

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SAF SU ve ZnO – SAF SU NANOAKIŞKANLARININ FARKLI  
ÇAPLARDAKİ MİNİ KANALLARDA AKIŞININ DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ BAŞ**

**ŞUBAT 2021**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – SAF SU ve ZnO – SAF SU NANOAKIŞKANLARININ FARKLI  
ÇAPLARDAKİ MİNİ KANALLARDA AKIŞININ DENEYSEL OLARAK  
İNCELENMESİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Adnan TOPUZ**

**ZONGULDAK**

**Şubat 2021**

**KABUL:**

Ali BAŞ tarafından hazırlanan “Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Saf Su ve ZnO – Saf Su Nanoakışkanlarının Farklı Çaplardaki Mini Kanallarda Akışının Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 05/02/2021

**Danışman:** Prof. Dr. Adnan TOPUZ .....  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina  
Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Beytullah ERDOĞAN .....  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina  
Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Doç. Dr. Engin GEDİK .....  
Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ..../..../20....

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ali BAŞ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SAF SU ve ZnO - SAF SU NANOAKIŞKANLARININ FARKLI ÇAPLARDAKİ MİNİ KANALLARDA AKIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Ali BAŞ**

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan TOPUZ**

**Şubat 2021, 91 sayfa**

Bu çalışmada, sabit yüzey sıcaklığı sınır şartında dairesel kesitli mini kanallarda soğutucu akışkanlar olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - saf su ve ZnO – saf su nanoakışkanlarının ve saf su kullanımının ısı transferi miktarlarına etkisi ve sistemde oluşturacağı basınç farkları deneysel olarak incelenip birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler MATLAB programı kullanılarak oluşturulan bir algoritmayla hesaplanmıştır. Nanoakışkanın temel taşıyıcı sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Nanoakışkanlar %0,5 hacimsel derişimde hazırlanmıştır. Kullanılan nanopartiküller Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13 nm) ve ZnO (18 nm) olarak seçilmiştir. Bunlara ilaveten nanoakışkanların kararlılık sürelerini arttırmak amacıyla içerilerine belirli miktarlarda yüzey etkin maddesi olan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) karıştırılmıştır. Deneyde kullanılan mini kanal malzemeleri olarak Stainless Steel (Paslanmaz Çelik) ve Poly Ether Ether Ketone (PEEK) seçilmiştir. Uzunluğu 20 cm olarak belirlenen mini kanalların çapları 400, 500 ve 750 µm olarak seçilmiştir. Deneyde akışkan debisi olarak 26 ve 50 mL/dk debilerinde çalışılmıştır. Nanoakışkanın mini kanala giriş sıcaklığı 45 °C olarak belirlenmiştir ve sabit yüzey sıcaklığı şartında çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda mini kanal çapı daraldıkça ve ya akışkan debisi arttıkça ısı taşınım katsayısının arttığı, bununla beraber de ısı transferi miktarının arttığı

## ÖZET (devam ediyor)

görülmüştür. Ayrıca kanal malzemesi seçiminin de elde edilen ısı transferi miktarını etkilediği net olarak ortaya konulmuştur. Elde edilen ısı transferi miktarı SS malzemeden imal edilmiş mini kanallarda PEEK malzemeden imal edilmiş mini kanallara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Özellikle artan debiyle bu fark daha da keskinleşmiştir.  $Al_2O_3$  - saf su ve ZnO - saf su nanoakışkanları, baz akışkan olan saf su ile karşılaştırıldığında, ısı transferi miktarında artış tespit edilmiştir. En yüksek ısı transferi miktarı, 500  $\mu m$  çapta SS malzemeden imal edilmiş mini kanal içerisinde 50 mL/dk hacimsel debi ile akan  $Al_2O_3$  – saf su nanoakışkanında görülmüştür. Bu parametrelerde elde edilen ısı transferi miktarı 65,36 W olarak hesaplanmıştır ve elde edilen bu değer saf su ile yürütülen çalışmalardan yaklaşık %15 fazla bulunmuştur. Aynı parametrelerde,  $Al_2O_3$  – saf su nanoakışkanının kullanıldığı sistemde elektrik gücü sarfıyatı saf suyla yapılan deneylerden %11 fazla bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoakışkan, Mini Kanal, Isı Transferi, Basınç Düşüşü, MATLAB

**Bilim Kodu:** 625.05.00.

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION of FLOW of AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - DEIONISED WATER AND ZnO - DEIONISED WATER NANOFLUIDS in DIFFERENT DIAMETERS**

**Ali BAŞ**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Adnan TOPUZ**

**February 2021, 91 pages**

In this study, the effect of using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - deionised water and ZnO - deionised water nanofluids as refrigerants on the heat transfer amounts and the pressure differences that will occur in the system were experimentally examined and compared with each other in mini ducts at circular cross-section under the conditions of constant surface temperature boundaries. The obtained experimental data were calculated with an algorithm prepared by using the MATLAB program. Deionised water was used as the main carrier liquid of the nanofluid. Nanofluids were prepared at 0,5% volumetric concentration. The used nanoparticles were selected as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13nm) and ZnO (18nm). In addition to this, the certain amounts of Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) as a surfactant were feeded into the nanofluids in order to increase the stability time. Stainless Steel (SS) and Poly Ether Ether Ketone (PEEK) were selected as the channel materials used in the experiment. The diameters of the mini-channels, whose length was 20 cm, were determined as 400, 500 and 750 µm. In this experiment, the fluid flow rate was studied at 26 and 50 mL / min.

## **ABSTRACT (continued)**

The temperature of the nanofluidic at the beginning of the tiny channel was determined as 45 ° C and the whole studies were conducted under the constant surface temperature condition. As a result of the experiments, it was observed that both the narrowing of the diameter of the mini-channels and the increase in the fluid flow increased the heat transfer coefficient and with this, the amount of heat transfer increased. It was also clearly noted that the type of the channel material affects the amount of the resulting heat transfer. The amount of the obtained heat transfer was found to be higher in mini ducts made of SS compared to PEEK. In particular, the difference between the heat transfer stem from the material type was prominent with the increasing flow rate. When the heat transfer amounts of the three fluids were compared, the heat transfer values of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - deionised water and ZnO - deionised water nanofluids have increased compared to the base fluid, deionised water. The highest heat transfer was observed in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - deionised water nanofluid flowing through the SS mini channels in 500 µm diameter at 50 mL / min flow rate. The amount of heat transfer obtained in these parameters was calculated as 65.36 W and this value was found to be approximately 15% more than the studies carried out with deionised water. In the system where Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - deionised water nanofluid was used with the same parameters, the electrical power consumption was 11% higher than the experiments made with deionised water.

**Keywords:** Nanofluids, Mini Channel, Pressure Drop, Heat Transfer, MATLAB

**Science Code:** 625.05.00.

## TEŞEKKÜR

Öğrencilik hayatım boyunca hep yanımda olan, teorik bilgileriyle ve deneysel tecrübeleriyle bana yol gösteren Sn. Prof. Dr. Adnan TOPUZ ve Dr. Öğr. Üyesi Beytullah ERDOĞAN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin laboratuvara taşınmasından sonra tekrar kurulumuna yardım edip gerekli kalibrasyon için yardım eden Sayın Öğretim Görevlisi Osman ÇELEN ve Alaplı Meslek Yüksekokulu Elektrik Bölümü personellerine teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinde beraber çalıştığım, deneyler boyunca birçok problemin çözümünü birlikte sağladığımız Sayın Öğretim Görevlisi Uğur DEMİR hocama teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen, bu çalışma için de bana motivasyon kaynağı olan eniştem Sn. Orhan ALP'e teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin tamamlanmasında sayısız yardımları olan ve çalışmalar boyunca her zaman desteğini hissettiğim eniştem Sn. Şeref BAYRAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteği sağlayan GAZSAN Mühendislik firması sahibi Sn. Ahmet TUNCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak desteklerini benden esirgemeyen, iyi günde kötü günde yanımda olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL: .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1 LİTERATÜR TARAMASI .....	2
1.2 LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR İLE İLGİLİ GENEL YORUMLAR... 10	
BÖLÜM 2 GENEL TANIMLAR .....	13
2.1 NANOAKIŞKANLAR.....	13
2.1.1 Nanopartikül Çeşitleri .....	13
2.1.2 Baz Akışkan Çeşitleri .....	14
2.1.3 Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri.....	15
2.2 MİKRO/MİNİ/MAKRO KANALLAR.....	16
2.2.1 Mikro/Mini Kanal Üretim Yöntemleri.....	16
2.2.1.1 Mikro Mekanik İşleme .....	17

2.2.1.2 Mikro Aşındırıcı İşleme .....	17
2.2.1.3 Diğer Mikro İşleme Yöntemleri .....	17
2.3 HİDRODİNAMİK GELİŞME .....	17
2.4 BOYUTSUZ SAYILAR.....	18
2.4.1 Reynolds Sayısı.....	18
2.4.2 Prandtl Sayısı .....	19
2.4.3 Graetz Sayısı .....	20
2.4.4 Nusselt Sayısı.....	20
BÖLÜM 3 MATERYAL-METOD.....	23
3.1 DENEY SETİ .....	23
3.1.1 Deney Düzeneginde Yer Alan Ekipmanlar.....	25
3.1.1.1 Nanoakışkan Tankı.....	25
3.1.1.2 Pistonlu Pompa ve Basınç Regülatörü .....	26
3.1.1.3 Çapraz Akışlı Paslanmaz Çelik Isı Değiştirici .....	27
3.1.1.4 Isıtma ve Soğutma Banyoları .....	28
3.1.1.5 Çapraz Akışlı Polimer Isı Değiştirici .....	29
3.1.1.6 Sıcaklık Ve Basınç Sensörleri .....	30
3.1.1.7 Data Logger (Veri Toplayıcı).....	31

3.1.1.8 Bilgisayar .....	32
3.1.1.9 Bağlantı Elemanları.....	32
3.2 NaNOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI VE KARARLILIK SÜRELERİ .....	33
3.2.1 Deneyde Yer Alan Nanopartiküller .....	33
3.2.2 Yüzey Etkin Madde-SDS (Sodium Dodecyl Sulfate).....	33
3.2.3 Nanoakışkan Hazırlığı .....	34
3.2.4 Nanoakışkanların Kararlılık Analizi .....	35
3.3 DENEYİN YAPILIŞI.....	36
3.4 HESAPLAMALARDA KULLANILAN DENKLEMLER.....	37
3.4.1 Termofiziksel Özellik Denklemleri .....	37
3.4.2 Isı Transferi Miktarı .....	38
3.4.3 Isı Taşınım Katsayısı.....	38
3.4.4 Sürtünme Faktörü.....	39
3.4.5 Basınç Farkı .....	39
3.4.6 Pompa Gücü.....	40
3.5 BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	41
3.6 MATLAB .....	49
BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	51

4.1 DENEYSEL PARAMETRELER.....	51
4.2 DOĞRULAMA DENEYLERİ.....	53
4.3 ISI TRANSFERİ MİKTARI .....	55
4.3.1 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı SS (Paslanmaz Çelik) Mini Kanallardaki Isı Transferi Miktarı ve Karşılaştırmalı Grafikleri.....	55
4.3.2 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallardaki Isı Transferi Miktarı ve Karşılaştırmalı Grafikleri.....	59
4.3.3 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı, SS (Paslanmaz Çelik) ve Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallarda Oluşan Isı Transferi Miktarları ve Karşılaştırmalı Grafikleri..	63
4.4 BASINÇ FARKI.....	67
4.4.1 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı SS (Paslanmaz Çelik) Mini Kanallardaki Basınç Farkı Değerleri ve Karşılaştırmalı Grafikleri.....	67
4.4.2 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallardaki Basınç Farkı Değerleri ve Karşılaştırmalı Grafikleri.....	71
4.4.3 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı, SS (Paslanmaz Çelik) ve Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallarda Oluşan Basınç Farkları ve Karşılaştırmalı Grafikleri .....	75
4.5 PERFORMANS ANALİZİ .....	81
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
6 KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ .....	91

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 İki adım yöntemi ile nanoakışkan hazırlanması (Demir 2020). ....	15
Şekil 2.2 Makro/Mikro/Nano boyutlu cisimlere örnekler. ....	16
Şekil 2.3 Bir boruda sınır tabakanın gelişimi (Çengel ve Cimbala, Akışkanlar Mekanikliği Temelleri ve Uygulamaları 2012). ....	18
Şekil 3.1 Deney seti görseli. ....	23
Şekil 3.2 Deney düzeneği şematik gösterimi (Erdoğan 2016). ....	24
Şekil 3.3 Nanoakışkan tankı ve manyetik karıştırıcı. ....	25
Şekil 3.4 Pistonlu pompa ve basınç regülatörü. ....	26
Şekil 3.5 Paslanmaz çelik ısı değiştirici. ....	27
Şekil 3.6 Isıtma ve soğutma banyoları. ....	28
Şekil 3.7 Polimer malzemeden imal edilmiş çapraz akışlı ısı değiştirici, mini kanallar ve bağlantı elemanları. ....	29
Şekil 3.8 Basınç ve sıcaklık sensörleri. ....	30
Şekil 3.9 AYA Logger. ....	31
Şekil 3.10 Data Logger arayüzü ve oluşturulan grafikler. ....	31
Şekil 3.11 Ultrasonik homojenizatör. ....	34
Şekil 3.12 %0,5 derişimde $Al_2O_3$ – saf su ve $ZnO$ – saf su nanoakışkanlarının 1 : 10 dk, 2 : 20 dk, 3 : 30 dk ve 4 : 60 dk olmak üzere kararlılık süreleri (Demir 2020). ....	35
Şekil 3.13 %0,5 derişimde $Al_2O_3$ – saf su ve $ZnO$ – saf su nanoakışkanlarının 1 : 1 gün, 2 : 3 gün, 3 : 7 gün olmak üzere kararlılık süreleri (Demir 2020). ....	35
Şekil 3.14 Polimer malzemeden yapılmış ısı değiştirici içinde mini kanaldaki çap değişimlerinin Solidworks modellemesi ile gösterimi. ....	40
Şekil 3.15 MATLAB programından bir görsel. ....	49
Şekil 3.16 MATLAB Programı algoritma input veri ekranı. ....	50
Şekil 4.1 Deney Parametreleri. ....	51
Şekil 4.2 20,23,26,29,32,35,38,41,45,50 mL/dk hacimsel debilerde saf suyun f sürtünme faktörünün Ghajar f sürtünme faktörü eğrisi ile karşılaştırılması (Demir 2020). ....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil 4.3 SS ve Peek malzemeden imal edilmiş mini kanallarda 26 ve 50mL/dk debi ile akan saf suyun f sürtünme faktörünün Ghajar f-Re Eğrisi ile karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.4 400µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği. ....	56
Şekil 4.5 500µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği. ....	56
Şekil 4.6 750µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği. ....	57
Şekil 4.7 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği. ....	60
Şekil 4.8 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği. ....	60
Şekil 4.9 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği. ....	61
Şekil 4.10 Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	63
Şekil 4.11 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	63
Şekil 4.12 ZnO - saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	64
Şekil 4.13 Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	65
Şekil 4.14 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	65
Şekil 4.15 ZnO – saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	66
Şekil 4.16 400µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği. ....	68
Şekil 4.17 500µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği. ....	68
Şekil 4.18 750µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği. ....	69
Şekil 4.19 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği....	72
Şekil 4.20 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği....	72
Şekil 4.21 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil 4.22 Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.....	75
Şekil 4.23 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması. ....	75
Şekil 4.24 ZnO - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması. ....	76
Şekil 4.25 Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.....	78
Şekil 4.26 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması. ....	78
Şekil 4.27 ZnO - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması. ....	79
Şekil 4.28 SS malzemedan imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 500µm çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.....	81
Şekil 4.29 SS malzemedan imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 500µm çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların sebep olduğu pompa elektrik gücü sarfiyatı kıyasları.....	82
Şekil 4.30 Peek malzemedan imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 750µm çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların ısı transferi miktarlarının kıyasları. ....	83
Şekil 4.31 Peek malzemedan imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 750µm çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların sebep olduğu pompa elektrik gücü sarfiyatı kıyasları. ....	83



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Nanopartikül çeşitleri (Babar ve Ali 2019).....	14
Çizelge 3.1 Kullanılan nanoakışkanların %0,5'lik hacimsel derişim oranı için nanopartikül, baz akışkan ve SDS miktarları çizelgede gösterilmiştir (Erdoğan 2016). ....	33
Çizelge 3.2 Akışkanların Termofiziksel Özellikleri (Erdoğan 2016). ....	37
Çizelge 3.3 W.S. Gosset'in hazırladığı t-student güvenilirlik faktörü. ....	41
Çizelge 4.1 Deneyde kullanılan parametreler. ....	52
Çizelge 4.2 400µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları. ....	55
Çizelge 4.3 500µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları. ....	55
Çizelge 4.4 750µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları. ....	55
Çizelge 4.5 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları. ....	59
Çizelge 4.6 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları. ....	59
Çizelge 4.7 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları. ....	59
Çizelge 4.8 400µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı değerleri. ....	67
Çizelge 4.9 500µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı değerleri. ....	67
Çizelge 4.10 750µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı değerleri. ....	67
Çizelge 4.11 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı taşınım katsayıları.....	71
Çizelge 4.12 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı taşınım katsayıları.....	71
Çizelge 4.13 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı taşınım katsayıları.....	71



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$L_{h,laminer}$	: Laminer akış rejiminde hidrodinamik giriş bölgesi uzunluğu (m)
$Re_D$	: Reynolds sayısı
$L_{h,türbülans}$	: Türbülans akış rejiminde hidrodinamik giriş bölgesi uzunluğu (m)
$D_h$	: Hidrolik çap (m)
$\rho$	: Yoğunluk ( $kg/m^3$ )
$V$	: Akışkan hızı (m/s)
$\mu$	: Dinamik viskozite (Pa.s)
$\nu$	: Kinematik viskozite ( $m^2/s$ )
$Pr$	: Prandtl sayısı
$\alpha$	: Isıl yayılım katsayısı
$C_p$	: Özgül ısı ( $kJ/kg.K$ )
$k$	: Isı iletim katsayısı ( $W/m.K$ )
$Gz$	: Graetz sayısı
$L$	: Mini kanal uzunluğu (m)
$Nu$	: Nusselt sayısı
$h$	: Isı taşınım katsayısı ( $W/m^2.K$ )
$Nu_{sieder-tate}$	: Sieder-Tate bağıntısı ile hesaplanan nusselt sayısı
$\mu_{ortalama}$	: Akışkanın ortalama sıcaklıktaki dinamik viskozitesi (Pa.s)
$\mu_{yüzey sıcaklığı}$	: Akışkanın yüzey sıcaklığındaki dinamik viskozitesi (Pa.s)
$Nu_{edwards}$	: Edwards bağıntısı ile hesaplanan nusselt sayısı
$\dot{Q}$	: Isı transferi miktarı (W)
$\dot{m}$	: Kütleli debi ( $kg/s$ )
$\Delta T$	: Akışkanın mini kanal giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklık farkı (K)
$T_g$	: Akışkanın mini kanala girdiği noktadaki sıcaklık (K)
$T_ç$	: Akışkanın mini kanaldan çıktığı noktadaki sıcaklık (K)
$\Delta T_{lm}$	: Logaritmik sıcaklık farkı (K)
$\Delta T_g$	: Mini kanalın giriş bölgesindeki sıcaklık farkı (K)
$T_{s,giriş}$	: Mini kanalın giriş bölgesinin yüzey sıcaklığı (K)
$\Delta T_ç$	: Mini kanalın çıkış bölgesindeki sıcaklık farkı (K)
$T_{s,çıkış}$	: Mini kanalın çıkış bölgesinin yüzey sıcaklığı (K)
$A_s$	: Akışkanın geçtiği mini kanalın yüzey alanı ( $m^2$ )

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

$f_{\text{darcy}}$	: Darcy bağıntısı ile bulunan sürtünme faktörü değeri
$f_{\text{haaland}}$	: Haaland bağıntısı ile bulunan sürtünme faktörü değeri
$\varepsilon$	: Yüzey pürüzlülük değeri (m)
$f_{\text{blasius}}$	: Blasius bağıntısı ile bulunan sürtünme faktörü değeri
$\Delta P$	: Basınç farkı (bar)
$f$	: Sürtünme faktörü
$K$	: Ani çap daralmalarından kaynaklanan kayıp katsayısı
$g$	: Yerçekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ )
$H$	: Yükseklik (m)
$\dot{W}_{\text{pompa}}$	: Pompa gücü (W)
$\dot{V}$	: Hacimsel debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$\eta$	: Pompanın verim katsayısı
$\dot{W}_{\text{elektrik}}$	: Pompa için harcanan elektrik gücü (W)

## KISALTMALAR

ANSYS	: Analysis, System
CFD	: Computational Fluid Dynamics
CTAB	: Cetyl Trimethylammonium Bromide
EDM	: Elektro Erozyon İle İşleme Yöntemi
FTIR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
LIGA	: Lithographie, Galvanoformung, Abformung
NTU	: Number of Transfer Unit
PEEK	: Poly Ether Ether Ketone
PVP	: Poli Vinil Pirolidin
SDS	: Sodium Dodecyl Sulfate
SEM	: Scanning Electron Microscope
SS	: Stainless Steel (Paslanmaz Çelik)
TEM	: Transmission Electron Microscopy
UV-Vis	: Ultraviolet-Visible Spectroscopy

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin her geçen gün daha da gelişmesiyle birlikte nanoteknoloji alanında da gelişmeler çok üst seviyelere ulaşmıştır. Nanoteknolojinin açıklayıcı en kısa tanımı, ‘bir maddenin moleküler ve hatta atomik seviyelerdeki kontrolünü sağlayan teknoloji’ olarak yapılabilir. National Nanotechnology Initiative’e göre nanoteknolojinin bir diğer ve daha kapsamlı tanımı ‘en az bir boyutu 1 ila 100 nanometre boyutunda olan bir maddenin kontrolü’ olarak yapılmıştır ve bu boyutlar aralığında yapılan tüm araştırma ve çalışmaları kapsayıcı niteliktedir. Nanoteknoloji; moleküler biyoloji, organik kimya, yer bilimi, ısıtma ve soğutma sistemleri, bilgisayar sistemleri gibi alanlardan beslenir ve bu alanların gelişimine olanak tanır.

