

MİNİ KANALLARDA CU-SU NANO AKIŞKANIN SICAKLIK PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

¹Onur SARICA, ¹Kevser DINCER, ³Sadık ATA, ¹Gürol ÖNAL

^{1,2,4}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya
Türkiye

³KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Konya Türkiye

onursarica@gmail.com, kdincer@selcuk.edu.tr, sadik.ata@karatay.edu.tr
gonal@selcuk.edu.tr

Özet

Nanoakışkanlar, yüksek termofiziksel özellikleri ile saf akışkanlara kıyasla avantajlıdır. Son yarım yüzyıldır üretim teknolojisindeki hızlı gelişmeler, mikro boyuttaki ısı değiştiricilerinin yüksek hassasiyetle üretilmesi ve mikro ısı değiştiricilerinin farklı alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu gelişmeler ısı transferini iyileştirme noktasında araştırmacıları sürekli yeni yöntemlere sevk etmektedir. Bu yöntemlerden birisi ise mevcut akışkana farklı partiküllerin eklenmesi ile akışkanın ısı transferi performansının artırılmasıdır. Konvansiyonel akışkanın içerisine yüksek ısı iletkenliğe sahip nano boyuttaki partiküllerin katılmasıyla elde edilen yeni tür ısı transferi akışkanlarına nanoakışkan ismi verilmektedir. Katı bir metalin ısı iletkenliği içine katıldığı temel akışkanınkinden daha yüksek olduğu için, metalik parçaların akışkan içerisine katılması karışımın ısı iletkenliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada, Cu-su nanoakışkanın sıcaklık performansının analizi üzerine deneysel çalışma yapılmıştır. 250 mm boyuttaki mini kanallarda nano Cu-su kullanılarak düşük ve yüksek debi, 2 mm ve 3mm çaplarda, 35 °C ve 40 °C parametrelerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada 0.2 lt/dk (düşük debi), 0.7 lt/dk (yüksek debi) olarak değerlendirilmiştir. Nano Cu-su ile yapılan çalışmada, suya göre soğutma yönünde performansa etki ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mini Kanal, Sıcaklık Performansı, Nanoakışkan, Nanopartikül.

IN MINI CHANNELS THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TEMPERATURE PERFORMANCE WITH USING CU-WATER NANO FLUID

Abstract

Nano fluids is advantageous with high thermodynamic properties compared to pure fluids. In the last half century, rapid developments in production technology, which allows high-precision production of the micro heat exchangers and the use of the micro heat exchangers in different areas. These developments point researchers to enhance new methods in improving the heat transfer. One of these methods is; to improve fluid's heat transfer by adding different particulates to the fluid. The nano fluids are the new type of heat transfer fluids that are made by adding nano particulates which has high thermal conductivity to a conventional fluid. Since the solid metal has a higher thermal conductivity than the basis fluid, the addition of the metallic particulates to the fluid increases the heat transfer of the mixture. In this study an experimental study was performed for analyzing the temperature performance of fluids with nano Cu-water. In the 250 mm length mini channels, nano cu-water was used to compare low and high flow rates at 2 mm and 3 mm channel diameter and 35°C and 40 °C temperatures. In this study, low and high flow rate was evaluated as 0.2 lt/min and 0.7 lt/min respectively. In the case of working with nano Cu-water, it was found that it affected the more better performance in the direction of cooling than water.

Keywords: Mini Channel, Temperature Performance, Nanofluid, Nanoparticulate.

