

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANOAKIŞKANLARIN TİTREŞİM KONTROLLÜ ISI AKTARIM
TÜPLERİNDEKİ AKIŞINDA FREKANS VE GENLİK ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk GÜLER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Murat Kadri AKTAŞ

EYLÜL 2016

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

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

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 13151017 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ömer Faruk GÜLER**'in ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**Nanoakışkanların Titreşim Kontrollü Isı aktarım Tüplerindeki Akışında Frekans ve Genlik Etkisinin Deneysel İncelenmesi**" başlıklı tezi **19.09.2016** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

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

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Selin ARADAĞ ÇELEBİOĞLU**
(Başkan)
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet YOZGATLIGİL
Orta Doğu Teknik 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.

Ömer Faruk Güler

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANOAKIŞKANLARIN TİTREŞİM KONTROLLÜ ISI AKTARIM TÜPLERİNDEKİ AKIŞINDA FREKANS VE GENLİK ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Ömer Faruk GÜLER

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

Danışman: Doç.Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Tarih: Eylül 2016

Makine mühendisliği araştırma alanları içinde ısı transferi önemli bir yer tutmakta, ısı transferi araştırmaları içinde de titreşimli ısı transferi çalışmaları ve nanoakışkan çalışmaları hızla yaygınlaşmaktadır . Bu çalışmada da ısı transferi araştırmalarında daha önce üzerinde sınırlı incelemeler yapılmış olan titreşim kontrollü ısı aktarım tüpleri(TKIAT) üzerine çalışılmıştır. TKIAT, arasında sıcaklık farkı olan ortamlar arasında titreşim desteğiyle ısı transferini önemli ölçüde artıran sistemlerdir. Yapılan bu çalışmayla, TKIAT sistemlerinin daha önce çok net bir şekilde belirlenemeyen sistem karakteristikleri açıklığa kavuşturulmaya çalışılmıştır. Farklı akışkanlar, farklı kılcal boru demeti ile yapılan deneylerde farklı titreşim genlikleriyle farklı frekansların etkileri incelenmiştir. Deneylerde saf su ve su- Al_2O_3 nanoakışkan (%2) kullanılmıştır. Frekans ve genlik kontrollü olarak değiştirilmiş etkileri ölçülmüştür. Sonuç olarak artan frekans değerine paralel olarak 1,5 mm iç çaplı kılcal borularda, ısı transferi 9-10 Hz değerine kadar artmış, daha sonra düşüş gözlemlenmiştir. Diğer borularda ise 7 Hz değerine kadar artış görülmektedir. Artan titreşim genliği ile ise

doğru orantılı bir şekilde artan ısı transferi görölmüştür. Ayrıca sistem için uygun en verimli çalışma aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. 5 Hz değerinde en az enerjiyle en çok ısı transferi gerçekleşmiştir. Nanoakışkan ile kısmı olarak ısı transferinde artmalar belirlenmiştir. Sonuçlar ayrıca su ve su-Alümina (%2) nanoakışkanın viskozite değerlerinin farklı olması sebebiyle Prandtl Sayısı cinsinden ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Titreşimli akış, Isı tranferi, Nanoakışkan



ABSTRACT

Master of Science

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF FREQUENCY AND AMPLITUDE ON FLOW OF NANOFLUIDS IN OSCILLATION CONTROLLED HEAT TRANSFER TUBES

Ömer Faruk GÜLER

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

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Date: September 2016

In the mechanical engineering literature heat transfer researches have been covered extensively and oscillating heat transfer and nanofluid usage is a large part of this endeavor. In this study, oscillation-controlled heat transfer tubes, which was studied and practiced partly before, was investigated. Oscillation-controlled heat transfer tubes are one of the systems used to enhance heat transfer. Oscillation-controlled heat transfer tubes are the systems that increase the amount of heat transferred between cold and hot environments at a considerably amount by using vibrations. This system includes two reservoirs and one capillary tube. Oscillatory flow in the bundle is be induced by a shaker. This study attempts to clarify the characteristics of the system which could not be explored by the earlier studies. Effects of the oscillation and frequency were examined by using different fluids and different tube sizes (1.5 and 2.4 mm inner diameter) in the system. Experiments were conducted for different frequencies between 3 Hz and 15 Hz. In terms of fluids, pure water and water based Aluminum oxide (%2) nanofluid were used. As a result, frequency

increased heat transfer up to 9-10 Hz for capillary bundle which have 1.5 mm inner diameter, but a decline was monitored afterwards. This value 7 Hz for capillary bundle which have 2.4 mm inner diameter. In accordance with increase in oscillation amplitude, there was an increase in heat transfer. At 5 Hz, the highest amount of heat was transferred using the minimum amount of energy. In addition, the results of the experiments with nanofluids paralleled that of water. Nanofluids were more profitable than water in some cases. The results were presented in terms of Prandtl number since water and nanofluids have different viscosity values. Even though the results of the experiments conducted on nanofluids were satisfactory enough, future experiments can be implemented by using different nanofluids in different volumes in order to observe the effects of using different fluids and with these new results can be established.

Keywords: Oscillated flow, Heat transfer, Nanofluid.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca özellikle hayatımın her alanında maddi manevi destekleriyle her zaman yanımda olan değerli aileme, yardım ve tecrübeleriyle beni yönlendiren hocam Doç.Dr. Murat Kadri AKTAŞ'a, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, özellikle çalıőmalarımda destek sağlayan Doç.Dr. Bülent ÖZER'e ve Rice Üniversitesi öğretim üyesi Prof.Dr. Yıldız Bayazıtıoğlu'na, Teknoloji Merkezinde sürekli destek olan arkadaşlarıma, Isı Bilimleri ve Biyomekanik laboratuvarları kadrolarına, aynı evi paylaőtığım ev arkadaşlarım Emre OFLAZ ve Mustafa ÖZKAYA'ya, bana zor zamanlarda evlerini açan Mehmet Akif İYİDİKER'e ve Sinan OFLAZ'a, teknik olarak destek sağlayan Kamil ARSLAN'a ve Süleyman BAŐER'e, ayrıca bu çalıőmayı 113M211 nolu ARDEB 1001 projesi kapsamında maddi yönden finanse eden TÜBİTAK'a ve burs sağlayan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvi
RESİM LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 LiteratürAraştırması	1
1.1.1 Titreşimli akış ile ilgili çalışmalar	1
1.1.2 Nanoakışkanlar ile ilgili çalışmalar.....	3
1.2 Araştırma Gereksinimi	5
1.3 Tezin Kapsamı ve Amacı	6
2. DENEY YÖNTEMİ	7
2.1 Deney Düzeneginin Hazırlanması.....	7
2.2 Deney Prosedürü	12
2.2.1 Nanoakışkanın hazırlanması	12
2.2.2 Deneyin yapılışı	14
3. SONUÇLAR	17
3.1 Deney Sırasında Sıcak ve Soğuk Rezervuarların Sıcaklık Değişimi	18
3.2 Isı Transferinin Zamanla Değişimi	20
3.2.1 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi (a=1,5 mm).....	21
3.2.2 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi (a=1,5 mm)	26
3.2.3 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi (a=2,4 mm).....	30
3.2.4 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi	32
3.3 Deney Süresince Transfer Edilen Isı Enerjisinin Genlik ve Frekansla Değişimi	36
3.4 Etkin Isıl Yayınım Katsayısının Genlik ve Frekansla Değişimi	42
3.4.1 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısıl yayınım katsayısının genlik ve frekansla değişimi (a=1,5 mm)	42
3.4.2 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısıl yayınım katsayısının genlik ve frekansla değişimi.....	44
3.4.3 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısıl yayınım katsayısının genlik ve frekansla değişimi (a=2,4 mm)	45
3.4.4 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısıl yayınım katsayısının genlik ve frekansla değişimi.....	46
3.5 Etkin Isıl Yayınım Katsayısının Literatürde Elde Edilen Sonuçlarla Karşılaştırılması	47
3.6 Prandtl Sayısının Genlik ve Frekansla Değişimi	48

3.6.1	Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi ($a=1,5$ mm)	49
3.6.2	Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi ($a=1,5$ mm)	50
3.6.3	Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi ($a=2,4$ mm)	51
3.6.4	Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi	52
3.7	Sabit Genlikte Etkin Prandtl Sayısı ve Isıl Yayınım Katsayısının Frekansla Değişimi	53
3.8	Isı Transferi ve Tirezimli Akış İçin Harcanan Enerji İlişkisi	56
4.	BELİRSİZLİK ANALİZİ VE TEKRARLANABİLİRLİK	59
5.	DEğERLENDİRME	63
	KAYNAKLAR	65
	EKLER	67
	ÖZGEÇMİş	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Deney düzeneğinin elemanları ve çalışma şeması (temsili).	7
Şekil 2.2: Kılcal boru demetlerinin kesitini gösteren temsili resim.(soldaki $a=1,5$ mm, sağdaki $a=2,4$ mm)	15
Şekil 3.1: Deney sırasında soğuk ve sıcak rezervuarların sıcaklık değişimi. ($f=5$ Hz, $\Delta S=7,9$ mm, Saf su).....	19
Şekil 3.2: Deney esnasında sıcak ve soğuk rezervuarlar arasındaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.($f=5$ Hz, $\Delta S=7,9$ mm, Saf su).....	20
Şekil 3.3: Soğuk rezervuardaki anlık ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($f=5$ Hz, $\Delta S=7,9$ mm, Saf su).....	21
Şekil 3.4: 3 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	22
Şekil 3.5: 5 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	22
Şekil 3.6: 7 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	23
Şekil 3.7: 9 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	24
Şekil 3.8: 10 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	24
Şekil 3.9: 12 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	25
Şekil 3.10: 15 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)	26
Şekil 3.11: 5 Hz sabit frekansta su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm).....	27
Şekil 3.12: 7 Hz sabit frekansta, su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm).....	27
Şekil 3.13: 9 Hz sabit frekansta, su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm).....	28
Şekil 3.14: 12 Hz sabit frekansta, su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm).....	29
Şekil 3.15: 15 Hz sabit frekansta, ve su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm).....	29
Şekil 3.16: 5 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($a=2,4$ mm)	30
Şekil 3.17: 7 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan, deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($a=2,4$ mm)	31
Şekil 3.18: 12 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($a=2,4$ mm)	31

Şekil 3.19: 15 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)	32
Şekil 3.20: 5 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)	33
Şekil 3.21: 7 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)	33
Şekil 3.22: 9 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)	34
Şekil 3.23: 12 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)	35
Şekil 3.24: 15 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)	35
Şekil 3.25: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=1,5 mm).....	36
Şekil 3.26: Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=1,5 mm)	37
Şekil 3.27: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=2,4 mm).....	38
Şekil 3.28: Su Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=2,4 mm)	38
Şekil 3.29: 5 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.....	39
Şekil 3.30: 7 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.....	40
Şekil 3.31: 12 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.....	41
Şekil 3.32: 15 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.....	42
Şekil 3.33: Saf suyun kullandığı deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi. (a=1,5 mm).....	43
Şekil 3.34: Su-Alümina nanoakışkanın kullandığı deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi. (a=1,5 mm).....	45
Şekil 3.35: Saf suyun kullandığı deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi. (a= 2,4 mm).....	46
Şekil 3.36: Su-Alümina nanoakışkanın kullandığı deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi. (a=2,4 mm).....	47
Şekil 3.37: Deney sonuçlarının literatürle karşılaştırılması.	48
Şekil 3.38: Nanoakışkanın bağıl viskozite değeri	49
Şekil 3.39: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ile değişimi. (a=1,5 mm).....	50
Şekil 3.40: Su-Alümina nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ile değişimi. (a=1,5 mm)	51
Şekil 3.41: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ile değişimi. (a=2,4 mm).....	52

Şekil 3.42: Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin prandtl sayısının genlik ile değişimi. ($a=2,4$ mm).....	53
Şekil 3.43: 4 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin ısıl yayılım katsayısı değerlerinin frekansla değişimi.	54
Şekil 3.44: 4 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin Prandtl sayısı değerlerinin frekans ile değişimi.....	54
Şekil 3.45: 5 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin ısıl yayılım katsayısının frekans ile değişimi.....	55
Şekil 3.46: 5 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin Prandtl sayısının frekans ile değişimi.	55
Şekil 3.47: Harcanan güce karşılık ısı transferinin maksimum değeri.....	56
Şekil 3.48: Güç-birim zamanda ısı transferi oranının frekansla değişimi.....	57
Şekil 4.1: 5 Hz frekansta, 1,5 mm iç çapı olan pipetlerle oluşturulmuş kılcal boru demeti kullanılarak, saf suyla yapılan deneylerin, hata analizi eklenmiş etkin ısıl yayılım katsayısının genlikle değişimi.	60



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Deneyde kullanılan sistem ölçüleri.....	15
Çizelge 3.1: Yapılan deneyler ve deneylerle ilgili yapılan hesaplamalar	18
Çizelge 4.1: Çok tekrarlı yapılan deneylere örnek olarak 5 Hz frekansta saf su ile yapılan bir deneyin ortalaması ve standart sapması	61
Çizelge Ek.1: 5 Hz frekansta, 7,9 mm genlikte yapılan deney sonuçları.....	72

KISALTMALAR

TKIAT : Titreşim kontrollü ısı aktarım tüpleri



SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
c_p	Sabit basınçta özgül ısı
f	Frekans
k	Isıl iletim katsayısı
L	Kılcal boru uzunluğu
q	Birim zamanda ısı transferi
Q	Toplam ısı transferi
t	Zaman
T_c	Soğuk rezervuar sıcaklığı
T_h	Sıcak rezervuar sıcaklığı
ΔT	Sıcaklık farkı
μ	Dinamik viskozite
ν	Kinematik viskozite
ρ	Yoğunluk
Pr	Prandtl sayısı
a	Borular arasında kalan etkin alan
ΔS	Titreşim genliği
ΔZ	Boru içindeki akışın genliği
a	Pipet iç çapı
α	Isıl yayılım katsayısı

RESİM LİSTESİ

Sayfa

Resim 2.1: Deney düzeneğinde kullanılan şeffaf akrilik rezervuar.	8
Resim 2.2: Kılcal boru demeti ve bağlantı elemanları.	8
Resim 2.3: Isılçift bağlantı girişleri (sağda) ve alttan doldurma vanası (solda).....	9
Resim 2.4: Körüklü sistemin genel görüntüsü	10
Resim 2.5: Sistemin izolasyonsuz (solda) ve izolasyonlu (sağda) haldeki resmi.....	10
Resim Ek.1: Titreşim cihazı ana gövdesi.....	68
Resim Ek.2: Cihazların kontrolünü sağlayan sürücü.	68
Resim Ek.3: Sürücüden gelen sinyalleri arttıran amfi (Yükseltici)	69
Resim Ek.4: Mini ivmeölçer	69
Resim Ek.5: Sıcaklık verilerinin toplandığı, veri toplayıcı cihaz.	70
Resim Ek.6: Viskozite ölçümü yapılan, reometre.....	70
Resim Ek.7: Rezervuarlar ve kılcal boru demetinin şematik gösterimi	71

1. GİRİŞ

Isı transferi biliminin temel amacı teknik ihtiyaçlara ve insan konforuna uygun sistem koşullarının oluşturulmasıdır. Isı aktarımı ile istenilen sıcaklıkta ortamlar oluşturulmakta veya dinamik olarak çalışan ısı üreten sistemlerin fazla ısı ortamdan uzaklaştırılmakta, böylelikle sistem istenilen sıcaklıkta tutulmaktadır. Bu amaçla çeşitli ısı transferi süreçleri uygulanmaktadır. Konveksiyon veya iletimle çalışan sistemlere ek olarak titreşim ile ısı transferi yapan sistemler de kullanılmaktadır. Bu sistemlerin geliştirilmesinin yanında, son yıllarda nanoakışkan kullanımıyla da ısı geçişi süreçleri hızlandırılmaktadır.

1.1 Literatür Araştırması

1.1.1 Titreşimli akış ile ilgili çalışmalar

Titreşimli akışkanlar üzerine yapılan belli başlı çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

Jeager ve diğerleri yaptığı çalışmada titreşim halinde olan akışkanın içinde gazların yayılımını incelenmiştir[1]. Çalışma Taylor difüzyonuna benzer bir arttırılmış difüzyon modeli içermektedir. 3 farklı gaz yoğunluğu ve 6 farklı akışkan yoğunluğu için basit difüzyonla karşılaştırmalı çalışma yapılmıştır. Uygun boru çapı uygun frekans ve uygun akışkan(KCl, CuSO₄, Glikoz,metil mavisi) seçilmiştir. Ulaşılan en iyi dağılım faktörü 0,4 olmuş burada basit difüzyonla beklenen değer 0,3 tür. En büyük difüzyon akısı ise 850 ml/dk'dır. Sistemin kesit alanı 8,62cm²'dir. Toplam enerji sarfı ise sadece 14 W olmuştur. Düşük enerji ile iyi bir difüzyon sağlanmıştır.

Cho ve Hyun tarafından, boru içindeki titreşimli akış ve ısı transferini incelemek için nümerik bir çalışma yapılmıştır[2]. Zamana bağlı sınır tabaka problemi nümerik olarak çözülmüş frekans ve genlik etkisi incelenmiştir. Çözüme ulaşmak için kararsız hal sınır koşulu çözüm metot ve yaklaşımları değerlendirilmiştir. Frekans arttıkça etkisi daha iyi gözlenmekte ince bir sınır tabaka oluşmaktadır. Bu tabakada sürtünme normal daimi bir akışa göre daha çoktur. Isı transferi ise değişiklik göstermektedir.

Nusselt sayısı frekansla değiştikçe daimi akışa göre yüksek veya düşük çıkabilmektedir. Nusselt sayısı genlik ile artarken Prandtl sayısı ise aynı oranda çok artmamaktadır. ıkan sonuçlar eski çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Başka bir çalışmada, boru içinde bir akışa sinusoidal bir titreşim verildiğinde ısı transferinin arttığı gözlenmiştir[3]. Deneysel ve nümerik çalışma ile ısı transferindeki artış gösterilmiştir. Ayrıca görüntüleme sistemiyle de görsel olarak sonuçlar verilmiştir. Isıl yayınımı, tmsel (Lumped) parametre ısı transfer modeliyle eksenel olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak yatay ve eksenel ısı transferi için ortak bir model kullanılmıştır.

Sayısal başka bir çalışmada ise titreşimli akış gözenekli boru üzerinde incelenmiştir[4]. "The Brinkman-Forchheimer extended Darcy Model" uyarlanmıştır. Boru duvarındaki gözenekli kısım, Darcy sayısı, gözenekli kısım kalınlığı, efektif ısı iletim katsayısı, titreşim frekansı, genlik ölçülmüştür. Boru boyunca titreşimden kaynaklanan ısı iletim hesaplanmıştır. Maksimum ısı yayınım katsayısı belirlenmiştir.

Diğer bir çalışmada eğri tp içerisinde titreşimli ısı transferi ölçülmeye çalışılmıştır[5]. Fluent yazılımından yararlanılmıştır. Yuvarlaklık yarıçapı farklı olan geometrilerde çalışılmıştır. Farklı frekans değerleriyle sonuçlar karşılaştırılmış, frekansa bağlı olarak 0,1-2 Hertz arası frekanslarda ısı transferi 12 kat artmış.

Farukawa'nın yaptığı çalışmada mekanik bir sarsıcı yerine piezoelektrik olarak tahrik edilen bir disk ile çalışan bir sistem dşnlmş ve bu sistem ile ilgili gerekli hesaplamalar yapılmıştır[6]. G - ısı transferi ve titreşim genliği - ısı transferi ile ilgili bağıntularla sistemi açıklamaya çalışmışlardır. Sistemi çalıştırmak için gerekli enerji ve g hesapları da yapılmıştır.

Stirling motoru üzerindeki titreşimli akışta ısı ve kütle transferi etkisi incelenmiştir[7]. Kontrol denklemini oluşturmak için tam gelişmiş laminer akışta hız denklemini çıkarılmıştır. Birimsiz hız azaldıkça hız terimi azladıka düzgün dağılımlı hız bölgesi Kinetik Reynolds sayısının azaldığı kadar genişlemektedir. Sonuç olarak Stoke sınır tabakası incelenmektedir. Deneysel bir piston silindir düzeneğinin düz bir boruyla birleştiği bir sistemde yapılmıştır. Testler çeşitli hızlarda tekrarlanmıştır.(Re_w : 230,900,1800(Phase Doppler Anemometer)) Tam gelişmiş

titreşimli laminer akış için uygun kompleks hız denklemi çıkarılmıştır. Ortalama dağılım, %10 olarak bulunmuştur. Ortalama büyüklükteki Reynolds sayısında maksimum boyutsuz hız oranı $r=0,85R$ ile $0 R$ arasında 1,06-1,10 olarak elde edilmiştir. Annular etki gözlenmiştir.

Watson'un yaptığı çalışmada kütle transferi etkisinin boru boyunca yayılması titreşimli akışta incelenmiştir[8]. Akıştaki artış çembersel boru ve iki boyutlu kanal için hesaplanmıştır. Sonuçlar yavaş ve hızlı titreşim dalgaları olarak çeşitlendirilmiştir.

Bu konuda en önemli çalışmaları Kurzweg ve Zhao yapmıştır[9]. Alt tarafta soğuk, üst tarafta sıcak olmak üzere iki rezervuar oluşturulmuş, bunlar birbirine 1 mm iç çapı olan kapillari borular ile bağlanmıştır. Rezervuar hacmi 114 cm^3 'tür. Çalışma sıvısı olarak sıkıştırılmaz olarak su kullanılmıştır. Sisteme alltaki soğuk rezervuardan titreşim verilmiştir. 2 ve 8 Hz arasındaki frekanslardaki titreşimlerle ısı transferinde önemli artış elde edilmiştir. Suyun etkin ısıl yayınım katsayısı değerini yaklaşık 17800 kata kadar artırmıştır. Çalışma bu konuda yapılan en prestijli ve ilk kapsamlı çalışmadır. Literatürde "Dream Pipe" olarak anılmaya başlamıştır.

Kurzweg bir diğer çalışmasında bir boru içindeki akışı inceledi[10]. Titreşimli akış ile ısı transferinin arttığını analitik olarak da göstermiştir. Isı transferi artışının titreşim genliği, titreşim frekansı, boru yarıçapı ve Prandtl sayısına bağlı olduğunu göstermiştir.

1.1.2 Nanoakışkanlar ile ilgili çalışmalar

Titreşim gibi ısı transferini artıran yöntemlerden diğeri akışkanın ısıl iletim katsayısını artırmaktır. Katıların ısıl iletim katsayısı genellikle akışkanlara göre daha yüksektir. Isıl iletim katsayısı yüksek olan katılar sıvıların termal özelliklerini artırmada kullanılabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte çok küçük tanecikler üretilmektedir. Bu şekilde nano boyutta tanecikler üretilip akışkanın içine karıştırılabilmektedir. Fakat bu işlem birçok problemi de birlikte getirmektedir. Topaklanma çökme gibi durumlarda akışkan özelliğini yitirmekte, kullanılan sistemlere zarar verebilmektedir. Bunun içinde gerekli durumlarda özel çözümler kullanılmaktadır. Yani doğru ve özel şartlar altında ısı transferi uygulamalarında ekstra çözümler sağlayabilmektedir.

Nanoakışkanlar hazırlanırken çeşitli metal ve ametal malzemeler kullanılmaktadır[11]. Al_2O_3 , CuO, Cu, Ag, Fe, TiO_2 , SiC, TiC... gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin genel özellikleri genellikle ısı iletim katsayılarının kullanılan akışkandan yüksek olmasıdır. Örneğin, gümüşün ısı iletim katsayısı 429 W/m.K iken Bakır da bu değer 401 W/m.K, Alüminyum için ise 237W/m.K, Bakır oksit için 20 W/m.K. Metalik bir sıvı olan Al_2O_3 ise 40 W/m.K'dir. Metal olmayan katılarda ise elmas 3300 W/m.K. Karbon nanotüplerde ise 3000 W/m.K'dir.Silikon malzemelerde ise 148 W/m.K'dir.Metalik olmayan sıvılarda ise saf suda 0,613 W/m.K, Etilen Glikol'de 0,253 W/m.K, Motor yağında 0,144 W/m.K.

Nanoakışkanların fiziksel özellikleri ve kullanım alanı ile ilgili çok çeşitli çalışmalar mevcuttur. Choi bu terimi literatüre 1995 yılında kazandırmıştır[12].O günden beri çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Nanoakışkanların fiziksel özelliklerinin incelendiği çalışmaların yanında ısı sistemlerle de nanoakışkanlar kullanılmakta sistem karakteristiğine etkileri incelenmektedir. Bunların yanında titreşimli sistemlerle nanoakışkanları birleştiren çalışmalar da mevcuttur. Bu kapsamda önce nanoakışkanlar ile ilgili prestijli birkaç çalışma ve sonra titreşimli sistemlerde nanoakışkan kullanımını inceleyen başka çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir.

Tsai ve arkadaşları yaptıkları çalışmayla bir ısı borusunda hem su hemde altın partikülleri içeren iki akışkanı kıyasladı[13]. Isıl dirençte önemli düşüşler belirlenmiştir.

Heris ve diğerleri ise yaptıkları çalışmada yine nanoakışkanın ısı iletim ve ısı yayılımını artırdığını gösterdi[14]. Al_2O_3 nanoakışkan kullanılan deneylerde laminar akış sağlanarak ısı transferi ölçülmüştür. Isıl iletimde % 15, ısı yayılımında ise % 40 mertebesine kadar ısı transferinde artış belirlemişlerdir.

