



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİNİ KANALLARDA NANO PARTÜKÜLLÜ
AKIŞKANIN SICAKLIK PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Onur SARICA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Enerji Sistemleri Mühendisliği
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Haziran-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Onur SARICA tarafından hazırlanan “Mini Kanallarda Nano Partüküllü Akışkanın Sıcaklık Performansının Deneysel İncelenmesi” adlı tez çalışması 19/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Rafet YAPICI

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Kevser Dincer

Üye

Doç. Dr. Ahmet Samancı

İmza


.....


.....


.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. 
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından BAP_16201047 no’lu proje nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Onur SARICA

Tarih: 19.06.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

MİNİ KANALLARDA NANO PARTÜKÜLLÜ AKIŞKANIN SICAKLIK PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Onur SARICA

**Enerji Sistemleri Mühendisliği
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr Kevser DİNCER

2017, 61 Sayfa

Jüri

**Yrd. Doç. Dr. Kevser DİNCER
Prof. Dr. Rafet YAPICI
Doç. Dr. Ahmet SAMANCI**

Bu çalışmada mini kanallarda, nano akışkanların ısı transferi performansı incelenmiştir. Mini kanal çapı 2 ve 3 mm, kanal uzunluğu ise 90 cm seçilmiştir. Çalışma akışkanı su, su+alümina ve su+bakır'dır. Deneysel çalışma parametreleri mini kanal çapı (D), mini kanal uzunluğu (L), hacimsel debi ($\dot{V}=0.9$ lt/dak), sıcaklık farkları ($\Delta T=T_1-T_6$), güç ($\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W), nano akışkan cinsi (alümina ve bakır), nano partikülün ağırlıkça oranı (suya göre=% 0.2, 0.4, 0.6)'dır. Deneysel çalışmaların analizleri sonucunda güç kaynağından verilen güç ve nano alümina ile nano bakırın sudaki ağırlıkça oranı artığında birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin de arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, birim zamanda maksimum ısı transferi, $D=3$ mm, $L=90$ cm, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W, debi= 0.9 lt/dak, ağırlıkça % 0.6 alüminada, $\dot{Q}_{maks.} = 89.47$ W olarak tespit edilmiştir. Bu şartlarda, ısı transferi, suya göre % 12.4 artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mini kanal, nanoakışkan, nano partikül

ABSTRACT

MASTER DEGREE

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE TEMPERATURE PERFORMANCE OF FLUIDS WITH NANO-PARTICLES IN MINI CHANNELS

Onur SARICA

**Energy Systems Engineering
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Kevser DINCER

2017, 61 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Kevser DINCER

Prof. Dr. Rafet YAPICI

Asst. Prof. Ahmet SAMANCI

In this study, heat transfer performance of nano fluid in mini channels is examined. Mini channel diameters and length are chosen as 2, 3 and 900 mm, respectively. Examined fluids are water, water + alumina and water + copper. Experimental parameters are mini channel diameter (D), mini channel length (L), volumetric flow rate ($\dot{V}= 0.9$ l/min), differences in temperature ($\Delta T = T_1 - T_6$), power ($\dot{Q}_{in} = 70$ and 90 W), types of nano fluid (alumina and copper) and weighted proportion of nano particles (0.2%, 0.4%, and 0.6% with respect to water). As a result of the analysis of the experimental studies, it has been determined that the heat transfer per unit time increases, as the power supplied from the power source along with the nano alumina and nano copper weight ratio in the water are increased. In this study, maximum heat transfer rate has been determined at the conditions of $D= 3$ mm, $L= 90$ cm, $\dot{Q}_{in} = 90$ W, flow = 0.9 l/min, %0.6 alumina with $\dot{Q}_{maks.} = 89.47$ W. Under these conditions, the heat transfer increases by 12.4% compared to water.

Keywords: Mini channel, nanofluid, nano particles.

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli fikir ve tecrübelerinden faydalandığım, danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Kevser DİNCER, gösterdiği desteğinden dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca, her konuda destek ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Gürol ÖNAL ve Makine Yüksek Mühendisi Sadık ATA'ya, bu çalışmanın mali desteği için, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'ne (BAP_16201047 no'lu proje) katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük katkı ve emeğe sahip olan çok değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Onur SARICA
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. NANO AKIŞKANLAR	11
3.1. Nano Akışkan Nedir?.....	11
3.2. Nano Akışkanların Kullanım Sebepleri.....	11
3.3. Nano Akışkanların Avantajları.....	11
3.4. Nano Akışkanların Kullanım Alanları.....	12
3.5. Nano Akışkanlarının Isıl İletkenliğe Etkileri.....	13
3.6. Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi.....	13
3.7. Nanoakışkanların Hazırlanması.....	14
4. KANALLAR.....	16
4.1. Mikro Kanallar	16
4.1.1. Mikro kanalların kullanım sebepleri.....	16
4.2. Mini Kanallar	16
4.2.1. Mini kanallar kullanım sebepleri.....	16
4.3. Makro Kanallar.....	16
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
5.1. Deneyin Amacı.....	17
5.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar	17
5.3. Deneyinlerin Yapılışı.....	27
5.4. Deneyde Kullanılan Nano Partiküller.....	29
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
6.1. Su ile Yapılan Deneysel Çalışma	32
6.1.1. Çap parametresinin belirlenmesi	32
6.2. Nano Alümina+su ile Yapılan Deneysel Çalışma.....	37
6.3. Nano Bakır+su ile Yapılan Deneysel Çalışma.....	39
7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER	43
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ag	: Gümüş
Al_2O_3	: Alümina
Cu	: Bakır
\dot{m}	: Kütleli debi, kg/sn
T	: Sıcaklık, K
\dot{V}	: Hacimsel debi, m^3/sn

Kısaltmalar

C_{psu}	: Sabit basınçtaki suyun özgül ısısı, J/kgK
$C_{palümina}$: Sabit basınçtaki alüminanın özgül ısısı, J/kgK
$C_{pbakır}$: Sabit basınçtaki bakırın özgül ısısı, J/kgK
ρ_{su}	: Suyun yoğunluğu, kg/m^3
$\rho_{alümina}$: Alüminanın yoğunluğu, kg/m^3
$\rho_{bakır}$: Bakırın yoğunluğu, kg/m^3
\dot{Q}	: Birim zamanda yapılan ısı transferi, W
\dot{Q}_{giren}	: Güç kaynağından verilen güç, W
ΔT	: Mini kanaldaki sıcaklık farkı, K

1. GİRİŞ

Günümüzde, üretim teknolojisinin hızlı gelişmesiyle, daha küçük ebatlardaki ısı değiştiricilerinin bir çok endüstriyel alanda kullanıldığı görölmektedir. Üretim teknolojisindeki bu değişimler ısı transferini iyileştirme konusunda bilim adamlarını yeni yöntemlerin keşiflerine ve bu konuda bilimsel çalışmalara yönlendirmiştir. Son yıllarda, geleneksel ısı transferi akışkanlarına, nano boyuttaki partiküller eklenerek ısı transferi performansının arttırılmasına yönelik yeni yöntemler karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel ısı transferi olarak adlandırdığımız akışkanlara belirli hacimsel oranlarda yüksek ısıl iletkenliğe sahip nano boyuttaki katı partiküllerin süspanse edilmesi ile yeni tür ısı transferi akışkanları oluşturulmaktadır. Bu akışkanlara “nanoakışkanlar (nanofluids)” ismi verilmektedir.

Nano akışkanlar metalik veya metalik olmayan 150 nm’den küçük parçacıkların su, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel akışkanların içinde hapsolmesiyle elde edilmektedir. Isı transferi performansını arttırmak amacı ile son yıllarda bir çok uygulamalar geliştirilmiş ve endüstriyel alanda uygulanmalar yapılmıştır. Ancak geleneksel akışkanlarında, bu uygulamalar sonucunda ısı transferindeki artışlar belirli bir noktaya kadar çıkartılabilmemiştir. Teknolojinin gelişmesi ile nano partiküllerin, geleneksel akışkanlara eklenmesi ile ısı transferinin önemli olduğu elektronik cihazların soğutulmasında ümit verici ısı transferi değerlerine ulaşılmasını vaat etmektedir.

Taşıma, ulaşım endüstrisi sektöründe, performansı yüksek araç üretimi geliştikçe, performansa dayalı efektif soğutma ihtiyaçları duyulmuştur. Soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında malzeme cinsi, boyutları, ağırlıkları ve ekonomik durumları göz önüne alındığında ısı transferinin daha etkili olması ortaya çıkmıştır. Bugün ki teknoloji ile üretilen motor yağları, sentetikler ve araç soğutması için kullanılan antifriz su karışımları ile oluşturulan geleneksel ısı transferi akışkanları yüksek ısı transferlerine sahip olmadıkları için ısı kapasitelerinin arttırılması amacı ile nano akışkanlar önem arz etmektedir. Nano partiküllerin belirli oranda geleneksel akışkanlara karıştırılmasıyla daha etkili ısıl kapasitelere ulaşılabileceği düşünölmektedir. Nano akışkanların kullanılması ile tasarlanacak motorlar daha uygun sıcaklıkta çalışabilecek, bu durumun etkisi ile aynı miktardaki yakıtla daha yüksek verim ve daha az emisyon değerleri beklenmektedir. Araçların daha az yakıt yakması nedeni ile daha temiz çevre fikri ortaya çıkmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Nano teknolojideki gelişmeler sonucu, nano akışkan kelimesi literatürde, ilk olarak 1995 yılında (Choi, 1995), tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların, sıvı içinde süspansiyonları sonucu oluşan akışkanlar olarak tanımlanmıştır. (Lee ve ark., 1999) çok küçük nano parçacık konsantrasyonlarında bile nano akışkanın ısı iletim katsayısının, anormal bir şekilde yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Bu iki çalışma (Masuda, 1993; Choi, 1995) ve ardından yapılan birçok deneysel araştırma nano akışkanlarla oldukça yüksek ısı iletim katsayısı artışları elde edilebileceğini göstermiştir (Lee ve ark., 1999; Das ve ark., 2003). Nano akışkanlarda gözlenen bu yüksek ısı iletim katsayısı artışları, ısı transferi ekipmanlarının verimliliğinin artırılabilmesi fırsatını sunmaktadır. Buna bağlı olarak ısı transferi ekipmanlarının boyutlarının küçültülmesi ve ekipmanların işletme giderlerinin azaltılması mümkün olacaktır.

Ganvir ve ark. (2017) nano akışkanlardaki ısı transferi özellikleri üzerine bir makale hazırlamışlardır. Çalışmalarında, nano akışkanların termo fiziksel özelliklerinin iyi olması nedeni ile güneş kolektörleri, ısı boruları, nükleer reaktörler, elektronik soğutma sistemleri, otomobil radyatörleri vb. uygulamalar için ideal olduğunu vurgulamışlardır.

Koo ve Kleinstreuer (2004), Hamilton ve Crosser (1962) ısı iletim modelini ve Brownian hareketinin etkisini göz önünde bulundurarak nano akışkanlar için yeni bir ısı iletim katsayısı modeli önermişlerdir. Bu model ile Brownian hareketine bağlı olarak sıcaklığın ve nano parçacık boyutunun etkilerini ısı iletim katsayısı modeline eklenmiştir.

Chon ve ark. (2005), elde ettikleri deneysel sonuçları, Jang ve Choi (2004)'nin ortaya koyduğu teorik çalışmaları esas alarak sıcaklığa ve nano parçacık boyutuna bağlı ısı iletim katsayısı modelini oluşturmuşlardır. Bu ısı iletim katsayısı modeli, deneysel veriler doğrultusunda, 11 nm'den 151 nm'ye kadar farklı parçacık boyutları ve belirli bir sıcaklık aralığındaki (20-71°C) Al₂O₃/su nano akışkanı için tanımlanmıştır.

Corcione (2011), literatürde farklı boyutlarda ve hacimsel oranlarda nanoparçacıklar için yapılmış çeşitli deney sonuçlarını nano akışkanın ısı iletim katsayısı ve viskozitesi için birer eşiliği haline getirmiştir Bu model 10-150 nm çapındaki nano parçacıklar için ve 21-51°C sıcaklıkları aralığında geçerlidir.

Keblinski ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada ısı transferindeki ilave artışın, Brownian hareketi, nano parçacık çevresinde oluşan sıvı katmanın kalınlığı, nano parçacık kümelenmeleri ve son olarak da yakın mesafedeki nano parçacık radyasyonu olarak açıklamıştır (Keblinski ve ark., 2008).

Özerinç ve ark., (2010), yaptıkları çalışmada, literatürde ısı iletim katsayısı ile ilgili deneysel sonuçlarla nicel değerleri karşılaştırmışlar ve bu sonuçların birbirleriyle tutarlılıklarını incelemişlerdir.

Buongiorno (2006), nano akışkanların sağladığı ısı transferindeki artışın sebebini teorik olarak detaylı bir şekilde incelemiştir. Yaptığı çalışmada akışkan ve nano parçacık arasındaki kayma mekanizmaları üzerinde durmakta ve yedi adet kayma mekanizmasından bahsetmektedir. Bunlar; atalet, Brownian yayını, termoforez, difüzyoforez, Magnus etkisi, akıtım (drainage) ve yer çekimidir. Buongiorno, yaptığı merite analizleri sonrasında, ısı transferinde fark yaratabilecek kayma etkilerinin Brownian hareketi ve termoforesis olabileceğini belirtmiştir. Yazara göre, hacimsel oranın yerel olarak değişmesi, nano akışkanın termofiziksel özelliklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Termofiziksel özelliklerin yerel olarak değişmesi, sıcaklığın daha düz bir dağılıma sahip olmasını sağlamaktadır. Literatürde yer alan sayısal ve deneysel çalışmalar arasındaki farklılıklar, ısı dağılımından değil, parçacıkların dağılımı sonucunda nano akışkan özelliklerinin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, akışın iki-fazlı akış yaklaşımıyla çözümlenerek hacimsel oran dağılımının bulunması, daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Özet olarak, nano akışkan enerji denkleminde kayma mekanizmalarına bağlı ısı aktarımı ihmal edilebilirken, parçacık hacimsel oranındaki dağılımda bu mekanizmalar göz önünde bulundurulmalı, termofiziksel özellikler bu dağılıma göre hesaplanmalıdır.

Xuan ve Roetzel, nano akışkanlar ile elde edilen ısı transferi artışının ısı dağılım olayı ile açıklanabileceğini belirtmiştir (Xuan ve Roetzel, 2000). Araştırmacılar, ısı dağılımının nedeni olarak nano parçacıkların rastlantısal hareketlerini göstermişlerdir. Yapılan çalışmada, bu rastlantısal hareketlerin akışın hız ve sıcaklık dağılımında ufak çapta ani dalgalanmalar yaratacağı belirtilmiştir. Xuan ve Roetzel tarafından sunulan bu çalışmada nano akışkanların ısı transferi analizinde, Buongiorno'dan farklı olarak nano akışkanın tek fazlı bir akış modeli olarak ele alınmasının yeterli olacağı belirtilmiştir (Buongiorno, 2006).

Nano akışkanlarda gözlemlenen yüksek ısı transferi artışını açıklamak amacıyla yapılan başka bir çalışma, Ding ve Wen tarafından gerçekleştirilmiştir (Ding ve Wen,

2005). Ding ve Wen, çalışmalarında, kesme kuvvetleri, viskozite gradyanı ve Brownian hareketi sonucu yaşanan nano parçacık göçünü teorik olarak incelemişler ve nano parçacık konsantrasyonunun kanalın merkezinden kanal duvarına gidildikçe azaldığını göstermişlerdir. Söz konusu parçacık dağılımının nano akışkan termofiziksel özelliklerinin kanal kesiti boyunca değişmesine yol açacağı ve bu durumun akışın hız ve sıcaklık dağılımını etkileyeceği belirtilmiştir. Sonuç olarak, hız ve sıcaklık dağılımındaki söz konusu değişikliklerin nano akışkanlarda fazladan bir ısı transferi artışına neden olacağı açıklanmıştır.

Nano akışkanların önemli diğer bir termo fiziksel özelliklerinden biri de viskozitedir. Akışkanlara nano parçacıkların eklenmesiyle oluşan viskozitedeki artış kanal basınç düşümünün artması ve daha fazla pompa gücüne ihtiyaç duyulmasına yol açar. Nano akışkan viskozite değerleri literatürde teorik ve deneysel çalışmalar sonucu ortaya konan viskozite modelleriyle açıklanmıştır (Einstein, 1956; Wang ve ark., 1999).

Einstein, düşük hacimsel parçacık oranları için teorik bir viskozite modeli oluşturmuştur. Bu model çok temel olmakla beraber viskozitedeki artışı sadece hacimsel parçacık oranına bağlı olduğunu ileri sürmüştür (Einstein, 1956; Wang ve ark., 1999). Brinkma, Einstein modelini daha yüksek parçacık konsantrasyonları için genelleştirmiş ve Batchelor, Brownian hareketini etkisini hesaba katarak, Einstein modelini geliştirerek bir eşiliği oluşturmuştur (Brinkman, 1949; Batchelor, 1977).

Masoumi ve ark. (2009), çalışmasında, nanoakışkan viskozite hesabı için, parçacıkların Brownian hareketi dikkate alınarak yeni bir denklem türetilmiştir. Bu denklemde geleneksel akışkan ile nano parçacıklar arasındaki görece hız hesaba katılmıştır (Masoumi ve ark., 2009). Nano akışkan viskozitesi sıcaklığın, nano parçacık ortalama çapının, nano parçacık hacimsel oranının, nano parçacık yoğunluğunun ve geleneksel akışkan fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. Corcione literatürdeki, birçok deneysel verileri kullanarak nano akışkan viskozitesi için bir eşiliği bulmuştur (Corcione, 2011).

Nguyen ve ark. (2007), parçacık boyutu, çeşidi ve akışkanın sıcaklık değişimlerinin nano akışkan viskozitesine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır (Nguyen ve ark., 2007).

Einstein modeli ve benzer olarak diğer teorik modellerle (Brinkman, 1949; Einstein, 1956) elde edilen viskozite değerleri deneysel sonuçlara göre daha düşük ve iyimser bir tablo ortaya koyduğu için; Maïga vd. (Maïga ve ark., 2004), Masuda vd.

(Masuda ve ark., 1993), Lee vd. ve Wang vd. (Lee ve ark., 1999)'nin yaptığı deneysel çalışmaların verilerine eğri uydurma metoduyla bir eşilişki elde etmişlerdir.

