



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

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

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



# Isı borulu-ısı geri kazanım ünitesinde ZnO/su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanları kullanılarak performansın iyileştirilmesi

*Performance improvement of the heat recovery unit with sequential type heat pipes using water based ZnO and ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids*

Yazar(lar) (Author(s)): İpek AYTAÇ<sup>1</sup>, Adnan SÖZEN<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup> : 0000-0003-1213-8325

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-8373-2674

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Aytaç İ., “Isı borulu-ısı geri kazanım ünitesinde ZnO/su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanları kullanılarak performansın iyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 1-7, (2022).

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

**DOI:** 10.2339/politeknik.703083

# Isı Borulu-Isı Geri Kazanım Ünitesinde ZnO/Su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su Nanoakışkanları Kullanılarak Performansın İyileştirilmesi

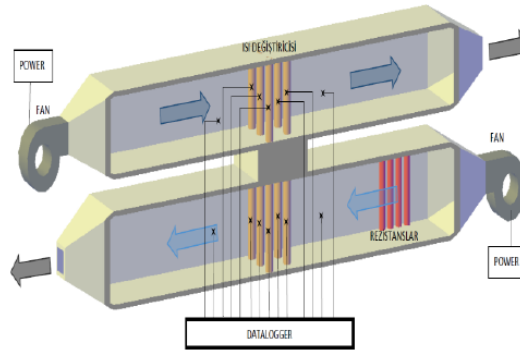
## Performance Improvement of the Heat Recovery Unit with Sequential Type Heat Pipes Using Water Based ZnO and ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Sıralı tip ısı borulu ısı geri kazanım ünitesi/ Heat recovery unit with sequential type heat pipes
- ❖ Su bazlı ZnO ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanlar/ Water based ZnO and ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids
- ❖ Isıl performans analizi/ Thermal performance analysis

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Havadan havaya ısı geri kazanım ünitesinde ısı borulu ısı değiştiricileri kullanarak atık ısı sıcaklığından yararlanılarak ortamın ısıtılması amaçlanmıştır. Düzenekte; iki hava kanalı ve bu kanalların giriş ve çıkış taraflarında yer alan iki adet fan, ortada ısı borulu ısı değiştiricisi bulunmaktadır. / In the air-to-air heat recovery unit, it is aimed to heat the environment by utilizing the waste heat by using heat pipe heat exchangers. In the setup; there are two air ducts and two fans on the inlet and outlet sides of ducts, and a heat pipe heat exchanger in the middle.



Şekil. Deney düzeneğinin şematik görünümü / Figure. Schematic view of the setup

### Amaç (Aim)

Isı borulu bir ısı geri kazanım ünitesinin performansının iyileştirilmesi ve çalışma sıcaklık aralığının artırılması. / Improving the performance of a heat pipe heat recovery unit and increasing the operating temperature range.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Termosifon tipi ısı boruları ısı geri kazanım ünitesinde kullanılmıştır. / Thermosiphon type heat pipes are used in the heat recovery unit.

### Özgünlük (Originality)

Isı geri kazanım ünitesinde farklı nanoakışkanların termal özellikleri araştırılmıştır. / The thermal properties of different nanofluids have been investigated in the heat recovery unit.

### Bulgular (Findings)

Nanoakışkanların kullanılmasıyla ısı geri kazanım ünitesi ısıl performansındaki maksimum iyileşme oranı %90'dır. / The maximum improvement rate in the thermal performance of the heat recovery unit by using nanofluids is 90%.

### Sonuç (Conclusion)

Saf su ile kıyaslandığında ZnO/Su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su nanoakışkanları kullanıldığında, ısıl performansta önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir. / A significant increase in thermal performance was observed when ZnO/Water and ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water nanofluids were used compared to 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.