Bir diğer çalışmada Xuan ve Li bir boruda nanoakışkan akışını sabit hızda incelemiştir[15]. Sabit yüzey sıcaklığı sınır koşulu etkinken Nusselt sayısı belirlenmiştir.

Nanoakışkanlar kullanılarak oluşturulmuş zorlanmış taşınım ile ısı transferi Maiga ve diğerleri tarafından incelenmiştir[16]. Sabit ısı akısı sınır koşulu ile su- Al_2O_3 ve etilenglikol- Al_2O_3 karışımlarından oluşan nanoakışkanları incelemiştir.

Khanefer ve çalışma arkadaşları sayısal metod kullanarak çalışmışlardır[17]. Nanoakışkan dolu kapalı dikdörtgen bir ortamda doğal taşınımı modellemiştir. Nanoakışkan olarak su-bakır karışımını kullanmışlardır.

Ma ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada titreşimli bir ısı nakil borusu kullanılarak , titreşim ve nanoakışkan yardımıyla yüksek performanslı bir soğutucu yapılmıştır[18]. Normal ısı nakil borularına göre daha düşük güç ile elmas nanoakışkan kullanarak yüksek ısı transferi sağlanmıştır.

56 nm boyutunda Al_2O_3 nano partiküllerle yapılan yapılan başka bir çalışmada titreşimli ısı nakil borusu ile ısı transferi artışı incelenmiştir[19]. Isıl direnç yaklaşık olarak %32,5 düşmüştür.(Suya göre)

Başka bir çalışmada hem SiO_2/Su ve Al_2O_3/Su nanoakışkanlar ile deneyler yapılmıştır[20]. Alümina ile ısı iletimde % 8,7-25,7 arasında Silika ile ısı iletimde % 5,5-23,7 arasında artışlar elde edilmiştir. Çalışmada farklı nanoakışkanlar ve farklı evaporatör ve condenser kullanımının etkisinin farklı olduğu vurgulanmıştır.

1.2 Araştırma Gereksinimi

Literatürde titreşimli akış kullanıldığında, uygun koşullarda ısı transferinin arttığı gösterilmiştir. TKIAT de benzer titreşimli akış oluşturan sistemler gibi ısı iletim katsayısında önemli bir artışa sebebiyet vermiştir. Önceki çalışmalarda bu artış gösterilmiş fakat genlik frekans ve boru çapı gibi etkenler ayrı ayrı incelenmemiştir. Bunların yanında yine titreşim kontrollü ısı aktarım tüpleriyle ilgili teorik olarak farklı akışkan ve boru çapı etkileri ileri sürülse de deneylerle bunlar gösterilmemiştir. Sadece tahmin ve matematiksel analiz olarak kalmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalar eski tarihli olup teknik yönden elektronik ekipman olmadan yapılmış çalışmalardır. Nanoakışkanlar ile ilgili çalışmalar ise günümüzde hızla yaygınlaşmakta, nanoakışkanların fiziksel özelliklerinin yanında, farklı sistemlerde etkileri de incelenmektedir. Titreşim kontrollü ısı aktarım tüpleri ve nanoakışkanların kullanıldığı çalışmalar bilinmemektedir. Hem titreşim kontrollü ısı aktarım tüplerinin

fiziksel özellikleri hem de nanoakışkanın bu sistemde kullanımını hala açıklanmaya muhtaç alanlardan biridir.

1.3 Tezin Kapsamı ve Amacı

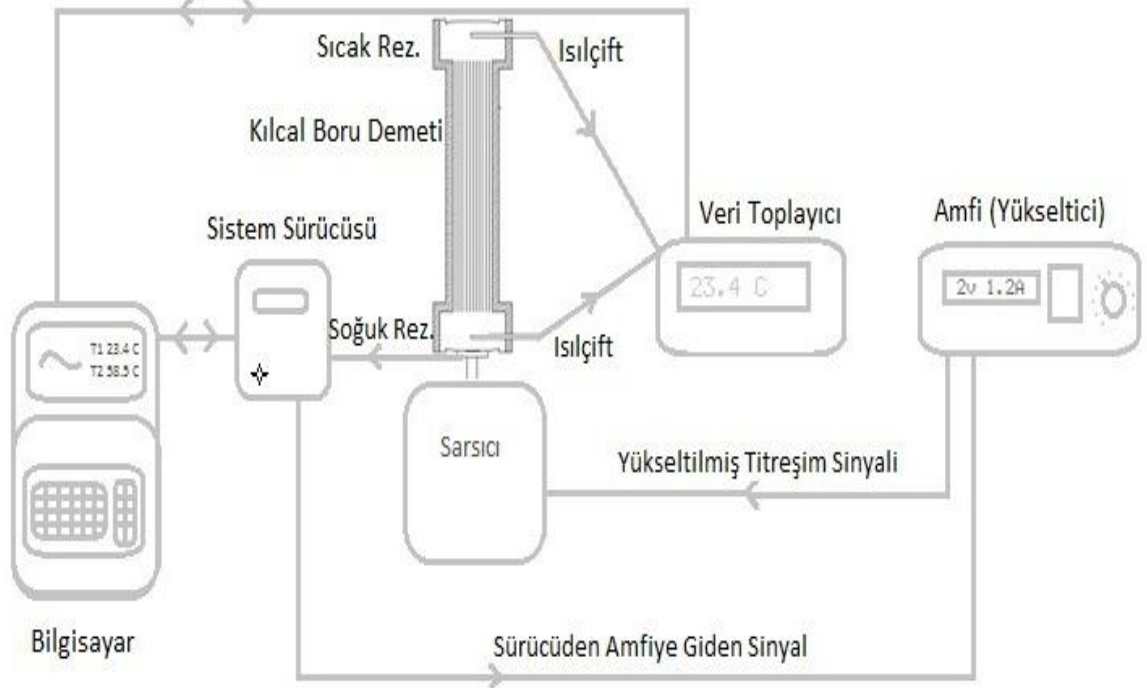
Bu çalışma için öncelikle ısı aktarım tüplerinden oluşan bir deney düzeneği oluşturulmuş. Sistem içindeki akışkana titreşim sağlamak ve ölçüm yapmak için gerekli ekipman ile desteklenmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneyler ile ısı aktarım tüplerinde ki ısı transferi incelenmiş. Isı transferi frekans, ısı transferi genlik, değerleri ve farklı boru çapı için uygun bağıntılar ile ısı transferi titreşim arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Üzerinde çok fazla çalışma olmayan bu alanda gelecek çalışmalar için bir basamak teşkil etmesi öngörülmektedir.



2. DENEY YÖNTEMİ

2.1 DeneY Düzeneyinin Hazırlanması

Titreşim kontrollü ısı aktarım tüplerinde ısı transferini incelemek için gerekli deneY düzeneyi hazırlanmıştır. DeneYde kullanılan deneY düzeneyini genel olarak tarif etmek gerekirse, sıcak ve soğuk akışkanla dolu olan iki rezervuar, bu rezervuarları bağlayan kılcal borular, sisteme titreşim sağlayan sarsıcı ve gerekli parametreleri ölçen ölçüm araçlarından oluşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: DeneY düzeneyinin elemanları ve çalışma şeması (temsili).

DeneY düzeneyinin ana unsuru rezervuar ve boruların olduğu sistemdir (Resim Ek.7). Sistem akrilik borulardan ve plakalardan imal edilmiştir. Bu şekilde şeffaf görüntü sağlanmış, çıplak gözle sistemi izleme imkanı bulunmuştur. Resim 2.1’de şeffaf rezervuar görülebilir. Büyük çaplı borulardan oluşturulan iki rezervuar daha dar çaplı olan boru ve içindeki cam borulardan oluşan demet ile bağlanmıştır. Cam

borular akrilik boru içine sıkıştırılmış herhangi bir yapıştırıcı kullanılmamıştır. Resim 2.2’de boru demeti görülebilir. Bağlantı elemanları pirinçten hazırlanan 1 ¼” boru çapına sahip hazır malzemelerdir. Bunlar tornayla işlenerek gerekli boyut kazandırılmıştır. Aynı şekilde rezervuar tarafına da aynı malzemenin içdişli kısmı kullanılmıştır. Bunlar akrilik malzemeye reçine yardımıyla yapıştırılmıştır. Dişli bağlantıda sızdırmazlık için başta teflon bant kullanılmak istense de iyi sonuç vermemiş bunun yerine daha hızlı söküp takmayı kolaylaştıran “O ring” conta kullanılmış iyi sonuçlar alınmıştır.



Resim 2.1: Deneysel düzeneğinde kullanılan şeffaf akrilik rezervuar.



Resim 2.2: Kılcal boru demeti ve bağlantı elemanları.

Rezervuarlar inşa edildikten sonra termokupllar için giriş kanalı açmak gerekmiştir. Bu kanal termokuplların sürekli sökülüp takılmasına imkan verebilecek bir şekilde

olması için, pnömatik hortum bağlantı elemanlarından imal edilmiştir. Uygun çapta pnömatik hortumun içine ısılıçift sabitlenmiş bu hortuma uygun bağlantı elemanı kesilerek rezervuar üzerine sabitlenmiştir (Resim 2.4). Rezervuar üzerine ısılıçift bu contalı bağlantı elemanından geçtiği için su sızdırması olmamıştır. Böylece termokupllar gerektiğinde değişebilecek şekilde tasarlanmıştır.



Resim 2.3: Isılıçift bağlantı girişleri (sağda) ve alttan doldurma vanası (solda).

Her rezervuar için başta bir ısılıçift kullanılmış sonra sonuçların doğruluğunu teyit etmek adına iki ısılıçift ile ölçüm alınmıştır. Rezervuar sıcaklığını belirlemek için ortalama değer kullanılmıştır.

Sistemi osile etmek için başlangıçta elastik lateks malzeme(zar) kullanılmıştır. Fakat uzun süreli kullanımda osilasyonun sağladığı yorulma ile malzeme esnekliğini kaybetmeye başlamış ve yırtılmıştır. Frekans yükseldikçe bu durum daha sık yaşanmıştır. Daha sonra kullanılan körükler ile bu sorun çözülmüştür. Körüklü kauçuk malzeme ve tabanına yapıştırılan plastik malzemeyle bir piston gibi çalışan mekanizma yapılmış. Akışkan bu şekilde tahrik edilmiştir.

Sistemin doldurulup boşaltılması için önce sadece üst kısma delik açılmış fakat üst kısımdan akışkan doldurulurken hava kabarcığı sorunu ortaya çıkmıştır. Bu durum engellenmek için, soğuk rezervuar ve tüpler alttan yukarı doğru havayı iterek doldurulmuştur. Bunun için alttaki soğuk rezervuara alttan doldurma kanalı açılmıştır. Sıcak olan olan üst rezervuar üst kapaktan doldurulmuştur. Böylelikle hava kabarcığı yok edilmiştir. Körüklü sistemin ve üst doldurma kapağının genel görüntüsü Resim 2.4'de verilmiştir.



Resim 2.4: Körüklü sistemin genel görüntüsü

Sistemde yalıtım malzemesi olarak boruların yalıtımında kullanılan polietilen izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin yaklaşık ısı iletim katsayısı 0.043W/mK dir. Malzeme kalınlığı 10 mm 'dir. Çalışma sıcaklığı -45 ila 95 derece arasındır. Sistemin izolasyon kaplı ve boş hali Resim2.5'de görülebilir.



Resim 2.5: Sistemin izolasyonsuz (solda) ve izolasyonlu (sağda) haldeki resimi

Sistemde titreşimli akış oluşturmak için BrüelKjaer marka 4824 modeli titreşim cihazı kullanılmıştır. Cihazın özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Maksimum hareket 25,5 mm
- Çalışma aralığı 2-5000 Hz
- Maksimum hız: 1,5 m/s
- Maksimum İvme: 432 m/s²
- Sarsıcı ağırlığı 21 kg
- Gövde rezonans frekansı >6000 Hz

Titreşim cihazı ana gövdenin yanında sürücü amfi ve ölçüm aletlerinden oluşmaktadır. Titreşim cihazı ana gövdesi Resim Ek.1’de görülebilir.

Titreşim cihazı ana gövdesinin fiziksel özellikleri ise büyük yuvarlak sarımlardan oluşan metal bir korumayla kaplı gövde ve içinden dışarı çıkan bir milden oluşmaktadır. Milin ucunda “stinger” olarak tabir edilen tahrik çubuğuna bağlantı imkanı sağlayan bölüm bulunmaktadır. Tahrik çubuğu ile de sistem arasında bağlantıyı kurmak için piston koluna benzer bir parça tasarlanmış ayrıca ivmeölçer bağlantısı için küçük sac bir balkon oluşturulmuştur. Böylece ivme ölçer ile titreşim kaynağından çıkan titreşimlerin büyüklüğü ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Titreşim cihazı ana gövdesi bir sürücü (Resim Ek.2) yardımı ile kontrol edilmekte ve amfi (Resim Ek.3) ile sürücüden gönderilen sinyaller yükseltilmektedir.

Ölçüm aletleri titreşim cihazı sistemi için iki tanedir. Biri ivme ölçer diğeri ise mikrofon veya hidrofona diyeceğimiz basınç dalgası ölçen cihazdır. İvme ölçer ile titreşim kaynağından çıkan sarsıntılar ölçülmüş ve ivme olarak toplanan ham veriler daha sonra istenen büyüklüğe çevrilmiştir. İvmeölçer Resim Ek.4’de görülebilir.

Verileri ivmeden genliğe çevirmede öncelikle nümerik hesaplardan yararlanılmıştır. Daha sonraları ise sistemin sağlamış olduğu yazılımdan yararlanılmıştır. Bu yazılım gerekli görülen yerlerde oluşan sinyal kirliliklerini de önlemek için filtreleme özelliği ile de doğru sonuçlar almada kullanılmıştır. Verilerin toplayan cihazların çok hassas olması bunu zorunlu kılmaktadır çünkü çevresel veya sinyal olarak hertürlü insan

bedeniyle hissedilemeyecek veriler bu sensörle toplanmaktadır. Cihaz üzerinde biriken statik elektrik, manyetik etkiler önemli sinyal bozan kaynaklardır. Örneğin 5 Hz de yapılan bir deney için 3 Hz altında oluşan bozuk sinyaller sonucu olumsuz etkilemektedir. Bu sinyallerin kaynağı binada oluşan mikro sarsıntılar olabilir veya sinyal hataları olabilir. Bu durumda 3 Hz altı sinyaller filtre ile yok edilip deneyde oluşturulan 5hz lik dalgalar ölçülmüştür.

Sistem bunları dışında veri toplayıcı bir cihaz daha barındırmaktadır. Bu cihaz voltaj olarak gelen verileri istenilen ölçüm yöntemine göre işlemektedir. Cihaz görseli Resim Ek.5’de mevcuttur. Örneğin j tipi veya k tipi bir termokupl bağlanılan cihaz için uygun seçenek işaretlendiğinde cihaz sonuç olarak sıcaklık ölçümü yapmaktadır. Deneylerde öncelikle “j tipi” termokupl kullanılmak istenmiş fakat “j tipi” termokupl demir içerdiği için suyun içinde kısa zamanda paslanmıştır. Bunun yerine “k tipi” termokupl kullanılmıştır. Sonuç olarak aynı sonuçlar elde edilmiş korozyon ve paslanma önlenmiştir. 4 farklı termokupl ile 2 sıcak 2 de soğuk rezervuar toplam 4 veri alınmış bunların ortalaması ile rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır.

2.2 Deney Prosedürü

2.2.1 Nanoakışkanın hazırlanması

Nanoakışkan Alfa Aesar marka NanoDurAluminiumOxide 45nm (ağırlıkça %50) şeklinde hazır çözelti halinde alınmış saf su ile uygun oranda seyreltilmiştir. Aşağıda sunulmuş kütlece yüzde ve hacimce yüzde arasındaki bağıntıdan, hacimce yüzde bulunur (Eşitlik (2.1)).

$$\phi = \frac{Q \cdot \rho_f}{\rho_p + Q \cdot \rho_f - Q \cdot \rho_p} \quad (2.1)$$

Q : Ağırlıkça nanopartikül derişimi

ϕ : Hacimce nanopartikül derişimi

ρ_f : Çözücünün yoğunluğu

ρ_p : Partikülün yoğunluğu

Eklenmesi gereken su oranı aşağıdaki Eşitlik (2.2) ve (2.3) yardımıyla bulunur ve sisteme eklenir.

$$V_{nf} = \frac{V_{toplam} \cdot \phi_{istenilen}}{\phi} \quad (2.2)$$

$$V_{Su} = V_{toplam} - V_{nf} \quad (2.3)$$

Seyreltilen nanoakışkanın ısıtıldığında yaklaşık 70°C’de çökelediği gözlenmiştir. Bu nedenle deneylerde nanoakışkan sıcaklığı yaklaşık 60-62°C derecede sınırlanmıştır. Nanoakışkanın fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde genel olarak kullanılan yöntemlerden yararlanılmıştır. Bunlardan aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

Nanoakışkanın yoğunluğu Eşitlik (2.4)’de bulunan bağıntı yardımıyla bulunur.

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_f \quad (2.4)$$

ϕ : Hacimce nanopartikül derişimi

ρ_{nf} : Nanoakışkanın yoğunluğu

ρ_f : Temel akışkan yoğunluğu

ρ_p : Partikülün yoğunluğu

Sabit basınçtaki özgül ısı değeri akışkanın ve nanoparçacıkların kütlelerinin oranıyla bulunur (Eşitlik (2.5)).

$$(\rho c_p)_{nf} = \phi (\rho c_p)_p + (1 - \phi) (\rho c_p)_f \quad (2.5)$$

Deneylerde kullanılan akışkanın viskozitesinin belirlenmesi için Brookfield marka DV3T model reometre cihaz kullanılmıştır. Cihazda kullanılan dönen disk (spindle),

akışkanın özelliklerine uygun olan z-40 boyutundadır. Cihazın görseli Resim Ek.6'da verilmiştir. Elde edilen değerlere ise sonuçlar kısmında yer verilmiştir.

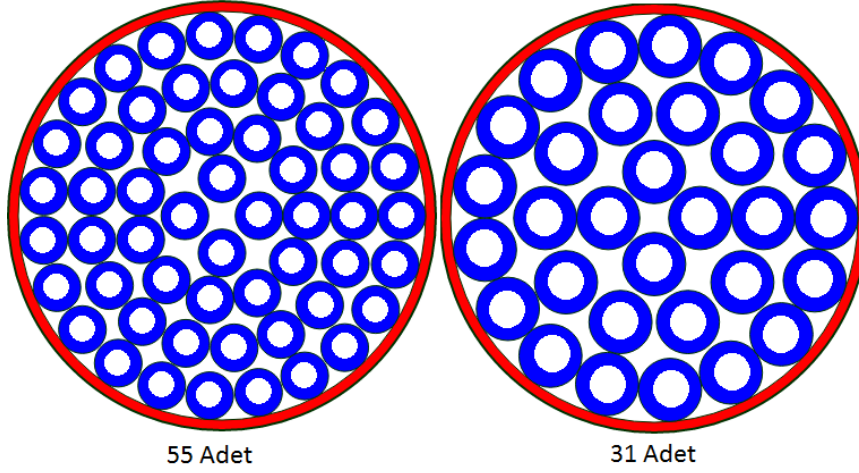
2.2.2 Deneyin yapılışı

Deney yapılmaya başlamadan önce sistemin bağlantıları yapılır. Bilgisayar sürücü, bilgisayar veri toplayıcı iletişimi sağlanır. Isılçiftlerin, titreşim cihazının ve ölçüm aletlerinin çalışması kontrol edilir. Titreşim cihazının ölçüm kısmı aktif halde bırakılır. Deney aşamasına geçmeden önce sıcak rezervuara konulacak sıcak akışkan elektrikli ocak üzerine ısınmaya bırakılır. Bir yandan da sisteme soğuk akışkan alttaki doldurma vanasından yavaş yavaş konulur. Bu arada sistem içinde hava kalmamasına özen gösterilir. Sistem tasarımı alltan doldurmaya uygun olduğu için önemli bir hava kabarcığı kalmamakta fakat doldururken yine de dikkatli olmak çalkantı oluşturmamak gerekmektedir. Isınan sıcak akışkan üst rezervuara üst kapaktan konulur. Körük, hava kalmayacak şekilde hafifçe bastırılır ve tapa sıkılır. En kısa sürede sıcaklık ölçümü cihazı bilgisayar üzerinden çalıştırılır ve veriler kayıt edilmeye başlanır. Sıcaklık ölçümü cihazını açarken aynı anda kronometre açılır. Birkaç saniye içinde titreşim cihazına hareket verilir. Titreşim cihazına hareket verilirken kronometre kontrol edilir. Titreşim cihazı çalışmadan ilk ölçülen sıcaklık değerleri hesaplamalarda dahil edilmez. Titreşim büyüklükleri kayıt altına alınır. Deney süresince sıcaklıklar incelenir. Sıcaklık farkı çok küçüldüğünde ölçüm kayıtları durdurulur. Daha sonra titreşim cihazı durağan konuma getirilir. Elde edilen veriler kayıt altına alınır ve deney düzeneği boşaltılarak deney tamamlanır. Eğer tekrar deney yapılacaksa deney düzeneğinin soğuması beklenir. Oda sıcaklığına gelen sistem de tekrar aynı prosedür uygulanarak deney yapılabilir.

Elde edilen veriler daha sonra işlenerek kullanıma uygun hale getirilir. Örneğin; ivme verisi filtrelenerek istenmeyen frekanslardaki “gürültü” diye tabir edilen parazit veriler ayıklanır. Sıcaklık ölçümünde de aynı noktadan iki ısıl çift ile ölçüm alındığından ortalama alınarak sıcaklık verisi tek değere indirgenir. İvme verileri genlik verisine dönüştürülür. Sıcaklık verisinden ise ısı transferi hesaplamaları yapılır.

Etkin alan kılcal boru demeti ve demeti saran kalın boru arasında kalan boşluktur. Bu alanın hesabı büyük borunun iç alanından küçük boruların et kalınlığının alanı

çıkarılarak bulunur.Şekil 2.2’de büyük boru ve içindeki kılcal boruların kesiti görülebilir.



Şekil 2.2: Kılcal boru demetlerinin kesitini gösteren temsili resim.(soldaki a=1,5 mm, sağdaki a=2,4 mm)

Pipetler arasında kalan etkin alan, büyük borunun iç kesit alanından pipetlerin et kalınlığından kaynaklanan alan çıkarılarak bulunur.Denklem (2.6)’da gösterilmiştir.

$$A=A_b-n.A_p \quad (2.6)$$

A=Etkin alan

A_b =Dıştaki büyük borunun iç kesit alanı

A_p =Pipetlerin et kalınlığından kaynaklanan alan

n= Pipet sayısı

Deneyde kullanılan düzeneğin etkin alan ve diğer kritik ölçüleri aşağıda Çizelge 2.1’de verilmiştir

Çizelge 2.1: Deneyde kullanılan sistem ölçüleri

A (1,5 mm Kılcal Boru Demeti)	2,15 cm ²
A (2,4 mm Kılcal Boru Demeti)	2,65 cm ²
V_c	133 cm ³
L	28 cm
ρ_{su}	0,997 gr/cm ³
$\rho_{Nano.}$	1,057 gr/cm ³
$C_{p,su}$	4,18 W/m.K
$C_{p,Nano.}$	3,92 W/m.K



3. SONUÇLAR

Yapılan deneylerde, Çizelge 3.1’de ayrıntılı bir şekilde verilen parametrelerin ısı transferine etkisi incelenmiştir. Grafikler üzerinde kontrollü deneylerde değişken olarak sabit tutulan ve kontrollü şekilde değiştirilerek etkileri incelenen genlik, boru çapı, akışkan türü, frekans ayrı ayrı çizdirilerek, etkileri açık bir şekilde ortaya konmaya çalışılmıştır. Sonuçlar kısmı kendi içinde sekiz alt başlığa ayrılmaktadır. Bölüm 3.1’de deneyler sırasında ölçülmüş fakat hiç hesaplama yapılmamış ilk verilere yer verilmiştir. Çok sayıda deney yapıldığı için bu kısımda örnek birkaç deney bulunmaktadır. Bölüm 3.2 ve 3.3’de ısı transferinin zamanla değişimi ve deney süresince belirli bir zamana kadar olan sürede gerçekleşen toplam ısı transferi verileri incelenmiştir. Bölüm 3.4’de ise sonuçlar deney süresince elde edilen en büyük etkin ısı yayılım katsayısının farklı frekans ve genliklerde değişimi olarak gösterilmiştir. Bölüm 3.5’de literatür içinde yapılan çalışmalar ile elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen ve deneyler sonucunda elde edilen en büyük etkin ısı yayılım katsayısı değerleri logaritmik eksenli grafik ile çizdirilmiş, sonuçların uyumlu olup olmadığı gösterilmiştir. Bölüm 3.6’da akışkanlar arasındaki viskozite farklılıklarından dolayı sonuçların etkin Prandtl Sayısı ile ifadesi gerekmiş, yine frekans ve genlik etkisinde incelenmiştir. Bölüm 3.7’de, genlik sabit tutularak yapılan deneylere yer verilerek frekans etkisinin daha net görülmesi amaçlanmış, farklı akışkanlar ve boru demetleri için önceki bölümlerdeki sonuçlara benzer grafikler bu sabit genlik değerlerinde çizdirilmiştir. Son kısımda, Bölüm 3.8’de, sistemin enerji sarfiyatı ve verimli olduğu çalışma aralıkları incelenmiştir.