Pak ve Cho (1998), Al_2O_3 (13 nm)/su ve TiO_2 (27 nm)/su nano akışkanların taşınımıyla ısı transferi performansını, türbülanslı akışta incelemiştir. Sınır koşulu olarak sabit ısı akısı ele alınmıştır. Hacimsel olarak % 2.78 nano parçacık içeren Al_2O_3 /su nanoakışkanı kullanılarak taşınım ısı transferi katsayısında % 75'e varan artışlar gözlenmiştir. TiO_2 parçacıkları ile elde edilen artışın Al_2O_3 parçacıkları ile elde edilene nazaran daha düşük olduğu belirtilmiştir. Benzer bir analiz, Li ve Xuan (2002) tarafından, su+ bakır nano akışkan için laminer ve türbülanslı akışta gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında, ısı transferi katsayısındaki artışın % 60'lara vardığı gözlenmiştir. Araştırmacılar, artan Reynolds sayısı ile birlikte ısı transferi katsayısı artışının yükseldiğini belirtmişler ve bu durumu ısıl dağılım olayına bağlamışlardır.

Chen ve ark. (2008), yaptıkları analizde, su+ TiO_2 nano akışkanını, laminer akışta, sabit ısı akısı sınır koşulu altında incelemiştir. Kullandıkları TiO_2 'ler, yaklaşık 10 nm çapında ve yaklaşık 100 nm boyunda idi. $Re = 1700$ için, ısı transferi katsayısının $800 W/m^2K$ 'e ulaştığını belirtmişlerdir. Bu değer farklı hacimsel parçacık oranları için yaklaşık olarak sabit kaldığını açıklamışlardır

Kulkarni ve ark. (2008), SiO_2 /su-etilen glikol karışımı nano akışkanının türbülanslı akımdaki ısı transferi performansını sabit ısı akısı sınır şartı altında incelemiştir. Çalışmalarında, nano parçacık boyutunun ısı transferi üzerine olan etkisini ele almışlardır. Deneysel sonuçlardan, ısı transferinin artan parçacık boyutu ile arttığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, literatürdeki artan parçacık boyutunun ısıl iletim katsayısını düşürdüğünü gösteren birçok çalışmalarla çelişmektedir.

Su+ Al_2O_3 nano akışkanı, üretiminin bazı diğer nano akışkanlara göre daha kolay ve ucuz olması nedeniyle araştırmalarda sık olarak kullanılmaktadır. Wen ve Ding (2004), Anoop ve ark. (2009) nano akışkanın laminer akışındaki ısı transferini, sabit ısı akısı sınır şartı altında ölçmüşlerdir. Wen ve Ding, 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 artışın yükseldiğini belirtmişlerdir. Lokal ısı transferi katsayısındaki artışın ise kanalın giriş bölümünde daha belirgin olduğunu açıklamışlardır. Bunlara ek olarak, ısıl giriş uzunluğunun nano akışkanlarda genelleksel akışkanlara göre daha uzun olduğu belirtilmiştir.

Anoop ve ark. (2009), Al_2O_3 /su nano akışkanının nano parçacık boyutunun ısı transferine olan etkisi üzerinde çalışmışlardır. 45 nm ve 150 nm olmak üzere iki farklı boyuttaki nano parçacıklar ile hazırlanan nano akışkanların ısı transferini incelenmişler ve 45 nm boyutundaki parçacıkların daha yüksek ısı transferi artışı sağladıklarını vurgulamışlardır.

Hwang ve ark., Al_2O_3 /su nano akışkanıyla, hidrodinamik olarak tam gelişmiş ve ısı olarak gelişmekte olan bölgede 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 (Hwang ve ark., 2009). Isı transferi katsayısındaki artışın (% 8) ısı iletim katsayısındaki artıştan (%1.44) daha yüksek olduğu açıklamışlardır. Ayrıca Hwang ve ark., Boungiorno (2006)'nun çalışmasına benzer olarak mertbe analizi yapmışlardır. Bu analizler sonucunda, aşağıdaki bulgulara ulaşmışlardır.

- Isıl dağılım, sonucu gerçekleşen enerji transferi ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- Parçacık hareketlerinin asıl nedenleri, Brownian difüzyonu ve termoforez etkileridir.
- Viskoz gradyanın ve düzensiz kesme oranının, parçacık hareketine katkısı çok azdır.
- Isı transferindeki, fazla artışın nedeni parçacıkların sıvı içerisindeki hareketleri sonucu artan ısı transferi katsayısı ve buna bağlı olarak hız profiline değişmesi olarak açıklanmıştır.

Heris ve ark. (2007), Al_2O_3 (20 nm)/su nano akışkanının laminer akışını incelerken bu konudaki araştırmaların büyük bir bölümünde kullanılan sabit ısı akısı sınır şartını değil, sabit duvar sıcaklığı sınır şartını ele almışlardır. Bu araştırmacılar, ısı transferi katsayısındaki artışın artan parçacık konsantrasyonu ve artan Peclet sayısı ile yükseldiğini belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada, Heris ve ark., Al_2O_3 /su ve CuO /su nano akışkanlarının ısı performansını karşılaştırmışlardır (Heris ve ark., 2006). Bu karşılaştırma sonucunda Al_2O_3 /su nano akışkanının ısı transferinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Kim ve ark., nano akışkanların ısı transferine etkilerini araştırmak için yaptıkları deneysel çalışmada, Al_2O_3 /su nano akışkanıyla sabit duvar ısı akısı uygulanan düz

silindirik bir kanal içinde laminer ve türbülanslı akış için sonuçlar elde etmişlerdir. % 3'lük hacimsel nano parçacık oranı için ısı iletim ve ısı transferi katsayılarında sırasıyla % 8 ve % 20'lik artışlar gözlemlemişlerdir (Kim ve ark., 2009).

Nano akışkanların sayısal analizi ile ilgili önemli çalışmalardan biri Maïga vd. tarafından gerçekleştirilmiştir (Maïga ve ark., 2004). Bu çalışmada Al_2O_3 /su ve Al_2O_3 /etilen glikol nano akışkanlarının, laminer ve türbülanslı akışı, sabit ısı akısı sınır şartı altında incelemiştir. Nano akışkan, tek fazlı bir akışkan olarak modellenmiş ve nano parçacıkların ısı transferine olan etkisi hesaplamalarda nano akışkan termofiziksel özelliklerinin kullanılması aracılığıyla hesaba katılmıştır. Yapılan analiz sonucunda etilen glikol bazlı nano akışkanın su bazlı nano akışkana göre daha yüksek ısı transferi katsayısı artışı sağladığı anlaşılmıştır.

Heris ve ark., Al_2O_3 /su nano akışkanını laminer akışta ve sabit duvar sıcaklığı koşulunda incelemişler ve analizin sonuçlarını aynı koşullarda gerçekleştirdikleri deneysel çalışmanın (Heris ve ark., 2007) sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Analiz yöntemi olarak Xuan ve Roetzel tarafından önerilen, ısı dağılım olayını temel alan yaklaşım uygulanmıştır (Xuan ve Roetzel, 2000). Elde edilen sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılmasına ek olarak, parçacık konsantrasyonunun ve parçacık çapının ısı transferine olan etkisi de incelenmiştir. Artan parçacık konsantrasyonu ve azalan parçacık çapı ile ısı transferinde elde edilen artışın yükseldiği belirtmişlerdir.

Bianco ve ark., Al_2O_3 /su nano akışkanının sabit duvar ısı akısı sınır koşulu altındaki ısı transferi artışının, Fluent yazılımıyla sayısal analizini yapmışlardır (Bianco ve ark., 2009). Isıl ve hidrodinamik olarak gelişmekte olan laminer akış için tek fazlı ve iki-fazlı ayırık faz modeli ile sonuçlar alınmış ve bu sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucu, iki model arasındaki ortalama ısı transferi katsayısı farkı % 11 olarak bulunmuştur. Ayrıca sıcaklığa bağlı ve sabit termofiziksel özellikler kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmış ve bunun sonucunda aradaki farkın dikkate alınacak kadar önemli olduğunu açıklamışlardır.

Lotfi ve ark., farklı yaklaşımlarla, nano akışkanlarla zorlanmış ısı transferi üzerine sayısal çalışmalar yapmışlardır (Lotfi ve ark., 2010). Laminer akış ve k-ε türbülans akış modeli için tek fazlı, iki-fazlı Euler ve karışım modellerini inceleyerek araştırılmışlardır. Bu karşılaştırmaya göre iki-fazlı karışım modelinin diğer modellere göre Wen ve Ding'in elde ettiği deneysel verilere göre daha yakın sonuç verdiğini belirtmişlerdir (Wen ve Ding, 2004).

Lotfi ve ark. (2010), silindirik bir tüp içinde nano akışkanlarla sabit duvar sıcaklığı sınır koşulu altında taşınımın ısı iletimi üzerine sayısal analizlerde bulunmuşlardır. ANSYS CFX yazılımı ile tek ve iki fazlı akış modellerini kullanarak CuO/su ve Al₂O₃/su nano akışkanları için hesaplamalar yapmışlardır. İki-fazlı akış modelleri ile yapılan hesaplamalar deneysel verilere daha yakın sonuçlar vermiştir. Yüksek Peclet sayılarıyla yapılan analizlerde ısı transferi katsayısı beklenilenden daha düşük değerde bulunmuştur.

Akbari ve ark., CFD yazılımı kullanarak tek-fazlı ve iki-fazlı akış modelleriyle kanal içindeki ısı transferi iyileştirilmesini hesaplamak için sayısal analizlerde bulunmuşlardır (Akbari ve ark., 2011). Farklı Reynolds sayıları için sıcaklığa bağlı termofiziksel özellikler kullanmışlardır. Euler ve karışım hacmi gibi değişik iki-faz akış modelleri ile hesaplamalar yapılarak sonuçlar hem birbirleriyle hem de tek-fazlı akış sonuçlarıyla da karşılaştırmışlardır. Hidrodinamik olarak bütün modeller benzer sonuçlar verse de iki-fazlı akış modelleri ile tek-fazlı akışa göre daha yüksek ısı transferi katsayıları değerlerine ulaşmışlardır. İki-fazlı akış modelleri arasında herhangi bir farka rastlanmamakla beraber daha düşük hesaplama yükü getiren Karışım Hacmi modelini önermişlerdir.

Kondaraju ve Lee (2011), iki-fazlı akış modeli ile türbülanslı akışın hem ısı iletim katsayısı hem de taşınımın ısı transferi katsayısı değerleri üzerine inceleme yapmışlardır. Hidrodinamik sürüklenme, Brownian, termoforez ve Van der Waals kuvvetleri simülasyonlarında hesaba katmışlardır. Nano parçacıkların topaklanma problemi Van der Waals kuvvetleri ile kontrol edilmiştir.

Akbarinia ve ark., (2009) eğimli bir silindirik tüp içinde iki-fazlı karışım modeli kullanarak, nano parçacık boyutunun ısı transferine etkilerini araştırmak üzere sayısal analizler yapmışlardır. Hacimsel parçacık oranı %1 olan Al₂O₃/su nanoakışkanı için farklı boyuttaki nano parçacıkların ısı ve hidrodinamik olarak karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak, sabit parçacık hacimsel oranında büyük parçacık boyutu eksenel yöndeki akış hızını arttırırken, akış sıcaklığını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Parçacık boyutuyla artan sürüklenme kuvveti yüzünden ısı transferi katsayılarında bir azalma meydana geldiğini açıklamışlardır.

Keblinski ve ark. (2001), nano akışkanlarda ısı iletkenlik katsayısındaki önemli artışın, katı partiküllerin Brownian hareketine, sıvı katı ortak yüzeyinde moleküler seviyedeki sıvı tabakalaşması, ısı transfer mekanizmasının doğası ve nano partikül yığılmalarının etkisi gibi faktörlere bağlı olduğunu ifade etmişlerdir

Yu ve Choi (2003), nano akışkanlarda katı sıvı yüzeyinde oluşan sıvı tabakanın sıvı ve katı arasında bir termal köprü görevini gördüğünü ifade etmiş ve ısı iletkenlik katsayısındaki önemli artışları, bu etkiye bağlamışlardır. Yu ve Choi, model sonuçlarını nano akışkanlar için yapılmış pek çok deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve modellerinin nano akışkanların ısı iletkenlik katsayısını ifade etmede oldukça başarılı olduğunu görmüşlerdir.

Khanafer ve ark. (2003), dikey dikdörtgen kapalı bir ortamdaki su bazlı nano bakır akışkanların, doğal konveksiyonla ısı transferini nümerik olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, herhangi bir Grashof sayısında, su içindeki bakır nano partiküllerin hacim fraksiyonu arttıkça ısı transferinde de artış söz konusu olmaktadır, şeklinde açıklamışlardır.

Jou ve Tzeng (2006) tarafından yapılan çalışmanın, (Khanfer ve ark., 2003) yapmış oldukları çalışma ile benzer sonuçlar içerdiği görülmüştür.

Santra ve ark. (2008), çalışmalarında ısı iletkenlik katsayısı için farklı iki model kullanmışlar ve kullandıkları modellerden, Bruggeman modelinin (1935) Maxwell-Garnett modeline (1904) göre daha yüksek ortalama ısı transfer katsayıları ürettiğini görmüşlerdir

Hwang ve ark. (2007), alüminyum bazlı nano akışkanın alttan ısıtılmış dikdörtgen bir kapalı ortamda doğal konveksiyonunu incelemişler ve nano partikül çapının artmasıyla, ortalama Nusselt sayısında önemli düşüşler söz konusu olduğunu görmüşlerdir

Ho ve ark. (2008), kapalı kare bir ortam içindeki laminer doğal konveksiyon üzerinde alüminyum su bazlı nano akışkanın efektif ısı iletkenliğini ve dinamik viskozitesini formüle etmişlerdir.

Oztop ve Abu-Nada (2009), sol duvarı kısmen ısıtılan ve sağ duvarı soğutulan, diğer duvarları adyabatik tutulan dikdörtgen bir kavite içindeki çeşitli nano parçacıklarla oluşturulan nano akışkanın doğal konveksiyonunu nümerik olarak incelemişlerdir. Isıtıcı uzunluğu arttıkça ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca nano akışkan kullanımıyla ısı transferinin arttığını ve yüksek boyut oranından ziyade düşük boyut oranında bu etkinin daha belirgin olduğunu görmüşlerdir (Oztop ve Abu-Nada, 2008). Son zamanlarda ise yan duvardan sabit ısı akısıyla kısmen ısıtılmış, eğik kare bir kapalı ortam içindeki farklı nano parçacık ile oluşturulan su bazlı nano akışkanların, doğal konveksiyonunu incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, Rayleigh sayısı ve parçacık hacim fraksiyonu arttıkça, ortalama ısı transferi miktarının

arttığını ve ısıtıcı uzunluğu arttıkça ısı transfer miktarının düştüğünü gözlemlemiştir. Ayrıca ısıtıcı uzunluğu arttıkça, ortalama ısı transfer oranı, küçük eğim açıları için azalmaya başlamakta olduğunu belirtmişlerdir.



3. NANO AKIŞKANLAR

3.1. Nano Akışkan Nedir?

Katı partüküllerin (nano boyuttaki) geleneksel akışkanlara, eklenmesi ile oluşan akışkanlara, nano akışkanlar (nano fluids) olarak adlandırılır.

3.2. Nano Akışkanların Kullanım Sebepleri

Nano akışkanlar bizlere bir çok avantaj sunmaktadır. Bunlardan bazıları, aşağıda sunulmuştur.

- Isıl iletkenliği arttırmak ve yüksek ısı akılarına ulaşmak.
- Endüstriyel mühendislik kullanım alanlarında mikro kanallarda ısı transferi performansını arttırmaktadır.
- Nano akışkanlar cihazların performansını artırması nedeni ile aynı verimi sağlayan daha küçük boyutlarda makineler üretilmesine olanak sağlamaktadır.

3.3. Nano Akışkanların Avantajları

Nano akışkan karışımları basit karışımlar değildir. Nano katı partüküller ile karıştırılan sıvı karışımları aşağıdaki özellikleri karşılayabilmelidir.

- Akışkanların kimyasal özelliklerini değiştirmeyecek düzeyde olmalı.
- Nano akışkanlar kararlı ve dayanıklı olmalıdır.
- Eklenecek katı partüküller topaklanması olmamalı.

Masuda ve ark., (1993), geleneksel akışkanların ısı iletim katsayıları sınırlı olduğundan dolayı sıvı içerisine küçük katı parçacıkları ekleyerek ısı transferini arttırmayı amaçlamıştır. Her ne kadar mikro ve milimetre düzeyindeki katı parçacıkların sıvı içerisine eklenerek ısı transferini artırma işlemi daha önceki senelerden beri bilirse de bu işlemin yol açtığı çökme, erozyon ve basınç düşümü gibi problemler yüzünden pek tercih edilmemektedir.

Nano teknolojideki gelişmeler sonucu, nano akışkan kelimesi literatürde ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içinde süspansiyonları sonucu oluşan akışkanlar olarak tanımlanmıştır (Choi, 1995). Lee

ve ark., çok küçük nano parçacık konsantrasyonlarında bile nano akışkanın ısı iletim katsayısının anormal bir şekilde yükseldiğini ortaya koymuşlardır (Lee ve ark., 1999). Bu iki çalışma (Masuda ve ark., 1993; Choi, 1995) ve ardından yapılan birçok deneysel araştırma nano akışkanlarla oldukça yüksek ısı iletim katsayısı artışları elde edilebileceğini göstermiştir (Lee ve ark., 1999; Das ve ark., 2003). Nano akışkanlarda gözlenen bu yüksek ısı iletim katsayısı artışları, ısı transferi ekipmanlarının verimliliğinin artırılabilmesi fırsatını sunmaktadır. Buna bağlı olarak ısı transferi ekipmanlarının boyutlarının küçültülmesi ve ekipmanların işletme giderlerinin azaltılması mümkün olacaktır. Choi ve ark.'nın çalışmalarından sonra nano akışkanlarla ilgili birçok deneysel ve teorik çalışmalar hızlı bir şekilde artarak devam etmiştir (Choi, 1995).

Nano teknoloji konusunda bilim adamları "nano teknoloji nedir?" sorusunu şu şekilde yorumlamışlardır. "Nano bilim, büyük etkiye sahip olan küçük şeylerdir." "Nano teknolojiyi tanımlamanın bir yolu uzunluk ölçülerinden bahsetmektir. Bir başka yoluysa, onu yaklaşan ekonomik, iş ve sosyal bir fenomen olarak görmektir."

