

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOAKIŞKANLARIN TİTREŞİMLİ AKIŞINDA ISI TRANSFERİNİN**  
**NANOPARTİKÜL TİPİ VE BOYUTU İLE DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL**  
**İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oğuz GÜVEN**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ**

**ARALIK 2016**

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

.....  
**Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 131511018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Oğuz GÜVEN**'in ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Nanoakışkanların Titreşimli Akışında Isı Transferinin Nanopartikül Tipi ve Boyutu ile Değişiminin Deneysel İncelenmesi**” başlıklı tezi **19.12.2016** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ** .....  
TOBB Ekonomik ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Almila Güvenç YAZICIOĞLU** .....  
(Başkan)  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Oğuz TURGUT** .....  
Gazi Üniversitesi

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Oğuz GÜVEN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### NANOAKIŞKANLARIN TİTREŞİMLİ AKIŞINDA ISI TRANSFERİNİN NANOPARTİKÜL TİPİ VE BOYUTU İLE DEĞİŞİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Oğuz GÜVEN

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Tarih: Aralık 2016

Nanoakışkan teriminin literatürdeki yerini almasından itibaren nanoakışkanların ısı transferi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmeye başlanmış ve nanoakışkanların ısı transferine etkileri önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada nanoakışkanların titreşimli akış koşulunda ısı transferine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Oluşturulan deney düzeneği, dikey yöndeki kılcal boru demetinin alt ve üst tarafına yerleştirilen iki rezervuar arasında titreşim üretici kullanarak akış oluşturulması prensibi ile çalışmaktadır. Temel akışkan olarak saf su kullanarak farklı nanoparçacıklar ile farklı hacimsel konsantrasyonlarda hazırlanan nanoakışkanların, çeşitli titreşim genliği ve frekansı değerlerinde ısı transferine etkileri incelenmiş ve saf suyun aynı koşullardaki ısı transferi performansı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapılan tüm deneylerde, ısı transferinin genlik değişimi ile doğru orantılı olarak değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca alumina ( $Al_2O_3$  – 45 nm) içeren nanoakışkanın ısı transferi performansı saf suya göre

artış gösterirken, alümina ( $Al_2O_3$  – 10 nm) ve bakıroksit (CuO - 25-55 nm) içeren nanoakışkanlarla yapılan incelemelerde ısı transferinde bir azalma gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkan, Isı transferi, Titreşimli akış.

## **ABSTRACT**

Master of Science

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CHANGE OF HEAT TRANSFER WITH  
NANOPARTICLE TYPE AND SIZE IN OSCILLATORY FLOW OF  
NANOFLUIDS**

Oğuz GÜVEN

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Mechanical Engineering Science Programme

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Date: December 2016

Since the term nanofluid has taken its place in the literature, nanoparticle suspensions have started to be thought to have a significant potential for heat transfer and the effects of nanoparticles on heat transfer have become an important research topic. In this study, the heat transfer under oscillatory flow condition of nanofluids is investigated experimentally. The experimental setup built is based on the principle that flow is generated by using a vibration generator between two reservoirs which are located on the upper and lower ends of the capillary tube bundle in the vertical direction. Nanofluids were prepared with various nanoparticles at different volumetric concentrations using deionized water as the base fluid. The effects of the prepared nanofluids on the heat transfer in various vibration amplitude and frequency values were investigated and compared with the deionized water's heat transfer performance under the same conditions. It has been observed that heat transfer varies linearly with the amplitude change in all experiments. In addition, while the heat transfer performance of the nanofluid containing alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 45 nm) increased

compared to the deionized water, a decrease in heat transfer was calculated in experiments made with nanofluids containing alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 10 nm) and copper oxide (CuO - 25-55 nm).

**Keywords:** Nanofluid, Heat transfer, Oscillatory flow.

## TEŞEKKÜR

Öğrenim sürem boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme, yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç.Dr. Murat Kadri AKTAŞ'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine, tüm laboratuvar arkadaşlarıma, Numan ÖNOL ve Hacim Numan YILMAZ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmayı 113M211 nolu ARDEB 1001 projesi kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a ve burs imkanı sağlayan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>	<b>xiii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ .....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESİM LİSTESİ .....</b>	<b>xv</b>
<b>EK LİSTESİ.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Literatür Araştırması .....	3
1.1.1. Nanoakışkanlarda ısı transferi.....	3
1.1.2. Titreşimli akışta ısı transferi.....	7
1.2. Araştırma Gereksinimi .....	10
1.3. Tezin Kapsamı ve Amacı .....	10
<b>2. DENEY METODU .....</b>	<b>13</b>
2.1. Deney Düzenegi .....	13
2.2. Nanoakışkanların Hazırlanması .....	18
2.3. Nanoakışkanların Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi .....	22
2.3.1. Isıl iletim katsayısı ölçümü .....	22
2.3.2. Dinamik viskozite ölçümü .....	24
<b>3. VERİ ANALİZİ.....</b>	<b>27</b>
3.1. Etkin Isıl Yayınım Katsayısı Hesabı .....	27
3.2. Anlık Isı Transferi Hesabı .....	28
<b>4. SONUÇLAR.....</b>	<b>31</b>
4.1. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri .....	35
4.1.1. Nanoakışkanların ısıl iletim sayısı katsayıları.....	35
4.1.2. Nanoakışkanların viskozite değerleri .....	37
4.2. Isı Transferinin Zamana Bağlı Değişimi .....	38
4.2.1. Saf su kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi .....	39
4.2.2. Nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi .....	42

4.3. Nanoapartikül Özelliklerinin Isı Transferine Etkisi .....	45
4.3.1. Nanoakışkan çeşidinin ısı transferine etkisi .....	45
4.3.2. Hacimsel nanoparçacık konsantrasyonunun ısı transferine etkisi .....	47
4.3.3. Nanoparçacık boyutunun ısı transferine etkisi .....	48
4.4. Etkin Isıl Yayınım Katsayısının Genlik ile Değişimi .....	49
4.4.1. 5 Hz titreşim frekansı ile yapılan deneylerde etkin ısıl yayınım katsayısının titreşim genliği ile değişimi .....	49
4.4.2. 8 Hz titreşim frekansı ile yapılan deneylerde etkin ısıl yayınım katsayısının titreşim genliği ile değişimi .....	52
4.5. Hesaplanan Etkin Isıl Yayınım Katsayılarının Literatür ile Karşılaştırılması	53
4.6. Hesaplanan Etkin Pr Sayısının Genlik ile Değişimi .....	54
4.6.1. 5 Hz frekans değeri ile yapılan deneylerde etkin Pr sayısının titreşim genliği ile değişimi .....	55
4.6.2. 8Hz frekans değeri ile yapılan deneylerde etkin Pr sayısının titreşim genliği ile değişimi .....	56
4.7. Toplam Isı Transferi ve Womersley Sayısı .....	57
4.8. Sistemde Harcanan Enerji ve Isı transferi ilişkisi .....	58
<b>5. HATA ANALİZİ .....</b>	<b>61</b>
<b>6. DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>65</b>
6.1. Özet .....	65
6.2. Bulgular .....	65
6.3. Öneriler .....	67
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>79</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Titreşimli akış oluşumu örnek gösterimi. ....	1
Şekil 1.2 : Kurzweg'in yaptığı çalışmaya ait deney düzeneği şeması [34]. ....	9
Şekil 2.1 : Deney düzeneği şematik görünümü. ....	13
Şekil 4.1 : 5 Hz frekansında $\Delta S=6.7$ mm titreşim genliğinde saf su akışkanıyla yapılan deney sırasında rezervuarlarda ölçülen sıcaklık değerleri. ....	34
Şekil 4.2 : Farklı parçacık boyutuna sahip su-alumina nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona bağlı ısı iletim katsayısı oranları. ....	35
Şekil 4.3 : Su-bakıroksit nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona bağlı ısı iletim katsayısı oranları. ....	36
Şekil 4.4 : Farklı parçacık boyutuna sahip su-alumina nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona karşılık bağlı viskozite değerleri. ....	37
Şekil 4.5 : Su-bakıroksit nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona karşılık bağlı viskozite değerleri. ....	38
Şekil 4.6 : Su kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan su deneylerindeki zamana bağlı sıcak ve soğuk rezervuarlara ait sıcaklık farkı değişimi. ....	39
Şekil 4.7 : Su kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	40
Şekil 4.8 : Su kullanılarak 8 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	41
Şekil 4.9 : Su-alumina (45 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	42
Şekil 4.10 : Su-alumina (45 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 8 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	43
Şekil 4.11 : Su-alumina (10 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	43
Şekil 4.12 : Su-alumina (10 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 8 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	44
Şekil 4.13 : Su ve % 2 konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 8 Hz frekans ve 3.5 mm genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	46
Şekil 4.14 : % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz frekans ve 3.5 mm genlikte yapılan deneyler için zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	47
Şekil 4.15 : Su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip su-alumina nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz'de 3.5 mm genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi. ....	48

Şekil 4.17 : Su ve su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.....	50
Şekil 4.18 : Su ve su-bakıroksit (25-55 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.....	51
Şekil 4.19 : Su ve su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.....	52
Şekil 4.20 : Elde edilen deney sonuçlarının literatürle karşılaştırılması. ....	54
Şekil 4.21 : Su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 5 Hz’de yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık etkin Pr sayısı değişimi. ....	55
Şekil 4.22 : Su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 8 Hz’de yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık etkin Pr sayısı değişimi. ....	56
Şekil 4.23 : 5 Hz ve 8 Hz frekansları kullanarak yapılan deneyler için $Wo$ sayısına karşılık toplam ısı transferi.....	57
Şekil 4.24 : 5 Hz ve 8 Hz frekansında su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip farklı nanoakışkanlarla yapılan deneyler için harcanan güce karşılık maksimum ısı transferi.....	58
Şekil 5.1 : Su ve % 2 konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 8 Hz frekans ve 3.5 mm genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişiminin yapılan hatalar ile birlikte gösterimi. ....	62

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1 : Nanoakışkanlar hazırlanırken kullanılan hacim verileri.....	22
Çizelge 4.1 : Gerçekleştirilen deney parametreleri.....	32
Çizelge 4.2 : 8 Hz sabit frekansta gerçekleştirilen deney parametreleri.....	33
Çizelge 4.3 : Akışkanların yoğunluk, ısı iletim katsayısı, kinematik viskozite ve Pr sayısı değerleri.....	33
Çizelge 8.1 : Deney düzeneği ekipman listesi .....	74
Çizelge 8.2 : Örneğ deney verileri.....	76

## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$c_p$	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
$f$	Frekans (Hz)
$k$	Isıl iletim katsayısı (W/mK)
$L$	Kılcal boru uzunluğu (m)
$q$	Anlık ısı transferi (W)
$Q$	Toplam ısı transferi (J)
$t$	Zaman (s)
$T_c$	Soğuk rezervuar sıcaklığı (°C)
$T_h$	Sıcak rezervuar sıcaklığı (°C)
$\Delta T$	Sıcaklık farkı (°C)
$d$	Yarıçap (m)
$\phi$	Hacimsel konsantrasyon
$\nu$	Kinematik viskozite (m <sup>2</sup> /s)
$\rho$	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
$Pr$	Prandtl sayısı
$Wo$	Womersley Sayısı
$A$	Borular arasında kalan etkin alan (m <sup>2</sup> )
$\Delta S$	Titreşim genliği (m)
$\Delta Z$	Boru içindeki akışın genliği (m)
$a$	Pipet iç çapı (m)
$\alpha$	Isıl yayılım katsayısı (m <sup>2</sup> /s)

## RESİM LİSTESİ

### Sayfa

Resim 2.1 : Kılcal boru demeti görüntüsü. ....	14
Resim 2.2 : Akışkanın doldurduğu sistemin yalıtımlı ve yalıtımsız görüntüsü. ....	16
Resim 2.3 : Soğuk rezervuar görüntüsü. ....	17
Resim 2.4 : Deney düzeneğinin genel görüntüsü. ....	17
Resim 2.5: Su-CuO nanoakışkanları örnekleri. ....	20
Resim 2.6 : Rezervuarlar ve kılcal boru demetinin genel görüntüsü. ....	21
Resim 2.7 : Isıl iletim katsayısı ölçümü düzeneği. ....	24
Resim 2.8 : Viskozite ölçüm ekipmanı. ....	25

## EK LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
EK 1 : Deney Düzeneği Teknik Çizimi .....	73
EK 2 : Deney Düzeneği Bileşenleri .....	74
EK 3 : Nanoakışkanlar Hazırlanırken Kullanılan MATLAB kodu. ....	75
EK 4 : Örnek Deney Verileri ( 5 Hz – 3V Su-alumina (45 nm) %2).....	76

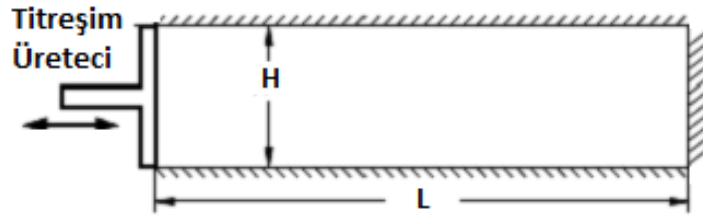


## 1. GİRİŞ

İnsanlığın ve beraberinde teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan enerji ihtiyacını karşılamak adına yapılan çalışmalar gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Isı transferi bilimi ise bu alanda çok önemli bir rol oynamakta ve birçok enerji üretim/tüketim sistemlerinde verimliliği belirleyici mekanizma olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde ısı aktarımını iyileştirme amacıyla kullanılan metodlardan bir tanesi de titreşimli akıştır.

Titreşimli akış oluşturmak için kullanılan iki farklı yöntem mevcuttur. Bu iki yöntem ısıl ve mekanik yöntemler olarak isimlendirilebilir. Isıl yöntem kullanımında, sistemdeki sınır sıcaklıklarına ani değişimler uygulanarak akışkanın aniden ısınması veya soğuması sağlanır. Bunun sonucunda akışkanın genişmesiyle birlikte oluşan basınç dalgası titreşimli akış oluşumuna sebep verir. Oluşan basınç dalgasına termoakustik dalga denir. Termoakustik dalganın hızı yaklaşık olarak ses hızına eşittir [1].

İkinci yöntem olan mekanik yöntem ise, akışkanla dolu olan sistemin bir duvarına titreşim uygulanmasıyla akış oluşturmaya dayanır. Duvara uygulanan titreşim, sistem içerisinde titreşim doğrultusunda bir dalga oluşturur. Sistem içerisinde ilerleyen dalga, karşı taraftaki sınırdan yansıtılarak geri döner. Duvara uygulanan titreşim sonucu oluşan dalgalar, sistem içerisindeki akışkanı periyodik olarak titreşim doğrultusunda hareket ettirerek, titreşimli akışı oluşturmuş olur. Mekanik olarak oluşturulan titreşimli akış için örnek gösterim Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Titreşimli akış oluşumu örnek gösterimi.

Örnek gösterimde, L uzunluğuna ve H yüksekliğine sahip akışkanla dolu kapalı bir ortama sol duvar üzerinden titreşim uygulanmaktadır. Uygulanan titreşim sonucu kapalı ortam içerisinde oluşacak olan dalga sağ duvara kadar ilerler ve duvar üzerinden yansiyarak geri döner. Geri dönen dalga ile birlikte zıt yönlerde hareket eden iki dalga oluşmuş olur. Birbirine karşı yayılan eşit genlik ve frekansa sahip iki dalganın girişimi sonucu duran dalga oluşur. Bu sayede kapalı ortam içerisinde, pompa gibi bir akış oluşturuvcu mekanizma kullanmadan, titreşim ile periyodik olarak tekrarlanan bir akış elde edilmiş olunur.

Termoakustik motor ve termoakustik soğutucular titreşimli akış kullanan sistemlerdir [2,3]. Bu sistemler düşük maliyetli olması, yapılarının basit olması, hareketli parçalarının bulunmaması, yüksek güç tüketmemesi gibi özellikleri açısından tercih edilmektedir. Termoakustik motorlarda yüksek sıcaklık rezervuarından düşük sıcaklık rezervuarına ısı aktarımı gerçekleşir ve bu işlem sonucunda akustik güç üretilir. Akustik güç gerekli dönüştürücü kullanılarak elektrik gücüne dönüştürülebilir. Termoakustik soğutucularda ise işlem tam tersidir, soğuk rezervuardan çekilen ısı sıcak rezervuara aktarılır ve bu işlem için dışardan akustik güç uygulanması gerekmektedir.

Isı aktarımını iyileştirici tekniklerden bir diğeri ise, kullanılan sistemdeki akışkanın termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesidir. Teknolojik olarak malzemelerin boyutlarının nano mertebesine indirgenmenin mümkün kılınmasıyla birlikte, yüksek ısı iletim katsayısına sahip nanoparçacıkların su, etilen glikol ve motor yağı gibi temel akışkanlara eklenerek daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip akışkanlar eldesi[4-6] yaygın olarak kullanılan bir teknik haline gelmiştir. Sistemde kullanılan akışkanın ısı iletim katsayısındaki iyileştirme ile birlikte, gerek sisteme ısı aktarımı gerekse sistemden ısı çekme işlemi açısından daha verimli bir sistem eldesi amaçlanmaktadır.

Nanoparçacık üretim teknikleri iki ana başlıkla ifade edilebilir [7]. Bu teknikler “fiziksel sentez” ve “kimyasal sentez” olarak adlandırılmaktadır. Fiziksel sentez, malzemelerin herhangi bir kimyasal işleme maruz kalmadan nano boyutlara indirgenmesidir. Bu yöntem malzemenin mekanik olarak dövülerek nanoparçacık elde edilmesi örnek olarak verilebilir. İkinci yöntem olan kimyasal sentezde ise, kimyasal reaksiyon sonucu nano boyutta malzeme elde edilir. Bu yöntemlere örnek olarak kimyasal çökelme, kimyasal buhar biriktirme yöntemleri sıralanabilir.

Nanoakışkan üretimi teknikleri ise yine iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bu yöntemlerden ilki “iki-adım tekniği” diğeri ise “tek-adım tekniği”dir. İlk yöntem olan iki-adım tekniğinde, önceden üretilmiş nanoparçacıklar istenilen temel akışkanın içerisine sonradan eklenerek nanoakışkan üretimi gerçekleştirilir. İkinci yöntem olan tek-adım tekniğinde ise, kimyasal reaksiyon sonucu nanoakışkan üretimi gerçekleştirilir. Yani nanoparçacık ve temel akışkan sonradan birbirine karıştırılmaz. Bu iki yöntem arasında iki önemli fark bulunmaktadır. İlk olarak tek-adım tekniği kullanılarak üretilen nanoakışkanlar iki-adım tekniği kullanılarak üretilen nanoakışkanlara göre daha homojen parçacık boyutu dağılımına sahiptirler. İkinci önemli fark ise, tek-adım tekniği kullanarak aynı anda çok fazla nanoakışkan üretimi gerçekleştirmek mümkünken, iki-adım tekniği kullanımı yüksek miktarlarda nanoparçacık üretimine elverişli değildir.

## **1.1. Literatür Araştırması**

### **1.1.1. Nanoakışkanlarda ısı transferi**

Nanoakışkan teriminin ilk kez 1995 yılında Choi [8] tarafından kullanılmasından sonra, nanoakışkanların ısı transferi üzerine etkileri hızla araştırılmaya başlanmıştır. Bir kısım araştırmacı nanoakışkanların ısı özelliklerini incelerken bir kısım araştırmacı da nanoakışkanların farklı sistemlerde kullanımının ısı transferine etkisini incelemiştir.

Tullius ve Bayazıtöğlü su-alumina ile hazırlanan nanoakışkan kullanarak yaptıkları çalışmada mini kanallarda çoklu duvarlı karbon nanotüplerden oluşan kanatçıkların ısı transferi üzerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir [9]. Nanoparçacıkların kanal yüzeyinde topaklandığı ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığı, bu durumun da ısı transferinde iyileşmeye sebep olduğu belirlenmiştir.

Alloui vd. içerisi nanoakışkan ile dolu basık ve kapalı ortama alt kısımdan ısı uygulayarak oluşturulan doğal taşınımı teorik, analitik ve sayısal metod kullanarak incelemiştir [10]. Kullanılan akışkandaki nanoparçacık konsantrasyonunun artışı ile taşınım mekanizmasını başlatmak için ulaşılması gereken kritik Rayleigh sayısının da arttığı belirlenmiştir.

Rahgoshay vd. 27 nm parçacık boyutuna sahip su- $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanoakışkanıyla dolu, sabit yüzey sıcaklığına sahip bir boru içerisinde laminar titreşimli akış koşulları etkisinde oluşan ısı transferini sayısal metodla incelemiştir [11]. Çalışma dahilinde nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu % 2 ile % 4 arasında ve  $\text{Re}=100$  ile  $\text{Re}=200$  arasında değiştirilerek hesaplamalar tekrarlanmıştır. Ortalama akış hızı, titreşim frekansı ve nanoparçacık konsantrasyonundaki artışın Nusselt sayısında artışa sebep verdiği gözlemlenmiştir.

Hwang vd. su- $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanoakışkanı ile dolu dikdörtgen kapalı bir ortama alt yüzeyden ısı uygulanarak oluşturulan doğal taşınımı incelenmiştir [12]. Kullanılan akışkandaki nanoparçacık boyutundaki artışın, ortalama Nusselt sayısını azaltmaya yönelik etki yaptığı belirlenmiştir.

Khanafer vd. dikdörtgen kapalı bir ortamda su ve bakır nanoparçacıklarıyla hazırlanan nanoakışkanın doğal taşınımıyla ısı transferini sayısal metod yardımıyla modellenmiştir [13]. Çalışma dahilinde nanoakışkan konsantrasyonu % 0.4 ile % 2 arasında değiştirilmiştir. Nanoakışkan konsantrasyonunun artması ile birlikte ısı transferinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Tsai vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada, ısı borularının ısı performanslarını saf su ve su-altın nanoakışkanı için karşılaştırmıştır [14]. Nanoakışkan kullanımının ısı borularının ısı direncinde düşüş sağladığı gösterilmiştir.

Ma vd. yaptıkları deneysel çalışmada, titreşimli ısı borularında su-elmas nanoakışkanı kullanarak oluşan ısı transferini incelemiştir [15]. Nanoakışkan kullanımının ısı borularında ısı direnci düşürdüğü ve daha düşük güç tüketimi ile daha iyi performans alabilmenin nanoakışkan kullanımı ile mümkün olduğu belirlenmiştir.

Khedkar vd. bakır oksit nanoparçacıklarını su ve monoetilen glikol ile farklı hacimsel konsantrasyonlarda karıştırarak, ısı iletim katsayısındaki değişimi incelemiştir [16]. Su-bakır oksit ile hazırlanan nanoakışkanlar için ısı iletim

katsayısında % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla % 5.8 ve % 10.9 oranında artış gözlemlenmiştir.

Murshed vd. su-alumina nanoakışkanının ısı iletim katsayılarını farklı sıcaklıklar için incelemiştir [17]. % 1 hacimsel konsantrasyon için nanoakışkanın ısı iletim katsayısında suya göre % 4 oranında bir artış olduğu belirlenmiştir.

Wang vd. farklı temel akışkanlar kullanarak oluşturdukları alumina ve bakır oksit içeren nanoakışkanlarının farklı hacimsel konsantrasyonlarda sahip oldukları ısı iletim katsayılarını incelemiştir [18]. 28 nm parçacık boyutuna sahip alumina – su nanoakışkanının % 3'lük konsantrasyon değerinde elde edilen ısı iletim katsayısındaki artış %12 olarak gözlemlenmiştir. 23 nm parçacık boyutuna sahip bakıroksit – su nanoakışkanının % 4.5'lik konsantrasyon değerinde elde edilen ısı iletim katsayısındaki artış ise % 17 olarak gözlemlenmiştir.