Çizelge 3.1: Yapılan deneyler ve deneylerle ilgili yapılan hesaplamalar

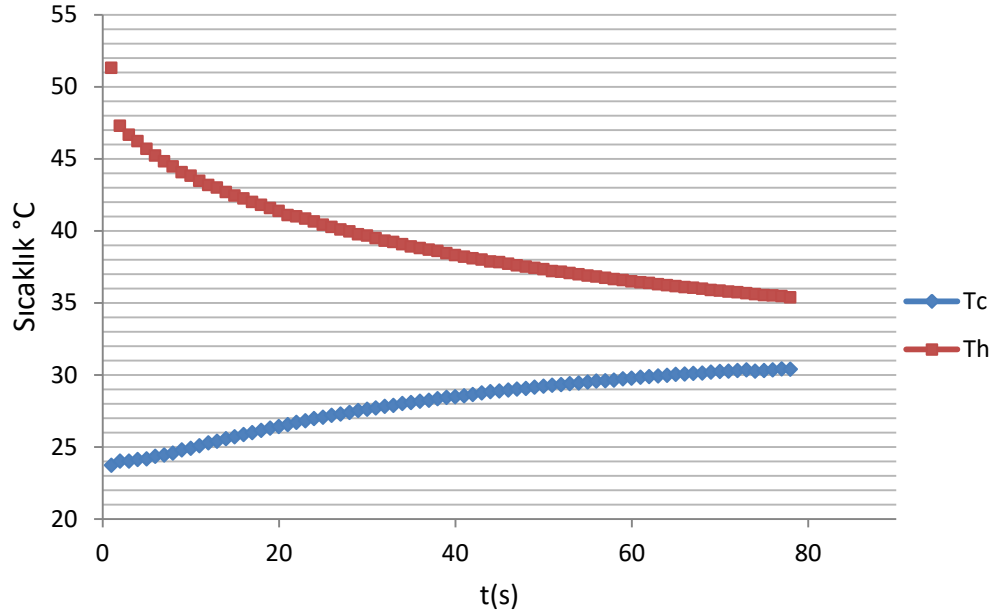
Pipet İç Çapı	Akışkan	Frekans	Genlik
a=1,5 mm	Saf Su	f = 3-15 Hz	$\Delta S=2-13$ cm
	Su-Alümina (%2)	f = 5-15 Hz	$\Delta S=2,5-9$ cm
a=2,4 mm	Saf Su	f = 5-15 Hz	$\Delta S=4-12$ cm
	Su-Alümina (%2)	f = 5-15 Hz	$\Delta S=3-12$ cm
a=1,5 mm	Saf Su	f = 5-15 Hz	$\Delta S=4$ cm, $\Delta S=5$ cm
	Su-Alümina (%2)	f = 5-15 Hz	$\Delta S=4$ cm, $\Delta S=5$ cm
a=2,4 mm	Saf Su	f = 5-15 Hz	$\Delta S=4$ cm, $\Delta S=5$ cm
	Su-Alümina (%2)	f = 5-15 Hz	$\Delta S=4$ cm, $\Delta S=5$ cm

3.1 Deney Sırasında Sıcak ve Soğuk Rezervuarların Sıcaklık Değişimi

Yapılan örnek deneyde elde edilen sıcaklık verilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.1'de sunulmuştur. Deneyin ayrıntılı verisi Ek.2'de mevcuttur. Grafikten de anlaşılacağı gibi sistem paralel akışlı ısı değiştirgeci gibi bir sıcaklık eğrisi vermektedir. Aşağıdaki grafikte sadece bir frekans ve bir tane yerdeğiştirme değeri için örnek bir sonuç verilmiştir. Diğer farklı frekans ve yerdeğiştirme değerlerinde grafiğin değişim eğilimi yine aynı olmakla birlikte ısı transferinin hızına göre grafiklerin eğimleri artmakta yada azalmaktadır.

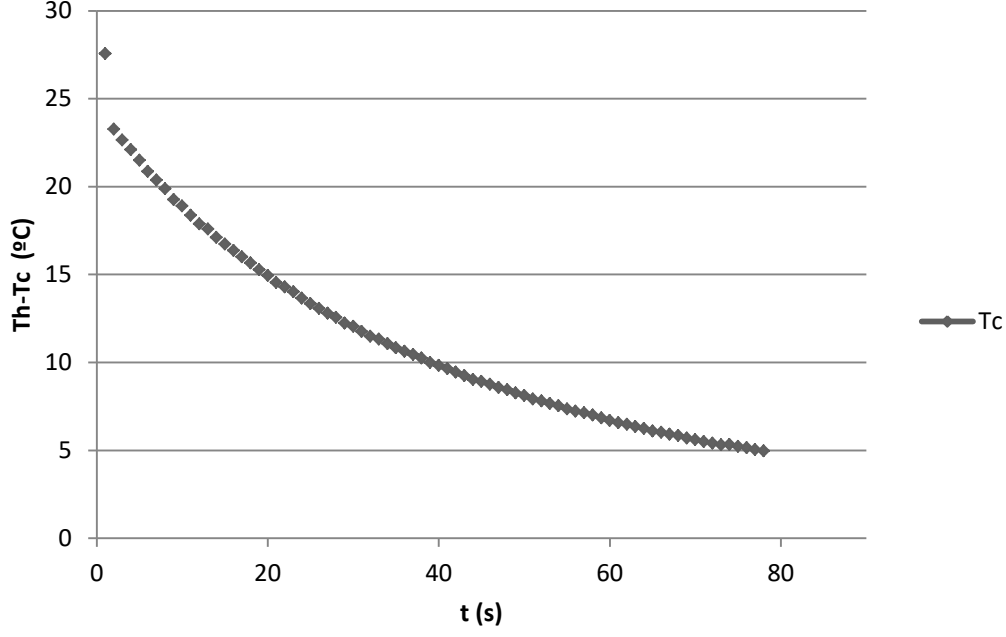
Kılcal tüpler soğuk akışkanla dolu olduğu için ilk önce ani sıcaklık düşüşü sıcak rezervuarda gözlenmekte ve daha sonra sistem daha stabil hale gelince soğuk rezervuarda sıcaklık artışı yaşanmaktadır. Sistemin incelenmesi yapılırken o yüzden

soğuk rezervuardaki sıcaklık artışı baz alınmaktadır. Ayrıca soğuk rezervuar oda sıcaklığına en yakın sıcaklığa sahip olduğu için dışarıyla olan ısı transferi çok azdır. Yalıtım da kullanıldığı için burada çevreye ısı transferi yok ihmal edilebilir mertebededir.



Şekil 3.1: Deney sırasında soğuk ve sıcak rezervuarların sıcaklık değişimi. ($f=5$ Hz, $\Delta S=7,9$ mm, Saf su)

Şekil 3.3'de de görüleceği gibi ısı transferi ilk önce hızlı bir artışla en yüksek değere ulaşmış daha sonra sıcaklık farkının azalmasıyla düşüş eğilimine girmiştir. Sıcaklık farkındaki düşüş Şekil 3.2'de görülebilir.

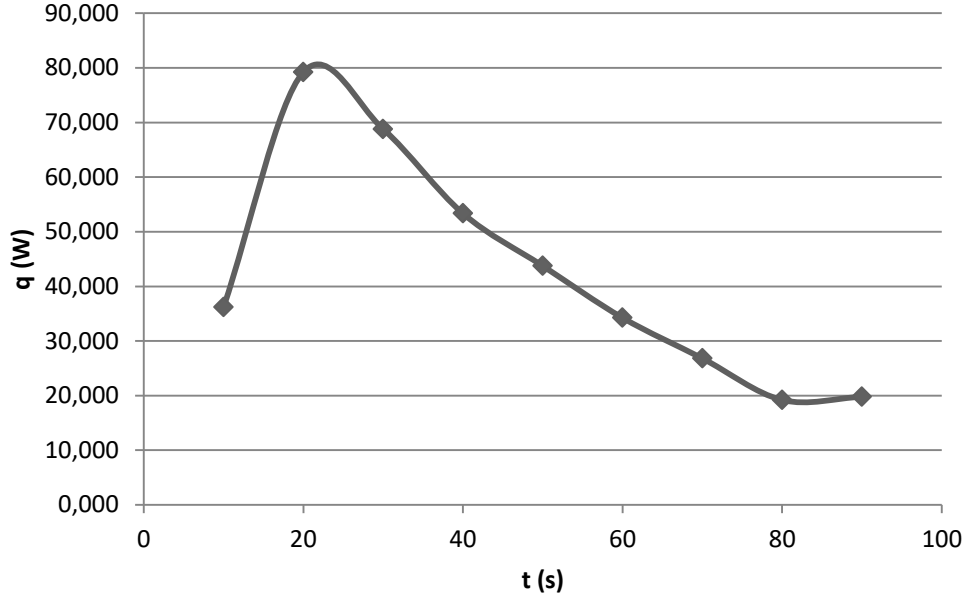


Şekil 3.2: Deney esnasında sıcak ve soğuk rezervuarlar arasındaki sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.(f=5 Hz, $\Delta S=7,9$ mm, Saf su)

3.2 Isı Transferinin Zamanla Değişimi

Deneyler süresince ısı transferinin nasıl değiştiğini göstermek için soğuk rezervuardaki anlık ısı transferi değişimi zamana bağlı olarak çizdirilmiştir. Anlık ısı transferini bulmak için öncelikle soğuk rezervuardaki birim zamandaki sıcaklık değişimi bulunmuştur. Özgül ısı, yoğunluk ve hacimle çarpılarak ısı transferinin anlık değeri hesaplanır. Şekil 3.3’de örnek deney için ısı transferi sunulmuştur.

$$q = \rho \cdot c_p \cdot V \frac{dT_c}{dt} \quad (3.1)$$

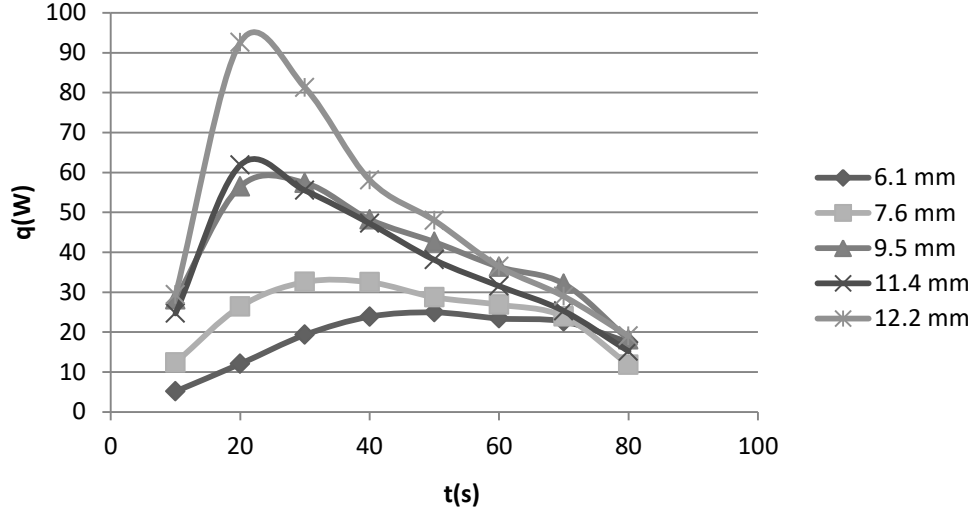


Şekil 3.3: Soğuk rezervuardaki anlık ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($f=5$ Hz, $\Delta S=7,9$ mm, Saf su)

3.2.1 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi ($a=1,5$ mm)

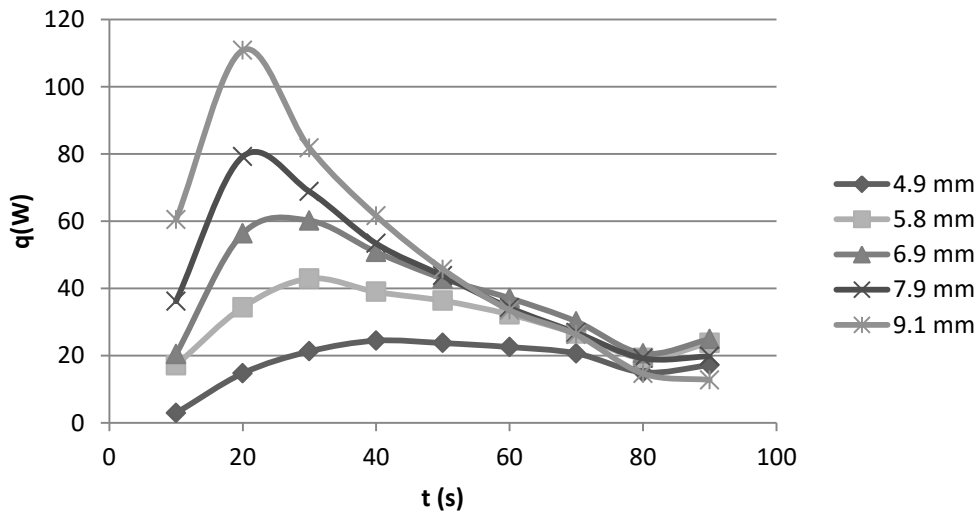
Farklı güç değerlerinde yani farklı titreşim genlikleri uygulandığında sistemin ısı transferi hızları farklı olmaktadır. Şekil 3.4'den Şekil 3.10'a kadar olan tüm grafiklerde saf suyla 1,5 mm'lik iç çapları olan cam borulardan oluşan kılcal boru demeti kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları anlık ısı transferinin zamanla değişimi şeklinde gösterilmiştir.

Anlık ısı transferi 3 hz frekansta deneyin başlayışından sonraki 80 saniye boyunca Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Isı transferi önce artmıştır, sonra artışa göre daha yavaş azalan bir seyir izlemiştir. Artışın sebebi soğuk rezervuarın içinde ısı transferinin başlaması, ısı transferinin yavaşlamasının sebebi ise rezervuarlar arası sıcaklık farkının düşmesidir. Yaklaşık 20-25. saniyelerde en büyük değerini almaktadır. Genlik 6,1 mm'den 12,2 mm'ye çıktıkça anlık ısı transferi göreceli olarak artmaktadır. En yüksek değer 95 W'dır.



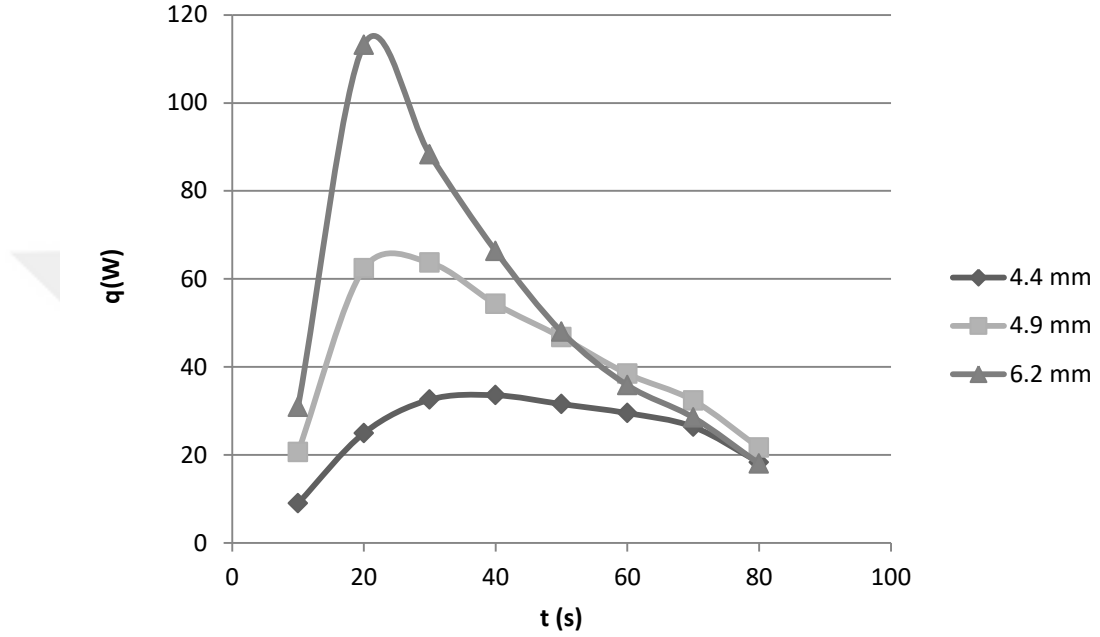
Şekil 3.4: 3 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)

Şekil 3.5’de, 5 Hz sabit frekansta, 1,5 mm iç çaplı cam borularla oluşturulmuş kılcal boru demeti ile saf su kullanılarak yapılan deneyler için ısı transferini zamanla değişimini gösteren grafik gösterilmiştir. Anlık ısı transferi önce artmıştır, sonra artışa göre daha yavaş azalan bir eğri izlemiştir. Yaklaşık 20-25. saniyelerde grafikler zirve yapmaktadır. Genlik 4,9 mm’den 9,1 mm’ye çıktıkça anlık ısı transferi de göreceli olarak artmaktadır. Bu kez grafiğin en büyük değeri 110 W düzeyine ulaşmaktadır.



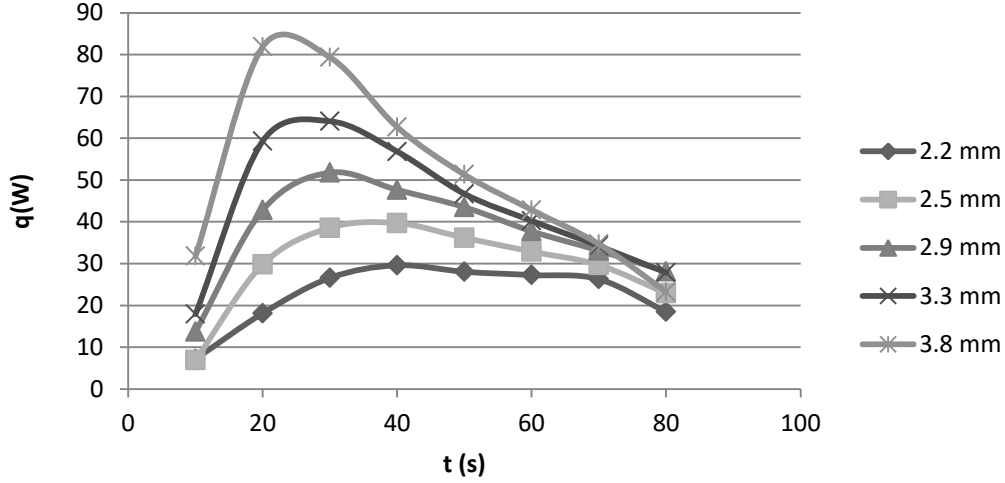
Şekil 3.5: 5 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)

Deneyle 7 Hz sabit frekansta tekrarlandığında Şekil 3.6'daki grafik elde edilir. Yine önce artış, sonra azalış gözlemlenmiştir. Genlik artışıyla paralel artış mevcuttur. 5 Hz frekansta yaklaşık 9 mm genlikle elde edilen en büyük ısı transferi değeri bu grafikte daha küçük bir genlikle ($\Delta S=6,2$ mm) elde edilmiştir. Grafikteki veriler 80 saniyelik bir bölümü kapsamaktadır.



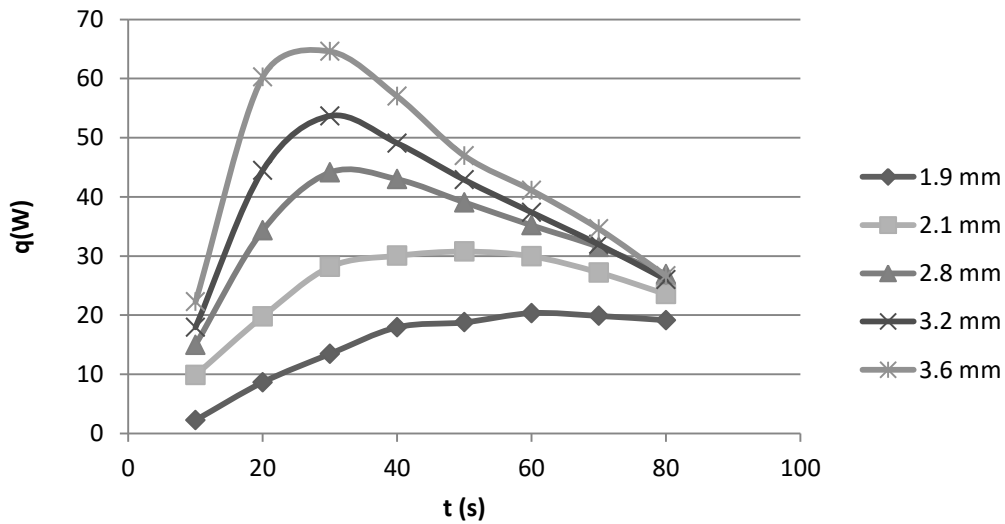
Şekil 3.6: 7 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)

Anlık ısı transferi değeri, 9 Hz sabit frekansta yapılan deneyler için Şekil 3.7'de sunulmuştur. Deneyin ilk 80 saniyelik kısmını kaplayan verilerde önce zamanla artış sonra azalma görülmektedir. Isı aktarımı 84 W değerine kadar çıkmaktadır. Fakat titreşim genlikleri önceki grafiklere göre oldukça küçük değerlerdedir. Yani nisbeten az bir yerdeğiştirme ile çok ısı geçişi sağlanmıştır.



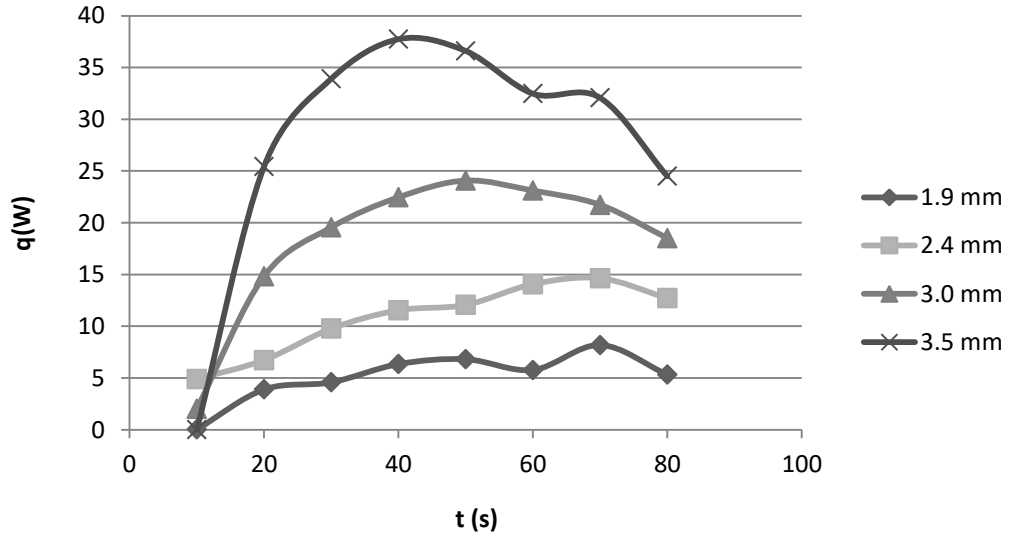
Şekil 3.7: 9 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

10 Hz sabit frekansta yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar, anlık ısı transferinin zamanla değişimi olarak Şekil 3.8’de görülebilir. 1,9 mm ve 3,6 mm arasında değişen genliklerde deneyler tekrarlanmıştır. Genlik arttıkça artan ısı transferi değerleri burada da görülmektedir. 9 Hz frekansta elde edilen verilerin değerlerine yakın olsa da, çok az daha küçük değerler erişilmiştir. En büyük değer, 3,6 mm genlikte yaklaşık 25.saniyede, 65 W olarak okunmuştur.



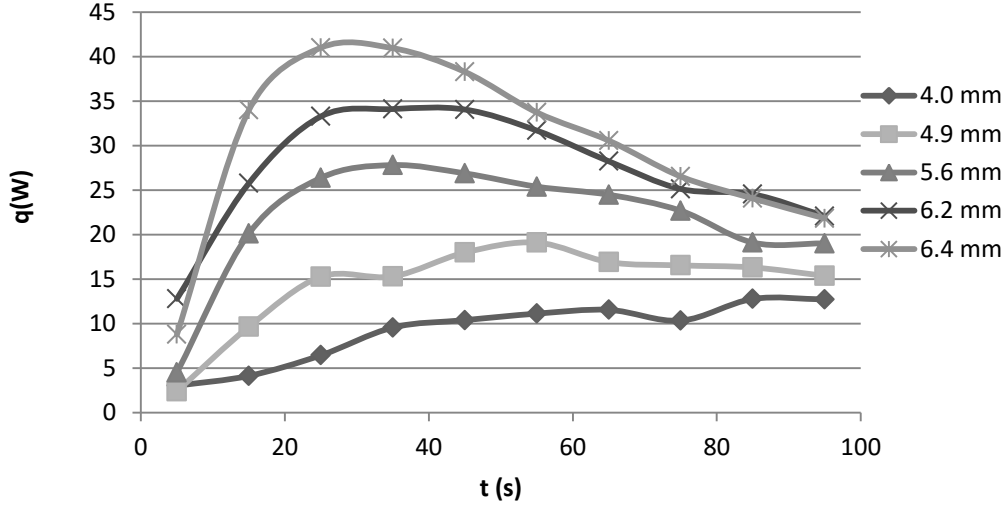
Şekil 3.8: 10 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

12 Hz sabit frekasta, anlık ısı transferinin farklı genliklerde zamanla değişimi, Şekil 3.9'da verilmiştir. Isı transferi için zamanla önce artan sonra azalan eğriler mevcuttur. Grafiklerin en büyük ısı transferi değerleri, önceki grafiklerde daha kk zaman aralıklarında okunurken, bu grafikte 50-60 saniye aralığına kaymıştır. En büyük ısı transferi değeri yaklaşık 42 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.9: 12 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)

15 Hz sabit frekansta, farklı genliklerde, anlık ısı transferinin zamanla değişimi, Şekil 3.10'da verilmiştir. 4 mm ile 6.4 mm arasındaki değişen genliklerde deneyler tekrarlanmış, veriler deneydeki ilk 90 saniye boyunca çizdirilmiştir. En büyük ısı transferi, aynı genlik aralığıyla karşılaştırılınca, 9 Hz frekanstaki değerine göre yaklaşık 10 kat azalmıştır.