1. Giriş

Geleneksel akışkanlara, nano partiküllerin katılması ile akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesi sağlanır. Buna neden olan temel fiziksel olayların başında akışkan içerisine süspanse edilen partiküllerin akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütmesi gelmektedir. Ayrıca, partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına neden olur. Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar [1]. Nano akışkanlar üzerinde farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Pak ve Cho [2], Al₂O₃ (13 nm)/su ve TiO₂ (27 nm)/su nanoakışkanlarının taşınımıyla ısı transferi performansını türbülanslı akışta

incelemişlerdir. Hacimsel olarak %2.78 nanoparçacık içeren Al_2O_3 /su nanoakışkan kullanılarak taşınım ısı transferi katsayısında %75'e varan artışlar tespit etmişlerdir. TiO_2 nano parçacıkları ile elde edilen artışın Al_2O_3 parçacıkları ile elde edilene nazaran daha düşük olduğu belirtilmiştir. Li ve Xuan [3] benzer bir analizi Cu/su nanoakışkanı için laminer ve türbülanslı akışta gerçekleştirmiştir. Çalışmada ısı transferi katsayısındaki artışın %60'lara vardığı gözlenmiştir. Araştırmacılar, artan Reynolds sayısı ile birlikte ısı transferi katsayısı artışının yükseldiğini belirtmişler ve bu durumu ısı dağılımı (thermal dispersion) olayına bağlamışlardır.

Chen vd. [4] yaptıkları analizde, TiO_2 nanotüpleri/su nanoakışkanını laminer akışta, sabit ısı akısı sınır koşulu altında incelemişlerdir. $Re = 1700$ için, tam gelişmiş ısı transferi katsayısının $800 W/m^2K$ 'e ulaştığı görülmüştür. Bu değer farklı hacimsel parçacık oranları için yaklaşık olarak sabit kaldığı belirtilmiştir.

Kulkarni vd. [5] SiO_2 /su-etilen glikol karışımı nanoakışkanının türbülanslı akımdaki ısı transferi performansını sabit ısı akısı sınır şartı altında incelemişlerdir. Çalışma nanoparçacık boyutunun ısı transferi üzerine olan etkisini ele almıştır. Deneysel sonuçlardan, ısı transferinin artan parçacık boyutu ile arttığı sonucuna varılmıştır.

Al_2O_3 su nanoakışkanı, üretiminin bazı diğer nanoakışkanlara göre daha kolay ve ucuz olması nedeniyle araştırmalarda sık olarak kullanılmaktadır. Wen ve Ding [6], ve Anoop vd. [7] nanoakışkanın laminer akışındaki ısı transferini sabit ısı akısı sınır şartı altında ölçmüşlerdir. Wen ve Ding [6], ilgili analizi, hacimsel parçacık oranını % 0.6 ile %1.6 arasında değiştirerek yapmışlardır. Bu çalışmada, nano parçacıkların konsantrasyonu ve Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi katsayısındaki artış yükselmiştir. Lokal ısı transferi katsayısındaki artışın ise kanalın giriş bölümünde daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bunlara ek olarak, ısı giriş uzunluğunun nanoakışkanlarda saf akışkanlara göre daha uzun olduğu belirtilmiştir. Anoop vd.[7] ise Al_2O_3 /su nanoakışkanının nanoparçacık boyutunun ısı transferine olan etkisi üzerine yoğunlaşmışlardır. 45 nm ve 150 nm olmak üzere iki farklı boyuttaki nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanların ısı transferi incelenmiş ve 45 nm boyutundaki parçacıkların daha yüksek ısı transferi artışı sağladıkları gözlenmiştir.

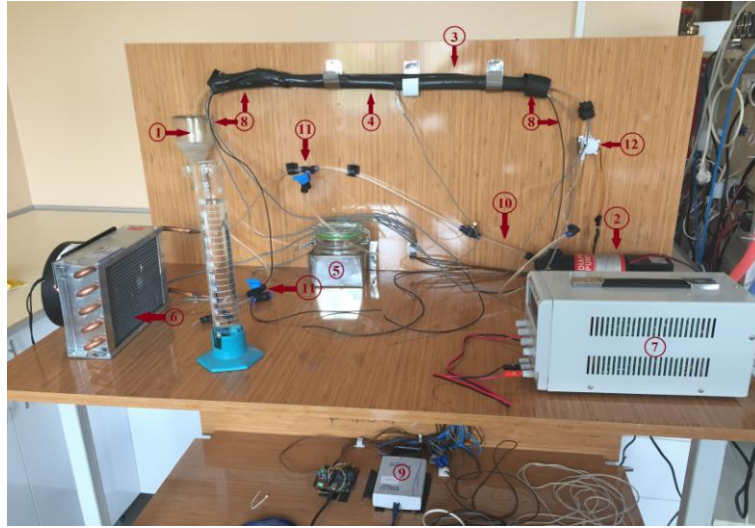
Hwang vd. [8] Al_2O_3 /su nanoakışkanıyla hidrodinamik olarak tam gelişmiş ısı olarak gelişmekte olan laminer akış için deneysel sonuçlar elde etmişlerdir. Bu sonuçlara göre hidrodinamik olarak tam gelişmiş laminer akışta Reynolds sayısındaki

