1= Isı değiştiricisi girişinde sıcaklık ölçülmesinde meydana gelebilecek ortalama hata = ± 0.25 °C,

e1= Isıtıcı (rezistans) çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde meydana gelebilecek ortalama hata = ± 0.5 °C ise,

T_{exkg} = Isı değiştiricisinin kondenser giriş kısmındaki hava sıcaklığı,

Z_{Texkg} = Isı değiştiricisinin kondenser giriş kısmındaki hava sıcaklığının ölçülmesinde meydana gelebilecek toplam hata,

$$Z_{\text{Texkg}} = \pm [(a1)^2 + (b1)^2 + (c1)^2 + (d1)^2]^{1/2} \quad (7)$$

$$Z_{\text{Texkg}} = \pm [(0.25)^2 + (0.2)^2 + (0.1)^2 + (0.25)^2]^{1/2}$$

$$Z_{\text{Texkg}} = \pm 0.418 \text{ olarak bulunur.}$$

Diğer kısımlardaki sıcaklık ölçümlerindeki belirsizlik analizi sonuç değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Sıcaklık ölçüm belirsizlik analizi sonuçları (Temperature measurement uncertainty analysis results)

Isı değiştiricisi kondenser bölgesi çıkışında hava sıcaklığının ölçülmesinden dolayı oluşan hata	$Z_{Texkç} = \pm 0.380 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Isı değiştiricisi kondenser bölgesi girişinde hava sıcaklığının ölçülmesinden dolayı oluşan hata	$Z_{Texkg} = \pm 0.380 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Istıtcı çıkış hava sıcaklığının ölçülmesinden dolayı oluşan hata	$Z_{Tıç} = \pm 0.576 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Isı değiştiricisi evaporatör bölgesi çıkışında hava sıcaklığının ölçülmesinden dolayı oluşan hata	$Z_{Texeç} = \pm 0.380 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Isı değiştiricisi evaporatör bölgesi girişinde hava sıcaklığının ölçülmesinden dolayı oluşan hata	$Z_{Texeg} = \pm 0.380 \text{ }^{\circ}\text{C}$

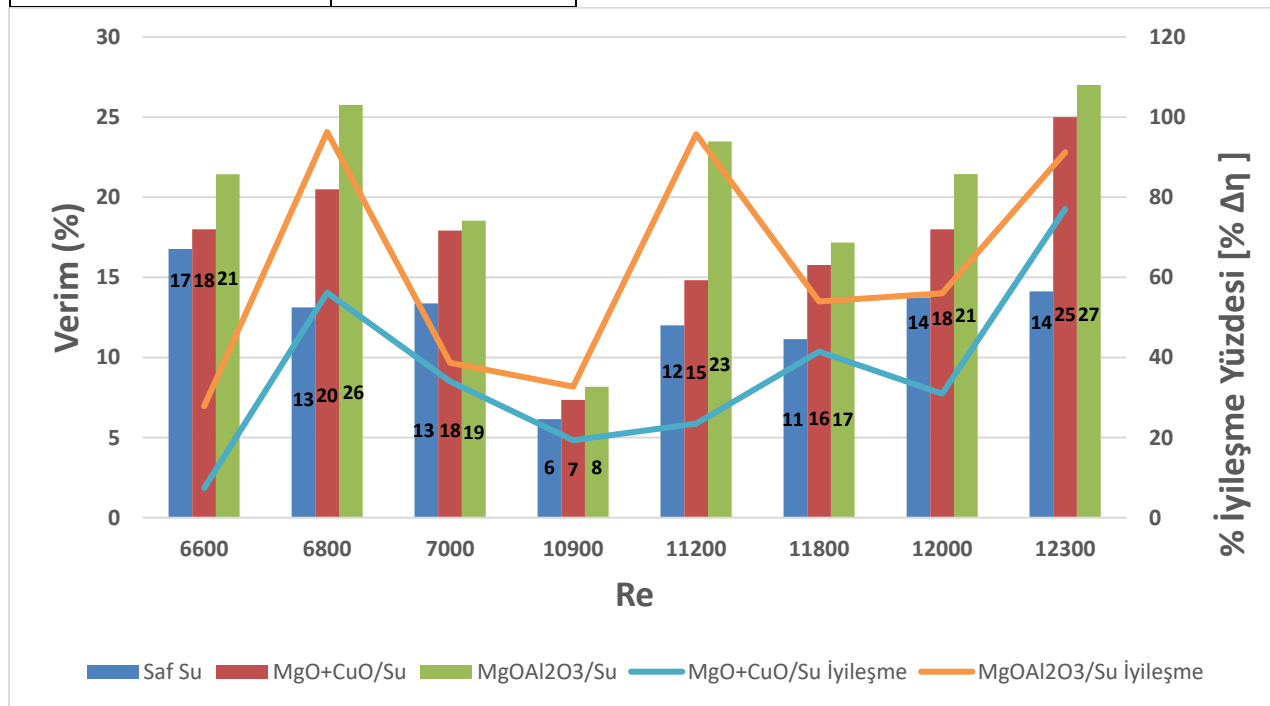
Yukarıdaki değerlere bakıldığında sistemin deneysel ölçüm belirsizliğinin kabul edilebilir sınırlar arasında ($\pm 0.418 - \pm 0.576 \text{ }^{\circ}\text{C}$) kaldığı sonucuna varılmıştır.