3.4. Nano Akışkanların Kullanım Alanları

Taşıma endüstrisi, otomobil ve ağır taşıtların üretilmesi ile performansı yüksek araçların üretilmesi devam ettikçe, buna paralel olarak da efektif soğutma ihtiyaçları artmaktadır. Efektif soğutma ihtiyaçları gereği, üretilen makinelerin, boyut, hacim, ağırlık ve ekonomiklik kısıtlamalar nedeni ile ısı atabilecekleri etkili akışkanlara olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bugün soğutma sisteminde, geleneksel olarak kullanılan antifriz su karışımları, motor yağları, yüksek sıcaklıktaki akışkanların yapıları ve doğaları gereği yüksek ısı akılarına sahip değildirler. Bu akışkanların ısı kapasitelerinin artırılması için nano akışkanların kullanılması ekili hale gelebileceği düşünülmektedir. Nano akışkanlar kullanılarak tasarlanmış ısı değiştiriciler sayesinde motorlar daha uygun sıcaklıklarda çalışabilecektir. Bunun etkisi ile daha küçük motorlar daha uygun sıcaklıklarda çalışabilecektir. Böylelikle teknolojinin gelişmesi ve nano partiküllerin kullanılabilmesi ile daha küçük pompa, motor, radyatör ve bileşenleri üretililecek, bunun sonucunda da, aynı miktarda yakıt ile daha fazla yol yapılabilir ve motorlardan daha yüksek performanslar alınabileceği düşünülmektedir. Daha az yakıt ise daha az emisyon ve daha temiz çevre anlamına gelmektedir.

Bilim ve teknolojide 1960'lardan beri minyatürleşme yükselen bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro-elektromekanik sistemler (MEMS) çalışırken çok büyük değerlerde ısı akışı ortaya çıkmaktadır. Mevcut soğutucular geleneksel akışkanların kullanılması nedeni ile yeterli soğutma kapasitesine sahip olmadığı için MEMS teknolojisinde kullanılmamaktadır. Geleneksel katı partiküllerin katıldığı soğutucular kullanıldığında ise kullanılan bu partiküller oldukça dar olan MEMS mikro kanallarında düzgün olarak akamayacağı için sistem çalışmayacaktır. Nano akışkanlar bu kanalları tıkamadan, çökmeden, aşındırmadan akabilecek özellikte olduğu için çok yüksek ısı akışı şartlarında MEMS soğutulması için de oldukça uygun olacaktır.

Nano akışkanların kullanıldığı sıvı tipli soğutma yöntemleri, elektronik cihazların performansını ve ömürlerindeki mevcut limitleri artırmaya neden olacaktır. Ayrıca nano akışkanların havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde (HVAC) ve soğutma sistemlerinde uygulanması enerjinin daha verimli ve daha ucuz olarak kullanılabilmesi için yeni tasarımların gerçekleştirilmesine imkân verecektir.

3.5. Nano Akışkanlarının Isıl İletkenliğe Etkileri

Nano Akışkanlar geleneksel akışkanlara göre yüksek ısıl iletkenlik özelliğine sahiptir. Nano partiküllerin ısıl iletkenlikleri fazla olduğu için belirli hacimsel oranda ve boyutta akışkanlara eklendiğinde eklenen nano akışkanın ısıl iletkenliği artmış olacağı saptanmıştır. Santra ve ark., nano akışkanların ısıl iletkenlikleri ile ilgili 2 model kullanmıştır (Santra ve ark., 2008). Kullandığı modeller, Bruggeman modeli (1938), Maxwell-Garnett modeli (1904). Santra ve ark. (2008), yapmış olduğu çalışmalarında yüksek ısı transfer katsayıları sahip nano akışkan ürettiği görülmüştür.

3.6. Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi

Nano partiküllerin katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Hamilton ve Crosser, 1962):

- Akışkan üzerinde yapılan deneylerde içerisine süspansiyon edilen nano partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısıl kapasitesini büyüttüğü belirlenmiştir.
- Nano partiküllerin, akışkan içinde efektif ısıl kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir.

- Nano partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar.
- Nano partiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık eğiminin düzleşmesine neden olur.

Nano akışkan üretebilmek için çoğunlukla kullanılan nano partiküller alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş (Ag) ve silisyum dioksit (SiO_2)'dir. Nano partiküller gaz yoğunlaştırılması, mekanik aşındırma ve kimyasal çöktürme yöntemlerinden biriyle üretilmektedir (Hwang ve ark., 2007). Gaz yoğunlaştırma işlemi diğer yöntemlere göre daha avantajlı bir yöntemdir. Zira partiküller daha temiz bir ortamda üretilmekte ve yüzeyleri istenmeyen maddelerle kaplanmamaktadır. Ancak düşük bir enerji uygulanması durumunda parçacıklar küçük demetçiklere ayrılarak topaklanmalar meydana gelmektedir.

3.7. Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanlar basit karışımlar ve katı-sıvı süspansiyonu değildir. Sıvı içerisine partikül eklenmesi ile yeni akışkan aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır.

- Dayanıklı (durabil) ve kararlı (stabil) bir süspansiyon oluşturmalıdır.
- Partiküllerdeki topaklanma ve çökelme olmamalıdır.
- Nano akışkanlar eklendiği akışkanın kimyasal özelliklerini değiştirmemelidir (Kandlikar ve Grande, 2003).

Nano akışkanlar nano boyutlarda katı partiküllerin temelde su, etilen glikol veya yağ gibi akışkanlara katılması ile hazırlanırlar. Yapılan deneylerde saf su yerine şebeke suyu kullanılmıştır. Saf su yalıtıcıdır. Nano akışkan hazırlanmasında iki metot kullanılmaktadır.

1. Tek adım metodu
2. İki adım metodu

Tek adım metodu olarak bilinen yöntemin ana fikri temel akışkan içerisinde nano partikül üretimidir. İki adım metodunda önceden hazırlanmış olan nano partiküller temel akışkan içerisine uygun yöntemlerle karıştırılarak süspansiyon oluşturulur. Tek adım metodu ile karşılaştırıldığında iki adım metodu metalik partiküller için daha az uygun olmasına karşın oksit partikülleri için iyi sonuç vermektedir (Wang ve Mujumdar, 2007).

Genelde nano akışkan süspansiyonu hazırlanırken kullanılan yöntemler üç türdür (Xuan ve Li, 2000):

- Süspansiyonun pH değerini değiştirmek.
- Yüzey aktivatörleri ve /veya seyrelticiler kullanmak.
- Ultrasonik titreşimler kullanmak.

Homojen partikül dağılımının sağlanması ve topaklanmanın azaltılması için ultrasonik ekipman kullanımının dışında yüzey aktivatörleri eklenmesi ve pH kontrolü gibi metotlarda kullanılmaktadır. Tüm bu teknikler, kararlı bir süspansiyon elde etmek için partiküllerin kümelenmesini ortadan kaldırmayı ve asılı partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmeyi amaçlamaktadır. Nano akışkan süspansiyonlarında en büyük problemi topaklanmadır. Topaklanmayı önlemek için partiküllerin ve çözeltilerin özelliklerine bağlı olarak süspansiyona uygun bir yüzey aktivatörü veya seyreltici çok az miktarda ilave edilmektedir. Genelde kullanılan aktivatörler, seyrelticiler, thioller, oleik asit ve laurate tuzlarıdır. Seyrelticilerin eklenmesi özellikle yüksek sıcaklıklarda nano akışkanların ısı transferi performansını etkilemektedir. Boru içindeki aşınma ve basınç düşümü problemleri düşük partikül hacim oranları kullanılarak (genellikle %5 den az hacimsel oranlarda) büyük ölçüde azaltılmaktadır (Kandlikar ve Grande, 2003).

4. KANALLAR

Mini kanal, mikro kanal ve makro kanal olmak üzere nano akışkanların kullanıldığı kanallar üçe ayrılır.

4.1. Mikro Kanallar

1 μm ile 100 μm boyutlarındaki kanallara “Mikro Kanallar” denir. Poiseuille’nin deneyinde farklı uzunluktaki iki kılcal tüp üç rezervuara bağlanmıştır. 1840 yılında Poiseuille tarafından sağlanan deneysel veri dairesel tüplerdeki laminar akışlar için ünlü “Poiseuille Kanununu” bulmuştur. Poiseuille, mikro kanallarda basınç kaybını ön gören geleneksel bağıntılarla bulmuş, sürtünme faktörüyle ilgili son yıllarda yapılan deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

4.1.1. Mikro kanalların kullanım sebepleri

- Yüksek ısı akıları
- Küçük boyutlar ve ağırlıklar
- Çalışma akışkanı miktarının az olması
- Taşınabilir olmaları
- İleride seri üretimleri yapılarak ekonomikliklerinin sağlanabilmesi olasılığı kullanım sebepleri arasında yer alır.

4.2. Mini Kanallar

100 μm ile 3mm arasındaki çapa sahip kanallara Mini Kanallar denir.

4.2.1. Mini kanallar kullanım sebepleri

- Mini kanallar yüksek ısı akılarına sahiptir.
- Küçük boyutlarda ve ağırlıktadır.
- Taşınabilir boyutlara sahiptir.

4.3. Makro Kanallar

3 mm’den daha büyük çapa sahip kanallara makro kanallar denir.

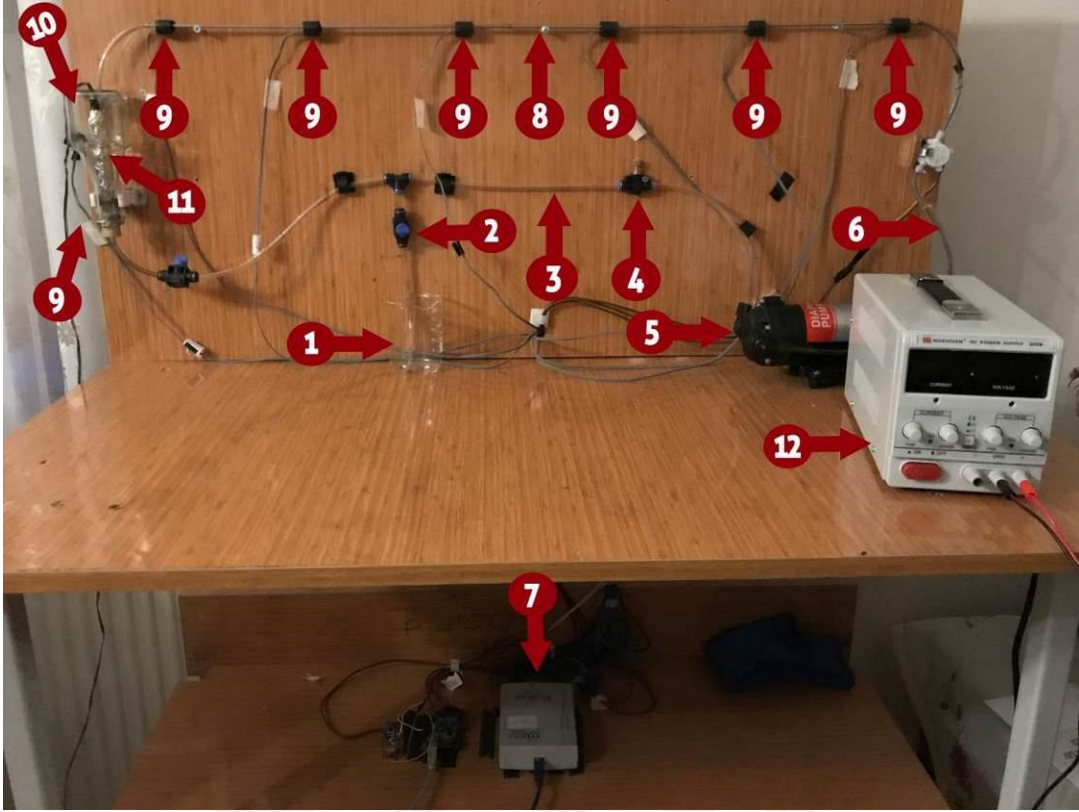
5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deneyin Amacı

Her geçen gün hızları, performansları artan elektronik cihazlar ve bu cihazların bileşenleri oldukça yüksek değerlerde ısı üretmekte ve üretilen bu ısı, sistemden uzaklaştırılmadığı durumda sistem ömrü azalmaktadır. Yarı iletkenlerin ömürleri mutlak sıcaklıkla logaritmik olarak değişmektedir. Yarı iletkenin bulunduğu cihazın ömrü, her 20 °C artışla yarıya inmektedir (Blackwell, 2000; Büyük Öğüt, 2009). Elektronik cihazlarda bozulmaya etki eden faktörlerin başında, % 55'lik bir etki ile eklem sıcaklığı gelmektedir (Kristiansen, 2001; Büyük Öğüt, 2009). Geleneksel artırılmış yüzeyler kullanan soğutma sistemleri yeni nesil elektronik cihazlarda limitlerine ulaşmıştır. Bu çalışmanın amacı, ağırlıkça farklı konsantrasyonlarda ki su bazlı nano akışkanın (nano Al₂O₃ ve nano bakır) mini kanallardaki, ısı transferi performansına etkisi deneysel olarak incelenmesidir.

5.2. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar

Nanopartiküllü akışkanların birim zamanda yapılan ısı transferinin belirlenmesinde kullanılan deneysel sistem Şekil 5.1'de sunulmuş ve deney düzeneği ekipmanları şekil üstünde numaralandırılarak sırayla açıklanmıştır.



Şekil 5.1. Deneysel sistem

Deney Düzeneği Ekipmanları

Rezervuar (1), vana (2), silikon boru (3), debi kontrol vanası (4), pompa (5), debi metre (6), data logger (7), mini kanal (8), ısı çifti (9), toplama tankı (10), silikon rezistans (11), DC güç kaynağı (12).

- **Rezervuar:** Rezervuar, sisteme dahil edilecek nanoakışkan rezervuar tankında çekilerek sisteme dahil edilir. Deneysel çalışma bittiğinde vana açılarak tekrardan akışkan rezervuara boşaltılır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Rezervuar

- **Vanalar:** Diğer bir tanımlama ile vana; akışkanlara yol veren, onları durduran, karıştıran veya akışkanın yönünü ve/veya miktarını, basınç veya sıcaklığını değiştirebilen bir cihazdır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Vana

- **Plastik boru:** Sistemin akış döngüsünün sağlanmasında kullanılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Plastik boru

- **Debi kontrol vanası** : Deneysel sistemin debisini kontrol etmek amacı ile vana kısılıp açılır böylelikle debi kontrolü sağlanır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Debi kontrol vanası

- **Diyafram pompa**: Sıvı çıkışı sağlayan hortumların içerisinde 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

olarak hareket ettirmektedir. Sistemde kullanılan diyafram pompa, toplama tankından akışkanın çekilip sisteme alınmasında ve tekrar nano akışkanlı sulu süspansiyonun toplama tankına aktararak sistemden çekilmesinde kullanılmaktadır. Deneysel sistemde kullanılan pompa 24 volt 1.2 Ah pompadır. Pompanın arıtma cihazlarında membran, filtrenin çalışma sistemi basınca bağlı olarak, su basıncının az olduğu evlerde, basıncı artırmak için kullanılır. Pompanın maksimum debisi 1 lt/dak'dır. Maksimum çalışma basıncı 80 psi'dir. Deneysel sistemde kullanılan pompa aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Diyafram pompa

- **Debi metre** : Türbin debi metreler endüstriyel alanlarda bir çok kullanım alanları sunmaktadır. Yakıt, su, gaz ve türevleri için kullanılacak tipler vardır. Türbin tibi debi metreler mekanik enerjinin kullanılması yardımı ile rotor denilen türbini dönderir. Mini türbin debimetreler düşük akışlar için tasarlanmış olup hassas ölçüm yapmaya elverişlidir. Türbin pervanesine monte edilmiş mıknatıs, sensör önünden her geçişinde Pulse darbesi üretir. Darbelerin miktarı geçen akış miktarını belirler. Türbin üzerinde bulunan bıçak şeklindeki kısımlar akış yönünde rotasyonel enerjiye dönüştürmek için açılmıştır. Rotor mili döndüğünde akışın hızı bu dönüşün hızı ile orantılıdır. Akış için bıçak üzerinde bulunan pulse üreten mıknatıslar yardımı ile sensörün okunması ile veriler oluşur. Güç santralleri, sıvı dolun cihazları, çay ve kahve makineleri, içecek endüstrisi, akıllı çeşmelerde bu tip türbin debi metreler kullanılmaktadır.

Deneysel sistemde kullanılan debi metre Sea Water Flow Sensör olup Modeli YF-S401'dir. 0.3 lt/dak – 6 lt/dak aralığında 0.8 MPa basınca kadar çalışabilmektedir. Çalışma sıcaklıkları -25 °C ve + 80 °C arasındadır. Bu tip debi metreler özellikle kahve makinelerinde kullanılmaktadır. Deneysel sistemde kullanılan debi metre aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.7).

Sea Water Flow Sensor Model YF-S401 teknik bilgileri

- Çalışma aralığı: 0.3-6L/min
- Su basıncı: ≤ 0.8 MPa
- Asgari anma çalışma gerilimi: DC4.5 5 V-24 V
- Maksimum çalışma akımı: 15 mA DC 5 V
- Çalışma voltaj aralığı: DC 5-18 V
- Yük kapasitesi: ≤ 10 mA DC 5 V
- Çalışma sıcaklığı aralığı: ≤ 80
- Çalışma nem aralığı: 35%-90% RH (don)
- Depolama sıcaklığı (-25)-(+ 80) °C
- Depolama nem: (25 %) – (95%) RH
- Boyut (L x W x H): Yaklaşık. 5.8x3.4x2.7 cm/2.28x1.34x1.06 inç
- Çıkış arayüzü çapı: Yaklaşık. dış 7 mm, iç 3 mm



Şekil 5.7. Debi metre

- **Data logger:** Veri kaydedici bilgiyi belli zaman aralıkları ile kaydeden elektronik bir cihazdır. Usb girişi ile verileri bilgisayara aktarmaktadır. Data loggerlar belirlenen aralıklar içerisinde veri alma, kaydetme, toplama işlemlerinde sağlamış olduğu kolaylık sayesinde iş verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. İlaç depoları, laboratuvar ortamları, soğuk hava depoları, endüstriyel ortamlar, gıda depoları, toprak nem ölçümleri, pH ölçümleri, sıcaklık ölçümleri, akış uygulamaları, su derinlik ölçümlerinde kullanılmaktadır (Şekil 5.8).