değişimin ısı transferindeki artış üzerinde önemli bir etki oluşturmadığı belirtilmiştir. Isı transferi katsayısındaki artışın (%8) ısı iletim katsayısındaki artıştan (%1.44) daha yüksek olduğu açıklanmıştır.

Bu çalışmada, 250 mm uzunluğundaki, mini kanallarda, nano Cu kullanılarak düşük ve yüksek debide, 2mm ve 3mm çaplarda, 35 °C ve 40 °C'deki, nano akışkanın giriş sıcaklığı için soğutma performansı ($\Delta T_{\text{soğuk}} = T_{\text{grş}} - T_{\text{çks}}$) araştırılmıştır. Yapılan çalışmada en iyi performansın $T_{\text{grş}} = 40$ °C'de $D= 3\text{mm}$ 'de $\Delta T_{\text{soğuk}} = -0.401$ °C'a kadar düştüğü tespit edilmiştir.

2. Deneysel Sistem

Nanopartiküllü akışkanların sıcaklık performansının belirlenmesinde kullanılan deneysel sistem Şekil 1'de sunulmuş ve deney düzeneği ekipmanları şekil üstünde numaralandırılarak sırayla açıklanmıştır.



Şekil 1. Deneysel Sistem



Şekil 2. Isıl çiftler (Termokup)

Deney Düzeneği Ekipmanları;

Toplama tankı (1), diyafram pompa (2), mini kanal (3), silikon rezistans (4), rezervuar (5), fan (6), DC güç kaynağı (7), ısıl çiftler (termokulp) (8), data logger (9), plastik boru (10), vanalar (11), debi metre (12).

2.1. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

- Toplama tankı: Sistemdeki akışkanın depolandığı yerdir. Sistemin çalışmaya başlamasıyla akışkan toplama tankından sisteme alınır. Sistemin çalışması durdurulurken akışkan toplama tankında depolanır.
- Diyafram pompa: Sıvı çıkışı sağlayan hortumların içerisinden birim zamanda ve belirli bir hacimde sıvı geçmesine olanak veren diyaframlı pompalar, basınçlı havayla tahrik edilir. Otomatik havalı valf sistemi, diyaframlar arkası ünitelerin hava basıncını değiştirerek tek malle bağlı olan diyaframları dönüşümlü aşamalı hareket ettirmektedir. Sistemde kullanılan diyafram pompa, toplama tankından akışkanın çekilip sisteme alınmasında ve tekrar nanoakışkanlı sulu süspansiyonun toplama tankına aktarılarak sistemden çekilmesinde kullanılmaktadır.
- Mini kanal: İç çapı 2 mm veya 3 mm yalıtılmış boru silikon rezistans ile ısıtılmaktadır. Isıl çiftler vasıtasıyla içinden geçen nanoakışkanlı sulu süspansiyonunun sıcaklık değerleri ölçülmektedir.
- Silikon rezistans: Mini kanala aksnel boyuna temas ettirilen ve krom boru uzunluğunda olan silikon rezistans güç kaynağından aldığı elektrikle ısınır.
- Rezervuar: Toplama tankından çekilen nanoakışkan rezervuar tankında biriktirildikten sonra sistem döngüsüne gönderilir.
- Fan: Ortam sıcaklığındaki havanın fan vasıtasıyla çekilerek, kıvrımlı bakır boruların çevresinden akan hava ile borunun içindeki akışkanın soğutulmasını sağlamaktadır.
- DC güç kaynağı: Bir sistem ya da düzeneğin gereksinimi olan enerjiyi sağlamak için kullanılan cihazdır. Sistemde kullanılan güç kaynağı maksimum 10 amper ve 30 volta kadar ayarlanabilir özelliğe sahiptir. Silikon rezistansın ısıtılması için gereken elektrik enerjisini sağlamaktadır.
- Isıl çiftler (termokulp): Farklı iki iletken malzemedden oluşur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim

elde edilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu çalışmada paslanmaz çelik malzemedan üretilmiş olan 2mm ve 3mm çapındaki dairesel kesitli borulara 4 adet ısı çift bağlanarak ölçümler yapılmıştır. Isıl çiftlerin 2 adeti boru giriş sıcaklığını ölçerken, kalan 2 adet ısı çift boru üzerinde bulunan resistansın giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmektedir.

- Data logger: Veri kaydedici bilgiyi belli zaman aralıkları ile kaydeden elektronik bir cihazdır. Usb girişi ile verileri bilgisayara aktarmaktadır.
- Vanalar: Diğer bir tanımlama ile vana; akışkanlara yol veren, onları durduran, karıştıran veya akışkanın yönünü ve/veya miktarını, basınç veya sıcaklığını değiştirebilen bir cihazdır.
- Plastik boru: 6 mm çapında ortalama 2 m uzunluğunda olup sistem akış döngüsünün sağlanmasında kullanılmıştır.

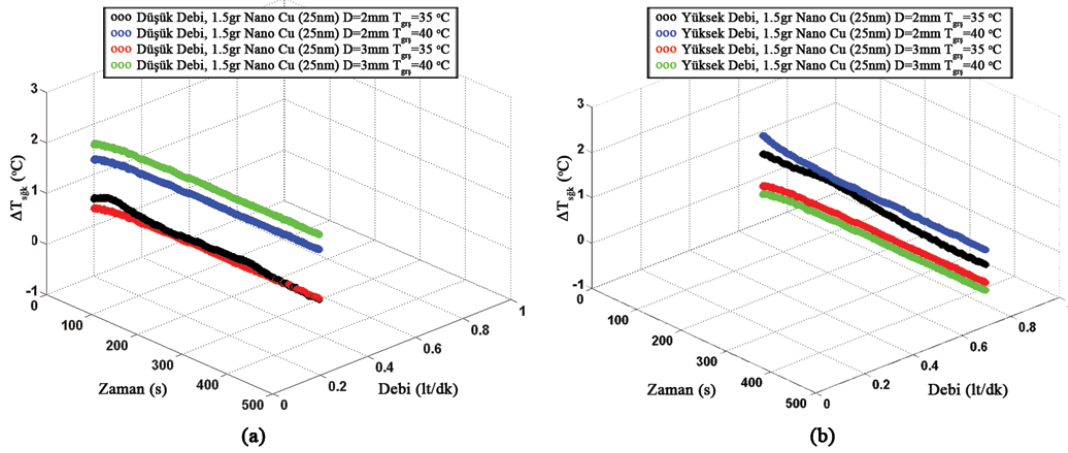
3. Bakır-Su Nanoakışkanın Mini Kanallarda Sıcaklık Performans Analizi