# Isı Borulu-Isı Geri Kazanım Ünitesinde ZnO/Su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su Nanoakışkanları Kullanılarak Performansın İyileştirilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

İpek AYTAÇ<sup>1,\*</sup>, Adnan SÖZEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 12.03.2020 ; Kabul/Accepted : 23.03.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 24.03.2020)

## ÖZ

Endüstride ve birçok atık ısı tesislerinde kullanılan atık ısı geri kazanım üniteleri gerekli temiz havanın ön ısıtılmasında kullanılan sistemlerdir. Bu çalışmada ısı değiştiricisi ısı borusu olan bir ısı geri kazanım ünitesinin performansının iyileştirilmesi ve böylece çalışma sıcaklık aralığının artırılması amacıyla oluşturulan deney düzeneği üzerinde uygulamalı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın özgün yanı ısı değiştiricisi olarak kullanılan ısı borularında son yıllarda pek çok uygulama olanağı bulan nanoakışkanların kullanılmasıdır. ZnO/Su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su nanoakışkanları ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanılmış ve temel akışkan suya göre ısı geri kazanım ünitesi ısıl performansındaki iyileşme oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Soğuk hava bölgesinde (kondenser), soğuk hava hızı 0.437m/s ve Re=7100 olduğunda ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Su ve ZnO/Su nanoakışkanları için sırasıyla %90 ve %80 oranında iyileşme elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı geri kazanım, ısı borusu, nanoakışkan.

## Performance Improvement of the Heat Recovery Unit with Sequential Type Heat Pipes Using Water Based ZnO and ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids

### ABSTRACT

Waste heat recovery units used in the industry and in many waste heat facilities are the systems used for pre-heating the required clean air. In this study, an applied study was carried out on the experimental setup created to improve the performance of a heat recovery unit with heat exchanger heat pipe and thus increase the operating temperature range. The unique feature of the study is the use of nanofluids that have found many applications in heat pipes used as heat exchangers in recent years. ZnO / Water and ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Water nanofluids are used as working fluid in the heat pipe and the recovery rates of heat recovery unit thermal performance are tried to be determined according to the basic fluid water. In the cold air zone (condenser), when the cold air velocity was 0.437m / s and Re = 7100, 90% and 80% improvement was achieved for ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZnO nanofluids, respectively.

**Keywords:** Heat recovery, heat pipe, nanofluid.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isı boruları evaporatör, adyabatik ve kondenser bölgesi olarak adlandırılan üç temel kısımdan oluşan bir çeşit ısı transfer cihazıdır. Vakumlandıktan sonra içerisine bir miktar akışkanın şarj edilerek hazırlandığı, kapalı ortamda akışkanın faz değişimine dayanan bir ısı değiştiricisi tipidir. Isı geri kazanımı için çeşitli ısı değiştiricileri kullanılmakta ve yaygın olarak da son yıllarda ısı borulu ısı geri kazanım sistemleri tercih edilmektedir [1].

Günümüzde önem kazanan Isı transferini iyileştirme çalışmaları, endüstriyel alanda ve enerji tasarrufu açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Konvansiyonel ısı transferi akışkanlarının (Su, yağ, etil alkol, hava gibi), endüstriyel, iklimlendirme, ısıtma ve soğutma, elektronik vb. alanlarda kullanımı önemli rol

oynamaktadır. Fakat ısı transferinde kullanılan geleneksel iş akışkanlarının düşük ısı transferi özellikleri verimlilik açısından karşılaşılan büyük engellerden biridir [2]. Bu amaçla kullanılan akışkanların ısıl iletimlerini yükseltmek amacıyla çeşitli yöntemler denenmiştir. Bunlardan birisi de konvansiyonel akışkanların içerisine nano boyuttaki metal parçacıklar eklenmek suretiyle oluşturulan akışkanlar, geleneksel akışkanlara kıyasla üstün ısı transferi potansiyeline ve ısı transferi verimini artırma konusunda da önemli bir role sahip olmaktadır.

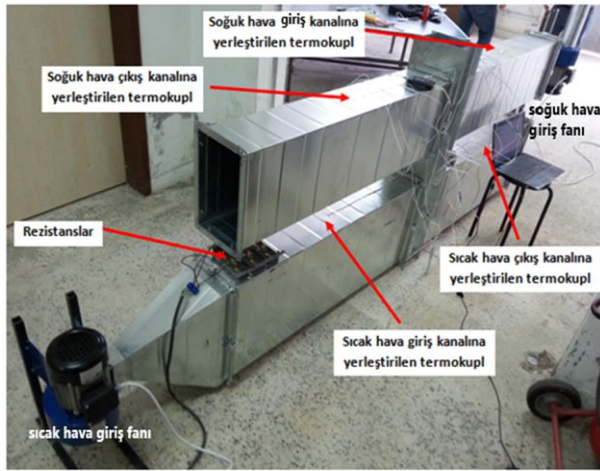
Yapılan bu çalışmanın literatüre katkısı, geleneksel çalışma akışkanına çeşitli yöntemlerle nano boyutta farklı metal oksit parçacıkları eklenerek oluşturulmuş nano akışkanın, ısı borulu ısı geri kazanım ünitelerinde ısıl iletkenlik ve ısıl performansın iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Isı borusu çalışma akışkanının, akışkan içerisine yayılmış partiküllerin oluşturduğu yüzey alanını