Enerji kaynaklarının verimli kullanılmasının, insanlık için en önemli konulardan biri olduğu su götürmez bir gerçektir. Bu bağlamda enerjiyi daha verimli kullanabilmek için kurulan birçok bilim dalı, bunlara bağlı yapılan da birçok çalışma mevcuttur. Nanoteknolojinin ortaya çıkmasındaki temel etken olarak da enerjinin daha verimli kullanılması ihtiyacı olduğu söylenilebilir. Soğutma sistemlerine yönelik ihtiyacın birçok sektörde (nükleer, otomotiv, bilgisayar, kuantum, savunma gibi) artması sonucu yeni ve daha efektif soğutma teknolojilerinin ortaya çıkması da kaçınılmaz olmuştur (Ghadimi 2011). Bu soğutma teknolojileri arasına özellikle yakın zaman diliminde nanoteknoloji de dahil olmaya başlamıştır ve yapılan araştırmalar sonucunda ısı transferi performanslarının geliştirilebilirliği adına umut verici neticeler de ortaya çıkartmıştır. Bir örnek verilecek olursa, özellikle ısınmanın yüksek olduğu yüksek devirli, motorlu makinalarda ısının bir şekilde sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Burada motor tasarımı da çok büyük önem arz etmektedir fakat tek başına yeterli olmayacaktır. Motoru soğutma görevi yapacak olan soğutma parçalarının da iyi tasarlanması gerekmektedir (Erdoğan 2016). Bu tarz sistemlerin bir örneği olan iş makinalarında motoru soğutma görevi radyatörlerdedir. Radyatör içerisinden geçen kanallarda akan soğutucu akışkan, kanal dışında çalışan fan ile birlikte sistemin soğutulmasını sağlar. Soğutucu akışkanın verimi doğrudan soğutma performansını etkileyeceğinden, baz akışkana oranla daha iyi termofiziksel

özelliklere sahip nanoakışkanların teorik olarak daha iyi bir soğutma performansı sağlayacağı öngörülebilir.

## 1.1 LİTERATÜR TARAMASI

Daha önce nanoakışkanların ve mini kanalların ısı transferi performansına, sürtünme faktörüne ve basınç düşüşüne etkileri üzerine, deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Konu ile alakalı çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Hafız Muhammed Ali ve ark. (2020) tamamen türbülanslı akış rejiminde, bakır bir tüpte akan farklı derişimlerde (%0,001, %0,003 ve %0,007) SiO<sub>2</sub> - saf su nanoakışkanın nusselt sayısındaki, ısı taşınım katsayısındaki ve ısı transferi miktarındaki değişimleri deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda %0,001 hacimsel derişimdeki nanoakışkanın ısı taşınım katsayısında %8'lik bir artış görülürken, %0,007 hacimsel derişimdeki nanoakışkanın ısı taşınım katsayısında yaklaşık %27'lik bir artış görülmüştür. Buradan yola çıkarak nanopartikül derişiminin artmasıyla ısı taşınım katsayısının artacağı öngörülmüştür.

Hafız Muhammed Ali ve ark. (2015) yaptıkları çalışmalarında bir araba radyatörünün ısı transferi performansını arttırmak için radyatörde farklı derişimlerde (%0,01, %0,08, %0,2 ve %0,3) ZnO - saf su nanoakışkanı kullanıp, farklı giriş sıcaklıklarında ve farklı debilerde derişimin ve nanoakışkanın radyatör borusuna giriş sıcaklığının ısı transferi performansına ne kadar etki edeceği sorularına cevap arayıp, bu konuda deneysel olarak çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre tüm deneylerde nanoakışkan kullanımının saf suya göre daha iyi bir ısı transferi performansı ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan deneylerde ısı transferi miktarındaki en büyük artış yaklaşık olarak %46 ile %0,2 derişimindeki nanoakışkanda görülmüştür. Ayrıca nanoakışkan giriş sıcaklığını 45 °C'den 55 °C'ye arttırmak ısı transferi miktarında sadece %4'lük bir artış meydana getirmiştir. Buradan da nanoakışkan giriş sıcaklığında çok büyük bir sıcaklık farkı olmadığı takdirde akışkanın radyatör borusuna giriş sıcaklığının ısı transferi miktarında kayda değer bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuşlardır.

Muhammed Saed ve ark. (2017) çalışmalarında  $Al_2O_3$  - saf su nanoakışkanı kullanımının, mini kanallı soğutucularda soğutucu akışkan olarak sadece saf su kullanımına kıyasla ısı transferi miktarındaki değişimi, ısı taşınım katsayısı üzerinde nanoakışkan derişiminin ve debisinin etkisini, sıcaklığın ısı performansına etkisini incelemeyi amaçlamışlardır ve bununla ilgili hem deneysel çalışmalar yapmışlardır hem de bu çalışmayı ANSYS programı yardımıyla tek fazlı ve çift fazlı yöntemler ile modelleyip nümerik bir çözüm oluşturmuşlardır. Elde ettikleri deneysel ve nümerik sonuçları karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarında nanoakışkan kullanımının saf suya oranla çok daha iyi bir ısı transferi performansı ortaya koyduğu gözlenmiştir ve nümerik olarak da doğrulanmıştır. Kurulan deney düzeneğinde 0,5 mm, 1 mm ve 1,5 mm için ısı taşınım katsayılarında sırasıyla %31,1, %27,6 ve %24,9'luk bir artış görülmüştür. Ayrıca nümerik olarak çift fazlı ANSYS modelinin tek fazlı modele göre deney sonuçlarıyla daha iyi örtüştüğü tespit edilmiştir.

Y. Vermahmoudi ve ark. (2013) çalışmalarında çapraz akışlı hava soğutmalı bir ısı eşanjöründe çeşitli derişimlerdeki (%0,15, %0,4, %0,65)  $Fe_2O_3$  - saf su-etilen glikol nanoakışkanı kullanarak elde edilen ısı transferi miktarındaki değişimde derişimin etkisini, laminer akış rejimi koşulunda deneysel olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi ısı transferi performansı %0,65'lik derişimde görülmüştür. Bu derişimde ısı transfer katsayısında yaklaşık %13, ısı transferi miktarında ise yaklaşık %11,5'lik bir artış meydana gelmiştir. Buradan yola çıkarak, nanoakışkan derişiminin ve debisinin artırılmasının toplam Reynolds sayısını arttıracığı, bu sayede de ısı transferi katsayısının ve ısı transferi miktarının artacağı yorumları yapılmıştır.

M. Naraki ve ark. (2013) çalışmalarında bir araba radyatöründe, laminer akış rejimi altında %0,15 ve %0,4'lük hacimsel derişimlerdeki  $CuO$  - saf su nanoakışkan kullanımının, baz akışkan olan saf suya oranla ısı transferi miktarına etkisini, Taguchi metodu kullanılarak karar verilen optimum deney parametreleri ile çalışarak deneysel olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, nanoakışkan hacimsel derişiminin artmasıyla ısı transferi miktarının arttığı gözlemlenmiştir ve %0,4'lük hacimsel derişime sahip nanoakışkan ısı transferi katsayısının baz akışkana oranla %8 oranında daha fazla olduğu görülmüştür.

Tao Wen ve ark. (2021) yaptıkları çalışmalarında günümüzde soğutma sistemleri için ısı transferi miktarını artıracığı ön görülen ve gelecek için umut vadeden nanoakışkan ve mini kanal kullanımını hem deneysel hem nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında ortalama boyutu 30 nm olan ZnO nanopartiküllerini kullanıp %0,75 ve %1,5 hacimsel derişimlerdeki ZnO - etilen glikol-saf su nanoakışkanını hazırlamışlardır ve bu akışkanın 1,22 mm ve 1,42 mm hidrolik çaplı çok portlu iki mini kanal içerisinde akışını sağlamışlardır. Çalışmalarının amacı, baz akışkana ZnO nanopartikülü ekleyip, nanopartiküllerin termofiziksel özelliklerinden yararlanarak ve kanal çapını küçülterek, nusselt sayısındaki, ısı transferindeki, sürtünme faktöründeki ve basınç düşüşündeki değişimi deneysel ve CFD modelleme ile nümerik olarak inceleyip, deneysel sonuçları nümerik sonuçlarla karşılaştırmaktır. Deney sonuçlarında %0,75 ve %1,5 hacimsel derişimlerde nusselt sayılarında sırasıyla %6,7 ve %9,8 oranında artış görülmüştür. Yine sürtünme faktöründe de sırasıyla %4,6 ve %8,6 oranında artış tespit edilmiştir. Kanal çapında daraltma yapıldığında da ısı transferi katsayısında, basınç düşüşünde ve sürtünme faktöründe artışlar gözlemlenirken, nusselt sayısında kayda değer bir değişim görülmemiştir. CFD ile yapılan tek fazlı modelleme ile bulunan nusselt sayısı ve sürtünme faktörü nümerik sonuçları deneylerle yaklaşık %18'lik bir sapmayla iyi bir sonuç vermiştir.

Xuan And Li (2000) nanoakışkan ile daha verimli çalışabilmek için, nanoakışkan kararlılığını arttırmak adına nanoakışkan çözeltilerinin pH derecelerini değiştirip, farklı yüzey etkin maddeleri ile birlikte ultrasonik titreşimler kullanarak çözeltilinin her noktasında aynı özelliği göstermesini sağlamışlardır. Bu işlem sonucunda nanoakışkanların kararlılıklarını TEM (Transmission Electron Microscopy) görüntüleriyle desteklemişlerdir.

A. Zanganeh ve ark. (2020) çalışmalarında zorlanmış akış ve soğutma etkisi altındaki kaynayan CuO - saf su nanoakışkanının soğutma sıcaklığının, hacimsel derişiminin ve debisinin sistemin ısı transferi performansına etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda nanoakışkanın hacimsel derişimi, ısı akısı ve debisi arttıkça ısı transfer katsayısının arttığı ve buna bağlı olarak ısı transferi miktarının arttığı gözlenmiştir. Nümerik olarak bulunan sonuçlarla deneysel sonuçlar örtüşmüştür.

Dan Zhang ve ark. (2020) çalışmalarında %0,5 ve %1'lik hacimsel derişimlerdeki  $TiO_2$  – saf su nanoakışkanının, 1,22 mm hidrolik çapa sahip olan çok portlu bir mini kanal içerisindeki tek fazlı akışının, ısı taşınım katsayısına ve basınç düşüşüne etkisini deneysel olarak incelemiştirlerdir. Çalışma sonucuna göre, laminer akış rejiminden geçiş rejimine kadar olan akış rejimi şartlarında nanoakışkan, saf su ile benzer ısı transferi performansı gösterse de, özellikle geçiş akışından sonra türbülanslı akış rejimi altında nanoakışkan çok daha verimli ısı transferi performansı göstermiştir. Ayrıca mini kanal içerisinde nanoakışkan kullanımının saf su ile karşılaştırıldığında ısı taşınım katsayısını %4,2 oranında iyileştirdiği ancak viskozitenin de yaklaşık %15 oranında artmasına sebep olduğu görülmüştür.

R.Vidhya ve ark. (2020) çalışmalarında farklı hacimsel derişimlerde (%0,0125, %0,025, %0,05, %0,075 ve %0,1) ZnO – MgO - saf su - etilen glikol hibrid nanoakışkanını kullanarak nanoakışkanın farklı sıcaklıklardaki ısı iletkenliğini, yoğunluğunu ve viskozitesini deneysel olarak incelemiştirlerdir. Bu çalışmada nanoakışkanlar, yüzey etkin maddesi olarak CTAB (Cetyl trimethylammonium bromide) kullanılarak iki adım yöntemiyle hazırlanmıştır ve hazırlanan nanoakışkanların kararlılıkları ve karakteristiği, X-ray birim çalışmaları, FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analizi, TEM (Transmission Electron Microscopy) taraması ile gösterilmiştir. Deney sonucuna göre ZnO – MgO - saf su - etilen glikol hibrid nanoakışkanının suya nazaran daha güçlü termofiziksel özelliklere sahip olduğu ve buna bağlı olarak ısı iletim katsayısında yaklaşık %29'luk bir artış olduğu gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar, hibrid nanoakışkanların günlük hayatta soğutma sistemlerinde verimli bir şekilde kullanılabilirliği konusunda ümit vermektedir.

Apostolos A. Gkountas ve ark. (2020), yüksek soğutma ihtiyacına sahip olan Bryton çevrimli sistemler için, ön soğutma eşanjöründeki kanallardan geçen soğutucu akışkan olarak  $Al_2O_3$  - saf su nanoakışkanı kullanarak, kullanılan nanoakışkanın saf suya oranla sistemin ısı transferi katsayısına, eşanjörün uzunluğuna ve sistemdeki basınç düşüşüne etkisini incelemeyi amaçlamışlardır ve bu hedef doğrultusunda bir deney seti hazırlayıp deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmaları sonucunda, %5'lik hacimsel derişimde hazırlanan nanoakışkanın saf suya oranla ısı transferi katsayısında %10'luk bir artış sağlamıştır. Bununla birlikte toplam eşanjör uzunluğunda %0,9'luk, basınç düşüşünde ise %14'lük bir azalış sağlamıştır.

Gurpreet Singh Sokhal (2020) çalışmasında, literatürdeki nanoakışkanlarla ilgili çalışmalarını derleyip review tarzı bir araştırma yöntemine gitmiştir. Amacı farklı nanopartikül içeren nanoakışkanların, baz akışkana göre ısı verimlerini karşılaştırmaktır. Bu bağlamda %2'lik hacimsel derişimlerdeki  $Al_2O_3$  - saf su,  $CuO$  - saf su nanoakışkanlarının ve saf su akışkanının ısı performanslarını kendi içlerinde karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda en yüksek ısı taşınım katsayısı  $CuO$  - saf su nanoakışkanında gözlenmiştir.

Kumar ve ark. (2018), farklı tip nanoakışkanların ısı transferi performansı hakkında pek çok kaynaktan yararlanıp review tarzında bir çalışma yapmışlardır. İncelemeleri doğrultusunda;

- Metal nanopartiküllere sahip nanoakışkanların baz akışkana nazaran daha yüksek bir ısı iletkenliğe sahip olduğu,
- Yüksek ısı transferi performansı sağlayan ve pek çok çalışmada yaygın olarak kullanılan  $Al_2O_3$  - saf su nanoakışkanının  $CuO$  - saf su nanoakışkanına oranla daha pahalı olduğu,
- ısı transferi miktarının değişimini etkileyen faktörler arasında nanopartikül tipi, hacimsel derişim, akışkanın aktığı kanalın hidrolik çapı olduğu,

gibi yorumlar ortaya çıkartmışlardır.

Erdoğan (2016b) %0,5, %0,7 ve %1 derişimlerdeki  $Al_2O_3$  - saf su,  $TiO_2$  - saf su ve  $ZnO$  - saf su nanoakışkanlarının, peek ve paslanmaz çelik malzemedeki imal edilmiş 400,750 ve 1000  $\mu m$  çaplarındaki 20 cm uzunluğundaki mini kanallarda, 15, 25, 40  $^{\circ}C$  yüzey şartları için, farklı giriş sıcaklıklarında ve farklı debilerde akışını deneysel olarak incelemiştir. Burada deneylere başlamadan önce optimum koşulları sağlayan parametreler Taguchi yöntemi sayesinde hesaplanıp, deneyler bu verilere göre yapılmıştır. Deneylerin sonucunda bahsi geçen parametrelerin, nanoakışkanların ısı transferi miktarları, nusselt sayıları, ısı taşınım katsayıları, sürtünme faktörleri ve basınç düşüşleri ile olan ilişkileri incelenmiştir. Sonuç olarak Taguchi yöntemi ile seçilen parametrelerden mini kanal için en uygun çap 400  $\mu m$ , en uygun nanoakışkan  $Al_2O_3$  - saf su, en uygun derişim oranı %0,5 olarak belirlenmiştir. Optimum parametrelerin kullanıldığı deneylerde ısı transferi miktarında yaklaşık %15'lik bir iyileşme, basınç düşüşünde ise yaklaşık %40'lık bir düşüş tespit edilmiştir.

Tae Jong Choi ve ark. (2020) çalışmalarında, 100 kW'lık yüksek güç etkisi altında çalışan sistemi soğutmak için hazırlanan radyatörde,  $Al_2O_3$  - etilen glikol - saf su nanoakışkanı kullanarak, saf suya nazaran ısı transferi performansındaki değişimi incelemeyi amaçlamışlardır. Nanoakışkanlar iki adım yöntemiyle hazırlanıp nanoakışkanın kararlılığı 7 ay boyunca bir Tubiscan kullanılarak ölçülmüştür. Radyatördeki nanoakışkanın ısı transferi miktarı, sabit Reynolds sayısı ve sabit pompa gücü ile deneysel olarak ölçülmüştür. Bulunan sonuçlar NTU (Number of Transfer Unit) Metodu ile yapılan teorik çözümlerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen verilere göre, radyatörde nanoakışkan kullanımının ısı transferi miktarında baz akışkana nazaran yaklaşık %7'ye varan bir artış sağladığı görülmüştür. Ve bu ısı transferi artışı NTU Metodu ile bulunan teorik çözümlerle birbirlerini doğrulamaktadır.

Mukesh Kumar ve ark. (2019), 6 dairesel kesite sahip kanallı bir soğutucu içerisindeki elektronik çipin,  $Al_2O_3$  - saf su nanoakışkanı ve saf su akışkanı ile soğutulduğu esnada her iki akışkan için de ısı transferi miktarlarını, güç tüketimlerini, nusselt sayılarını, elektronik çipin yüzey sıcaklığındaki değişimi ve soğutucunun ısıl direncini ANSYS programı ile nümerik olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda  $Al_2O_3$  - saf su nanoakışkanının saf suya oranla elektronik çipin yüzey sıcaklığını, güç tüketimini ve ısıl direncini düşürdüğü, nusselt sayısını ve ısı transferi miktarını arttırdığı görülmüştür.

Bhanvase ve ark. (2014) çalışmalarında, iki adım yöntemi ile elde ettikleri  $TiO_2$  - etilen glikol - saf su nanoakışkanının hacimsel derişiminin, giriş sıcaklığının ve debisinin ısı transferi miktarına etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda nanoakışkan derişiminin ve hacimsel debisinin artmasının ısı transferi miktarını olumlu yönde etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

Azmi ve ark. (2014) çalışmalarında  $TiO_2$  - saf su ve  $SiO_2$  - saf su nanoakışkanlarının, dairesel kesitli 16 mm'lik bir hidrolik çapa sahip kanal içerisinde, türbülanslı akış rejiminde zorlanmış akışı sağlanmıştır ve bu akış esnasındaki ısı taşınım katsayısında meydana gelen değişim aynı şartlarda saf su kullanılarak bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda  $TiO_2$  - saf su nanoakışkanı için elde edilen maksimum ısı taşınım katsayısı %1'lik hacimsel derişimde baz akışkana göre %26,  $SiO_2$  - saf su nanoakışkanı için ise elde edilen maksimum ısı taşınım katsayısı değişimi %3'lük hacimsel derişimde yine baz akışkana göre %33 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Yixin Wang ve ark. (2020) çalışmalarında, tam güç altında büyük bir ısınma problemine sahip olan veri merkezlerinde yüksek ısınma problemini ortadan kaldırmak adına kullanılan sıvı soğutma teknolojisi için bir deney seti hazırlayıp bu deneylerde soğutucu akışkan olarak TiO<sub>2</sub> - saf su nanoakışkanı kullanmışlardır ve saf suya göre ısı transferi performansını deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarına göre, nanoakışkanların kararlılık sürelerinin 50 günden fazla olduğu saptanmıştır ve nanoakışkanın 60 °C'de %0.1'lik hacimsel derişimdeki nanoakışkanın ısı iletkenliğinde suya göre yaklaşık %36'lık bir artış meydana geldiği görülmüştür.

Hamza Babar ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, hibrid nanoakışkanların sentez yöntemlerini, ısı performanslarını, geçmişten bugüne kadarki gelişimini, gelecekte soğutma sistemleri için kullanılabilirliğini literatürde yer alan pek çok sayıdaki makalelerden yararlanarak incelemiştir. Bu kapsamda review tarzı bir araştırma yapmışlardır. Elde ettikleri bazı sonuçlara göre:

- Nanoakışkanın hazırlanışı aşamasında iki adım yönteminin tek adım yöntemine kıyasla çok daha iyi sonuçlar verdiği,
- Hibrid nanoakışkanların, tek çeşit partiküllü üniter nanoakışkanlara kıyasla daha efektif ısı transferi performansı verdiği,
- Nanopartikül çapının artmasının viskoziteyi ve sürtünme faktörünü arttırdığı, buna bağlı olarak da sistemlerde kullanılacak olan pompanın gücünün de artacağı,
- Nanoakışkan hacimsel debisinin artmasının ısı iletkenliği, ısı kapasiteyi, yoğunluğu ve viskoziteyi arttırdığı,
- Farklı hibrid nanoakışkanlar için derişim üst sınırı ile sıcaklık üst sınırının doğru seçilmesi için kapsamlı bir çalışma yapılması gerektiği

yorumları yapılmıştır.

Mingyan Ma ve ark (2020), yüzey etkin madde kullanımının hibrid nanoakışkanların termofiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları hibrid nanoakışkanlar  $Al_2O_3 - Cu$  - saf su ve  $Al_2O_3 - TiO_2$  - saf su nanoakışkanları, kullandıkları yüzey etkin maddeler ise SDS (Sodium Dodecyl Sulfate), PVP (Poli Vinil Piroldin) ve CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide)'dir. Elde edilen sonuçlara göre, yüzey etkin maddelerin karışımlardaki derişiminin artmasının, nanoakışkan kararlılığında ve viskozitesinin artmasında pay sahibi olduğunu ortaya çıkartmışlardır. Nanoakışkan kararlılığı UV-Vis (Ultraviolet-Visible Spectroscopy), SEM (Scanning Electron Microscope) ve çökeltme deneyleri ile incelenmiştir. Deneyler sonucunda PVP yüzey etkin maddesinin 25 gün boyunca en az çökeltme gösteren yüzey etkin maddesi olduğu görülmüştür ve yüksek stabilite derecesine sahip olduğu yorumu yapılmıştır.

Wenwen Guo ve ark (2020), titreşim etkisi altındaki sarmal bir bobinde  $Al_2O_3$  - saf su nanoakışkanı kullanarak ısı transferi miktarını arttırmayı amaçlamışlardır ve bu amaç doğrultusunda hem deneysel hem nümerik çalışmalar yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda öngörülen ısı transferi miktarındaki artışı sağlamışlardır. Deneysel sonuçlar ile akışkanın Brownian hareketi yaptığı kabul edilen dinamik tek fazlı akışına göre modellenmesi ile hesaplanan nümerik sonuçlar birbiriyle yakın sonuçlar vermiştir.