Kandlikar ve Grande mini kanalları “ $3 \text{ mm} \geq D_h > 200 \text{ } \mu\text{m}$ ” şeklinde tanımlamaktadır [1]. Bu çalışmanın optimum değerleri belirlemek için yapılmış olan çalışmada; dairesel kesitli boruların çapı 2 ve 3 mm olarak seçilmiştir. Boru uzunlukları ise 250, 350, 450 ve 550 mm şeklinde belirlenmiştir. Seçilmiş olan 2 ve 3 mm çapındaki dairesel kesitli kanallar için 250, 350, 450, 550 mm kanal uzunlukları tercih edilmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında sıcaklığın artması ile performansın arttığı görülmüştür. 2 ve 3 mm çapındaki 250, 350, 450, 550 mm kanal uzunluklarındaki kanallarda 27, 29, 31, 35 ve 40 °C kanal giriş sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. 350 mm kanal uzunluğunda 32 °C, 450 ve 550 mm uzunluğundaki kanallarda ise 31 °C’un üzerine çıkılamamıştır. 250 mm uzunluğundaki kanallarda ise kanal giriş sıcaklığı 35 ve 40 °C’e kadar ulaşılmıştır. 40 °C’un üzerine çıkıldığında ise sistemin izolasyon bölümünde problemlerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise giriş sıcaklığı 40 °C’un üzerine çıkıldığında, sistemde bulunan ısıtıcının sıcaklığının, 80 °C üzerine çıkması ve sistemde yanmaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadaki, deneysel sistemin optimum kanal uzunluğu, çalışma sıcaklık aralıkları belirlendikten sonra, debi aralıkları (minimum ve maksimum debiler)

belirlenmiştir. Bu amaçla, çeşitli debi aralıklarında deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan, deneysel sitem için, minimum debi 0.2 lt/dak ve maksimum debi için 0.7 lt/dak olduğu tespit edilmiştir. Bu debi değerlerinin alt ve üst değerlerine çıkıldığında, debide düzensizliklerin arttığı görülmüştür. Daha sonra ise sistem için minimum ve maksimum nano partikül miktarını tespit etmek amacıyla, deneysel çalışmalar yapılmıştır. Nano partikül miktarının alt limit değeri 0.5 gr, üst limit değeri ise 2.5 gr seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, nano partikül miktarı, 2 gr'dan fazla olduğunda, çökelmelerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmadaki nano partikül miktarları 0,5; 1; 1,5 gr olarak seçilmiştir.

3.1. Nano Cu için farklı çaplardaki (2 mm ve 3 mm) mini kanallarda, 35 °C ve 40 °C mini kanal giriş sıcaklıklarında, düşük ve yüksek debide, sıcaklık performansı analizi

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan temel akışkan su, nanopartikül ise metal Cu, 25 nm boyutunda olarak seçilmiştir. Nano-Bakır ($T_{grş}$) farklı çaplardaki (2 ve 3mm) 35 °C ve 40 °C mini kanal giriş sıcaklıklarında, 1.5 gram Nano Cu kullanılarak ΔT 'nin zamana göre değişimi performansları, Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3a. 35 °C ve 40 °C giriş sıcaklıklarında, 2 ve 3 mm çapındaki mini kanallarda, düşük debi için ΔT_{sgk} 'in performansı, Şekil 3b. 35 °C ve 40 °C giriş sıcaklıklarında, 2 ve

3 mm çapındaki mini kanallarda, yüksek debi için ΔT_{sgk} 'in performansı

Şekil 3a'nın analizi;

- Düşük debide, $T_{grş}= 35$ °C'de en iyi soğutma performansı; $D= 2$ mm'de, 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 0.464$ °C, $D= 3$ mm'de, 1.5 gr Nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 0.324$ °C'dir.

- Düşük debide, $T_{grş} = 40$ °C'de en iyi soğutma performansı; $D = 2$ mm'de, 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 1.291$ °C, $D = 3$ mm'de, 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 1.590$ °C'dir.
- En iyi soğutma performansı düşük debide $T_{grş} = 35$ °C'de; $D = 3$ mm ve $t = 2$ s'de iken 1.5 gr Nano Cu $\Delta T_{soğuk} = 0.324$ °C'de gerçekleşmiştir (Şekil 3a).