Lee vd. yapmış oldukları deneysel çalışmalarla oksit nanoparçacıklarla hazırlanmış çeşitli nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını belirlemiştir [19]. Deneysel 25 nm parçacık boyutuna sahip  $Al_2O_3$  ve 19 nm parçacık boyutuna sahip CuO nanoparçacıklarıyla hazırlanmış nanoakışkanlar kullanılmış ve farklı hacimsel konsantrasyonlar için ısı iletim katsayısındaki artışlar belirlenmiştir. Su-alumina nanoakışkanı için % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyon değerlerinde, ısı iletim katsayısında sırasıyla % 2 ve % 4 oranında artış gözlenmiştir. Su-bakır oksit nanoakışkanı aynı hacimsel konsantrasyon değerlerinde, ısı iletim katsayısındaki artış sırasıyla % 3 ve % 6 olarak gözlenmiştir. Ayrıca her iki nanoakışkan için ısı iletim katsayısındaki artış oranlarının düşük hacimsel konsantrasyonlarda birbirine yakın olduğu fakat yüksek hacimsel konsantrasyon değerlerinde ise su-bakır oksit nanoakışkanının ısı iletim katsayısında su-alumina nanoakışkanına göre daha büyük artış görüldüğü belirtilmiştir.

Chandrasekar vd. yaptıkları deneysel çalışmada 43nm parçacık boyutuna sahip  $Al_2O_3$  nanoparçacıklarıyla hazırlanan nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını ve viskozite değerlerini belirlemişlerdir [20]. Deneysel kullanılan nanoakışkanlar % 0.33 ile % 5 hacimsel konsantrasyon aralığında hazırlanmış ve elde edilen deneysel sonuçlar literatürde bulunan deneysel sonuçlar ve teorik modellerle kıyaslanmıştır. % 1 ve %

2 hacimsel konsantrasyona sahip su-alumina nanoakışkanları için ısı iletim katsayısındaki artış sırasıyla % 3.4 ve % 7.5 olarak gözlenmiştir. Viskozite değerlerindeki artış ise % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyon değerleri için yaklaşık olarak % 12 ve % 25 olarak ölçülmüştür. Ayrıca düşük konsantrasyon değerlerinde viskozite artışı daha çok lineer bir davranış gösterirken % 3 ve daha yüksek konsantrasyonlar için bakıldığında viskozite artışının daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Nguyen vd. yapmış oldukları çalışmada su bazlı nanoakışkanların viskozite değerlerini incelemiştir [21]. Çalışma dahilinde  $Al_2O_3$  ve CuO nanoparçacıklarıyla hazırlanmış nanoakışkanlar kullanılmıştır. Yapılan ölçümler ile nanoparçacık konsantrasyonunun ve nanoakışkan sıcaklığının viskozite üzerine etkisi incelenmiştir. Deneyler süresince nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu % 0.15 ile % 13 arasında değiştirilmiş ve 20 °C ile 70 °C arasındaki sıcaklık değerleri için ölçümler yapılmıştır. 29 nm parçacık boyutuna sahip su-bakıroksit nanoakışkanlarıyla yapılan ölçümler sonucunda % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyonları için viskozitedeki artış sırasıyla yaklaşık olarak % 11 ve % 24 olarak ölçülmüştür. Farklı parçacık boyutlarına sahip su-alumina nanoakışkanları kullanılarak yapılan deneyler ile parçacık boyutunun azalmasıyla birlikte nanoakışkanın viskozite artışında azaldığı belirlenmiştir. Öte yandan deneyler esnasında kullanılan tüm nanoakışkanlar ve temel akışkan olarak kullanılan saf su için, sıcaklığın artışı ile birlikte viskozite değerlerinde düşüş olduğu gösterilmiştir.

Chopkar vd. yapmış oldukları deneysel çalışmada,  $Al_2Cu$  ve  $Ag_2Al$  kullanarak hazırladıkları nanoakışkanların ısı iletim katsayılarındaki değişimi incelemiştir [22]. Yapılan çalışmada temel akışkan olarak su kullanılmış olup, ısı iletim katsayısı ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda ısı iletim katsayısında temel akışkana oranla nanoakışkanlarda artış olduğu gösterilmiştir. Kullanılan malzemeler arasında daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan  $Ag_2Al$  kullanarak hazırlanan nanoakışkan için ısı iletim katsayısındaki artışın azda olsa daha yüksek olduğu görülmüştür.

Xie vd. yaptıkları çalışmada kullanıla temel akışkanın nanoakışkanın ısı iletim katsayısı üzerine etkisini araştırmıştır [23]. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıkları kullanarak hazırlanan nanoakışkanlarda temel akışkan olarak su, gliserol, etilen glikol ve motor yağı kullanılmıştır. Bu parametrelere ek olarak farklı oranlarda karıştırılmış su-gliserol ve su-etilen glikol karışımları da temel akışkan olarak kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu artan temel akışkana ait ısı iletim katsayısıyla birlikte, nanoakışkanın ısı iletim katsayısında görölen artış oranının azaldığı belirlenmiştir.

Minsta vd. yaptıkları çalışmada boyutları 36 nm ve 47 nm olan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparçacıklarıyla farklı hacimsel konsantrasyonlarda hazırlanmış nanoakışkanların ısı iletim katsayısı değişimlerini farklı sıcaklıklar için incelemiştir [24]. Çalışma dahilinde en yüksek % 18 olacak şekilde farklı hacimsel konstantrasyonlara sahip nanoakışkanlar, 20 °C ile 50 °C sıcaklıkları arasında ısı iletim katsayısı ölçümlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile, farklı parçacık boyutuna sahip nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının oda sıcaklığında önemli miktarda değişmediğini fakat daha yüksek sıcaklıklarda ise düşük parçacık boyutuna sahip nanoakışkanların daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu belirtilmiştir.

### **1.1.2. Titreşimli akışta ısı transferi**

Literatürde yer alan titreşimli akış ile ilgili bulunan belli başlı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Sabit duvar akısına sahip alüminyum köpük ile dolu bir kanal içerisinde titreşimli akışın ısı transferine etkileri deneysel olarak Leong ve Jin tarafından incelenmiştir [25]. Bu çalışma sonucunda gözenekli yapı kullanımının titreşimli akışta ısı transferini iyileştirmeye yönelik etki yaptığı belirlenmiştir.

Düzgün ısı akısı ile ısıtılmış ve karşılıklı hava akışına maruz bırakılan uzun bir borudaki laminer titreşimli zorlanmış konveksiyon için deneysel ve sayısal bir çalışma Zao ve Cheng tarafından yapılmıştır [26]. Bu çalışma sonucunda karıştırma motorlarının ısı değiştirgeçlerinde kullanılmak üzere ortalama Nusselt sayısı için bir bağıntı elde edilmiştir.

Cheng ve Hung yaptıkları araştırmada, hava içeren dikdörtgen bir kapalı ortamda duvar titreşiminin doğal taşınımına etkilerini sabit bir Rayleigh sayısı için incelemiştir [27]. Duvara uygulanan titreşim frekansı 1 Hz ile 50 Hz arasında değiştirilmiştir. Bu

çalışma sonucunda salınım yapan Nusselt sayısı genliğinin büyüklüğünün, duvar titreşiminin frekansı ve genliği ile arttığı belirlenmiştir.

Jun vd. gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada bir boru içerisindeki titreşimli akışta, titreşim özelliklerinin ve hidrodinamik parametrelerin ısı transferi üzerine etkisini incelemiştir [28]. Çalışma sürecinde titreşim parametrelerinin kontrolü için rezonatör odasının uzunluğu ve çıkış borusunun uzunluğu ayarlanabilir bir sarsıcı tasarlanıp kullanılmıştır. Yapılan deneyler ışığında, akışkanın debisindeki artışının ve rezonatör odası uzunluğundaki artışın ısı transferini iyileştirici etki yaptığı gözlemlenmiştir.

Bouvier vd. yaptıkları çalışmada, silindirik bir tüp içerisinde titreşimli akışta ısı transferini deneysel olarak incelemiştir [29]. Isı transferinde duvar etkisinin gözlemlenmesine olanak sağlayan profiller elde edilmiştir. Yerel ve ortalama ısı akısı değerleri ifade edildi ve ısı transferi ile ilgili global ve yerel yaklaşımlar arasındaki bir karşılaştırma ile titreşimli akış koşullarında bölgesel ısı transferini modellemek için boyutsuz bir ısı akısı yoğunluğu tanımlanmasının zorluğunun altı çizilmiştir.

Loh ve Lee boyuna ultrasonik titreşimler ile oluşturulmuş titreşimli akış koşullarında ısı transferini deneysel bir çalışma ile araştırmıştır [30]. Ultrasonik titreşim uygulanması sebebiyle aniden oluşan titreşimli akışın sıcaklık değerlerini aniden düşürdüğü gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ısı transferindeki iyileşmenin ultrasonik titreşim üretici ve ısı kaynağı arasındaki mesafe ile bağlantılı olduğu gösterilmiştir. Bu soğutma metodunun, fan ile çalışan soğutma sistemlerinin kullanılmadığı durumlara alternatif bir sistem olabileceği ortaya konulmuştur.

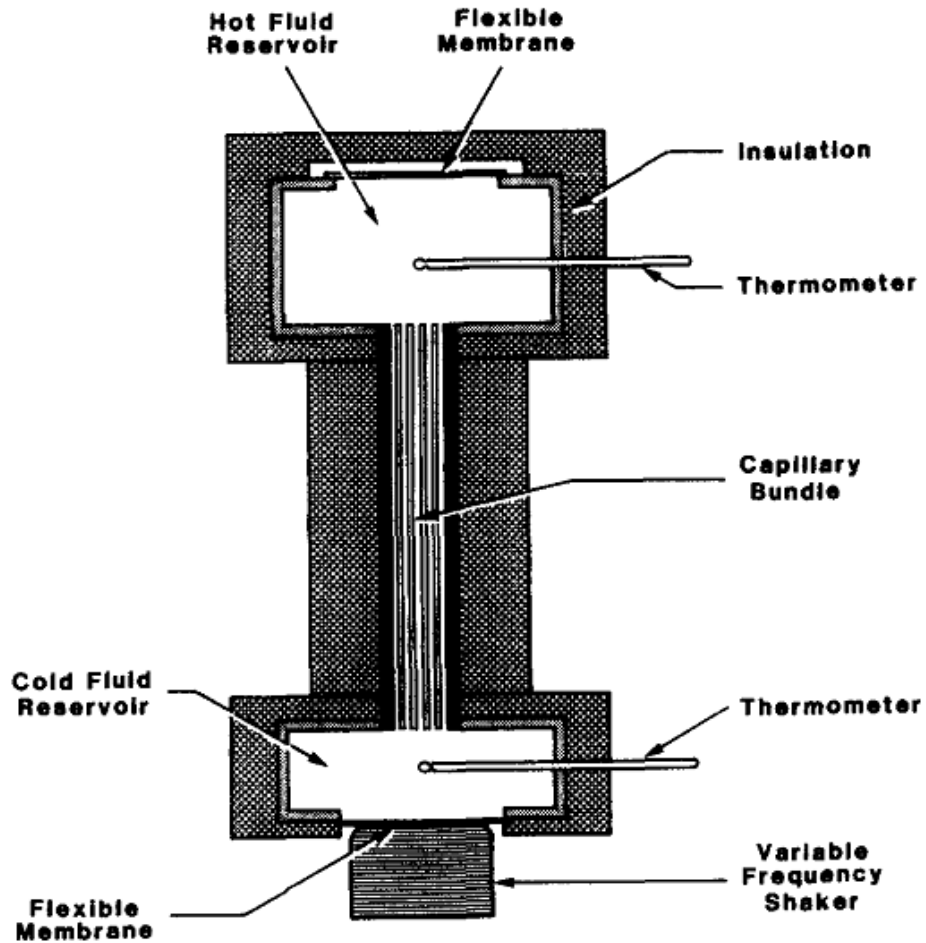
Aktaş ve Ozgumus yaptıkları çalışmada, içi hava ile dolu ve alt kısımdan ısı uygulanan sığ bir ortama sol duvardan titreşim uygulayarak oluşturulan ısı transferini sayısal olarak incelemiştir [31]. Sisteme uygulanan titreşimin, saf taşınımına göre ciddi oranda ısı transferini artırdığı gözlenmiştir.

Aktaş vd. içi nitrojen ile dolu sığ kapalı ortama sol duvardan titreşim uygulanması durumunda oluşan taşınımı sayısal olarak incelemiştir [32]. Çalışılan problemde  $L=8.825$  mm ve  $H=0.316$  mm olarak belirlenmiştir ve kullanılan frekans değeri kapalı ortam içerisinde duran dalga oluşturacak şekilde seçilmiştir. Belirtilen koşullar altında sisteme uygulanan titreşimin ısı transferi üzerine iyileştirici etki yaptığı görülmüştür.



Kurzweg yapmış olduğu çalışmada, boru içerisindeki sinüzoidal titreşimli akışı ele almıştır [33]. Yapılan analitik çözümlerle sonucunda ısı transferinin genliğin kareköküyle doğru orantılı olduğunu ve aynı zamanda frekans, Prandtl sayısı ve rezervuarları birbirine bağlayan tüplerin yarıçapının ısı transferini etkileyen faktörler olduğunu ortaya koymuştur.

Kurzweg ve Zhao kılcal bir boru demetinin alt ve üst tarafına olmak üzere iki rezervuar yerleştirip, soğuk akışkana ait olan alt rezervuara titreşim uygulayarak iki rezervuar arasında oluşan titreşimli akış sonucu gerçekleşen ısı transferini hem deneysel hemde analitik metodla irdelemiştir [34]. Akışkan olarak su kullanılan bu çalışmada, kullanılan frekans aralığı 2 Hz – 8 Hz'dir. Çalışmaya ait deney düzeneği Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2 : Kurzweg'in yaptığı çalışmaya ait deney düzeneği şeması [34].

Alt kısımda bulunan soğuk akışkan rezervuarını üst kısımda bulunan sıcak akışkan rezervuarına bağlayan akrilik borunun uzunluğu 20 cm ve iç çapı 1.27 cm olup, akrilik borunun içerisine iç çapı 1 mm olan 31 adet cam boru yerleştirilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan soğuk akışkan sıcaklığı değeri 22 °C ve sıcak akışkan sıcaklığı ise 78 °C olarak belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarının yapılan analitik çözümle uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Titreşim uygulandığı durumda, suyun etkin ısıl yayılım katsayısı değerinde 10000'ler mertebesinde artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca etkin ısıl yayılım katsayısı değerinin akış genliğinin karesiyle, frekans ve kinematik viskozitenin kareköküyle doğru orantılı olduğunu ve kılcal boruların yarıçapı ile ters orantılı olduğunu göstermiştir. Literatürde bu alanda yapılan ilk çalışma olması sebebiyle, bu çalışma büyük önem taşımaktadır.

## **1.2. Araştırma Gereksinimi**

Nanoakışkanların ısıl özellikleri ile ilgili çok çeşitli veriler literatürde bulunmakta ve bu veriler kendi içerisinde farklılıklar göstermektedir. Aynı zamanda bu verileri desteklemek için kullanılan modeller literatürde göze çarpmaktadır. Her modelin kendine özgü bir yaklaşıma sahip olduğu düşünülürse, bu modellerin de sonuçlarının birbirinden belli oranda farklılaşması normal karşılanabilecek bir durumdur. Nanoakışkanların hazırlanış metodu ve stabilizasyonu için yapılan işlemler de göz önüne alındığında halen literatürün daha detaylı verilerle çeşitlendirilmesine ihtiyaç vardır.

Titreşimli akış alanında yapılan çalışmalarda ısı transferinde iyileşmeye yönelik sonuçlar literatürde mevcutken, titreşim kontrollü ısı aktarım tüpleri ve nanoakışkan kullanımının etkisini inceleyen herhangi bir çalışma göze çarpmamaktadır. Bu sebeple nanoakışkanların titreşim kontrollü ısı aktarım tüplerindeki ısı transferi performansı ve bu performansı etkileyen faktörler araştırılmayı bekleyen çalışma alanlarından bir tanesidir.

## **1.3. Tezin Kapsamı ve Amacı**

Bu çalışmanın amacı, aralarında bulunan kılcal boru demetinin birbirine bağladığı farklı sıcaklıktaki iki rezervuar arasında titreşim ile oluşturulmuş akış sonucu oluşan ısı transferinin deneysel yöntemle araştırılması, ısı transferi sürecini etkileyen parametrelerin belirlenmesidir. Akışkana uygulanan titreşimin nanoakışkanların

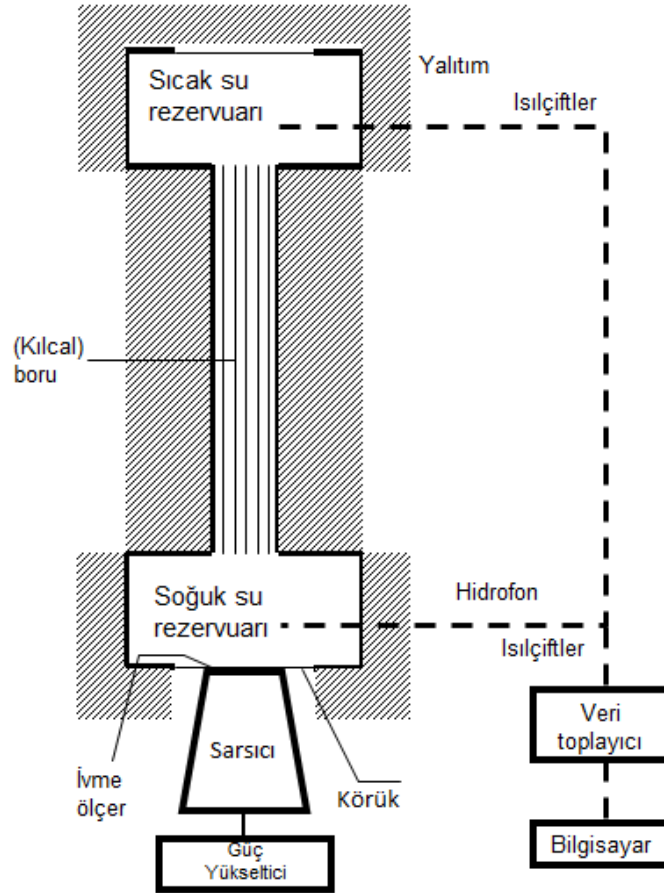
topaklanma ve çökelme gibi genel problemlerine bir çözüm olması hedeflenmektedir. Farklı boyut ve özelliklere sahip nanoakışkanlar(su-alumina ve su-bakıroksit) farklı hacimsel konsantrasyonlarda(% 1 ve % 2) hazırlanarak deneysel olarak araştırılacak ve bu parametrelerin ısı transferi üzerine etkisi belirlenecektir. Aynı zamanda kullanılan akışkanlara bağlı özellikler haricinde, 5 Hz ve 8 Hz frekans değerleri için farklı genliklerde deneyler tekrarlanarak akış özelliklerinin ısı transferine olan etkisi de incelenecektir.



## 2. DENEY METODU

### 2.1. Deney Düzenegi

Çalışmalar süresince kullanılan deney düzenegini oluşturmak, çalışmanın ilk aşaması olmuştur. Deney düzeneginde kullanılan bileşenleri sıralamak gerekirse, sıcak ve soğuk rezervuarları birbirine bağlayan dikey olarak konumlanmış bir kılcal boru demeti, alt tarafta bulunan soğuk akışkana ait rezervuara titreşim uygulayan titreşim cihazı, titreşim üreticine bağlı yükseltici, gerekli ölçüm cihazları ve veri toplayıcı olarak tanımlanabilir. Sistemde akışkanla dolu olan kısım olan rezervuarlar ve boru demetinin tasarım aşamasında yapılan teknik çizimi EK 1’de sunulmuştur. Sistemin temsili şekli Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Deney düzenegi şematik görünümü.

Deney düzeneği tasarlanırken üst kısımdaki sıcak, alt kısımdaki soğuk rezervuar ve iki rezervuarı birbirine bağlayan kılcal boru demetini çevreleyen boru akrilik borulardan kesilerek hazırlanmıştır. Bu malzeme seğimi sayesinde sistem şeffaflığı sağlanmış ve deney esnasında akışkanın gözle görölmesine olanak sağlanmıştır. Rezervuarlara oranla daha dar yarı çapa sahip akrilik borunun içerisine, sıkıştırılarak 55 adet 1.5 mm yarıçapına sahip cam borular yerleştirilmiştir. Kılcal boru demetinin genel görölütüsü Resim 2.1’de verilmiştir. Rezervuarlar ile kılcal boru demetini birbirlerine bağlayan akrilik boru, pirinç tek taraflı nipeller sayesinde rezervuarlara bağlanmıştır ve aynı zamanda tek taraflı nipellere geçirilen plastik conta sayesinde sızdırmazlık sağlanmıştır.



Resim 2.1 : Kılcal boru demeti görölütüsü.

Gerekli ölçümleri alabilmek için sıcak ve soğuk rezervuara ölçüm aletlerinin girişi için delikler açılmıştır. Açılan deliklerden sızdırma sorunu yaşanacağından, bu delikler pnömatik hortum bağlantı elemanları kullanarak sızdırmaz hale getirilmiş aynı zamanda tak-çıkar kolaylığı sağlanmıştır. Toplam olarak soğuk rezervuarda üç, sıcak rezervuarda ise bir adet delik bulunmaktadır. Soğuk rezervuara açılan üç delikten ilki, iki adet ısılıçift girişi için, ikincisi ise hidrofon girişi için ve sonuncusu akışkanı doldurmak için kullanılırken, sıcak rezervuardaki tek delik iki adet ısılıçift girişi için kullanılmıştır. Kullanılan ısılıiftler akışkan içerisinde duracağı için olabilecek paslanma problemini engellemek adına “K tipi” olarak seçilmiştir. Öte

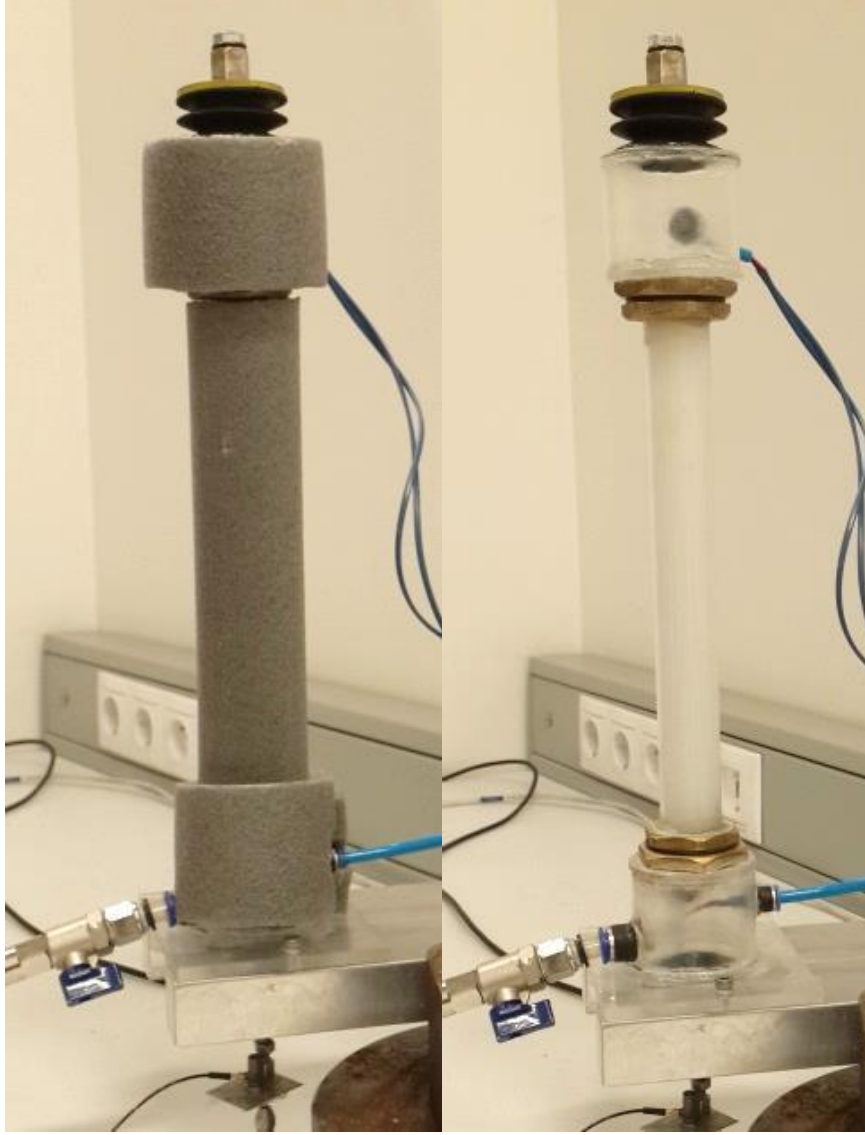
yandan akışkanı sisteme doldurma işlemi için alt rezervuara delik açılmasının sebebi ise, akışkanı alt kısımdan düşük debi ile doldurarak oluşan hava kabarcıklarını yükselen akışkan ile birlikte yukarı doğru itmek ve dışarıya atmaktır.