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

ve ısıyı tutma kapasitesini artırma özelliğinden yararlanılarak ısı geri kazanım ünitesinin ısıl veriminin yükseltilmesi ve daha düşük sıcaklıklardaki atık ısılardan faydalanma özelliğinin kazandırılması amaçlanmıştır.

## 2. ISI GERİ KAZANIM ÜNİTESİ (HEAT RECOVERY UNIT)

Havadan havaya ısı geri kazanım ünitelerinde farklı ısı değiştiricileri kullanılarak atık ısı sıcaklığından yararlanılarak ortamın ısıtılması amaçlanmaktadır. Şekil 1'de verilen deney düzeneği ile ısı borulu bir ısı geri kazanım ünitesi planlanmış ve uygulanmıştır. Düzenekte; iki hava kanalı ve bu kanalların giriş ve çıkış taraflarında yer alan iki adet fan, ortada ısı borulu ısı değiştiricisi bulunmaktadır.



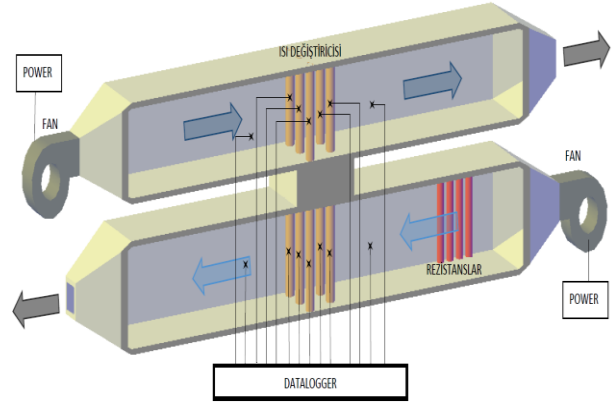
Şekil 1. Deney düzeneğinin genel görünümü (A general view of the experimental setup)

Alt ve üstte bulunan iki adet hava kanalının uzunlukları yaklaşık olarak 3m'dir. Kanallar aynı doğrultuda olmakla birlikte aralarında 15cm boşluk vardır. Her bir kanal, ısı borularının sağında ve solunda 130cm uzunluğundadır. Bu kanalların başlarında ve zıt yönlerde yer alan konik kanalların uzunlukları 80cm'dir. Konik kanalların girişine farklı hava hızları elde etmek için fan motorları yerleştirilmiştir. Altta kanalda havayı ısıtma için konik bölgeden hemen sonra elektrik rezistansı yerleştirilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi; ısı değiştiricisinin ısı borularında evaporatör bölgesindeki havayla daha fazla temas edip, buharlaşması gereken akışkan miktarının da daha fazla olabilmesi için alt kanalın kesit alanı üst kanaldan daha büyüktür.

Sistemin farklı atık ısı sıcaklıklarından yararlanması amacıyla giriş havası farklı sıcaklıklarda ısıtılmaktadır. Girişteki fan sayesinde rezistansa yönlendirilen hava burada ısınır, ısınan hava ısı değiştiricisine ulaştığında burada ısı borusunun evaporatör bölgesinde bulunan çalışma akışkanının buharlaşmasını sağlar. Buharlaşan akışkan kondenser bölgesine hareket eder. Fan yardımıyla üst kanaldan gelen soğuk hava kondenser bölgesindeki bu akışkana temas eder ve akışkan yoğunlaşır.

Datalogger'a bağlı bulunan termokuplların bilgisayara verileri aktarmasıyla da sıcaklık değerleri okunup kaydedilir.