Çayan Demirkır ve Hakan Ertürk (2021), grafen - saf su nanoakışkanının geçiş bölgesi akış rejimindeki ısı transferi değişimini ve basınç düşüşünü deneysel olarak inceleyip aynı şartlarda kullanılan saf suyla karşılaştırmışlardır. Nanoakışkanlar iki adım yöntemi kullanılarak, yüzey etkin maddesi olarak PVP kullanılarak, %0,025, %0,1 ve %0,2 hacimsel derişimlerde hazırlanmıştır. Deney sonuçları, nanoakışkanın suya nazaran laminar ve türbülanslı akışa göre geçiş bölgesinde basınç düşüşünün arttığını ve Reynolds sayısının bu bölgede düştüğünü göstermiştir. Geçiş bölgesinde saf su için 2475 olan Reynolds sayısı, %0,2'lik derişimdeki grafen - saf su nanoakışkanı için 2315 değerinde hesaplanmıştır.

## 1.2 LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR İLE İLGİLİ GENEL YORUMLAR

Literatürde yer alan ve yukarıda belirtilen çalışmalar hakkında detaylı incelemeler yapıp genel olarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Nanoakışkan hazırlanırken izlenen yollardan en güvenilir ve en verimlisi 2 adım metodudur.
- Nanoakışkan hazırlanırken çözeltinin kararlılığını sağlamak için yüzey etkin maddesi kullanmak gerekmektedir. Yüzey etkin maddesi kullanımı ısı transferi performansını da olumlu yönde etkiler.
- Nanoakışkanların derişimleri ısı transferi miktarını etkiler. Genel olarak derişim arttıkça ısı transferi performansının arttığı görülmüştür fakat çok yüksek derişim oranlarında ise ısı transferi miktarında azalmalara rastlanmıştır. Bu sebeple nanoakışkan derişimleri iyi ayarlanmalıdır.
- Hibrid nanoakışkanların, üniter (tek nanopartikül çeşidi içeren) nanoakışkanlara nazaran daha iyi bir ısı performans verdikleri yapılan deneysel ve nümerik çalışmalarda ortaya konulmuştur.
- Radyatörlerde nanoakışkanın kanala giriş sıcaklığının artırılması ve ya azalması çok büyük sıcaklık farkları dışında ısı transferi miktarındaki değişim için önemsenecek bir etki yaratmaz.
- Akışkanın geçeceği kanal çapı daraldıkça ısı transferi performansında artışlar görülmüştür ancak sistemdeki basınç kayıpları ve sürtünme faktörü de artmıştır.
- Nanoakışkan kullanılarak soğutulan sistemlerde laminar akış rejiminde hemen hemen baz akışkanla benzer ısı performanslar görülsede türbülanslı akış rejiminde nanoakışkanların farkı pozitif yönde çok daha belirgin olmuştur. Türbülanslı akış rejimi nanoakışkanların verimli bir soğutma performansı yapmasına olanak tanır.
- Yapılan çalışmalarda çoğunlukla seramik özellikli nanoakışkanlar kullanılmıştır. Özellikle  $Al_2O_3$  ısı transferindeki verimli çalışmasıyla en çok tercih edilen nanoakışkanlardan birisidir.

Literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada akışkan olarak  $Al_2O_3$  – saf su,  $ZnO$  – saf su nanoakışkanlarının, iki farklı malzemededen imal edilmiş farklı çaplardaki mini kanallar içerisindeki akışları incelenmiştir. Bu sayede nanoakışkanların ısı transferi performansları, baz akışkanın ısı transferi performansı ile karşılaştırılmıştır ve bu ısı transferi

performanslarını elde edebilmek için harcanacak elektrik enerjisi hesaplanıp günlük yaşantıda kullanılan soğutma sistemlerinde kullanılabilirliği yorumlanmıştır





## BÖLÜM 2

### GENEL TANIMLAR

#### 2.1 NANOAKIŞKANLAR

Nanoakışkanlar, bir baz akışkan içerisinde, nano boyutlardaki partiküllerin homojen olarak dağılıp askıda kalmasıyla oluşan çözeltilerdir. Baz akışkan sayesinde taşınan partiküllerin barındırdığı termodinamik özelliklerinden yararlanılarak ısı transferi miktarında artış olacağı ön görülmektedir. Bu bağlamda nanoakışkanların, özellikle soğutma sistemlerinde kullanılması üzerine bir çok çalışma yapılmıştır ve yapılan çalışmaların çoğu tahminleri doğrular niteliktedir. Nanoakışkanların partikül çeşitlerine göre ve baz akışkanlarına göre bir çok çeşiti mevcuttur. Ayrıca nanoakışkan kararlılığı ve verimliliği açısından nanoakışkanların hazırlanma prosesleri de oldukça önem arz etmektedir.

##### 2.1.1 Nanopartikül Çeşitleri

Nanopartiküller, metal özellikli nanopartiküller, karbon nanopartiküller, metal karbür nanopartiküller, metal nitrat nanopartiküller ve metal partiküllerin oksitlenmesiyle ortaya çıkan seramik nanopartiküller olmak üzere 5 farklı şekilde incelenebilir.

**Çizelge 2.1** Nanopartikül çeşitleri (Babar ve Ali 2019).

<b>Nanopartikül Çeşidi</b>	<b>Bazı Örnekleri</b>
Metal Nanopartiküller	Cu, Fe, Au, Ni, Ag
Karbon Nanopartiküller	Karbon nanotüp, grafen
Metal Karbür Nanopartiküller	SiC
Metal Nitrat Nanopartiküller	BN, AlN
Seramik Nanopartiküller	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZnO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO, SiO <sub>2</sub>

### 2.1.2 Baz Akışkan Çeşitleri

Nanoakışkan hazırlanırken yapılan çalışmalarda baz akışkan olarak genelde etilen glikol, propilen glikol, saf su, aseton gibi akışkanlar kullanılmıştır.

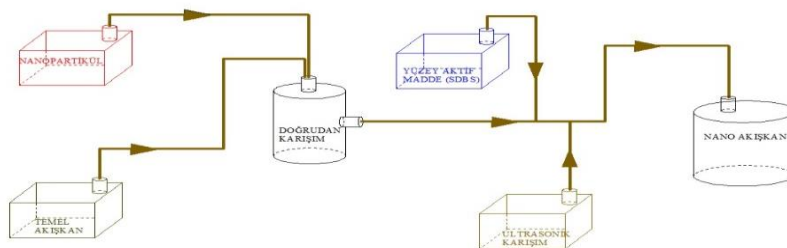
Çizelge 2.1’de verilen nanopartiküller saf su, etilen glikol, propilen glikol, aseton gibi baz akışkanlar ile çözdürüldüğünde nanoakışkanlar elde edilir. Ayrıca nanoakışkanın termofiziksel özelliklerini iyileştirmek adına baz akışkanlar içerisine birden fazla nanopartikül ilave edilip hibrid nanoakışkanlar da hazırlanabilmektedir. Hibrid nanoakışkanlar için kullanılan çoklu partiküllere örnek olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Cu, ZnO - MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> - Ni, Polyester - TiO<sub>2</sub> verilebilir. Yapılan bazı çalışmalarda hibrid nanoakışkanların, üniter (tek nanopartikül çeşidi içeren) nanoakışkanlara nazaran daha iyi ısı transferi performansı sağladıkları görülmüştür. Bununla beraber, nanopartikül çeşitlerinden çalışmalarda en yaygın olarak kullanılanı, gerek üretim kolaylığından dolayı, gerekse diğer nanoakışkanlara nazaran uygun maliyetinden ve daha uzun süreli stabilizasyonundan dolayı seramik nanoakışkanlardır.

### 2.1.3 Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri

Nanoakışkanlar hazırlanırken genel olarak iki yöntem tercih edilir. Bunlardan birincisi tek adımda nanoakışkan hazırlama yöntemi, ikincisi ise iki adımda nanoakışkan hazırlama yöntemidir.

Kısaca bahsedecek olursak, tek aşamada nanoakışkan hazırlama yönteminde hem çözünme hem de nanopartikül sentezi baz akışkan içerisinde aynı anda gerçekleşir. Bu yöntemde iki işlem eş zamanlı yapılacağı için ara proseslere gerek olmayacağından ekstra bir taşıma, depolama, partikül çözünmesini bekleme, kurutma gibi durumları yoktur. Bu da hem vakit kazandırır hem de maliyeti düşürür. Nanoakışkan hazırlanırken nanoakışkandaki topaklanma durumu da daha az yaşanır. Asıl tercih nedeni ise sentezlenen partiküllerin oksidasyonuna engel olmasıdır. Bu sayede daha kararlı ve verimli nanoakışkanlar ortaya çıkabilir. Bu yöntem daha çok metalik partiküllerde kullanılır. Olumsuz yanı ise yalnızca düşük buhar basıncına sahip baz akışkanlar için bu yöntem uygun olacaktır. Bu da çalışma alanının kısıtlanması anlamına gelir.

İki aşamada nanoakışkan hazırlama yöntemi yapılan çalışmalarda en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde, kimyasal buhar çökeltme, soy gaz yoğunlaştırma, mekanik alaşımlama gibi yöntemlerle toz halde sentezlenen nanopartiküller daha sonra bir baz akışkan içerisinde homojen olarak çözündürülür. Burada nanopartikülün baz akışkan içerisindeki derişim oranı çok önemlidir ve partiküllerin baz akışkan içerisinde homojen olarak dağılması büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda partiküllerin çözelti içerisinde topaklanmasını engelleyip, daha kararlı bir hale getirmek için karışıma yüzey etkin maddeleri ilave edilmesi önerilir. Bu yöntem genelde seramik özellikli (farklı oksit ve karbürler gibi) nanopartiküller için kullanılsa da tek aşamada nanoakışkan hazırlama yöntemine göre daha geniş çapta nanopartikül tipi için uygundur.



Şekil 2.1 İki adım yöntemi ile nanoakışkan hazırlanması (Demir 2020).

## 2.2 MİKRO/MİNİ/MAKRO KANALLAR

Çok küçük boyutlardaki çapları ile yüksek ısı akısı olanağı sağlayan mikro/mini/makro kanallar özellikle akışkan bazlı ısıtma ve soğutma sistemleri için oldukça kullanışlıdır. Bunun yanında sağlamlık ve uzun ömürlülüğü, kolay muhafaza edilebilmesi, hafifliği, nakliye imkanının kolay olması, kapladığı alanın az olması çalışmalarda insanları mikro/mini/makro kanallara yönlendirmiştir. Fakat özel taleplere göre üretildiklerinden bu kanalları piyasada bulmak daha büyük çaplı kanallara göre daha zordur.

Çapı 1 ila 100 µm arasında olan kanallar mikro kanal olarak, çapı 100 µm ile 1mm arasında olan kanallar mini kanal olarak, çapı 1mm'den büyük olan kanallar ise makro kanal olarak adlandırılmıştır. (Canay 2007)

$$1 \text{ m} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ } \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm}$$



Şekil 2.2 Makro/Mikro/Nano boyutlu cisimlere örnekler.

### 2.2.1 Mikro/Mini Kanal Üretim Yöntemleri

Mikro/mini kanalları işleyebilmek için yüksek bir teknoloji gerekmektedir. Özellikle nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte mikro/mini boyutlarda malzemelere ve bu malzemelerin imal edilip kullanılabilmesine olan ihtiyaç gün yüzüne çıkmıştır. Yapılan en yaygın mikro işleme yöntemleri şu şekildedir:

### **2.2.1.1 Mikro Mekanik İşleme**

Bu işleme yönteminde mikro frezeleme, mikro tornalama, mikro delme ve mikro mekanik takım tezgahları kullanılmaktadır.

### **2.2.1.2 Mikro Aşındırıcı İşleme**

Bu işleme yönteminde mikro EDM ve mikro aşındırıcı jel işleme yöntemleri kullanılmaktadır.

### **2.2.1.3 Diğer Mikro İşleme Yöntemleri**

Bahsedilen mikro işleme yöntemleri dışında adını Lithographie (Litografi), Galvanoförmung (Elektro-kaplama), Abförmung (Presle kalıplama) yöntemlerinin baş harflerinden alan LIGA yöntemi, mikro lazerle işleme, proton ve iyon demeti yazma gibi işleme yöntemleri de mikro işleme yöntemleri arasında geçmektedir. (Yücel ve Çiçek 2011)

## **2.3 HİDRODİNAMİK GELİŞME**

Dairesel bir kanal içerisinde geçen akışkanın viskozitesinden ortaya çıkan viskoz kayma kuvvetlerinin etkisinin görüldüğü bölgeye sınır tabaka ya da hız sınır tabakası adı verilmektedir. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere sınır tabaka, kanalın girişiyle başlar ve kalınlığı akış yönüne doğru borunun merkezine ulaştıkça artar. Sınır tabakanın merkezde merkez çizgisiyle birleştiği yere kadar olan bölge hidrodinamik giriş bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgenin uzunluğu hidrodinamik giriş uzunluğu, bu bölgedeki akış ise hidrodinamik olarak gelişen akış adını alır. Bu bölgenin akış yönünde uzağında kalan bölgeye hidrodinamik olarak tam gelişmiş bölge, bu bölgedeki akışa da tam gelişmiş akış adı verilir.

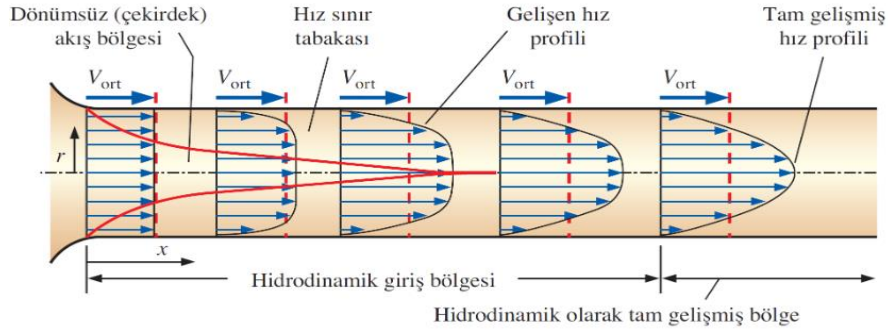
Hidrodinamik giriş bölgesi uzunluğu laminer akış rejiminde:

$$L_{h,laminer} = 0,05 \cdot Re_D \quad (2.1)$$

Türbülanslı akış rejiminde ise:

$$L_{h,türbülans} = 1,359 \cdot D_h \cdot (Re_D)^{1/4} \approx 10 \cdot D_h \quad (2.2)$$

şeklindedir. (Çengel ve Cimbala, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları 2012)



Şekil 2.3 Bir boruda sınır tabakanın gelişimi (Çengel ve Cimbala, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları 2012).

## 2.4 BOYUTSUZ SAYILAR

### 2.4.1 Reynolds Sayısı

Boru içi akışlarda akış rejimi akışkanın türüne, boru geometrisine, yüzey pürüzlülüğüne, akışkanın hızına, yüzey sıcaklığına bağlı olarak laminer ya da türbülanslı olabilir. Daha da açmak gerekirse boru içi akışlarda akış rejiminin, atalet kuvvetlerinin akışkanın viskoz kuvvetlerine oranına bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Bu fikir ilk olarak uzun deneysel çalışmalar sonucunda Osborne Reynolds adında İngiliz bilim adamı tarafından ortaya atılmıştır. Bu sebeptendir ki, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere olan oranı Reynolds Sayısı olarak adlandırılmıştır. Reynolds Sayısı 2300'den küçük olduğu durumlarda akış laminer, 2300-4000 arasında bir değerdeyse akış geçiş bölgesinde, eğer 4000'den büyük ise de türbülanslı rejimde olduğu kabul edilmektedir (Çengel ve Cimbala, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları 2012).

$$Re_D = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskoz Kuvvetler}} = \frac{\rho \cdot D_h \cdot V}{\mu} = \frac{D_h \cdot V}{\vartheta} \quad (2.3)$$

Burada  $Re_D$  Reynolds sayısını göstermektedir.  $\rho$  yoğunluğu göstermektedir. Birimi  $\text{kg/m}^3$ 'tür.  $D_h$  hidrolik çapı göstermektedir. Birimi m'dir.  $V$  akışkan hızını göstermektedir. Birimi  $\text{m/s}$ 'dir.  $\mu$  dinamik viskoziteyi göstermektedir. Birimi  $\text{Pa.s}$ 'dir.  $\vartheta$  kinematik viskoziteyi göstermektedir. Birimi  $\text{m}^2/\text{s}$ 'dir.

Akış rejimleri şu şekildedir:

$Re_D < 2300$  (laminer akış)

$2300 < Re_D < 4000$  (geçiş bölgesi akışı)

$4000 < Re_D$  (türbülanslı akış)

#### 2.4.2 Prandtl Sayısı

Prandtl Sayısı, hız ve ısı tabakaların birbirlerine göre kalınlıklarını tanımlayan boyutsuz bir parametredir. İsmi 1904 yılında sınır tabaka teorisini ortaya atan Ludwig Prandtl'dan gelmektedir (Çengel, Isı ve Kütle Transferi-Pratik Bir Yaklaşım 2012).

$$Pr = \frac{\text{Momentumun Moleküler Yayınımı}}{\text{Isının Moleküler Yayınımı}} = \frac{\vartheta}{\alpha} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (2.5)$$

Burada  $Pr$ , Prandtl Sayısı'nı göstermektedir.  $\vartheta$ , akışkanın kinematik viskozitesini göstermektedir. Birimi  $\text{m}^2/\text{s}$ 'dir.  $\alpha$  ısı yayılım katsayısını göstermektedir. Boyutsuzdur.  $\mu$ , akışkanın dinamik viskozitesini göstermektedir. Birimi  $\text{Pa.s}$ 'dir.  $C_p$ , akışkanın özgül ısını göstermektedir. Birimi  $\text{J/kg.K}$ 'dir.  $\rho$ , yoğunluğu gösterir. Birimi  $\text{kg/m}^3$ 'tür.  $k$  akışkanın ısı iletim katsayısını göstermektedir. Birimi  $\text{W/m.K}$ 'dir.

### 2.4.3 Graetz Sayısı

Graetz sayısı, boru içi akışta nusselt sayısının elde ediminde kullanılan bir boyutsuz sayıdır (Çengel, Isı ve Kütle Transferi-Pratik Bir Yaklaşım 2012).

$$Gz = \frac{Re_D \cdot Pr \cdot D_h}{L} \quad (2.6)$$

Burada Gz, Graetz Sayısı'nı. Re Reynolds Sayısı'nı. Pr, Prandtl Sayısı'nı, göstermektedir.  $D_h$  mini kanalın hidrolik çapını göstermektedir. Birimi m'dir. L, mini kanalın uzunluğunu göstermektedir. Birimi m'dir.

### 2.4.4 Nusselt Sayısı

Akışkanın taşınım ile ısı geçişi miktarının iletim ile ısı geçişi miktarına oranıdır. Bu oran da akışkandaki ısı transferi iyileştirmesini göstermektedir (Çengel, Isı ve Kütle Transferi-Pratik Bir Yaklaşım 2012).

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} = \frac{\text{Akışkanın Taşınım ile Isı Aktarımı}}{\text{Akışkanın İletim ile Isı Aktarımı}} \quad (2.7)$$

Burada Nu, nusselt sayısını göstermektedir. h, akışkanın ısı taşınım katsayısını göstermektedir. Birimi  $W/m^2.K$ 'dir.  $D_h$ , mini kanalın hidrolik çapını göstermektedir. Birimi m'dir. k, akışkanın ısı iletim katsayısını göstermektedir. Birimi  $W/m.K$ 'dir.

Sieder-Tate'in literatüre kazandırdığı nusselt sayısı bağıntısı Denklem 2.5'te verilmiştir:

$$Nu_{sieder-tate} = 1,86 \cdot (Gz)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu_{ort.sıcaklık}}{\mu_{yüzey sıcaklığı}} \right)^{0,14} \quad (2.8)$$

$(0,6 \leq Pr \leq 5), (0,0044 \leq \frac{\mu_{ort.sıcaklık}}{\mu_{yüzey sıcaklığı}} \leq 9,75), (Re_D < 2300), (\text{Hidrodinamik ve Isıl Gelişen})$

Burada Gz, Graetz Sayısı'nı göstermektedir.  $\mu_{ort.sıcaklık}$ , akışkanın ortalama sıcaklıktaki dinamik viskozitesini göstermektedir. Birimi Pa.s'dir.  $\mu_{yüzey sıcaklığı}$ , akışkanın yüzey sıcaklığındaki dinamik viskozitesini göstermektedir. Birimi Pa.s'dir.