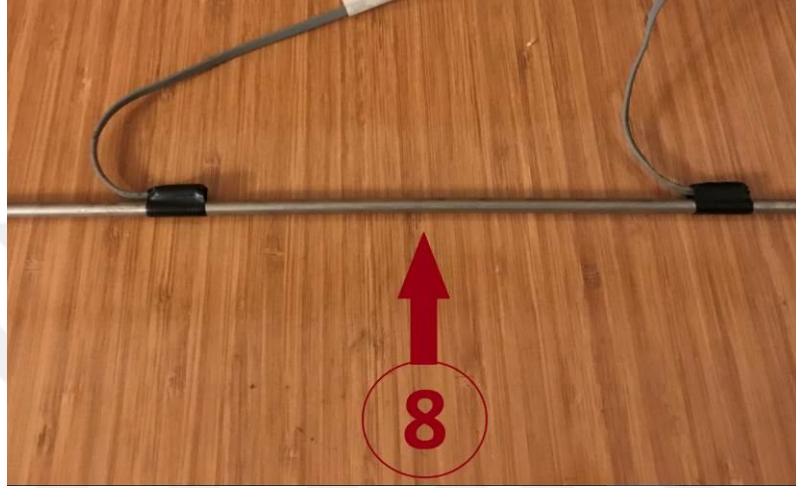
Picolog 1216 teknik bilgileri

- Input : 16 kanal
- Resolution (bits) : 12 bits
- Örnekleme hızı : 1 MS/s yazılım PicoScope and API'de
- Çalışma voltaj aralığı : 0 – 2.5 Volt
- Aşırı yüklenme koruması : 30 Volt
- Dijital çıkış : 4 dijital çıkış
- Sensör için çıkış gücü : 2.5 V @ 10 mA
- Çalışma sıcaklık aralığı : 0 °C – 70 °C
- Boyut (L x W x H): Yaklaşık. 45mm x 100 mm x 140 mm
- Çalışma ne aralığı : %5 - %85



Şekil 5.8. Data logger

➤ **Mini kanal:** 200 μm ile 3mm boyutlarındaki borulara mini kanal denir. Deneysel sistemde 2mm ve 3mm çapındaki krom nikel paslanmaz çelik borular kullanılmıştır. Mini kanal üzerine yerleştirilen ısı çiftleri mini kanal içinden geçen akışkanın sıcaklığını ölçmektedir. 18 cm aralıklarla koyulan ısı çiftleri vasıtasıyla sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Mini kanal üzerine bağlanmış 6 adet ısı çifti bulunmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Mini kanal

➤ **Isıl çiftler :** Farklı iki iletken malzemeden 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 krom nikel paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş olan 2 ve 3 mm çapındaki dairesel kesitli borularda sıcaklık ölçümleri mini kanal üzerine yerleştirilen 6 adet ısı çifti tarafından ölçülmüştür. Isıl çiftler ± 0.001 °C hassasiyettedir. Bu çalışmada 6 tane ısı çifti kullanılmıştır. Mini kanal üzerine, ısı çiftleri $T_1 = 0$ cm, $T_2 = 18$ cm, $T_3 = 36$ cm, $T_4 = 54$ cm, $T_5 = 72$ cm, $T_6 = 90$ cm'ye konumlandırılmıştır. Isıl çiftler ile yapılan ölçümler dikkate alınarak 5 adet sıcaklık farkı belirlenmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Isıl çiftler (termokulp)

- **Toplama tankı:** Sistemdeki akışkanın depolandığı yerdir. Sistemin çalışmaya başlamasıyla akışkan rezervuar tankından sisteme alınır. Sistemin çalışması durdurulduğunda akışkan toplama tankından tekrar rezervuara gönderilir. Silikon rezistans vasıtası ile toplama tankında akışkan ısıtılır. Şekilde görünen toplama tankı deneysel çalışma esnasında yalıtılmıştır. (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Toplama tankı

- **Silikon rezistans:** Toplama tankı içerisine yerleştirilen silikon rezistans güç kaynağı ile akışkanı ısıtmaktadır. Deneysel sistemde kullanılan silikon rezistans aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Silikon rezistans

- **DC güç kaynağı:** Doğru akım güç kaynakları (Redresörler) Redresör, AC gerilimi DC gerilime dönüştürerek, akülerin şarj edilmesini ve doğru akımla beslenen cihazların enerji ihtiyaçlarını sağlamak amacıyla tasarlanmış cihazlardır. Bir sistem ya da düzeneğin gereksinimi olan enerjiyi sağlamak için kullanılmaktadır. Deneysel sistemde, silikon rezistansın ısıtılması için gereken enerjisini sağlamıştır. Sistemde kullanılan güç kaynağı, maksimum 5 amper ve 30 volta kadar ayarlanabilir özelliğe sahiptir. Deneysel çalışmalarda $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W seçilmiştir. DC kaynakları elektronik devre projelerinde, pil dolularında, adaptör ihtiyacı olan bir çok alanda kullanılabilir. Deneysel sistemde Mervesan MS-305 B modeli kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneysel sistemde kullanılan DC güç kaynağı aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Şekil 5.13).

Mervesan MS-305 B teknik bilgileri

- AC Giriş (200-240V)
- Kısa Devre / Aşırı Yük / Yüksek gerilim koruması
- 100 % Tam Yükte Çalışma

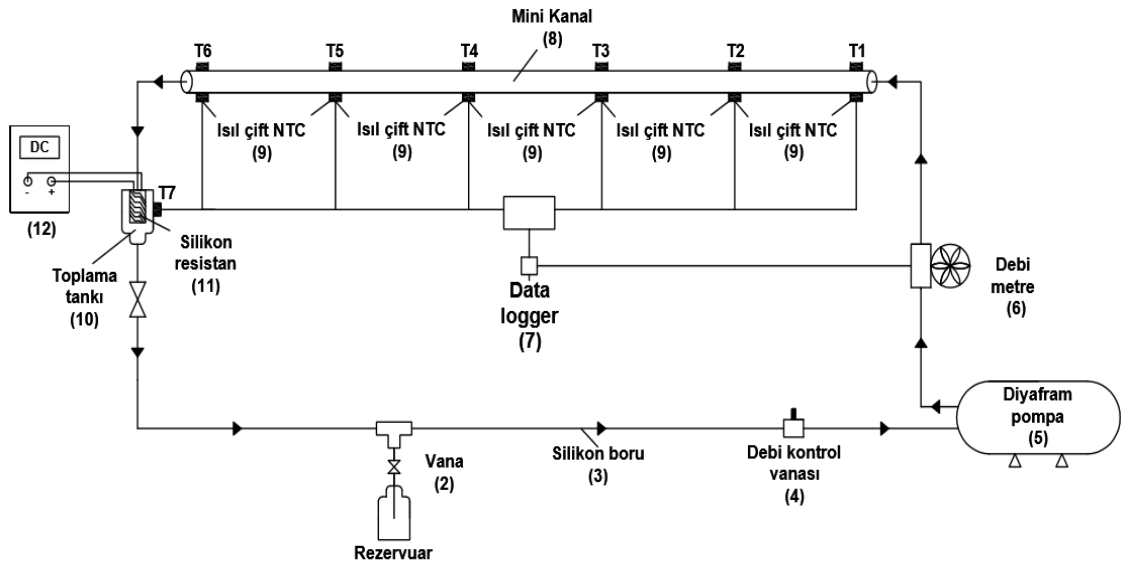
➤ Çalışma aralığı : 0-30 Volt 0-5 Amper



Şekil 5.13. DC güç kaynağı

5.3. Deneylerin Yapılışı

Bu tez çalışması, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından BAP_16201047 no'lu proje ile desteklenmiştir. Deneysel sistem, S.Ü. İleri Teknoloji Laboratuvarı (İLTEK) B-Blok 103 no'lu laboratuvarında mevcuttur. Deneysel sistemin şematik görünüşü Şekil 5.14'de sunulmuştur.



Şekil 5.14. Deneysel sistemin şematik görünüşü

250 gr su ve nano partiküller (0.5, 1.0, 1.5 gr) süspanse hale getirildikten sonra deneysel sisteme dahil edilmiştir (rezervuara, nano partiküllü akışkan sisteme çekilmek üzere eklenmiştir). Pompa yardımı ile rezervuardan çekilen nano partiküllü akışkanlar silikon boru içerisinde sistemde devir-daim olması sağlanmıştır. Rezervuardaki nano partiküllü akışkan pompa yardımı ile çekildikten sonra vana kapatılmıştır. Deneysel sistemde akışın istenilen debide olması durumu silikon boruya bağlı debi kontrol vanası vasıtası ile sağlanmıştır. Silikon borunun içerisinde bulunan nano partiküllü akışkanlar diyafram pompa ile devir-daim edilmiştir. Debi kontrol vanası ile debisi ayarlanan nano partiküllü akışkanın debisi, debi metreden geçişi sırasında okunmuştur. Debi metrede okunan veriler bilgisayarda sayısal olarak okunabilmesi için data logger'a aktarılmıştır. Debi metreden geçen akışkan, mini kanala giriş yapmaktadır. Mini kanaldan çıkan nano partiküllü akışkan toplama tankında toplanmaktadır. Toplama tankının içerisinde bulunan silikon rezistans DC'den aldığı akım ile ısıtılmıştır. Diyafram pompa yardımı ile deneysel sistemde devir-daimi sağlanmıştır. DC güç kaynağı ile çalışma akışkanı ısıtılmıştır. Mini kanal üzerine, ısı çiftleri 18 cm aralıklarla konumlandırılmıştır. Yalıtılmış malzeme ile izole edilmiş olan mini kanallar üzerinde bulunan NTC ısı çiftleri aracılığı ile sıcaklıklar ölçülmüş ve data logger'a aktarılmıştır. Isıl çiftler ile yapılan ölçümler dikkate alınarak 5 adet sıcaklık farkı belirlenmiştir. Ölçümler sistem kararlı rejime girdikten sonra alınmıştır. 200 verinin aritmetik ortalaması alınarak ΔT 'ler oluşturulmuştur. ΔT 'ler ve debi verileri Datalogger vasıtası ile okunmuştur. Veriler, bilgisayarda kurulu olan PicoLog Recorder programına USB kablosu vasıtası ile aktarılmıştır. Veri kayıtları PicoLog programında programlanmış dosyanın Record tuşuna basılarak alınmıştır. Deneysel veriler alındıktan sonra debi kontrol vanası tamamen kapatılarak rezervuara giden borunun vanası açılmış ve nano partiküllü akışkan rezervuara boşaltılmıştır. Deneysel çalışmalar oda sıcaklığında yapılmıştır. Deneysel çalışma parametreleri aşağıda sunulmuştur.

- Mini kanal uzunluğu (L) 90 cm'dir.
- Mini kanal çapı (D) 2 ve 3 mm'dir.
- Debi= 0.9 lt/dak'dir.
- 250 gr su ve ağırlıkça % 0.2, % 0.4, % 0.6 nano partiküller (Al_2O_3 ve Cu) ile çalışılmıştır.

5.4. Deneyde Kullanılan Nano Partiküller

Deneyisel çalışmalarda 250 gr su ve ağırlıkça (w) % =0.2, % 0.4, % 0.6 alümina ile deneyler yapılmıştır. Nano gümüş (Ag), suyla karıştırıldığında Ag suyun üzerinde asılı kalmıştır ve su ile karışmamıştır. Bu nedenle Ag ile çalışmalar yapılmamıştır. Deneyisel sistemde Al₂O₃ (alümina) ve Cu (bakır) nano partiküller ile çalışma yapılmıştır. Deneyde kullanılan nano partiküller aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.15).

- Metal Bakır (Copper) Cu, % 99.9 25 nm boyutunda
- Al₂O₃ Gamma % 99 20 nm boyutunda



Şekil 5.15. Nanopartiküller



Şekil 5.16. Nanopartiküllerin hassas terazi ölçümü

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalarda 3 farklı tipte deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde 2 mm ve 3 mm mini kanal çapında, 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda mini kanal boru uzunluğu (L) 90 cm olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmalarda mini kanal üzerinde 18 cm aralıklara ısı çiftler yerleştirilmiş ve L boru boyunca ΔT 'ler sıcaklık değerleri sistem kararlı rejime girdikten sonra 200 verinin aritmetik ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Grafiklerin lineer olup olmadığı $\Delta T_1=(T_1-T_2)$, $\Delta T_2=(T_1-T_3)$, $\Delta T_3=(T_1-T_4)$, $\Delta T_4=(T_1-T_5)$, $\Delta T_5=(T_1-T_6)$ ile hesaplanmış. Deneysel çalışmalar oda sıcaklığında yapılmıştır. Sistemde kullanılan parametreler Çizelge 6.1'de belirtilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, akışkanın, hacimsel debi (\dot{V}) değerleri, yoğunluk (ρ) değerleri, sabit basınçtaki özgül ısı (C_p) değerleri, sıcaklık farkları (ΔT) Çizelge 6.2'den alınmıştır. Birim zamanda gerçekleşen ısı transferi miktarı hesaplamalarında, Eşitlik 6.1 kullanılmıştır. Eşitlik 6.1'de, \dot{Q} birim zamanda gerçekleşen ısı transferi (Watt), \dot{m} kütleli debi (kg/s), C_p akışkanın sabit basınçtaki özgül ısı (J/kgK), ρ yoğunluğu (kg/m³), \dot{V} hacimsel debi (m³/s) ve ΔT ise mini kanalın 2 ısı çifti arasındaki sıcaklık farkı (K)'dir.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (6.1)$$

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho \quad (6.2)$$

$$C_p = (C_{p_{su}} \times m_{su} + C_{p_{nanopartikül}} \times m_{nanopartikül}) / (m_{su} + m_{nanopartikül}) \quad (6.3)$$

$$\rho = (\rho_{su} \times m_{su} + \rho_{nanopartikül} \times m_{nanopartikül}) / (m_{su} + m_{nanopartikül}) \quad (6.4)$$

$$\dot{V}_{0,9 \text{ lt/dk}} = 0.3 \text{ lt/dk} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Eşitlik 6.9 ile $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$ hesaplanmıştır. Eşitlik 6.9'da $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$, deneysel çalışmalarda oluşan \dot{Q} kayıp ve kaçaklardır (Watt). V ve I ise güç kaynağından elde edilen sırasıyla gerilim ve akım değerleridir. Bu çalışmada kullanılan güç kaynağı, 0-30 Volt 0-5 Amper hassasiyetindedir.

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan} \quad (6.5)$$

$$\dot{Q}_{giren} = \dot{Q}_{mini \text{ kanal}} + \dot{Q}_{kayıp \text{ kaçak}} \quad (6.6)$$

$$V \times I = \dot{m} \times C_p \times \Delta T + \dot{Q}_{kayıp \text{ kaçak}} \quad (6.7)$$

$$V \times I = \dot{m} \times c_p \times (T_1 - T_6) + \dot{Q}_{kayıp\ kaçak} \quad (6.8)$$

$$\dot{Q}_{kayıp\ kaçak} = V \times I - [\dot{m} \times c_p \times (T_1 - T_6)] \quad (6.9)$$

Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan parametreler

Ağırlıkça Yüzde Oranları	Nanopartikül Tipleri	Çap	Debi	\dot{Q}_{giren}
%0.2	Şebeke Suyu	2 mm	0.9 lt/dak	70 W
%0.4	Nanoalümina	3 mm		90 W
%0.6	Nanobakır			

Çizelge 6.2. Hesaplamalarda kullanılan değerleri

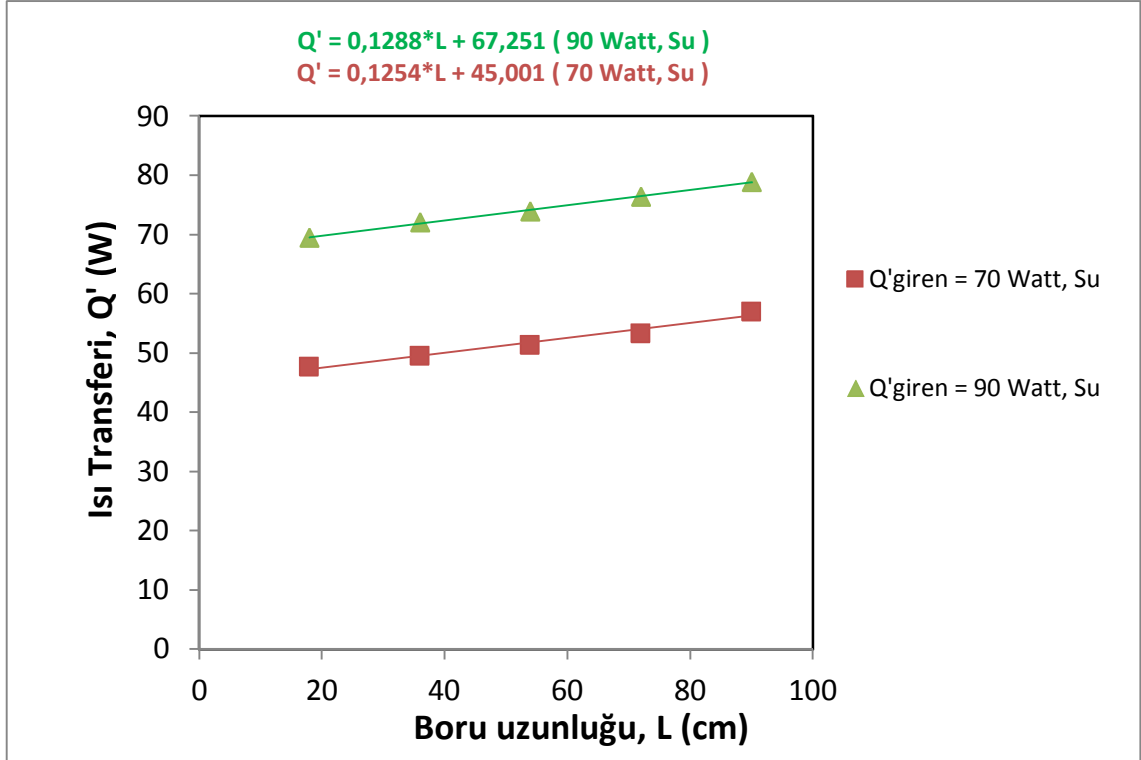
Akışkan	\dot{Q}_{giren} (Watt)	\dot{V} (m^3/sn)	ρ_{su} (kg/m^3)	C_p (J/kgK)	$\Delta T =$ ($T_1 - T_6$)	$\dot{Q}_{minikanal}$ (Watt)	$\dot{Q}_{kayıp}$ (Watt)
<i>2 mm çapındaki mini kanal</i>							
Su	70	1.5×10^{-5}	1000	4178.4	0.91	57.04	12.96
Su	90	1.5×10^{-5}	1000	4178.4	1.26	78.97	11.03
<i>3 mm çapındaki mini kanal</i>							
Su	70	1.5×10^{-5}	1000	4178.4	0.92	57.66	12.34
Su	90	1.5×10^{-5}	1000	4178.4	1.27	79.60	10.40
Ağırlıkça w %0.2 nano partikül oranında							
Alümina	70	1.5×10^{-5}	1005.77	4171.76	0.94	59.16	10.84
Alümina	90	1.5×10^{-5}	1005.77	4171.76	1.34	84.34	5.66
Bakır	70	1.5×10^{-5}	1015.85	4170.99	0.94	59.74	10.26
Bakır	90	1.5×10^{-5}	1015.85	4170.99	1.30	82.62	7.38
Ağırlıkça w %0.4 nano partikül oranında							
Alümina	70	1.5×10^{-5}	1011.51	4165.16	0.97	61.30	8.70
Alümina	90	1.5×10^{-5}	1011.51	4165.16	1.39	86.58	3.42
Bakır	70	1.5×10^{-5}	1031.63	4163.62	0.95	61.21	8.79
Bakır	90	1.5×10^{-5}	1031.63	4163.62	1.31	84.40	5.60
Ağırlıkça w %0.6 nano partikül oranında							
Alümina	70	1.5×10^{-5}	1017.24	4158.57	1.00	63.45	6.55
Alümina	90	1.5×10^{-5}	1017.24	4158.57	1.41	89.47	0.53
Bakır	70	1.5×10^{-5}	1047.36	4156.27	0.97	63.34	6.66
Bakır	90	1.5×10^{-5}	1047.36	4156.27	1.34	87.50	2.50

6.1. Su ile Yapılan Deneysel Çalışma

Su ile yapılan deneysel çalışmalarda, deneylerde kullanılacak olan çap belirlenmiştir. Bu amaç için 0.9 lt/dak debide, 2 mm, 3 mm çapındaki mini kanallarda, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta, deneysel çalışmalar yapılmıştır. Nano akışkan ile yapılacak deneysel çalışmalarda, 3 mm mini kanal çapı çalışmaların yapılmasında karar kılınmıştır.