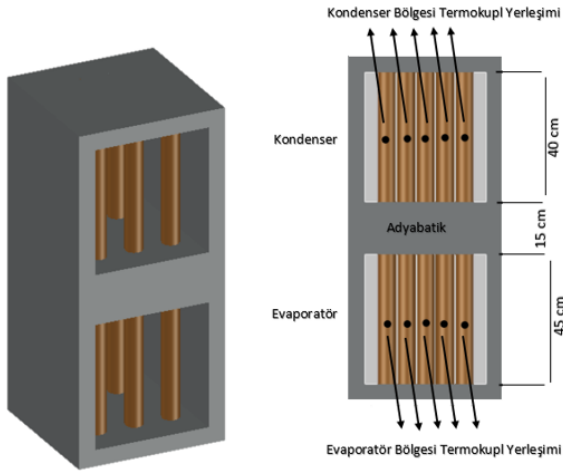
Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of the experimental setup)

Bu çalışmada ısı borularından oluşan borulu tip ısı değiştiricisi kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan beş adet ısı borusundan oluşturulan ısı değiştiricisi demeti Şekil 3'te verilmiştir. Bakır ısı boruları birbirlerinden bağımsızdır, sızdırmazdır ve vakumlanmıştır. Boruların dış çapı 25.4mm, iç çapı 23.4mm ve uzunlukları 1m'dir. Isı değiştiricisindeki evaporatör bölgesinin yüksekliği 450mm, adyabatik bölgesinin yüksekliği 150mm ve kondenser bölgesinin yüksekliği 400mm olarak tasarlanmıştır. Kullanılan beş borunun üzerinde; her birinin evaporatör ve kondenser bölgelerinde birer termokupl olmak üzere toplam 10 adet termokupl konumlandırılmıştır. Isı borularından oluşan ısı değiştiricisi demetinin şematik gösterimi Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Isı borularından oluşan ısı değiştiricisi demetinin gösterimi (View of the heat exchanger unit with heat pipes)



Şekil 4. Isı borularından oluşan ısı değiştiricisi demetinin şematik gösterimi (Schematic view of the heat exchanger unit with heat pipes)

### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

#### 3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması (Preparation of Nanofluids)

Nanoakışkanların deneyde kullanılmaya uygun hale getirilmesi amacıyla parçacıkların boyutu gerekli nano düzeye indirilmesi gerekir. Bunun için, SPEX-8000M tipi kırıcı ve bilyeli öğütücü kullanılarak işlenmeden önce boyutu 5-50 nm olan nano parçacıkların boyutunu küçültmek ve üniform nanopartiküller elde etmek amaçlanarak, baz akışkan sıvısı içinde %2 kütleli derişimde karıştırılmak üzere boyutları 14-17 nm olarak son haline getirilmiştir. Baz sıvı içindeki nanoparçacık oranının artması, nanoakışkanın termal performansının da artmasına olanak verir. Fakat, bu artışın basınç düşüşü, çökelmeye sebep olma vb. problemlere yol açabilmesinden dolayı çeşitli partikül oranları test edilerek optimum partikül oranının %2 olduğu belirlenmiştir [3].

Hazırlanan bu çözeltiye, olası çökelmeleri engellemek amacıyla yüzey aktif özelliği olan ve C<sub>14</sub>H<sub>22</sub>O (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>n</sub> kimyasal formülüne sahip Triton X-100, yüzey aktifleştirici madde göreviyle %0,2 oranında eklenmiştir. Yüzey aktif madde; temas açılarını azaltarak, nanopartiküllerin dış bölgelerinin daha kolay ıslanmasına olanak sağlar, aynı zamanda yüzey gerilimini de azaltmaya yardımcı olur. Çözeltiye eklenecek Triton X-100 oranı çeşitli denemelerden sonra %0,2 olarak belirlenmiştir.

Baz akışkanın içinde nano malzemenin daha homojen ve kararlı bir şekilde karışabilmesi amacıyla kullanılan nanoakışkan, ultrasonik banyoda 5 saat bekletilmiştir. Bu arada periyodik olarak, yüzey aktif maddenin buharlaşmasını engellemek amacıyla ultrasonik banyodaki su değiştirilerek soğutulmuştur. Ayrıca buharlaşmanın neden olacağı akışkan miktarındaki azalmalar da kabın çok iyi bir şekilde kapatılmasıyla engellenmiştir.