Edwards'ın literatüre kazandırdığı nusselt sayısı bağıntısı Denklem 2.6'da verilmiştir:

$$Nu_{edwards} = 3,66 \cdot \frac{0,065 \cdot Gz}{1 + 0,04 \cdot Gz^{2/3}} \quad (2.9)$$

(Pr > 5) , (Re<sub>D</sub> < 2300) , (Hidrodinamik Gelişmiş ve Isıl Gelişen)

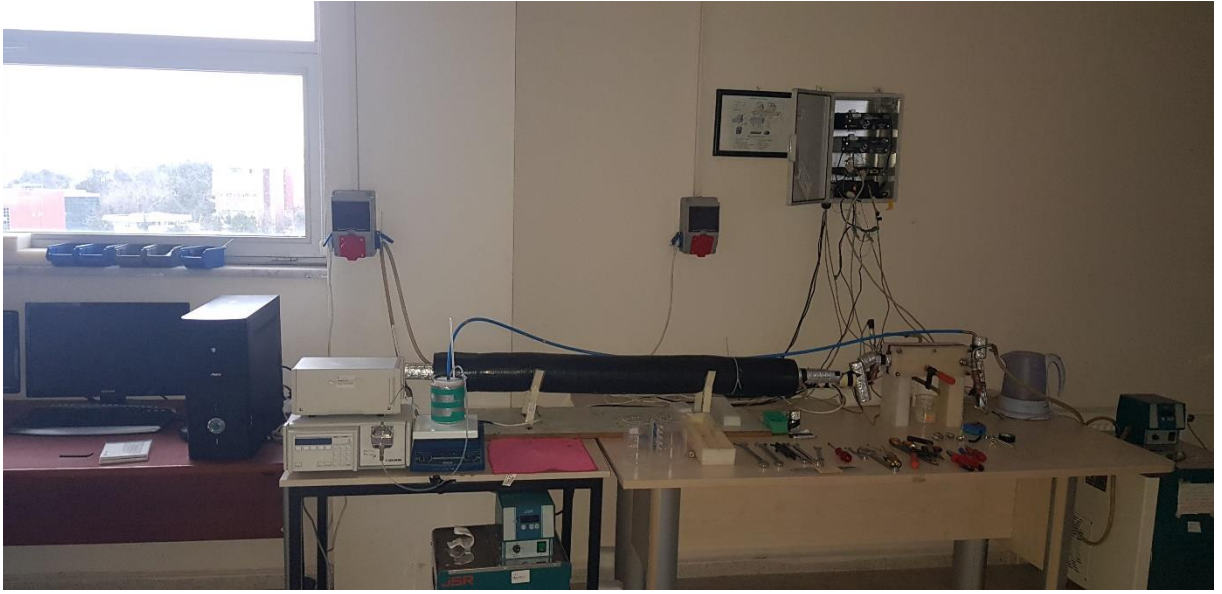




## BÖLÜM 3

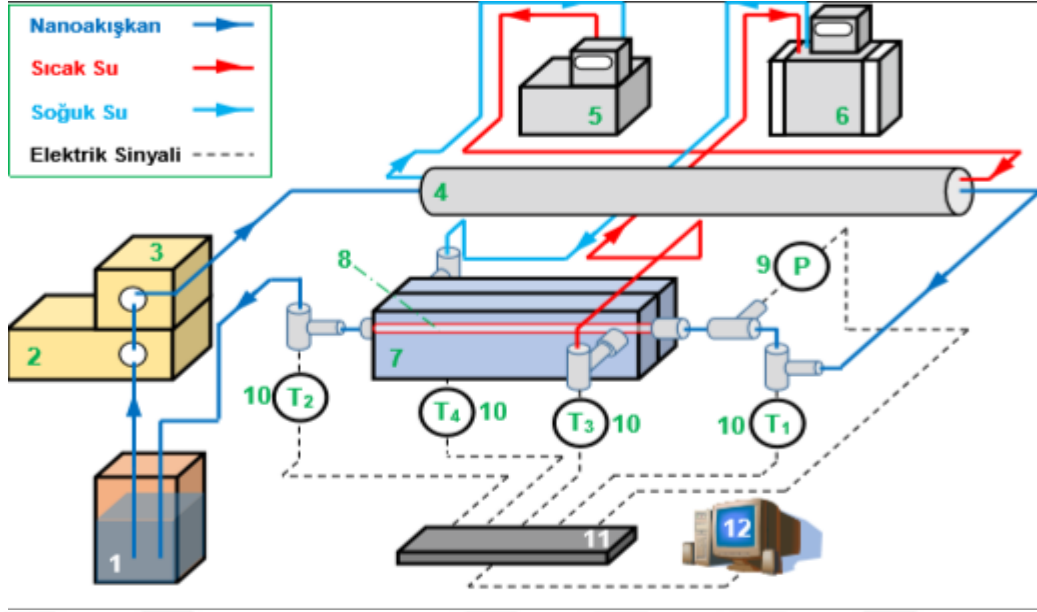
### MATERYAL-METOD

#### 3.1 DENEY SETİ



Şekil 3.1 Deney seti görseli.

Deney düzeneğinde Şekil 3.1’de de gösterildiği gibi nanoakışkan tankı, pompa ve basınç regülatörü, paslanmaz çelik ısı değiştirici, biri ısıtma biri soğutma için kullanılmak üzere iki adet ısı banyosu, polimer malzemedен yapılmış ısı değiştirici, mini kanal, sıcaklık ve basınç sensörleri, data logger (veri toplama ünitesi), bilgisayar, bağlantı aparatları, çeşitli ölçülerdeki beherler, çeşitli yalıtım malzemeleri ve bunlarla beraber deney setindeki bağlantıları yapmak için kullanılan bir takım araç-gereçler yer almaktadır.



Şekil 3.2 Deneý düzeneđi Őematik gösterimi (Erdođan 2016).

1: Nanoakışkan Tankı

2: Pompa

3: Basınç Regülatörü

4: Paslanmaz Çelik Isı Değiştirici

5: Isı Banyosu (Isıtma)

6: Isı Banyosu (Soğutma)

7: Polimer Isı Değiştirici

8: Mini Kanal

9: Basınç Sensörü

10: Sıcaklık Sensörü

11: Veri Toplayıcı

12: Bilgisayar

### 3.1.1 Deney Düzenğinde Yer Alan Ekipmanlar

#### 3.1.1.1 Nanoakışkan Tankı



**Şekil 3.3** Nanoakışkan tankı ve manyetik karıştırıcı.

Nanoakışkanın mevcut olduğu tanka nanoakışkan tankı adı verilmiştir. Tankta bulunan nanoakışkan, pompa yardımıyla sisteme iletdikten sonra deney düzeni çevrimini tamamlayıp tekrar nanoakışkan tankına geri dönmektedir. Bu sayede hem sistemin sıcaklığının dengelenmesi hem de nanoakışkan derişimi bozulmadan deneyler daha verimli bir şekilde yapılması öngörülmüştür. Deneyler esnasında nanoakışkan tankının çevresi ısı kaybını önlemek amacıyla yalıtılmıştır. Ayrıca nanoakışkan tankının içerisinde bulunan nanoakışkanda partikül çökmesini engellemek amacıyla deneyler sırasında manyetik karıştırıcıyla sürekli olarak karıştırılmıştır. Deneylerde nanoakışkan tankı olarak beherler kullanılmıştır.

### 3.1.1.2 Pistonlu Pompa ve Basınç Regülatörü



Şekil 3.4 Pistonlu pompa ve basınç regülatörü.

Bu çalışma için yapılan deneylerde dakikada 50 mL akışkan basabilen ve 140 bar basınca kadar çalışabilen bir pistonlu pompa olan Gilson 305 marka modellen pompa kullanılmıştır. Pompanın akışkan tankından çektiği akışkanın sisteme verilirken düzenli bir akış karakteri göstermesi için ayrıca mini kanallardan geçecek akışkanın yüksek basınçlarda sisteme zarar vermemesi adına basınç ayarının yapılabilmesi için Gilson 805 marka modellen bir basınç regülatörü kullanılmıştır. Şekil 3.3 de Gilson 305 markalı pompa ve Gilson 805 markalı basınç regülatörü görülmektedir.

### 3.1.1.3 apraz Akışlı Paslanmaz elik Isı Değiştirici



şekil 3.5 Paslanmaz elik ısı değiştirici.

Nanoakışkan tankında bulunan nanoakışkan pompa tarafından çapraz akışlı paslanmaz çelikten imal edilen ısı değiştirici içerisine girer. Burada nanoakışkan bir boru içerisinden ilerlerken boru etrafında dolaşan sıcak su tarafından ısıtılır. Bu sayede nanoakışkan, minikanala girdiği anda olması istenilen sıcaklığa ulaşmış olur..

### 3.1.1.4 Isıtma ve Soğutma Banyoları



Şekil 3.6 Isıtma ve soğutma banyoları.

Nanoakışkan çapraz akışlı polimer ısı değıştiricisine ulaşmadan önce çapraz akışlı paslanmaz çelik bir ısı değıştiricisinde istenilen giriş sıcaklığına getirilmiştir. Burada paslanmaz çelik ısı değıştiricisinin içerisinde bir boru içerisinde akan nanoakışkanın çevresindeki ısıtma suyunun sıcaklığı bir ısı banyosu tarafından ayarlanmıştır. Nanoakışkan polimer ısı değıştiricisine ulaştığında, mini kanal içerisinde akmaya başladığı andan itibaren, polimer ısı değıştirici içerisindeki mini kanalın etrafında 10 °C'lik bir soğutma suyu çapraz akışlı şekilde devir daim etmiştir. Bu sayede nanoakışkanın soğutma performansı incelenebilmiştir.

### 3.1.1.5 apraz Akışlı Polimer Isı Değiştirici



**şekil 3.7** Polimer malzemededen imal edilmiş çapraz akışlı ısı değiştirici, mini kanallar ve bağlantı elemanları.

Paslanmaz elik ısı değiştiricide istenilen sıcaklığa gelen nanoakışkan nihai ısı değiştiricisine ulaşıp burada soğutma performansları incelenmiştir. Burada nihai ısı değiştiricisinden kasıt, içinden nanoakışkan geçen mini kanalın yüzey soğutma işleminin bu polimer malzemededen yapılmış ısı değiştiricisi içerisinde olduğudur. Nanoakışkanın mini kanala girdiği andan çıkış anına kadar mini kanalı çevreleyen soğutma suyu, polimer ısı değiştiricisi içerisinde çapraz akışlı olacak şekilde hareket etmiştir. Bu da soğutma suyunun mini kanalın yüzeyine her bir noktadan temas etmesine olanak vermiştir. Mini kanal giriş ve çıkışlarında bulunan sensörler sayesinde sıcaklık verileri eş zamanlı bir şekilde data logger vasıtasıyla bilgisayara aktarılıp veriler kayıt altına alınmıştır.

### 3.1.1.6 Sıcaklık Ve Basınç Sensörleri

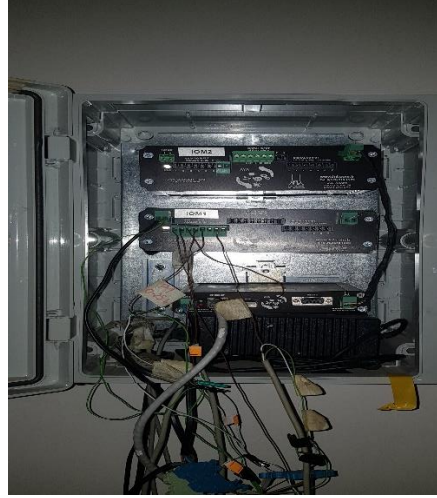


**Şekil 3.8** Basınç ve sıcaklık sensörleri.

Bu çalışma için yapılan deneylerde sıcaklık sensörleri için MTS sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Sensör kalibrasyonu yapılırken buz (0 °C) ve kaynama sıcaklığındaki su (100 °C) sıcaklıkları referans alınarak, sensör data sheetindeki denklemler kullanılarak yapılmıştır.

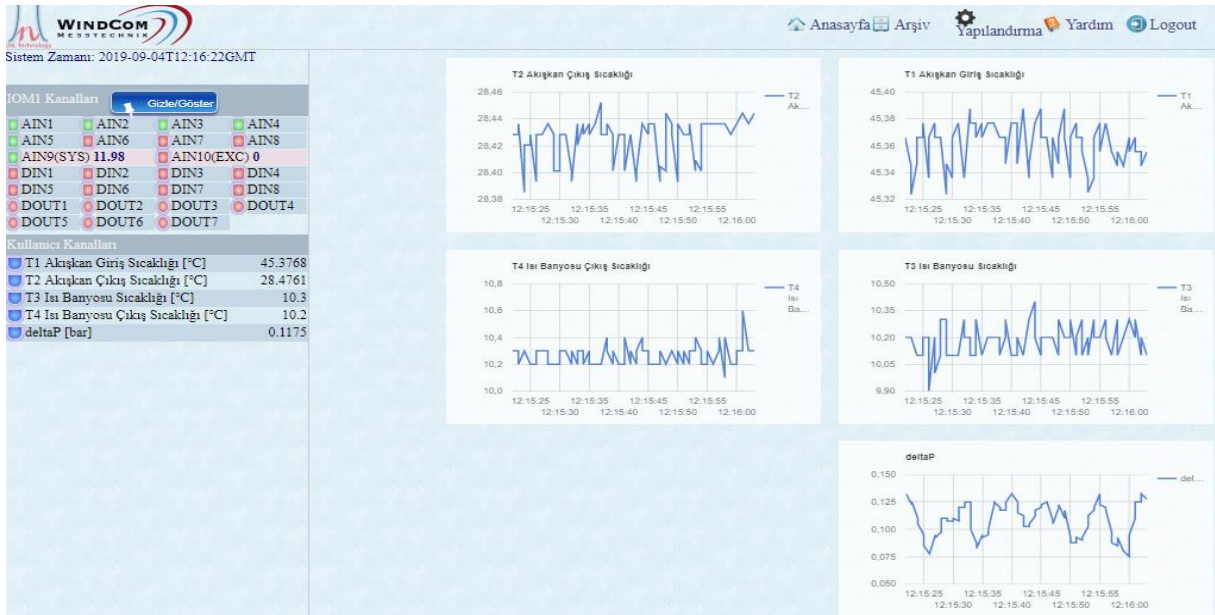
Basınç sensörünün kalibrasyonu için ise 0 ile 50 bar arasında bir basınç ölçme düzeneği kurulup, sensör çıkışındaki voltaj değerleri ile basınç arasında bir bağıntı oluşturulmuştur ve data logger vasıtasıyla da girilen değerler anlamlı değerler olarak atanmıştır. Sensörler için yapılan kalibrasyonlar sayesinde elde edilen değerlerde hata payı en alt seviyeye indirilmiştir.

### 3.1.1.7 Data Logger (Veri Toplayıcı)



Şekil 3.9 AYA Logger.

Deney setinde sensörlerden gelen verileri bilgisayara aktaran ve arayüzü sayesinde grafiksel olarak deney kontrollerinin yapılmasına imkan sağlayan bir data logger bulunmaktadır. Akışkan sıcaklığının kararlı değerlerde olup olmadığı data logger arayüzü sayesinde zamana bağlı grafik formunda takip edilerek gözlemlenebilmektedir. Deneyde kullanılan veri toplayıcı 'AYA Logger' veri toplayıcıdır.



Şekil 3.10 Data Logger arayüzü ve oluşturulan grafikler.

### **3.1.1.8 Bilgisayar**

Verilerin takibi ve düzenlenip arşivlenmesi sırasında bilgisayar kullanılmıştır. Veri toplayıcıdan alınan veriler bir IP adresinden bilgisayara aktarılmıştır.

### **3.1.1.9 Bağlantı Elemanları**

Bağlantı elemanları, sistemde yer alan elemanları birbirine bağlayan aparatlardır. Özellikle yapılan deneylerde farklı boruların birbirleriyle bağlantılı olması söz konusudur ve akışkanın borular arası geçişlerinde sızmasının önlenmesi çok önemlidir. İki boru bağlantı elemanları ile birbirlerine bağlandığında, içinden bir akışkan geçtiği esnada kolay kolay sarsılmaz, sızıntı minimize edilir ve sistem daha stabil durumda çalışır. Ayrıca bağlantı elemanları sayesinde sistem düzeni de sağlanır. Sisteme bir diğer katkısı bu şekildedir. Bağlantı elemanlarının seçimi yapılırken kullanılan boruların boyutları, çapları ve malzemeleri, kullanılacak akışkanların maksimum işletme basınç değeri, maksimum çalışma sıcaklığı ve yine kullanılan akışkanın kimyasal özellikleri önemli parametrelerdir.

## 3.2 NANOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI VE KARARLILIK SÜRELERİ

### 3.2.1 Deneyde Yer Alan Nanopartiküller

Bu deneyde saf su baz akışkanı içerisinde Nanografi-Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti. firmasından alınan, sırasıyla boyutları 18 nm ve 20 nm olan ZnO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri kullanılarak %0,5 derişim oranında nanoakışkanlar hazırlanmıştır.

### 3.2.2 Yüzey Etkin Madde-SDS (Sodium Dodecyl Sulfate)

Nanoakışkanlar hazırlanırken nanopartiküllerin topaklanıp çökmesini önlemek ve nanoakışkan kararlılığını arttırmak amacıyla Mercek İlaç Ecza ve Kimya Tic. A.Ş. firmasından alınan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1** Kullanılan nanoakışkanların %0,5'lik hacimsel derişim oranı için nanopartikül, baz akışkan ve SDS miktarları çizelgede gösterilmiştir (Erdoğan 2016).

Nanoakışkanlar	Derişim Oranı	Nano akışkan Hacmi	Baz Akışkan Yoğunluğu	Partikül Yoğunluğu	Baz Akışkan Hacmi	Partikül Kütleli	Baz Akışkan Kütleli	SDS Kütleli
	%	mL	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	mL	g	g	g
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Saf Su	0,50%	500	998,0	3890	497,5	9,725	496,505	1,459
ZnO - Saf Su	0,50%	500	998,0	5606	497,5	14,015	496,505	3,504

### 3.2.3 Nanoakışkan Hazırlığı

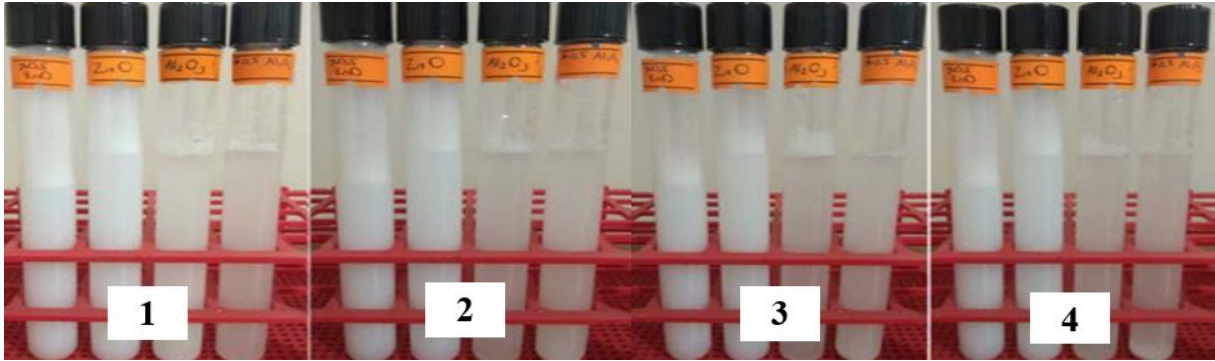
Bu çalışmada hazırlanan nanoakışkanların hepsi 2 adım yöntemi ile hazırlanmıştır. Çizelge 3.1’de yer alan partikül kütlesi, yüzey etkin madde (SDS) kütlesi, baz akışkan kütlesi baz alınarak bir beher içerisinde çözelti hazırlanmıştır. Ve manyetik karıştırıcıda yaklaşık 30 dakikalık bir süreyle karıştırılmıştır. Hemen akabinde çözeltinin homojenliğinin sağlanması için ultrasonik homojenizatör kullanılmıştır. Bu sayede nanopartiküllerin saf su içerisinde her bir noktada aynı özellikleri göstermesi sağlanmıştır. Ultrasonik probun yüksekliği beherin içerisinde, alt tabakadan yaklaşık 1 cm yukarıda tutularak olası titreşimlerden beherin etkilenmesinin önüne geçilmiştir. Güç seviyesi %85 olarak ayarlanıp, beherdeki nanoakışkan sıcaklığının 40 dereceyi geçmemesi için sürekli kontrol altında 30 dakikalık bir uygulama yapılmıştır.

Ultrasonik homojenizatörün teknik özellikleri : Optic Ivymen System/ CY-500, 500W gücünde 20 kHz frekans ve prob çap/uzunluk olarak 5,6Ø/60mm ölçülerindedir.



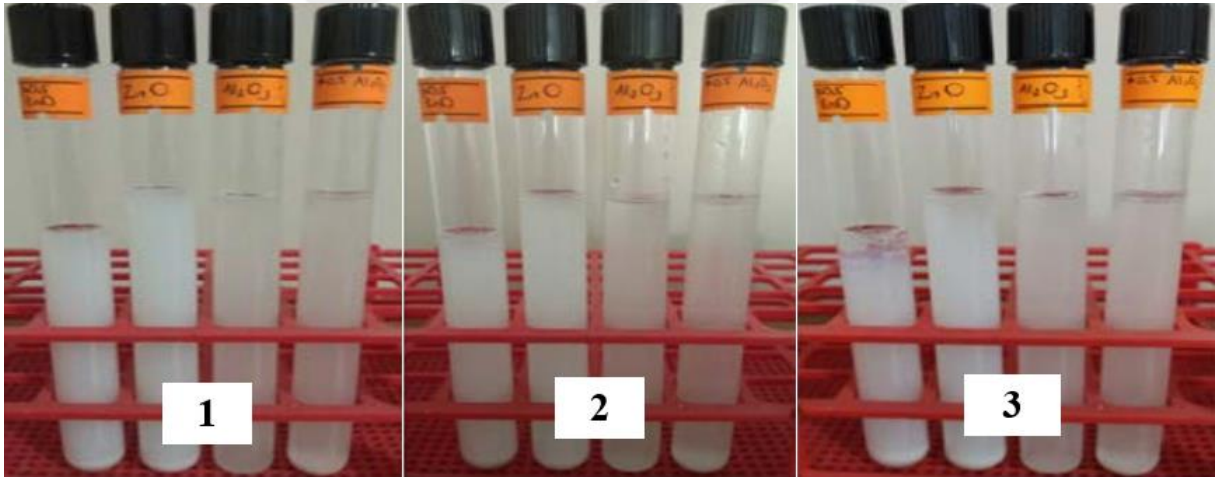
Şekil 3.11 Ultrasonik homojenizatör.

### 3.2.4 Nanoakışkanların Kararlılık Analizi



Şekil 3.12 %0,5 derişimde  $Al_2O_3$  – saf su ve ZnO – saf su nanoakışkanlarının 1 : 10 dk, 2 : 20 dk, 3 : 30 dk ve 4 : 60 dk olmak üzere kararlılık süreleri (Demir 2020).

Şekil 3.12’de, hazırlanan nanoakışkanların %0,5’lik derişimde ilk 1 saatlik süredeki kararlılıkları incelenmiştir.



Şekil 3.13 %0,5 derişimde  $Al_2O_3$  – saf su ve ZnO – saf su nanoakışkanlarının 1 : 1 gün, 2 : 3 gün, 3 : 7 gün olmak üzere kararlılık süreleri (Demir 2020).

Şekil 3.13’te, hazırlanan nanoakışkanların %0,5’lik derişimde 1 haftalık süredeki çökeltme durumu ve kararlılıkları incelenmiştir. Her geçen gün çökeltme miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Deneyde hazırlanan nanoakışkanların kullanım süreleri 7 gün olarak belirlenmiştir. Bu sayede nanoakışkan kararlılığına dikkat edilmiştir. Ayrıca her deneyden önce nanoakışkan manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır.