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

Evaporatör bölgesine farklı giriş sıcaklıklarında (1 kW ve 2 kW) ve kondenser bölgesi farklı hava akış oranlarında; ısı değiştiricisinin saf su, MgO+CuO/su ve MgOAl₂O₃/su nanoakışkanlarından oluşan çalışma sıvılarının verim ve iyileşme oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1. Kondenserde (Soğuk Akışkan Bölgesi) Akışkanların Performansa Etkisi (Effect of Flows in Condenser (Cold Fluid Region))

Kondenser bölgesinde (soğuk hava bölgesi) farklı Re sayılarında (dolayısıyla farklı hava akış hızlarında) ısı borulu ısı geri kazanım ünitesi ısı performansının farklı ısı değiştiricisi çalışma sıvılarına bağlı olarak elde edilen verimler ile performanstaki ısı iyileşme oranlarını gösteren değişim grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Üç farklı akışkan için IGK ünitesinin soğuk hava bölgesindeki ısı performans ve iyileşme yüzdesinin Reynolds sayısına bağlı olarak değişimi (Change of thermal performance and improvement percentages in cold region of the heat recovery unit for three different fluids relative to reynolds number)

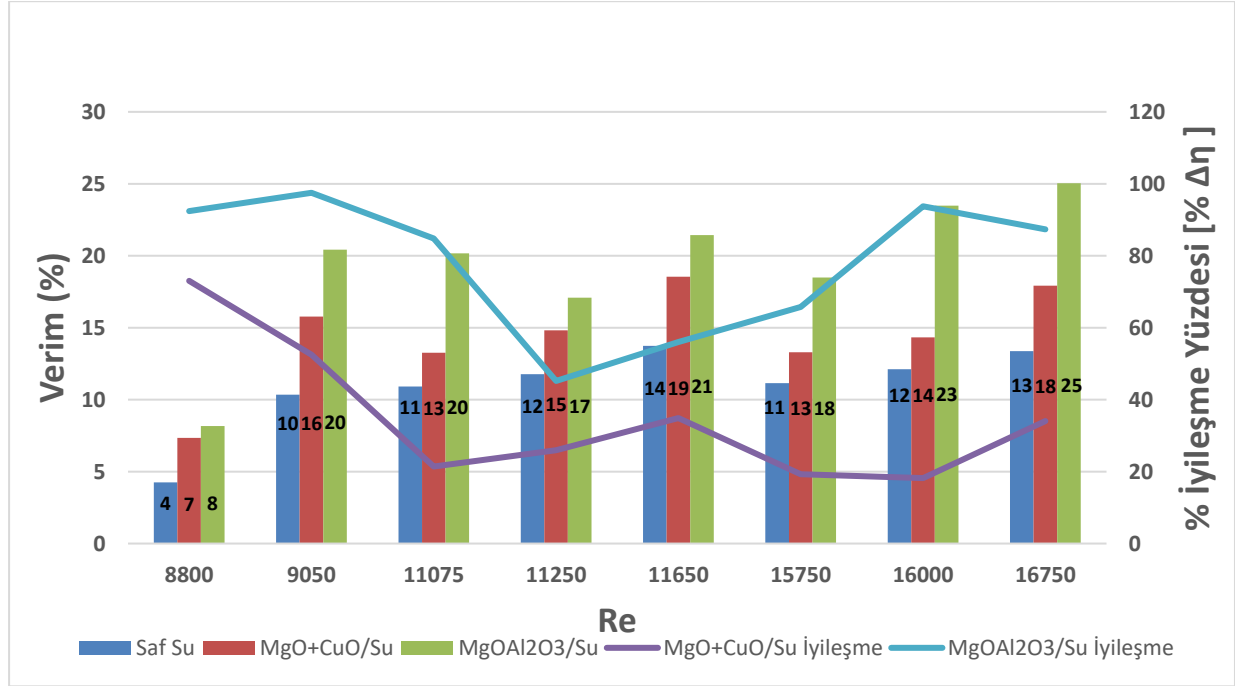
Şekil 5'teki ısı borularının soğuk hava bölgesinden (kondenser) elde edilen değerlere ait grafik genel manada incelendiğinde, her bir Re sayısı verisindeki ısı performans iyileştirme oranları kıyaslandığında; MgO+CuO/su nanoakışkanının iyileştirme oranlarının MgOAl₂O₃/su nanoakışkanına nazaran daha düşük olduğu görülmüştür.