Her rezervuar için 2 adet ısılıçift kullanımının sebebi ise alınacak ölçümlerin ortalamalarının alınması ile hata payını en aza indirmeyi hedeflemektir. Isılıçiftler veri toplayıcı cihaza bağlanmıştır ve cihazın bilgisayar kontrollü çalışabilmesi sayesinde, bilgisayar üzerinden termokulplardan okunan değerler anlık olarak görüntülenebilmekte ve kaydedilebilmektedir.

Sıcak rezervuarın üst yüzeyi ve soğuk rezervuarın alt yüzeyi ilk başta esnek zar ile kaplanmış fakat yapılan testler sonucu uzun süreli kullanımda zarların esnekliğin artması ve yüksek genliklere dayanamayıp yırtılması sebebiyle sonuçlarda hataya yol açtığı gözlemlenmiştir. Bunun üzerine esnek zarlar sökülerek körük kullanımına geçilmiştir. Körük kullanımında sonuçları etkileyecek olumsuz bir etki gözlemlenmediği için deneylerde körük sistemi kullanılmıştır. Oluşturulan sistemin son hali Resim 2.2’de gösterilmektedir.

Resim 2.2’de soğuk rezervuarın alt kısmına bağlı olan titreşim iğnesi görülmektedir. Titreşim iğnesi soğuk rezervuarın alt kısmına yapıştırılan vida ve conta yardımıyla sabitlenmiştir. Titreşim iğnesinin diğer ucu, deney düzeneğinin bağlı bulunduğu masanın altına konumlandırılmış çelik gövde yardımıyla sabitlenen titreşim üreticine bağlıdır. Titreşim üreticinin masanın altına ayrı bir gövde üzerine konumlandırılmasının sebebi, titreşim üreticini deney düzeneğinin üzerinde bulunduğu masa ile temas etmemesini sağlamak ve bu sayede masanın dolayısıyla deney düzeneğinin deney süresince sallanmasını engellemektir.

Soğuk akışkan rezervuarı Resim 2.2’de görüldüğü üzere ayrı bir kalın metal plakaya açılan deliklere vidalanarak sabitlenmiştir. Kılcal boru demeti ve akışkan rezervuarları bu sayede ayrı bir metal gövdeye sabitlenmiş olup, sistemin kendi titreşimi en aza indirgenmiştir.



Resim 2.2 : Akışkanın doldurduğu sistemin ısı yalıtımlı ve yalıtımsız görüntüsü.

Resim 2.3'te görüldüğü üzere, sisteme titreşim soğuk rezervuarın alt kısmında bulunan titreşim üreticinin iğnesi yardımı ile uygulanmaktadır. Titreşim üretici olarak Brüel & Kjaer marka 4824 model titreşim üretici kullanılmaktadır. Cihaz hem bilgisayara hem de güç yükselticisine bağlı bulunmaktadır. RT Pro Photon yazılımı sayesinde üretilecek sinyalin çeşidi, frekansı ve genliği gibi parametreler bilgisayar üzerinden seçilerek sisteme uygulanmaktadır. Aynı yazılıma soğuk rezervuarda takılı olan hidrofon(Brüel & Kjaer – 2739243) ve titreşim üreticinin iğnesinin üzerine yerleştirilen ivmeölçer(Brüel & Kjaer 4394) de bağlanarak, bu ölçüm cihazlarından gelen basınç ve ivme sinyalleri bilgisayara deney süresince kaydedilmektedir. Daha sonra deney esnasında kaydedilen verilerde oluşan “gürültü” yine cihaz yazılımının



içerisinde bulunan “sinyal işleme” arayüzü sayesinde uygun filtre uygulanarak gürültülerden temizlenir ve hesaplamalar için kullanılacak hale getirilir.



Resim 2.3 : Soğuk rezervuar görüntüsü.

Son olarak kurulan deney düzeneğinin tüm bileşenleri ile birlikte görüntüsü Resim 2.4’te verilmiştir.



Resim 2.4 : Deney düzeneğinin genel görüntüsü.

Deney düzeneğinde yer alan bileşenlerin listesi EK 2’te verilmiştir.

## 2.2. Nanoakışkanların Hazırlanması

Yapılan tez çalışmaları süresince üç farklı nanoakışkan çeşidi kullanılmıştır. Bunlardan ilki “Alfa Easer firmasından temin edilen “Aluminium oxide, NanoDur X1121W %50 wt (45 nm)”, ikincisi US Research Nanomaterials, Inc. firmasından temin edilen “Aluminium Oxide Nanopowder Dispersion %20 wt (10 nm)” ve son olarak US Research Nanomaterials, Inc. firmasından temin edilen “Copper Oxide Water Dispersion %20 wt (25-55 nm)” olarak sıralanabilir. Yukarıda belirtilen üç üründe stabilizasyonu sağlanmış halde hazır olarak satışa sunulmaktadır. Yani nanoakışkan içerisinde bulunan nanoparçacıkların topaklanması veya çökmesi gibi nanoakışkanlarda genel olarak görülen problemlerin gözlenmemesi beklenmektedir. Literatürde, nanoakışkanların stabilizasyonunu iyileştirmek amacıyla nanoakışkan içerisine küçük konsantrasyonlarda sodyum dodesil sülfat [35], karboksimetil selüloz [36], sodyum dodesil benzen sülfat [37] ve nitrik asit [38] gibi farklı kimyasalların eklendiği çalışmalar mevcuttur. Bu tip önceden stabilizasyonu hazırlanarak satışa sunulan ürünler, çoğunlukla içerisinde stabilizasyonu sağlamak amacıyla eklenmiş farklı kimyasallar bulundurmaktadır. Fakat firmalar genellikle nanoakışkanın içerisine eklenen kimyasalları gizlilik gereği açıklamaya sıcak bakmamaktadırlar.

Çalışma dahilinde US Research Nanomaterials, Inc. firmasından temin edilen “Aluminium Oxide Nanopowder Dispersion %20 wt (10 nm)” ve “Copper Oxide Water Dispersion %20 wt (25-55 nm)” ürünleri teslim alındığında stabilizasyonlarının mükemmel düzeyde olmadığı görülmüştür. Nanoakışkan içerisindeki nanoparçacıkların şişelerin dibinde biriktiği gözle görülebilmektedir. Bu problemin üstesinden gelmek için yapılan çalışmalar tezim bu bölümünde belirtilmiştir.

Teslim alınan ürünlerin tümü kütlece yüzdesel konsantrasyonla hazırlanmış oldukları için saf su kullanarak seyreltme işlemi yapmadan önce hacimce yüzdesel konsantrasyona çevirmek gerekmektedir. Bu işlem için aşağıda verilen Eşitlik (2.1) kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan yoğunluk değerleri literatürden [39] alınmıştır.

$$\phi_v = \frac{\phi_w \cdot \rho_w}{\rho_{np} + \phi_w \cdot \rho_w - \phi_w \cdot \rho_{np}} \quad (2.1)$$

$\phi_v$  = Nanoakışkanın hacimce konsantrasyonu

$\phi_w$  = Nanoakışkanın kütlece konsantrasyonu

$\rho_w$  = Suyun yoğunluğu

$\rho_{np}$  = Nanoparçacığın yoğunluğu

Yukarıda verilen eşitlik ile kullanılacak olan nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu hesaplandıktan sonra hazırlanmak istenilen hacimsel konsantrasyon ve toplam hacim belirlenir ve Eşitlik (2.2) ve (2.3) yardımı ile seyreltme işlemi için gerekli hacim değerleri hesaplanır.

$$V_{nf} \cdot \phi_v = V_t \cdot \phi_t \quad (2.2)$$

$$V_w = V_t - V_{nf} \quad (2.3)$$

$\phi_t$  = İstenilen hacimce konsantrasyon

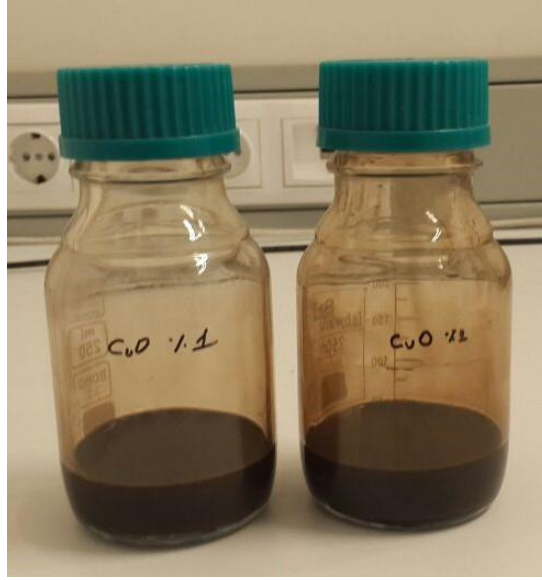
$V_w$  = Eklenecek saf su hacmi

$V_t$  = İstenilen toplam hacim

$V_{nf}$  = Eklenecek nanoakışkan hacmi

Hazır alınan nanoakışkanlar stabil hale getirilmek için içerisine çeşitli kimyasallar eklenerek hazırlanmış akışkanlar olduklarından, yukardaki adımlar süresince dışardan saf su eklenmesi sebebiyle nanoakışkanın stabilizasyon problemi yaşaması beklenebilir bir problemdir. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla belirlenen konsantrasyonda hazırlanan nanoakışkan öncelikle manyetik karıştırıcı yardımı ile 30 dakika süreyle mekanik karıştırmaya tabi tutulur, daha sonra ultrasonik banyo içerisinde iki saat boyunca ultrasonik titreşimlere maruz bırakılarak nanoparçacıkların birbirinden ayrılması sayesinde olası topaklanma ve çökme

problemi ortadan kaldırılır. Hazırlanan nanoakışkanların örnek görüntüsü Resim 2.5’de verilmiştir.



Resim 2.5: Su-CuO nanoakışkanları örnekleri.

Deneyler için kullanıma hazırlanan akışkanlardan 200 ml’lik bir kısmı ayrı bir şişeye konulur ve manyetik karıştırıcı yardımı ile 60 °C’a kadar ısıtılır. Manyetik karıştırıcının ısıtma işlemi sırasında kullanılmasının amacı, akışkanın içerisine konulan “balık” yardımıyla ısınırken, bir yandan da sürekli karışmasını sağlamak ve bu sayede akışkan sıcaklığının akışkanın her yerinde aynı olmasını sağlamaktır. Balık akışkana konmadığı takdirde karışma etkisi olmayacağından, akışkana sadece şişenin alt tarafından ısı uygulanmış olunur ve bu durumda akışkan sıcaklığı net olarak ölçülemez. Isıtma işlemi sırasında nanoakışkanların içerisinde bulunduğu şişelerin ağız kısmına plastik kapak yerleştirilmiştir. Bu plastik kapak üzerine açılan delik içerisinden ısı çift kablosu akışkan içerisine yerleştirilerek, akışkanın sıcaklığı anlık olarak ölçülmüştür.

Oda sıcaklığında (23 °C) olan nanoakışkan soğuk akışkan rezervuarı ve kılcal boru demetine, sıcak olan akışkan ise sıcak akışkan rezervuarına doldurularak nanoakışkanlar deney için tamamen hazırlanmış olunur. Hazırlanan akışkanlarla doldurulacak olan rezervuarlar ve kılcal boru demetinin genel görüntüsü Resim 2.6’da verilmiştir.



Resim 2.6 : Rezervuarlar ve kılcal boru demetinin genel görüntüsü.

Nanoakışkanın sıcaklığına üst limit belirlememizin sebebi, nanoakışkanın içerisinde bulunan ve stabilizasyon için kullanılan kimyasalların belirlenen üst limitten sonra buharlaşmaya başlaması sebebiyle nanoakışkanda çökelmelere sebep olmasıdır. Nanoakışkanlar daha yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmış fakat çökeltme gözlemlenmesi sebebiyle daha sonra 60 °C ısıtılacak akışkanlar için üst limit olarak belirlenmiştir.

% 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar hazırlamak için kullanılan sayısal veriler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Nanoakışkanlar hazırlanırken kullanılan hacim verileri.

<b>Akışkan</b>	<b>Su Hacmi ( ml )</b>	<b>Nanoakışkan Hacmi ( ml )</b>	<b>Toplam Hacim ( ml )</b>
<b>Su-alumina (45nm - %1)</b>	475.1	24.9	500
<b>Su-alumina (45nm - %2)</b>	450.2	49.8	500
<b>Su-alumina (10nm - %1)</b>	415.4	84.6	500
<b>Su-alumina (10nm - %2)</b>	330.7	169.3	500
<b>Su-bakıroksit (25-55nm - %1)</b>	368.4	131.6	500
<b>Su-bakıroksit (25-55nm - %2)</b>	236.8	263.2	500

Çizelge 2.1’de gösterilen veriler hesaplanırken olası hataları önlemek ve kolaylık sağlamak amacıyla yazılan MATLAB kodu, EK 3’de verilmiştir.

### **2.3. Nanoakışkanların Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi**

Yapılan çalışmalar dâhilinde, nanoakışkanların ısı iletim katsayıları ve dinamik viskozite değerleri ölçülmüştür.

#### **2.3.1. Isıl iletim katsayısı ölçümü**

Isıl iletim katsayısı ölçümleri, “KD2 Pro Thermal Properties Analyzer” cihazı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz iki elemandan oluşmaktadır, bunlardan ilki cihazın iğnesi olup ikincisi ise kontrolör modülüdür. Kontrolör modülü pil, 16 bit mikro denetleyici / AD dönüştürücü ve güç kontrol devresinden oluşmaktadır. Cihaz

seti dahilinde farklı ölçüm aralıklarına sahip iğneler bulunmaktadır. Çalışma dahilinde yapılan ölçümlerde 0.2 W/mK- 2 W/mK ölçüm aralığına sahip “KS-1” kodlu iğne kullanılmıştır. KS-1 60 mm uzunluğunda ve 1.3 mm çapında paslanmaz çelikten yapılmıştır. Bu iğne bir ısıtma elemanı ve termistörden oluşmaktadır. Her yapılan ölçüm toplam 90 saniye sürmektedir. İlk 30 saniye boyunca cihaz, iğne sıcaklığının ve akışkan sıcaklığının tamamen eşitlenmesi için bekler daha sonra sensör iğnesi vasıtasıyla 30 saniye boyunca akışkana ısı uygular, son 30 saniyelik kısımda ise ısı uygulaması sonlanır ve cihaz soğuma işlemi için bekler. Ölçüm süresinceki sıcaklık değerlerini sensör iğnesi okur ve bu veriler kontrolör modülünde aşağıda verilen Eşitlik (2.4) kullanılarak akışkanın ısı iletim katsayısı hesaplanır.

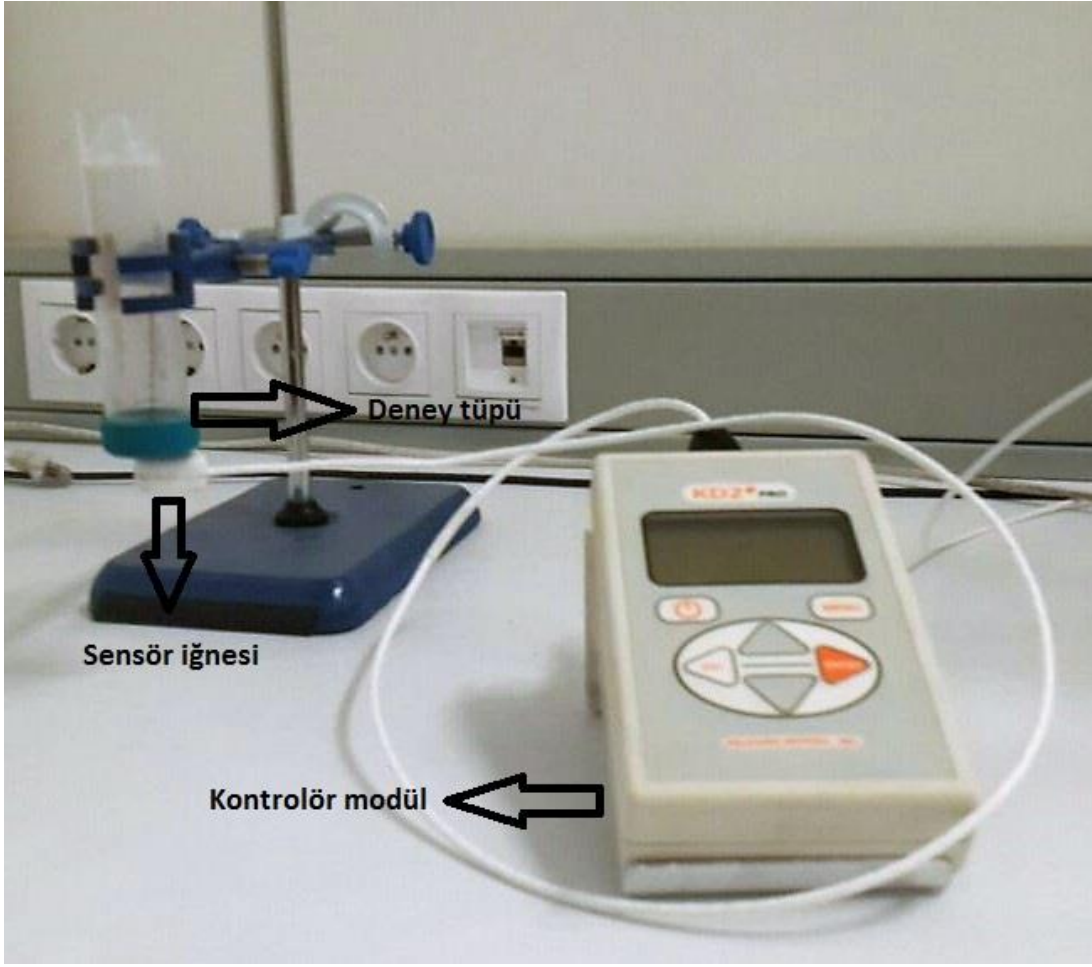
$$k = \frac{q(\ln t_2 - \ln t_1)}{4\pi(\Delta T_1 - \Delta T_2)} \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'de q iğne tarafından uygulanan sabit ısı akısını,  $\Delta T_1$  ve  $\Delta T_2$  ise  $t_1$  ve  $t_2$  anlarındaki sıcaklık farkını temsil etmektedir.

Ölçüm yapılmak istenen akışkan tercihen 50 ml'lik bir tüpe konur ve tüpün kapağından içeri ölçüm cihazının iğnesi akışkanın içerisine yerleştirilir. Temel olarak ekipmanlar ölçüme hazırlanmış olur fakat ölçüm yaparken dikkat edilmesi gereken bir kaç madde vardır.

İlk olarak ölçüm yapılacak akışkanın tamamen durağan olması gerekmektedir ve akışkan sıcaklığının homojen olması büyük önem taşımaktadır. Mekanik karıştırma ve ultrasonik titreşimlere maruz bırakma işleminin hemen ardından ısı iletim katsayısına sabit tutulan nanoakışkanların ölçüm sonuçlarının birbirinden farklı çıktığı görülmüş ve nanoakışkanlar ölçüm öncesi 15 dakika kadar ölçüm kabı içerisinde bekletilmiştir.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer faktör ise akışkan dolu kabın, sensör iğnesinin ve düzeneğin üzerinde durduğu masanın veya ortamın tamamen sabit olmasıdır. Ölçüm için tasarlanan deney düzeneği Resim 2.7'de gösterilmiştir.



Resim 2.7 : Isıl iletim katsayısı ölçümü düzeneği.

Resim 2.7’de görüldüğü üzere, akışkanla doldurulacak olan 50 ml’lik tüp kısıkaçlar yardımı ile sabitlenmiştir. Bunun sebebi olası titreşimleri engellemektedir. Ayrıca tüp ters olarak yerleştirilmiştir ve sensör iğnesi tüpe alt kısımdan girmektedir. Bunun sebebi ise tüp içerisindeki akışkanın tamamen iğne ile temas etmesidir. Ek olarak ölçüm esnasında ölçüm ekipmanlarının üzerinde bulunduğu ortama her hangi bir sarsıntı oluşmaması için temas edilmemesine özen gösterilmiştir.

### 2.3.2. Dinamik viskozite ölçümü

Viskozite ölçümlerinde “Brookfield DV3TLV” cihazı kullanılmıştır. Cihaz temelde üç parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar kontrolör, cihazın alt kısmına takılan akışkanın haznesi ve son olarak kontrolöre takılan mil olarak tanımlanabilir. Ölçüm yapılacak akışkanın beklenen viskozite değerine göre uygun viskozite ölçüm



aralığına sahip olan mil seçilir. Bu çalışmada, 0.1 – 3000 cP ölçüm aralığına sahip olan CPA-40Z kodlu mil kullanılmıştır. Cihazın genel görüntüsü Resim 2.8’de verilmiştir.



Resim 2.8 : Viskozite ölçüm ekipmanı.

Ölçümlerde kullanılan cihaz olan DV3TL cihazı belirli dönüş hızlarına sahip hassas bir tork ölçerdir. Ana gövde yani kontrolör, kalibre edilmiş berilyum – bakır bir yaya sahiptir, tahrik mekanizmasını dönen bir mile bağlayan kalibre edilmiş berilyum-bakır yaydan oluşan tork ölçüm sistemi, mil ile sabit bir düz plaka yani akışkan haznesi arasındaki akışkanının varlığından kaynaklanan dönüş direnci oluşur. Milin dönüşüne karşı oluşan direnç, akışkandaki kayma gerilimi ile orantılı olan bir tork üretir. Kontrolör tarafından algılanan tork değeri, mil uzunluğu, mil yarıçapı, hazne

yarıçapı, milin dönüş hızı ve kayma hızının hesaplandığı radyal konum değerleri kullanılarak akışkanın viskozitesi hesaplanır.

### 3. VERİ ANALİZİ

Çalışma dahilinde hesaplanan temel parametreler etkin ısıl yayılım katsayısı ve anlık ısı transferi değerleridir.

#### 3.1. Etkin Isıl Yayılım Katsayısı Hesabı

Etkin ısıl yayılım katsayısı hesabı için gerekli olan eşitliği elde etmek amacıyla öncelikle soğuk rezervuar için, enerjinin korunumu ifadesi yazılmıştır (Eşitlik 3.1). Bu ifade elde edilirken, yalnızca dikey yönde tek boyutlu ısı iletimi olduğu, ısı üretimi olmadığı ve termofiziksel özelliklerin sabit olduğu kabulleri yapılmıştır.

$$kA \frac{T_h - T_c}{L} = \rho c_p V \frac{dT_c}{dt} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’de belirtilen enerjinin korunumu ifadesi kullanılarak etkin ısıl yayılım katsayısı değeri çekilirse, hesaplamalarımızda kullanılan Eşitlik 3.2 elde edilir.

$$\alpha_e = \frac{VL}{A} \frac{dT_c}{dt} \frac{1}{(T_h - T_c)} \quad (3.2)$$

$V$  = Soğuk rezervuar hacmi

$L$  = Kılcal boru uzunluğu

$A$  = Toplam akışkan kesit alanı

$T_c$  = Soğuk rezervuardaki anlık akışkan sıcaklığı

$T_h$  = Sıcak rezervuardaki anlık akışkan sıcaklığı

Hesaplamalar için gerekli olan soğuk rezervuar hacmi, kılcal boru uzunluğu, toplam akışkan kesit alanı önceden yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Anlık sıcaklık ölçümleri ise rezervuarlara yerleştirilen ısı çiftleri sayesinde yapılmıştır.