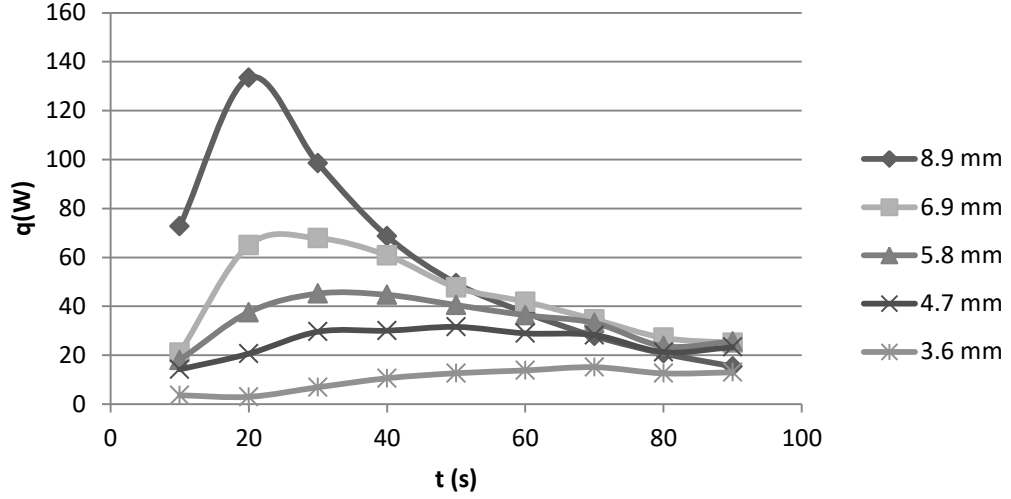


Şekil 3.10: 15 Hz sabit frekansta, saf su ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. ($a=1,5$ mm)

3.2.2 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi ($a=1,5$ mm)

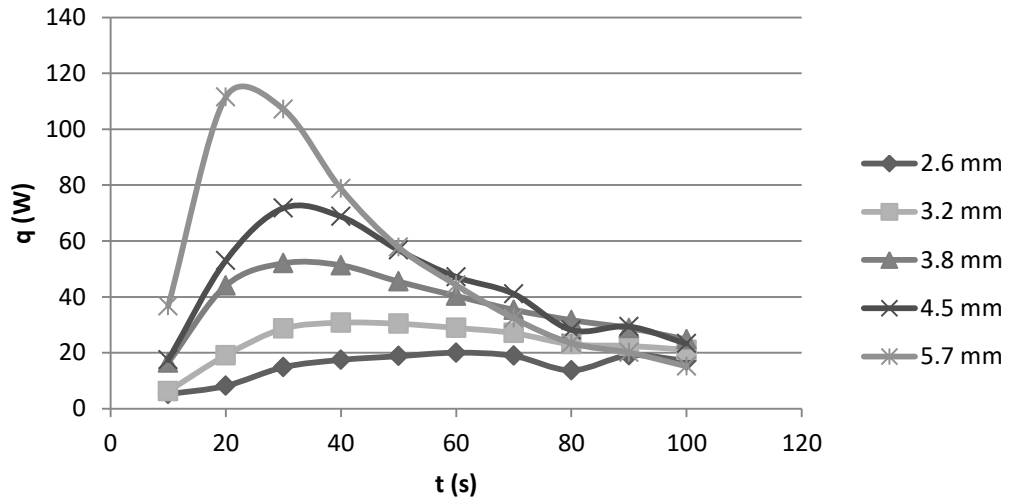
Saf su ile bir önceki bölümde yapılmış olan deneylere benzer şekilde su-Alümina nanoakışkan ile 1.5 mm'lik pipetlerle yapılan deneylerde, ısı transferinin zamana bağlı değişimi, Şekil 3.11 ve Şekil 3.15 arasında farklı frekans değerleri için ayrı ayrı verilmiştir.

5 Hz sabit frekansta farklı genliklerde su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferi verileri Şekil 3.11'de gösterilmektedir. 3,6 mm ile 8,9 mm arasındaki genlik değerleri arasında, deneyin ilk 90 saniyesi için deney sonuçları çizdirilmiştir. Isı transferi, yaklaşık 25. saniyede, en büyük değeri olan 135 W'a erişmektedir.



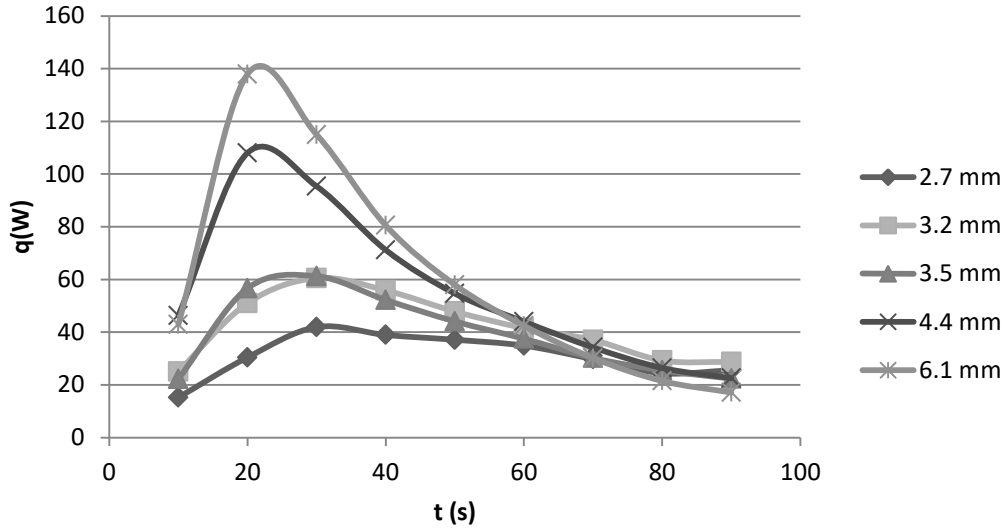
Şekil 3.11: 5 Hz sabit frekansta su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

Su-Alümina nanoakışkan ile 7 Hz sabit frekansta yapılan deneyler anlık ısı transferinin zamanla değişimi Şekil 3.12’de verilmiştir. Isı transferi için, önce zamanla artan sonra azalan eğri mevcuttur. 110 W değerine kadar ısı transferi gerçekleşmiştir. Deneylerin birbirleriyle ortak olan ilk 100 saniyesi için sonuçlar çizdirilmiştir. 25 ile 35. saniyeler arasında, maksimum ısı aktarım değerlerine ulaşılmıştır.



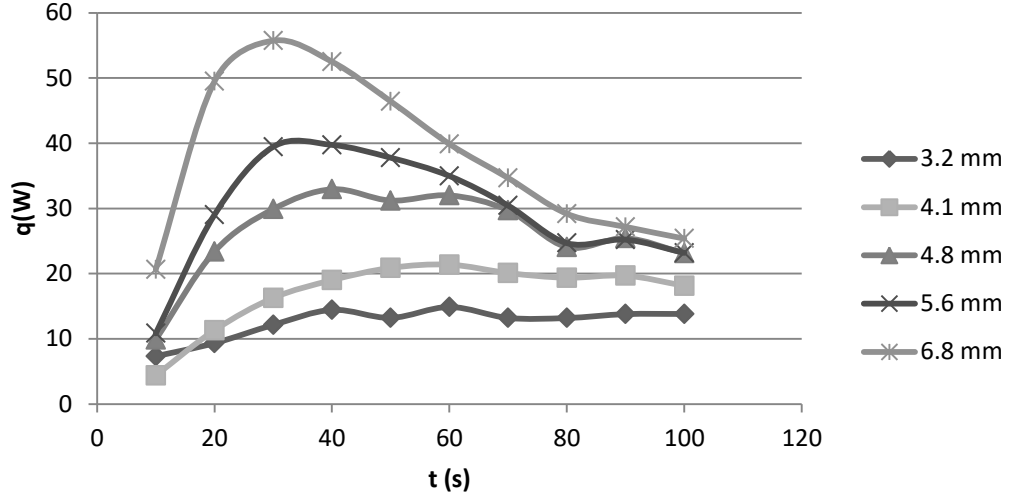
Şekil 3.12: 7 Hz sabit frekansta, su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

2,7 mm ile 6,1 mm arasında farklı genliklerde, 9 Hz sabit frekansta yapılmış deneylerin anlık ısı transferi değerleri, Şekil 3.13’de sunulmuştur. Deneylerin ortak olan ilk 90 saniyeleri için sonuçlar verilmiştir. En büyük ısı transferi değeri 140 W’a kadar ulaşmıştır. Grafiğin genelinde, her bir eğri için en büyük değerler, 25-35. saniyelerde görülmektedir. Aynı genlik değerlerine göre ısı transferi, önceki grafiklere oranla oldukça yüksektir.



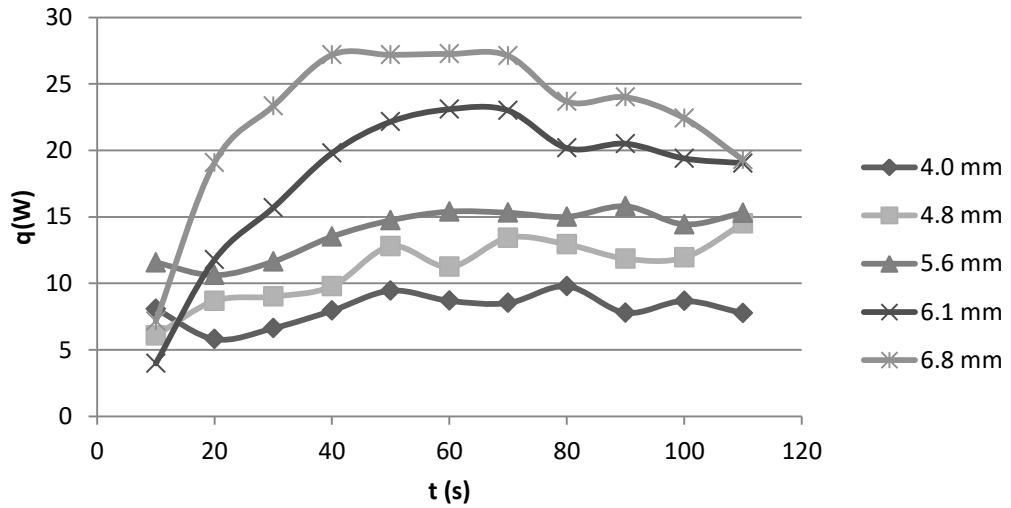
Şekil 3.13: 9 Hz sabit frekansta, su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

Sabit 12 Hz frekansta yapılan deneylerin, anlık ısı transferi değerleri Şekil 3.14’de verilmiştir. 3,2 mm ile 6,8 mm arasında değişen genliklerde deneyler yapılmıştır. Isı transferinde, zamana bağlı olarak önce artan, sonra azalan eğriler vardır. 6,8 mm genlikte, yaklaşık 35. Saniyede, ısı transferi değeri, en büyük değeri olan 55 W değerini almaktadır.



Şekil 3.14: 12 Hz sabit frekansta, su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

15 Hz sabit frekansta elde edilen sonuçlar, Şekil 3.15’de ısı transferinin zamanla değişimi olarak görülebilir. Anlık ısı transferi, zaman ekseninde ilerledikçe önceki grafiklere göre daha yatay bir eğri izlemiştir. En büyük ısı transferi değerleri, 40-80 saniye aralığına yayılmıştır. 6,8 mm genlikte yapılan deneyde elde edilen 27 W maksimum değeri, diğer frekans değerleride elde edilen ısı transferi değerlerine göre oldukça küçüktür.

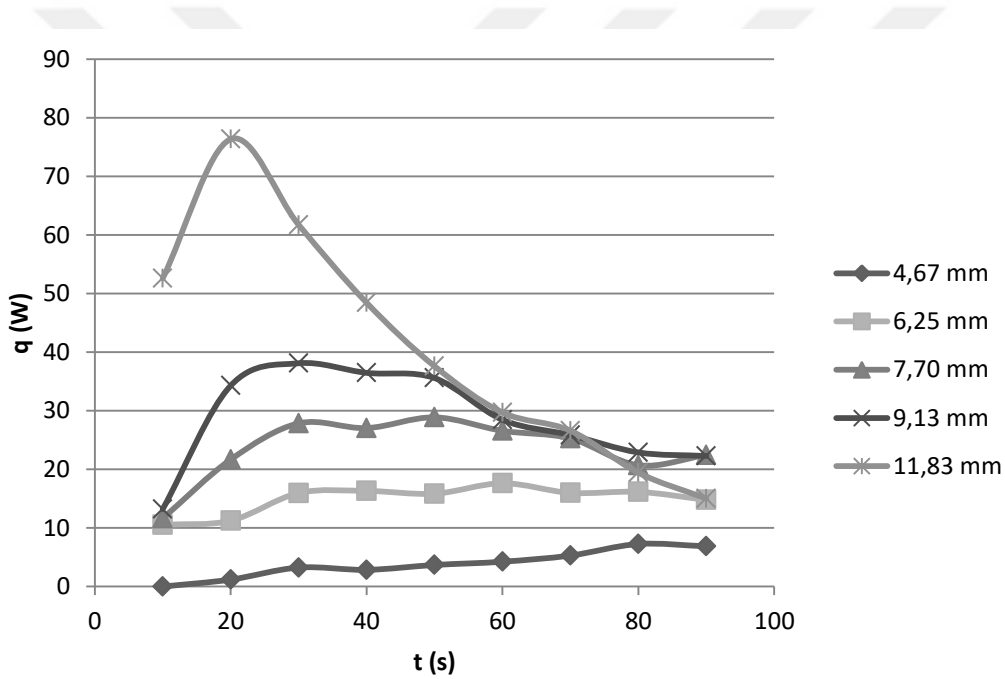


Şekil 3.15: 15 Hz sabit frekansta, ve su-Alümina nanoakışkan ile yapılan deneylerin anlık ısı transferinin zamanla değişimi. (a=1,5 mm)

3.2.3 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi (a=2,4 mm)

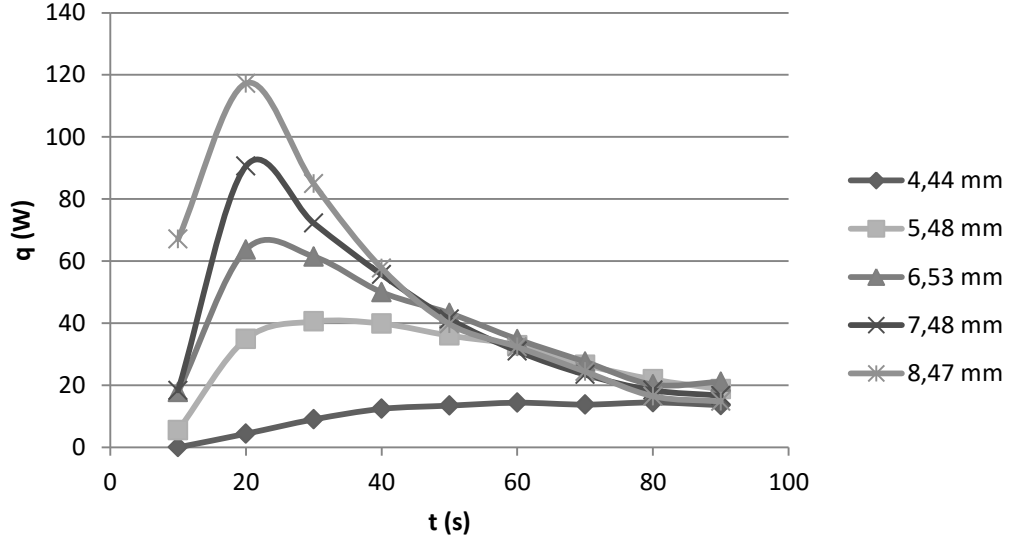
Benzer deneyler farklı boru çapında tekrar edilmiştir. Saf su ve 2,4 mm'lik i çapı olan pipetler ile yapılan deney sonuçları bölümün içinde görülebilir.

Farklı genlik değerlerinde, 5 Hz sabit frekansta yapılan deneylerin sonuçları, Şekil 3.16'da ısı transferinin zamana bağlı değişimi Şeklinde verilmiştir. Grafikte genlik değerleri 4,67 mm ile 11,83 mm arasında değişmektedir. En büyük ısı transferi değeri, 11,83 mm genlikte, deneyin başlangıcından sonraki 20. saniyede, 76 W olarak gerçekleşmiştir.



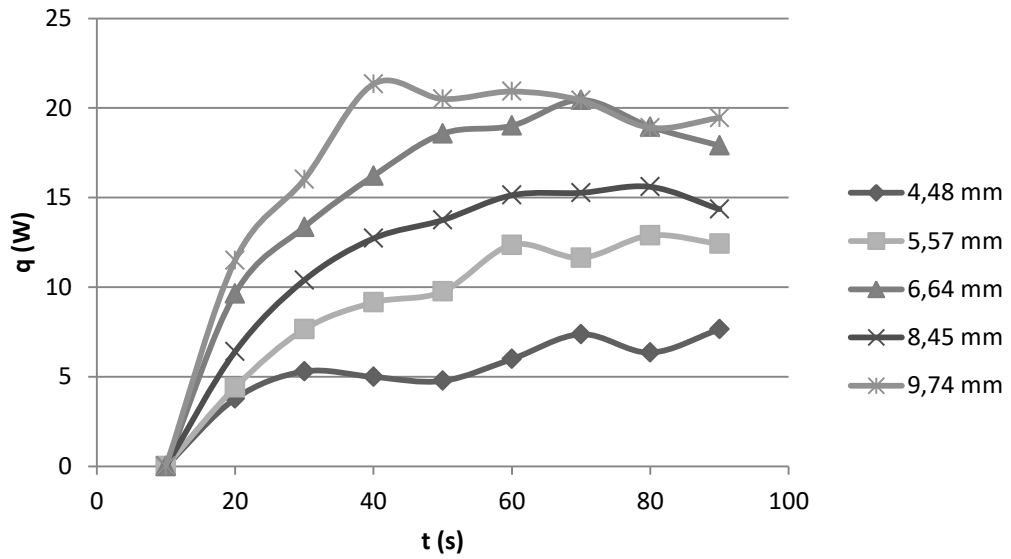
Şekil 3.16: 5 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

7 Hz frekansta, 2,4 mm'lik pipetlerin kullanıldığı deneylerin, ilk 90 saniyesinde ölçülen anlık ısı transferi, Şekil 3.17'de gösterilmiştir. 4,44'den 8,47 mm'ye kadar genliklerde deneyler yapılmıştır. 8,47 mm genlikte 20. saniyede 118 W değerine ulaşılmıştır. Isı transferi, deneyin ilk 20 saniyesinde önemli ölçüde arttıktan sonra, zamanla azalarak ilerlemektedir.



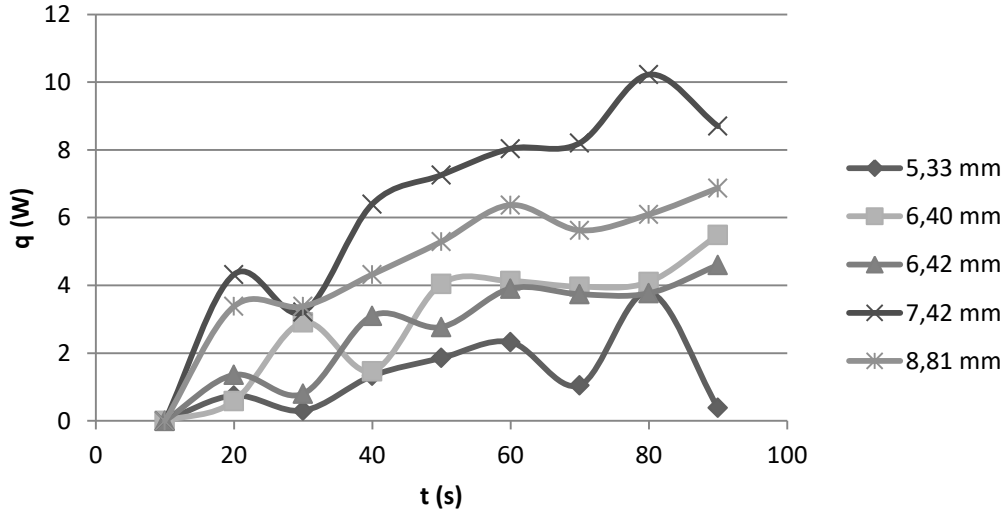
Şekil 3.17: 7 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan, deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

12 Hz sabit frekansta farklı genliklerde tekrar edilen deney sonuçları Şekil 3.18'de sunulmuştur. 90 saniye boyunca ısı transferinin değişimi grafik üzerinde gösterilmiştir. Fakat ısı transferinin değeri diğer 5 ve 7 Hz frekansta elde edilen değerlere göre oldukça düşüktür. Örneğin 7 Hz frekansta, 5,48 mm genlikte maksimum 40 W ısı transfer edilmiştir. Bu değere bu grafikte 9,74 mm genlik değerinde dahi erişilememiştir. 40-60. Saniyelerde ısı transferi en büyük değerini almaktadır. En büyük değer 9,74 mm genlikte 21 W'dır.



Şekil 3.18: 12 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

15 Hz sabit frekansta yapılan deneylerde de benzer sonuçlar 90 saniyelik grafikler olarak çizdirilmiş, Şekil 3.19'da bu grafikler sunulmuştur. Bu frekansta elde edilen ısı transferi değerleri oldukça düşüktür. Düşük olduğu için kısmı dalgalanmalar ve grafiklerde yatay seyir göze çarpmaktadır. Grafikteki en büyük değer 10 W civarındadır ve grafiğin geneli 12 Hz frekansta olan verilerden yarı yarıya düşüktür.

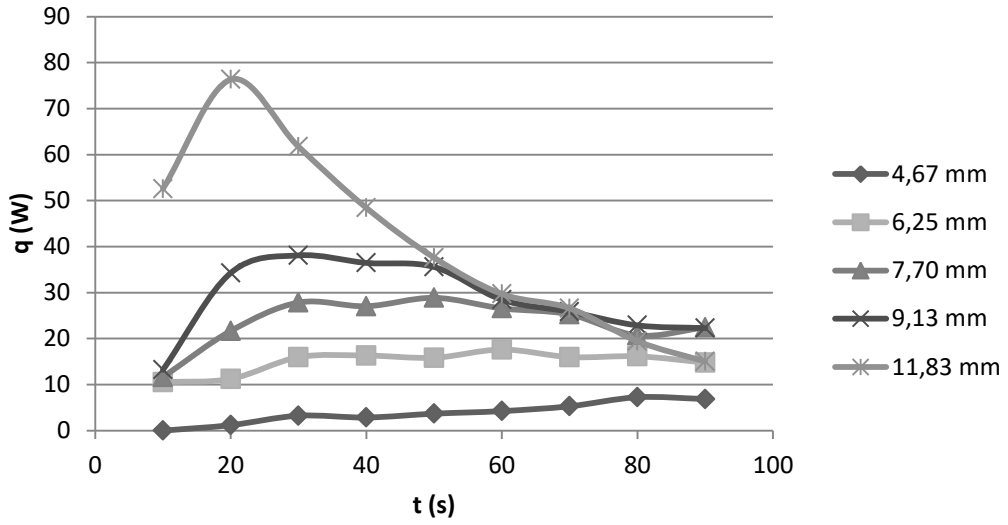


Şekil 3.19: 15 Hz sabit frekansta, akışkanı saf su olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($a=2,4$ mm)

3.2.4 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferinin zamanla değişimi

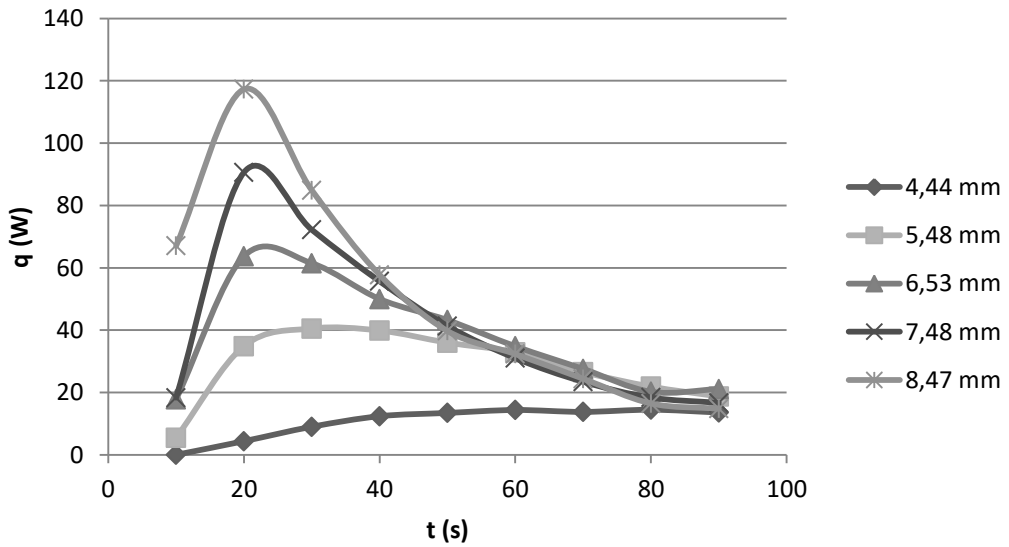
Isı transferi değerleri zamana bağlı olarak, 2,4 mm'lik iç çapı olan pipetlerden, oluşmuş olan kılcal boru demetiyle yapılan deneylerin sonucu olarak aşağıda verilmiştir. Deneylerde akışkan olarak su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılmıştır.