### 3.3 DENEYİN YAPILIŞI

Nanoakışkan hazırlandıktan sonra nanoakışkan tankına boşaltılmıştır. Nanoakışkan tankı manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilip tüm deneyler sırasında nanoakışkanın karıştırılması sağlanmıştır. Bu sayede deney esnasında nanopartikül çökmesinin önüne geçilmiştir. Pistonlu pompadaki kontrol panelinden akışkan debisi istenilen debi değerine ayarlandıktan sonra pompa çalıştırılmıştır. Nanoakışkan pompaya şeffaf bir boru aracılığıyla bağlanmıştır. Borunun şeffaf olması pompaya akışkanın gidip gitmediğini gözlemlemek için önemlidir. Zira deneye başlarken boruda hava kabarcıkları olabilmekte, bu da pompanın akışkanı çekmesine engel olabilmektedir. Bu gibi durumlarda şırıngayla boru içerisindeki hava kabarcıkları bertaraf edilmiştir. Pompada istenilen debi ayarlandıktan sonra, pompanın nanoakışkanı çekip sisteme aktarmasından önce, akışkanın sürekliliğini düzenlemek için bir basınç regülatörü kullanılmıştır. Akış sürekliliği düzenlenmiş nanoakışkan önce paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş çapraz akışlı ısı değiştiricinin içine girmektedir. Bu haznenin temel amacı nanoakışkanın mini kanala giriş sıcaklığını ayarlamaktır. Burada bir hazne içindeki boru içerisinden geçen nanoakışkan, borunun etrafında dolaşan, ısıtma banyosunda ısıtılan suyla ısıtılmaktadır. Bu aşamada yalıtım malzemeleri çok önemlidir. Çünkü özellikle soğuk havalarda yapılan deneylerde ısı kaybı fazla olmakta, bu da nanoakışkanın istenilen sıcaklığa ulaşmasına engel olmaktadır. Yalıtım malzemeleri özenli bir şekilde seçilmeli ve sistem ekipmanlarına doğru bir biçimde entegre edilmelidir. Paslanmaz çelik ısı değiştiricide sıcaklığı arttırılıp istenilen sıcaklığa getirilen nanoakışkan daha sonra mini kanala girmektedir. Mini kanal, polimer malzemeden yapılmış çapraz akışlı bir ısı değiştiricinin içinde yer almaktadır. Nanoakışkanın sıcaklığı, mini kanala girmeden hemen önce bir sıcaklık sensörü vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Basınç sensörü de mini kanalın hemen önüne yerleştirilmiştir ve bu sayede sistemde oluşacak basınç farkı incelenebilmiştir. Nanoakışkan, polimer ısı değiştiricisinin içerisindeki mini kanaldan geçerken soğutma banyosundan çekilen su mini kanal çevresini sarıp ısı transferinin gerçekleşmesini sağlamıştır. Mini kanalın dışında bulunan ikinci bir sıcaklık sensöründen nanoakışkanın mini kanaldan çıkış sıcaklığı tespit edilmiştir. Bu sayede nanoakışkanın mini kanal girişindeki sıcaklığıyla mini kanal çıkışındaki sıcaklığı sensörlerden veri toplama cihazı aracılığıyla okunup ısı transferi miktarları her bir nanoakışkan için ayrı ayrı hesaplanabilmiştir. Nanoakışkan mini kanaldan çıktıktan sonra bir boru vasıtasıyla tekrar nanoakışkan tankı içerisine geri dönmüştür. Bu sayede sistemde sirkülasyon sağlanmıştır.

### 3.4 HESAPLAMALARDA KULLANILAN DENKLEMLER

#### 3.4.1 Termofiziksel Özellik Denklemleri

%0,5 derişimlerdeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - saf su ve ZnO - saf su nanoakışkanları ile saf suyun termofiziksel özellikleri T ortalama sıcaklık olmak üzere, Çizelge 3.2 de tablo halinde gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2** Akışkanların Termofiziksel Özellikleri (Erdoğan 2016).

Akışkan Türü	Derişim oranı	Isıl iletkenlik, dinamik vizkozite, yoğunluk ve özgül ısı denklemleri
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 0.5	$k = -0,000005173.T^2 + 0,006465725.T - 0,873479845$ [W/m.K] $\mu = (114565637111019.T^{-5,69463}) \times 10^{-3}$ [Pa.s] $\rho = -0,0032.T^2 + 1,647.T + 804,89$ [kg/m <sup>3</sup> ] $C_p = 0,0119.T^2 - 7,6021.T + 5330,8$ [J/kg.K]
ZnO	% 0.5	$k = -0,000003541.T^2 + 0,004431173.T - 0,394436183$ [W/m.K] $\mu = (0,0001298656.T^2 - 0,0950168388.T + 17,7271169694) \times 10^{-3}$ [Pa.s] $\rho = -0,0032.T^2 + 1,647.T + 813,47$ [kg/m <sup>3</sup> ] $C_p = 0,0117.T^2 - 7,4734.T + 5274,7$ [J/kg.K]
Saf Su		$k = 0,001.T + 0,188$ [W/m.K] $\mu = (-0,013.T + 4,783) \cdot 10^{-3}$ [Pa.s] $\rho = -0,004.T^2 + 2,132.T + 717,8$ [kg/m <sup>3</sup> ] $C_p = 0,01234.T^2 - 7,86299.T + 5432,30088$ [J/kg.K]

### 3.4.2 Isı Transferi Miktarı

Isı transferi miktarını veren denklem, sabit yüzey şartları altında şu şekildedir:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ [W]} \quad (3.1)$$

$$\Delta T = T_g - T_{\dot{c}} \text{ [K]} \quad (3.2)$$

Burada  $\dot{Q}$  ısı transferini miktarını gösterir. Birimi W tır.  $C_p$  akışkanın özgül ısısını gösterir. Birimi j/kg.K dir.  $\Delta T$  akışkanın mini kanala giriş anındaki sıcaklığı ile mini kanaldan çıkış anındaki sıcaklığı arasındaki farkı gösterir. Birimi K dir.

### 3.4.3 Isı Taşınım Katsayısı

Isı taşınım katsayısını elde etmek için önce logaritmik sıcaklık farkı hesabı yapılması gerekir. Logaritmik sıcaklık farkı denklem 3.2 deki gibidir:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_g - \Delta T_{\dot{c}}}{\ln\left(\frac{\Delta T_g}{\Delta T_{\dot{c}}}\right)} \text{ [K]} \quad (3.3)$$

$$\Delta T_g = T_g - T_{s,giriş} \text{ [K]} \quad (3.4)$$

$$\Delta T_{\dot{c}} = T_{\dot{c}} - T_{s,çıkış} \text{ [K]} \quad (3.5)$$

Burada  $\Delta T_g$  akışkanın mini kanala giriş yüzeyindeki sıcaklık farkını,  $\Delta T_{\dot{c}}$  akışkanın mini kanaldan çıkış yüzeyindeki sıcaklık farkını,  $T_{s,giriş}$ , akışkanın mini kanala girdiği noktanın yüzey sıcaklığını,  $T_{s,çıkış}$  akışkanın mini kanaldan çıktığı noktanın yüzey sıcaklığını,  $\Delta T_{lm}$  ise akışkanın logaritmik sıcaklık farkını göstermektedir. Birimleri K'dir.

Isı taşınım katsayısı hesabı denklem 3.3 teki gibidir:

$$h = Q / (A_s \cdot \Delta T_{lm}) \text{ [W/m}^2\text{.K]} \quad (3.6)$$

Burada Q ısı transferini miktarını göstermektedir. Birimi W'tır.  $A_s$  akışkanın geçeceği mini kanalın yüzey alanını göstermektedir. Birimi  $m^2$  'dir.  $\Delta T_{lm}$  ise logaritmik sıcaklık farkını göstermektedir. Birimi K'dir.

### 3.4.4 Sürtünme Faktörü

Sürtünme faktörü için laminer ve türbülanslı olmak üzere iki akış rejimi için iki farklı denklem aşağıdaki gibidir.

Laminer akışta Darcy denklemine göre ( $Re_D < 2300$  şartında),

$$f_{\text{darcy}} = 64 / Re_D \quad (3.7)$$

Türbülanslı akışta Haaland denklemine göre ( $Re_D > 4000$  şartında),

$$f_{\text{haaland}} = \left( \frac{1}{\left( -1,8 \cdot \log \left( \left( \frac{6,9}{Re_D} \right) + \left( \frac{\epsilon}{D_h} \right)^{1,11} \right) \right)} \right)^2 \quad (3.8)$$

denklemleri kullanılmıştır.

Burada  $f$ , sürtünme katsayısı,  $Re_D$ , Reynolds Sayısı,  $\epsilon$ , yüzey pürüzlülük değeridir. Birimi m dir.  $D_h$ , mini kanalın hidrolik çapıdır. Birimi m dir.

Bunların haricinde  $f$  sürtünme katsayısı, Blasius denklemine göre ise

$$f_{\text{blasius}} = 0,3164 \cdot Re_D^{-0,25} \quad (3.9)$$

olarak ifade edilmiştir.

### 3.4.5 Basınç Farkı

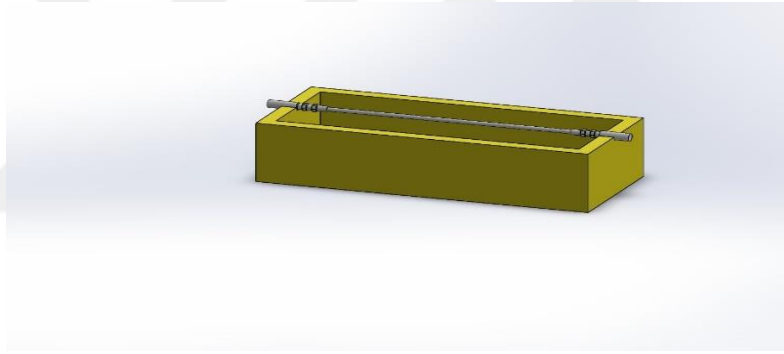
Basınç farkını bulmak için kullanılan denklem, denklem 3.6 da verilmiştir.

$$\Delta P = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot V^2}{2 \cdot D_h} \cdot 10^{-5} + \text{Yerel Kayıplar} + \text{Hidrostatik Basınç Kaybı [bar]} \quad (3.10)$$

$$\text{Yerel Kayıplar} = \sum K_i \cdot \frac{\rho_i \cdot V_i^2}{2} \text{ [bar]} \quad (3.11)$$

$$\text{Hidrostatik Basınç Kaybı} = \rho \cdot g \cdot H \text{ [bar]} \quad (3.12)$$

Burada  $\Delta P$ , sistemin başlangıç ve son noktaları arasındaki basınç farkını göstermektedir. Birimi bar'dır.  $L$ , mini kanalın uzunluğunu gösterir. Birimi m'dir.  $\rho$  yoğunluğu göstermektedir. Birimi  $\text{kg/m}^3$ 'tür.  $D_h$  hidrolik çapı göstermektedir. Birimi m'dir.  $V$  akışkan hızını göstermektedir. Birimi m/s'dir. Yerel kayıplar, sistem içerisinde ani çap daralmalarında ve ya genişlemelerinde kullanılan bağlantı elemanlarından meydana gelen basınç farklarını gösterir ve hesaplamalara dahil edilmelidir. Yapılan deneylerde mini kanalları sisteme entegre edebilmek için 7,05 mm çapında bir boru bağlantı elemanları kullanılarak, önce 1,27 mm'lik çapa düşürülmüş, daha sonra mini kanal çapına düşürülmüştür. Bu sayede sistemde oluşabilecek yüksek basınç farkları engellenmiştir. Mini kanal çıkışında da yine mini kanal çapı bağlantı elemanları kullanılarak önce 1,27 mm'lik çapa genişletilmiş, ardından 7,05 mm lik çapa yükseltilmiştir ve mini kanal çıkışından bir boru aracılığıyla nanoakışkan tankına bağlanmıştır. Mini kanal çıkış noktasındaki boru yüksekliği, 9,5 cm yüksekliğindedir. Ve bu yükseklikten oluşan basınç farkı da hidrostatik basınç farkı adı altında hesaplanıp, hesaplamalara dahil edilmiştir.



**Şekil 3.14** Polimer malzemeden yapılmış ısı değiştirici içinde mini kanaldaki çap değişimlerinin Solidworks modellemesi ile gösterimi.

### 3.4.6 Pompa Gücü

Deney çevrimi için gerekli pompa gücü Denklem 3.10 'da verilmiştir.

$$\dot{W}_{pompa} = \Delta P \cdot \dot{V} \text{ [W]} \quad (3.13)$$

Gerekli pompa gücü için harcanan elektrik gücü ise Denklem 3.11'de gösterilmiştir.

$$\eta = \frac{\dot{W}_{pompa}}{\dot{W}_{elektrik}} \quad (3.14)$$

### 3.5 BELİRSİZLİK ANALİZİ

Deney sonucunda elde edilen verilerin hata paylarını bulmak için belirsizlik analizi yapılmıştır. Burada  $n$  tekrarlanan deney sayısını,  $X$  değişken parametreleri,  $U$  ise değişkenlerin hata paylarını temsil etmektedir. Burada gerçek değişken değerini bulmak için hata payı değişken değerlerinin aritmetik ortalaması ile toplanır ve bu sayede hatanın minimize edilmesi amaçlanır. Değişkenlerin hata payları bulunurken hata payının doğruluğu için bir güvenlik aralığı seçilmektedir. Burada referans olarak W.S Gosset'in oluşturduğu Çizelge 3.2'deki t-student güvenilirlik faktörü çizelgesi alınmıştır.

**Çizelge 3.3** W.S. Gosset'in hazırladığı t-student güvenilirlik faktörü.

$\nu = n-1$	$t_{90\%}$	$t_{95\%}$	$t_{99\%}$
1	6,314	12,706	63,657
2	2,92	4,303	9,925
3	2,353	3,182	5,841
4	2,132	2,776	4,604
5	2,015	2,571	4,032
10	1,812	2,228	3,169
20	1,725	2,086	2,845
30	1,697	2,042	2,750
40	1,684	2,021	2,704
60	1,671	2,000	2,660
120	1,658	1,980	2,617
$\infty$	1,645	1,960	2,576

Burada  $\nu$  serbestlik derecesini,  $n$  tekrarlanan deney sayısını,  $t$  kabul edilen yüzde doğruluk oranlarını göstermektedir. Yapılan deneyler 3'er kez tekrarlanmıştır ( $n=3$ ) ve %90 doğruluk payı seçilmiştir. Tabloda bu seçime karşılık gelen güvenilirlik faktörü 2,92 olarak belirlenmiştir (Altın 2010).

$$X_{\text{gerçek}} = X_{\text{ortalama}} \pm U_x \quad (3.15)$$

$$U_x = \pm \sqrt{U_{\text{sabit},x}^2 + U_{\text{değişken},x}^2} \quad (3.16)$$

$$U_{\text{değişken},x} = \pm t_{90\%} \cdot \sigma_x / \sqrt{n} \quad (n < 120) \quad (3.17)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{ortalama}})^2} \quad (3.18)$$

$T_{\text{giriş}}$  sıcaklığı için belirsizlik analizi:

$T_{\text{giriş}}$  sıcaklığını ölçmek için ölçüm aralığı 233-378 K olan MC65 tip termometre kullanılmıştır. Deneylerde ölçülen en küçük  $T_{\text{giriş}}$  sıcaklığı değeri 317,3 K en büyük  $T_{\text{giriş}}$  sıcaklığı değeri 318,4'tür.

$$U_{\text{sabit},T_{\text{giriş}}} = \pm 0,05 \text{ K}$$

$$U_{\text{değişken},T_{\text{giriş}}} = \pm t_{90\%} \cdot \sigma_{T_{\text{giriş}}} / \sqrt{n} \quad (n < 120)$$

$$U_{\text{değişken},T_{\text{giriş}}} = 2,92 \cdot 0,31 / \sqrt{3} = \pm 0,523$$

$$\sigma_{T_{\text{giriş}}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_{\text{giriş},i} - T_{\text{giriş,ortalama}})^2} = 0,31$$

Tekrarlanan Deneylerden Elde Edilen Değerler :  $T_1 = 44,31$ ,  $T_2 = 44,99$ ,  $T_3 = 45,39$

$$U_{T_{\text{giriş}}} = \pm \sqrt{U_{\text{sabit},T_{\text{giriş}}}^2 + U_{\text{değişken},T_{\text{giriş}}}^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,523^2} = \pm 0,525$$

$$U_{T_{\text{giriş}}} = \pm 0,525$$

$T_{\text{çıkış}}$  sıcaklığı için belirsizlik analizi:

$T_{\text{çıkış}}$  sıcaklığını ölçmek için ölçüm aralığı 233-378 K olan MC65 tip termometre kullanılmıştır. Deneilerde ölçülen en küçük  $T_{\text{çıkış}}$  sıcaklığı değeri 317,3 K en büyük  $T_{\text{çıkış}}$  sıcaklığı değeri 318,4'tür

$$U_{\text{sabit},T_{\text{çıkış}}} = \pm 0,05 \text{ K}$$

$$U_{\text{değişken},T_{\text{çıkış}}} = \pm t_{90\%} \cdot \sigma_{T_{\text{çıkış}}} / \sqrt{n} \quad (n < 120)$$

$$U_{\text{değişken},T_{\text{çıkış}}} = 2,92 \cdot 0,37 / \sqrt{3} = 0,62$$

$$\sigma_{T_{\text{çıkış}}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_{\text{çıkış},i} - T_{\text{çıkış,ortalama}})^2} = 0,37$$

Tekrarlanan Deneilerden Elde Edilen Değerler:  $T_1 = 29,15$ ,  $T_2 = 29,87$ ,  $T_3 = 30,36$

$$U_{T_{\text{çıkış}}} = \pm \sqrt{U_{\text{sabit},T_{\text{çıkış}}}^2 + U_{\text{değişken},T_{\text{çıkış}}}^2}$$

$$U_{T_{\text{çıkış}}} = \pm 0,622$$

$T_{\text{s,giriş}}$  sıcaklığı için belirsizlik analizi:

Mini kanal yüzey giriş sıcaklığı  $T_{\text{s,giriş}}$  sıcaklığını ölçmek için ölçüm aralığı 218-423 K olan LM35 tip termometre kullanılmıştır.

$$U_{\text{sabit},T_{\text{s,giriş}}} = \pm 0,02 \text{ K}$$

$$U_{\text{değişken},T_{\text{s,giriş}}} = \pm t_{90\%} \cdot \sigma_{T_{\text{s,giriş}}} / \sqrt{n} \quad (n < 120)$$

$$U_{\text{değişken},T_{\text{s,giriş}}} = 2,92 \cdot 0,0134 / \sqrt{3} = 0,0226$$

$$\sigma_{T_{\text{s,giriş}}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_{\text{s,giriş},i} - T_{\text{s,giriş,ortalama}})^2} = 0,0134$$

Tekrarlanan Deneilerden Elde Edilen Değerler:  $T_{g,1} = 10,1$ ,  $T_{g,2} = 10,1$ ,  $T_{g,3} = 10,2$

$$U_{T_{\text{s,giriş}}} = \pm \sqrt{U_{\text{sabit},T_{\text{s,giriş}}}^2 + U_{\text{değişken},T_{\text{s,giriş}}}^2} = \pm 0,0009$$

$T_{s,çıkış}$  sıcaklığı için belirsizlik analizi:

Mini kanal yüzey giriş sıcaklığı  $T_{s,çıkış}$  sıcaklığını ölçmek için ölçüm aralığı 218-423 K olan LM35 tip termometre kullanılmıştır.

$$U_{sabit,Ts,çıkış} = \pm 0,02 \text{ K}$$

$$U_{değişken,Ts,çıkış} = \pm t_{90\%} \cdot \sigma_{Ts,çıkış} / \sqrt{n} \quad (n < 120)$$

$$U_{değişken,Ts,çıkış} = 2,92 \cdot 0,0034 / \sqrt{3} = 0,0057$$

$$\sigma_{Ts,çıkış} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_{s,çıkış,i} - T_{s,çıkış,ortalama})^2} = 0,0034$$

Tekrarlanan Deneylemlerden Elde Edilen Değerler:  $T_{ç,1} = 10,2$ ,  $T_{ç,2} = 10,2$ ,  $T_{ç,3} = 10,3$

$$U_{Ts,çıkış} = \pm \sqrt{U_{sabit,Ts,çıkış}^2 + U_{değişken,Ts,çıkış}^2}$$

$$U_{Ts,çıkış} = 0,02$$

Basınç düşüşü  $\Delta P$  için belirsizlik analizi:

$\Delta P$  basınç farkı değeri, 0-25 bar aralığında ölçüm yapan Keller PR-21Y basınç sensörü tarafından ölçülmüştür.

$$U_{\Delta P} = \pm 25 \cdot 1,5\% \approx \pm 0,38 \text{ bar}$$

Hacimsel debi  $\dot{V}$  için belirsizlik analizi:

$$U_{\dot{V}} = \sqrt{0,5^2 + 0^2} = \pm 0,5 \text{ mL/dk}$$

Termofiziksel özellikler için belirsizlik analizi:

Isı iletimi katsayısı  $k = \pm 6,13\%$ , dinamik viskozite  $\mu = \pm 7,26\%$ , yoğunluk  $\rho = 0,19\%$  (Erdoğan 2016)

Mini kanal yüzey alanı maksimum belirsizlik analizi:

$$A_s = \pi \cdot D_{in} \cdot L_{\text{mini kanal}} \quad D_{in} \approx 0, L_{\text{mini kanal}} \approx 0$$

Mini kanal kesit alanı maksimum belirsizlik analizi:

$$A_{in} = (\pi \cdot D_{in}^2) / 4 \quad D_{in} \approx 0$$

Yapılan hesaplamaların maksimum belirsizlik analizleri şu şekildedir:

$$\text{Hacimsel Debi} = \dot{V} = V \cdot A_s$$

$$\frac{U_{\dot{V}}}{\dot{V}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{V}}{\partial V} \cdot \frac{U_V}{\dot{V}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{V}}{\partial A_s} \cdot \frac{U_{A_s}}{\dot{V}}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\dot{V}}}{\dot{V}} = \sqrt{(2,5\%)^2 + 0^2} = 2,5\%$$

$$\text{Kütleli Debi} = \dot{m} = \rho \cdot V \cdot A_{in}$$

$$\frac{U_{\dot{m}}}{\dot{m}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} \cdot \frac{U_{\rho}}{\dot{m}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{U_{\dot{V}}}{\dot{m}}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\dot{m}}}{\dot{m}} = \sqrt{(0,19\%)^2 + (2,5\%)^2} = 2,507\%$$

$$\text{Akışkan Hızı} = V = \frac{\dot{V}}{A_{in}}$$

$$\frac{U_V}{V} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{U_{\dot{V}}}{V}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial A_{in}} \cdot \frac{U_{A_{in}}}{V}\right)^2}$$

$$\frac{U_V}{V} = \sqrt{(2,5\%)^2 + 0^2} = 2,5\%$$

Akışkanın mini kanala giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığı farkı:

$$\Delta T = T_g - T_\zeta$$

$$\frac{U_{\Delta T}}{\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial T_\zeta} \cdot \frac{U_{T_\zeta}}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial T_g} \cdot \frac{U_{T_g}}{\Delta T}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\Delta T}}{\Delta T} = \sqrt{\left(\frac{0,525}{15,1}\right)^2 + \left(\frac{0,622}{15,1}\right)^2} = 5,39\%$$