Toplam akışkan kesit alanı, kılcal boruları çevreleyen büyük borunun iç kesit alanından kılcal boruların et kalınlığının alanı çıkarılarak hesaplanmıştır.

$$A = \frac{\pi}{4} \left[ d_{boru}^2 - n(d_d^2 - d_i^2) \right] \quad (3.3)$$

### 3.2. Anlık Isı Transferi Hesabı

Sıcak ve soğuk akışkan rezervuarları arasındaki anlık ısı transferi değerini hesaplamak için tek boyutlu Fourier ısı iletim yasası kullanılmıştır. Bahsi geçen denklem Eşitlik 3.4'te verilmiştir.

$$q = \rho c \alpha_e A \frac{T_h - T_c}{L} \quad (3.4)$$

$\rho$  = Kullanılan akışkanın yoğunluğu

$c_p$  = Özgül ısı

$A$  = Etkin akış alanı

Eşitlik 3.2 kullanılarak Eşitlik 3.4 yeniden düzenlenmiştir ve hesaplamalarda kullanılan denklemin son hali elde edilmiştir.

$$q = \rho c_p V \frac{dT_c}{dt} \quad (3.5)$$

$V$  = Soğuk rezervuar hacmi

Soğuk rezervuar sıcaklığının zamana bağlı türevi kaydedilen soğuk rezervuar sıcaklığı verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama esnasında türev ifadesi için birinci derece zamanda ileri farklar yöntemi kullanılmıştır (Eşitlik 3.6).

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{T_c^{i+1} - T_c^i}{\Delta t} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.5'te kullanılan yoğunluk ve özgül ısı değerleri, aşağıda verilen Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8 kullanılarak basit karışım modelleriyle hesaplanmıştır.

$$\rho_{nf} = \phi \rho_{np} + (1 - \phi) \rho_{bf} \quad (3.7)$$

$\phi$  = Hacimsel nanoparçacık konsantrasyonu

$\rho_{nf}$  = Nanoakışkan yoğunluğu

$\rho_{bf}$  = Temel akışkan yoğunluğu

$\rho_{np}$  = Nanoparçacık yoğunluğu

$$(c_p)_{nf} = \frac{\phi(\rho c_p)_p + (1-\phi)(\rho c_p)_{bf}}{\rho_{nf}} \quad (3.8)$$

$c_{p_{nf}}$  = Nanoakışkan özgül ısısı

$c_{p_{bf}}$  = Temel akışkan özgül ısısı

Örnek bir deney için elde edilen veriler ve hesaplamalar, EK 4'te verilmiştir.



#### 4. SONUÇLAR

Yapılan deneylerde titreşim frekansının, kullanılan nanoakışkan çeşidinin, nanoparçacık boyutunun ısı transferi üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca titreşim hareketinin genliği ve frekans sabit tutularak yapılan deneylerle, birim ısı transferi için harcanan güç değerlerine bakılarak sistemin verimli olduğu aralık tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sonuçlar kısmı kendi içerisinde sekiz alt başlıktan oluşmaktadır. Bölüm 4.1’de, deney aşamasına geçilmeden önce hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri incelenmiştir. Bölüm 4.2’de ısı transferinin zamana bağlı değişimi, Bölüm 4.3’te nanopartikül özelliklerinin ısı transferine etkisi, Bölüm 4.4’te hesaplanan etkin maksimum ısı yayılım katsayısının titreşim genliği ile değişimi incelenmiştir. Bölüm 4.5’te hesaplanan maksimum etkin ısı yayılım katsayısının literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bölüm 4.6’da hesaplanan etkin Prandtl sayısının titreşim genliği ile değişimi incelenmiş, Bölüm 4.7’de deneylerde elde edilen toplam ısı transferinin ve hesaplanan Womersley sayısı ilişkisi incelenmiş ve son olarak Bölüm 4.8’de sistemde harcanan enerji ve ısı transferi ilişkisi ele alınarak sistemin verimli olduğu aralık belirlenmiştir.

Farklı titreşim frekanslarıyla yapılan deneylerin parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’de, yapılan deneylerde akışkan olarak kullanılan saf su, su-alumina (45 nm - % 1, % 2), su-alumina (10 nm - % 1, % 2) ve su-bakıroksit (25-55 nm - % 1, % 2) nanoakışkanlarına ait titreşim frekansları, uygulanan gerilim değerleri, uygulanan güç değerleri ve uygulanan titreşim frekansı değerleri çizelge halinde sunulmuştur. Frekans ve gerilim değerleri sarsıcının yazılımı ile belirlenmiş, uygulanan güç değeri güç yükselticinin ekranından okunan gerilim ve akım değerleri ile hesaplanmış ve titreşim genliği değeri ise ivme ölçer ile deney esnasında kaydedilen sisteme ait ivme sinyali girdileri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 : Gerçekleştirilen deney parametreleri.

<i>Akışkan Türü</i>	Frekans (Hz)	Uygulanan Gerilim (V)	Uygulanan Güç P (W)	Titreşim Genliği $\Delta S$ (mm)	
<i>Saf su</i>	5	2	0.84	5.1	
		3	1.86	7.5	
		4	3.69	9.5	
	8	2	1.05	1.9	
		3	2.17	2.9	
		4	4.10	3.8	
				$\phi_v=0.01$	$\phi_v=0.02$
<i>Su - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10 nm)</i>	5	2	0.84	4.2	4.0
		3	1.86	5.6	5.4
		4	3.69	8.0	7.8
	8	2	0.84	1.7	1.7
		3	1.86	2.7	2.6
		4	3.69	3.6	3.4
<i>Su - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (45 nm)</i>	5	2	0.84	5.1	4.9
		3	1.86	7.4	6.9
		4	3.69	9.4	9.1
	8	2	0.84	1.8	1.7
		3	1.86	2.7	2.5
		4	3.69	3.6	3.3
<i>Su - CuO (25-55 nm)</i>	5	2	0.84	4.5	4.5
		3	1.86	6.1	6.3
		4	3.69	8.8	8.6
	8	2	0.84	1.7	1.6
		3	1.86	2.7	2.5
		4	3.69	3.3	3.1

Titreşim frekansı ve titreşim genliği sabit tutularak yapılan deneylere ait parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Farklı akışkanlarda titreşim genliğini sabit tutabilmek için sürücüyeye uygulanan gerilimin değiştirilmesi gerekmiştir. Söz konusu gerilim değerleri Çizelge 4.2’nin ikinci kolonunda sunulmuştur.



Çizelge 4.2 : 8 Hz sabit frekansta gerçekleştirilen deney parametreleri.

Akışkan Türü	Uygulanan Gerilim (V)		Uygulanan Güç P (W)		Titreşim Genliği ΔS (mm)
	1	2	1	2	
Saf su	1.9		0.76		1.8
	3.0		1.96		2.6
	3.8		3.42		3.5
Su - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (10 nm)	φ <sub>v</sub> =0.0	φ <sub>v</sub> =0.0	φ <sub>v</sub> =0.0	φ <sub>v</sub> =0.0	
	1	2	1	2	
	2.1	2.2	1.00	1.20	1.8
	3.1	3.2	1.96	2.07	2.6
Su - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (45 nm)	4.0	4.1	3.80	4.18	3.5
	2.2	2.3	1.05	1.32	1.8
	3.2	3.1	2.17	2.17	2.6
	4.1	4.1	4.10	4.51	3.5
Su - CuO (25-55 nm)	2.2	2.2	1.32	1.32	1.8
	3.1	3.1	2.48	2.48	2.6
	4.1	3.9	4.00	4.29	3.5

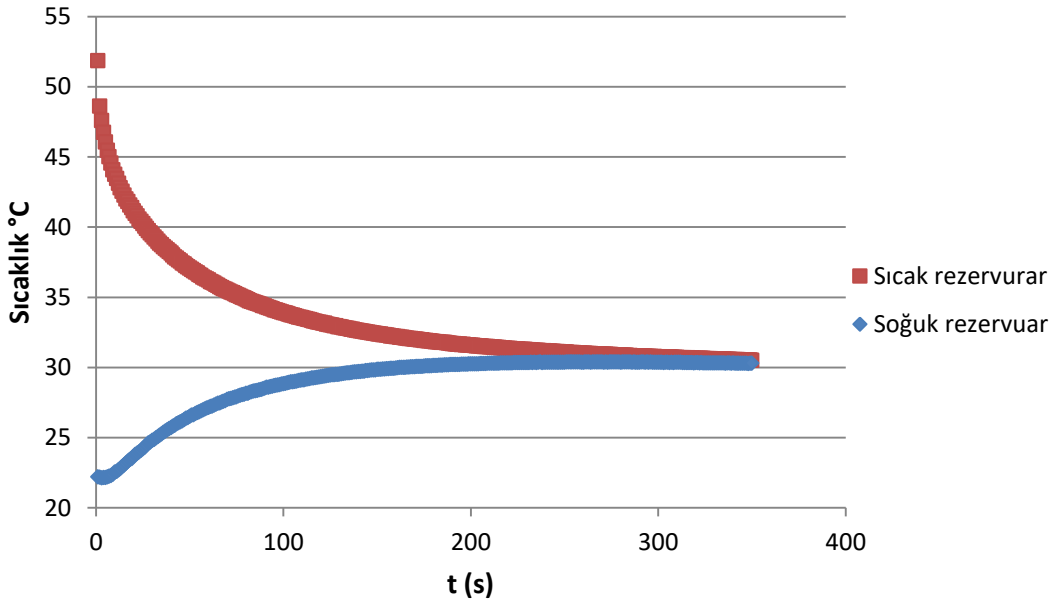
Deneyleerde kullanılan nanoakışkanların yoğunluk, ısıl iletim katsayısı, kinematik viskozite ve Pr sayısı değeri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Akışkanların yoğunluk, ısıl iletim katsayısı, kinematik viskozite ve Pr sayısı değeri.

Akışkan	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/mK)	ν (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Pr
Saf Su	997.1	0.61	1.003	6.851
Su-alumina (45nm - %1)	1026.7	0.62	1.046	7.018
Su-alumina (45nm - %2)	1056.7	0.63	1.122	7.418
Su-alumina (10nm - %1)	1026.7	0.62	1.059	7.064
Su-alumina (10nm - %2)	1056.7	0.63	1.169	7.665
Su-bakıroksit (25-55nm - %1)	1050.1	0.64	1.036	6.750
Su-bakıroksit (25-55nm - %2)	1103.3	0.66	1.092	6.827

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de sunulan tüm deneyler bölüm 5’te bahsedildiği gibi beşer kez tekrarlanarak yapılmış ve sonuçlar hesaplanırken ilgili deneylerin ortalamaları alınmıştır.

Sonuçları alt başlıklarda incelenmeye başlamadan önce, yapılan tüm deneylerde genel davranışının ortak olduğu gözlenen sıcak ve soğuk rezervuarlardaki akışkan sıcaklığın zamana bağlı değişimi incelenmiştir. Örnek deney sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Sıcak rezervuarın sıcaklığı titreşimin başlamasıyla birlikte ani düşüşe uğramaktadır, fakat soğuk rezervuarda daha doğrusal bir sıcaklık değişimi gözlenmektedir. Bunun sebebi iki rezervuarı birbirine bağlayan boru demetinin de soğuk akışkanla dolu olması ve titreşimin başlamasıyla soğuk akışkanın sıcak rezervuarla ani etkileşimidir.



Şekil 4.1 : 5 Hz frekansında  $\Delta S=6.7$  mm titreşim genliğinde saf su akışkanıyla yapılan deney sırasında rezervuarlarda ölçülen sıcaklık değerleri.

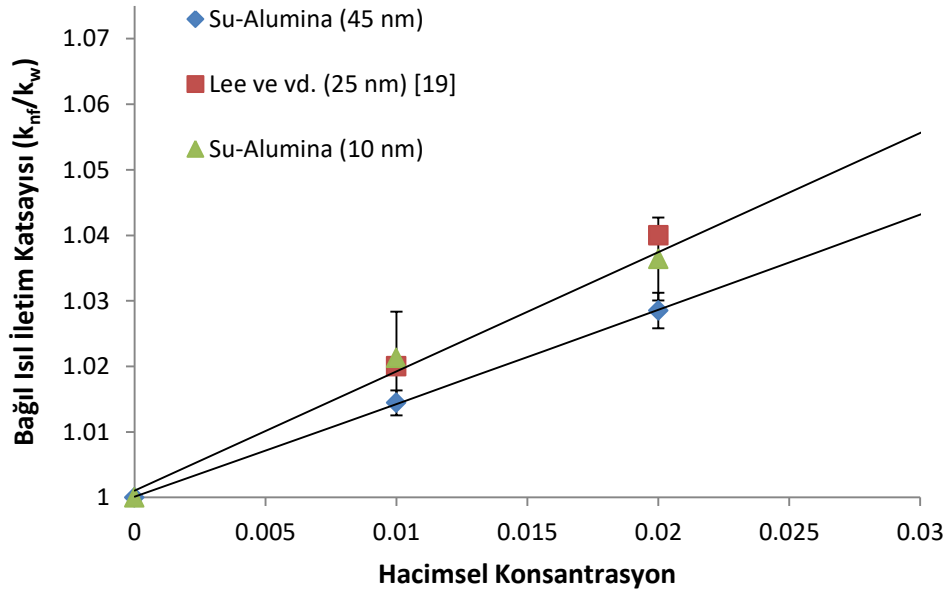
Yapılan bu deneyde, deney süresi 350 saniyedir.  $t=0$ 'da iki rezervuar arası sıcaklık farkı  $29.6$  °C olarak ölçülmüşken,  $t=350$  s anında ise bu fark  $0.2$  °C olarak ölçülmüştür. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, titreşimli akış sayesinde oluşan ısı transferi ile birlikte, yeterli zaman geçtikten sonra sistemdeki ısı denge sağlanmıştır.

#### 4.1. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Deneysel olarak kullanılması planlanan nanoakışkanlar olan Su-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (45 nm), Su-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10 nm) ve Su-CuO (25-55 nm) nanoakışkanlarından % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip 50 ml hacimli örnekler Bölüm 2.2’de bahsedildiği şekilde hazırlanmış ve ölçümler için hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan nanoakışkanların ölçümleri yapılırken hata payını azaltmak için ölçümler oda sıcaklığında (23 °C) beşer kez tekrarlanmıştır.

##### 4.1.1. Nanoakışkanların ısı iletim sayısı katsayıları

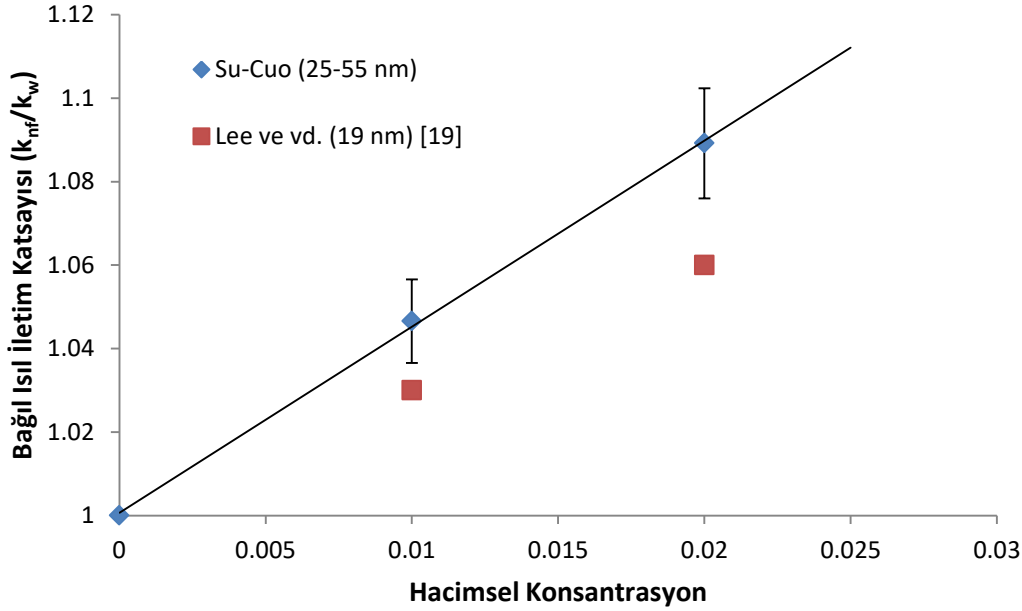
Hazırlanan nanoakışkanların ısı iletim katsayıları “KD2 Pro Thermal Properties Analyzer” cihazı ile ölçülmüş ve sonuçlar standart sapma ile birlikte Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu şekillerde dikey eksen nanoakışkanın sahip olduğu hacimsel nanoparçacık konsantrasyonu olup, dikey eksen ise nanoakışkanın ısı iletim katsayısının saf suyun ısı iletim katsayısına oranıdır.



Şekil 4.2 : Farklı parçacık boyutuna sahip su-alumina nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona bağlı ısı iletim katsayısı oranları.

Su-Alumina (45 nm) nanoakışkanıyla yapılan ölçümlerde ısı iletim katsayısındaki artış % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla % 1.4 ve % 2.8 olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçlarının literatürde bulunan verilerle karşılaştırıldığında kabul edilebilir bir aralıkta olduğu görülmektedir.

Su-alumina (10 nm) nanoakışkanlarının % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyonlara sahip örnekleriyle elde edilen ölçüm sonuçları, ısı iletim katsayısında sırasıyla % 2.1 ve % 3.6 oranında artış elde edildiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar literatürde [19] bulunan verilerle uyusmaktadır.



Şekil 4.3 : Su-bakıroksit nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona bağlı ısı iletim katsayısı oranları.

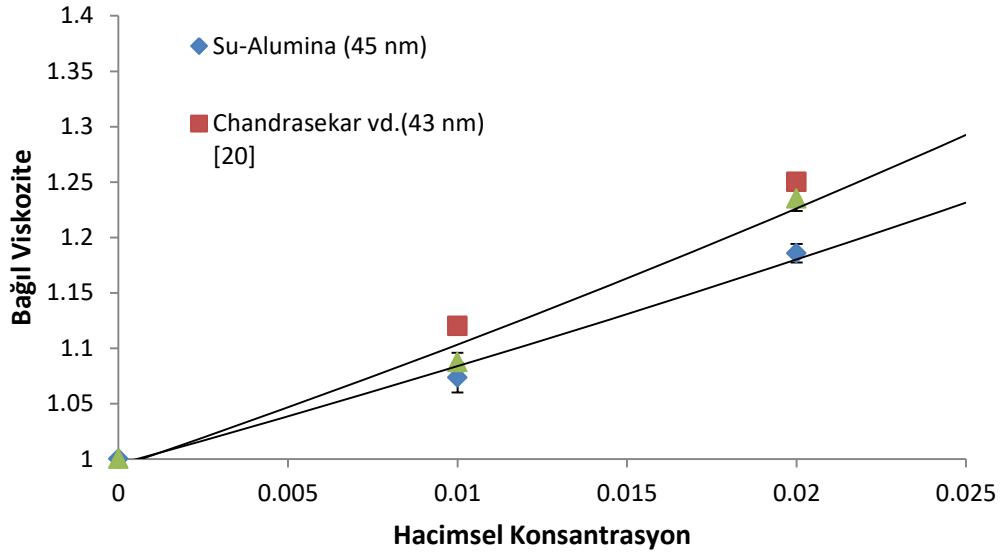
Şekil 4.3'te CuO nanoparçacıklarıyla % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyon oranında hazırlanan nanoakışkanların ısı iletim katsayısı ölçümü sonuçları gösterilmiştir. Isıl iletim katsayılarında % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyonlara sahip akışkanlar için sırasıyla % 4.6 ve % 8.9 oranında iyileşme gözlemlenmiştir. Elde edilen verilerin literatür ile kıyaslaması yapıldığında beklenenden yüksek çıktığı söylenebilir.

Her iki nanoakışkan türü için standart hata hesabı yapılmış ve oluşturulan Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te hata çubukları yardımıyla gösterilmiştir. Yapılan hatalara bakıldığında 10 nm  $Al_2O_3$  içeren nanoakışkanlarda 45 nm  $Al_2O_3$  içeren nanoakışkanlara oranla

hata oranının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca CuO nanoparçacıklarıyla ile hazırlanan nanoakışkanların ölçüm sonuçları literatür ile kıyaslandığında biraz fark olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan hatalar nanoakışkanın stabilitesinin derecesi ile alakalıdır. Çökeltme ve topaklanma problemi ne kadar iyi önlenirse akışkanın kendi içindeki homojenliği artmakta ve akışkanın homojenliği ise ölçüm aletlerinden alınan sonuçların güvenilirliği artırmaktadır.

#### 4.1.2. Nanoakışkanların viskozite değerleri

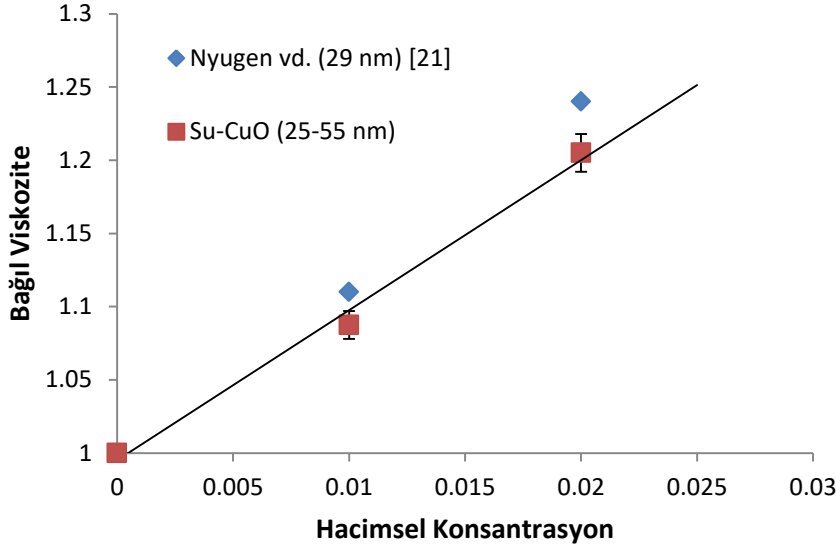
Hazırlanan % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan örneklerinin dinamik viskozite ölçümleri “Brookfield DV3T” cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırmalı bir biçimde, hacimsel konsantrasyona karşılık bağıl viskozitedeki değişim olarak şematize edilmiştir. Bağıl viskozite, nanoakışkanın viskozitesinin, saf suyun viskozitesine oranıdır.



Şekil 4.4 : Farklı parçacık boyutuna sahip su-alumina nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona karşılık bağıl viskozite değerleri.

Su-alumina (10 nm) nanoakışkanıyla gerçekleştirilen ölçümlerde bağıl viskozite değeri, % 1 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan için % 8.7 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan için % 23.5 olarak hesaplanmıştır.

Su-alumina (45 nm) nanoakışkanıyla gerçekleştirilen ölçümlerde ise bağıl viskozite değerindeki artış, % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar için sırasıyla % 7.3 ve % 18.6 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 : Su-bakıroksit nanoakışkanlarının hacimsel konsantrasyona karşılık bağıl viskozite değerleri.

CuO nanoparçacıklarıyla hazırlanmış olan % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanların hesaplanan bağıl viskozite değerleri Şekil 4.5'te görülmektedir. % 1 ve % 2 oranında hazırlanmış nanoakışkanlar için elde edilen viskozite değerlerindeki artış sırasıyla % 8.8 ve % 20.5 olarak hesaplanmıştır.

Her iki nanoakışkan türü için yapılan ölçümler sonuçlar açısından tatmin edici görünmektedir ve literatürle büyük oranda uyum içerisinde. Öte yandan literatürde nanoakışkanların ısı özellikleri ile ilgili bir çok deneysel veri ve korelasyon bulunmasına rağmen hemen hemen hiç bir veri birbiriyle tam olarak uyuşmamaktadır. Bunun sebebi olarak, aslında termodinamik özelliklere etki eden faktörlerin çok çeşitli olmaları gösterilebilir. Yalnızca hacimsel konsantrasyon ve sıcaklık değil, pH değeri, parçacık boyutu, nanoparçacığın şekli, nanoakışkanın üretim metodu ve nanoakışkan stabilizasyonu için nanoakışkana eklenen kimyasallarda nanoakışkanın termodinamik özelliklerini etkileyen faktörler olarak sıralanabilir.