5 Hz frekansta, 2,4 mm iç çapı olan pipetlerle yapılan deneylerde elde edilen ısı transferi değerleri Şekil 3.20'de deneylerin ilk 90 saniyesi için çizdirilmiştir. 4,37 mm ile 11,56 mm değişen genliklerde yapılan deneylerde, elde edilen en büyük ısı transferi değeri 100 W'dır. Deneyler başladıktan sonraki 20-30 saniye sonra en büyük ısı iletimi gerçekleşmiştir.



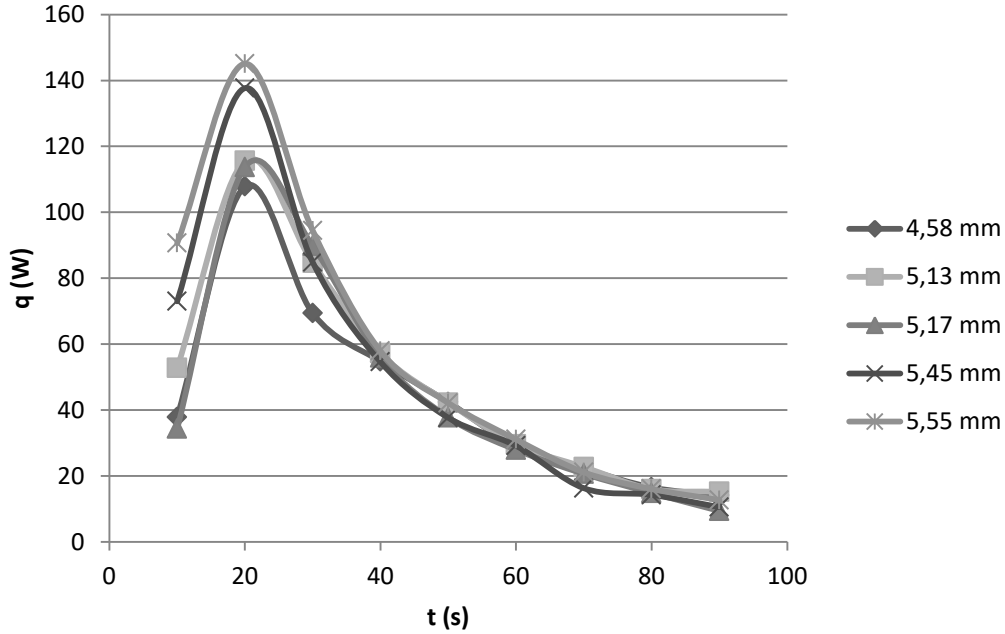
Şekil 3.20: 5 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

7 Hz sabit frekansta yapılan deneylerin, ısı transferi grafikleri, farklı genliklerde 90 saniyelik veri olarak çizdirilmiştir (Şekil 3.21). Elde edilen en büyük ısı transferi 8,47 mm genlikte, deney başladıktan sonraki 20. saniyede 100 W olmuştur. Yakın genlikte 5 Hz frekansta yapılan deneylerle kıyaslandığında ısı iletimi 7 Hz'de oldukça büyüktür. Örneğin 5 Hz frekansta 7,7 mm genlikte 30 W ısı transferi değerine ulaşılırken, bu grafikte, 7,48 mm genlikte 85 W değerine ulaşılmıştır.



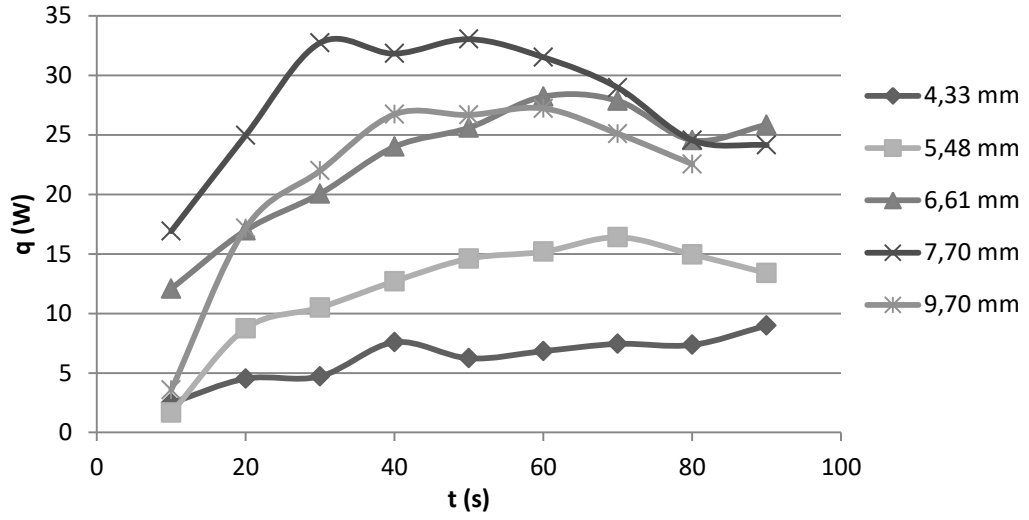
Şekil 3.21: 7 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

Anlık ısı transferinin zamanla değişimi, 9 Hz sabit frekansta, su-Alümina (%2) akışkan kullanılarak yapılan deneylerde, Şekil 3.22'deki gibi geręekleřmektedir. 90 saniye boyunca çizdirililen verilerde artan genlik ile ısı transferinin hızı artmaktadır. Ulaşılan en büyük ısı transferi 145 W kadardır ve 5,55 mm genlikte geręekleřmiřtir.



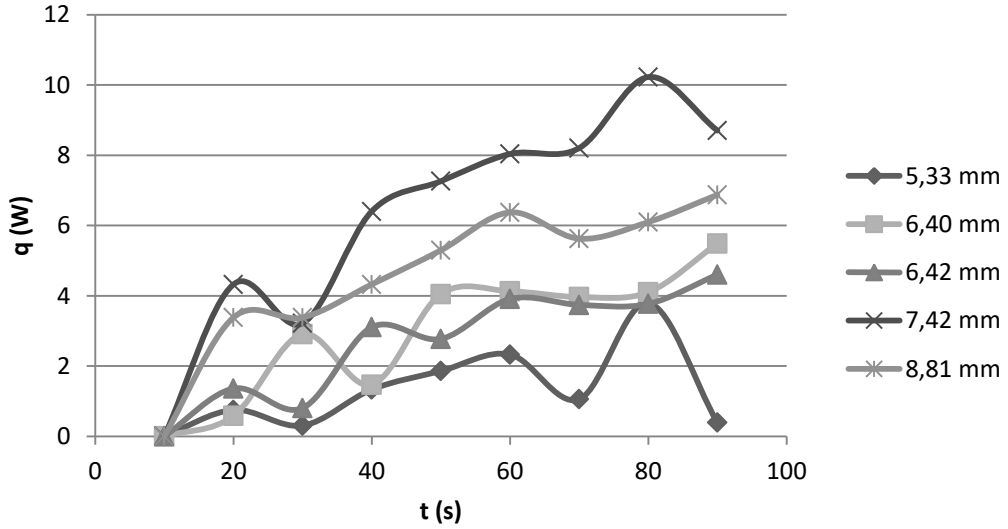
Şekil 3.22: 9 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. ($a=2,4$ mm)

12 Hz sabit frekansta, su-Alümina (%2) nanoakıřkan ile geręekleřtirilen deneylerde ısı transferinin zamanla deęiřimi Őekil 3.23'dedir. 90 saniyelik verileri ięeren grafikte, 5,5 mm genlik deęerinde elde edilen ısı transferi, 9 Hz'de aynı genlikte elde edilen verinin yaklařık on katı dūřüktür. Isı transferi deęerleri tüm deęerlerde oldukça dūřmüřtür. En büyük deęer, 7-10 mm genlikte, 25-30 W deęerlerinde seyretmektedir ve yatay bir seyir söz konusudur.



Şekil 3.23: 12 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

15 Hz sabit frekans değerinde yapılan deneylerin sonuçları Şekil 3.24'de verilmiştir. Isı transferi önceki grafiklere göre, benzer genliklerde oldukça düşmüştür. Grafiklerin geneli 10 W değerinin altında kalmaktadır. Isı transferinin yavaşlığından dolayı, yatay seyir ilk bakışta göze çarpmakta, zikzaklar çizerek değerler salınmaktadır.

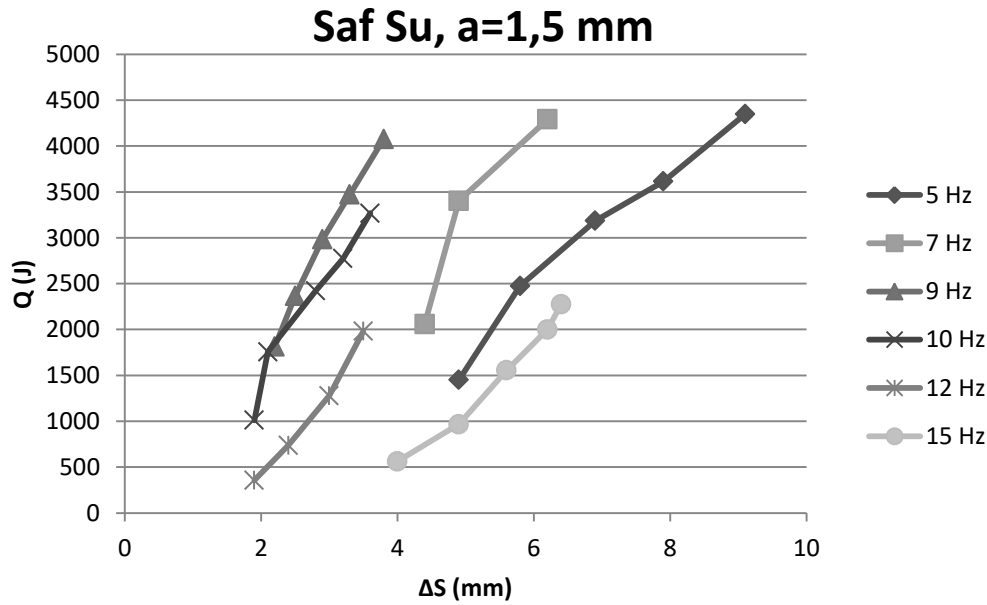


Şekil 3.24: 15 Hz sabit frekansta, akışkanı su-Alümina (%2) nanoakışkan olan deneyler için farklı genliklerde ısı transferinin zamana bağlı değişimi. (a=2,4 mm)

3.3 Deney Süresince Transfer Edilen Isı Enerjisinin Genlik ve Frekansla Değişimi

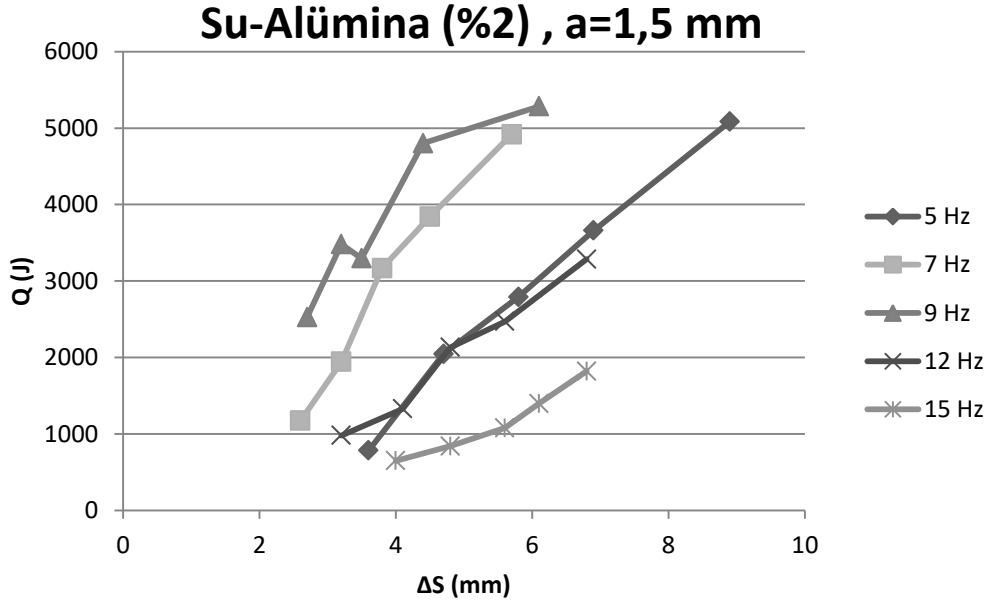
Deneylerde elde edilen anlık ısı transferi verileri incelenmiş, ısı transferinin zamanla değişimi hakkında genel bilgi edinilmiştir. Bunun yanında sistemin karakteristiğini daha net belirleyebilmek için ısı transferinin toplam değeri incelenmiştir. Tüm deneyler için ortak olan ilk 80 saniyelik verilerden toplam ısı transferi sayısal integrasyon kullanılarak belirlenmiş ve bu bölümün devamında grafikler şeklinde gösterilmiştir. Böylelikle genlik, frekans, kılcal boru çapı ve akışkan türü etkisi daha net değerlendirilmiştir.

Saf su ve 1,5 mm iç çaplı kılcal borular kullanılarak yapılan deneyde elde edilen toplam ısı transferi genlik ile Şekil 3.25'deki gibi değişmektedir. Genlik arttıkça ısı transferi artmaktadır. Frekans değerleri ise 9-10 Hz değerine kadar artırıcı etki yapmakta daha sonra toplam ısı transferini azaltmaktadır. 15 hz değerinde en düşük toplam ısı transferi gerçekleşmiştir.



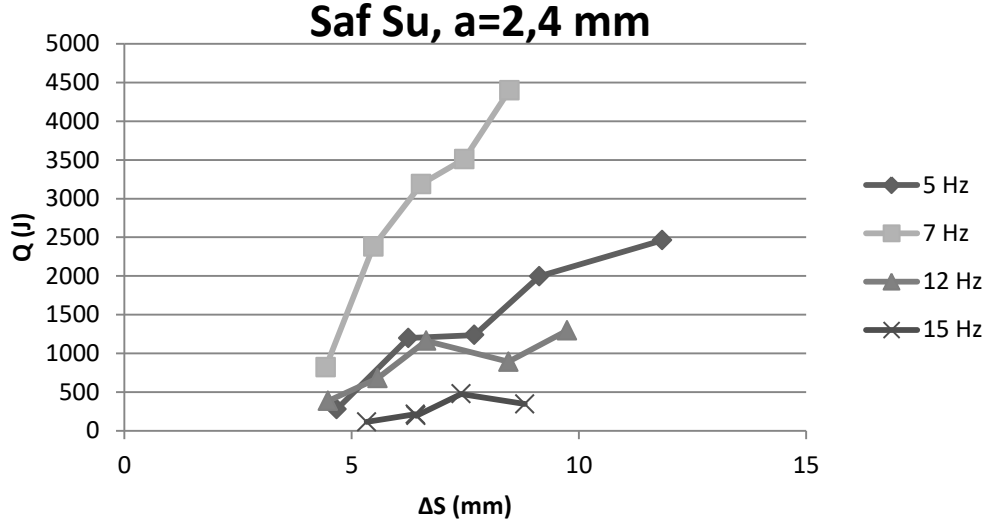
Şekil 3.25: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=1,5 mm)

Nanoakışkan ve 1,5 mm iç çapı olan pipetlerden oluşmuş kılcal boru demeti kullanılarak elde edilen sonuçlar, bir önceki grafikte saf su ile yapılan deneyde olduğu gibi gösterilirse, Şekil 3.26 elde edilir. 9 Hz frekans değerinde en büyük ısı transferi gerçekleşmiştir. 15 Hz frekans değeri, saf suyla yapılan deneylerde olduğu gibi en altta görülmektedir. Genlik artarken ısı transferi doğrusala yakın bir eğimle artmaktadır.



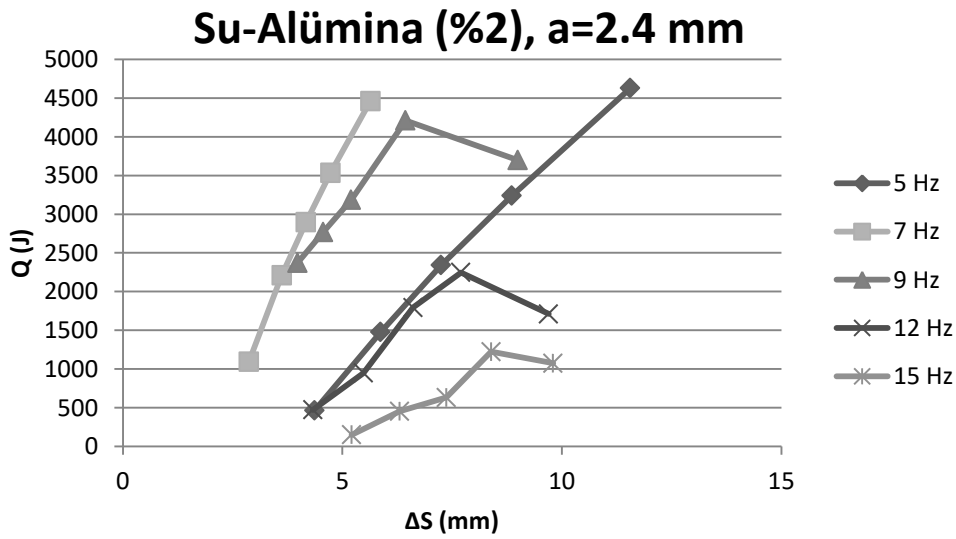
Şekil 3.26: Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=1,5 mm)

Kılcal boru çapı değiştirilerek, saf su ile yapılan deneylerin ilk 80 saniyelik ısı transferi değerinin genlikle değişimi, Şekil 3.27’de verilmiştir. 2,4 mm iç çapı olan pipetlerin kullanıldığı deneylerde, 4 farklı frekans değeri mevcuttur. Artan genlik etkisiyle, doğrusal bir artış vardır. 7 Hz frekansta, 8,5 mm genlikte en büyük ısı transferi değeri 4400 J olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.27: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=2,4 mm)

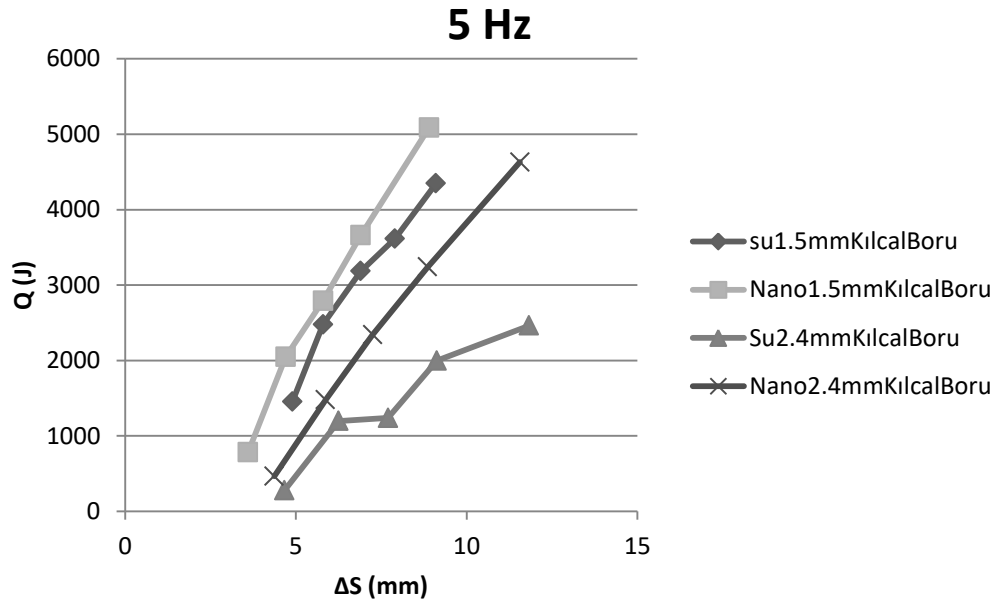
Son olarak hem 2,4 mm iç çapı olan pipetlerden oluşan kılcal boru demeti hem de Alümina nanoakışkan kullanılarak yapılan deneyler Şekil 3.28’de toplam ısı transferinin genlikle değişimi şeklinde farklı sabit frekanslar için verilmiştir. 5 Hz’den 7 Hz değerine kadar artış, 7 Hz’den 15 Hz’e ilerledikçe azalış gözlenmektedir. Genlik ile artış önceki sonuçlarla benzer şekilde burada da doğrusal olarak mevcuttur. Özellikle 5 ve 7 Hz frekanslarda elde edilen eğriler bunu doğrular niteliktedir.



Şekil 3.28: Su Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde, ilk 80 saniyede ölçülmüş toplam ısı transferinin genlikle değişimi. (a=2,4 mm)

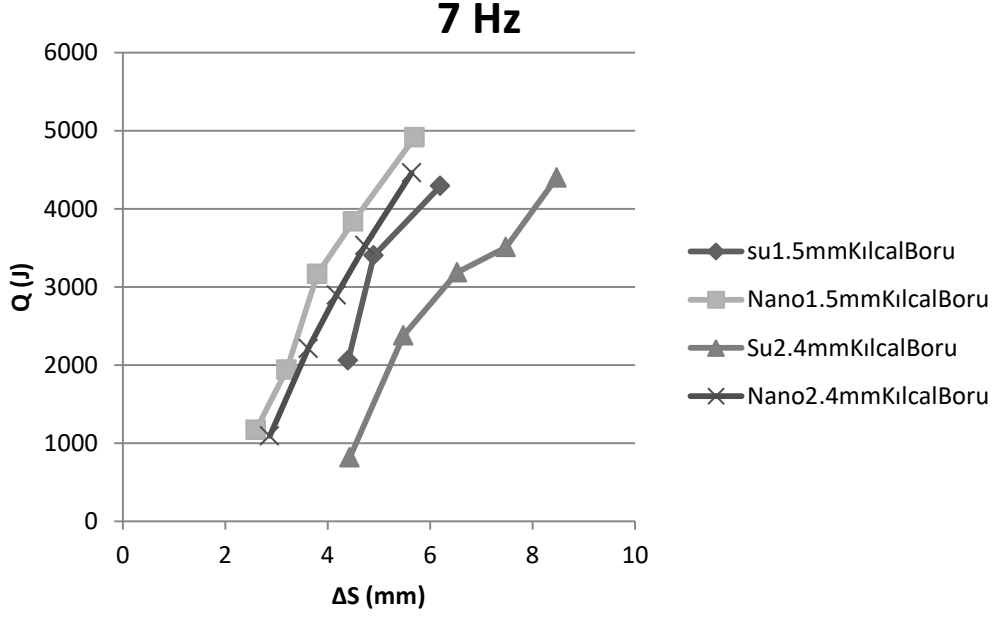
Buraya kadar olan grafiklerde aynı akışkan ve aynı kılcal boruyla olan deneyler farklı frekans ve genliklerde incelendi. Aynı deneyler kılcal boru çapları ve akışkanlar karşılaştırılacak şekilde incelenirse sabit frekans değerinde ısı transferinin genlikle değişimi grafikleri elde edilir. Saf su ve 1,5 mmlik iç çaplı kılcal boru, nanoakışkan ve 1,5 mm iç çaplı kılcal boru ve hem saf su hem de nanoakışkanla 2,4 mm iç çaplı kılcal boru kullanılarak yapılan deneyler aynı grafikte gösterilmiştir.

5 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyedeki toplam ısı transferinin genlik ile değişimi Şekil 29'da mevcuttur. Nanoakışkanla elde edilen ısı transferi kısmi olarak saf suyla yapılan deneylerden daha yüksektir. Ayrıca 1,5 mm iç çaplı pipetlerde ısı transferi aynı akışkanla yapılan benzer deneylerden daha yüksektir.