Kondenser bölgesinde, soğuk hava hızı 0.751 m/s ve Re=12300 iken MgO+CuO/su ve MgOAl₂O₃/su nanoakışkanları için maksimum verimde iyileşmeler elde edilmiştir. MgO+CuO/su nanoakışkanında % 77 iyileşme yüzdesi elde edilirken, MgOAl₂O₃/su nanoakışkanında % 91 oranında iyileşme elde edilmiştir.

Bu deneyler kondenser bölgesindeki soğuk havanın ısıtılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, $Re=12300$ değerinde iken optimum soğuk hava hızının 0.751 m/s olduğu gözlemlenmiştir.

4.2. Evaporatörde (Sıcak Akışkan Bölgesi) Akışkanların Performansa Etkisi (Effect of Flows in Evaporator (Hot Fluid Region))

Şekil 6'da, evaporatör bölgesinde (sıcak hava bölgesi) farklı Re sayılarında (dolayısıyla farklı hava akış hızlarında) ısı borulu ısı geri kazanım ünitesi ısı performansının farklı ısı değiştiricisi çalışma sıvılarına bağlı olarak elde edilen verimler ile performanstaki ısı iyileşme oranlarını gösteren değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6. Üç farklı akışkan için IGK ünitesinin sıcak hava bölgesindeki ısı performans ve iyileşme yüzdelerinin Reynolds sayısına bağlı olarak değişimi (Change of thermal performance and improvement percentages in hot region of the heat recovery unit for three different fluids relative to reynolds number)