6.1.1. Çap parametresinin belirlenmesi

Çap parametresinin belirlenmesi amacı ile 2 mm ve 3 mm çapındaki mini kanallarda 0.9 lt/dak'da, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta deneyler yapılmıştır. \dot{Q} 'nun L boyuna göre değişimi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar oda sıcaklığında yapılmıştır. Eşitlik 6.1 ve Çizelge 6.2 kullanılarak elde edilen verilerle Şekil 6.1 oluşturulmuştur. (D= 2 mm, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W için). Şekillerin üst bölümünde \dot{Q} 'nun L'ye göre değişimi fonksiyonel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.1. Kanal çapı 2 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

Çap etkinliğinin belirlenmesi için 0.9 lt/dak debide, 2 mm çapta $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W kullanılarak yapılan deneysel çalışmada, güç kaynağından verilen gücün artması ile birim alanda gerçekleşen ısı transferin de artış görülmüştür. Birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta , debi=0.9 lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 78.97$ W bulunmuştur.

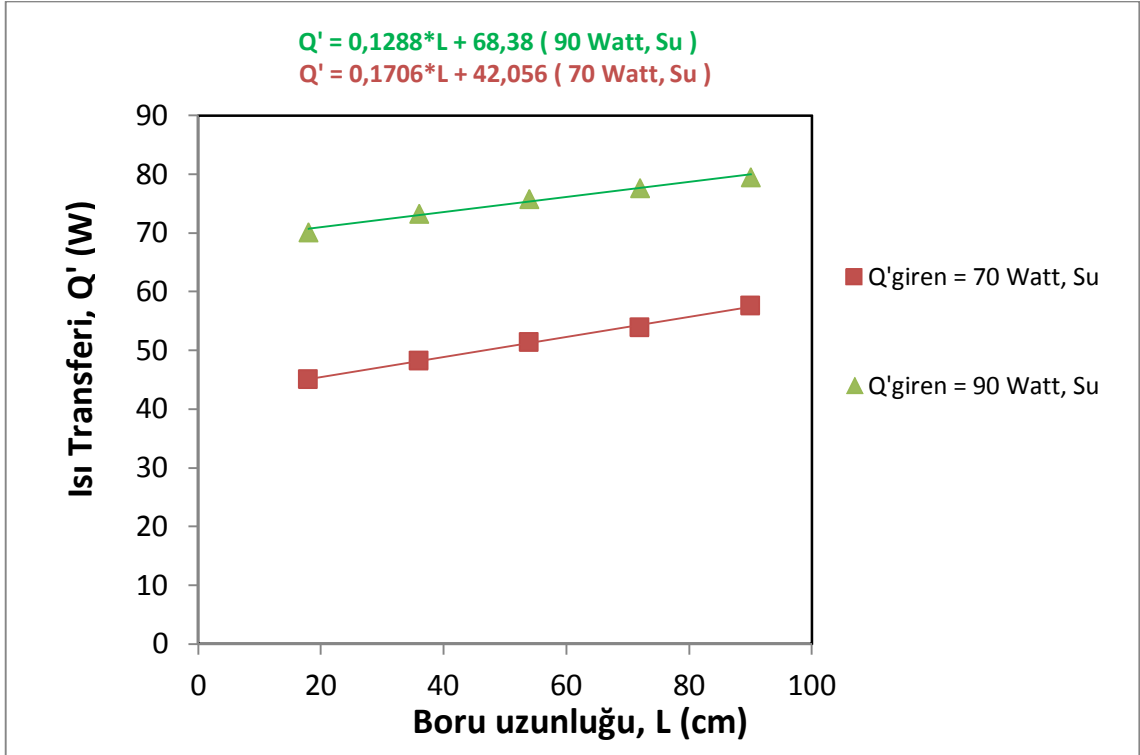
Şekil 6.1'ün, (D=2 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W, $\dot{Q}_{maks.} = 57.04$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W, $\dot{Q}_{maks.} = 78.97$ W'tır.

Şekil 6.1'ün analizi sonucu;

2 mm çapta, 0.9 lt/dak debide yapılan çalışmalarda Birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta, $\dot{Q}_{maks.} = 78.97$ W bulunmuştur.

Eşitlik 6.1 kullanılarak elde edilen verilerle Şekil 6.2 oluşturulmuştur (D= 3 mm, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W için). Şekillerin üst bölümünde \dot{Q} 'nun L'ye göre değişimi fonksiyonel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.2. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

Çap parametresinin belirlenmesi için 0.9 lt/dak debide, 3 mm çapta, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W kullanılarak yapılan deneysel çalışmada sisteme verilen gücün artması ile ısı transferin de artış görülmüştür. Birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta debi=0.9 lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W bulunmuştur.

Şekil 6.2'ün, (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{maks.} = 57.66$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W'tır.

Şekil 6.1'ün analizi sonucu;

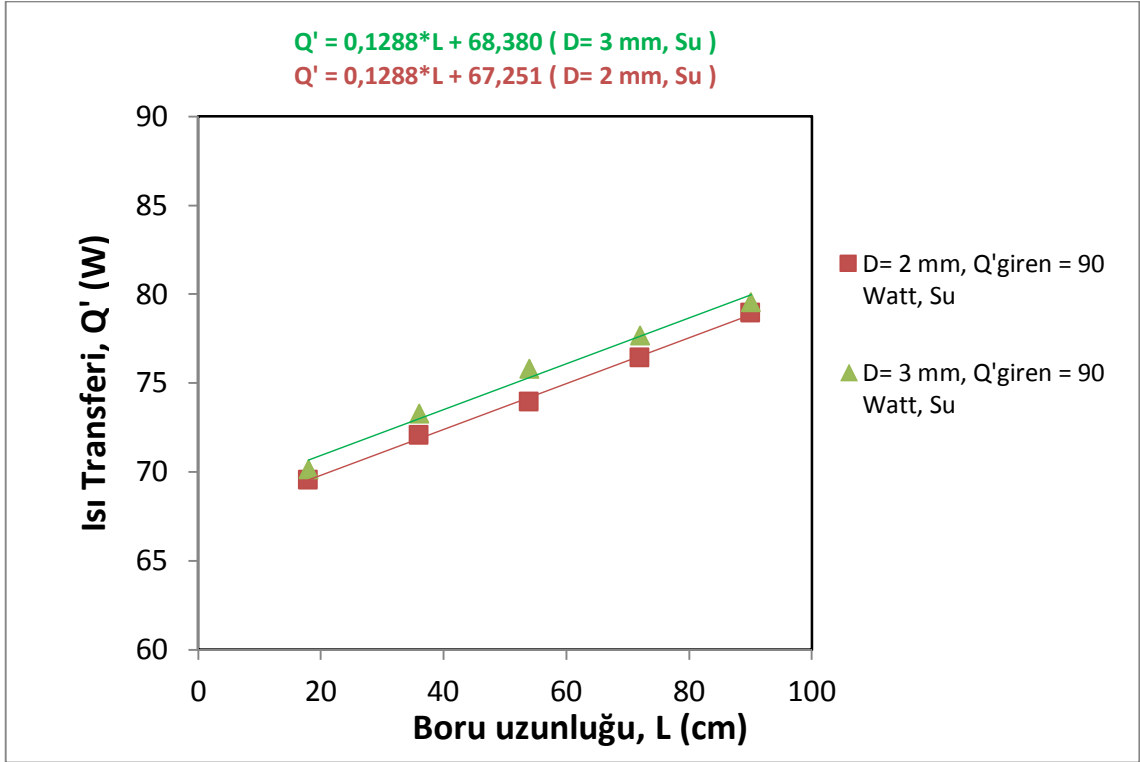
3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide yapılan çalışmalarda Birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W bulunmuştur.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'ün analiz sonucu

- 2 mm çapta, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 57.04$ W'tır.
- 2 mm çapta $\dot{Q}_{giren} = 90$ W, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 78.97$ W'tır.
- 3 mm çapta $\dot{Q}_{giren} = 70$ W, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 57.66$ W'tır.
- 3 mm çapta $\dot{Q}_{giren} = 90$ W, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W'tır.

Çap parametresinin belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmada 2 ve 3 mm çapındaki mini kanallarda 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda 3 mm çapındaki mini kanallarda ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. 2 mm ve 3mm çapındaki mini kanallarda yapılan deneylerde birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi 3 mm çapta, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W bulunmuştur. 2 mm ve 3 mm çapta yapılan hesaplamalarda yakın değerlerin çıktığı görülmüştür. En iyi performansı veren çap parametresi olarak 3 mm belirlenmiştir.

Eşitlik 6.1 kullanılarak elde edilen verilerle Şekil 6.3 oluşturulmuştur (D= 2 ve 3 mm, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W için). Şekillerin üst bölümünde \dot{Q} 'nun L'ye göre değişimi fonksiyonel olarak sunulmuştur.



Şekil 6.3. Kanal çapı 2 ve 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

Şekil 6.3'de, boru çapı 2 mm ve 3 mm çapındaki mini kanallarda, 0.9'debide $\dot{Q}_{giren} = 90$ W deneyler yapılmıştır.

Şekil 6.3'in, (D=2 ve 3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W) analizi ;

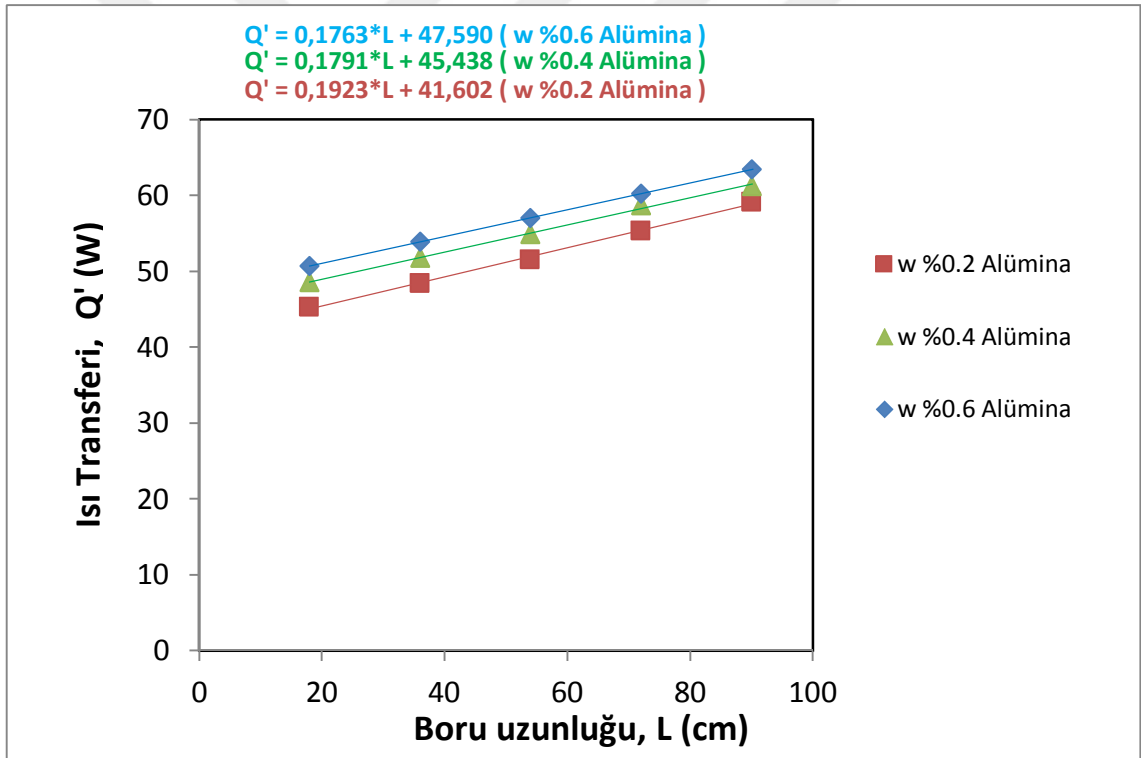
- 2 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 78.97$ W'tır.
- 3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W'tır.

Şekil 6.3 analizi sonucu ;

2 ve 3 mm çapında, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta yapılan çalışmalarda Birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi 3 mm çapta $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W bulunmuştur. $\dot{Q}_{giren} = 90$ W ile yapılan deneylerde 3 mm boru çapındaki mini kanalın, 2 mm çapındaki mini kanala göre ısı transferinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Su ile yapılan deneylerde çap parametresi belirlenmiştir. Nano partiküllerle ile yapılan deneylerde 0.9 lt/dak ve 3 mm çaptaki mini kanallarda çalışılması uygun görülmüştür.

6.2. Nano Alümina+su ile Yapılan Deneysel Çalışma

Nano alümina+su ile yapılan deneylerde 3 mm mini kanal çapında, 0.9 lt/dak debide çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda en iyi performans parametreleri ile 250 gr su içerisine eklenen ağırlıkça (w) % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarında alümina nanopartikül kullanılarak optimum nanopartikül miktarı ve birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferinin belirlenmesi ve yüzde olarak artışın karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda mini kanalda ΔT sıcaklık değerleri sistem kararlı rejime girdikten sonra 200 verinin aritmetik ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Nanopartiküllerin özgül ısısı (J/kgK) Eşitlik 6.3, ρ yoğunluğu (kg/m³) Eşitlik 6.4'den hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda, nano alüminaya ait tüm değerler Çizelge 6.2'den alınmıştır. Yapılan hesaplamalarda Eşitlik 6.1 kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Kanal çapı 3mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

3 mm çapındaki mini kanallarda, 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta yapılan çalışmalarda ağırlıkça (w) %0.2, 0.4, 0.6 oranlarında alümina kullanılarak deneyler yapılmış, birim zamanda gerçekleşen ısı transferi incelenmiştir. Birim zamanda

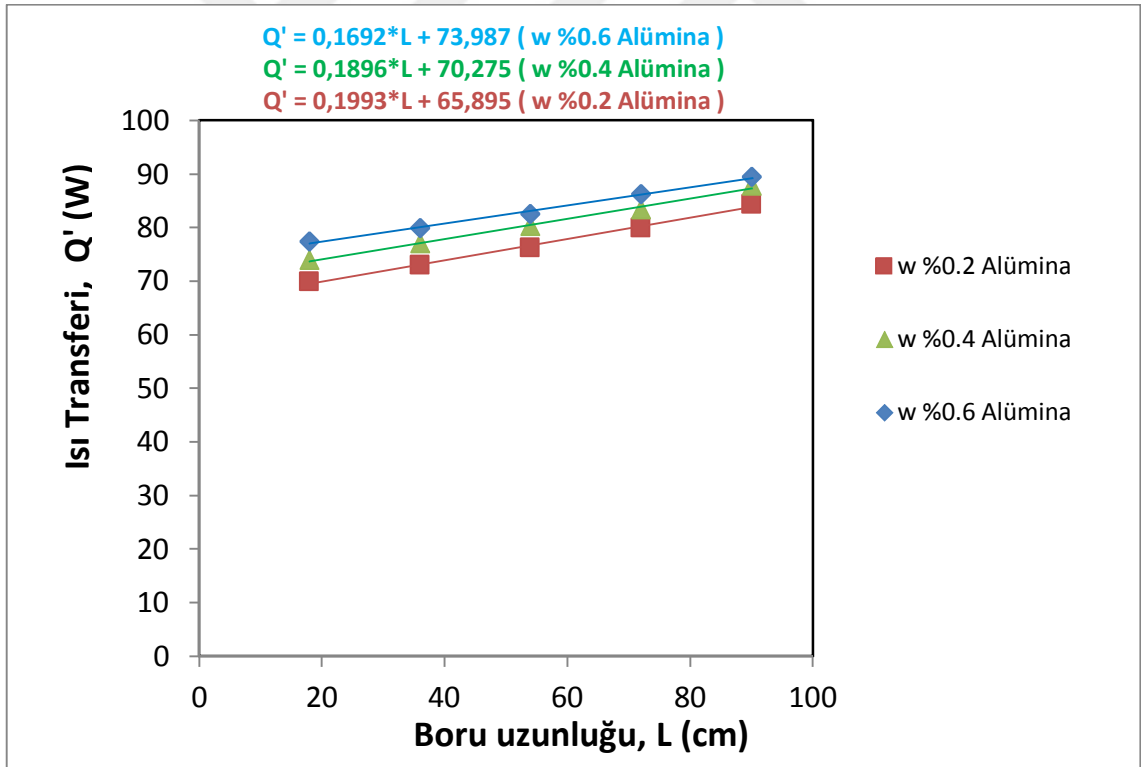
gerçekleşen maksimum ısı transferi $\dot{Q}_{giren} = 70$ W, w % 0.6 alümina, debi=0.9 lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 63.45$ W bulunmuştur.