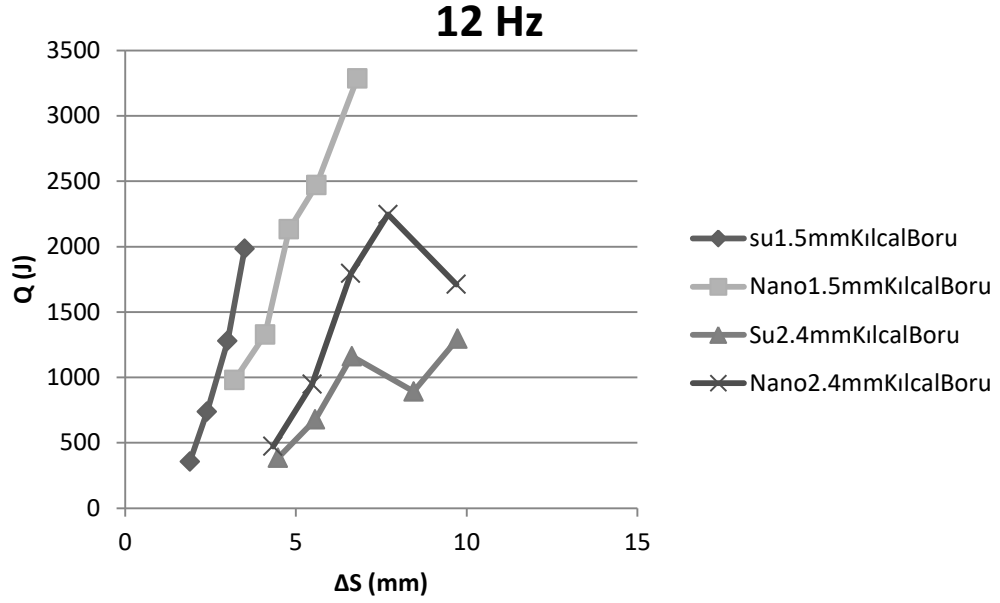
Şekil 3.29: 5 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.

7 Hz sabit frekansta yine aynı değişkenlerle genlik ile değişimi çizdirilince Şekil 3.30 elde edilir. Nanoakışkan ile yapılan deneylerde elde edilen ısı transferi suyla aynı çapta boru kullanılarak yapılan deneylere göre biraz daha yüksektir. 2,4 mm iç çaplı pipetlerde bu fark daha da fazladır. Aynı zamanda 1,5 mm iç çaplı pipetlerde ısı transferi aynı akışkanla yapılan deneylere görece yüksektir.



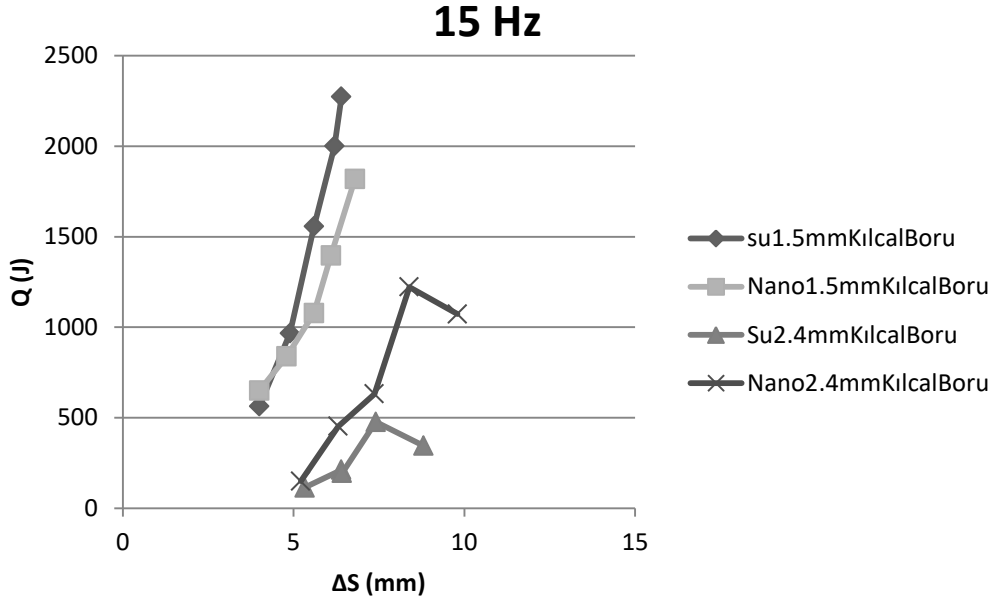
Şekil 3.30: 7 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.

12 Hz sabit frekansta genlik etkisiyle toplam ısı transferi incelendiğinde farklı akışkan ve farklı pipet çaplarıyla sonuçlar Şekil 3.31'deki gibi değişmektedir. Önceki grafiklerden farklı olarak, 1,5 mm iç çaplı pipetlerle yapılan deneylerde ısı transferi değerlerinde, saf su, nanoakışkana göre daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca 2,4 mm iç çapı olan pipetlerdeki sonuçlarda da nanoakışkan biraz daha yüksek görülse de etkisi bir önceki grafiğe göre azalmıştır.



Şekil 3.31: 12 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.

15 Hz sabit frekans değerinde toplam ısı transferi-genlik değişimi farklı kılcal boru çapı ve farklı akışkanlarla çizdirilince, Şekil 3.32 elde edilir. 12 Hz frekansta olduğu gibi nanoakışkan ile suyla yapılan deneyler arasındaki fark oldukça azalmıştır. Alümina nanoakışaknla 2,4 mm iç çaplı kılcal boruyla yapılan deneylerde, saf suya göre daha fazla ısı transferi elde edilse de 1,5 mm kılcal boru demetinde bu fark görülmemektedir.



Şekil 3.32: 15 Hz sabit frekansta ilk 80 saniyede elde edilen toplam ısı transferinin genlikle değişimi.

3.4 Etkin Isıl Yayınım Katsayısının Genlik ve Frekansla Değişimi

Etkin ısı yayılım katsayısı aşağıda Denklem (3.2) verildiği gibi hesaplanır. Grafiklerde deneylerde elde edilen en büyük değerlerin genlikle değişimi şeklinde ifade edilmiştir.

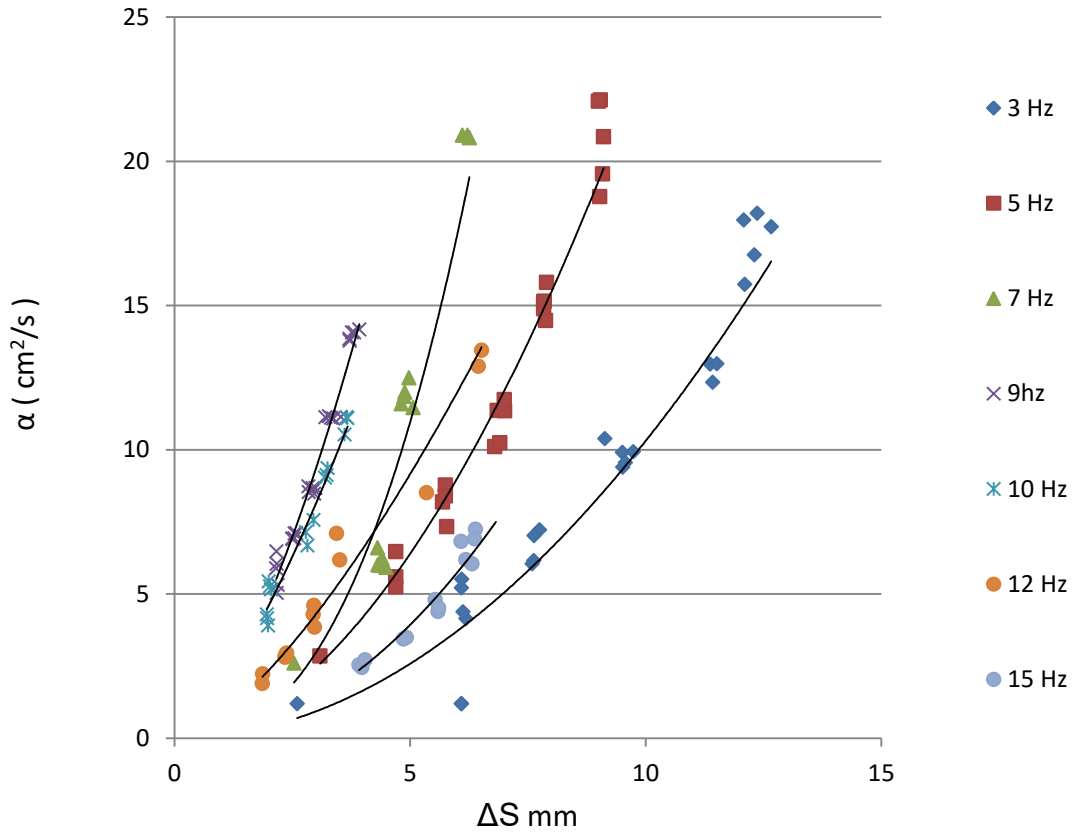
$$\alpha = V.L \frac{dT_c}{dt} \frac{1}{A(T_h - T_c)} \quad (3.2)$$

3.4.1 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısı yayılım katsayısının genlik ve frekansla değişimi (a=1,5 mm)

Bu bölümde 1,5 mm iç çaplı cam pipetlerden oluşan kılcal boru demetiyle yapılmış deneylerin, etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi verilmiştir. Genel olarak 80-120 saniye civarında süren deneylerde ısı yayılım katsayısında önemli artışlar elde edilmiş bunlar hem frekans hem de genlik ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Saf su kullanılarak 1,5 mm iç çaplı kılcal borularla yapılan deneyleri daha iyi yorumlayabilmek ve tüm frekans değerlerindeki sonuçları karşılaştırmalı incelemek

için Şekil 3.33' e bakılabilir. Grafikler genel olarak incelendiğinde hepsinde genlik etkisinde ısıl yayınım katsayısının arttığı göze çarpan ilk benzerliktir. Artış miktarları eşit olmayıp titreşim frekansı değeri arttıkça belli bir değere kadar çok yükselmiş daha sonra tekrar göreceli olarak daha az artarak artmaya devam etmiştir. En dik eğriler 7-9-10-12 Hz eğrileri olmuştur. 3-9 Hz titreşim frekansında yapılan deneyler için artan titreşim frekansı değerlerine bağlı olarak artış gözlenmektedir. 10 Hz titreşim frekansında yapılan deneyler 9 Hz ile çok yakındır. Frekans değerlerine göre incelendiğinde 9-10 Hz değerlerinde ısıl iletim katsayısı değeri en üst değeri almaktadır. 12 Hz değerinde ise titreşim frekansı artmasına rağmen 9 Hz değerine göre önemli miktarda düşüş gözlenmektedir. 15 Hz frekans değerinde ise neredeyse 3 Hz değerine yakın değerlere kadar düşüş gözlenmiştir. Özet olarak grafiklerde titreşim genliği ile artan parabol şeklinde bir etkin ısıl yayınım karakteristiği varken buna karşın artan frekans ile 9-10 Hz değerine kadar artış gözlenmiş bu değerden sonra frekans arttıkça etkin ısıl yayınım değerleri belli oranlarda düşmüştür.



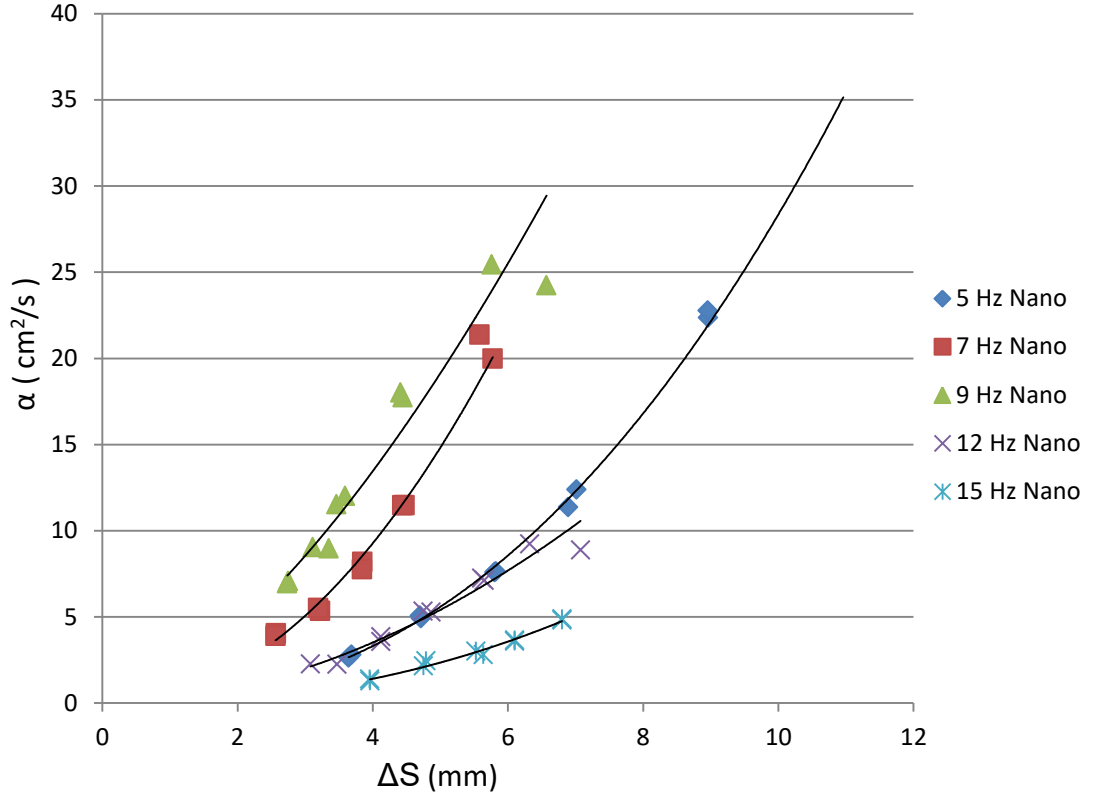
Şekil 3.33: Saf suyun kullandığı deneylerde etkin ısıl yayınım katsayısının genlikle değişimi. (a=1,5 mm)

3.4.2 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısı yayılım katsayısının genlik ve frekansla değişimi

Nanoakışkanlar ile de benzer deneyler 1,5 mm iç çaplı pipetlerle oluşturulmuş kılcal demetle yapılmış, sonuçları bölümün devamında verilmiştir. Saf suyla yapılan deneylerle aynı frekanslar deneylerde kullanılmıştır, fakat nanoakışkanın kullanımı kısıtlı olduğu için saf suyla elde edilenden biraz az sonuca ulaşılmıştır fakat sonuçlar karşılaştırma ve yorum yapabilmek için oldukça yeterlidir.

Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak, 1,5 mm iç çapı olan kılcal borularla yapılmış deneylerin sonuçları Şekil 3.34'de etkin ısı yayılımının genlikle değişimi şeklinde farklı frekanslarda karşılaştırma yapmaya elverişli bir şekilde sunulmuştur.

5 Hz ile 15 Hz aralığında 5 farklı frekans değerinde çok sayıda genlik noktasından sonuçlar alınmış, bunlar her nokta bir deneyi temsil edecek şekilde çizdirilmiştir. Genel olarak genlik etkisinde ısı yayılımında artış gözlemlenmiştir. Bu artış doğru bir orantıdan ziyade artan bir parabol eğrisi şeklindedir. 5 Hz frekanstan 9 Hz frekansa doğru çıktığında ise kademe kademe ısı yayılım değerlerinde artış rahatlıkla görülmektedir. 12 ve 15 Hz frekans değerlerine çıktığında ise frekansa bağlı diğer frekans değerlerine görece ani düşüşler yaşanmıştır. Yani kısaca özetlemek gerekirse etkin ısı yayılım değeri genlik etkisiyle artarak artan bir eğilim göstermekte artan frekansla ise önce 9 Hz değerine kadar artıp sonra azalmaktadır.

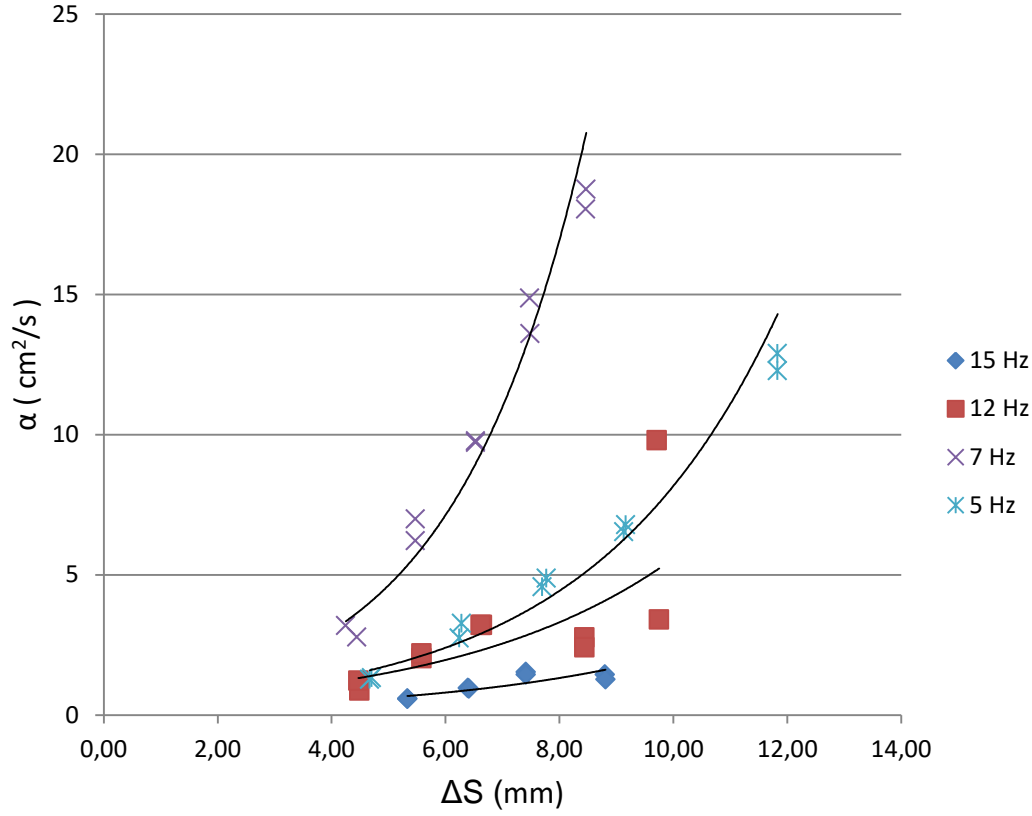


Şekil 3.34: Su-Alümina nanoakışkanın kullandığı deneylerde etkin ısıl yayınım katsayısının genlikle değişimi. (a=1,5 mm)

3.4.3 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısıl yayınım katsayısının genlik ve frekansla değişimi (a=2,4 mm)

Akışkanı su olan ve 2.4 mm iç çapında borular kullanılarak yapılan deney sonuçları bölümünün devamındadır.

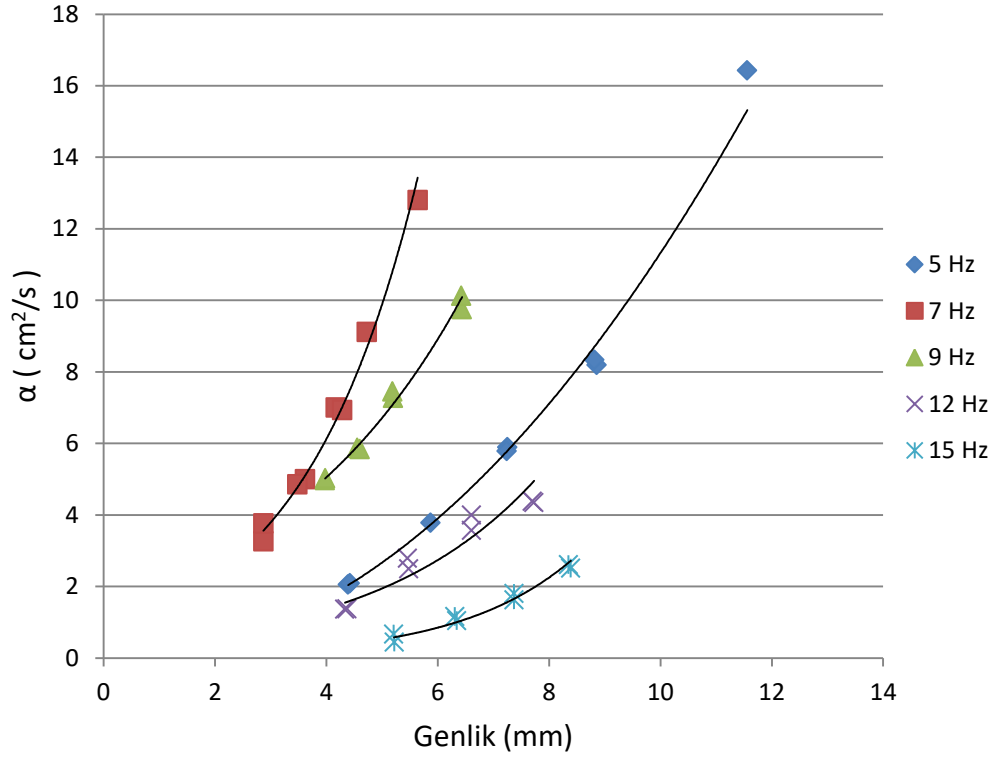
2,4 mm iç çapında pipetlerin kullanıldığı, saf suyla yapılmış deneylerin etkin ısıl yayınım katsayısının en büyük değerinin genlikle değişimini incelemek için ise Şekil 3.35'e bakılabilir. Burada yine farklı frekans ve genliklerde sonuçlar alınmıştır. Frekans değerleri 5, 7, 12, 15 Hz olurken genlik değerleri 4-12 mm arasında değişmektedir. Genlikle giderek artan parabol şeklinde bir eğilim vardır. Frekans ile değişimde ise 7 Hz değerine kadar artış gözlemlenmiş daha sonra değerler azalmıştır. 7 Hz frekans değerinde, bu grupta bulunan deneyler içinde en büyük ısıl yayınım katsayısına ulaşılmıştır.



Şekil 3.35: Saf suyun kullandığı deneylerde etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi. (a= 2,4 mm)

3.4.4 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde maksimum etkin ısı yayılım katsayısının genlik ve frekansla değişimi

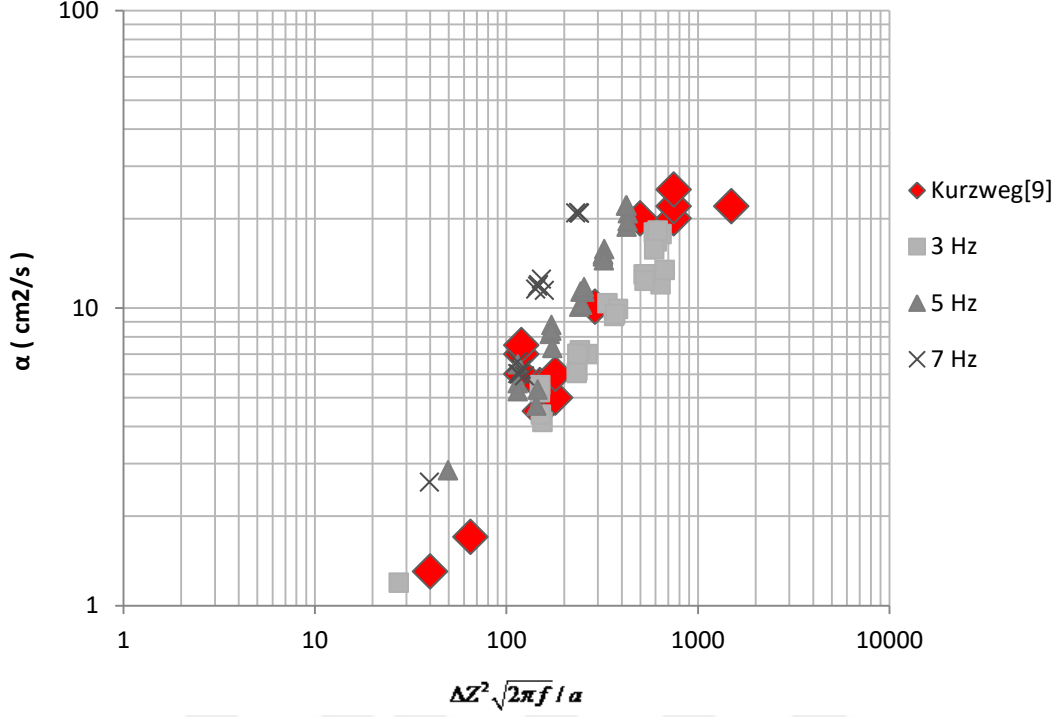
Şekil 3.36’da etkin ısı yayılımının en büyük değeri, genlik ile değişen şekilde, farklı frekanslar için çizdirilmiştir. En düşük frekans değeri 5 Hz en yüksek frekans değeri 15 Hz’dir. Genlik değerleri de 2,5 mm ile 12 mm arasında değişmektedir. Genlik etkisinde etkin ısı yayılımını yine giderek artan bir eğriyle artmaktadır. Frekans arttıkça ise 1,5 mm’lik pipetlerden farklı olarak, 7 Hz değerine kadar artmış daha sonra ise düşüşe geçmiştir. 1,5 mm’lik pipetlerde maksimum değer 9 Hz civarında okunmaktaydı.