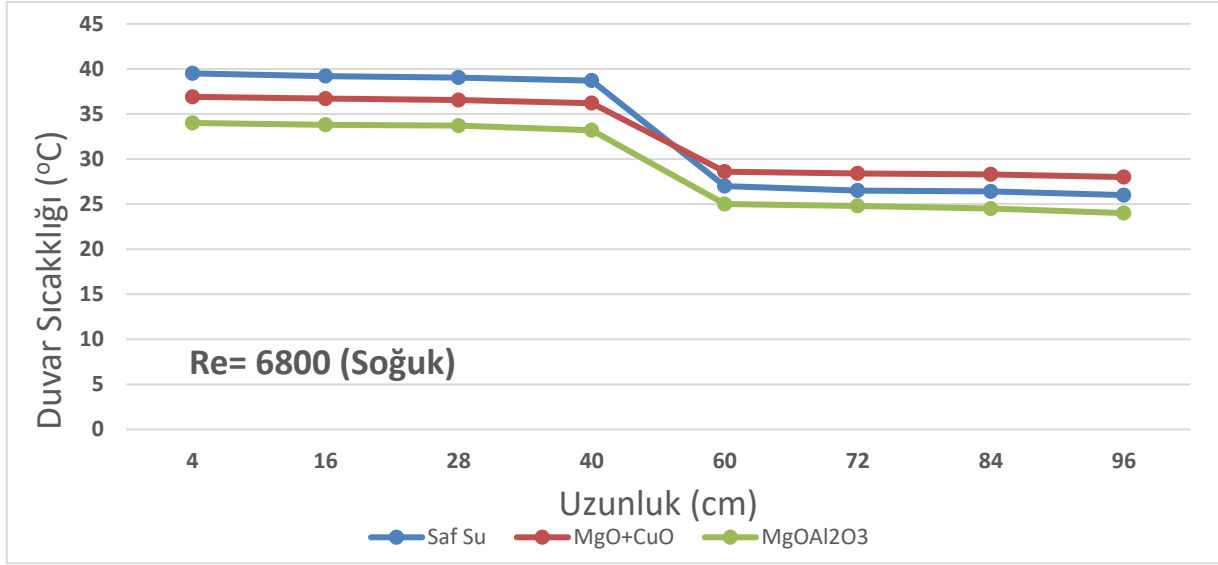
Şekil 6'da görüldüğü üzere evaporatör (sıcak hava) bölgesindeki farklı akış hızları için en iyi verimler sırasıyla MgOAl₂O₃/su nanoakışkanı, MgO+CuO/su nanoakışkanı ve saf su olarak sıralanmaktadır. Saf suya göre, MgOAl₂O₃/su nanoakışkanına ait ısı performanstaki en yüksek iyileştirme % 98 ($Re=9050$ iken, sıcak hava hızı 0.555 m/s), en düşük iyileştirme ise % 45 ($Re=11250$ iken) oranında elde edilmiştir. Buna benzer şekilde MgO+CuO/su nanoakışkanının ısı performanstaki iyileştirme oranları % 73 ile ($Re=8800$ iken) maksimum değerini, % 18 ile de ($Re=16000$ iken) minimum değerini almıştır.

MgOAl₂O₃/su nanoakışkanında, sıcak hava hızının 0.555 m/s ve $Re=9050$ olduğu koşulda, % 98 değerinde verimde iyileşme elde edilmiştir. Aynı Re değerinde, MgO+CuO/su nanoakışkanın iyileşme yüzdesi ise % 53'tür.

MgO+CuO/su nanoakışkanının en iyi iyileşme oranı $Re=8800$ değerinde iken % 73 olarak elde edilmiştir. Yine aynı Re değerinde MgOAl₂O₃/su nanoakışkanının iyileşme yüzdesi ise % 92 olarak hesaplanmıştır.

4.3. Resoğuk=6800 İken, Isı Borusu Boyunca Olan Sıcaklık Dağılımı (Resoğuk = 6800 While, Temperature Distribution Across the Heat Pipe)

Re sayısının 6800 olduğu yani en yüksek iyileşme oranının sağlandığı Re sayısı deneyine ait ısı borusu boyunca olan sıcaklık dağılımı grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkının düşük olmasından dolayı, ısı borusunun ısı direncinin düşük olduğu anlamını çıkarabiliriz. Şekil 7'deki grafik incelendiği zaman, MgOAl₂O₃ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerde, kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkının en düşük olduğu görülür. Daha sonra sırasıyla MgO+CuO hibrit nanoakışkanı ve saf su gelir. Isı borusunun ısı direncinin küçükten büyüğe doğru sıralaması; ısı borusunda MgOAl₂O₃ nanoakışkanının kullanılması, ısı borusunda MgO+CuO hibrit nanoakışkanının kullanılması ve ısı borusunda saf suyun kullanılmasıdır. Bu sebeple ısı borusunda çeşitli nanoakışkanlar kullanarak ısı direnci bir azalmanın sağlandığı sonucuna ulaşılabılır.