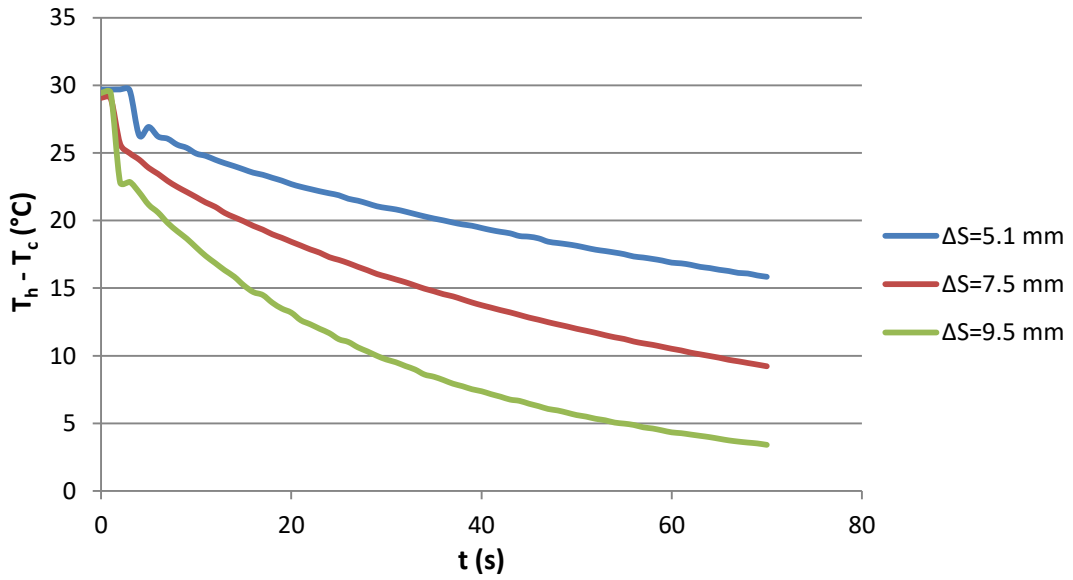
#### 4.2. Isı Transferinin Zamana Bağlı Değişimi

Titreşim frekansı ve titreşim genliği değişiminin ısı transferi üzerine olan etkilerini incelemek üzere 5 Hz ve 8 Hz değerleri deneylerde kullanılmak üzere önceden belirlenmiştir. Saf su ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (45 nm), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10 nm) ve CuO (25-55 nm) kullanılarak hazırlanan % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar ile

5 Hz ve 8 Hz frekans değerleri için deneyler yapılmıştır. Her bir frekans değeri için 3 farklı genlik ile yapılan deneylerden faydalanarak ısı transferinin zamana bağlı değişimi araştırılmıştır. Elde edilen veriler ile hesaplanan ısı transferinin zamana bağlı değişimi, kullanılan akışkan çeşitlerine göre incelenmiştir.

#### 4.2.1. Saf su kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi

Su kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan su deneylerindeki zamana bağlı sıcak ve soğuk rezervuarlara ait sıcaklık farkı değişimi Şekil 4.6'de verilmiştir.

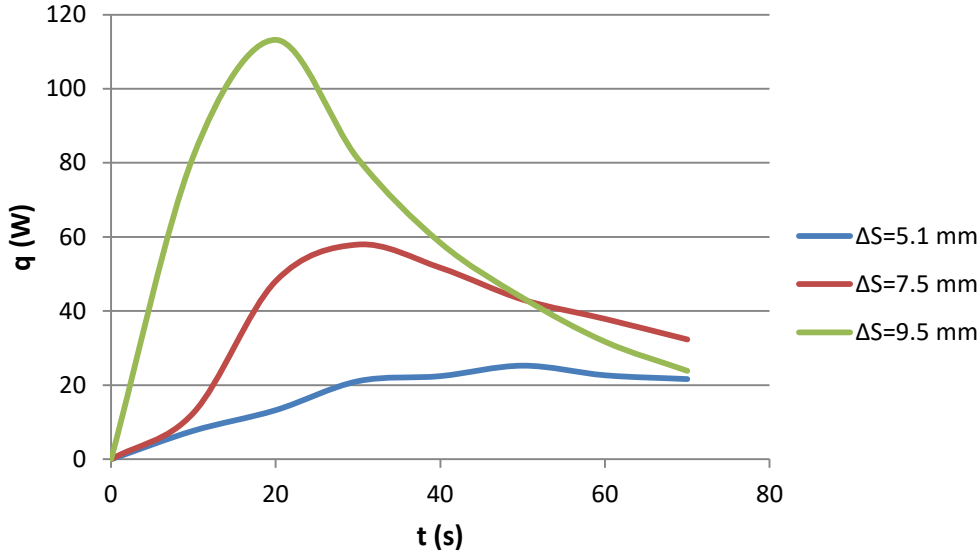


Şekil 4.6 : Su kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan su deneylerindeki zamana bağlı sıcak ve soğuk rezervuarlara ait sıcaklık farkı değişimi.

Rezervuarlar arası sıcak farkının zamana bağlı değişimine bakıldığında, titreşim genliğinin ısı transferi üzerine etkisi daha net görülebilmektedir. Titreşimin sisteme uygulanmaya başlanmasıyla birlikte yani deneyin ilk saniyelerinde, rezervuarlar arası sıcaklık farkının ani düşüşe uğradığı ve daha sonra azda olsa sıcaklık farkının tekrar yükseldiği görülmektedir. Bunun sebebi ilk olarak soğuk akışkanın sıcak rezervuara hücum etmesi ve daha sonra titreşim hareketinin zıt doğrultuda hareket etmesiyle birlikte tekrar hücum eden akışkanın sıcak rezervuardan geri çekilmesidir. İlk anda iki rezervuar arası sıcaklık farkı en yüksek değerde olduğu için bu ufak değişim

gözlenebilir haldedir. Daha sonra sıcaklık farkları yaklaşık sabit hızda değişmiştir. İlk anlardaki sıcaklık farkı düşüşüne bakıldığında, en yüksek titreşim genliği ile yapılan deneyde en büyük düşüş görülmüştür. Deneyin son anı olan  $t=70$  s'de sıcaklık farkları arasında belirgin bir fark oluşmuştur. Bunun sebebi ise anlık ısı transferi değerlerinin yüksek titreşim genliğinde daha yüksek oluşudur. En yüksek titreşim genliği ile yapılan deneylerde  $t=70$  s'de en düşük rezervuarlar arası sıcaklık farkı gözlenmiştir.

5Hz ve 8Hz frekanslarında titreşim üreticisine 2 V, 3 V ve 4 V gerilim uygulayarak yapılmış deney sonuçları kullanılarak hesaplanan zamana karşılık ısı transferi değerleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Su kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

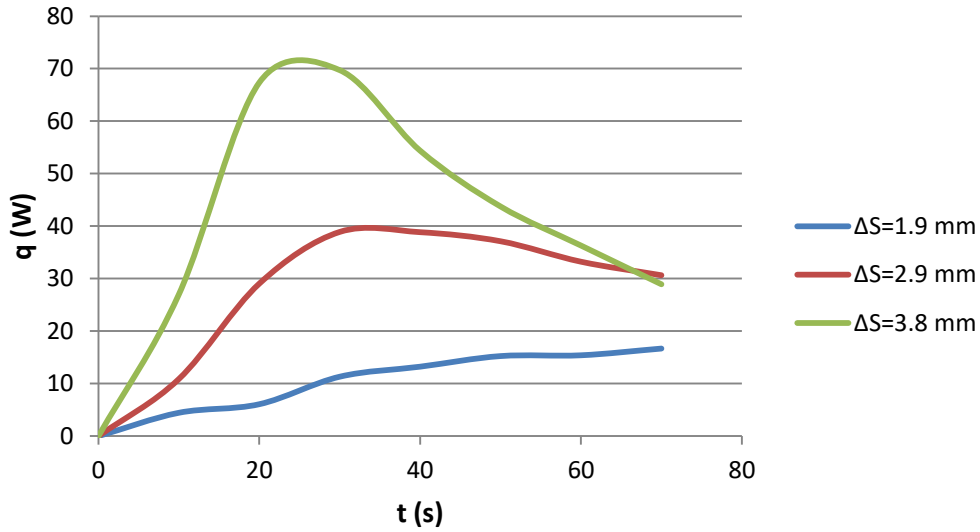
5Hz frekans kullanılarak 3 farklı titreşim genliği değerleri ile yapılan su deneylerinde maksimum anlık ısı transferi 113 W olarak ölçülmüştür. Bu değer, titreşim üreticisine 5 Hz frekans ve 4 V genlik uygulandığında elde edilen  $\Delta S=9.5$  mm titreşim genliği durumunda gözlenmiştir. Uygulanan titreşim genliği,  $\Delta S=7.5$  mm olduğunda ise ulaşılan maksimum anlık ısı transferi 58 W'a kadar düşmüş ve aynı zamanda maksimum değere ulaşma süresi de titreşim genliğinin azalması ile beraber artmıştır. Sisteme uygulanan titreşim genliğinin,  $\Delta S=5.1$  mm olması durumunda ise, deneyin ilk 70 saniyesinde maksimum ısı transferi ancak elde edilmiş fakat maksimum



değerin diğer durumlara göre çok düşük olması sebebiyle, ısı transferi eğrisinin düşüşe geçişi ancak 60 saniye civarında gözlenmiştir.

Güç yükseltici tarafından uygulanan genlik değeri arttıkça, titreşim üreticinin oluşturduğu titreşim genliği de artmaktadır. Öte yandan, sisteme uygulanan titreşim genliğindeki değişim, sistem içerisindeki akış hızını etkilemektedir. Bu sebeple, artan titreşim genliği ile birlikte ısı transferinde artış gözlenmiştir.

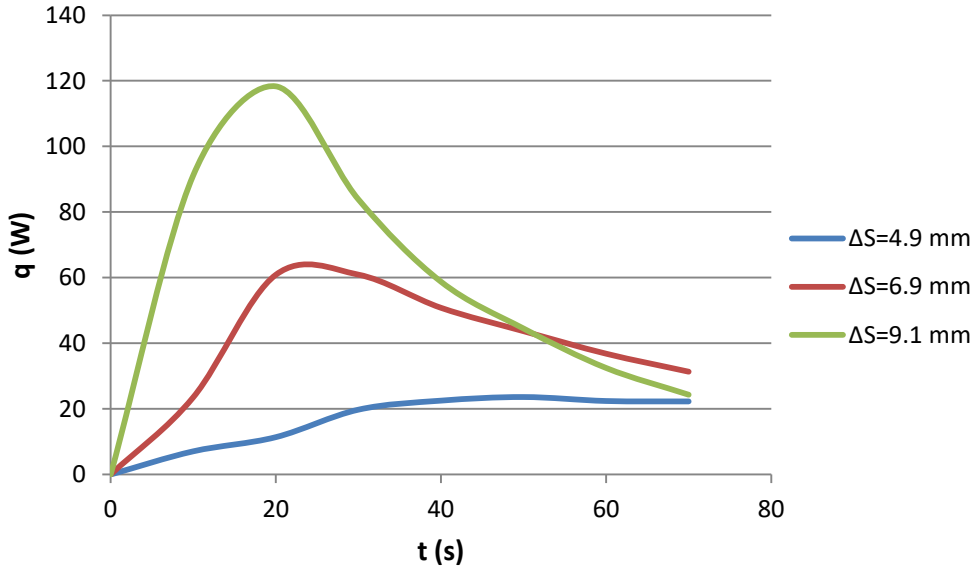
Şekil 4.8'de 8 Hz frekansında 3 farklı titreşim genliği ile yapılan deneyler sonucu elde edilen anlık ısı transferinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. İncelenen durumlar içerisinde en yüksek ısı transferinin yine en yüksek genlik ile yapılan deneylere ait olduğu gözlenmektedir. Titreşim genliğinin azalmasıyla birlikte hem maksimum ısı transferinde düşüş hemde maksimum noktaya ulaşmak için gereken zamanda artış olduğu belirlenmiştir. Titreşim genliğinin  $\Delta S=1.9$  mm olduğu durumda, deneyin 70 saniyelik süresi boyunca henüz ısı transferi değeri maksimuma ulaşamamıştır.



Şekil 4.8 : Su kullanılarak 8 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

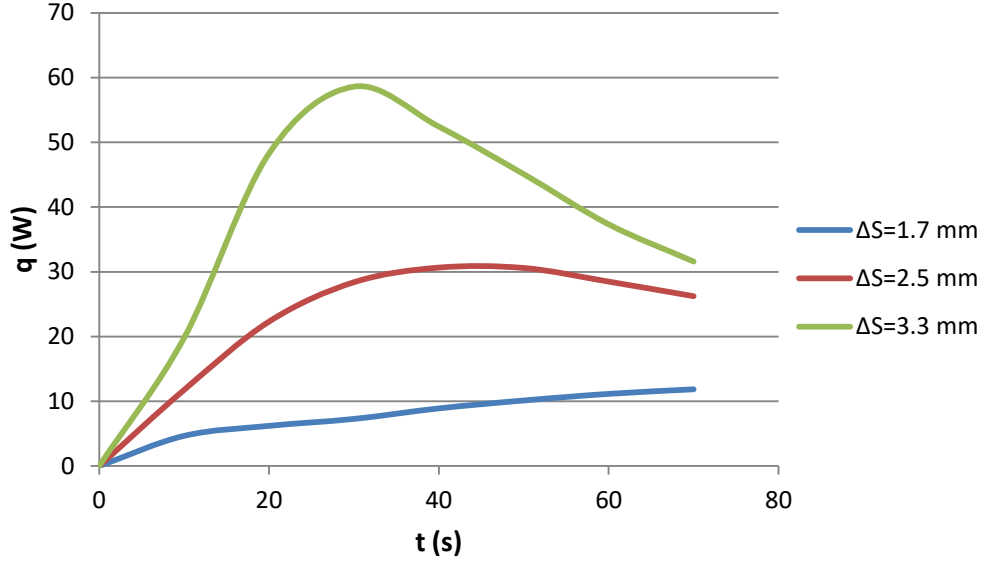
#### 4.2.2. Nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi

% 2 hacimsel konsantrasyonlarda hazırlanmış su- $\text{Al}_2\text{O}_3$  (45 nm) ve su- $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10 nm) nanoakışkanları, 5 Hz ve 8 Hz frekansları ve 2 V, 3 V, 4 V gerilim değerleri kullanılarak incelenmiştir. Hesaplanan anlık ısı transferi değerlerinin zamana bağlı değişimleri ele alınmıştır.



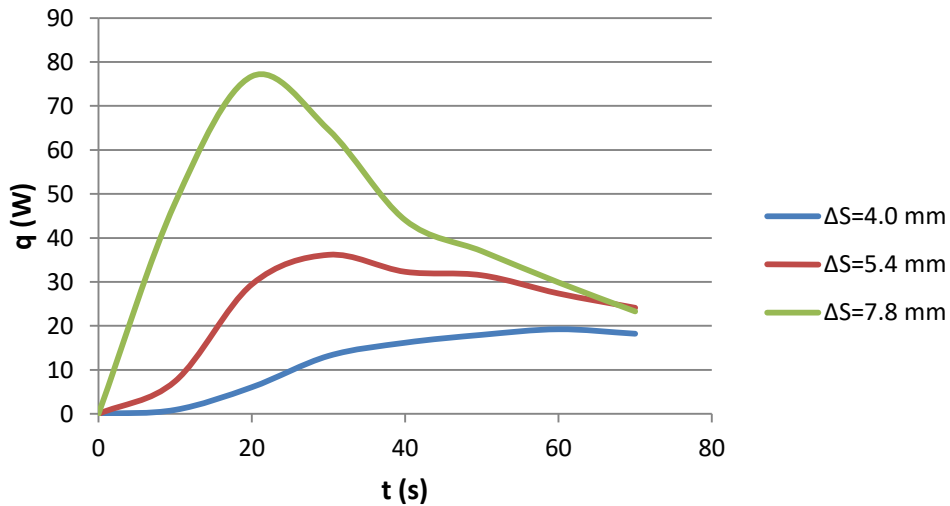
Şekil 4.9 : Su-alumina (45 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

Hacimsel konsantrasyonu % 2 olarak hazırlanmış su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5 Hz frekansı için 3 farklı titreşim genliğinde yapılan deney sonuçları incelendiğinde, akışkan olarak su kullanılan deneylerde varılan sonuçlara benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. En yüksek ısı transferi değeri yaklaşık 120 W ile titreşim genliğinin en yüksek olduğu durumda gözlenirken, titreşim genliğinin azalmasıyla birlikte anlık ısı transferi değerleri de azalmıştır. Aynı zamanda titreşim genliğindeki azalma, ısı transferi değerinin maksimum değerine ulaşmasını yavaşlatmıştır.



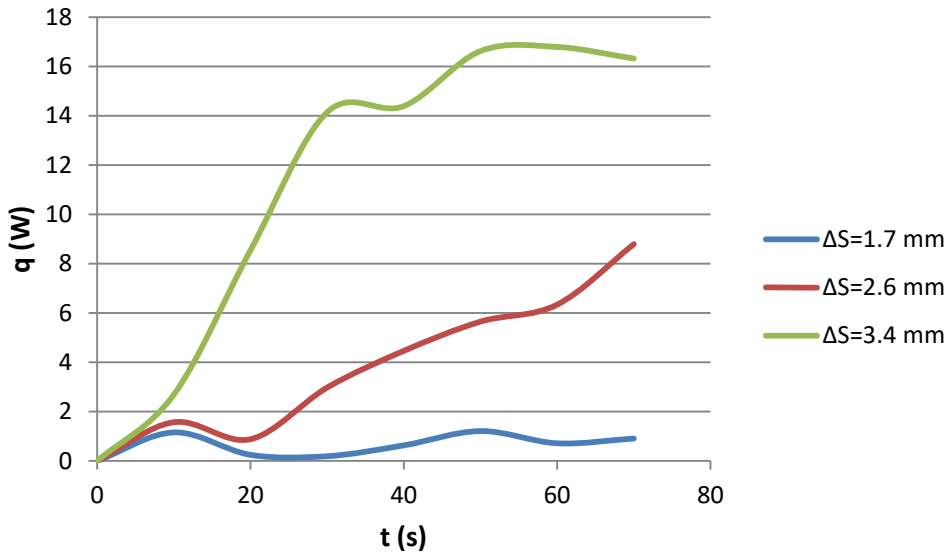
Şekil 4.10 : Su-alumina (45 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 8 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

Hacimsel konsantrasyonu %2 olarak hazırlanmış su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 3 farklı titreşim genliğinde ve 8 Hz frekans değerinde yapılan deney sonuçları ele alındığında, yine uygulanan titreşim genliği ile birlikte maksimum ısı transferinde artış ve maksimum noktaya ulaşmak için gereken zamanda azalma gözlenmiştir.



Şekil 4.11 : Su-alumina (10 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 5 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

Hacimsel oranı % 2 olan su-alumina (10 nm) nanoakışkanı ile 5 Hz’de farklı titreşim genlikleri kullanılarak yapılan deney sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir. Maksimum anlık ısı transferi değeri 77 W olarak en yüksek titreşim genliği olan 7.8 mm uygulanan durumda ölçülmüştür. Titreşim genliğinin 5.4 mm olduğu durumda maksimum ısı transferinin 36 W’a düştüğü görülmektedir. Uygulanan en düşük titreşim genliği olan 4.0 mm değerinin sisteme uygulandığı durumda ise ısı transferi oldukça yavaş oluşum gösterdiği için deneyin ilk 70 saniyesinde maksimum noktaya henüz ulaşmış olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12 : Su-alumina (10 nm-% 2) nanoakışkanı kullanılarak 8 Hz frekansında farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

Hacimsel oranı %2 olan su-alumina (10 nm) nanoakışkanı ile 8 Hz’de farklı titreşim genlikleri kullanılarak yapılan deney sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir. Artan titreşim genliği ile birlikte maksimum ısı transferinin arttığı gözlenebilmektedir. Öte yandan uygulanan titreşim genliğinin çok düşük olması sebebiyle  $\Delta S=2.6$  mm ve  $\Delta S=1.7$  mm durumlarında ısı transferi değerleri çok düşük hesaplanmıştır. Buda rezervuarlardaki sıcaklık değişiminin çok küçük düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda su-alumina (10 nm) nanoakışkanında çökme ve topaklanma gibi problemler gözlenmiştir. Nanoakışkanın stabilizasyon problemine

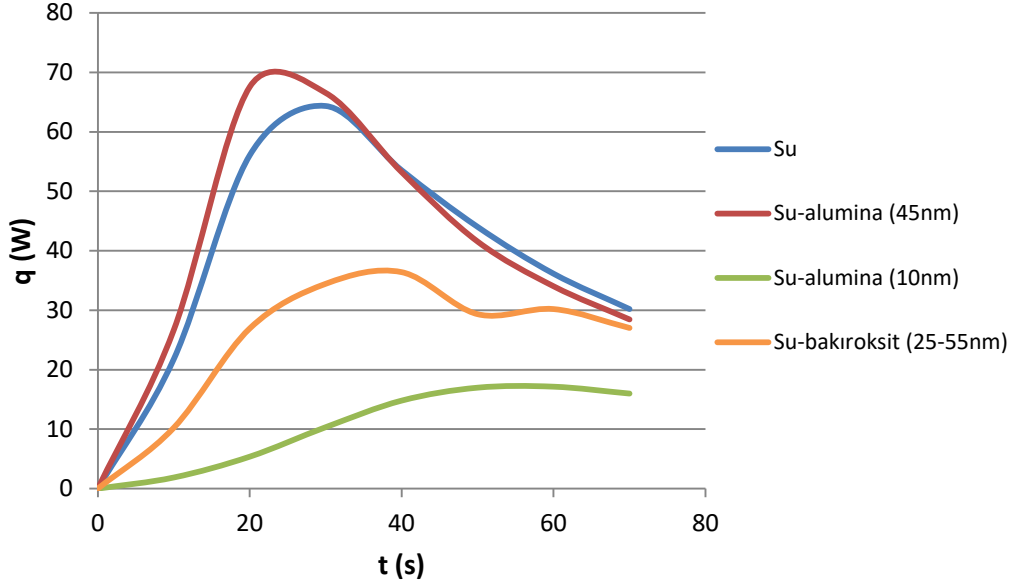
ek olarak artan viskozite ve frekans ile birlikte titreşim genliğinde görülen düşüş sonucu, zamana karşı ısı transferi eğrilerinde belirgin bir davranış gözlenmemiştir. Son olarak, su-alumina (10 nm-%2) nanoakışkanıyla 5 Hz ve 8 Hz frekans değerlerinde yapılmış olan deney sonuçları içerisinde birbirine çok yakın titreşim genliğine sahip  $f=5$  Hz –  $\Delta S=4.0$  mm ve  $f=8$  Hz –  $\Delta S=3.4$  mm noktalarını kıyaslırsak, 5 Hz’de elde edilen maksimum ısı transferinin 20 W ve 8 Hz’de elde edilen maksimum ısı transferinin 17 W olduğu görülmektedir. Artan frekans ile birlikte maksimum ısı transferinde küçük bir düşüş gözlenmiş olsa da, elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olması, uygulanan genlik değerlerinin birbirinden 0.6 mm kadar farklı olması, sabit genlik durumunda frekans değişiminin ısı transferine etkisi hakkında sonuca varmayı zorlaştırmaktadır.

### **4.3. Nanoapartikül Özelliklerinin Isı Transferine Etkisi**

Nanoakışkan özelliklerinin titreşim kontrollü ısı aktarım tüplerinde ısı transferi üzerine etkisini incelemek için su ve % 1, % 2 hacimsel konsantrasyonlarda hazırlanan su- $Al_2O_3$  (45 nm), su- $Al_2O_3$  (10 nm) ve su-CuO (25-55 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5Hz ve 8Hz frekansları için farklı titreşim genliklerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, alt başlıklar altında nanoakışkan tipinin, nanoparçacık boyutunun ve nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun anlık ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir.

#### **4.3.1. Nanoakışkan çeşidinin ısı transferine etkisi**

Nanoakışkan çeşidinin ısı transferi üzerine etkileri incelenmek üzere sabit hacimsel konsantrasyona sahip  $Al_2O_3$  (45 nm),  $Al_2O_3$  (10 nm) ve CuO (25-55 nm) nanoakışkanları kullanılarak sabit frekans ve sabit titreşim genliği değerleri için alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yalnızca nanoakışkan çeşidinin ısı transferi üzerine etkisini gözlemlemek adına frekansın 8 Hz, titreşim genliğinin 3.5 mm ve hacimsel konsantrasyonun % 2 olduğu deney sonuçları irdelenmiştir. Yapılan seçimlerde en önemli nokta, titreşim genliğinin en yüksek olduğu değer için sonuçları karşılaştırmaktır. Bir önceki bölümde de bahsedildiği üzere yüksek titreşim genliklerinde sonuçların davranışlarını incelemek üzere daha fazla netlik elde edilmektedir.