Şekil 6.4'in, (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, w % 0.2 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 59.16$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.4 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 61.30$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 63.45$ W'tır.

Şekil 6.4'in analizi sonucu ;

3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 70$ W yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi w % 0.6 alüminada $\dot{Q}_{maks.} = 63.45$ W bulunmuştur.



Şekil 6.5. Kanal çapı 3mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

3 mm çapındaki mini kanallarda, 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta yapılan çalışmalarda w % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarında alümina kullanılarak deneyler yapılmış, birim zamanda gerçekleşen ısı transferi incelenmiştir (Şekil 6.5).

Şekil 6.5'in, (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, w % 0.2 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 84.34$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.4 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 86.58$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 89.47$ W'tır.

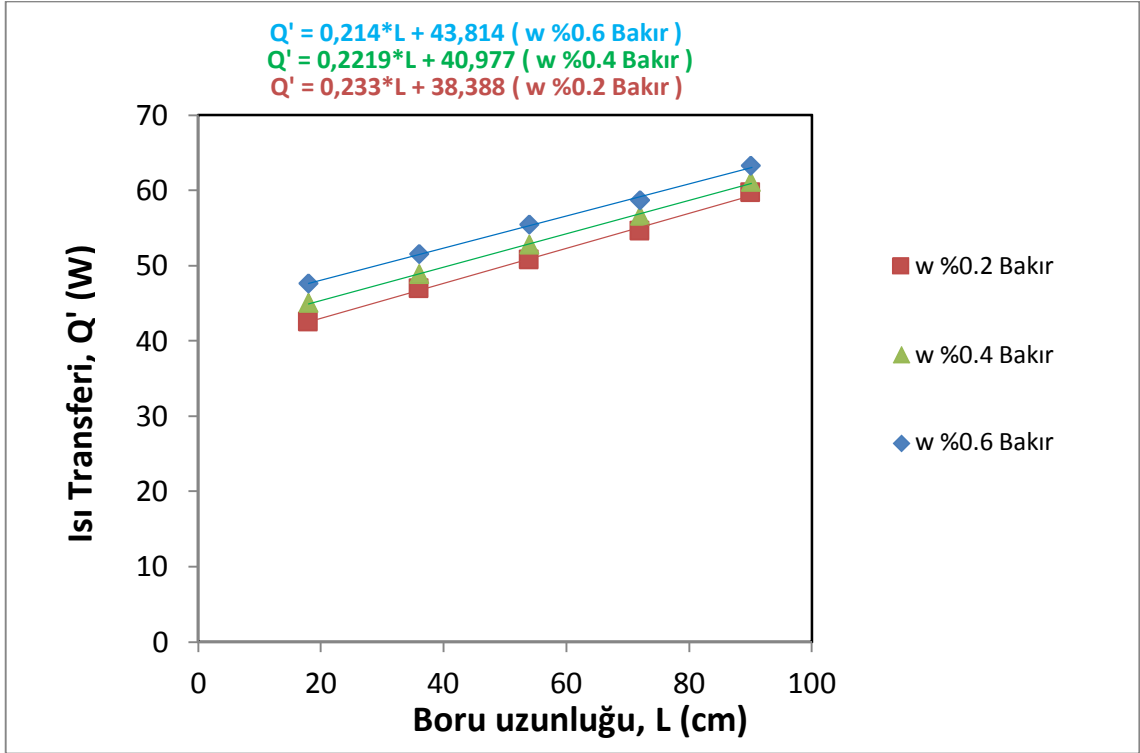
Şekil 6.5'in analizi sonucu ;

3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi w % 0.6 alüminada $\dot{Q}_{maks.} = 89.47$ W bulunmuştur.

Nanoalümina ile yapılan deneylerde su ile karıştırılan nano alüminanın ağırlıkça (w) oranı arttıkça ısı transferinde artış görülmüştür. Tez çalışmasında kullanılan diyafram pompa da ağırlıkça oran w %0.6 üzerine çıkması durumunda pompada tıkanmalar görülmüştür. Tez kapsamında sudaki nanopartikül oranındaki artış miktarı maksimum ağırlıkça w %0.6'ya kadar değerlendirilebilmiştir. Sisteme verilen gücün artması ile ısı transferinin arttırdığı gözlemlenmiştir. Nanoalümina ile yapılan deneylerde birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi ağırlıkça 3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 alüminada görülmüştür.

6.3. Nano Bakır+su ile Yapılan Deneysel Çalışma

Nano bakır+su ile yapılan deneylerde 3 mm mini kanal çapında, 0.9 lt/dak debide çalışmalar yapılmıştır. Ağırlıkça (w) % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarında nano bakır ile yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen ısı transferleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara ait tüm değerler Çizelge 6.2'den alınmıştır. Şekil 6.6'daki hesaplamalarda, Eşitlik 6.1 kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

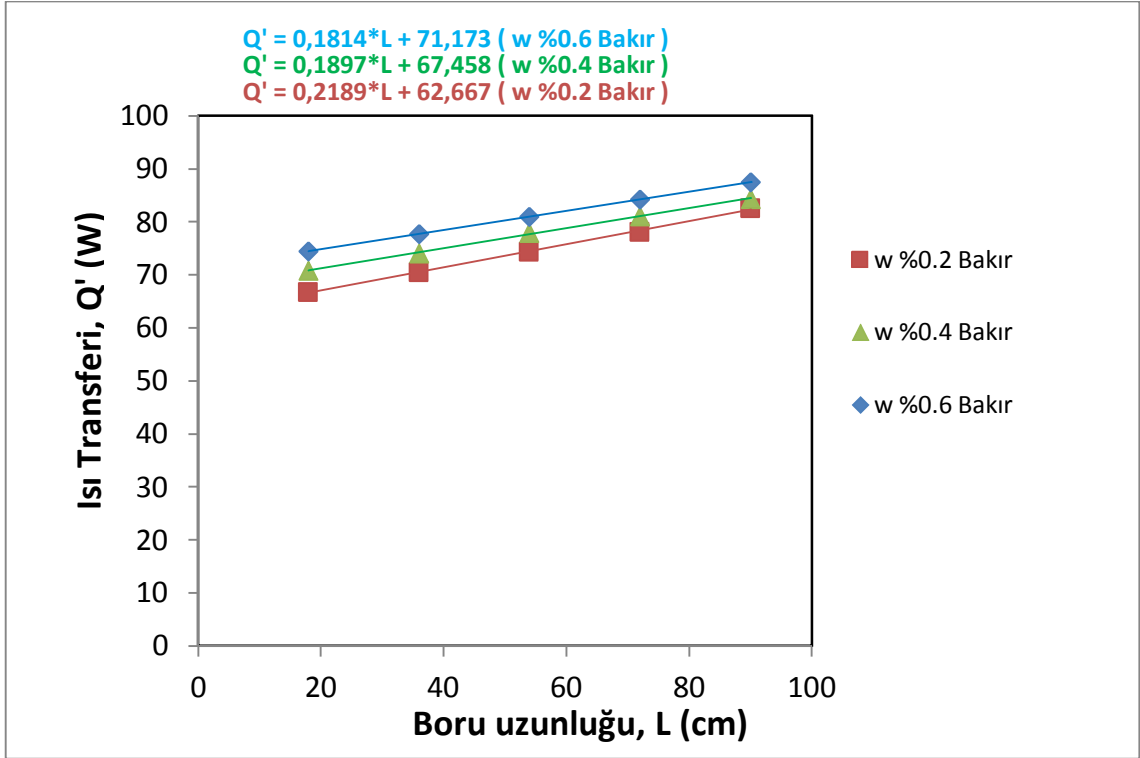
3 mm çapındaki mini kanallarda, 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta yapılan çalışmalarda w % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarında nano bakır kullanılarak deneyler yapılmış, birim zamanda gerçekleşen ısı transferi incelenmiştir.

Şekil 6.6'in, (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, w % 0.2 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 59.11$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.4 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 61.21$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 63.34$ W'tır.

Şekil 6.6'in analizi sonucu ;

3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi w % 0.6 nano bakırda $\dot{Q}_{maks.} = 63.34$ W bulunmuştur.



Şekil 6.7. Kanal çapı 3mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

3 mm çapındaki mini kanallarda, 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta yapılan çalışmalarda w % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarında nano bakır kullanılarak deneyler yapılmış birim zamanda gerçekleşen ısı transferi incelenmiştir.

Şekil 6.7'in, (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, w % 0.2 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 82.62$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.4 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 84.40$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 87.50$ W'tır.

Şekil 6.7'in analizi sonucu ;

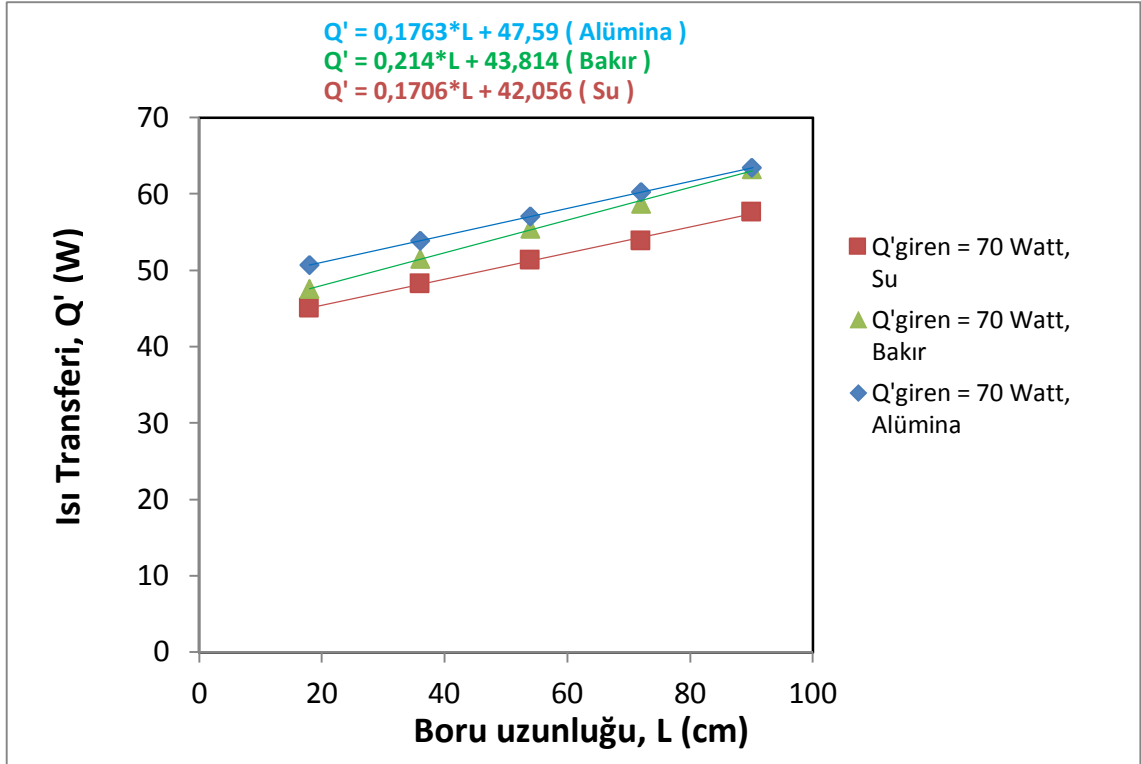
3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi w % 0.6 nano bakırda $\dot{Q}_{maks.} = 87.50$ W bulunmuştur.

Nano bakır ile yapılan deneylerde w % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarında güç kaynağından verilen güç $\dot{Q}_{\text{giren}} = 70$ ve 90 W'ta çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda suya göre birim zamanda gerçekleşen ısı transferinde artış, alüminaya göre ısı transferinde azalış göstermiştir. Nano bakır ile yapılan çalışmalarda \dot{Q}_{giren} artması ile ısı transferi performansının arttırdığı gözlemlenmiştir. Nano alümina ile yapılan deneylerde birim zamanda gerçekleşen ısı transferi 3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide w % 0.6 bakırda görülmüştür.



7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Mini kanallarda, su, nano alümina ve nano bakırda yapılan deneysel çalışma sonuçları için (3 mm çapında, $w = \% 0.2, 0.4, 0.6$ ve 0.9 lt/dak debide) karşılaştırmalar yapılmıştır. $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta yapılan deneysel çalışmalar sırasıyla Şekil 7.1 ve 7.2'de sunulmuştur.



Şekil 7.1. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

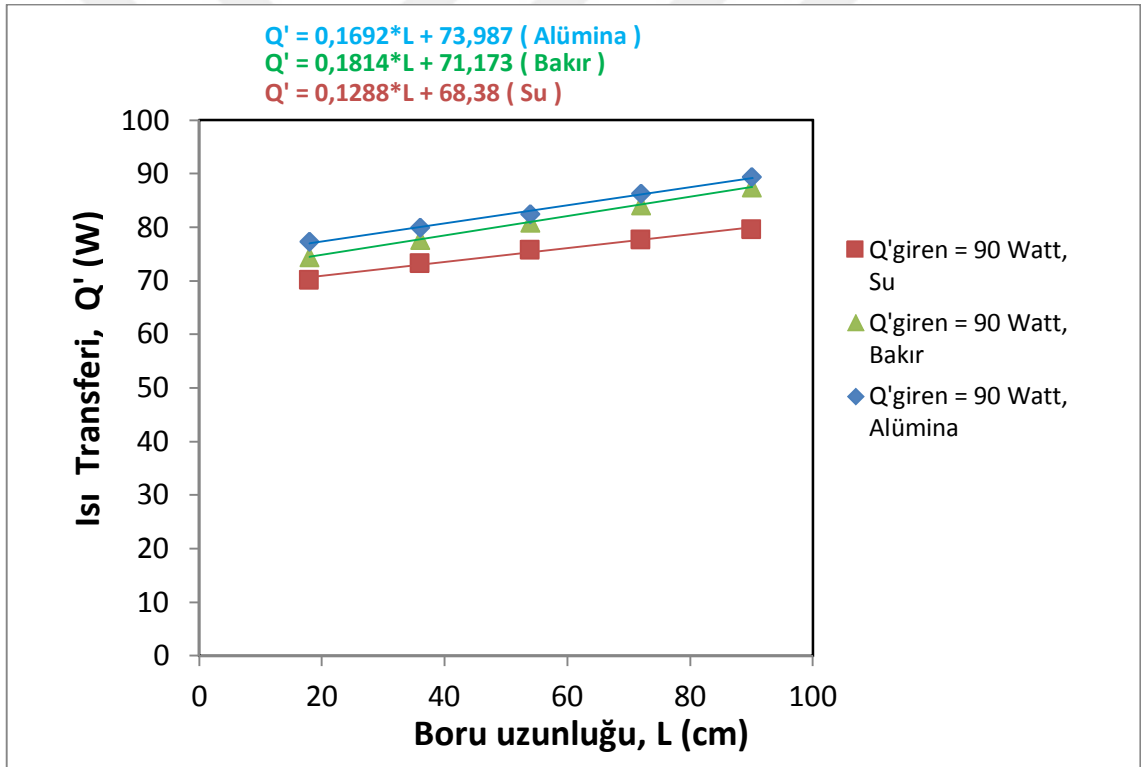
Su, $w = \% 0.6$ alümina ve $\% 0.6$ nano bakır için 3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta nano partiküllü akışkanla suyun kıyaslamaları yapılmıştır. birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi, $w = \% 0.6$ alümina, $debi = 0.9$ lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 63.45$ W bulunmuştur.

Şekil 7.1'in (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 70$ W) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, 250 gr su, $\dot{Q}_{maks.} = 57.66$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 nano bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 63.34$ W'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 63.45$ W'tır.

Şekil 7.1'in analiz sonucu :

3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 70$ W'ta yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi w % 0.6 alüminada $\dot{Q}_{maks.} = 63.45$ W bulunmuştur.



Şekil 7.2. Kanal çapı 3mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru boyuna göre değişimi

Su, w=% 0.6 alümina ve % 0.6 nano bakır için 3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta nano partiküllü akışkanla suyun kıyaslamaları yapılmıştır. birim zamanda gerçekleşen

maksimum ısı transferi, $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta w % 0.6 alümina, debi=0.9 lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 89.47 \text{ W}$ bulunmuştur.

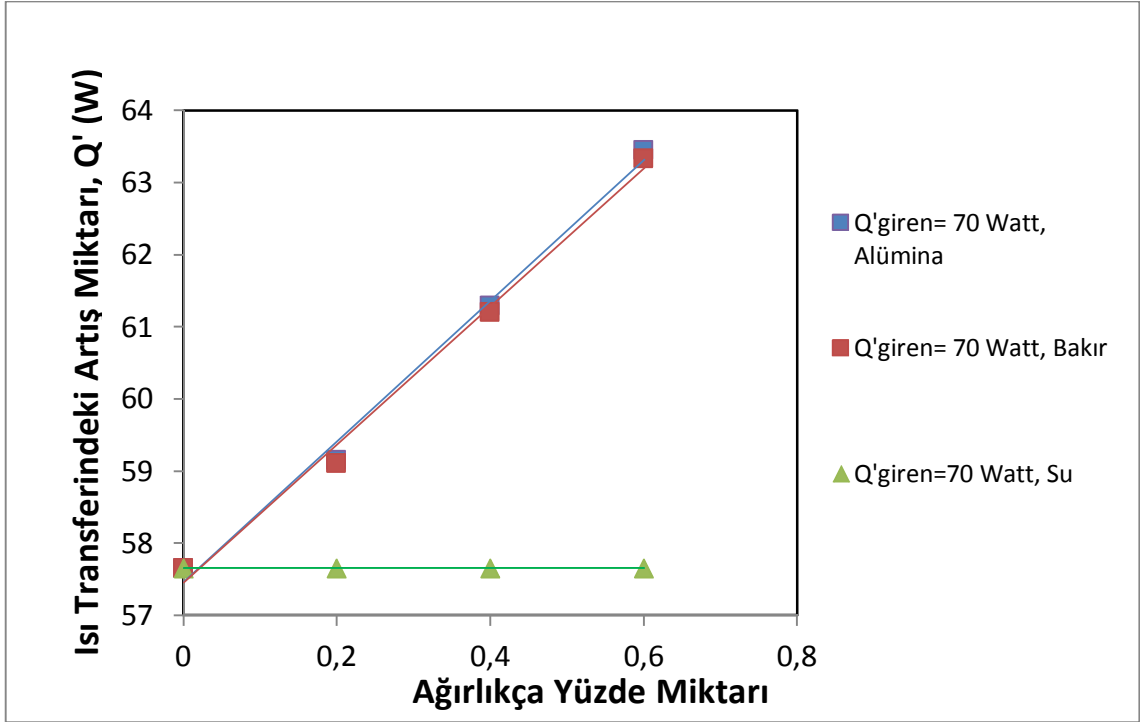
Şekil 7.2'in (D=3 mm'de, $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$) analizi ;

- 0.9 lt/dak debide, 250 gr su, $\dot{Q}_{maks.} = 79.60 \text{ W}$ 'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 bakır, $\dot{Q}_{maks.} = 87.50 \text{ W}$ 'tır.
- 0.9 lt/dak debide, w % 0.6 alümina, $\dot{Q}_{maks.} = 89.47 \text{ W}$ 'tır.