Akışkanın mini kanal girişindeki sıcaklık farkı:

$$\Delta T_g = T_g - T_{s,giriş}$$

$$\frac{U_{\Delta T_g}}{\Delta T_g} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T_g}{\partial T_g} \cdot \frac{U_{T_g}}{\Delta T_g}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_g}{\partial T_{s,g}} \cdot \frac{U_{T_{s,g}}}{\Delta T_g}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\Delta T_g}}{\Delta T_g} = \sqrt{\left(\frac{0,525}{34,67}\right)^2 + \left(\frac{0,0009}{34,67}\right)^2} = 1,51\%$$

Akışkanın mini kanal çıkışındaki sıcaklık farkı:

$$\Delta T_\zeta = T_\zeta - T_{s,çıkış}$$

$$\frac{U_{\Delta T_\zeta}}{\Delta T_\zeta} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T_\zeta}{\partial T_\zeta} \cdot \frac{U_{T_\zeta}}{\Delta T_\zeta}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_\zeta}{\partial T_{s,\zeta}} \cdot \frac{U_{T_{s,\zeta}}}{\Delta T_\zeta}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\Delta T_\zeta}}{\Delta T_\zeta} = \sqrt{\left(\frac{0,622}{19,56}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{19,56}\right)^2} = 3,18\%$$

$$\text{Logaritmik Sıcaklık Farkı} = \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_g - \Delta T_{\zeta}}{\ln\left(\frac{\Delta T_g}{\Delta T_{\zeta}}\right)}$$

$$\frac{U_{\Delta T_{lm}}}{\Delta T_{lm}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T_{lm}}{\partial \Delta T_g} \cdot \frac{U_{\Delta T_g}}{\Delta T_{lm}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_{lm}}{\partial \Delta T_{\zeta}} \cdot \frac{U_{\Delta T_{\zeta}}}{\Delta T_{lm}}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\Delta T_{lm}}}{\Delta T_{lm}} = \sqrt{\left(0,43 \cdot \frac{1,51}{26,46}\right)^2 + \left(0,5 \cdot \frac{3,18}{26,46}\right)^2} = \%6,49$$

$$\text{Reynolds Sayısı} = \text{Re} = \frac{\rho \cdot D_{in} \cdot V}{\mu}$$

$$\frac{U_{Re}}{\text{Re}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial \rho} \cdot \frac{U_{\rho}}{\text{Re}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial D_{in}} \cdot \frac{U_{D_{in}}}{\text{Re}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial V} \cdot \frac{U_V}{\text{Re}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial \mu} \cdot \frac{U_{\mu}}{\text{Re}}\right)^2}$$

$$\frac{U_{Re}}{\text{Re}} = \sqrt{(0,19\%)^2 + 0^2 + (2,5\%)^2 + (7,26\%)^2} = 7,68\%$$

$$\text{Isı Transferi Miktarı} = \dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\frac{U_{\dot{Q}}}{\dot{Q}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{m}} \cdot \frac{U_{\dot{m}}}{\dot{Q}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial C_p} \cdot \frac{U_{C_p}}{\dot{Q}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \Delta T} \cdot \frac{U_{\Delta T}}{\dot{Q}}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\dot{Q}}}{\dot{Q}} = \sqrt{(2,507\%)^2 + (2,5\%)^2 + (5,39\%)^2} = 6,44\%$$

$$\text{Isı Taşınım Katsayısı} = h = \frac{\dot{Q}}{A_s \cdot \Delta T_{lm}}$$

$$\frac{U_h}{h} = \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial \dot{Q}} \cdot \frac{U_{\dot{Q}}}{h}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial A_s} \cdot \frac{U_{A_s}}{h}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \Delta T_{lm}} \cdot \frac{U_{\Delta T_{lm}}}{h}\right)^2}$$

$$\frac{U_h}{h} = \sqrt{(6,44\%)^2 + 0^2 + (6,49\%)^2} = 9,14\%$$

$$\text{Nusselt Sayısı} = \text{Nu} = \frac{h \cdot D_{in}}{k}$$

$$\frac{U_{Nu}}{\text{Nu}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial h} \cdot \frac{U_h}{\text{Nu}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial D_{in}} \cdot \frac{U_{D_{in}}}{\text{Nu}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Nu}}{\partial k} \cdot \frac{U_k}{\text{Nu}}\right)^2}$$

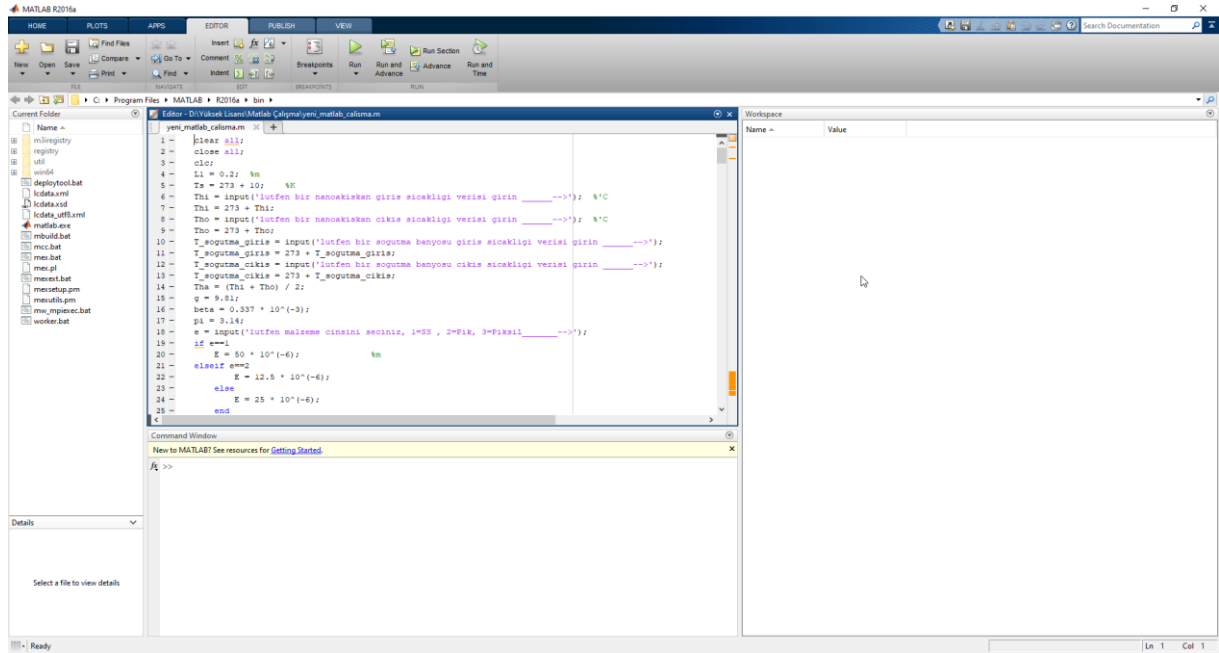
$$\frac{U_{Nu}}{\text{Nu}} = \sqrt{(9,14\%)^2 + 0^2 + (6,49\%)^2} = 11,20\%$$

$$\dot{W}_{pompa} = \Delta P \cdot \dot{V}$$

$$\frac{U_{\dot{W}_{pompa}}}{\dot{W}_{pompa}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{W}_{pompa}}{\partial \Delta P} \cdot \frac{U_{\Delta P}}{\dot{W}_{pompa}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{W}_{pompa}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{U_{\dot{V}}}{\dot{W}_{pompa}}\right)^2}$$

$$\frac{U_{\dot{W}_{pompa}}}{\dot{W}_{pompa}} = \sqrt{(0,38\%)^2 + (2,5\%)^2} = 2,53\%$$

### 3.6 MATLAB



Şekil 3.15 MATLAB programından bir görsel.