Şekil 4.13 : Su ve % 2 konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 8 Hz frekans ve 3.5 mm genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

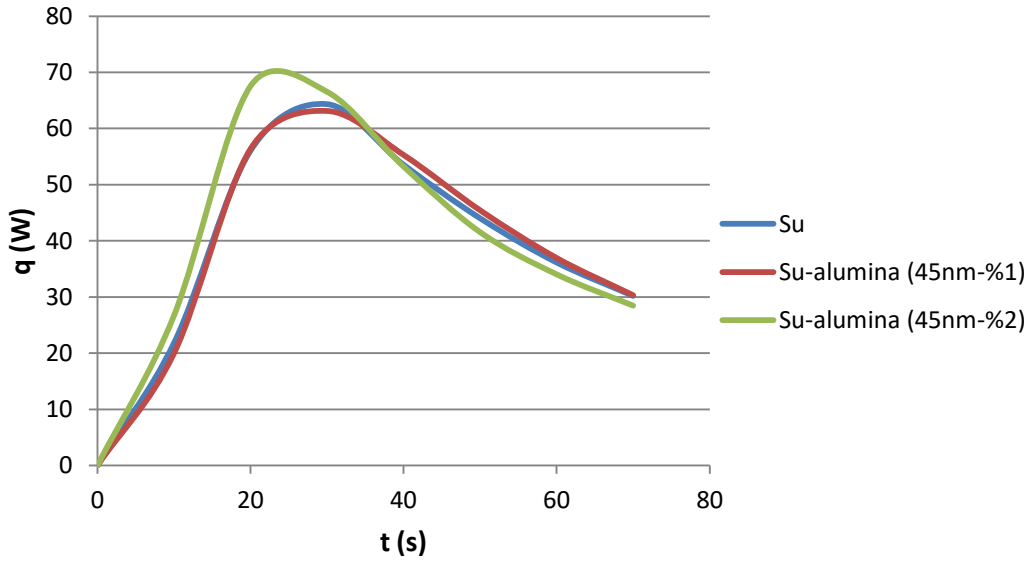
Su ve %2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkan çeşitleri kullanılarak yapılan deneyler sonucu hesaplanan anlık ısı transferi değerleri Şekil 4.13’de sunulmuştur. Akışkan olarak su kullanılması durumunda maksimum ısı transferi değeri yaklaşık 30. saniyelerde 64 W olarak hesaplanmıştır. Su-alumina (45 nm-% 2) nanoakışkanıyla yapılan deney sonuçları ele alındığında, maksimum ısı transferine ulaşma süresinin 30. saniyelerden 20. saniyelere düştüğünü ve aynı zamanda maksimum ısı transferi değerinin de 70 W’a çıktığı görülmektedir. Yani su-alumina (45 nm-% 2) nanoakışkan kullanımı sistemde ısı transferini iyileştirici yönde etki yaratmıştır. Bunun başlıca sebebi ise kullanılan nanoakışkanın suya göre daha iyi ısıl iletim katsayısına sahip olması olarak gösterilebilir. Kullanılan akışkanın ısıl iletim katsayısındaki % 2.8’lik artış, maksimum ısı transferi noktasını % 9.4 oranında artıracak şekilde etki etmiştir.

Su-alumina (10 nm-% 2) ve su-bakıroksit (25-55 nm-% 2) nanoakışkanları kullanımında alınan sonuçlar ile akışkan olarak su kullanıldığında elde edilen sonuçlar kıyaslandığında ısı transferini azaltıcı etki yarattıkları görülmektedir. Varılan bu sonucun temel sebebi, aynı üretici firma tarafından tedarik edilen bu iki nanoakışkanda çökme ve topaklanma problemlerinin gözlenmesidir. Bir diğer sebep ise konuyla ilgili ders kitaplarında belirtildiği üzere, nanoparçacıkların akışın

gerçekleştiği kanal duvarına yapışarak akışın hızını engellemesi olarak gösterilebilir. Nanoakışkanlar hazırlanırken, topaklanma ve çökme problemlerini engelleme amacıyla çeşitli kimyasalların eklenmesi yöntemi, nanoparçacıkların yüklenmesini ve bu sayede aralarında oluşan elektriksel kuvvet sayesinde akışkan içerisinde askıda kalmasını amaçlar. Fakat pompa gibi yüksek itiş gücü kullanmadadan titreşim ile akış oluşturduğumuz sistemimizde, yüklü haldeki nanoparçacıkların duvarlara pozitif ve negatif katmanlar oluşturacak şekilde yapışarak akışı engelleyici etki yaratması muhtemeldir.

#### 4.3.2. Hacimsel nanoparçacık konsantrasyonunun ısı transferine etkisi

Nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun ısı transferi üzerine etkisini incelemek adına, % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyon oranında hazırlanmış su-alumina (45 nm) nanoakışkanları ve su ile sabit frekans(8 Hz) ve sabit titreşim genliği( $\Delta S=3.5$  mm) değerleri için deneyler yapılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 4.14’de verilmiştir.



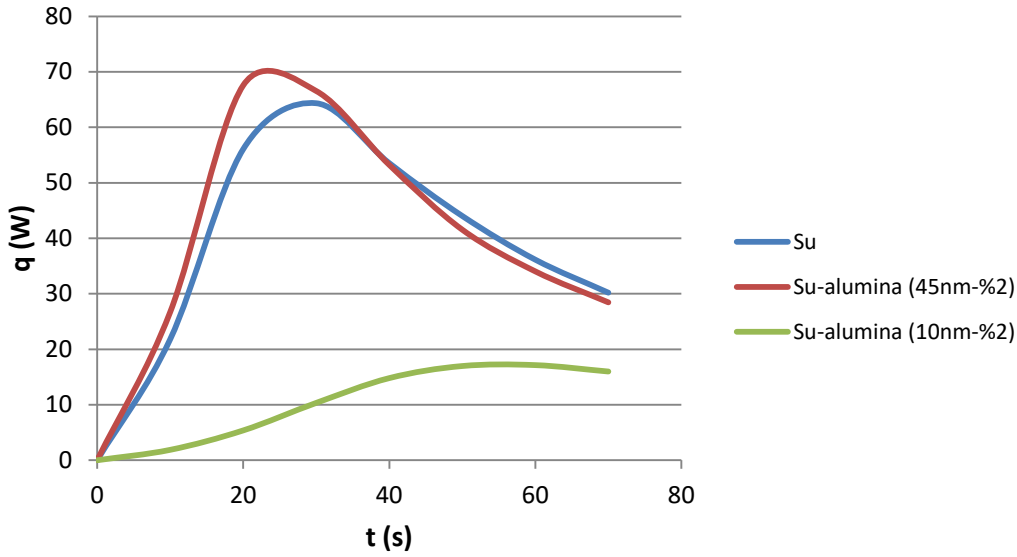
Şekil 4.14 : % 1 ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz frekans ve 3.5 mm genlikte yapılan deneyler için zamana bağlı ısı transferi değişimi.

Su deneyleri ile yapılan kıyaslama sonucu  $Al_2O_3$  (45 nm-% 2) nanoakışkanı için artan hacimsel konsantrasyon ile birlikte maksimum ısı transferi değerinde % 9.4 oranında artış gözlenmiştir. Ek olarak ısı transferinin daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Hem maksimum ısı transferi noktasına daha az sürede varılmış hemde

70 saniye sonunda hesaplanan anlık ısı transferi değeri diğer akışkanlara göre daha düşük çıkmıştır. Bu da aslında sıcak ve soğuk rezervuarlar arasındaki sıcaklık farkının diğer akışkanlara göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. % 1 hacimsel konsantrasyona sahip olan nanoakışkan için ise suya kıyaslama yapıldığında kayda değer bir artış gözlenmemiştir.

### 4.3.3. Nanoparçacık boyutunun ısı transferine etkisi

Nanoakışkanlarda kullanılan nanoparçacık boyutunun ısı transferi üzerine etkisini incelemek adına hacimsel konsantrasyon, frekans ve titreşim genliği değerleri sabit tutularak (5 Hz frekans ve 3.5 mm genlik) yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında nanoparçacık boyutunun ısı transferi üzerine etkisi karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.15 : Su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip su-alumina nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz’de 3.5 mm genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişimi.

Deneylerde kullanılan su-alumina nanoakışkanları 45 nm ve 10 nm çapa sahip nanoparçacıklar ile hazırlanmıştır. Şekil 4.15 incelendiğinde 45 nm boyutlara sahip nanoakışkanın suya göre ısı transferinde artış sağladığı görülmektedir. 10 nm boyutlara sahip nanoakışkanda ise bu durum tam tersi olarak gözlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, nanopartikül boyutu azaldıkça ısıl performansta düşüş görüldüğü



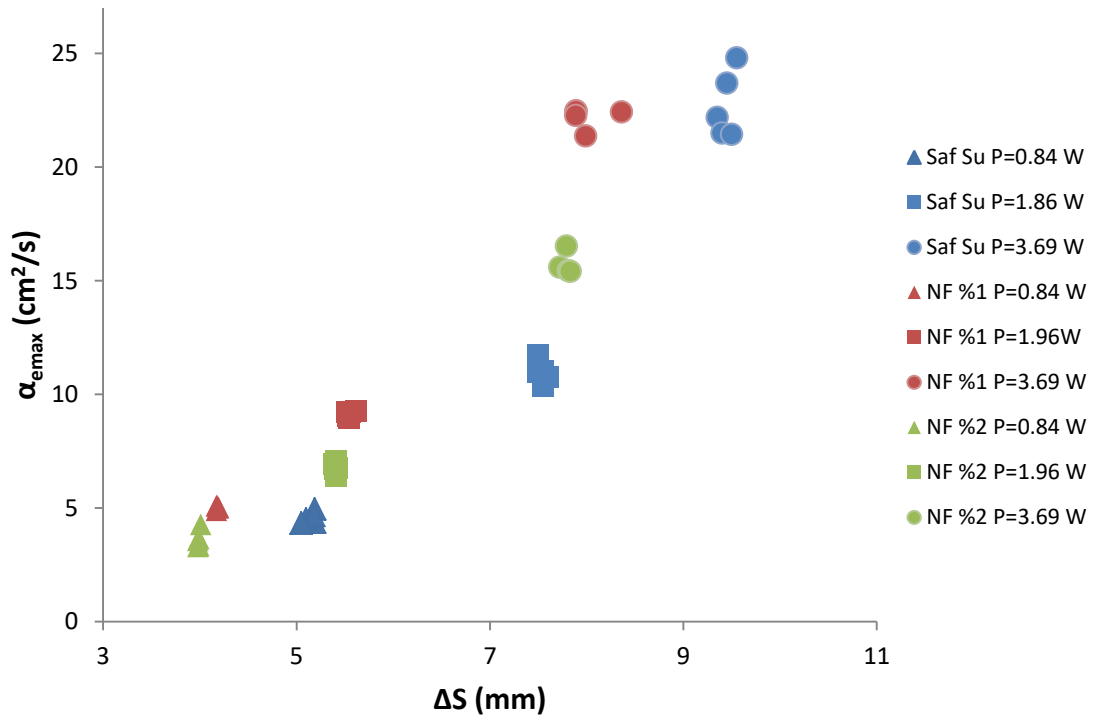
söylenbilir. Ek olarak bölüm 4.3.1’de belirtilen problemler de sonuçları irdeleme açısından zorluk yaratmıştır.

#### 4.4. Etkin Isıl Yayınım Katsayısının Genlik ile Değişimi

Etkin ısı yayılım katsayısının maksimum değerinin genlik ile değişimini incelemek için 5 Hz ve 8 Hz frekans değerlerinde 3 farklı genlik değeri kullanarak yapılan deney sonuçları kullanılmıştır. Etkin ısı yayılım katsayısının incelenmesi esnasında toplam 4 akışkanın da verileri sonuçlara dahil edilmiştir.

##### 4.4.1. 5 Hz titreşim frekansı ile yapılan deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının titreşim genliği ile değişimi

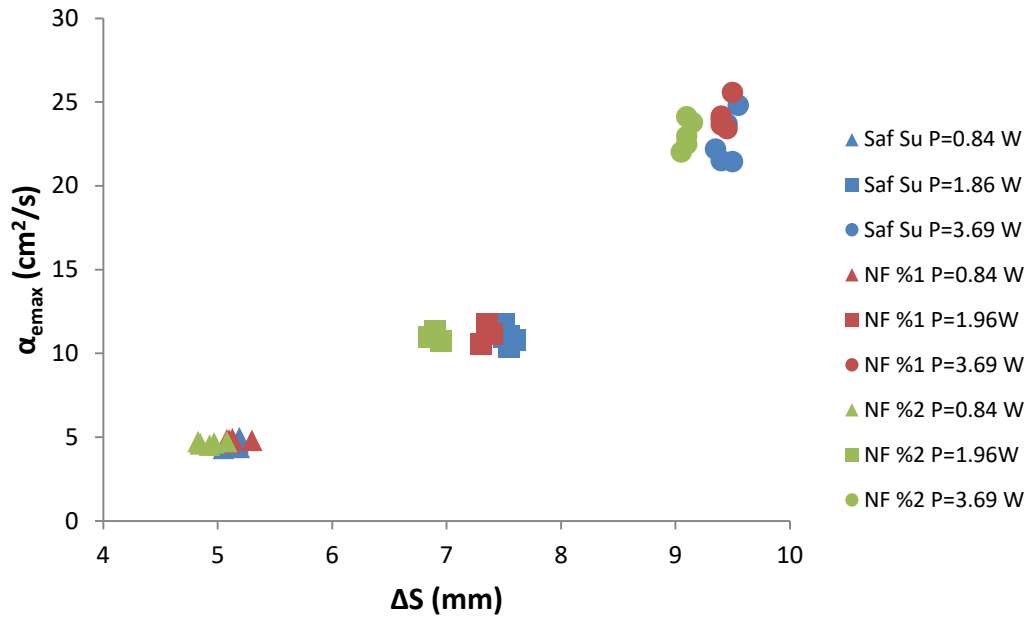
5 Hz frekans değerleri ve tüm akışkan çeşitleri kullanılarak yapılan deney sonuçları Şekil 4.16’da verilmiştir. Sonuçların daha anlaşılabilir olması açısından genlik yerine titreşim üreticinin uyguladığı güç değerleri ifadesi kullanılmıştır. Şekillerde dikey ekseninde sunulan etkin ısı yayılım katsayısı değerleri, deney süresi içerisinde ölçülen maksimum değerlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.16 : Su ve su-alumina (10 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.

Deney sonuçlarına bakıldığında, en düşük maksimum etkin ısı yayılım katsayıları su, su-alumina (10 nm) % 1 ve su-alumina (10 nm) % 2 akışkanları için uygulanan en düşük güç değerlerinde görülmüştür. Uygulanan gücün düşmesiyle birlikte azalan titreşim genliği bu durumun sebebinin oluşturmaktadır.

Titreşim üreticinin uyguladığı gücün artışıyla birlikte artan titreşim genliği sebebiyle hesaplanan maksimum etkin ısı yayılım katsayılarında artış görülmektedir. Uygulanan güç değerlerine bağlı 3 akışkan tipi için hesaplanan maksimum etkin ısı yayılım katsayısı incelendiğinde ise su-alumina (10 m) nanoakışkanının ısı performansını düşürücü etki yapması sebebiyle su ile yapılan deneylerin maksimum etkin ısı yayılım katsayısına sahip olduğu gözlenmiştir.

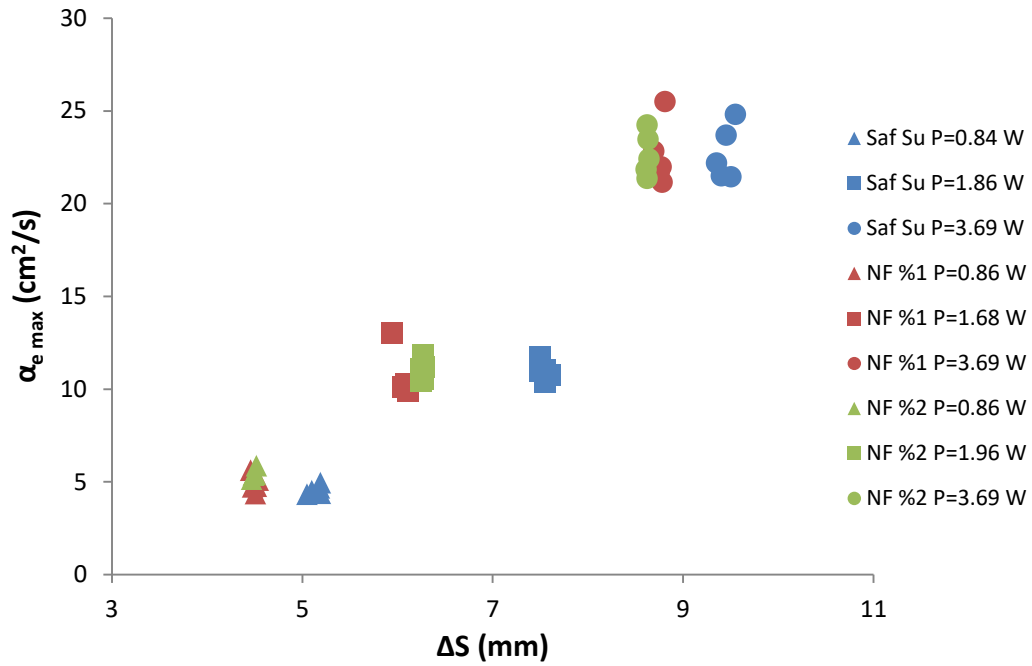


Şekil 4.17 : Su ve su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.

Su-alumina (10 nm) nanoakışkanı ile vardığımız sonuçların benzeri Su-alumina (45 nm) nanoakışkanı için de görülmektedir. Artan titreşim üretici gücü ile genlik değeri de artmış ve titreşim genliğindeki artış da maksimum etkin ısı yayılım katsayısında artışa sebep vermiştir. En yüksek etkin ısı yayılım katsayısı değerleri uygulanan en yüksek güç olan  $P=3.69$  W değerinde görülmektedir. Su-alumina (10 nm)

nanoakışkanının aksine aynı güç değeri ile yapılan deneylerde, su ile nanoakışkanın maksimum etkin ısı yayılım katsayısı değerleri birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır. Öte yandan sabit güç uygulandığı durumda tüm güç değerleri için aynı maksimum etkin ısı yayılım katsayısı noktasında ölçülen titreşim genliği, % 2 hacimsel konsantrasyona sahip olan nanoakışkanda en düşük olarak gözlenmiştir. Yani uygulanan güç sabit tutulduğu halde, titreşim genliği artan nanoparçacık konsantrasyonu ile azalmaktadır. Bunun sebebi ise artan hacimsel konsantrasyonunun nanoakışkanın viskozitesinde artışa sebep olmasıdır. Artan viskozite ile birlikte akışkanın akışa olan direnci artmakta bu da titreşim genliğini düşürücü etki yaratmaktadır.

Su-bakıroksit (25-55 nm) nanoakışkanı, 5 Hz frekansı ve 3 farklı genlik değerleri kullanılan deneylerde elde edilen titreşim genliğine karşılık etkin ısı yayılım katsayısı Şekil 4.18’de verilmiştir.



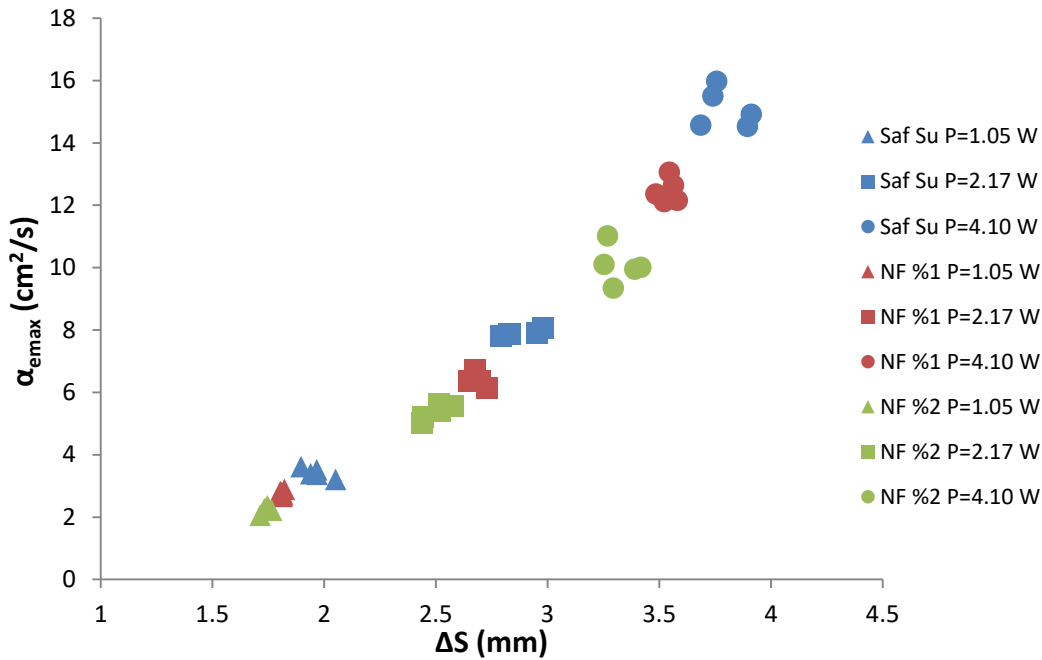
Şekil 4.18 : Su ve su-bakıroksit (25-55 nm) nanoakışkanları kullanılarak 5 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.

Su-bakıroksit (25-55 nm) nanoakışkanı ile yapılan deneylerde, artan titreşim üretici gücü ile genlik değerleri ve maksimum etkin ısı yayılım katsayılarında artış

görülmektedir. Diğer akışkanların sonuçlarında da görüldüğü gibi en yüksek genlik ve etkin ısı yayılım katsayısı  $P=3.69$  W değerinde görülmektedir. Gücü sabit tutarak deney sonuçları incelendiğinde her zaman akışkan olarak su kullanımının en yüksek titreşim genliğini verdiğini fakat maksimum etkin ısı yayılım katsayısında kayda değer bir değişim olmadığı gözlenmektedir.

#### 4.4.2. 8 Hz titreşim frekansı ile yapılan deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının titreşim genliği ile değişimi

Aynı karşılaştırmayı farklı frekans değeri kullanarak yapabilmek için gerçekleştirilen 8 Hz ve 3 farklı genlik değerine sahip deneylerde ise, yine artan güç ile birlikte tüm akışkanlar için artan titreşim genliği ve maksimum etkin ısı yayılım katsayısı artışı gözlenmiştir fakat 5 Hz’de yapılan deneylerden farklı olarak sistem tarafından harcanan güç aynı iken, nanoparçacık konsantrasyonunun artmasıyla birlikte hesaplanan maksimum etkin ısı yayılım katsayısı değerleri azalmıştır. Ek olarak titreşim genliği arttıkça, nanoakışkanların maksimum ısı iletim katsayıları ile saf suyun maksimum ısı iletim katsayıları arasındaki farkında arttığı görülmüştür.