Şekil 7.2 analizi sonucu

3 mm çapta, 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi w % 0.6 alüminada $\dot{Q}_{maks.} = 89.47 \text{ W}$ bulunmuştur.

Su, nano alümina ve nano bakır ile yapılan çalışmalar sonucu 3 mm çapındaki mini kanalda, 0.9 lt/dak debide birim zamandaki maksimum ısı transferi, ağırlıkça w % 0.6 alüminada $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W 'ta bulunmuştur. Nano bakır, alüminaya göre ısı transferinde düşüş gösterirken, suya göre artış göstermiştir. Yapılan deneyler sonucunda debi, çap, ağırlıkça % nano partikül artışı ile ısı transferi performansında artış görülmüştür. Ağırlıkça % 0.6 üstü çalışmalarda diyafram pompada debi sorunları oluşmuştur. $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W 'ta yapılan deneylerde güç kaynağından verilen gücün artması ile birim zamanda gerçekleşen ısı transferinde de artış olduğu gözlemlenmiştir.



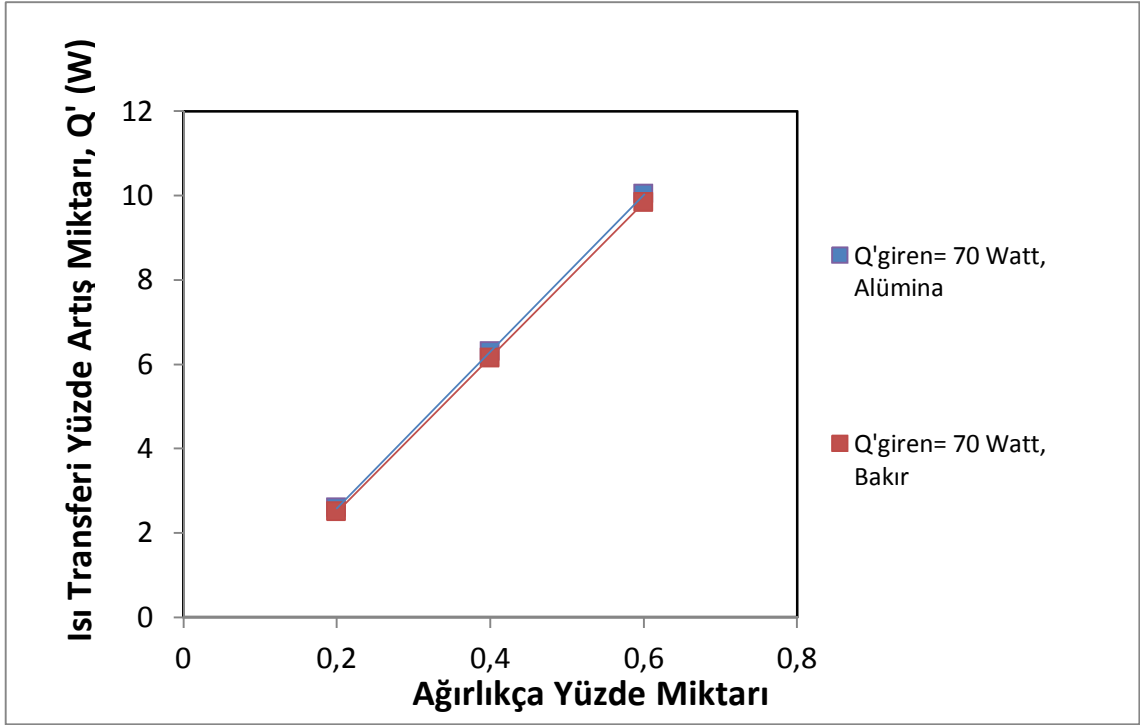
Şekil 7.3. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta ısı transferinde artış miktarının, ağırlıkça yüzde miktarına göre değişimi ($\Delta T=T_1-T_6$ için)

Şekil 7.3'de 3 mm mini kanal çapında, 0.9 lt/dak debide güç kaynağından $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta güç verilerek yapılan deneysel çalışmada suya göre w %0.2, 0.4 ve 0.6 ağırlıkça oranda nanopartiküllerin ısı transferindeki artışı incelenmiştir.

Nano bakır ve nano alüminanın, $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta suya göre ısı transferi artış miktarı analiz sonucu ($\Delta T=T_1-T_6$ için):

- Ağırlıkça % 0.2 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 1.45 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.4 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 3.55 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 5.68 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.2 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 1.5 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.4 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 3.64 W artmıştır.

- Ağırlıkça % 0.6 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 5.79 W artmıştır.



Şekil 7.4. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta yüzde artış miktarının, ağırlıkça yüzde miktarına göre değişimi ($\Delta T = T_1 - T_6$ için)

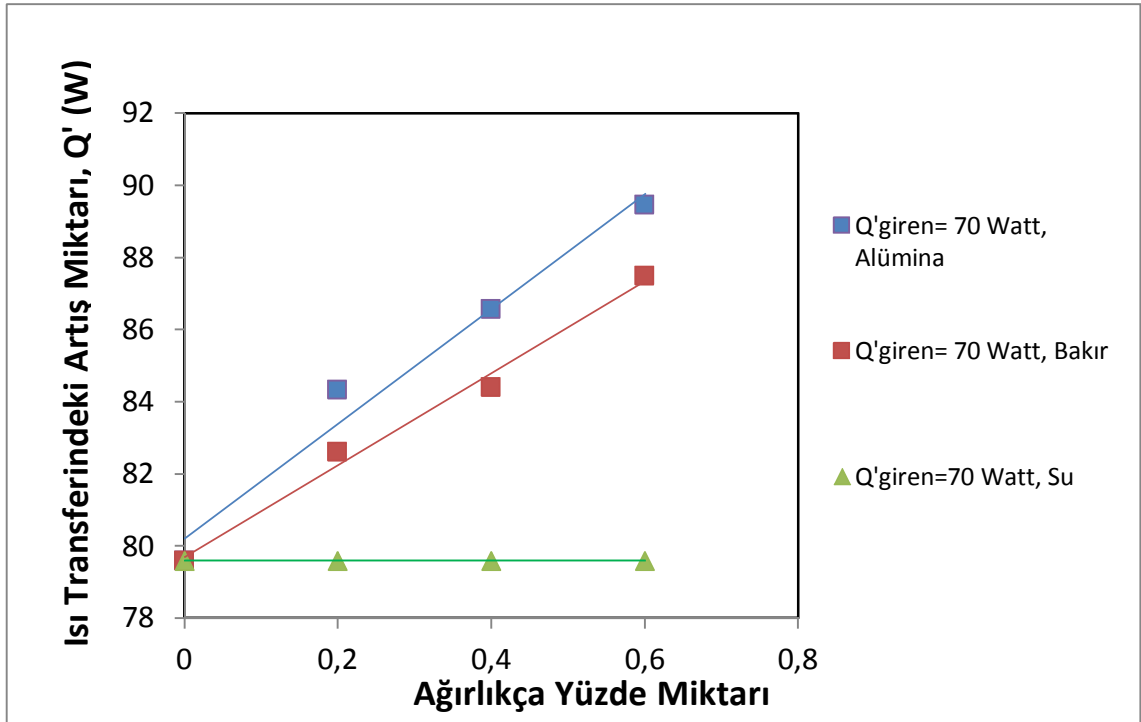
Deneysel çalışmalar sonucunda hesaplanan verilerle suya göre yüzde artış oranları belirlenmiştir. $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta, ağırlıkça w % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarda suya göre artış yüzdeleri Şekil 7.4'de sunulmuştur.

Nano bakır ve nano alüminanın, $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta suya göre ısı transferinin yüzde artış analiz sonucu ($\Delta T = T_1 - T_6$ için):

- Ağırlıkça % 0.2 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 2.5 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.4 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 6.1 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 9.8 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.2 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 2.6 artmıştır.

- Ağırlıkça % 0.4 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 6.3 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 10 artmıştır.

Kanal çapı 3 mm, $\dot{Q}_{giren} = 70 \text{ W}$ 'ta 0.9 lt/dak debi, ağırlıkça nano partikülde maksimum ısı transferini alümina göstermiştir. Suya göre % 10 artış sağlamıştır ($\Delta T = T_1 - T_6$ için).



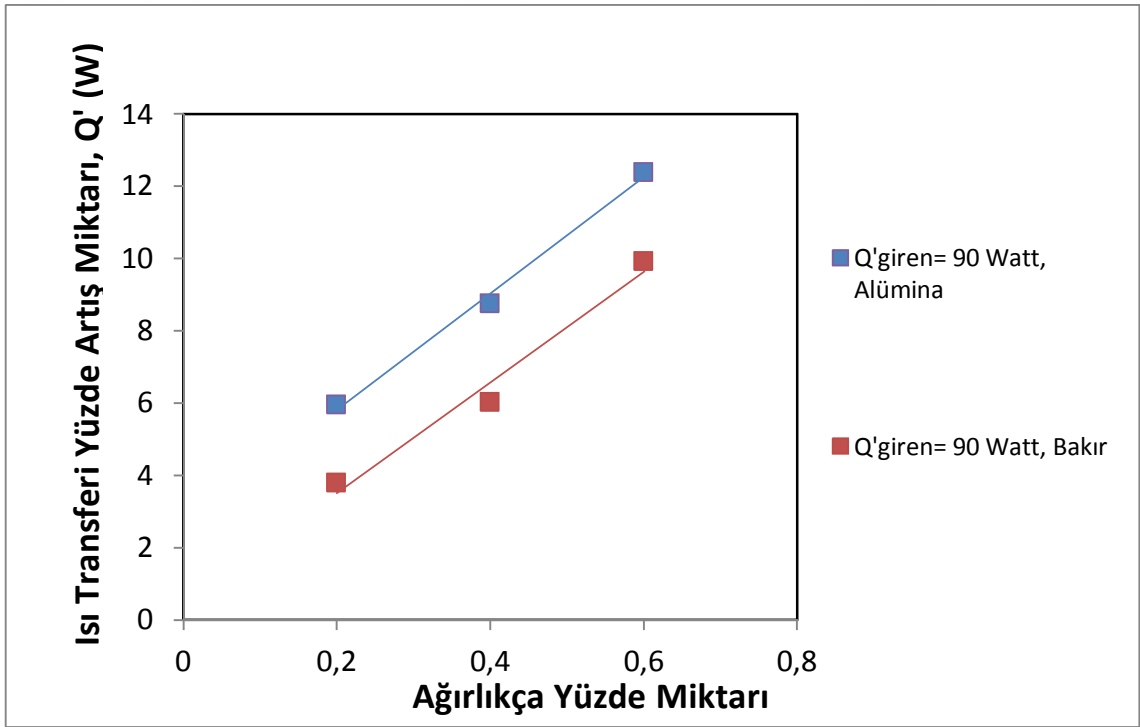
Şekil 7.5. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta ısı transferindeki artış miktarının, ağırlıkça yüzde miktarına göre değişimi ($\Delta T = T_1 - T_6$ için)

Şekil 7.5'de 3 mm mini kanal çapında, 0.9 lt/dak debide güç kaynağından $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta güç verilerek yapılan deneysel çalışmada suya göre w %0.2, 0.4 ve 0.6 ağırlıkça oranda nanopartiküllerin ısı transferindeki artışı incelenmiştir.

Nano bakır ve nano alüminanın, $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta suya göre ısı transferi artış miktarı analiz sonucu ($\Delta T = T_1 - T_6$ için):

- Ağırlıkça % 0.2 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 3.02 W artmıştır.

- Ağırlıkça % 0.4 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 4.80 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 7.90 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.2 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 4.74 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.4 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 6.98 W artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi 9.87 W artmıştır.



Şekil 7.6. Kanal çapı 3 mm için 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta yüzde artış miktarının, ağırlıkça yüzde miktarına göre değişimi ($\Delta T = T_1 - T_6$ için)

Deneysel çalışmalar sonucunda hesaplanan verilerle suya göre yüzde artış oranları belirlenmiştir. $\dot{Q}_{giren} = 90 \text{ W}$ 'ta, ağırlıkça w % 0.2, 0.4, 0.6 oranlarda suya göre artış yüzdeleri Şekil 7.6'de sunulmuştur.

Nano bakır ve nano alüminanın, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta suya göre ısı transferinin yüzde artış analiz sonucu ($\Delta T = T_1 - T_6$ için):

- Ağırlıkça % 0.2 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 3.7 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.4 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 6.0 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano bakır, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 9.9 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.2 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 5.9 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.4 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 8.7 artmıştır.
- Ağırlıkça % 0.6 nano alümina, kanal çapı 3 mm, 0.9 lt/dak debi için ısı transferi % 12.4 artmıştır.

Kanal çapı 3 mm, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta 0.9 lt/dak debi, ağırlıkça nano partikülde maksimum ısı transferini alümina göstermiştir. Suya göre % 12.4 artış sağlamıştır ($\Delta T = T_1 - T_6$ için).

Bu çalışma kapsamında, Eşitlik 6.9 kullanılarak, ΔT_5 ($= T_1 - T_6$) için $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$ 'lar hesaplanarak Çizelge 7.1'de sunulmuştur. Çizelge 7.1 incelendiğinde, en fazla $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$ 'ların suda olduğu görülmüştür. Nano akışkan (su+alümina, su+bakır)'da ise suya göre $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$ 'ların daha az olduğu tespit edilmiştir. Maksimum $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$, $D=2$ mm, debi = 0.9 lt/dak'da, 12.96 W suda oluşmuştur.

Çizelge 7.1. ΔT_5 için $\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$ 'lar

Akışkan Cinsi	Çap	Debi	$Q_{giren} = V \times I$, [W]	$\dot{Q}_{maks} = \dot{m} \times c_p \times (T_1 - T_6)$, [W]	$\dot{Q}_{kayıp+kaçak}$, [W]
Su	D=2mm	0.9 lt/dak	70 W	57,04	12,96
Su	D=2mm	0.9 lt/dak	90 W	78,97	11,03
Su	D=3mm	0.9 lt/dak	70 W	57,66	12,34
Su	D=3mm	0.9 lt/dak	90 W	79,60	10,40
Alümina w %0.2	D=3mm	0.9 lt/dak	70 W	59,16	10,84
Alümina w % 0.4		0.9 lt/dak	70 W	61,30	8,70
Alümina w % 0.6		0.9 lt/dak	70 W	63,45	6,55
Alümina w % 0.2	D=3mm	0.9 lt/dak	90 W	84,34	5,66
Alümina w % 0.4		0.9 lt/dak	90 W	86,58	3,42
Alümina w % 0.6		0.9 lt/dak	90 W	89,47	0,53
Bakır w%0.2	D=3mm	0.9 lt/dak	70 W	59,11	10,89
Bakır w%0.4		0.9 lt/dak	70 W	61,21	8,79
Bakır w%0.6		0.9 lt/dak	70 W	63,34	6,66
Bakır w%0.2	D=3mm	0.9 lt/dak	90 W	82,62	7,38
Bakır w%0.4		0.9 lt/dak	90 W	84,40	5,60
Bakır w%0.6		0.9 lt/dak	90 W	87,50	2,50

Sonuç olarak; Bu çalışma kapsamında, su, su+nano alümina ve su+nano bakırla deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar incelenirken 2 farklı nano partikülde, ısı transferinin etkisi mini kanallarda araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın basamakları aşağıdaki sunulmuştur.

- Su kullanılarak mini kanallarda birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru uzunluğuna göre değişim analizi
- Çalışma akışkanı= nano alümina+su kullanılarak mini kanallarda birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru uzunluğuna göre değişim analizi
- Çalışma akışkanı= nano bakır+su kullanılarak mini kanallarda birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru uzunluğuna göre değişim analizi

- Karşılaştırma: Su, çalışma akışkanı= nano alümina+su, nano bakır+su, kullanılarak, mini kanallarda birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin boru uzunluğuna göre değişim analizi

Deneysel çalışmalarda 0.9 lt/dak debide, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta deneysel çalışmalar yapılmıştır. Su ile yapılan deneylerde, kanal çapı 2 ve 3 mm arasında kıyaslamalar yapılması amaçlanmıştır. Deneysel sistemde en uygun çapın seçilebilmesi için yapılan deneylerde aynı parametreler kullanılarak $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta performans (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2) analizleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çapın artması ile birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Deneysel sistemde mini kanallarda nanopartiküllerle yapılan çalışmalarda 3 mm çapta çalışılmasına karar kılınmıştır. Su ile yapılan son deneylerde $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta, 2 mm ve 3 mm çapındaki mini kanallar karşılaştırılmıştır. Su ile yapılan çalışmalarda birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi $D=3$ mm, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W, 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{maks.} = 79.60$ W bulunmuştur.

Su+nano alümina ile yapılan çalışmalarda 0.9 lt/dak debide 3 mm çapındaki mini kanallarda $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda debi ve sisteme verilen gücün artması ile birim zamanda gerçekleşen ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir.

Alümina ile yapılan deneysel çalışmada % 0.2, % 0.4, % 0.6 ağırlıkça alüminanın 0.9 lt/dak debide $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W'ta analizleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ağırlıkça % alümina miktarındaki birim zamanda gerçekleşen ısı transferini arttırdığı gözlemlenmiştir. Su+nano alümina ile yapılan deneylerde $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta, birim zamanda yapılan maksimum ısı transferi, w % 0.6 alümina, debi=0.9 lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 89.47$ W bulunmuştur. Alümina ile yapılan deneylerde deneysel sonuç olarak debinin, sisteme verilen gücün artması ve alüminanın sudaki ağırlıkça oranının artışında ısı transferinde artışlar gözlemlenmiştir. Alümina ve su karşılaştırıldığında alüminanın ısı transferinde, suya göre artış olduğu gözlemlenmiştir.