MATLAB, İngilizcede ‘Matrix Laboratuvarı’ anlamına genel ‘Matrix Laboratory’ kelime öbeğinin kısaltılmasından adını alan, adından da anlaşılacağı üzere matris tabanlı çalışan çok kapsamlı bir algoritma, hesaplama, çizim ve simülasyon programıdır. Saniyeler içinde işlem yapabilme kabiliyeti, bu programı özellikle mühendislik alanında kullanılabilir kılmaktadır. Bu çalışmada deneysel veriler bir algoritma kurularak Çizelge 3.2’de yer alan denklemlere işlenmiştir. Programı çalıştırdıktan sonra açılan pencerede kullanıcının sırasıyla akışkanın mini kanala giriş sıcaklığını, akışkanın mini kanaldan çıkış sıcaklığını, soğutma banyosu suyu giriş sıcaklığını, soğutma banyosu suyu çıkış sıcaklığını, mini kanal malzeme cinsini, nanopartikül derişimi oranını, nanoakışkan türünü seçmesi istenecektir. Ayrıca mini kanalın hidrolik çapı, akışkanın hacimsel debisi ve aya logger vasıtasıyla bilgisayardan okunacak olan basınç düşüşü değeri manuel olarak ilgili bölümlere kullanıcılar tarafından girilecektir. Bu değerler girildiğinde program sonuç olarak ilgili deneydeki akışkanın yoğunluğunu, ısı transferi katsayısını, dinamik viskozitesini, özgül ısısını, nusselt sayısını, ısı taşınım katsayısını, ısı transferi miktarını, sürtünme faktörü değerini, basınç düşüşünü hesaplamaktadır. Elde edilen değerler literatürde yer alan diğer denklemlerden bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
lutfen bir nanoakiskan giris sicakligi verisi girin ____-->>
lutfen bir nanoakiskan cikis sicakligi verisi girin ____-->
lutfen bir sogutma banyosu giris sicakligi verisi girin ____-->
lutfen bir sogutma banyosu cikis sicakligi verisi girin ____-->
lutfen malzeme cinsini seciniz, 1=SS , 2=Pik, 3=Piksil ____-->
lutfen bir derisim seciniz, 1 = %0,5 , 2 = %0,7 , 3 = %0,1 , 4 = %0,3 1,2,3 ve 4 haric herhangi bir sayi=%1,0 derisim ____-->
lutfen bir nanoakiskan türü seciniz, 1=Al2O3, 2=TiO2, 3=Saf Su 1,2,3 haric herhangi bir sayi=ZnO ____-->
lutfen bir a capı giriniz,mikrometre ____-->
lutfen bir Hacimsel_Debi degeri giriniz,mililitre/dk ____-->
```

**Şekil 3.16** MATLAB Programı algoritma input veri ekranı.

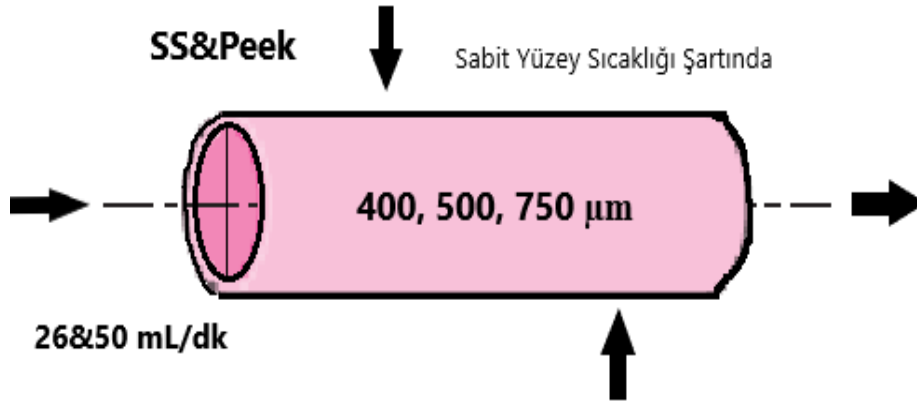
Şekil 3.16'da MATLAB programı kullanılarak yapılan hesaplamalar için başlangıç verilerinin tayinini sağlayan veri giriş ekranı görülmektedir. Bu program sayesinde hızlı bir şekilde deney verileri tanımlanıp, sonuçlar alınmıştır.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde her bir akışkan için yapılan farklı parametrelerdeki deneysel çalışmaların sonucunda ortaya çıkan sürtünme faktörü değerleri, nusselt sayıları, ısı taşınım katsayıları, ısı transferi miktarları ve basınçlardaki farklılıklar incelenecektir ve literatürde yer alan bağıntılardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

#### 4.1 DENEYSEL PARAMETRELER



Şekil 4.1 Deney Parametreleri.

Bu deneyde her biri SS ve Pik malzemesinden olmak üzere iki farklı malzeme türünden 400, 500, 750 μm çaplarındaki dairesel kesitli mini kanallar kullanılmıştır. Bu mini kanalların içerisinde geçen soğutma sıvıları olarak  $Al_2O_3$  – saf su, ZnO – saf su ve baz akışkan olan saf su akışkanlarının, 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde akışı basınç regülatörlü bir pistonlu pompa vasıtasıyla sağlanmıştır. 10 °C sabit yüzey sınır şartı soğutma banyosu ile sağlanıp, tüm deneyler için ayrı ayrı korunmuştur. 45 °C±3 giriş sıcaklığı paslanmaz çelikten yapılmış çapraz akışlı bir ısı değiştiricisi ile sağlanmıştır. Deneylerin çevre şartları için oda koşulları ve atmosferik basınç etkisi altında olması kararlaştırılmıştır. Deneylerin sonucunda farklı çaplarda, farklı malzeme türünden yapılmış mini kanallarda 26 ve 50 mL/dk hacimsel debi ile akan  $Al_2O_3$

– saf su , ZnO – saf su ve saf su akışkanlarının ısı transferi miktarları ve basınç düşüşleri incelenmiştir.

Burada farklı tip nanoakışkanlar kullanarak minimum basınç farkını yakalamak ve optimum ısı transferi performansını elde etmek, bununla birlikte de soğutma sistemleri için kullanıma uygun olacak şekilde en uygun mini kanal - nanoakışkan çiftini seçmek amaçlanmıştır.

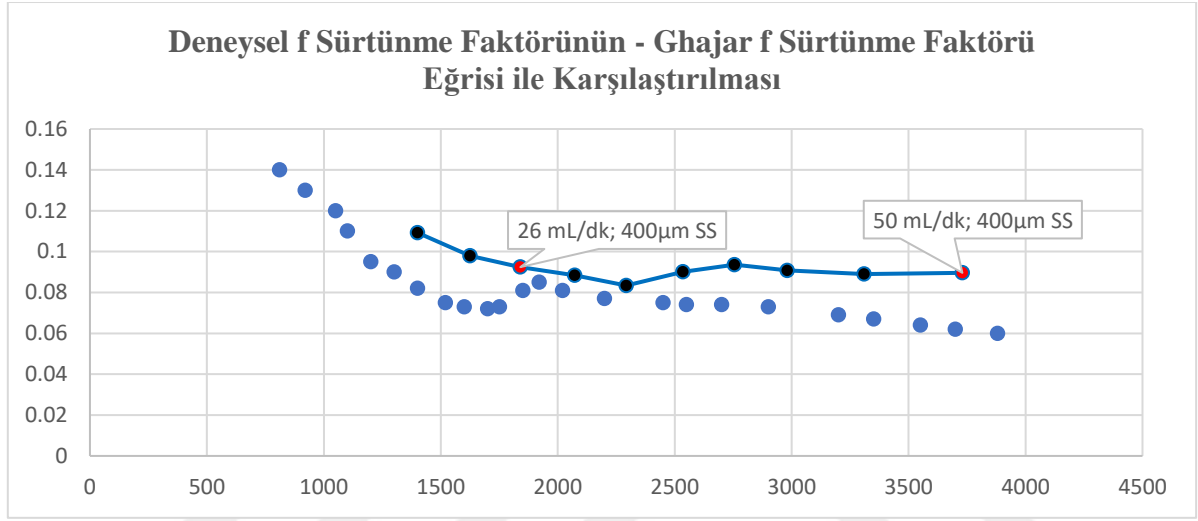
Deneylerde çalışılan parametreler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Deneyde kullanılan parametreler.

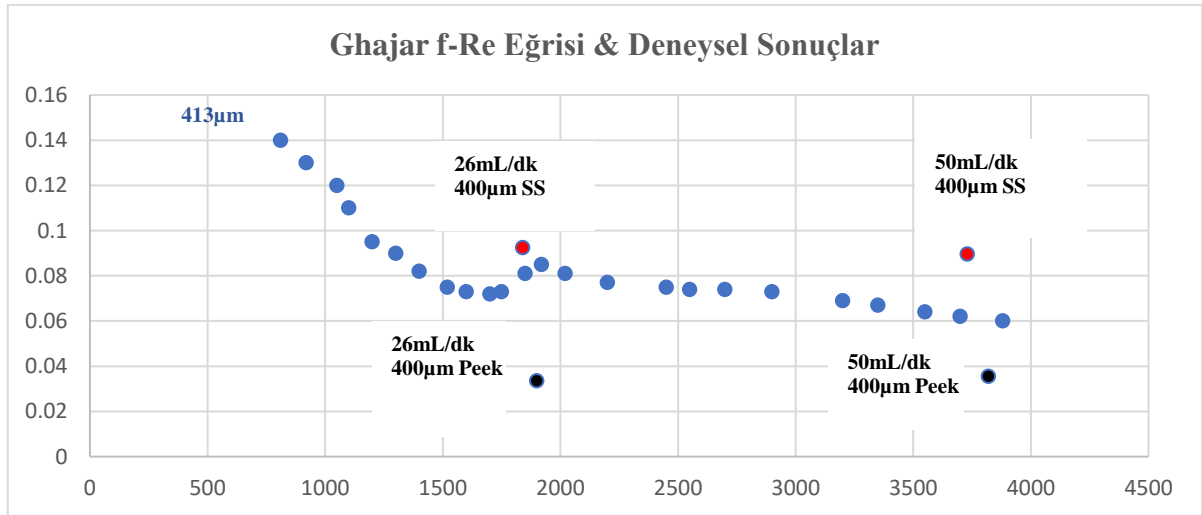
Parametre	Parametre	Parametre	Parametre	Parametre	Parametre	Parametre
1	2	3	4	5	6	7
Tüp Malzemesi	Tüp Çapı (µm)	Akışkan Çeşidi	Hacimsel Derişim (%)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Akışkan Debisi (mL/dk)
SS	400	Saf Su	0,5	45	10	26&50
Peek	400	Saf Su	0,5	45	10	26&50
SS	500	Saf Su	0,5	45	10	26&50
Peek	500	Saf Su	0,5	45	10	26&50
SS	750	Saf Su	0,5	45	10	26&50
Peek	750	Saf Su	0,5	45	10	26&50
SS	400	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	45	10	26&50
Peek	400	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	45	10	26&50
SS	500	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	45	10	26&50
Peek	500	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	45	10	26&50
SS	750	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	45	10	26&50
Peek	750	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	45	10	26&50
SS	400	ZnO	0,5	45	10	26&50
Peek	400	ZnO	0,5	45	10	26&50
SS	500	ZnO	0,5	45	10	26&50
Peek	500	ZnO	0,5	45	10	26&50
SS	750	ZnO	0,5	45	10	26&50
Peek	750	ZnO	0,5	45	10	26&50

## 4.2 DOĞRULAMA DENEYLERİ

Bu çalışmada deneylerde başlangıçta 400  $\mu\text{m}$  çapta SS malzemeden yapılmış mini kanallarda saf su ile 20-23-26-29-32-35-38-41-45-50 mL/dk hacimsel debilerde, Peek malzemeden imal edilmiş mini kanalda ise 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde deneyler yapıp f sürtünme faktörü değerleri bulunmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar Ghajar'ın çalışmaları ile karşılaştırılmıştır ve Ghajar'ın çalışmalarını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2 20,23,26,29,32,35,38,41,45,50 mL/dk hacimsel debilerde saf suyun f sürtünme faktörünün Ghajar f sürtünme faktörü eğrisi ile karşılaştırılması (Demir 2020).



Şekil 4.3 SS ve Peek malzemeden imal edilmiş mini kanallarda 26 ve 50 mL/dk debi ile akan saf suyun f sürtünme faktörünün Ghajar f-Re Eğrisi ile karşılaştırılması.

Şekil 4.3'te 400 µm çaplı mini kanalda yapılan deney sonuçlarından alınan değerler Ghajar'ın 413 µm çap için elde ettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Zira Ghajar'ın çalışmalarında kullandığı mini kanal çapları içerisinde en uygun benzerlik 400 µm çaplı mini kanalda sağlanmıştır. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere Ghajar'ın çalışmasına göre 413 µm çaptaki mini kanaldan akan akışkan yaklaşık 1700 Reynolds sayısına kadar laminer bir akış rejiminde akmaktadır. Reynolds sayısının 1700 ile 1850 değerleri arasında olduğu bölgede çalkantılı bir akış mevcuttur ve bu bölgenin geçiş bölgesi olabileceği yorumu yapılmıştır. Reynolds sayısı yaklaşık 1920 değerini aştıktan sonra ise türbülanslı akışa geçiş vardır ve bu bölgede Reynolds sayısı arttıkça f değeri azalmaktadır. Şekil 4.1'de yer alan deney sonuçlarında elde edilen verilere bakıldığında 400 µm çapta 26 mL/dk debide saf su akışkanının geçiş bölgesine yakın türbülanslı bölgede, 50 mL/dk debiye sahip saf su akışkanının ise türbülanslı akış rejiminde olduğu yorumu yapılmıştır. Deneylerde kullanılan SS malzemedan yapılmış mini kanal iç çapının Ghajar'ın kullandığı 413 µm çaplı mini kanalın hidrolik çapından küçük olması dolayısıyla akışkanın f sürtünme faktörü değerleri Ghajar'ın eğrisinin biraz üzerinde kalmıştır. Ancak bu tamamen öngörülebilir bir sonuçtur. Peek mini kanal için bakıldığında ise, Peek malzemedan yapılmış mini kanalın yüzey pürüzlülük oranı SS malzemesine göre daha düşük olduğu için 26 ve 50 mL/dk debilerde akışkanın sürtünme faktörünün Ghajar f sürtünme faktörü eğrisinin altında kalması normal olarak değerlendirilmiştir.

### 4.3 ISI TRANSFERİ MİKTARI

#### 4.3.1 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı SS (Paslanmaz Çelik) Mini Kanallardaki Isı Transferi Miktarı ve Karşılaştırmalı Grafikleri

Çizelge 4.2 400µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları.

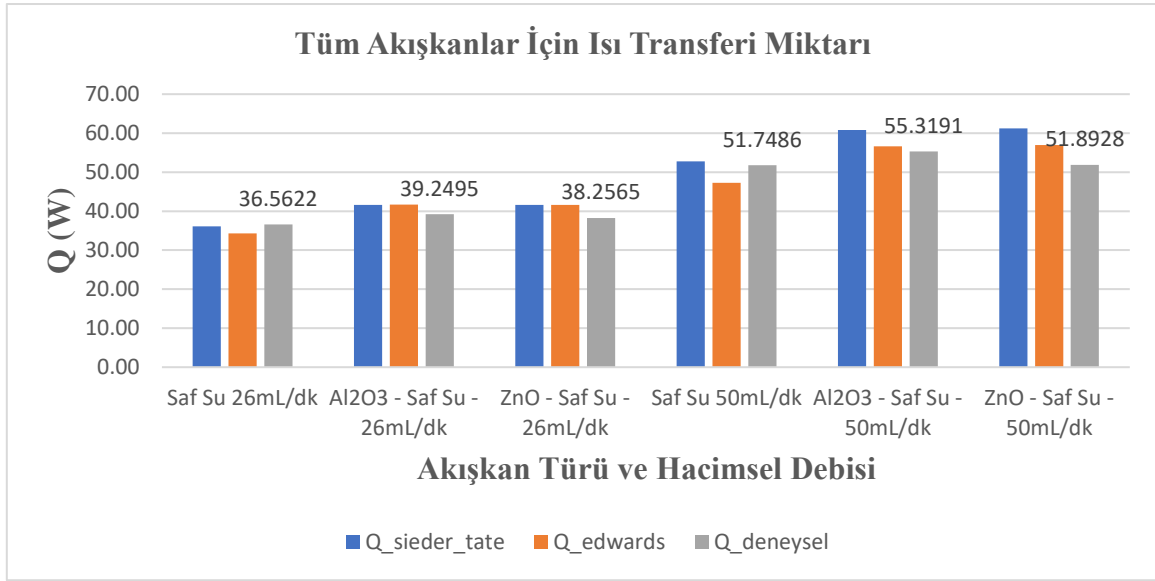
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
Q [W]						
Sieder Tate	36,1300	41,5800	41,6200	52,7400	60,8000	61,2500
Edwards	34,3000	41,6500	41,6300	47,2700	56,6500	56,9700
Deneysel	36,5622	39,2495	38,2565	51,7486	55,3191	51,8928

Çizelge 4.3 500µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları.

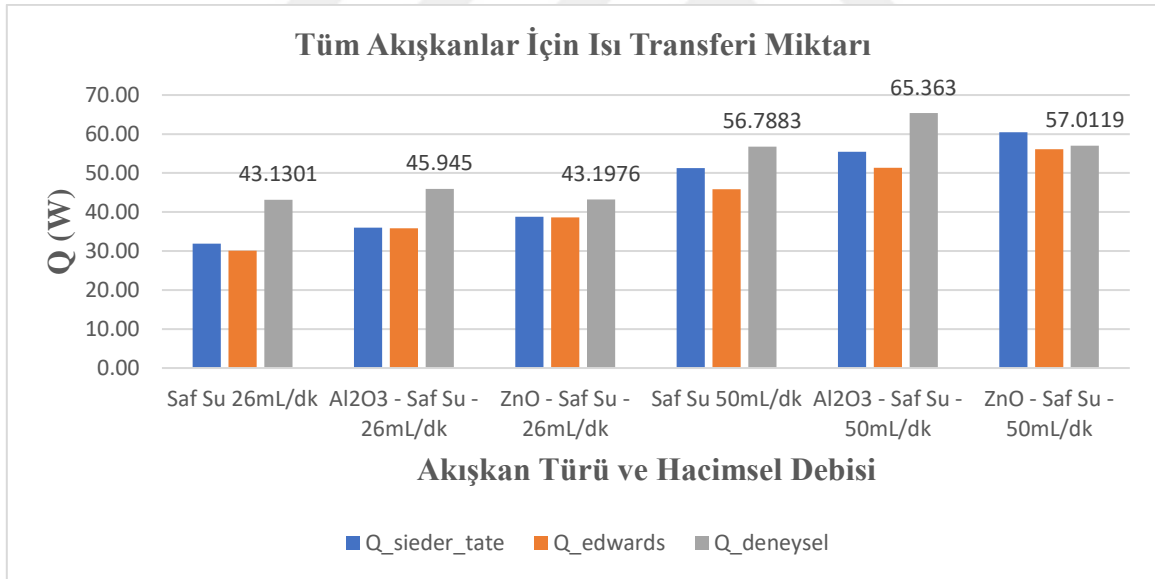
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
Q [W]						
Sieder Tate	31,8600	36,0200	38,7700	51,2300	55,4600	60,4400
Edwards	30,1200	35,8200	38,6200	45,8800	51,3700	56,1400
Deneysel	43,1301	45,9450	43,1976	56,7883	65,3630	57,0119

Çizelge 4.4 750µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları.

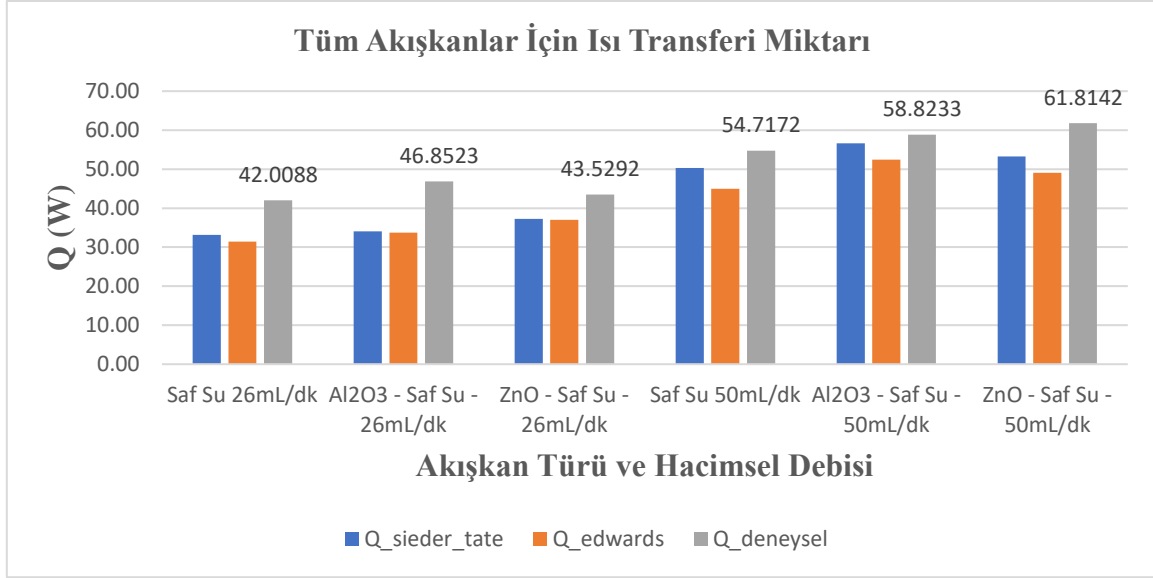
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
Q [W]						
Sieder Tate	33,1600	34,0600	37,2500	50,2900	56,6100	53,2600
Edwards	31,3900	33,7700	37,0500	44,9700	52,4800	49,0500
Deneysel	42,0088	46,8523	43,5292	54,7172	58,8233	61,8142



**Şekil 4.4** 400µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği.



**Şekil 4.5** 500µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği.



**Şekil 4.6** 750µm SS mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği.

Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te sırasıyla 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki SS malzemeden imal edilmiş mini kanallarda her üç akışkan için de 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde hesaplanan deneysel ısı transferi miktarları, Sieder Tate ve Edwards bağıntıları ile bulunan ısı transferi miktarları ile birlikte verilmiştir.

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da tüm akışkanlar için 26 ve 50 mL/dk debilerde 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki SS mini kanal içerisinde geçerken oluşturduğu ısı transferi miktarlarının deneysel sonuçları, Sieder Tate ve Edwards bağıntıları kullanılarak hesaplanan sonuçlarla birlikte gösterilmiştir. Grafiklerde hem deneysel sonuçlarda, hem de Sieder Tate ve Edwards bağıntılarından hesaplanan sonuçlarda akışkanların debilerinin artmasıyla ısı transferi miktarlarının arttığı görülmektedir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre 400 µm'lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk'dan 50 mL/dk'ya çıktığında ısı transferi miktarında %41,54'lük (36,56 W → 51,75 W) artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %40,94 (39,25 W → 55,32 W), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %35,62 (38,26 W → 51,89 W) oranında arttığı görülmüştür. 500 µm'lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk'dan 50 mL/dk'ya çıktığında ısı transferi miktarında %31,67'lik (43,13 W → 56,79 W) artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %42,24 (45,95 W → 65,36 W), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %31,96 (43,20 W → 57,01 W) oranında arttığı görülmüştür. 750 µm'lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk'dan 50

mL/dk'ya çıktığında ise ısı transferi miktarında %30,25'lik (42,01 W → 54,72 W) artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %25,54 (46,85 W → 58,82 W), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %41,99 (43,53 W → 61,81 W) oranında arttığı görülmüştür. Her 3 çap için de sabit debiler baz alındığında en yüksek ısı transferi miktarını Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı göstermiştir (50 mL/dk , 500 µm → 65,36 W). Saf su ile ZnO – saf su akışkanları benzer sonuçlar ortaya koysalar da ZnO – saf su nanoakışkanı genel olarak saf suya nazaran daha iyi bir ısı performans göstermiştir.