Şekil 3b'nin analizi;

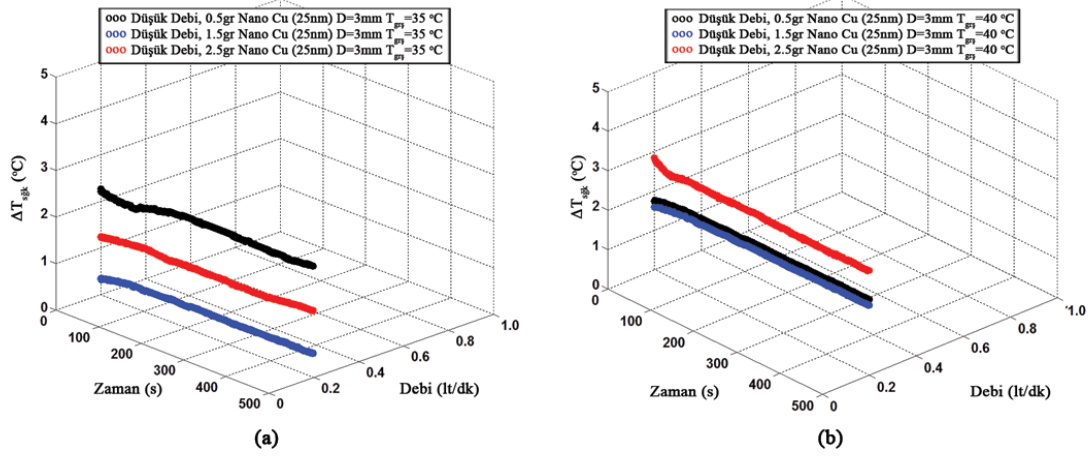
- Yüksek debide, $T_{grş} = 35$ °C'de en iyi soğutma performansı; $D = 2$ mm'de, 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 0.173$ °C, $D = 3$ mm'de, 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = -0.222$ °C'dir.
- Yüksek debide, $T_{grş} = 40$ °C'de en iyi soğutma performansı; $D = 2$ mm'de, 1.5 gr Nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 0.491$ °C, $D = 3$ mm'de, 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'dir.
- En iyi soğutma performansı yüksek debide $T_{grş} = 40$ °C'de; $D = 3$ mm ve $t = 2$ s'de iken 1.5 gr nano Cu $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'de gerçekleşmiştir (Şekil 3b).

Şekil 3a ve Şekil 3b'nin analizi;

- Düşük debide en iyi soğutma performansı; debide $T_{grş} = 35$ °C'de; $D = 3$ mm ve $t = 2$ s'de iken $\Delta T_{soğuk} = 0.324$ °C'de gerçekleşmiştir (Şekil 3a).
- Yüksek debide en iyi soğutma performansı; $T_{grş} = 40$ °C'de; $D = 3$ mm ve $t = 2$ s'de iken $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'de oluşmuştur (Şekil 3b).
- En iyi soğutma performansı yüksek debide, $T_{grş} = 40$ °C'de, $D = 3$ mm ve $t = 2$ s'de iken 1.5 gr nano Cu $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'de olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3b).

3.2. Farklı ağırlıklardaki nano Cu için 3 mm çapına sahip mini kanallarda, 35 °C ve 40 °C mini kanal giriş sıcaklıklarında, düşük debide, sıcaklık performansı analizi

Düşük debide, nano Cu $T_{grş} = 35$ °C ve 40 °C mini kanal giriş sıcaklıklarında, 3 mm çapındaki mini kanalda, farklı ağırlıkta nano Cu kullanılarak, ΔT_{sgk} 'in zamana göre değişim performansları, Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4a Düşük debide 250 mm uzunluk ve 3 mm mini kanalda 35 °C için ΔT_{sgk} 'ın performansı, 4b; Düşük debide 250 mm uzunluk ve 3 mm çapındaki mini kanalda 40 °C için ΔT_{sgk} 'ın performansı

Şekil 4a'nın analizi;

- En iyi soğutma performansı, düşük debide $T_{grş} = 35$ °C'de; $D = 3$ mm ve $t = 2$ s'de iken 1.5 gr nano Cu'da, $\Delta T_{soğuk} = 0.324$ °C'de gerçekleşmiştir.