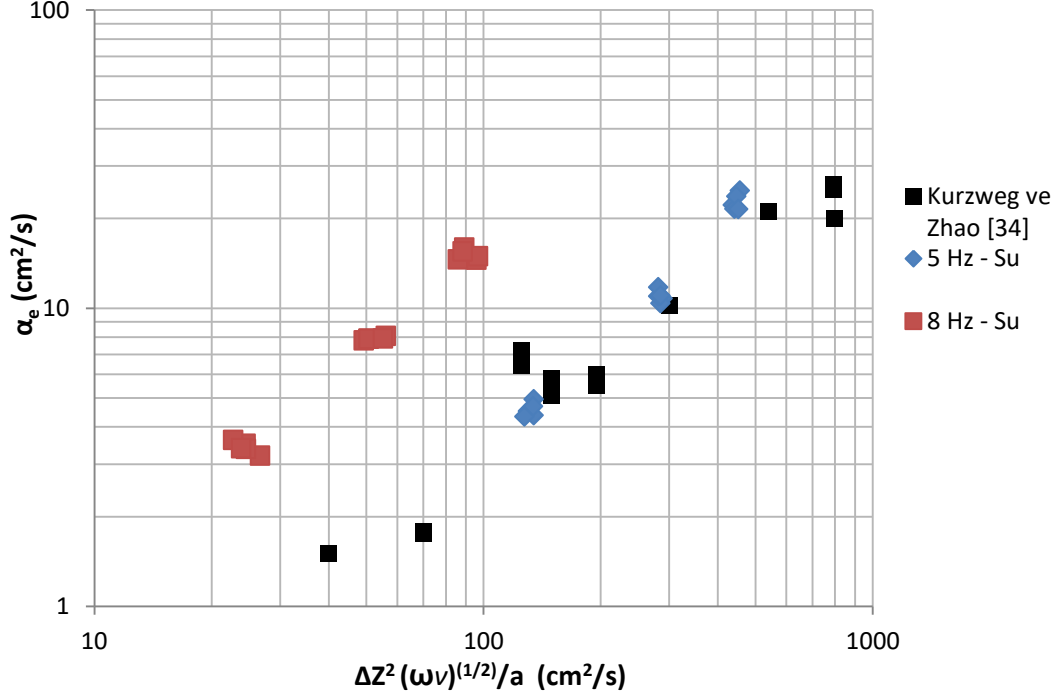
Şekil 4.19 : Su ve su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz’de farklı genlik değeri ile yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık maksimum etkin ısı yayılım katsayıları.

5 Hz’de yapılan deneylere kıyasla oluşan bu farklılık, titreşim frekansının artması ile birlikte titreşim üreticinin aynı güç tüketiminde daha düşük titreşim genliği üretebilmesidir. 5Hz deneylerinde titreşim genlikleri aynı güç tüketim değerleri için sırasıyla 5mm, 7.5 mm ve 9.5 mm civarlarındayken, bu değerler 8Hz frekansında 1.9 mm, 2.7 mm ve 3.5 mm civarlarına düşmüştür. Ayrıca düşük titreşim genliklerinde çalışılırken, kullanılan akışkanın viskozitesindeki artışın oluşturulan titreşim genliği üzerine etkisi daha da baskın hale gelmektedir. Bu yüzden, artan nanoparçacık konsantrasyonu ile birlikte, saf su ve nanoakışkanlar arasındaki maksimum ısı iletim katsayısı farkı da artmıştır.

#### **4.5. Hesaplanan Etkin Isıl Yayımların Katsayılarının Literatür ile Karşılaştırılması**

Bu bölümde yapılan deneylerden elde edilen veriler ile literatürde bu konu hakkında en kapsamlı çalışma olan Kurzweg ve Zhao’nun çalışmasının[34] sonuçları karşılaştırılmıştır. Kurzweg yaptığı çalışmada akışkan olarak su kullanmış ve frekans değerlerini 2 Hz ile 8 Hz arasında tutmuştur. Çalışma sonuçlarını dikey ekseninde maksimum etkin ısı yayılım katsayısını ve yatay ekseninde ise, akış içerisinde oluşan genliğin karesi, frekans değerinin karekökü, akışkanın kinematik viskozitesi ve kullanılan kılcal boruların yarıçapını kullanarak ifade ettiği bağıntıyla göstermiştir. Bu çalışmada 5 Hz ve 8 Hz frekansları ve akışkan olarak su kullanılan deney sonuçları aynı şekilde yeniden düzenlenerek kıyaslama yapılabilmesi için bahsedilen çalışma sonuçlarıyla birlikte Şekil 4.20’de sunulmuştur.

Şekil 4.20’de dikey ekseninde, deneyler dahilinde hesaplanan maksimum ısı iletim katsayısı değerleri kullanılmıştır. Yatay ekseninde kullanılan ifade ise, Kurzweg ve Zhao’nun yaptığı analitik çözümler sonucu elde edilmiştir. İfadede bulunan “a” terimi kılcal boruların yarıçapını, “ $\Delta Z$ ” terimi ise akış genliğini ifade etmektedir. Yatay ekseninde bulunan  $\Delta Z$  ifadesi, belirlenen deney parametreleri kullanılarak(frekans, genlik) yapılan ikinci bir deneyde, herhangi bir ölçüm yapılmadan sadece akışkan içerisine mürekkep eklenip, sisteme uygulanan titreşim sonucu mürekkebin hareketi hesaplanarak elde edilmiştir.



Şekil 4.20 : Elde edilen deney sonuçlarının literatürle karşılaştırılması.

Akış genliği ölçümleri için, saf su ile deneyler yapılırken saf su içerisine mürekkep eklenmiştir. Titreşimli akış oluşturulduğunda, mürekkebin yer değiştirmesi ölçülmüştür. 5 Hz’de yapılan çalışma sonuçlarının literatürde bulunan değerlerle uyum içerisinde dir. 8 Hz deneylerinde, 5 Hz deneylerinde olduğunu gibi etkin ısı iletim katsayısındaki değişimin, akış genliğinin karesi, frekansın karekökü, akışkanın viskozitesi ve kullanılan boruların yarıçapının tersi ile orantılı olduğu görülmektedir. Öte yandan 8 Hz’de yapılan deney sonuçlarının, 5 Hz’de yapılan deney sonuçlarına oranla daha fazla hataya sahip olduğu söylenebilir.

#### 4.6. Hesaplanan Etkin Pr Sayısının Genlik ile Değişimi

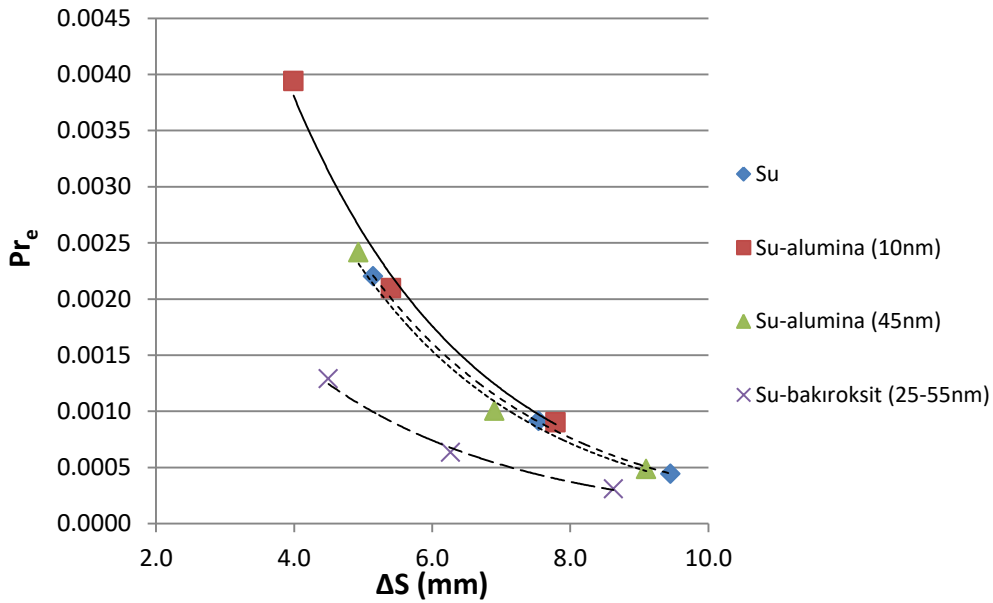
Kullanılan temel akışkan olan saf su ve nanoakışkanlar arasında önemli viskozite ve ısı iletim katsayısı farkları bulunduğu için, sonuçlar etkin Prandtl sayısı hesaplanarak incelenmiştir. Etkin Prandtl sayısı hesaplamaları sırasında, akışkanların maksimum etkin ısı yayılım katsayıları kullanılmıştır.

$$Pr_e = \frac{\nu}{\alpha_{e_{\max}}} \quad (4.1)$$

Pr sayısı, akışkanın kinematik viskozitesinin ısı yayılım katsayısına bölümü ile hesaplanır ve momentum difüzyonunun ısı difüzyona oranı olarak tanımlanabilir.

#### 4.6.1. 5 Hz frekans değeri ile yapılan deneylerde etkin Pr sayısının titreşim genliği ile değişimi

5 Hz frekans değerinde su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip farklı nanoakışkanlarla yapılan deney sonuçları kullanılarak hesaplanan etkin Pr sayılarının titreşim genliğine göre değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir.



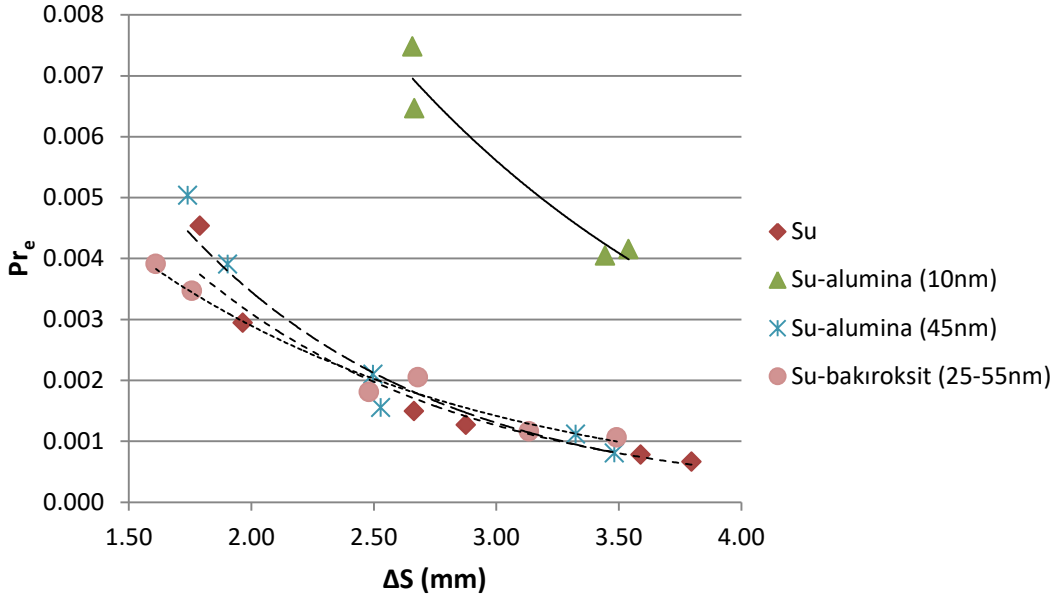
Şekil 4.21 : Su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 5 Hz’de yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık etkin Pr sayısı değişimi.

Şekil 4.21’deki eğriler incelendiğinde, en yüksek etkin Pr sayısı aralığına sahip akışkanın su olduğu görülmektedir. Nanoakışkan kullanılan deneylerde etkin Pr sayısında düşüş olduğu gözlenmiştir. Aynı titreşim genliği için en düşük etkin Pr sayısı değerine sahip akışkanın su-bakıroksit nanoakışkanı olduğu görülmektedir. Ayrıca beklendiği şekilde, tüm akışkanlar için titreşim genliğindeki artış etkin Pr sayısını azaltmaya yönelik etki yaratmıştır. Bunun sebebi, titreşim genliğiyle birlikte ısı transferinin de artmasıdır. Pr sayısı momentum difüzyonunun ısı difüzyona oranı olduğundan, ısı transferindeki artış Pr sayısını azaltmıştır.

Etkin Pr sayısı değerlerine bakıldığında  $10^{-4}$  mertebelerine kadar düştüğü görülmektedir. Suyun durağan haldeki Pr sayısının 10 mertebesinde olduğu göz önüne alındığında bu mertebe farkının önemi daha açık görülmektedir.

#### 4.6.2. 8Hz frekans değeri ile yapılan deneylerde etkin Pr sayısının titreşim genliği ile değişimi

8 Hz frekans değeri su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip farklı nanoakışkanlarla yapılan deney sonuçları kullanılarak hesaplanan etkin Pr sayılarının titreşim genliğine göre değişimi Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 : Su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 8 Hz’de yapılan deneylerdeki titreşim genliğine karşılık etkin Pr sayısı değişimi.

Şekil 4.22’deki eğriler incelendiğinde, en yüksek etkin Pr sayısı aralığına sahip akışkanın su-alumina (10 nm) nanoakışkanı olduğu görülmektedir. Su-alumina (10 nm) nanoakışkanının, saf su ve diğer nanoakışkanlara kıyasla farklı etkin Pr sayısı aralığına sahip olmasının sebebi, daha önce belirtildiği üzere bu nanoakışkandaki stabilizasyon problemleridir.

5 Hz frekansında yapılan deneylerde alınan sonuçlara benzer şekilde, tüm akışkanlar için artan titreşim genliği ile birlikte etkin Pr sayısı düşmüştür. Ek olarak 8 Hz deneylerinde, 5 Hz deneylerinden farklı olarak su-alumina (10 nm) nanoakışkanı haricindeki akışkanlar için etkin Pr sayısı değerlerinde önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Bunun sebebi, artan frekans ile birlikte aynı güç tüketiminde daha düşük titreşim genliği elde edilmesidir.



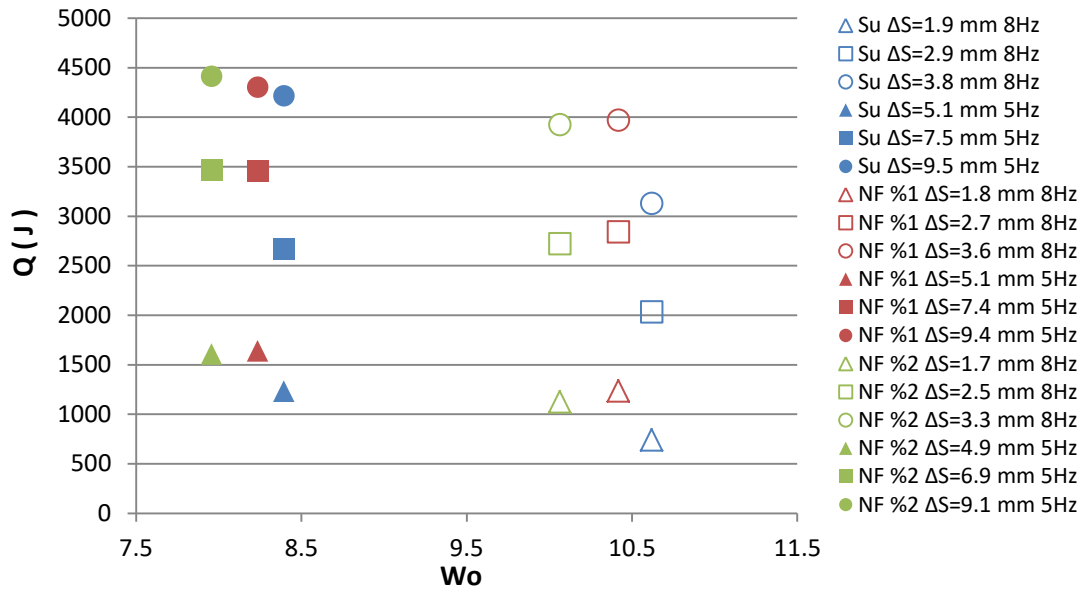
#### 4.7. Toplam Isı Transferi ve Womersley Sayısı

Womersley sayısı, viskoz etkilere bağılı olarak titreşimli akış frekansının boyutsuz bir ifadesidir. Womersley sayısı Eşitlik 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Wo = a\sqrt{\frac{w}{v}} \quad (4.2)$$

Womersley sayısı, kılcal boru yarıçapıyla ve titreşim frekansının akışkanın kinematik viskozitesine oranının kareköküyle değişmektedir.

Su ve su-alumina (45 nm) nanoakışkanları kullanılarak 8 Hz ve 5 Hz frekanslarında yapılan deneylere ait  $Wo$  sayılarına karşılık, hesaplanan toplam ısı transferi değerleri Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23 : 5 Hz ve 8 Hz frekansları kullanarak yapılan deneyler için  $Wo$  sayısına karşılık toplam ısı transferi.

Şekil 4.23’de içi dolu işaretçilerle gösterilen veriler 5 Hz frekans değerinde yapılan deneylere, içi boş işaretçilerle gösterilen veriler 8 Hz frekans değerinde yapılan deneylere aittir.

Hem 5 Hz hem de 8 Hz frekans değerinde yapılan deney sonuçları için, artan nanoparçacık konsantrasyonu ile birlikte  $Wo$  sayısında düşüş görülmektedir. Bunun sebebi artan nanoparçacık konsantrasyonu ile birlikte artan viskozitedir.

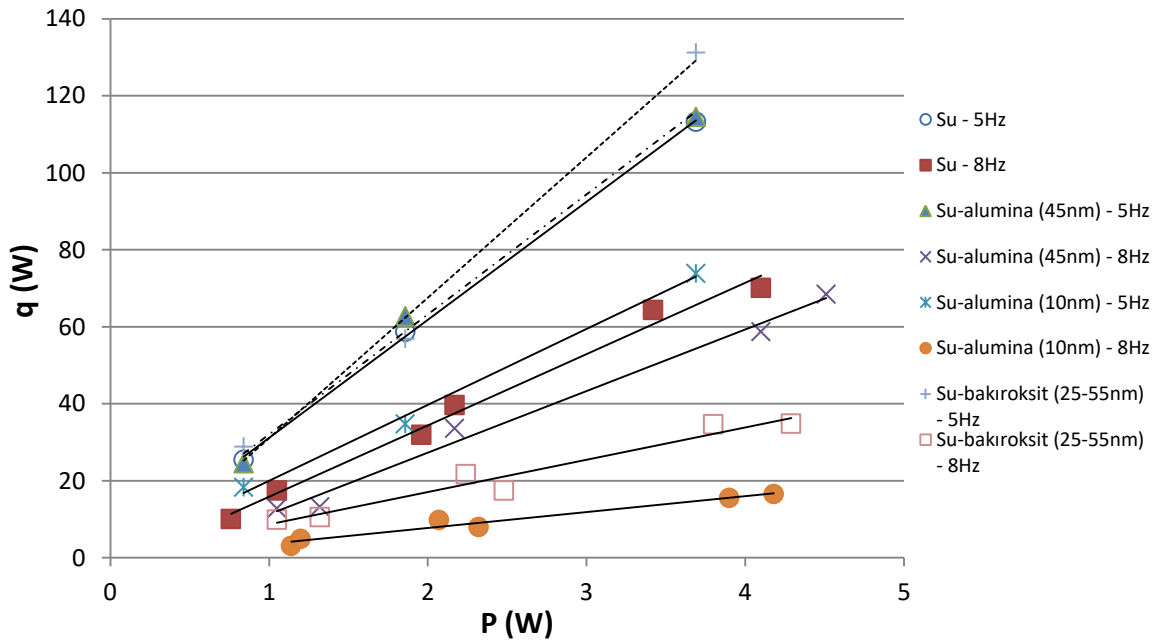
Akışkan çeşitlerini ayrı ayrı inceleyecek olursak, frekans artışının  $Wo$  sayısını arttırdığı ve toplam ısı transferini azalttığı görülmektedir.

Akışkanlar kendi aralarında incelendiğinde, deneylerde kullanılan tüm akışkanlar için frekans artışının  $Wo$  sayısını artırırken toplam ısı transferini azaltıcı etki yaptığı görülmektedir. Toplam ısı transferindeki azalma aslında titreşim genlikleri arasındaki fark ile ilgilidir.

Burada asıl dikkat edilmesi gereken,  $Wo$  sayısının mertebesidir.  $Wo$  sayısının tüm deneylerde 10 mertebesinde olduğu görülmektedir.  $Wo$  sayısı 10 civarlarında olduğunda, sistemde akış üzerinde titreşim kuvvetlerinin baskın olduğu ve hız profilinin düz olduğu anlaşılmaktadır.

#### 4.8. Sistemde Harcanan Enerji ve Isı transferi ilişkisi

Sistemin en yüksek verime sahip olduğu aralığı belirlemek amacıyla, sistemin harcadığı güç değerlerine karşılık, deney süresince elde edilen maksimum ısı transferi değerleri karşılaştırılmıştır. Sistemin harcadığı güç, güç yükselticisinden okunan akım ve voltaj değerlerinin çarpımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 4.24 : 5 Hz ve 8 Hz frekansında su ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip farklı nanoakışkanlarla yapılan deneyler için harcanan güç karşılık maksimum ısı transferi.

Şekil 4.24'de bulunan eğrilerin eğimi harcanan birim enerji başına elde edilen ısı transferini vermektedir. Eğimi en düşük olan dört eğride 8 Hz'de yapılan deneylere aittir. 5 Hz frekansında yapılan tüm deneylerin, 8 Hz frekansında yapılan tüm deneylere kıyasla, daha büyük birim güç tüketiminde elde edilen ısı transferi oranına sahip oldukları görülmektedir. Yani sistem 5 Hz frekansında daha verimli çalışmaktadır. Ayrıca sistemde elde edilen en büyük verim 5 Hz frekansında su-bakıroksit nanoakışkanında görülmektedir. Özetlemek gerekirse, çalışma dahilinde tüketilen birim güç başına en yüksek ısı transferi, 5 Hz frekansı ve su-bakıroksit nanoakışkanı kullanılan deneylerde elde edilmiştir.



## 5. HATA ANALİZİ

Deneysel çalışmalarda hata analizi yapılırken iki yöntem kullanılabilir. Ölçüm belirsizliklerinin bulunması için aynı şartlar altında tekrarlanan değerlerin standart sapmasına bakmak bir yöntemdir. Bu çalışmada yapılan hatalar hesaplanırken, ikinci bir yöntem olan matematiksel hata analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem göre, veri analizi kısmında kullanılan her bir değişkenin belirsizlik değerleri hesaplanmış ve grafiksel olarak sunulmuştur.

Deneysel sonuçların hata analizleri yapılırken kullanılan hata analizi eşitliği, Eşitlik 5.1'deki gibidir.

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial y_1} \cdot w_{y_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial y_2} \cdot w_{y_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial y_n} \cdot w_{y_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.1)$$

Burada R fonksiyonu,  $y_1, y_2, \dots, y_n$  ise fonksiyonun değişkenlerini ifade etmektedir. Buna bağlı olarak, Eşitlik 3.4'te hesaplanan anlık ısı transferi miktarı olan  $q$ 'nun belirsizlik analizi,

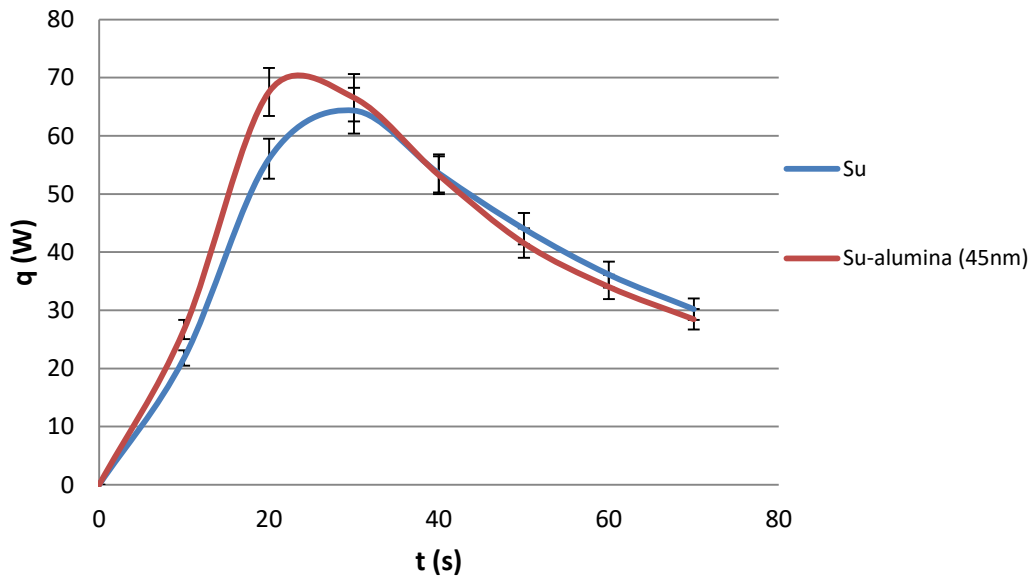
$$w_q = \left[ \left( \frac{\partial q}{\partial \rho} \cdot w_\rho \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial c} \cdot w_c \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial \alpha} \cdot w_\alpha \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial A} \cdot w_A \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial T_h} \cdot w_{T_h} \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial T_c} \cdot w_{T_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

şeklinde yazılır. Eşitlik 3.2 ile hesaplanan etkin ısı yayılım katsayısının belirsizliği ise, Eşitlik 5.3 kullanılarak hesaplanır.

$$w_{\alpha} = \left[ \left( \frac{\partial \alpha}{\partial V} \cdot w_V \right)^2 + \left( \frac{\partial \alpha}{\partial L} \cdot w_L \right)^2 + \left( \frac{\partial \alpha}{\partial A} \cdot w_A \right)^2 + \left( \frac{\partial \alpha}{\partial \Delta T_c} \cdot w_{\Delta T_c} \right)^2 + \left( \frac{\partial \alpha}{\partial T_h} \cdot w_{T_h} \right)^2 + \left( \frac{\partial \alpha}{\partial T_c} \cdot w_{T_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

Eşitlik 5.2’de bulunan yoğunluk, özgül ısı kapasitesi değerleri, literatür[34]’den okunmuştur. Ancak güvenli bölgede kalınması amacı ile belirsizlik değerleri % 0.1 alınmıştır. Geometrik uzunluklar ölçülürken cetvel ve dijital kumpas kullanılmıştır ve dijital kumpasın belirsizlik değeri  $\pm 0.1$  mm ve cetvelin belirsizlik değeri  $\pm 0.1$  mm’dir. Geometrik uzunluklar vasıtasıyla toplam ısı geçiş alanı ve rezervuarların hacimleri ile belirsizlik değerleri hesaplanmıştır.