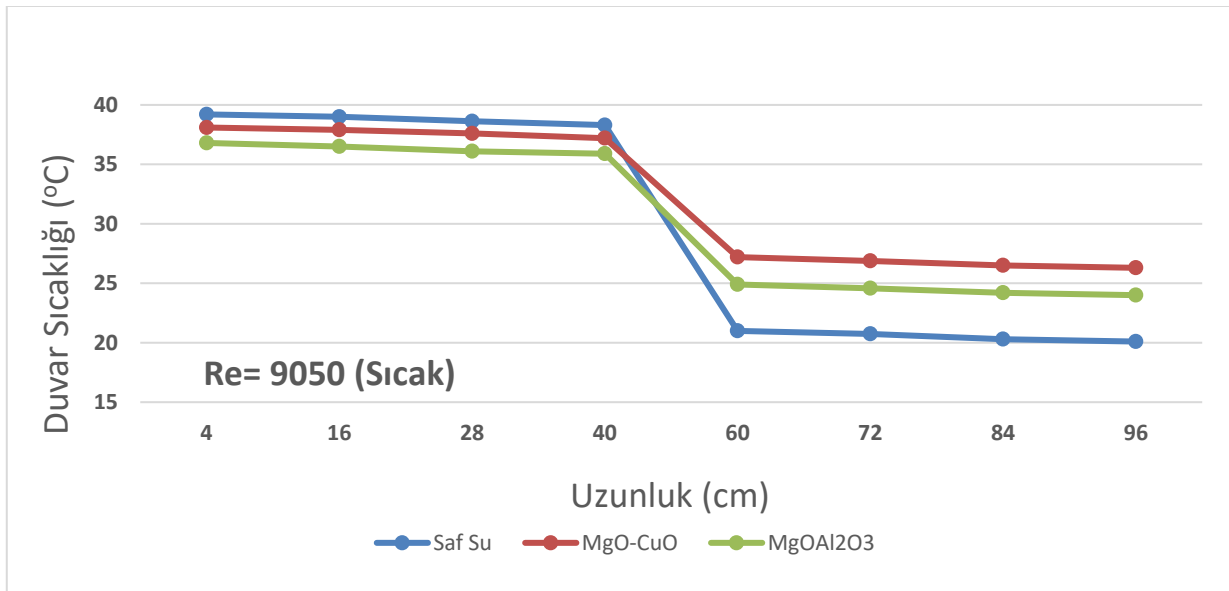


Şekil 7. Üç farklı akışkan için ısı borusu boyunca olan sıcaklık dağılımı (Resoğuk=6800) (Temperature distribution along the heat pipe for three different fluids) (Recold=6800)

4.4. Resıcak=9050 İken, Isı Borusu Boyunca Olan Sıcaklık Dağılımı (Resıcak = 9050 While, Temperature Distribution Across the Heat Pipe)

Re sayısının 9050 olduğu yani en yüksek iyileşme oranının sağlandığı Re sayısı deneyine ait ısı borusu boyunca olan sıcaklık dağılımı grafiği Şekil 8’de verilmiştir. Kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkının düşük olmasından dolayı, burada da ısı borusunun ısıl direncinin düşük olduğu anlamını çıkarabiliriz. Şekil 8’deki grafik incelendiği zaman,