Su+nano bakır ile yapılan deneysel çalışmada % 0.2, % 0.4, % 0.6 ağırlıkça bakır, debi=0.9 lt/dak, $\dot{Q}_{giren} = 70$ ve 90 W analizleri, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda ağırlıkça % bakır miktarındaki artışın ısı transferini arttırdığı gözlemlenmiştir. Su+nano bakır ile yapılan deneylerin sonucunda birim alandaki maksimum ısı transferi $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta, w %0.6 bakır, debi=0.9

lt/dak'da, $\dot{Q}_{maks.} = 87.50$ W bulunmuştur Bakır ile yapılan deneylerde deneysel sonuç olarak debinin, güç kaynağından verilen gücün artması ve bakırın sudaki ağırlıkça oranının artışında ısı transferinde artışı gözlemlenmiştir.

Azizi ve ark. (2015), silindirik bir kanalda, farklı konsantrasyonlardaki nano bakırlı akışkanın ısı akısının etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında, laminer akış rejiminde, Re'nin artması ($Re < 900$) nano akışkan için Nusselt sayısının düşmesine neden olmuştur şeklinde açıklama yapmışlardır.

Moghadassi ve ark. (2015), su bazlı Al_2O_3 ve Al_2O_3 +bakırın zorlanmış taşınımına etkisini sayısal olarak incelemiştir. Geometrik yapı olarak yatay dairesel bir boruyu CFD ile modellemiştir. % 0.1 hacim konsantrasyonlu nano akışkan ve ortalama nano partikül çapını 15 nm olarak seçmişlerdir. Moghadassi ve ark.'ları, Al_2O_3 +bakırlı nano akışkanın Nusselt sayısının Al_2O_3 /su ve saf suyla mukayese edildiğinde sırası ile % 4.73 ve % 13.46 olarak arttığını belirtmişlerdir.

Deneysel çalışmaların karşılaştırılmasında 250 gr su, su+nano alümina, su+nano bakır ile yapılan deneylerde 250 gr su, w % 0.6 ağırlıkça bakır ve alümina arasında karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda w % 0.6 su + nano alümina maksimum ısı transferi sonucunu vermiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda birim zamanda gerçekleşen ısı transferi performansının su+nano alüminanın verdiği görülmüştür. Deneysel çalışmaların hepsinde debi, güç kaynağından verilen gücün artması ile ısı transferinin arttırdığı, nano partikülle yapılan çalışmalarda ağırlıkça %'desinin artmasının ısı transferinin arttırdığı gözlemlenmiştir.

Birim zamanda gerçekleşen maksimum ısı transferi, kanal çapı 3 mm, $\dot{Q}_{giren} = 90$ W'ta, 0.9 lt/dak debi, ağırlıkça % 0.6 nano partikülde $\dot{Q}_{maks.} = 89.47$ W bulunmuştur. Suya göre % 12.4 artış sağlamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, alümina ve su karşılaştırıldığında alüminanın ısı ısı transferinin, suya göre artış olduğu gözlemlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Hosseini ve ark. (2017), sabit bir duvar sıcaklığındaki mikro kanallar üzerinde, laminer akış için karışık konveksiyona yönelik teorik çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, artan nanopartikül konsantrasyonunun, daha büyük nano parçacıklar için ısı performansını arttırdığı, daha küçük nanoparçacıkların termal performansını

düşürdüğü belirtmişlerdir. Ayrıca, termal performansın kayma parametreleri ile asimptotik olarak arttığı da vurgulanmıştır.

Aly ve ark. (2017), çalışma akışkanı olarak damıtılmış su ve su bazlı nano Al_2O_3 kullanarak, helisel-mikro yivli ısı pompasında, farklı açılardaki ısı performansını araştırmak için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Nano Al_2O_3 'lü su bazlı konsantrasyonu için (hacimce) % 3 oranını tercih etmişlerdir. Damıtılmış suya göre, nano akışkanın, termal performansı arttırdığını ve optimum performans açısının 60° olduğunu belirtmişlerdir.

Bayomy ve Saghir (2017), alüminyum köpük üzerinde, su bazlı nano Al_2O_3 kullanarak deneysel olarak çalışma yapmışlar ve sonuçlarını numerik bir yaklaşımla mukayese etmişlerdir. Bayomy ve Saghir çalışmalarında sonuç olarak, Reynolds sayısı arttıkça yüzey sıcaklığının azaldığını belirtmişlerdir.

Ahammed ve ark. (2016), mini kanallı ısı eşanjöründe, nano sıvı ile elektronik cihazların termoelektrik soğutması üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Nano partikül olarak Al_2O_3 kullanmışlardır. Çalışmalarında, nano sıvıların, termoelektrik soğutma kapasitesini arttırdığını ve mini kanal etkinliğinde, nanoparçacık konsantrasyonu artışı ile birlikte arttığını vurgulamışlardır.

Moraveji ve ark. (2013), mini kanallarda su bazlı Al_2O_3 'lü nano akışkanın, ısı performansını tek ve iki faz için CFD'de modellenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Al_2O_3 çapını 33 nm, konsantrasyonunu ise ağırlıkça % 0.5, 1, 6 ve $130 < Re < 1600$ olarak seçerek, nano akışkan konsantrasyonu ve Re sayısının nano akışkan üzerine etkisini araştırmışlardır. Moraveji ve Ardehali, çalışmalarında, Reynolds sayısı ve nanopartikül konsantrasyonundaki artışın, Nusselt sayısının artmasına yol açtığını vurgulamışlardır.

Ho ve ark. (2014), su bazlı Al_2O_3 'lü nano akışkanın, ısı performansını, mini kanalda deneysel olarak incelemişlerdir. Mini kanal malzemesini bakır olarak seçmişlerdir. Al_2O_3 'lü nano akışkanın, saf suya göre performansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Sohel ve ark. (2014), Al_2O_3 ve su kullanılarak, mini kanallarda, ısı transferi değişimini incelemişlerdir. Sohel ve ark., mini kanallarda, çalışma akışkanı olarak, saf damıtılmış su yerine nanoakışkan kullanıldığında, ısı performansın daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Öneriler; Günümüzde, bilim insanları, nano akışkanların, geleneksel akışkanlara kıyasla daha performanslı cihazlar üretilebileceği üzerinde çalışmaktadır. Bu çalışma sonucunda, nano akışkan kullanıldığında, geleneksel akışkanlara göre, ısı

transferinin arttığı tespit edilmiştir. Mini kanallarda, ısı iletkenliği daha yüksek nano partiküllü nano akışkanlar kullanıldığında, ısı transferinin daha da artacağı önerilmektedir. Ticari olarak temin edilen farklı boyutlardaki nano partiküller için sonuçlar tezde belirtilmiştir. Aynı malzemenin farklı boyutlarındaki nanopartiküllerle ile çalışmalar yapılarak karşılaştırmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Ahammed, N., Asirvatham, L. G. ve Wongwises, S., 2016, Thermoelectric cooling of electronic devices with nanofluid in a multiport minichannel heat exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, 81-90.
- Akbari, M., Galanis, N. ve Behzadmehr, A., 2011, Comparative analysis of single and two-phase models for CFD studies of nanofluid heat transfer, *International Journal of Thermal Sciences*, 50 (8), 1343-1354.
- Akbarinia, A. ve Laur, R., 2009, Investigating the diameter of solid particles effects on a laminar nanofluid flow in a curved tube using a two phase approach, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30 (4), 706-714.
- Aly, W. I. A., Elbalshouny, M. A., Abd El-Hameed, H. M. ve Fatouh, M., 2017, Thermal performance evaluation of a helically-micro-grooved heat pipe working with water and aqueous Al₂O₃ nanofluid at different inclination angle and filling ratio, *Applied Thermal Engineering*, 110, 1294-1304.
- Anoop, K. B., Sundararajan, T. ve Das, S. K., 2009, Effect of particle size on the convective heat transfer in nanofluid in the developing region, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (9-10), 2189-2195.
- Azizi, Z., Alamdari, A. ve Malayeri, M. R., 2015, Convective heat transfer of Cu-water nanofluid in a cylindrical microchannel heat sink, *Energy Conversion and Management*, 101, 515-524.
- Batchelor, G. K., 1977, The effect of Brownian motion on the bulk stress in a suspension of spherical particles, *Journal of Fluid Mechanics*, 83 (1), 97-117.
- Bayomy, A. M. ve Saghir, M. Z., 2017, Experimental study of using γ -Al₂O₃-water nanofluid flow through aluminum foam heat sink: Comparison with numerical approach, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 181-203.
- Bianco, V., Chiacchio, F., Manca, O. ve Nardini, S., 2009, Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes, *Applied Thermal Engineering*, 29 (17-18), 3632-3642.
- Blackwell, G. R., 2000, "Thermal Management" Interconnects in The Electronic Packing Handbook, p.
- Brinkman, H. C., 1949, A calculation of the viscous force exerted by a flowing fluid on a dense swarm of particles, *Applied Scientific Research*, 1 (1), 27-34.
- Buongiorno, J., 2006, Convective transport in nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 128 (3), 240-250.
- Büyük Öğüt, E., 2009, Natural convection of water-based nanofluids in an inclined enclosure with a heat source, *International Journal of Thermal Sciences*, 48 (11), 2063-2073.
- Chen, H., Yang, W., He, Y., Ding, Y., Zhang, L., Tan, C., Lapkin, A. A. ve Bavykin, D. V., 2008, Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of titanate nanotubes (nanofluids), *Powder Technology*, 183 (1), 63-72.
- Choi, S. U. S., 1995, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FED*, 99-105.
- Chon, C. H., Kihm, K. D., Lee, S. P. ve Choi, S. U. S., 2005, Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement, *Applied Physics Letters*, 87 (15), 1-3.
- Corcione, M., 2011, Empirical correlating equations for predicting the effective thermal conductivity and dynamic viscosity of nanofluids, *Energy Conversion and Management*, 52 (1), 789-793.

- Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P. ve Roetzel, W., 2003, Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 125 (4), 567-574.
- Ding, Y. ve Wen, D., 2005, Particle migration in a flow of nanoparticle suspensions, *Powder Technology*, 149 (2-3), 84-92.
- Einstein, A., 1956, Investigation on the Theory of Brownian Motion, *Dover New York*, 1, 18.
- Ganvir, R. B., Walke, P. V. ve Kriplani, V. M., 2017, Heat transfer characteristics in nanofluid—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 451-460.
- Hamilton, R. L. ve Crosser, O. K., 1962, Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems, *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 1 (3), 187-191.
- Heris, S. Z., Etemad, S. G. ve Esfahany, M. N., 2006, Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33 (4), 529-535.
- Heris, S. Z., Esfahany, M. N. ve Etemad, G., 2007, Numerical investigation of nanofluid laminar convective heat transfer through a circular tube, *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, 52 (11), 1043-1058.
- Ho, C. J., Chen, M. W. ve Li, Z. W., 2008, Numerical simulation of natural convection of nanofluid in a square enclosure: Effects due to uncertainties of viscosity and thermal conductivity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51 (17-18), 4506-4516.
- Ho, C. J., Chen, W. C. ve Yan, W. M., 2014, Correlations of heat transfer effectiveness in a minichannel heat sink with water-based suspensions of Al₂O₃ nanoparticles and/or MEPCM particles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 69, 293-299.
- Hosseini, S. J., Malvandi, A., Moshizi, S. A. ve Zamani, M., 2017, Fully developed mixed convection of nanofluids in microtubes at constant wall temperature: Anomalous heat transfer rate and thermal performance, *Advanced Powder Technology*, 28 (3), 721-731.
- Hwang, K. S., Lee, J. H. ve Jang, S. P., 2007, Buoyancy-driven heat transfer of water-based Al₂O₃ nanofluids in a rectangular cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50 (19-20), 4003-4010.
- Hwang, K. S., Jang, S. P. ve Choi, S. U. S., 2009, Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al₂O₃ nanofluids in fully developed laminar flow regime, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (1-2), 193-199.
- Jou, R. Y. ve Tzeng, S. C., 2006, Numerical research of nature convective heat transfer enhancement filled with nanofluids in rectangular enclosures, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33 (6), 727-736.
- Kandlikar, S. G. ve Grande, W. J., 2003, Evolution of microchannel flow passages—thermohydraulic performance and fabrication technology, *Heat Transfer Engineering*, 24 (1), 3-17.
- Keblinski, P., Phillpot, S. R., Choi, S. U. S. ve Eastman, J. A., 2001, Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45 (4), 855-863.
- Keblinski, P., Prasher, R. ve Eapen, J., 2008, Thermal conductance of nanofluids: Is the controversy over?, *Journal of Nanoparticle Research*, 10 (7), 1089-1097.
- Khanafar, K., Vafai, K. ve Lightstone, M., 2003, Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46 (19), 3639-3653.

- Kim, D., Kwon, Y., Cho, Y., Li, C., Cheong, S., Hwang, Y., Lee, J., Hong, D. ve Moon, S., 2009, Convective heat transfer characteristics of nanofluids under laminar and turbulent flow conditions, *Current Applied Physics*, 9 (2 SUPPL.).
- Kondaraju, S. ve Lee, J. S., 2011, Two-phase numerical model for thermal conductivity and convective heat transfer in nanofluids, *Nanoscale Research Letters*, 6 (1).
- Koo, J. ve Kleinstreuer, C., 2004, A new thermal conductivity model for nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 6 (6), 577-588.
- Kristiansen, H. A., 2001, Thermal Management in Electronics [online], http://www.ppd.chalmers.se/edu/mpr235/mpr235_thermgmnt.pdf [Ziyaret Tarihi : 10 Nisan 2017]:
- Kulkarni, D. P., Namburu, P. K., Ed Bargar, H. ve Das, D. K., 2008, Convective heat transfer and fluid dynamic characteristics of SiO₂ - Ethylene glycol/water nanofluid, *Heat Transfer Engineering*, 29 (12), 1027-1035.
- Lee, S., Choi, S. U. S., Li, S. ve Eastman, J. A., 1999, Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, *Journal of Heat Transfer*, 121 (2), 280-288.
- Li, Q. ve Xuan, Y., 2002, Convective heat transfer and flow characteristics of Cu-water nanofluid, *Science in China, Series E: Technological Sciences*, 45 (4), 408-416.
- Lotfi, R., Saboohi, Y. ve Rashidi, A. M., 2010, Numerical study of forced convective heat transfer of Nanofluids: Comparison of different approaches, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37 (1), 74-78.
- Maïga, S. E. B., Nguyen, C. T., Galanis, N. ve Roy, G., 2004, Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube, *Superlattices and Microstructures*, 35 (3-6), 543-557.
- Masoumi, N., Sohrabi, N. ve Behzadmehr, A., 2009, A new model for calculating the effective viscosity of nanofluids, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42 (5).
- Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K. ve Hishinuma, N., 1993, Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of γ -Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles), *NetsuBussei*, 227-233.
- Moghadassi, A., Ghomi, E. ve Parvzian, F., 2015, A numerical study of water based Al₂O₃ and Al₂O₃-Cu hybrid nanofluid effect on forced convective heat transfer, *International Journal of Thermal Sciences*, 92, 50-57.
- Moraveji, K., Mohammadi Ardehali, R. ve Ijam, A., 2013, CFD investigation of nanofluid effects (cooling performance and pressure drop) in mini-channel heat sink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 40 (1), 58-66.
- Nguyen, C. T., Desgranges, F., Roy, G., Galanis, N., Maré, T., Boucher, S. ve Angue Mintsa, H., 2007, Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids - Hysteresis phenomenon, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28 (6), 1492-1506.
- Oztop, H. F. ve Abu-Nada, E., 2008, Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29 (5), 1326-1336.
- Özerinç, S., Kakaç, S. ve Yazıcıoğlu, A. G., 2010, Enhanced thermal conductivity of nanofluids: A state-of-the-art review, *Microfluidics and Nanofluidics*, 8 (2), 145-170.
- Pak, B. C. ve Cho, Y. I., 1998, Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, 11 (2), 151-170.

- Santra, A. K., Sen, S. ve Chakraborty, N., 2008, Study of heat transfer augmentation in a differentially heated square cavity using copper-water nanofluid, *International Journal of Thermal Sciences*, 47 (9), 1113-1122.
- Sohel, M. R., Khaleduzzaman, S. S., Saidur, R., Hepbasli, A., Sabri, M. F. M. ve Mahbubul, I. M., 2014, An experimental investigation of heat transfer enhancement of a minichannel heat sink using Al₂O₃-H₂O nanofluid, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 74, 164-172.
- Wang, X., Xu, X. ve Choi, S. U. S., 1999, Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture, *Journal of thermophysics and heat transfer*, 13 (4), 474-480.
- Wang, X. Q. ve Mujumdar, A. S., 2007, Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *International Journal of Thermal Sciences*, 46 (1), 1-19.
- Wen, D. ve Ding, Y., 2004, Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 (24), 5181-5188.
- Xuan, Y. ve Li, Q., 2000, Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21 (1), 58-64.
- Xuan, Y. ve Roetzel, W., 2000, Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43 (19), 3701-3707.
- Yu, W. ve Choi, S. U. S., 2003, The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: A renovated Maxwell model, *Journal of Nanoparticle Research*, 5 (1-2), 167-171.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur SARICA
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır – 12.04.1988
Telefon : 05327717400
Faks :
e-mail : onursarica@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ayrancı Süper Lisesi Çankaya, Ankara	2006
Lisans	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Selçuklu, Konya	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Sistemleri Ana Bilim Dalı Selçuklu, Konya	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2013	Saras Elektronik Makine Bilgisayar Ltd. Şti	Şirket Müdürü
2013-2014	Allfabe Endüstriyel Tasarım Ltd. Şti.	Ar-Ge Müdürü
2014-2017	Kalteknik Mühendislik Danışmanlık Kalite Kontrol	3 rd Party Inspector

UZMANLIK ALANI

Solidworks Tasarım ve Modelleme
Simufact Analizi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Onur, S., Dincer, K., Ata S., Önal G. 2016, *Mini Kanallarda Cu-Su Nano Akışkanın Sıcaklık Performansinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Selçuk Üniversitesi

Teknik Eğitim Fakültesi Selçuk-Teknik Dergi, Konya, Cilt 15, Sayı:3-2016, ISSN 1302/6178

Onur, S., Dincer, K., Ata S., Önal G. *The Experimental Determination of L/D Ratio Using Water in Mini Channels to Analysis of Fluid Temperature Performance with Nano particulates*, XIV International Congress Summer Session “Machines Technologies Materials”, 13–16.09.2017, Varna, Bulgaria, (Kabul, Temmuz-2017)