Her biri 90°'lik açıda konumlandırılmış beş adet, dış ve iç çapları sırasıyla 25.4mm ve 23.4mm olan, fitilsiz ve havası alınmış, bakır ısı borusu demetinden oluşan ısı değiştiricisi bulunmaktadır. Bu ısı borularının ve ısı borusu demetinden oluşan ısı değiştiricisinin fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca, iki adet sıcak ve soğuk havanın geçtiği hava kanalları ve bu hava kanallarının uçlarına yerleştirilmiş olan, kullanılacak alanlara göre ihtiyaç duyulacak farklı hava debilerinin de ayarlanabildiği iki adet salyangoz fan bulunmaktadır. Taze hava kanalı girişinde 1kW'lık 4 adet rezistans bulunmaktadır. Bu rezistanslar deneyler sırasında, ısı değiştiricisinin evaporatör bölgesinde isteğe bağlı olarak farklı ısı değerlerinde ısı akışını sağlamışlardır. Beş ısı borusundan her birinin hem evaporatör hem de kondenser bölgelerinde birer tane olmak üzere toplam 10 adet termokupl ve her bir hava kanalının giriş-çıkışında olmak üzere 4 adet termokupl kullanılmıştır. Toplamda 14 adet K tipi termokupl kullanılarak elde edilen sıcaklık değerleri datalogger aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Deneylere başlamadan önce hazırlanan çalışma akışkanları, ısı borularının evaporatör bölgesinin hacimlerinin 1/3'lük kısmı kadar doldurulmuştur.

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

Isı Borusu Malzemesi	Bakır
Isı Borusu Uzunluğu	1 m
Evaporatör Bölge Uzunluğu	450 mm
Kondenser Bölge Uzunluğu	400 mm
Adyabatik Bölge Uzunluğu	150 mm
Eğim Açısı	90°
Isı Borusu Sayısı	5 adet
Isı Borusu Dış Çap	25,4 mm
Isı Borusu İç Çap	23,4 mm

Deneyler önceden belirlenen, evaporatör ve kondenser bölgelerindeki farklı sıcak ve soğuk hava hızlarında, farklı debilerde ve evaporatör bölgesine uygulanan farklı kW değerlerindeki ısı enerjisinde yapılmıştır. Deneyler öncelikle saf su kullanılarak daha sonra %2 oranında nano parçacık süspansiyon edilmiş ZnO/su ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanları kullanılarak tekrarlanmıştır.

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

Deneyler sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak, ısı borusunun performansı, ısıl dirençleri ve verimleri ile ısı geri kazanım ünitesi performans değerleri karşılaştırılmıştır.



Yoğuşturucu kısmından elde edilen ısı miktarını hesaplayabilmek için ihtiyacımız olan kütleli debi formülü Eşitlik 1’de verilmiştir.

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

Isı transferi miktarı; sıcaklık farkına, debisine ve özgül ısısına bağlı olarak Eşitlik 2 ile tanımlanmaktadır.

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

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

Reynolds sayısı genel denklemi:

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

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

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

### 3.3. DENEY DÜZENİNDEKİ BELİRSİZLİKLER (Uncertainties in Experiment Setup)

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre belirsizlik analizi uygulanmalıdır. Deneyler yapılırken meydana gelen çeşitli hatalar yüzünden deney sonuçlarında orantısızlık oluşabilmektedir. Dikkatsizlik, sıcaklık ölçmede kullanılan termokupulların ve diğer cihazların kalibrasyonlarındaki yanlışlar, okuma hataları, cihaz, donanım ve malzeme seçimindeki uyumsuzluklar gibi hatalar bunlara örnektir [4].

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

Deneysel sonuçlarındaki belirsizlik, deneysel parametrelerdeki sapmalara göre belirlenmiştir. Termal iletkenlikteki belirsizlikler en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmıştır. Cihaz ve ölçüm aletlerinin hatalarını ölçebilmek için belirsizlik analizi yönteminde ulaşılmaması istenilen büyüklük Y ve bu büyüklüğe etki eden n tane bağımsız değişkene de  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  denildiğinde;

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

Toplam hata oranı:

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

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

Termokupulların hassasiyeti, ölçümlerdeki bağlantı noktaları ve dataloggerdan okunan sonuçlardaki hatalar, deneyler süresince ölçülen sıcaklık değerlerindeki toplam belirsizlik değerini oluşturmaktadır. Deneyler sırasındaki sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar;