MgOAl₂O₃ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerde, kondenser ve evaporatör arasındaki sıcaklık farkının en düşük olduğu görülür. Daha sonra sırasıyla MgO+CuO hibrit nanoakışkanı ve saf su gelir. Isı borusunun ısıl direncinin küçükten büyüğe doğru sıralaması; ısı borusunda MgOAl₂O₃ nanoakışkanının kullanılması, ısı borusunda MgO+CuO hibrit nanoakışkanının kullanılması ve ısı borusunda saf suyun kullanılmasıdır. Bu sebeple tıpkı Resoğuk=6800 grafiğinde olduğu gibi, ısı borusunda çeşitli nanoakışkanlar kullanarak ısıl dirençte bir azalmanın sağlandığı sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 8. Üç farklı akışkan için ısı borusu boyunca olan sıcaklık dağılımı (Resıcak=9050) (Temperature distribution along the heat pipe for three different fluids) (Rehot=9050)

SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

IGK = Isı geri kazanım

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

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

(\dot{m}) = Akışkanın kütleli debisi [kg/s]

ρ = Akışkanın yoğunluğu [kg/m³]

V_{bg} = Hava hızı [m/s]

C_p = Özgül ısı [kcal/kg°C]

ΔT = Sıcaklık farkı [°C]

A = Kanal alanı [m²]

μ = Akışkanın dinamik viskozitesi [kg/ms]

u = Akışkanın hızı [m/s]

D = Boru çapı [m]

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: "KBÜBAP-18-DR-006" dır.

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)

Çağdaş FİLİZ: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiştir ve makalenin yazım kısmında görev yapmıştır.

Yaşar YETİŞKEN: Sonuçların yorumlanması ve yazım kısmında görev yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Kaya et al., "Performance analysis of using CuO-Methanol nanofluid in a hybrid system with concentrated air collector and vacuum tube heat pipe," *Energy Convers. Manag.*, vol. 199, no. June, (2019).
- [2] Öztürk, A., "HVAC ünitelerinde kullanılan ısı borulu ısı geri kazanım ünitesi performansının deneysel ve teorik incelenmesi," *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
- [3] Noie-Baghban, S. H., Majideian, G. R., Waste Heat Recovery Using Heat Pipe Heat Exchanger (Hphe) For Surgery Rooms in Hospitals, *Applied Thermal Engineering*, 20(14): 1271-1282, (2000).
- [4] Sözen A., Variyenli H. İ., Özdemir M. B., Gürü M. ve 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).
- [5] Faghri, A., *Heat Pipe Science and Technology*, Global Digital Press, Kanpur, India, (1995).
- [6] Murugesan C. ve Tamilkolundu S. "Mechanism of forced convective heat transfer in Al₂O₃/water nanofluid under laminar and turbulent flow", *2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2012)*, Singapore, 71-75, (2012).
- [7] Sözen, A., Öztürk, A., Özalp, M., and Çiftçi, E., "Influences of alumina and fly ash nanofluid usage on the performance of recuperator including heat pipe bundle", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (9): 5095-5100, (2019).
- [8] Aydın, D., Gürü, M., Sözen, A., and Çiftçi, E., "Thermal Performance Improvement of the Heat Pipe by Employing Dolomite/Ethylene Glycol Nanofluid," *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(1): 23-27, (2020).
- [9] Sözen, A., Khanlar, A., and Çiftçi, E., "Experimental and Numerical Investigation of Nanofluid Usage in a Plate Heat Exchanger for Performance Improvement," *International Journal of Renewable Energy Development*, 8(1): 27-32, (2019).
- [10] Jasim, Q., K., Saleh, N., M., and Hussein, A., M., "Improving thermal performance using Al₂O₃/water nanofluid in a double pipe heat exchanger filling with porous medium", *Thermal Science*, 00: 56-56, (2020).
- [11] 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).
- [12] ASHRAE, "*Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment*", ASHRAE Handbook, (2008).
- [13] Zhang, J., et al., Experimental Study on the Heat Recovery Characteristics of a New-Type Flat Micro Heat Pipe Array Heat Exchanger Using Nanofluid, *Energy Conversion and Management*, 75, 609-616, (2013).
- [14] Balcioğlu, B., "Alumina nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2014).
- [15] 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).