Şekil 4b'nin analizi;

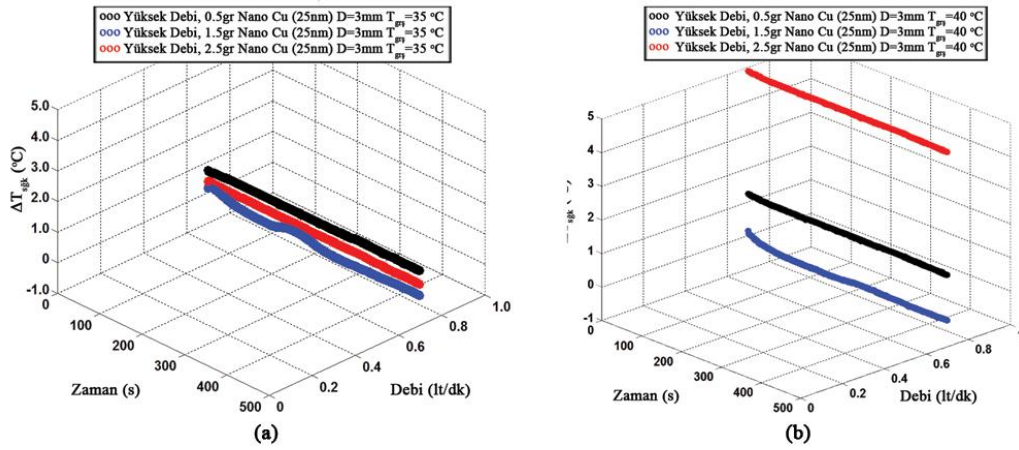
- En iyi soğutma performansı, düşük debide, $T_{grş} = 40$ °C'de, $D = 3$ mm ve $t = 12$ s'de iken 1.5 gr nano Cu'da $\Delta T_{soğuk} = 1.590$ °C'de gerçekleşmiştir (Şekil 4b).

Şekil 4a ve 4b'nin analizi;

- En iyi soğutma performansı, düşük debide, $T_{grş} = 35$ °C'de, $D = 3$ mm ve $t = 2$ s.'de iken 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = 0.324$ °C'dir (Şekil 4a).

3.3. Farklı ağırlıklardaki nano Cu için 3 mm çapta mini kanallarda, 35 °C ve 40 °C mini kanal giriş sıcaklıklarında, yüksek debide, sıcaklık performansı analizi

Yüksek debide, nano Cu $T_{grş} = 35$ °C ve 40 °C mini kanal giriş sıcaklıklarında, 3 mm çapındaki mini kanalda, farklı gramlarda nano Cu kullanılarak $\Delta T_{soğuk}$ 'ın zamana göre değişim performansları, Şekil 5'de sunulmuştur.



Şekil 5a Yüksek debide 250 mm uzunluk ve 3 mm çapındaki, mini kanalda 35 °C için $\Delta T_{sğk}$ 'ın performansı, 5b Yüksek debide 250 mm uzunluk ve 3mm çapındaki mini kanalda 40 °C için $\Delta T_{sğk}$ 'ın performansı

Şekil 5a'nın analizi;

- En iyi soğutma performansı, yüksek debide, $T_{grş} = 35$ °C'de, $D= 3$ mm ve $t=23$. s'de iken 1.5 gr Nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = -0.222$ °C'dır (Şekil 5a).

Şekil 5b'nin analizi;

- En iyi soğutma performans, yüksek debide $T_{grş} = 40$ °C'de, $D= 3$ mm ve $t=2$. s'de iken 1.5 gr nano Cu için, $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'dır (Şekil 5b).

Şekil 5a ve Şekil 5b'nin analizi;

- En iyi soğutma performansı, yüksek debide, $T_{grş} = 40$ °C'de, $D= 3$ mm ve $t=2$. s'de iken 1.5 gr nano Cu için $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'dır (Şekil 5b).