Şekil 3.36: Su-Alümina nanoakışkanın kullandığı deneylerde etkin ısıl yayınım katsayısının genlikle değişimi. (a=2,4 mm)

3.5 Etkin Isıl Yayınım Katsayısının Literatürde Elde Edilen Sonuçlarla Karşılaştırılması

Deneylerde elde edilen sonuçların literatürde daha önce yapılmış prestijli deneysel çalışmalar ile kıyaslanması sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. Kurzweg[9]'in 2 ile 8 Hz frekans aralığında saf su ile yapmış olduğu deneylerle, yapılan çalışma sonuçları paralellik göstermektedir. Literatürde bulunan çalışmada kullanılan grafik türü olan logaritmik eksenli grafikte, verilere doğrusallaştırma yapılır da sonuçlar çizdirilirse Şekil 3.37'deki gibi karşılaştırılabilir. Grafikte bulunan ΔZ değeri tüplerin içinde oluşan akışın genliğidir. Bu çalışmada geometrik hesap yapılarak bulunmuştur, yaklaşık olarak titreşim cihazı çıkışındaki genlik değerinin(ΔS) 2,33 katıdır.



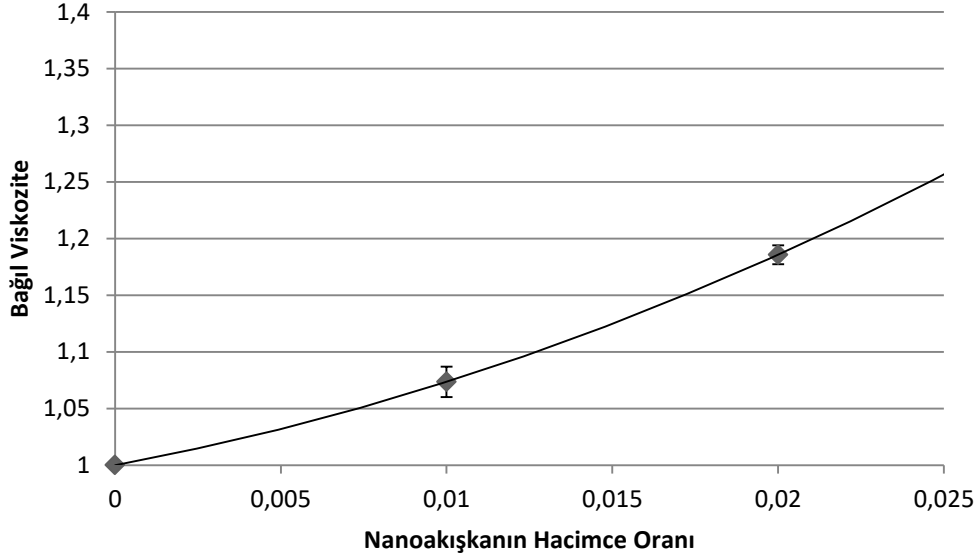
Şekil 3.37: Deney sonuçlarının literatürle karşılaştırılması.

3.6 Prandtl Sayısının Genlik ve Frekansla Değişimi

Nanoakışkan ile su arasında viskozite olarak önemli farklar olduğu için sonuçların etkin Pr sayısı cinsinden ifade etme gereği duyulmuştur. Bu noktadan sonra Pr sayısı olarak verilen tüm değerler maksimum efektif ısıl yayılım katsayısından elde edilen etkin Pr sayısıdır (Eşitlik (3.4)).

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.4)$$

Pr sayısını bulmak için kullanılan nanoakışkanların kinematik viskozitesi deney düzeneği kısmında bahsedilen reometreyle ölçülmüş aşağıda Şekil 3.38’de verilmiştir.

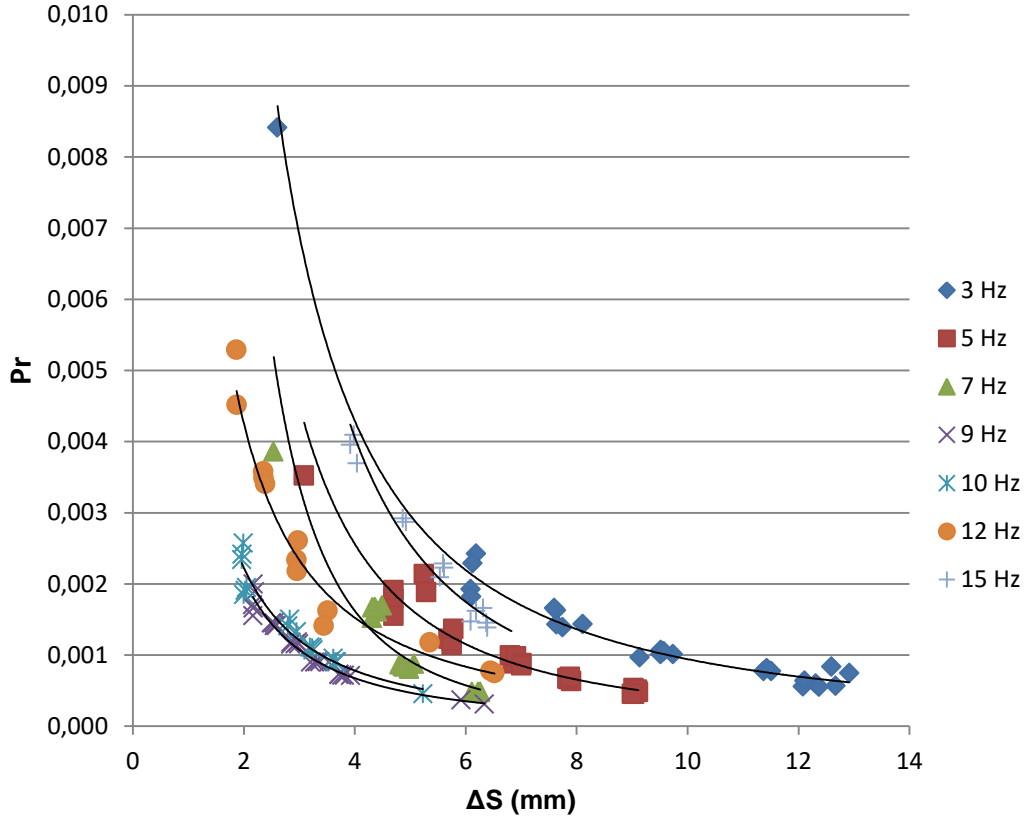


Şekil 3.38: Nanoakışkanın bağlı viskozite değeri

3.6.1 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi ($a=1,5$ mm)

Bu kısımda, 1,5 mm iç çaplı kılcal borular ve saf su kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları Prandtl sayısının genlikle değişimi şeklinde verilmiştir. Farklı frekanslardaki grafikler karşılaştırma yapabilmek için aynı şekil üstünde gösterilmiştir.

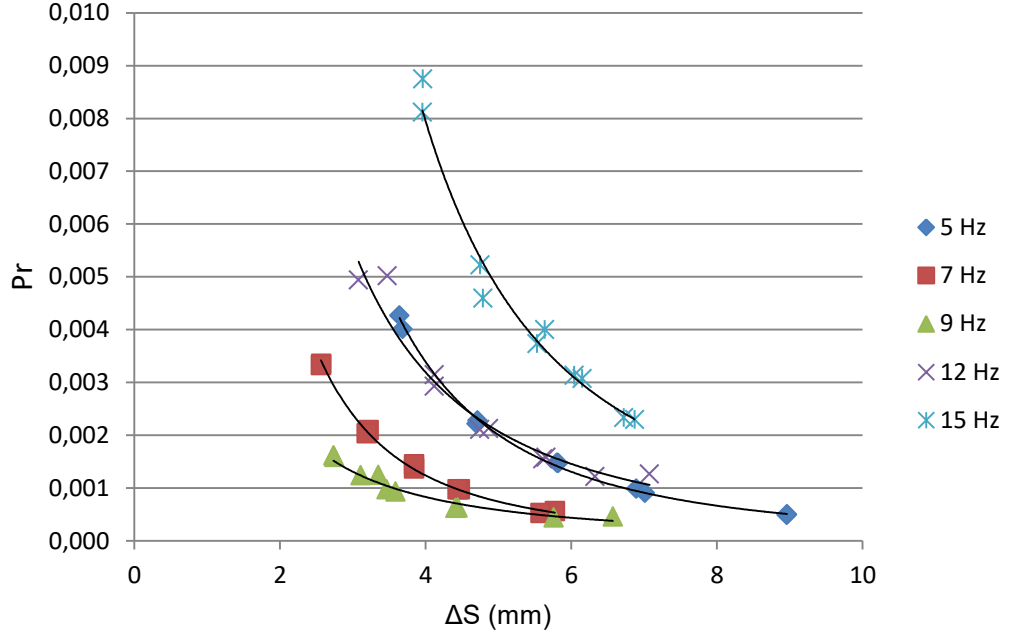
Akışkanı saf su olan ve 1.5 mm iç çapı olan kılcal borulardan oluşan demet ile yapılan deneyler için Pr-genlik grafiği Şekil 3.39’da verilmiştir. Grafiklerde genlik etkisiyle düşüş söz konusudur. Yani ısı etkilerinin baskınlığı momentum etkilerine göre artmaktadır. Durağan saf suya göre, ısı etkilerinde yaklaşık 1000 kat artış söz konusudur. Pr sayısı yüksek genliklerde 0,001 değerinin altına kadar inmektedir. Frekansla ise etkin ısı yayılım katsayısı değerindeki tersi şeklinde, 9-10 Hz değerine kadar azalmış, sonra 12 ve 15 Hz frekansa ilerledikçe artmıştır.



Şekil 3.39: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ile değişimi. (a=1,5 mm)

3.6.2 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi (a=1,5 mm)

Nanoakışkan kullanılarak ve 1.5 mm iç çapı olan kılcal borularla yapılan deneyler için Pr -genlik grafiği Şekil 3.40'da verilmiştir. Grafiklerde artan genlik etkisiyle, Pr sayısında büyük düşüşler söz konusudur. Yani ısı etkilerinin baskınlığı momentuma göre artmaktadır. Durağan saf suya göre yaklaşık 1000 kat artış söz konusudur. Pr sayısı yüksek genliklerde 0,001 değerinin altına kadar inmektedir. Frekansla ise 9-10 Hz değerine kadar azalmış sonra 12 ve 15 Hz frekansta artmıştır.

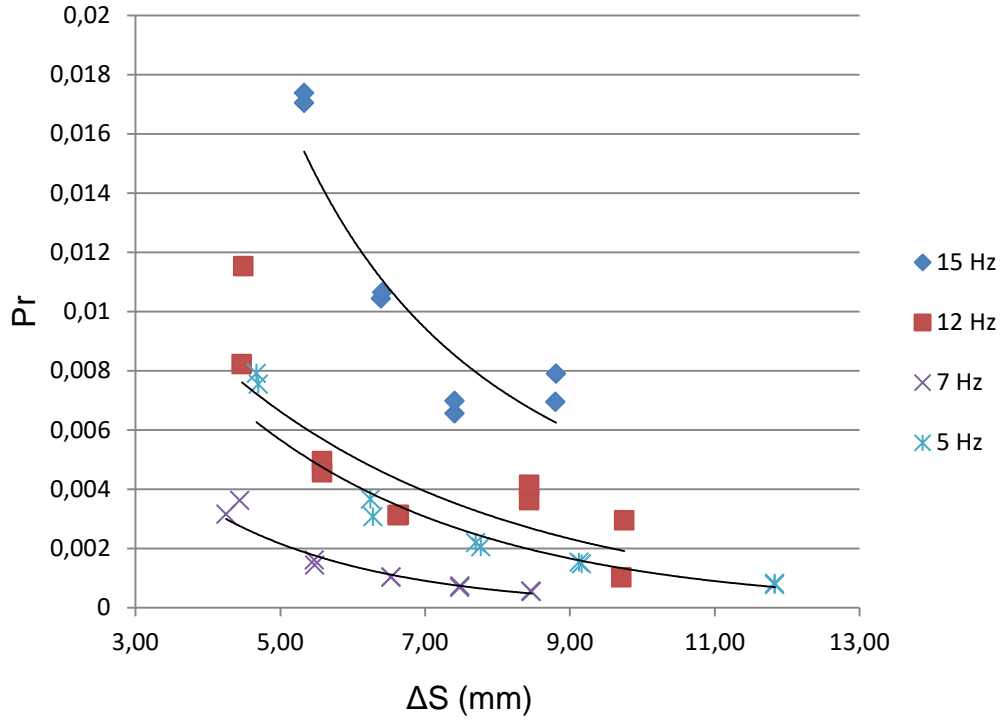


Şekil 3.40: Su-Alümina nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ile değişimi. (a=1,5 mm)

3.6.3 Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi (a=2,4 mm)

Saf su kullanılarak 2,4 mm iç çapı olan kılcal cam borulardan oluşan demet ile yapılan deneylerin daha önce etkin ısı yayılım katsayısının genlikle değişimi şeklinde verilmiş sonuçları, bu bölümde etkin Prandtl sayısının genlikle değişimi şeklinde incelenmiştir.

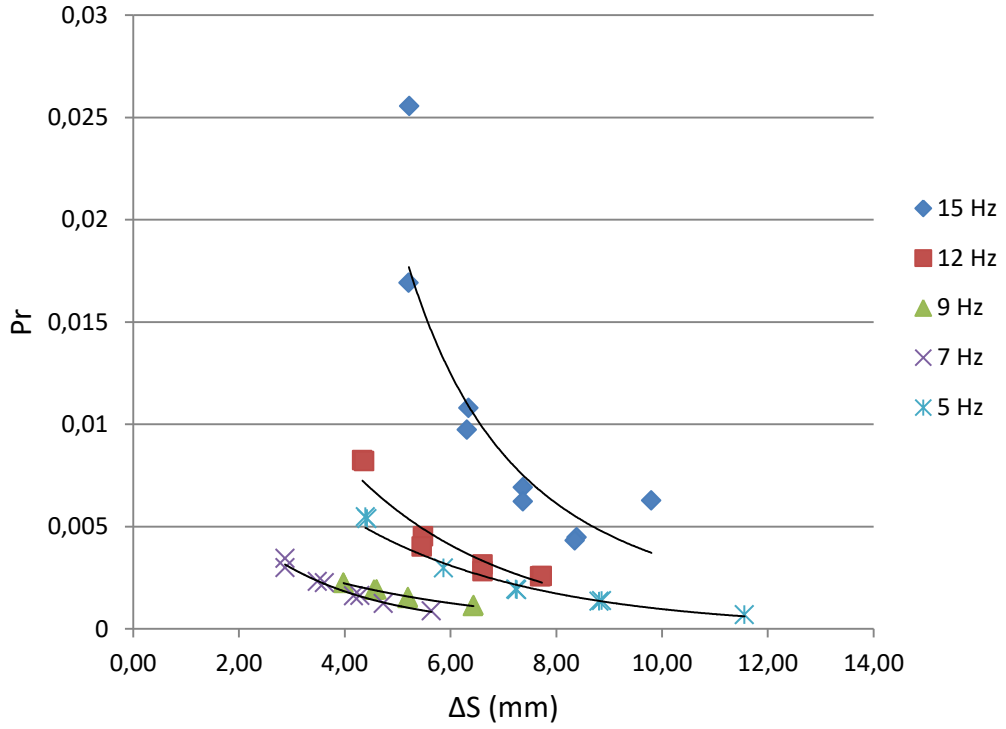
2,4 mm iç çapı olan cam borularla, saf su kullanılarak yapılmış deneylerin etkin Prandtl sayısının genlikle değişimi Şekil 3.41’de verilmiştir. En yüksek Prandtl sayısı 15 Hz frekansta, en düşük genlik değerinde okumuştur. En düşük Prandtl sayısı ise 7 Hz frekansta yaklaşık 8 mm genlikte elde edilmiştir. Etkin Pr sayısı Genlik ile azalan bir eğri izlemektedir. Artan frekansla ise önce 7 Hz frekansa kadar artmış, sonra devamında azalmıştır.



Şekil 3.41: Saf su kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ile değişimi. ($a=2,4$ mm)

3.6.4 Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin Prandtl sayısının genlik ve frekansla değişimi

Su-Alümina nanoakışkan kullanılarak, 2,4 mm iç çapı olan pipetlerle yapılmış deneyler bu bölümde etkin Prandtl sayısının genlikle değişimi şeklinde incelenmiştir. Şekil 3.42'de verilen grafikte etkin Pr sayısı genlik arttıkça, azalan bir eğriyle düşmekte, durağan saf suya göre oldukça küçük değerler almaktadır. En küçük değer 7 Hz değerinde okunmaktadır. 15 hz değerinde ise en büyük değere ulaşmaktadır.

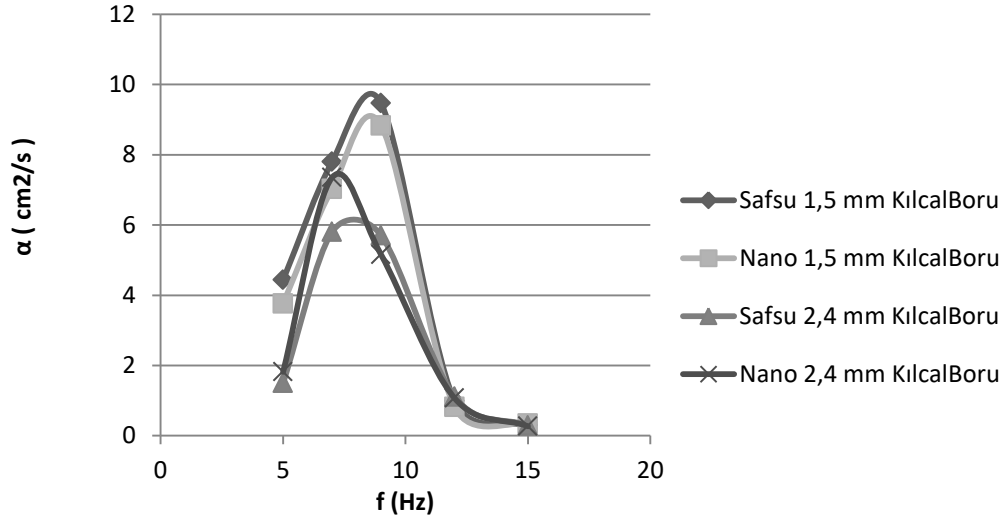


Şekil 3.42: Su-Alümina (%2) nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerde etkin prandtl sayısının genlik ile değişimi. (a=2,4 mm)

3.7 Sabit Genlikte Etkin Prandtl Sayısı ve Isıl Yayımlı Katsayısının Frekansla Değişimi

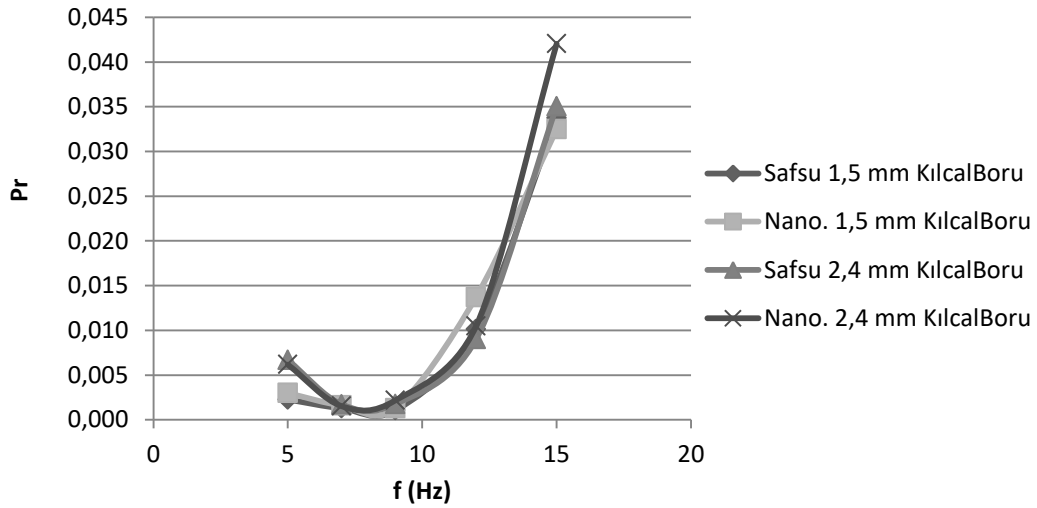
4 mm ve 5 mm genlik değerlerinde ilave deneyler yapılmış frekans etkisinin daha net incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı akışkan ve farklı boru çaplarında deneyler tekrarlanmış, bölüm içinde grafiklerde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

4 mm sabit genlikte tüm kılcal borularla hem saf suyla hem de nanoakışkan ile gerçekleştirilen deneylerin etkin ısı yayılım katsayısının frekans ile değişimi Şekil 3.43'de sunulmuştur. 1,5 mm kılcal borularla yapılan deneylerde en büyük etkin ısı yayılım katsayısı, 9 Hz değerinde okunurken, 2,4 mm kılcal borularla bu değer 7 Hz değerinde gözlenmektedir. Nanoakışkan, etkin ısı yayılım katsayısını, suya göre, 2,4 mm çaplı kılcal boruda kısmi olarak artırmaktadır. 1,5 mm iç çapı olan kılcal boru demetiyle yapılan deney sonuçlarında ise çok fark gözlenmemiştir.



Şekil 3.43: 4 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin ısıl yayınım katsayısı değerlerinin frekansla değişimi.

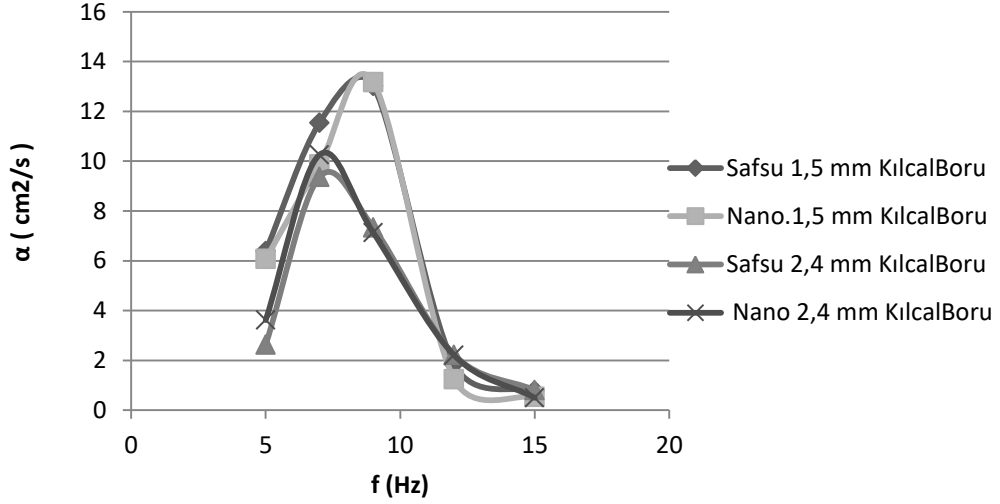
4 mm sabit genlikle hem saf su hem de nanoakışkan kullanılarak yapılan deneylerin sonuçları Şekil 3.44'da Prandtl sayısının frekansla değişimi şeklinde verilmiştir. Pr sayısı, deneyler sonucunda önemli ölçüde düşmüştür. En büyük durumda bile durağan haldeki suya göre 17-18 kat küçüktür. Bu da ısı transferinin arttığını göstermektedir.



Şekil 3.44: 4 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin Prandtl sayısı değerlerinin frekans ile değişimi.

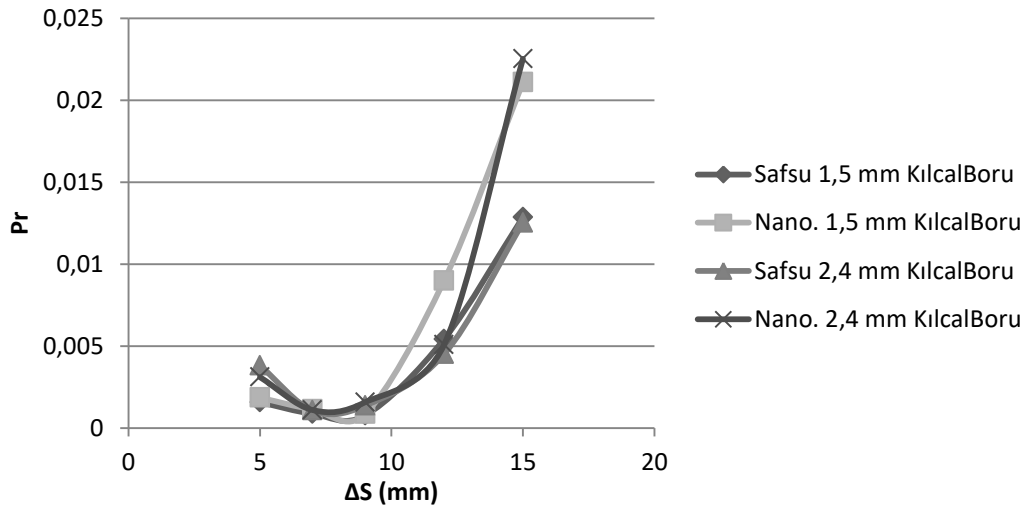
5 mm sabit genlikte, farklı frekans değerleri için yapılan deneylerde etkin ısıl yayınım katsayısının frekansla değişimini gösteren grafik Şekil 3.45'de verilmiştir. 2,4 mm ve 1,5 mm iç çapında pipetlerle oluşturulan kılcal boru demetlerinde hem nanoakışkan

hem de saf suyla deneyler yapılmıştır. Etkin ısıl yayınım katsayısı frekansla belirli ölçüde artmış sonra düşüşe geçmiştir. Nanoakışkan ise ısı transferini artırmada 2,4 mm iç çaplı boruda daha etkindir.