$a_1$ = Termokupulların sebep olduğu hata =  $\pm 0.25-0.5$  °C,

$b_1$ = Dataloggerin sebep olduğu hata =  $\pm 0.2$ ,

$c_1$ = Bağlantı elemanlarının ve noktaların sebep oldukları hata =  $\pm 0.1$  °C,

$d_1$ = Isı değiştiricisinin girişinde sıcaklık ölçülmesinde oluşabilecek ortalama hata =  $\pm 0.25$  °C,

$e_1$ = Isıtıcı (rezistans) çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde oluşabilecek ortalama hata =  $\pm 0.5$  °C ise,

$T_{\text{exkg}}$  = Isı değiştiricisinin kondenser girişindeki hava sıcaklığı,

$Z_{T_{\text{exkg}}}$  = Isı değiştiricisinin kondenser girişindeki hava sıcaklığının ölçülmesinde oluşabilecek toplam hata,

$$Z_{T_{\text{exkg}}} = \pm \sqrt{[(a_1)^2 + (b_1)^2 + (c_1)^2 + (d_1)^2]} \quad (6)$$

$$Z_{T_{\text{exkg}}} = \pm \sqrt{[(0.25)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2 + (0.25)^2]}$$

$$Z_{T_{\text{exkg}}} = \pm 0.380 \text{ dir.}$$

Diğer bölgelerdeki sıcaklık ölçümlerindeki belirsizlik analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Sıcaklık ölçümü belirsizlik analiz sonuçları  
(Temperature measurement uncertainty analysis results)

Isı değiştiricisi kondenser bölgesi girişinde hava sıcaklığının ölçümlerindeki hata	$Z_{T_{\text{exkg}}} = \pm 0.380$ °C
Isı değiştiricisi kondenser bölgesi çıkışında hava sıcaklığının ölçümlerindeki hata	$Z_{T_{\text{exkç}}} = \pm 0.380$ °C
Isıtıcı çıkış hava sıcaklığının ölçümlerindeki hata	$Z_{T_{\text{ıç}}} = \pm 0.576$ °C
Isı değiştiricisi evaporatör giriş hava sıcaklığının ölçümlerindeki hata	$Z_{T_{\text{exeg}}} = \pm 0.380$ °C
Isı değiştiricisi evaporatör çıkışındaki hava sıcaklığının ölçümlerindeki hata	$Z_{T_{\text{exeç}}} = \pm 0.380$ °C

Bu değerler dikkate alındığında sistemin deneysel ölçüm belirsizliğinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir [6].

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

Havadan havaya ısı borulu ısı geri kazanım ünitesinde sıcak akışkan eldesi için farklı güçlere ayarlanabilen ısıtıcı yerleştirilmiştir. Böylece sistemin farklı atık ısı şartlarında temiz havaya verebileceği ön ısıtma miktarının belirlenmesi amaçlanarak sistemin kullanım sıcaklık aralığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Isı değiştiricisi olarak her birinin dış çapı 25.4mm, iç çapı 23.4mm ve uzunlukları 1m olan 5 adet, 90°’lik dik açılı termosifon tipi bakır ısı boruları kullanılmış olup içlerinde saf su ve saf suyun temel akışkan olarak

kullanıldığı ZnO ve ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parçacıkları ile elde edilen nanoakışkanlar kullanılmıştır.

#### 4.1. Sıcak Akışkan Bölgesi (Evaporatör) Akışların Performansa Etkisi (Effect of flows in Hot Fluid Zone (Evaporator))