Örnek olarak daha önce Şekil 4.13’te sunulan deney sonuçları, yapılan hata hesabıyla beraber yeniden Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Su ve % 2 konsantrasyona sahip nanoakışkanlar kullanılarak 8 Hz frekans ve 3.5 mm genlik değeri ile yapılan deneylerdeki zamana bağlı ısı transferi değişiminin yapılan hatalar ile birlikte gösterimi.

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere, ısı transferinin maksimum noktaları arasında kalan alan, yapılan hata oranından daha geniş olduğu için, daha önce bölüm 4.3.1’de

ulaşılan sonuçların tutarlılığı hata çubuklarının gösterimi sayesinde daha doğru ifade edilmiştir.





## **6. DEĞERLENDİRME**

### **6.1. Özet**

Yapılan çalışma kapsamında, titreşimli akış koşulunda titreşim frekansı, titreşim genliği, nanoakışkan çeşidi, nanoparçacık boyutu, nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu parametrelerinin ısı transferi üzerine etkisini araştırmak amacıyla titreşim üretici, kılcal boru demeti, rezervuarlar, veri toplayıcı, güç yükseltici ve ölçüm ekipmanlarından oluşan deney düzeneği kurulmuştur. Temel akışkan olarak kullanılan saf su ve su-alumina (45 nm), su-alumina (10 nm) ve su-bakıroksit (25-5 nm) nanoakışkanlarının farklı hacimsel konsantrasyonları için deneyler 5 Hz ve 8 Hz frekanslarında farklı titreşim genliklerinde tekrarlanmıştır. Deneyler sonucunda, titreşimin ısı transferini artırıcı etki yaptığı etkin Pr sayısı hesaplarıyla belirlenmiştir. Farklı tipteki nanoakışkanların ısı transferi üzerine etkilerinin farklı olduğu görülmüş, hacimsel konsantrasyon ve parçacık boyutunun ısı transferine etkileri incelenmiştir. Farklı frekanslarda yapılan deneyler ile frekans artışının titreşim genliğini düşürdüğü, bunun da ısı transferini düşürücü etki yarattığı gözlenmiştir. Aynı sebeple sistemde birim harcanan güç başına elde edilen ısı transferinin 5 Hz için daha yüksek olduğu, yani sistemin 5 Hz titreşim frekansında daha verimli çalıştığı belirlenmiştir.

### **6.2. Bulgular**

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bilgiler şöyle sıralanabilir.

Hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ölçüm sonuçları literatür ile karşılaştırıldığında oldukça uyum içerisindedir. Bu bilgi sayesinde ısı transferi üzerine yapılan gözlemlerde termofiziksel özelliklerden kaynaklı hataların düşük olması varsayımını yapabilmekteyiz.

Frekans değişiminin titreşimli kontrollü ısı aktarım tüplerinde hem su hem de nanoakışkanlar için etkisi incelenmiştir. Deneyler sabit titreşim genliğinde 5 Hz ve 8 Hz frekanslarında tekrarlanmıştır. Deneylerde kullanılan iki frekans değeri bu

parametrenin ısı transferi üzerine etkisini incelemek için yeterli olmamıştır. Frekans değişiminin ısı transferi üzerine etkisini incelemek için daha detaylı bir çalışma yapılabilir.

Frekans sabit tutulup genlik değişimin etkisi incelendiğinde ise, kullanılan tüm akışkanlar için aynı sonuca varılmıştır. Genlik değerinin artmasıyla birlikte anlık ısı transferi değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Farklı nanoakışkanların ısı transferi performansı incelendiğinde en iyi ısı transferi performansı su-alumina (45 nm) ile hazırlanan nanoakışkanda gözlenmiştir. Aynı zamanda su-alumina (10 nm) nanoakışkanının ısı transferini olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu bilgiye dayanarak parçacık boyutundaki küçülmenin bu sistemde ısı transferini engelleyici etki yaptığı söylenebilir.

Su-alumina (45 nm) nanoakışkanın farklı hacimsel konsantrasyona sahip örnekleriyle yapılan deneylerde, nanoparçacık konsantrasyonunun artışı ile birlikte ısı transferinde artış gözlenmiştir.

Etkin ısı yayılım katsayısı incelemelerinde ise 5 Hz ve 8 Hz frekansıyla yapılan deneylerde, uygulanan gücün artmasıyla titreşim genliğinin arttığı bunda ısı yayılım katsayısında artışa sebep verdiği gözlenmiştir.

En düşük etkin Pr sayısı, yapılan deneyler sonucu 5 Hz frekansında su-bakıroksit (% 2) nanoakışkanı kullanıldığında elde edilmiştir. Pr sayısındaki düşüşün durağan haldeki suyun Pr sayısına oranla  $10^{-4}$  mertebelerine ulaştığı gözlenmiştir.

Kullanılan sistemde birim enerji tüketimi başına elde edilen en yüksek ısı transferi değerini belirlemek için farklı frekanslarda farklı akışkanlarla deneyler gerçekleştirilmiş ve sistemin en verimli çalıştığı aralık, 5 Hz frekansında ve % 2 hacimsel konsantrasyona sahip su-bakıroksit nanoakışkanı kullanımında olduğu görülmüştür.

### 6.3. Öneriler

Kullanılan sisteme, deney süresince termal kamera kullanarak gözlem yapılması planlanmıştır. Yapılacak olan gözlem sayesinde sistem içerisindeki sıcaklık dağılımı görsel olarak ifade edilmesi amaçlanmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu çalışma dahilinde incelenen parametrelere ek olarak, daha geniş frekans aralığında bu tip bir sistemin ısı transferi analizi yapılabilir.

Sistem verimliliği araştırması yapılarak, yüksek frekans rejiminde titreşim akış ile elde edilen ısı transferi incelenebilir.

Nanoakışkan çeşitleri, boyut çeşitleri ve kullanılan hacimsel konsantrasyon değerleri artırılarak farklı nanoakışkanların ısı transferi üzerine etkilerini incelemek titreşimli akış koşulunda nanoakışkan kullanımının etkilerini daha detaylı açıklayacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Kassoy, D.R.**, (1979). The response of a confined gas to a thermal disturbance: Slow transients, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 36, 624-634.
- [2] **Swift, G.W.**, (1995). Thermoacoustic engines and refrigerators, *Phys. Today*, 48, 22.
- [3] **Swift, G.W.**, (1988). Thermoacoustic engines, *Journal of Acoustical Society of America*, 84 (4), 1145-1180.
- [4] **Giovanni, A. L., Claudio, Z.**, (2011). Experimental measurement of thermo-physical properties of oxide-water nano-fluids down to ice-point, *Experimental Thermal Fluid Science*, 35, 1313-1324.
- [5] **Micheal, P.B., Tongfan, S., Aryn, S.T.**, (2007). The thermal conductivity of alumina nanoparticles dispersed in ethylene glycol, *Fluid Phase Equilib.*, 260, 275-278.
- [6] **Saeedinia, M., Akhavan-Behabadi, M.A., Nasr, M.**, (2012). Experimental study on heat transfer and pressure drop of nanofluid flow in a horizontal coiled wire inserted tube under constant heat flux, *Experimental Thermal Fluid Science*, 36, 158-168.
- [7] **Yu, W., France, D.M., Routbort, J.L., Choi, S.U.S.**, (2008). Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements, *Heat Transfer Eng.*, 29(5), 432-460.
- [8] **Choi, S.U.S.**, (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, San Francisco, California, USA, Kasım 12-17.
- [9] **Tullius, J.F., Bayazitoglu, Y.**, (2013). Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O nanofluid on MWNT circular fin structures in a minichannel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 60, 523-530.

- [10] **Alloui, Z., Vasseur, P., Reggio, M.**, (2011). Natural convection of nanofluids in a shallow cavity heated from below, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 385-393.
- [11] **Rahgoshay, M., Ranjbar, A.A., Ramiar, A.**, (2012). Laminar pulsating flow of nanofluids in a circular tube with isothermal wall, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 463-469.
- [12] **Hwang, K.S., Lee, J.H., Jang, S.P.**, (2007). Buoyancy-driven heat transfer of water-based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids in a rectangular cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 4003–4010.
- [13] **Khanafar, K., Vafai K., Lightstone, M.**, (2013). Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 3639–3653.
- [14] **Tsai, C.Y., Chien, H.T., Ding, P.P., Chan, B., Luh, T. Y., Chen, P.H.**, (2004). Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance, *Materials Letters*, 58, 1461–1465.
- [15] **Ma, H.B., Wilson, C., Yu, Q., Park, K., Choi, S.U.S.**, (2006). An experimental investigation of heat transport capability in a nanofluid oscillating heat pipe, *Journal of Heat Transfer*, 128, 1213-1216.
- [16] **Khedkar, R.S., Sonawane, S.S., Wasewar, K.L.**, (2012). Influence of CuO nanoparticles in enhancing the thermal conductivity of water and monoethylene glycol based nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 665–669.
- [17] **Murshed, S.M.S., Leong K.C., Yang C.**, (2008). Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids *International Journal of Thermal Sciences* 47, 560–568.
- [18] **Wang, W., Xu, X.**, (1999). Thermal conductivity of nanoparticle–fluid mixture, *Journal Of Thermophysics And Heat Transfer*, 13(4), 474-480.
- [19] **Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A.**, (1999). Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME Journal of Heat Transfer*, 121, 280-289.

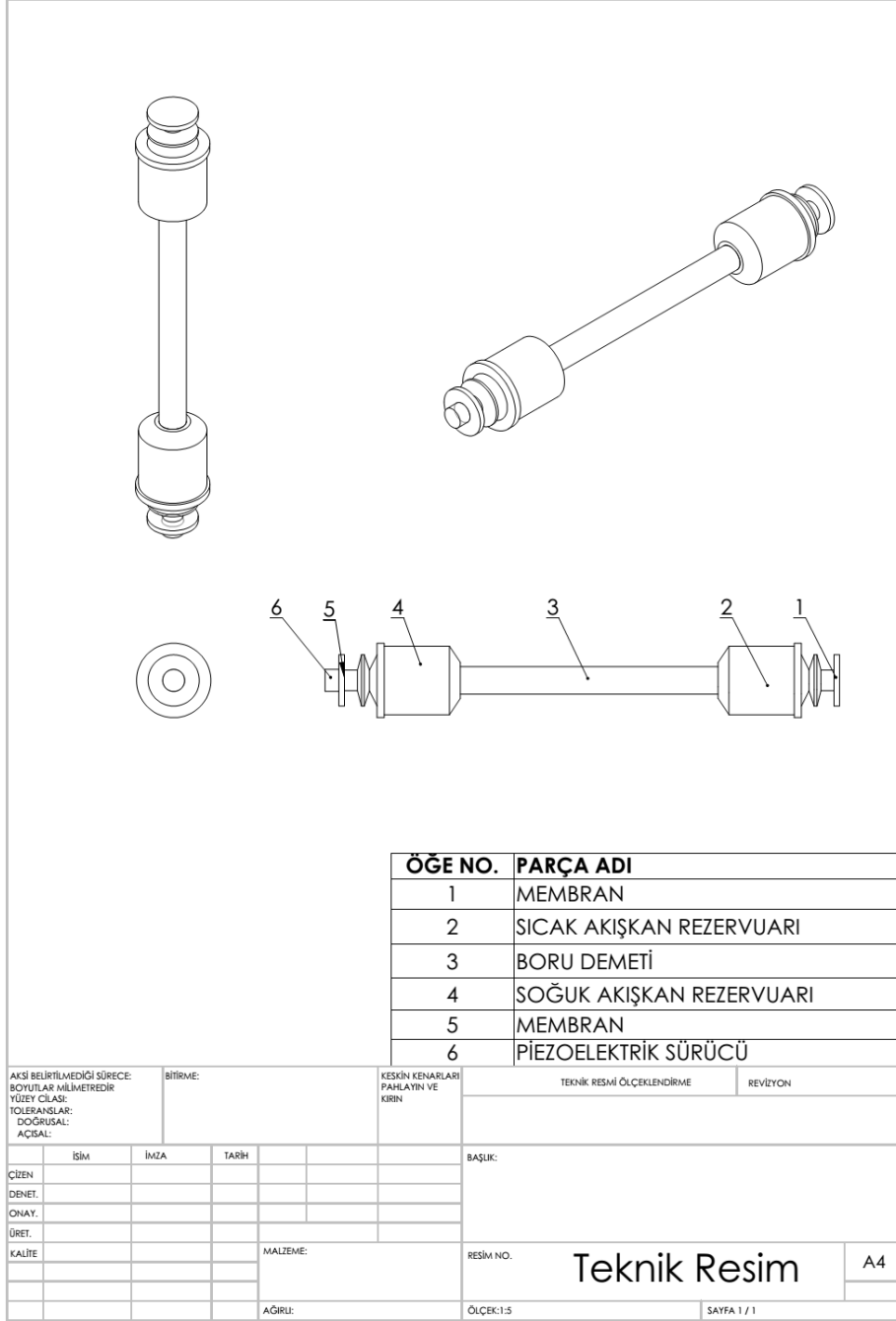
- [20] **Chandrasekar, M., Suresh, S., Bose, C.,** (2010). Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 210–216.
- [21] **Nguyen, C.T., Desgranges, F., Roy, G., Galanis, N., Mare'd, T., Boucher, S., Mintsa, H.A.,** (2007). Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids – Hysteresis phenomenon, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, 1492–1506.
- [22] **Chopkar, M., Sudarshan, S., Das, P., Manna, I.,** (2008). Effect of particle size on thermal conductivity of nanofluid, *Metall. Mater. Trans. A*, 39(7), 1535-1542.
- [23] **Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F.,** (2002). Dependence of the Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture on the Base Fluid, *J. Mater. Sci. Lett.*, 21(19), 1469-1471.
- [24] **Mintsa, H.A., Roy, G., Nguyen, C.T., Doucet, D.,** (2009). New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids, *Int. J. Therm. Sci.*, 48(2), 363-371.
- [25] **Leong, K.C., Jin, L.W.,** (2005). An experimental study of heat transfer in oscillating flow through a channel filled with an aluminum foam, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 243-253.
- [26] **Zhao, T.S., Cheng, P.,** (1996). Oscillatory heat transfer in a pipe subjected to a laminar reciprocating flow, *Journal of Heat Transfer*, 118, 592-597.
- [27] **Cheng, C.H., Hung, K.S.,** (2005). Numerical predictions of thermal convection in a rectangular enclosure with oscillating wall, *Numerical Heat Transfer Part A*, 48, 791–809.
- [28] **Jun, Z., Danling, Z., Wang, W., Hong, G.,** (2004). An experimental study of heat transfer enhancement with a pulsating flow, *Heat Transfer Asian Research*, 33(5), 279-286.
- [29] **Bouvier, P., Stouffs, P., Bardon, J. P.,** (2005). Experimental study of heat transfer in oscillating flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 2473-2482.

- [30] **Loh, B.G., Lee, D.R.**, (2004). Heat transfer characteristics of acoustic streaming by longitudinal ultrasonic vibrations, *J. Thermophys. Heat Transfer*, 18(1), 94–99.
- [31] **Aktas, M.K., Ozgumus, T.**, (2010). The effects of acoustic streaming on thermal convection in an enclosure with differentially heated horizontal walls, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 5289-5297.
- [32] **Aktas, M.K., Farouk, B., Lin, Y.**, (2005). Heat transfer enhancement by acoustic streaming in an enclosure, *J. Heat Transfer*, 127, 1313-1321.
- [33] **Kurzweg, U.H.**, (1985). Enhanced Heat conduction in fluids subjected to sinusoidal oscillations, *J. Heat Transfer*, 107, 459–462.
- [34] **Kurzweg, U.H., Zhao, L.D.**, (1984). Heat transfer by high-frequency oscillations: A new hydrodynamic technique for achieving large effective thermal conductivities, *Physics of Fluids*, 27, 2624 – 2627.
- [35] **Songping, M., Ying, C., Lisi J., Xianglong L.**, (2012). Investigation on crystallization of TiO<sub>2</sub> nanofluids and deionized water, *Appl. Energy*, 93, 65-70.
- [36] **Hojjat, M., Etemad, S., Bagheri, R., Thibault, J.**, (2011). Thermal conductivity of non-Newtonian nanofluids: experimental data and modeling using neural network, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 1017-2013.
- [37] **Sharma, K.V., Sundar, S.L., Sarma P.K.**, (2009). Estimation of heat transfer coefficient and friction factor in the transition flow of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> naofluid flowing in a circular tube and with twisted tape insert, *International Community of Heat and Mass Transfer*, 36, 503-507.
- [38] **Gharagozloo, P.E., Goodson, K.E.**, (2010). Temperature dependent aggregation and diffusion in nanofluids, *Internation Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 1409-1416.
- [39] **Incopera, F.P., Dewitt, P.D., Bergman, L.T., Lavine, S.A.**, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Ed., John Wiley & Sons, New Jersey, (2007).



## EKLER

### EK 1 : Deneý Düzenegi Teknik Çizimi



## EK 2 : Deney Düzenegi Bileşenleri

Çizelge 0.1 : Deney düzenegi ekipman listesi.

<b>Ekipman İsmi</b>	<b>Adet</b>	<b>Marka</b>
K tipi ısı çift	4	
İvmeölçer	1	Brüel & Kjaer – 4394
Basınçölçer	1	Brüel & Kjaer - 2739243
Titreşim üretici	1	Brüel & Kjaer - 4824
Veri toplayıcı	1	Agilent Tech - 34980A
Güç yükseltici	1	Brüel & Kjaer - 2732

### **EK 3 : Nanoakışkanlar Hazırlanırken Kullanılan MATLAB kodu.**

% Bu kod kütleli yüzdesi bilinen nanoakışkanların  
% hacimsel yüzdeleri hesaplamak için yazılmıştır.

np\_d = 3.97; % nanoparçacık yoğunluğu  
su\_d = 0.997; % saf su yoğunluğu  
m\_yuzde = 0.20; % nanoakışkanın kütleli yüzdesi

v\_yuzde = (m\_yuzde\*su\_d)/(np\_d + m\_yuzde\*su\_d - m\_yuzde\*np\_d); % Eşitlik  
(2.1)

v\_toplam = 500; % hazırlanmak istenilen toplam nanoakışkan hacmi

yuzde\_2 = 0.02; % hazırlanmak istenilen nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu

v\_nf\_2 = v\_toplam \* yuzde\_2 / v\_yuzde ; % Eşitlik (2.2)

yuzde\_1 = 0.01; % hazırlanmak istenilen nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu

v\_nf\_1 = v\_toplam \* yuzde\_1 / v\_yuzde ; % Eşitlik (2.2)

su\_2 = v\_toplam - v\_nf\_2; % Eşitlik (2.3)

su\_1 = v\_toplam - v\_nf\_1; % Eşitlik (2.3)

**EK 4 : Örnek Deney Verileri ( 5 Hz – 3V Su-alumina (45 nm) %2)**

Çizelge 0.2 : Örnek deney verileri.

Sıcaklık Ölçümleri		T <sub>h</sub>	T <sub>c</sub>	ΔT <sub>c</sub>	T <sub>h</sub> - T <sub>c</sub>			ρ	V <sub>c</sub>	c	L		A	
53.09	C	53.01	22.16					1,0567	133,0	3,9224	28.0000		2.1502	
52.92	C													
22.15	C							<b>ke</b>	<b>α</b>	<b>k<sub>e</sub> ort</b>	<b>α<sub>ort</sub></b>		<b>q</b>	<b>q<sub>ort</sub></b>
22.16	C													
53.05	C	52.97	22.15	0.00	30.82	-1.048	-0.253			2.000	-2.481			
52.88	C													
22.17	C													
22.14	C													
53.01	C	52.95	22.15	0.00	30.79	0.350	0.084			3.000	0.827			
52.88	C													
22.16	C													
22.15	C													
44.14	C	40.86	22.24	0.08	18.63	32.567	7.857			4.000	46.581			
37.59	C													
22.26	C													
22.22	C													
47.86	C	47.31	22.22	-0.02	25.09	-5.864	-1.415			5.000	-11.301			
46.76	C													
22.26	C													
22.18	C													
47.27	C	46.63	22.23	0.01	24.40	3.090	0.745			6.000	5.788			

45.98	C												
22.25	C												
22.21	C												
47.18	C	46.62	22.25	0.02	24.38	5.448	1.314			7.000	10.198		
46.07	C												
22.27	C												
22.22	C												
46.51	C	46.25	22.30	0.05	23.95	14.988	3.616			8.000	27.563		
45.98	C												
22.31	C												
22.29	C												
46.24	C	45.94	22.33	0.04	23.61	11.098	2.678	9.769	2.357	9.000	20.121		16.235
45.64	C												
22.35	C												
22.32	C												
45.72	C	45.41	22.41	0.07	23.00	22.469	5.421	35.683	8.609	10.000	39.691		56.283
45.10	C												
22.44	C												
22.37	C												
45.45	C	45.08	22.45	0.05	22.63	14.591	3.520	43.845	10.578	11.000	25.358		59.178
44.72	C												
22.50	C												
22.41	C												
45.07	C	44.75	22.55	0.10	22.20	31.849	7.684	42.033	10.141	12.000	54.299		48.869
44.43	C												
22.61	C												

22.49	C												
44.93	C	44.51	22.64	0.09	21.87	30.526	7.365	44.574	10.754	13.000	51.267		45.065
44.10	C												
22.68	C												
22.61	C												
44.53	C	44.26	22.71	0.07	21.55	22.817	5.505	42.594	10.276	14.000	37.761		37.513
44.00	C												
22.77	C												
22.65	C												
44.19	C	44.05	22.85	0.14	21.20	47.065	11.355	41.605	10.038	15.000	76.625		32.028
43.91	C												
22.90	C												
22.80	C												
43.87	C	43.69	22.94	0.09	20.75	31.825	7.678	38.480	9.284	16.000	50.716		26.157
43.52	C												
23.02	C												
22.87	C												
43.71	C	43.54	23.04	0.10	20.50	33.437	8.067	40.532	9.779	17.000	52.645		24.448
43.37	C												
23.11	C												
22.97	C												
43.48	C	43.23	23.13	0.09	20.10	31.071	7.496	37.493	9.046	18.000	47.959		20.011
42.97	C												
23.19	C												
23.06	C												

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Oğuz GÜVEN  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 10.02.1990 - TOKAT  
**E-posta** : oguzguven07@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2016, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

**Yıl:** 2011 **Yer:** Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali **Görev:** Stajyer  
**Yıl:** 2012 **Yer:** Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi **Görev:** Stajyer  
**Yıl:** 2013-... **Yer:** TOBB ETU **Görev:** Burslu Y. L. Öğrencisi

### YABANCI DİL: İngilizce - İleri Seviye

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Güven, O.**, Aktaş, M.K., Bayazitoğlu, Y., (2016). Experimental Investigation of Oscillation Controlled Thermal Transport in Water-Based Nanofluids, *Proceedings of the ASME 2016 Summer Heat Transfer Conference*, Washington DC, USA, 10-14 Temmuz.