Şekil 3.45: 5 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin ısıl yayınım katsayısının frekans ile değişimi.

5 mm sabit genlikte farklı frekans değerleri için yapılan deneylerin etkin Prandtl sayısının frekansla değişimini gösteren grafik Şekil 3.46'de verilmiştir. 2,4 mm ve 1,5 mm iç çaplı borularla,hem saf su hem de nanoakışkanla yapılan deneyler gösterilmiştir. Prandtl sayısı önemli ölçüde düşmüş, minimum olduğu kısımlarda durağan haldeki saf suya göre yaklaşık 1000 daha küçüktür.

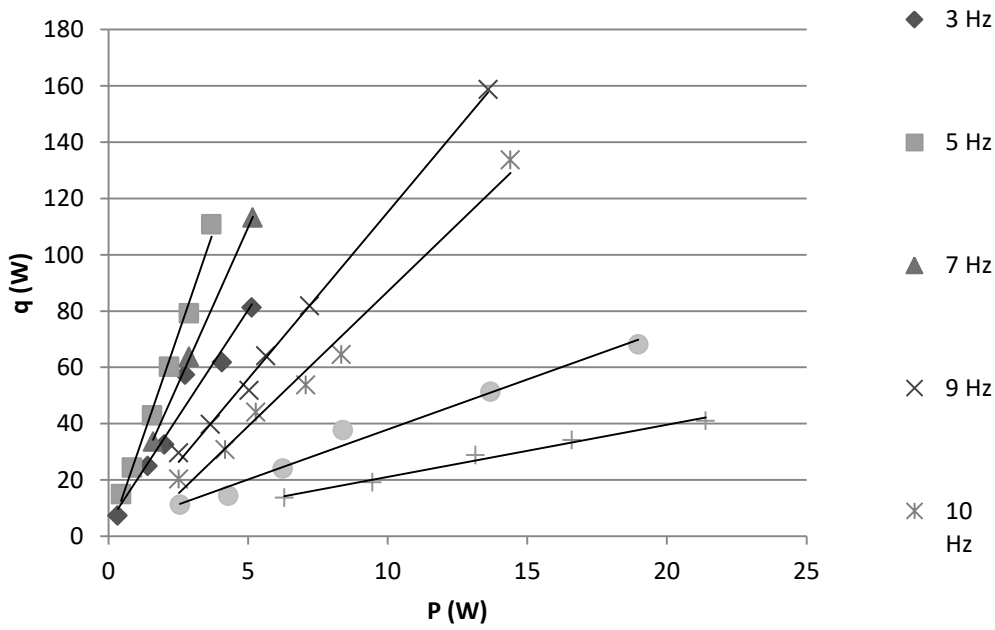


Şekil 3.46: 5 mm sabit genlikte yapılan deneylerin etkin Prandtl sayısının frekans ile değişimi.

3.8 Isı Transferi ve Titreşimli Akış İçin Harcanan Enerji İlişkisi

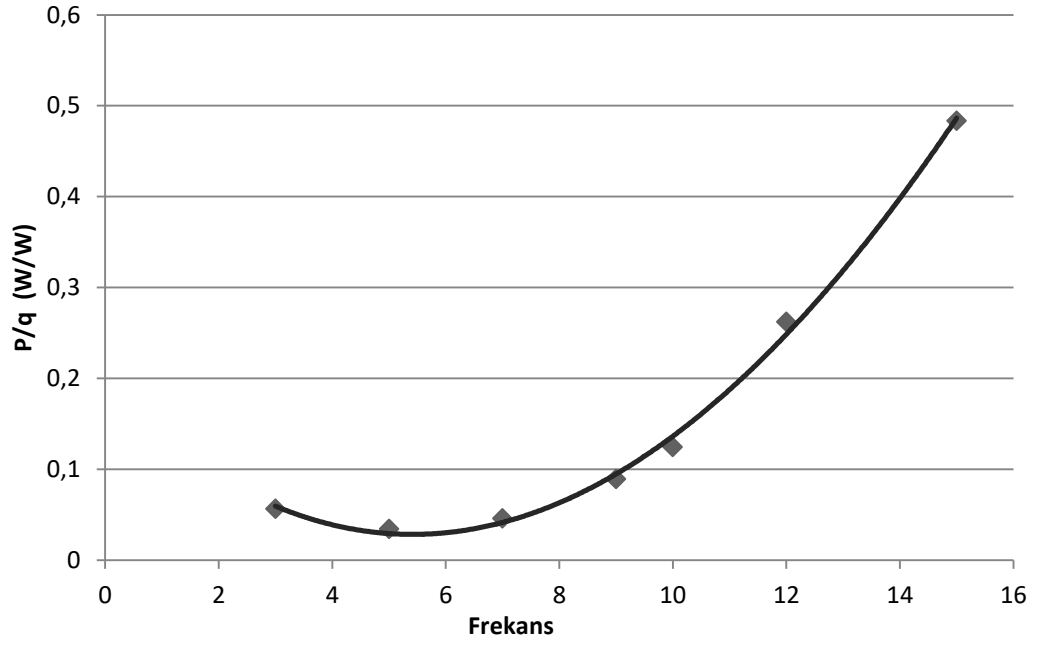
Deneysel sırasında titreşimli akış için harcanan enerji en son amfiden çıkan akım ve voltaj değerlerinin ölçülmesiyle elde edilmiştir. Buradan çıkan sinyaller direk olarak sarsıcıya bağlanmaktadır. Bulunan enerji değeri sarsıcının tükettiği enerjidir.

Harcanan güce karşılık elde edilen maksimum ısı transferi değerleri Şekil 3.47’de verilmiştir. Güç arttıkça ısı transferi doğrusal bir şekilde artmaktadır. Sabit frekansta güç arttıkça genlik artmakta genliğe paralel olarak ısı transferi de artmaktadır.



Şekil 3.47: Harcanan güce karşılık ısı transferinin maksimum değeri

Birim ısıyı transferini sağlamak için gerekli gücün oranı Şekil 3.48’de verilmiştir. Isı transferi için en verimli frekans değeri 5 hz değerinde hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlarına göre maksimum ısı transferi 7 ve 9 Hz frekans değerlerinde ölçülse de, en az enerjiyle en çok ısı transferi 5 Hz değerinde elde edilmektedir.



Şekil 3.48: Güç-birim zamanda ısı transferi oranının frekasla değişimi.



4. BELİRSİZLİK ANALİZİ VE TEKRARLANABİLİRLİK

Deneysel ölçümlerden kaynaklanan, sonuçlardaki toplam hata bu bölümde sunulmuştur. Bunu sağlamak için genel hata analizinden yararlanılmıştır[21].

Yani ölçülen her değişken için cihazların kapasitesi ve deneysel belirsizlikler göz önünde bulundurularak değişkenlik aralığı belirlenmiş ve deney sonuçları için hata oranları hesaplanmıştır.

Metodun genel ve çok değişkenli sistemler için uygun matematiksel formu Eşitlik (4.1)'de sunulmuştur.

“n” adet “x” değişkeni olan ve “R” olarak ölçülen ve hesaplanan değişkenin hata oranı “ W_R ” denirse, “ W_R ” aşağıdaki gibi hesaplanır. “x” değişkenlerindeki hata oranı “w” dir. Her değişkenin etkisinin karelerinin toplamı alınır ve karekök içinde yazılır.

$$W_R = \left[\left(\frac{\delta R}{\delta x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta R}{\delta x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

W_R : Toplam hata

R: Ölçülecek veya hesaplanacak değer

X_n : Değişkenler

W_n : Değişkenin hata oranı

Isıl yayınım katsayısı hesabı için hata analizi aşağıdaki gibidir.(Eşitlik (4.2) ve (4.3))

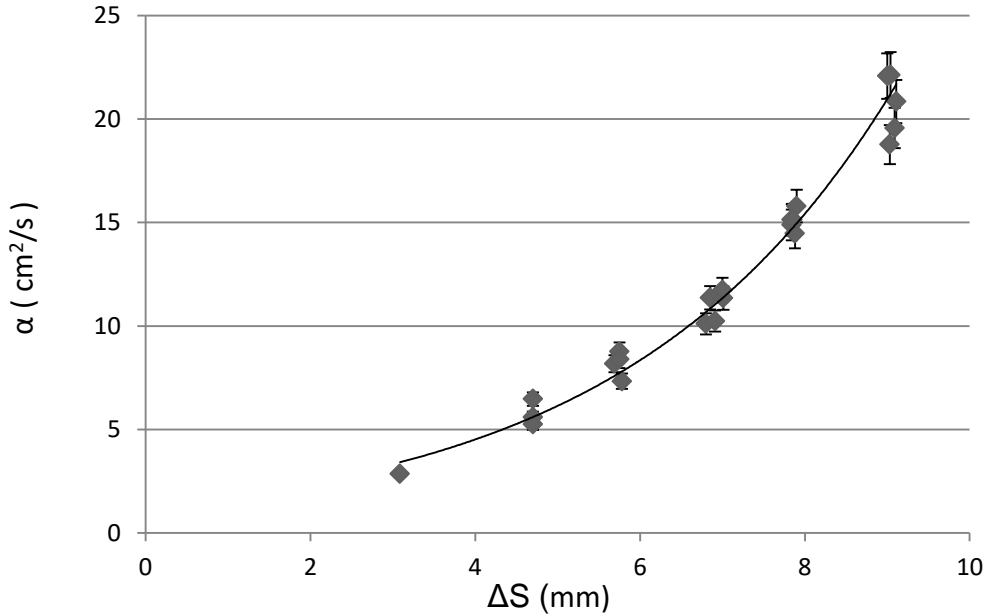
$$\alpha = V_c L \frac{dT_c}{dt} \left(\frac{1}{A(T_h - T_c)} \right) \quad (4.2)$$

$$W_\alpha = \left[\left(\frac{\delta\alpha}{\delta T} 0,01 \right)^2 + \left(\frac{\delta\alpha}{\delta X_1} 0,1 \right)^2 + \left(\frac{\delta\alpha}{\delta X_2} 1 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

X_1 =Kumpas ile ölçülen mesafeler

X_2 = Metre ile ölçülen mesafeler

Eşitlik (4.2)'de verilen ısı yayınım hesabında uzunluk ölçümleri metre ve kumpas yardımıyla yapılmıştır. Metredeki hata ± 1 mm, elektronik kumpasla yapılan ölçümlerde $\pm 0,1$ mm'dir. Hacim ve alan hesabında çarpımla büyüyen hata ayrıca boruların uzunluğuyla ve sıcaklık değişimiyle çarpılınca biraz büyümektedir ve yaklaşık % 5,5 civarı çıkmaktadır. Örnek 5 Hz de saf suyla gerçekleşen deneyler için hata analizi eklenmiş sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: 5 Hz frekansta, 1,5 mm iç çapı olan pipetlerle oluşturulmuş kılcal boru demeti kullanılarak, saf suyla yapılan deneylerin, hata analizi eklenmiş etkin ısı yayınım katsayısının genlikle değişimi.

Deneylerin tekrarlanabilirliği incelendiğinde ise çok tekrarlı yapılan deneylere bakmak gerekir. Burada hesaplanan bu belirsizlik değerinin deneylere etkisi gözlemlenebilir. Üst üste farklı zamanlarda aynı değişkenlerle yapılan deneylerde aynı sonucu almak önemlidir. Çizelge 4.1’de 5 Hz frekansta örnek bir deneye ait tekrarlı deney sonuçları verilmiştir. Deneylerde etkin ısı yayılım için tekrarlanabilirlik % 3 ile gerçekleşmiştir.düzeyinde kalmıştır. Genlik ölçümünde ise bu oran çok daha küçüktür.

Çizelge 4.1: Çok tekrarlı yapılan deneylere örnek olarak 5 Hz frekansta saf su ile yapılan bir deneyin ortalaması ve standart sapması

5 Hz		
	$\alpha(\text{cm}^2/\text{s})$	$\Delta S(\text{mm})$
1. Deney	15,13	7,84
2. Deney	14,88	7,84
3. Deney	15,79	7,90
4. Deney	15,14	7,85
5. Deney	14,48	7,88
Ortalama	15,08	7,86
Standart Sapma	0,48	0,03
% Standart Sapma	3,17	0,34



5. DEĞERLENDİRME

Genel olarak titreşimin ısı transferinin artırıcı etkisi geçmiş çalışmalardan bilinmekte olup bu çalışma ile tekrar ortaya konmuş ve sayısal olarak ifade edilmiştir.

Titreşim ile normal şartlarda iletim yoluyla olan ısı transferinin 10000 kat mertebesinde fazla ısı transferi değerlerine ulaşılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus değişen frekans ve genlik etkisinin farklı olmasıdır.

Titreşim genliği doğrudan sisteme uygulanan güçle doğru orantılı artmakta ve ısı transferini de aynı oranda artırmaktadır. Kütle taşınımı ve difüzyon genlik etkisiyle daha büyük olmaktadır.

Frekans ise belirli ölçüde sisteme uyguladığında ısı transferini artırmakta belirli bir eşik değerden sonra düşüş gözlenmektedir.

Sistemin verimliliği düşünüldüğünde ise sistemde frekans ve genlik en yüksek etkiyi yapacak hale getirildiğinde ısı transferinin çok önemli düzeyde arttığı gözlenmektedir. Durağan haldeki saf suya göre 1000 kat ısı etkilerinde artış ölçülmüştür. Fakat ısı transferi ve sisteme verilen güç değerleri incelendiğinde ısı transferinin en verimli şekilde 5 Hz düzeyinde olduğu gözlenmiştir. Birim ısı geçişi için uygulanan güç en düşük burada olmuştur. Başka deyişle en az enerji ile en çok ısı geçişi gözlemlenmiştir.

Alüminyum oksit bazlı nanopartiküller ile hazırlanan nanoakışkan ile yapılan deneylerde de su ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Nanopartiküller ile yapılan deneylerde daha fazla ısı transferi sağlanması beklenmektedir. Fakat nano partiküller akışkanın viskozite ve yoğunluğu artırmakta yayılım hızını düşürmekte tanecik hızları düşmektedir. Bu nedenle nanoakışkanların etkileri kısmen ısı transferini artırıcı yönde kimi zaman da olumsuz yönde gerçekleşmiştir. 1,5 mm iç çapı olan kılcal boru demetinde nanoakışkanın etkisi oldukça azdır. Fakat 2,4 mm iç çapa sahip pipetler

kullanıldığında ısı transferine katkısı oldukça artmaktadır. Saf su kullanıma kıyasla büyük ısı transferi değerleri ölçülmüştür.

Fakat burada yapılan nano partikül deneyleri çok genel bir kaniya varma noktasında yeterli olamayacak kadar azdır. Sadece gelecek çalışmalara yön verme açısından bir ilk olma özelliği taşımakta ve önemlidir. Bu çalışmanın devamında farklı yoğunlukta nanoakışkanlar ve farklı içerikli nano malzemeler kullanılarak sistem üzerindeki etkileri daha detaylı incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Jaeger, M.J., Seopardi, T., Maddahjan A., Kurzweg U.,** (1991). Diffusional Separation of Gases and Solutes in Oscillatory Flow, *Separation Science and Technology*, 26(4), 503-514.
- [2] **Cho, H.W., Hyun J.M.,** (1990). Numerical solutions of pulsating flow and heat transfer characteristics in a pipe, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 11(4), 5472-5478.
- [3] **Ozawa, M., Kawamoto, A.,** (1991). Lumped-parameter modeling of heat transfer enhanced by sinusoidal motion of fluid, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 34, 3083-3095.
- [4] **Guo, X., Kim, S.Y., Sung, H.J.,** (1997). Pulsating flow and heat transfer in a pipe partially filled with a porous medium, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40, 4209-4218.
- [5] **Tanaka, G., Shiratori, K., Yuguchi, S., Yu, H.,** (2014). Enhancement of heat transportation by oscillatory flow in a curved tube, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 70, 556-563.
- [6] **Farukawa, M., Morishita, M., Yokoyama, S.,** (2015). Heat transfer enhancement in oscillatory flows of Newtonian and viscoelastic fluids, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 83, 212-221.
- [7] **Xiao, G., Zhou, T., Ni, M., Chen, C., Luo, Z., Cen, K.,** (2014). Study on oscillating flow of moderate kinetic Reynolds numbers using complex velocity model and phase Doppler anemometer, *Applied Energy*, xx, xxx-xxx.
- [8] **Watson, E.J.,** (1983). Diffusion in oscillatory pipe flow, *Int. J. Fluid Mech.*, 183, 283-244.
- [9] **Kurzweg, U.H., Zhao L.,** (1984). Heat transfer by high-frequency oscillations: A new hydrodynamic technique for achieving large thermal conductivities, *Phys. Fluids*, 27, 2624-2627.
- [10] **Kurzweg, U.H.,** (1985). Enhanced Heat Conduction in Fluids Subjected to Sinusoidal Oscillations, *Journal of Heat Transfer*, 107, 459-462.
- [11] **Kakaç, S., Liu, H., Pramuanjaroenkij, A.,** Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design, 3rd Edition, Ch5, 186-188, 207, 208, (2009).

- [12] **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, November 12-17.
- [13] **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,.
- [14] **Heris, S.Z., Etemad, G., Esfahany, M.N.**, (2006), Experimental Investigation of Oxide Nanofluids Laminar Flow Convection Heat Transfer., *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 529-535 .
- [15] **Xuan, Y., Li, Q.**,(2000), Heat Transfer Enhancement of Nanofluids., *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21,58-64.
- [16] **Maïga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G., Galanis, N.**, (2005), Heat Transfer Enhancement by Using Nanofluids in Forced Convection Flows., *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26, 530-546 .
- [17] **Khanafar, K., Vafai K. Lightstone, M.**, (2003), Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46, 3639–3653.
- [18] **Ma, H. B., Wilson, C., Borgmeyer, B., Park, K., Yu, Q.**, (2006), Effect of nanofluid on the heat transport capability in an oscillating heat pipe, *Applied Physics Letters*, 88, 143116
- [19] **Qu, J., Wu, H., Cheng, P.**, (2010), Thermal performance of an oscillating heat pipe with Al₂O₃–water nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 111–115.
- [20] **Qu, J., Wu, H.**, (2011), Thermal performance comparison of oscillating heat pipes with SiO₂/water and Al₂O₃/water nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1954-1962.
- [21] **Holman J.P.**, Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company, 37-52,1971.

EKLER

EK 1: Deneyde Kullanılan Araçlar

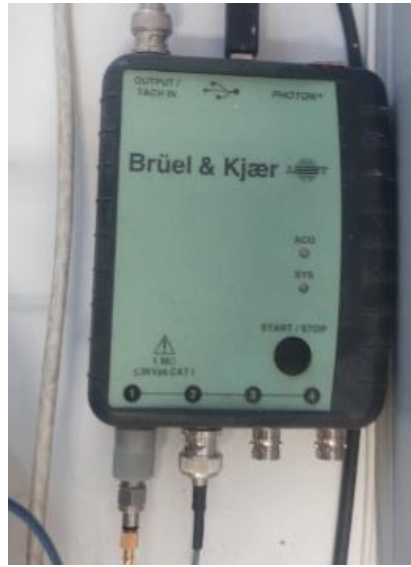
EK 2: Örnek Deney



EK 1: Deneyde Kullanılan Araçlar



Resim Ek.1: Titreşim cihazı ana gövdesi



Resim Ek.2: Cihazların kontrolünü sağlayan sürücü.



Resim Ek.3: Sürücüden gelen sinyalleri arttıran amfi (Yükseltici)



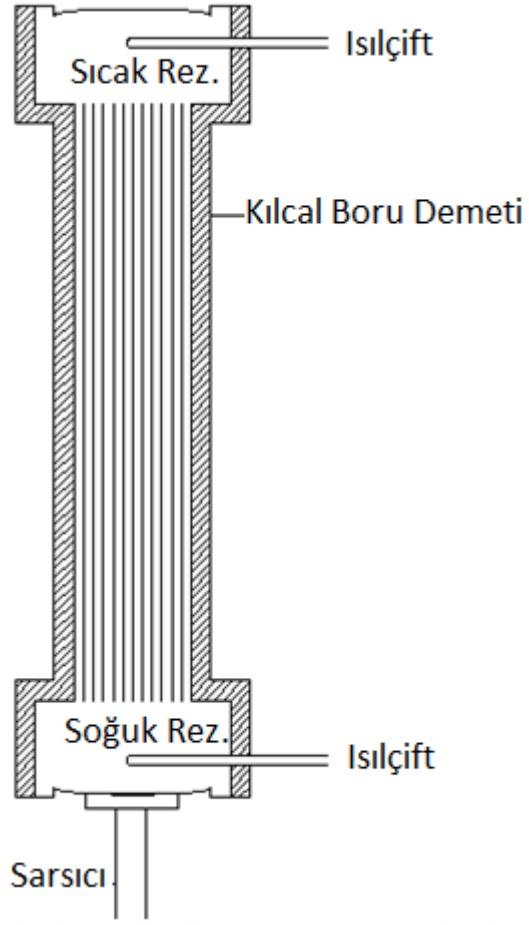
Resim Ek.4: Mini ivmeölçer



Resim Ek.5: Sıcaklık verilerinin toplandığı, veri toplayıcı cihaz.



Resim Ek.6: Viskozite ölçümü yapılan, reometre.



Resim Ek.7: Rezervuarlar ve kılcal boru demetinin şematik gösterimi .

EK 2: Örnek Deney

Çizelge Ek.1: 5 Hz frekansta, 7,9 mm genlikte yapılan deney sonuçları

t (s)	T _h °C	T _c °C	ΔT °C
1	51,3	23,7	27,6
2	47,3	24,0	23,3
3	46,6	24,0	22,6
4	46,2	24,1	22,1
5	45,7	24,2	21,5
6	45,2	24,3	20,9
7	44,8	24,4	20,4
8	44,5	24,6	19,9
9	44,0	24,8	19,3
10	43,8	24,9	18,9
11	43,4	25,1	18,4
12	43,2	25,3	17,9
13	43,0	25,4	17,6
14	42,7	25,6	17,1
15	42,4	25,7	16,7
16	42,2	25,9	16,4
17	42,0	26,0	16,0
18	41,8	26,1	15,7
19	41,6	26,3	15,3
20	41,4	26,4	14,9
21	41,1	26,5	14,5
22	41,0	26,7	14,3
23	40,8	26,8	14,0
24	40,6	27,0	13,7
25	40,4	27,1	13,3
26	40,2	27,2	13,1
27	40,1	27,3	12,8
28	39,9	27,4	12,6
29	39,7	27,5	12,2
30	39,7	27,6	12,1
31	39,5	27,7	11,8
32	39,3	27,8	11,5
33	39,2	27,9	11,3
34	39,1	28,0	11,1
35	38,9	28,1	10,8
36	38,8	28,2	10,6
37	38,7	28,2	10,4
38	38,6	28,3	10,2

t (s)	T _h °C	T _c °C	ΔT °C
39	38,4	28,4	10,0
40	38,3	28,5	9,8
41	38,2	28,6	9,6
42	38,1	28,6	9,4
43	38,0	28,7	9,3
44	37,9	28,8	9,0
45	37,8	28,9	8,9
46	37,7	29,0	8,8
47	37,6	29,0	8,6
48	37,5	29,1	8,4
49	37,4	29,1	8,3
50	37,3	29,2	8,1
51	37,2	29,3	7,9
52	37,1	29,3	7,8
53	37,0	29,4	7,7
54	37,0	29,4	7,5
55	36,9	29,5	7,4
56	36,8	29,6	7,2
57	36,7	29,6	7,1
58	36,6	29,6	7,0
59	36,6	29,7	6,8
60	36,5	29,8	6,7
61	36,4	29,8	6,6
62	36,4	29,9	6,5
63	36,3	29,9	6,4
64	36,2	30,0	6,2
65	36,1	30,0	6,1
66	36,1	30,1	6,0
67	36,0	30,1	5,9
68	36,0	30,1	5,8
69	35,9	30,2	5,7
70	35,8	30,2	5,6
71	35,8	30,3	5,5
72	35,7	30,3	5,4
73	35,7	30,3	5,3
74	35,6	30,3	5,3
75	35,5	30,3	5,2
76	35,5	30,3	5,2
77	35,4	30,4	5,0
78	35,4	30,4	5,0



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ömer Faruk Güler
Uyruğu :Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.06.1990
E-posta :guleromerfaruk@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl/Yer/Görev

2015-2016/ Labiotek Biyoteknoloji Laboratuvar Protez San. Ve

Tic.Ltd.Şti.,Ankara/Baş Mühendis

2013/TOBB ETÜ,Ankara / Stajyer

2011/TEI, Tusaş Motor Sanayii A.Ş. ,Eskişehir/Stajyer

2011/Arçelik Buzdolabı İşletmesi,Eskişehir/Stajyer

2007/DPY Bursluluk Sınavı Türkiye 2.si.

YABANCI DİL: İngilizce

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Guler, O.F.**,Aktas, M.K., 2015. Experimental Investigation of Oscillation controlled Heat Transfer Tubes, Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, November 13-19, Houston, Texas.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kahraman, S., Ozdemir A., Genc, A.G., **Guler O.F.**, Parcalabu C. V., 2014.A cooling device comprising two side by side doors Patent numarası:CN104024773