4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmada, 250 mm uzunluğundaki, mini kanallarda nano Cu kullanılarak düşük ve yüksek debi için 2mm ve 3mm çaplarda, 35 °C ve 40 °C'deki nano akışkanın giriş sıcaklıklarındaki soğutma performansları araştırılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada 0.2 lt/dk (düşük debi), 0.7 lt/dk (yüksek debi) olarak değerlendirilmiştir. Nano Cu'ın ile yapılan çalışmada, suya göre soğutma yönündeki performansa etki ettiği görülmüştür. $\Delta T_{soğuk} = T_{grş} - T_{çks}$ parametreleri kullanılarak yapılan çalışmada en iyi performansın $T_{grş} = 40$ °C'de, $D= 3$ mm'de, $\Delta T_{soğuk} = -0.401$ °C'lara kadar indiği görülmüştür. Deneysel çalışmada, 2.5 gram nano-Cu kullanıldığında çökelmeler görülmüş ve deneysel sistemde tıkanma sınırına ulaştığı görülmüştür. Bu çalışma

sonucunda sonra ki yapılacak deneysel çalışmalarda hem performans açısından, hem de tıkanmayı önlemek için 1.5 gram nano akışkanlar üzerinde çalışma yapılması uygun görülmüştür.

Sonuç olarak; Günümüzde, soğutucu akışkanların çevreye vermiş oldukları zararlar bilinmektedir. Bunlardan en önemlileri ise soğutucu akışkanların, ozon tabakası üzerinde yapmış oldukları hasarlardır. Bu nedenle soğutucu akışkanların bazılarının kullanımları yasaklanmaktadır yada kullanılmalarında bir takım kısıtlamalar getirilmektedir. Bu çalışmanın sonucunda, elde edilen deneysel bulgular dikkate alındığında, bu çalışmadaki kullanılmış olan deneysel sistem ve nano akışkan, soğutma amaçlı kullanılabileceği kanaati tarafımızda oluşmuştur ve literatürde bu tür bir çalışma bulunmamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın mali desteği, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP_16201047 no'lu proje) tarafından sağlanmıştır. Ayrıca, bu çalışma Onur Sarıca'nın devam eden Yüksek Lisans tezinin bir bölümünü oluşturmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Hamilton, R. L., Crosser, O. K. Thermal Conductivity of Heterogeneous Two Component Systems. I & EC Fundamentals, 1962; 1: 187-191.
- [2] Pak, B.C., Cho, Y.I. Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed fluids with Submicron Metallic Oxide Particles. Exp. Heat Transfer, 1998; 11: 151.
- [3] Li, Q., Xuan, Y. Convective Heat Transfer and Flow Characteristics of Cu- Water Nanofluid. Sci. China Ser. E, 2002; 45, 408.
- [4] Chen, H., Yang, W., He, Y., Ding, Y., Zhang, L., Tan, C., Lapkin, A.A., Bavykin, D.V. Heat Transfer and Flow Behaviour of Aqueous Suspensions of Titanate Nanotubes (Nanofluids). Powder Technol., 2008; 183: 63-72.
- [5] Kulkarni, D.P., Namburu, P.K., EdBargar, H., Das, D.K. Convective Heat Transfer and Fluid Dynamic Characteristics of SiO₂ Ethylene Glycol/Water Nanofluid. Heat Transfer Eng. 2008; 29, 1027.

- [6] Wen, D., Ding, Y. Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region under Laminar Flow Conditions. *Int. J. Heat Mass Tran.* 2004; 47, 5181-8.
- [7] Anoop, K., Sundararajan, T., Das, S.K. Effect of Particle Size on the Convective Heat Transfer in Nanofluid in the Developing Region, *Int. J. Heat Mass Tran.* 2009; 52, 2189-95.
- [8] Hwang, K.S., Jang, S.P., Choi, S.U.S., Flow and Convective Heat Transfer Characteristics of Water-Based Al₂O₃ Nanofluids in Fully Developed Laminar Flow Regime. *Int. J. Heat Mass Tran.* 2009; 52, 193-9.
- [9] Satish G. Kandlikar & William J. Grande, Evolution of Microchannel Flow Passages— Thermohydraulic Performance and Fabrication Technology, *Heat Transfer Engineering*, 24(1):3–17, 2003, Taylor & Francis, ISSN: 0145-7632 (Print) 1521-0537 (Online).