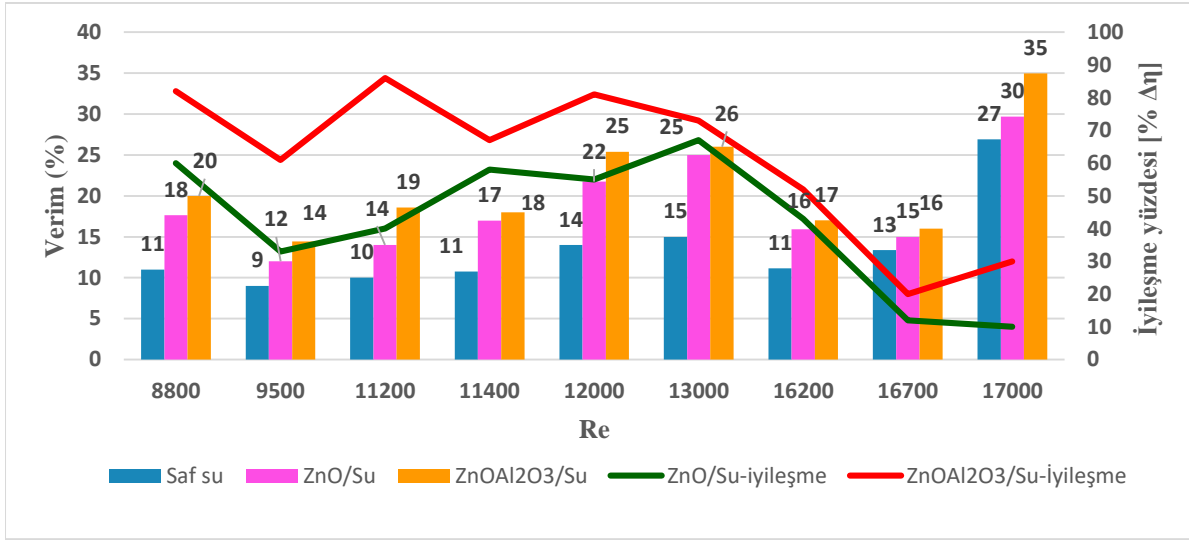
Evaporatör bölgesinde (sıcak hava bölgesi) farklı hava akış hızlarında (dolayısıyla farklı Re sayılarında) ısı geri kazanım ünitesi ısı performansının farklı ısı değiştiricisi çalışma sıvısına bağlı olarak elde edilen sonuçlar ile performanstaki ısı iyileşme oranlarını gösteren değişim grafiği Şekil 5'te verilmiştir.

verimde iyileşme elde edilmiştir. Aynı Re değerindeki ZnO nanoakışkanının iyileşme yüzdesi ise %40'tır.

ZnO nanoakışkanında en iyi iyileşme oranı Re=13000 değerinde ve %67 olarak elde edilmiştir. Yine aynı Re değerindeki ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanının iyileşme yüzdesi ise %73 olarak görülmektedir.

#### 4.2. Soğuk Akışkan Bölgesi (Kondenser) Akışların Performansa Etkisi (Effect of flows in Cold Fluid Zone (Condenser))

Kondenser bölgesinde (soğuk hava bölgesi) farklı hava akış hızlarında (dolayısıyla farklı Re sayılarında) ısı geri



Şekil 5. Üç farklı akışkan için IGK ünitesinin sıcak hava bölgesindeki ısı performans ve iyileşme yüzdelерinin Reynold's sayısına bağlı olarak değişimi (Change of thermal performance and improvement percentages in hot zone of the heat recovery unit for three different fluids relative to reynolds number)

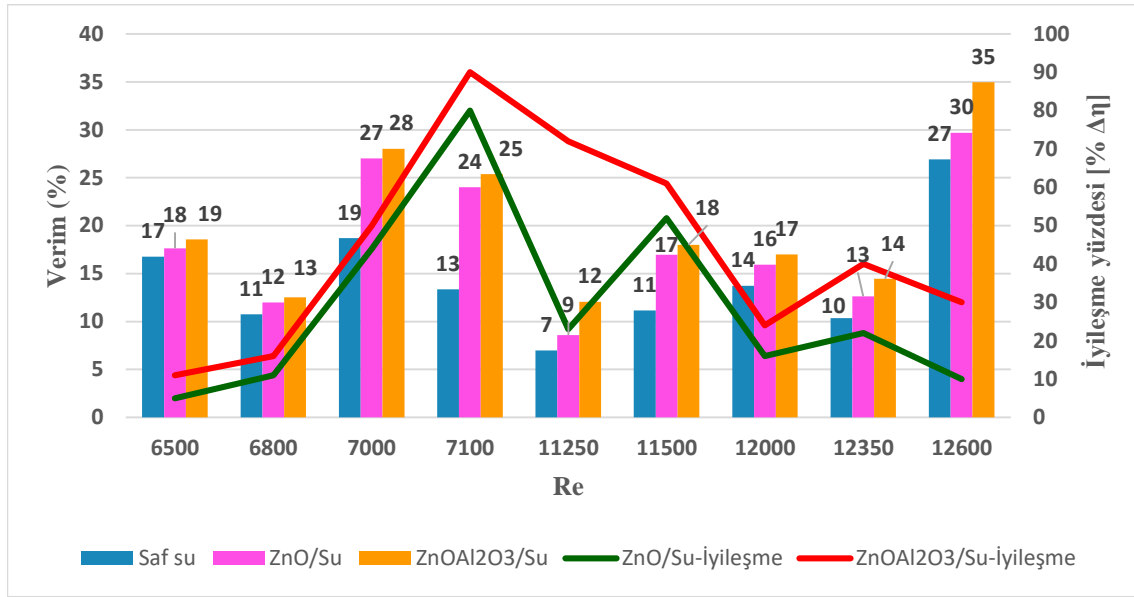
Şekil 5'ten görüleceği üzere evaporatör (sıcak hava) bölgesindeki farklı akış hızları için en iyi performanslar sırasıyla ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanı, ZnO/su nanoakışkanı ve saf su olarak sıralanmaktadır. Temel akışkana (su) göre ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanına ait ısı performanstaki en yüksek iyileştirme %86 (Re=11200, sıcak hava hızı 0.702 m/s), en düşük iyileşme ise %20 (Re=16700) oranında elde edilmiştir. Benzer şekilde ZnO/su nanoakışkanının ısı performanstaki iyileştirme oranları da %67 (Re=13000) de maksimum, %10 (Re=17000) minimum olarak elde edilmiştir.

ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanında, sıcak hava hızının 0.702 m/s ve Re=11200 olduğu koşulda, %86 değerinde

kazanım ünitesi ısı performansının farklı ısı değiştiricisi çalışma sıvısına bağlı olarak elde edilen sonuçlar ile performanstaki ısı iyileşme oranlarını gösteren değişim grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'daki ısı borularının kondenser (soğuk hava) bölgesinden elde edilen verilere ait grafik genel olarak analiz edildiğinde, her bir Re değerindeki ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/su nanoakışkanının ısı performansı iyileştirme oranlarının ZnO/su nanoakışkanına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Soğuk hava bölgesinde, soğuk hava hızı 0.437m/s ve Re=7100 olduğunda ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ZnO nanoakışkanları için maksimum verimde iyileşmeler elde edilmiştir. ZnOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoakışkanında %90 iyileşme yüzdesi elde edilirken, ZnO nanoakışkanında %80 oranında iyileşme elde edilmiştir.



**Şekil 6.** 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 zone of the heat recovery unit for three different fluids relative to reynolds number)

Kondenser bölgesindeki soğuk havanın ısıtılması amacıyla gerçekleştirilen bu deneylerde sonuçlara bakıldığında, optimum soğuk hava hızının  $Re=7100$  değerinde iken  $0.437\text{m/s}$  olduğu gözlemlenmiştir.

#### SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

IGK = Isı geri kazanım ünitesi

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

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

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

$\rho$  = Akışkanın yoğunluğu [kg/m<sup>3</sup>]

$Vbg$  = Hava hızı [m/s]

$A$  = Kanal alanı [m<sup>2</sup>]

$Cp$  = Özgül ısı [kcal/kg°C]

$\Delta T$  = Sıcaklık farkı [°C]

$\mu$  = Akışkanın dinamik viskozitesi (kg/ms)

$u$  = Akışkanın hızı (m/s)

$D$  = Boru çapı (m)

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

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

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**İpek AYTAÇ:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Performed the experiments, analyse the results, wrote the manuscript.

**Adnan SÖZEN:** Deney sonuçlarını analiz etmiş, makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Analyse the experimental results, wrote the manuscript.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] 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).
- [2] Murugesan C. ve Tamilkolundu S. "Mechanism of forced convective heat transfer in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid under laminar and turbulent flow", *2<sup>nd</sup> International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2012)*, Singapore, 71-75, (2012).



- [3] ASHRAE, “*Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment*”, ASHRAE Handbook, (2008).
- [4] Balcıoğlu B., “Alumina nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2014).
- [5] Çiftçi E., Sözen A. ve Karaman E., “TiO<sub>2</sub> içeren nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi,” *Politeknik Dergisi*, 19(3): 367-376, (2016).
- [6] Öztürk A., “HVAC ünitelerinde kullanılan ısı borulu ısı geri kazanım ünitesi performansının deneysel ve teorik incelenmesi,” *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018)