#### 4.3.2 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallardaki Isı Transferi Miktarı ve Karşılaştırmalı Grafikleri

**Çizelge 4.5** 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları.

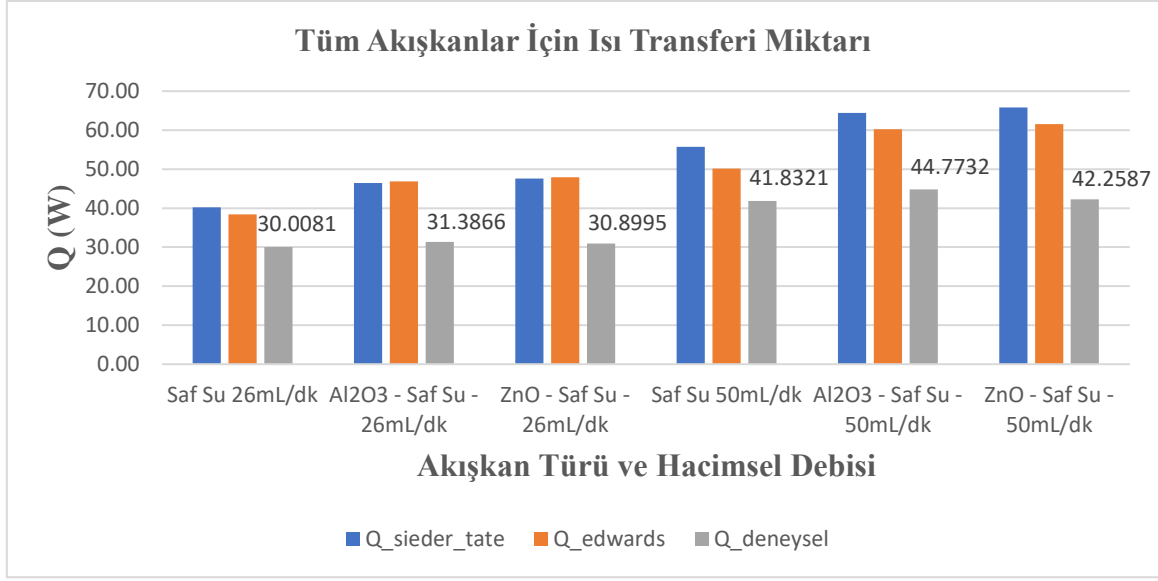
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
<b>Sieder Tate</b>	40,2300	46,4700	47,5700	55,7100	64,4300	65,8400
<b>Edwards</b>	38,3900	46,8700	47,9600	50,1100	60,2700	61,5500
<b>Deneysel</b>	30,0081	31,3866	30,8995	41,8321	44,7732	42,2587

**Çizelge 4.6** 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları.

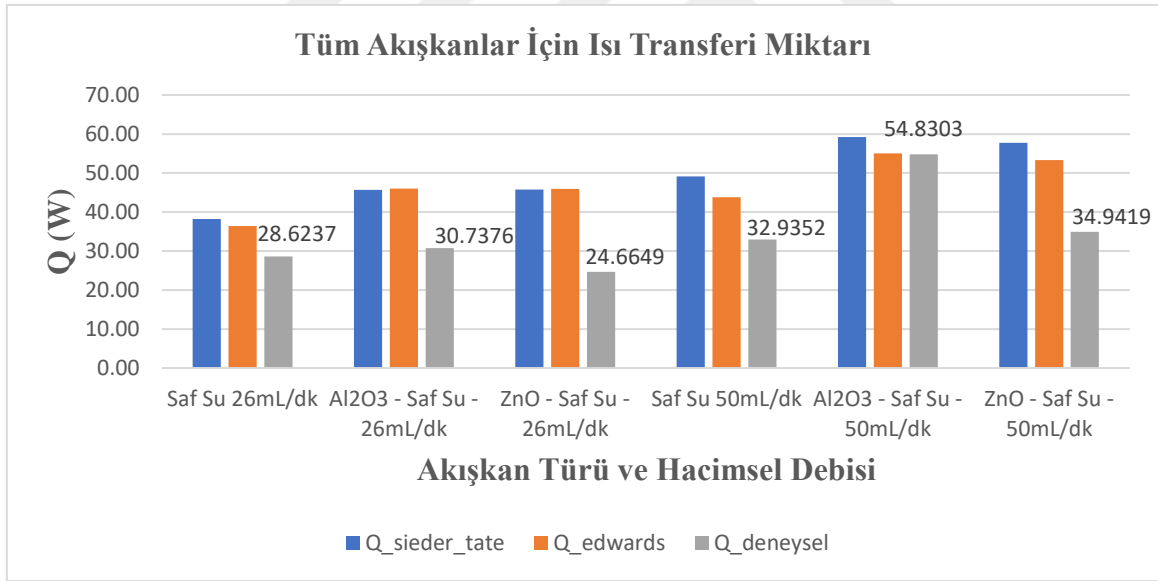
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
<b>Sieder Tate</b>	38,2400	45,7100	45,7400	49,1200	59,2300	57,7200
<b>Edwards</b>	36,3700	46,0300	45,9100	43,7700	55,0700	53,3300
<b>Deneysel</b>	28,6237	30,7376	24,6649	32,9352	54,8303	34,9419

**Çizelge 4.7** 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları.

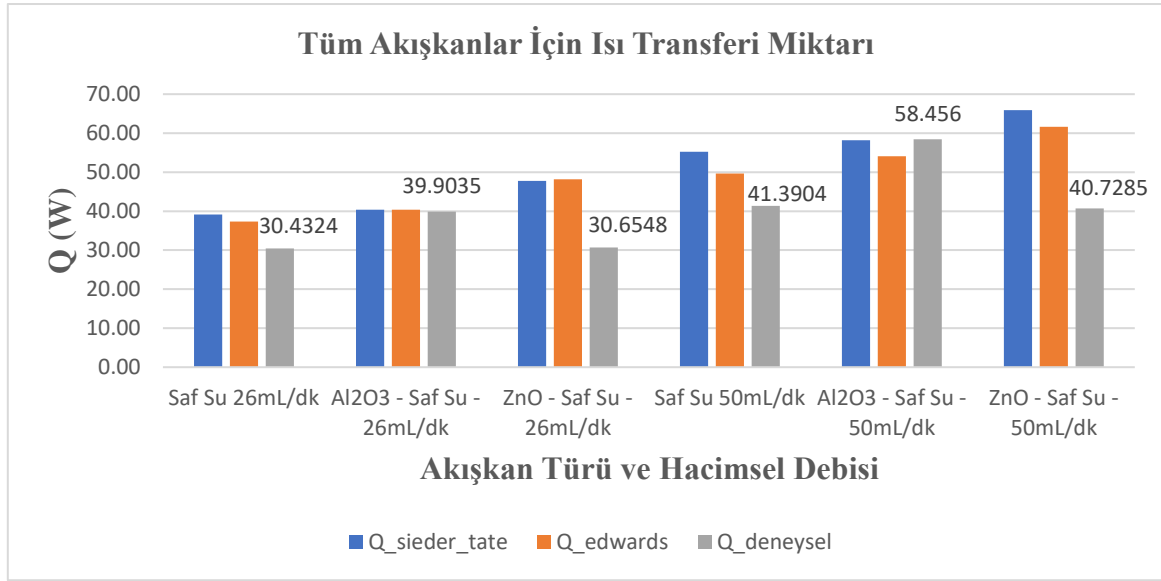
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
<b>Sieder Tate</b>	39,1700	40,3800	47,7300	55,2100	58,2200	65,8900
<b>Edwards</b>	37,3500	40,3700	48,1600	49,6600	54,0800	61,6000
<b>Deneysel</b>	30,4324	39,9035	30,6548	41,3904	58,4560	40,7285



**Şekil 4.7** 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği.



**Şekil 4.8** 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği.



**Şekil 4.9** 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı transferi miktarları karşılaştırmalı grafiği.

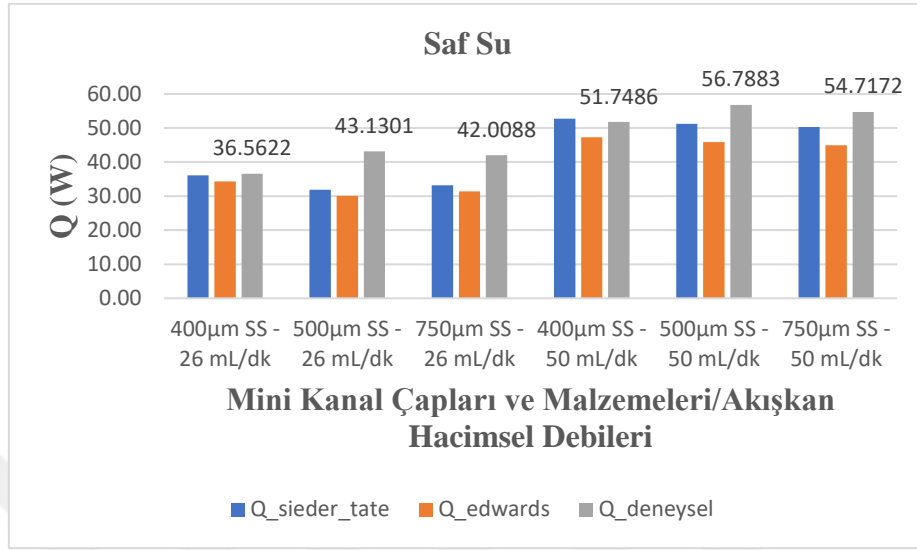
Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de sırasıyla 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki Peek malzemeden imal edilmiş mini kanallarda her üç akışkan için de 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde hesaplanan deneysel ısı transferi miktarları, Sieder Tate ve Edwards bağıntıları ile hesaplanan ısı transferi miktarları ile birlikte verilmiştir.

Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da tüm akışkanlar için 26 ve 50 mL/dk debilerde 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki Peek malzemeden imal edilmiş mini kanal içerisinde geçerken oluşturduğu ısı transferi miktarlarının deneysel sonuçları, Sieder Tate ve Edwards bağıntıları kullanılarak hesaplanan sonuçlarla birlikte gösterilmiştir. Grafiklerde hem deneysel sonuçlar için, hem de Sieder Tate ve Edwards bağıntılarından hesaplanan sonuçlar için akışkanların debilerinin artmasıyla ısı transferi miktarlarının arttığı görülmektedir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre 400 µm’lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk’dan 50 mL/dk’ya çıktığında ısı transferi miktarında %39,38’lik (30,01 W → 41,83 W) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %42,62 (31,39 W → 44,77 W), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %36,76 (30,90 W → 42,26 W) oranında arttığı görülmüştür. 500 µm’lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk’dan 50 mL/dk’ya çıktığında ısı transferi miktarında %15,09’luk (28,62 W → 32,94 W) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %78,36 (30,74 W → 54,83 W), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %41,68 (24,66 W → 34,94 W) oranında arttığı görülmüştür. 750 µm’lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk’dan

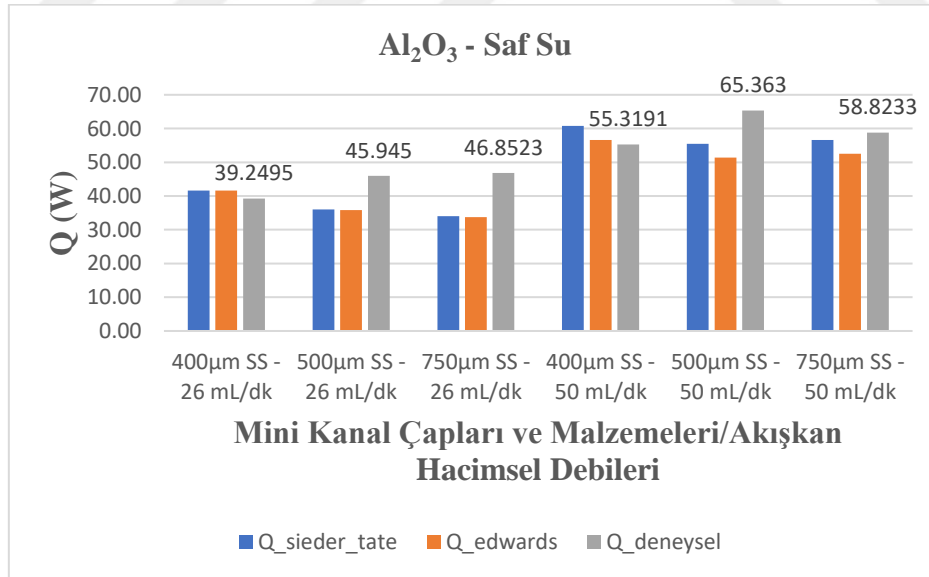
50 mL/dk'ya çıktığında ise ısı transferi miktarında %36,01'lik (30,43 W → 41,39 W) artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %46,51 (39,90 W → 58,46 W), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %32,88 (30,65 W → 40,73 W) oranında arttığı görülmüştür. Her 3 çap için de sabit debiler baz alındığında en yüksek ısı transferi miktarını Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı göstermiştir (50 mL/dk , 750 µm → 58,46 W). Saf su ile ZnO – saf su akışkanları arasındaki ilişki SS mini kanallarda yapılan çalışmalardaki sonuçlarla benzerdir. ZnO – saf su nanoakışkanı genel olarak saf suya nazaran daha iyi bir ısı performans göstermiştir.



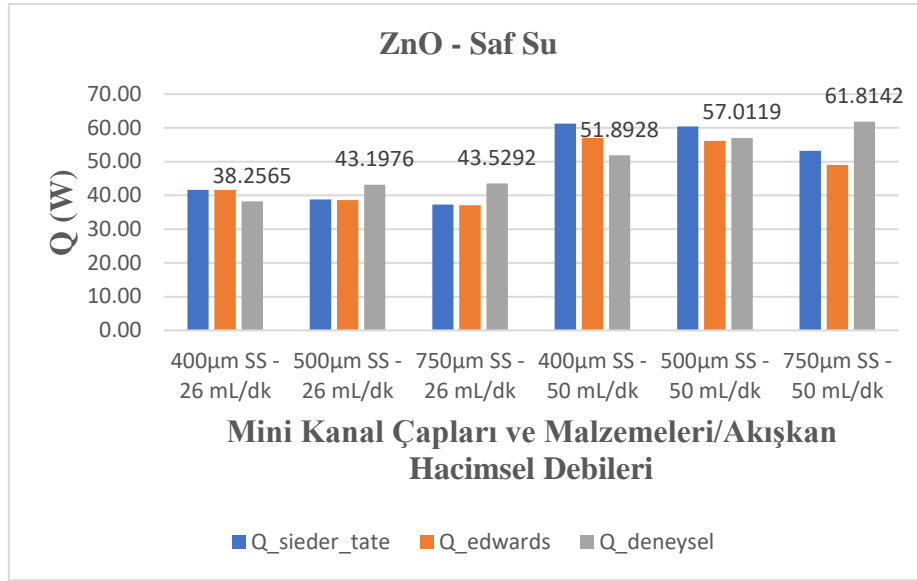
### 4.3.3 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı, SS (Paslanmaz Çelik) ve Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallarda Oluşan Isı Transferi Miktarları ve Karşılaştırmalı Grafikleri



Şekil 4.10 Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.

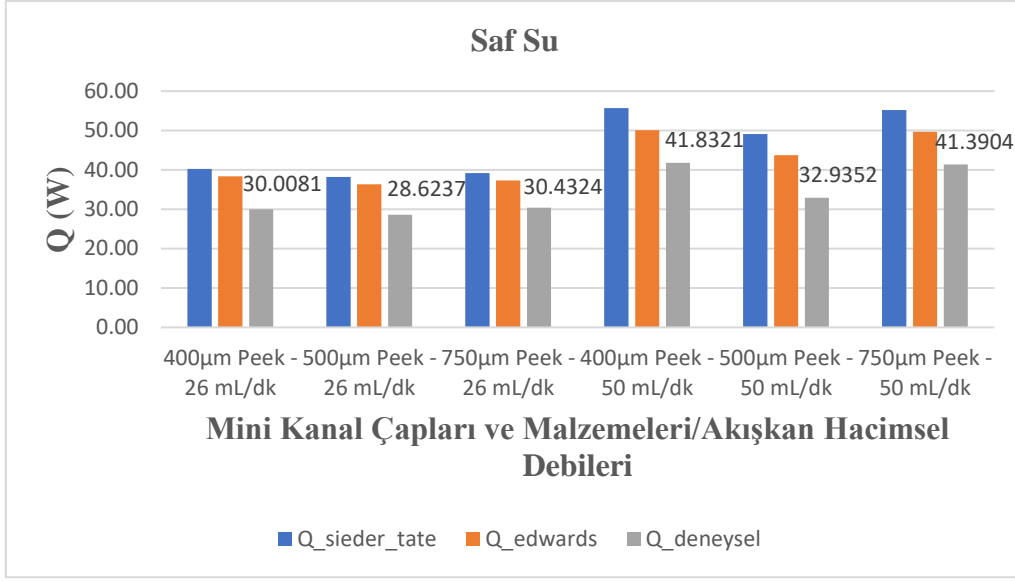


Şekil 4.11 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.

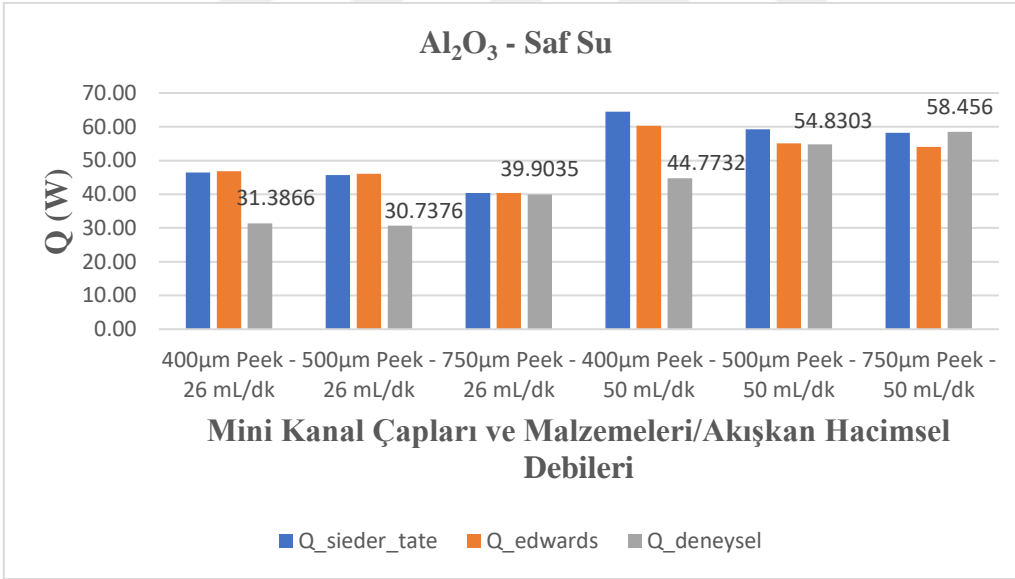


**Şekil 4.12** ZnO - saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.

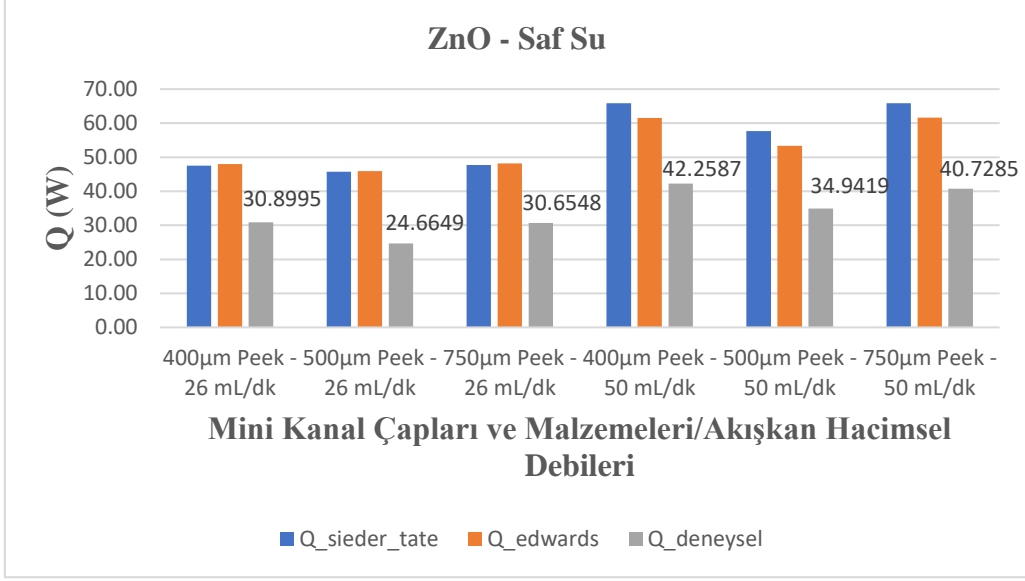
Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sırasıyla saf su,  $Al_2O_3$  – saf su ve ZnO – saf su akışkanlarının 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde, 400, 500 ve 750  $\mu m$  çaplardaki SS mini kanalların içinden akışı esnasında ortaya çıkan ısı transferi miktarlarının deneysel sonuçları, Sieder Tate ve Edwards bağıntıları ile hesaplanan sonuçlar ile beraber gösterilmektedir. Grafiklerde Sieder Tate ve Edwards bağıntıları ile teorik olarak hesaplanan sonuçlarda artan çap ile birlikte düşüş gösteren bir  $\dot{Q}$  ısı transferi miktarı görülmektedir. Ancak deneysel çalışmalarda özellikle 400  $\mu m$  gibi küçük çaplarda kanal içindeki akış rejiminin teoride beklendiği gibi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda saf su ve  $Al_2O_3$  – saf su akışkanları için en yüksek ısı transferi miktarı 500  $\mu m$  çapta (65,36 W), ZnO – saf su nanoakışkanı için ise 750  $\mu m$ ’lik çapta (61,81 W) tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu parametrelerde  $Al_2O_3$  – saf su nanoakışkanı saf suya nazaran ısı transferi miktarında %15,09 oranında, ZnO – saf su nanoakışkanı da yine saf suya nazaran %12,95’lik bir iyileştirme sağlamıştır.



**Şekil 4.13** Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.



**Şekil 4.14** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.



**Şekil 4.15** ZnO – saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.

Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de sırasıyla saf su, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su ve ZnO – saf su akışkanlarının 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde, 400, 500 ve 750 µm çaplardaki Peek malzemedan imal edilmiş mini kanalların içinden akışı esnasında ortaya çıkan ısı transferi miktarlarının deneysel sonuçları, Sieder Tate ve Edwards bağıntıları ile hesaplanan sonuçlar ile beraber gösterilmektedir. Grafiklerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su akışkanları için en yüksek ısı transferi miktarı 750 µm çapta (58,46 W), ZnO – saf su nanoakışkanı için ise 400 µm’lik çapta (42,26 W) olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu parametrelerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı saf suya nazaran ısı transferi miktarında %41,24 oranında, ZnO – saf su nanoakışkanı da yine saf suya nazaran %1,06’lık bir iyileştirme sağlamıştır.

#### 4.4 BASINÇ FARKI

##### 4.4.1 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı SS (Paslanmaz Çelik) Mini Kanallardaki Basınç Farkı Değerleri ve Karşılaştırmalı Grafikleri

Çizelge 4.8 400µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı değerleri.

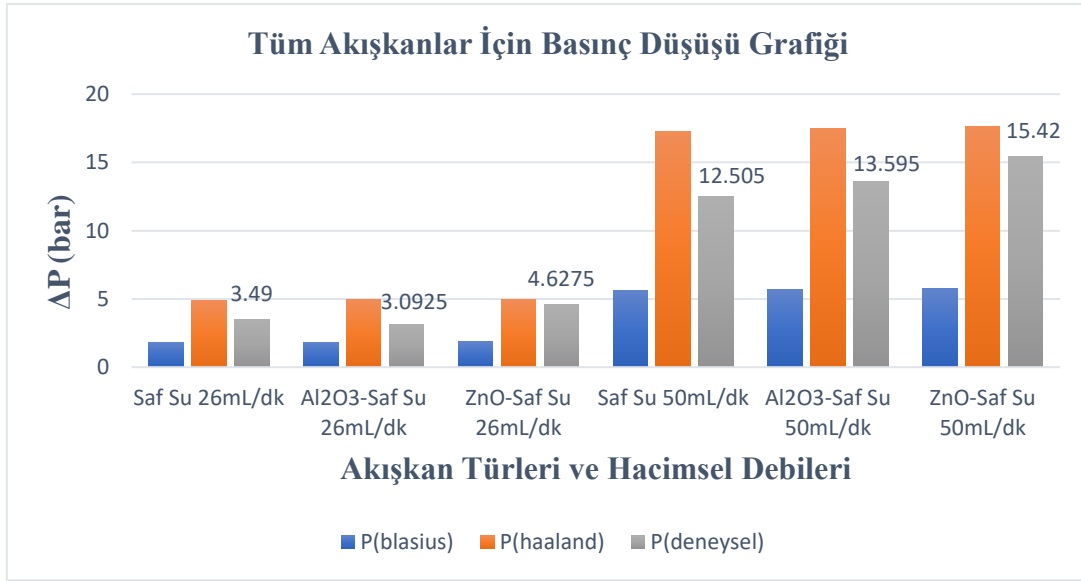
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
P [bar]						
<b>Blasius</b>	1,8253	1,8378	1,8558	5,6480	5,6858	5,7313
<b>Haaland</b>	4,8650	4,9236	4,9656	17,2900	17,5098	17,6593
<b>Deneysel</b>	3,4900	3,0925	4,6275	12,5050	13,5950	15,4200

Çizelge 4.9 500µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı değerleri.

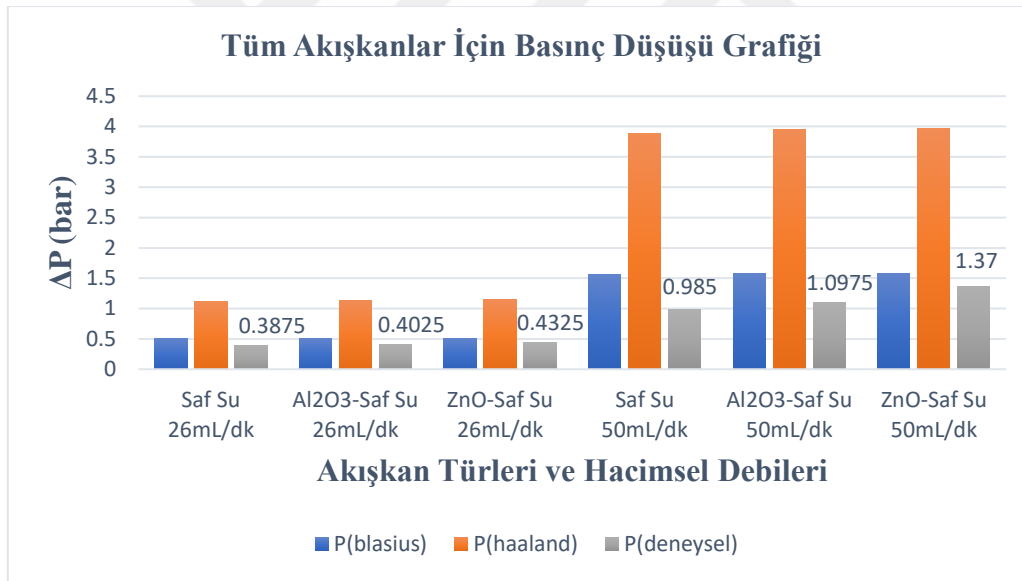
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
P [bar]						
<b>Blasius</b>	0,5054	0,5105	0,5136	1,5559	1,5781	1,5800
<b>Haaland</b>	1,1223	1,1357	1,1442	3,8934	3,9488	3,9728
<b>Deneysel</b>	0,3875	0,4025	0,4325	0,9850	1,0975	1,3700

Çizelge 4.10 750µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı değerleri.

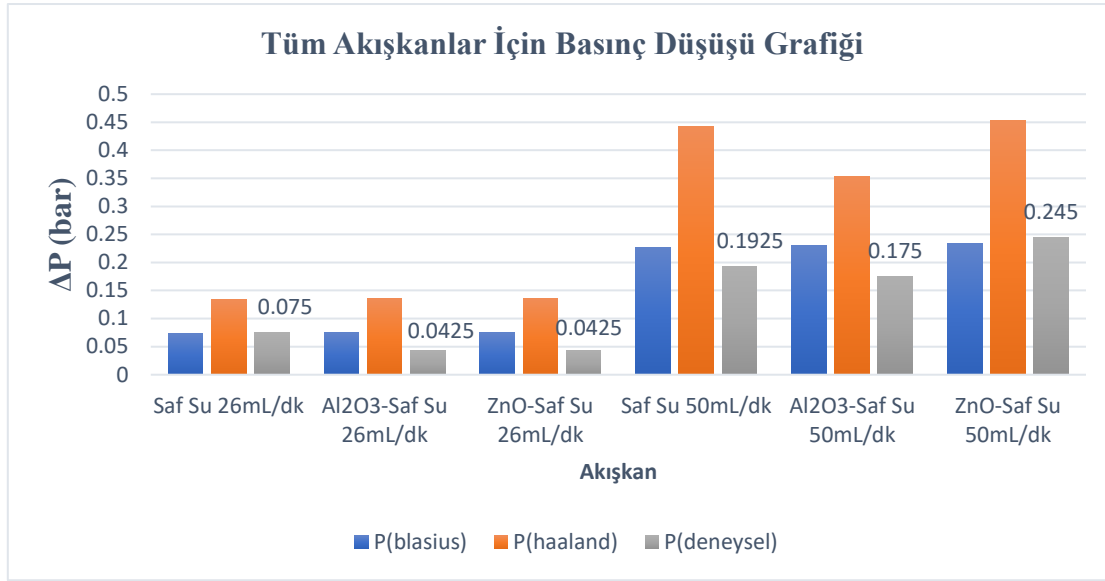
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
P [bar]						
<b>Blasius</b>	0,0735	0,0747	0,0747	0,2273	0,2297	0,2335
<b>Haaland</b>	0,1335	0,1357	0,1363	0,4420	0,3533	0,4531
<b>Deneysel</b>	0,0750	0,0425	0,0425	0,1925	0,1750	0,2450



Şekil 4.16 400µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği.



Şekil 4.17 500µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği.



**Şekil 4.18** 750µm SS mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği.

Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da sırasıyla 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki SS malzemeden imal edilmiş mini kanallarda her üç akışkan için de 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde deneysel olarak bulunan basınç düşüşü değerleri, Blasius ve Haaland ile hesaplanan basınç düşüşü değerleri ile birlikte verilmiştir.

Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de tüm akışkanlar için 26 ve 50 mL/dk debilerde 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki SS mini kanal içerisinde geçip çevrimi tamamlayıncaya kadar olan basınç düşüşünün deneysel sonuçları, Blasius ve Haaland bağıntıları kullanılarak hesaplanan sonuçlarla birlikte gösterilmiştir. Grafiklerde hem deneysel sonuçlarda, hem de Blasius ve Haaland bağıntılarından hesaplanan sonuçlarda akışkanların debilerinin artmasıyla basınç düşüşlerinin de arttığı görülmektedir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre 400 µm’lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk’dan 50 mL/dk’ya çıktığında basınç düşüşü değerinde %258,3’lük (3,49 bar → 12,51 bar) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin %339,61 (3,09 bar → 13,60 bar), ZnO – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin ise %233,04 (4,63 bar → 15,42 bar) oranında arttığı görülmüştür. 500 µm’lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk’dan 50 mL/dk’ya çıktığında basınç düşüşü değerinde %153,84’lük (0,39 bar → 0,99 bar) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinde %175 (0,40 bar → 1,10 bar), ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının %218,6 (0,43 bar → 1,37 bar) oranında arttığı görülmüştür. 750 µm’lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk’dan 50 mL/dk’ya çıktığında ise basınç düşüşü değerinde %156,7’lik (0,0750 bar → 0,1925 bar) bir

artış tespit edilmiştir. Aynı durumda  $Al_2O_3$  – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin %311,76 (0,0425 bar → 0,1750 bar), ZnO – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin %476,47 (0,0425 bar → 0,2450 bar) oranında arttığı görülmüştür.



#### 4.4.2 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallardaki Basınç Farkı Değerleri ve Karşılaştırmalı Grafikleri

**Çizelge 4.11** 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı taşınım katsayıları.

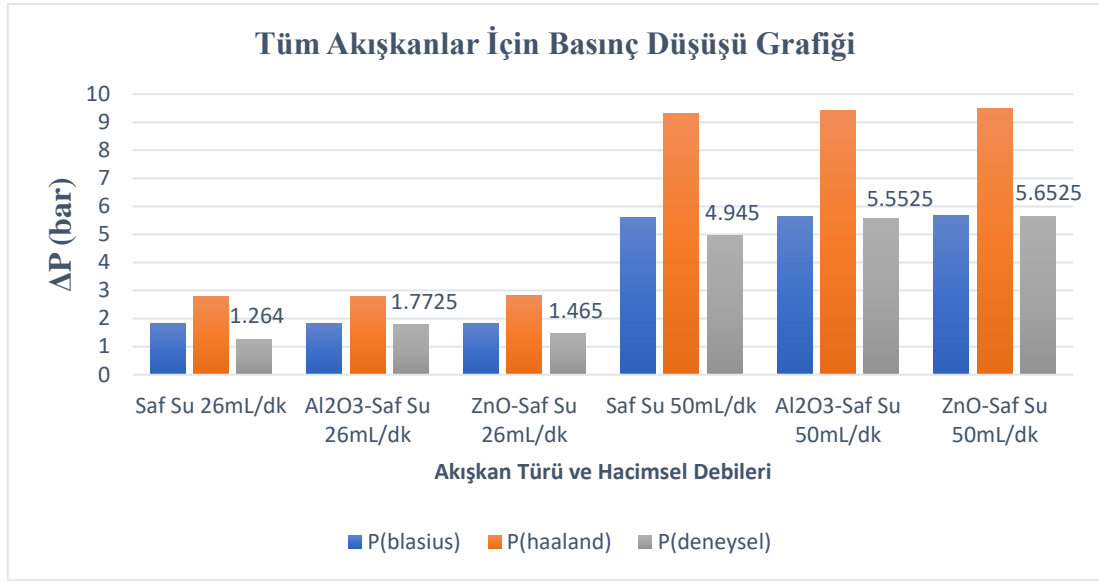
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
<b>Blasius</b>	1,8089	1,8204	1,8338	5,6127	5,6506	5,6834
<b>Haaland</b>	2,7705	2,7968	2,8165	9,3161	9,4159	9,4802
<b>Deneysel</b>	1,2640	1,7725	1,4650	4,9450	5,5525	5,6525

**Çizelge 4.12** 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı taşınım katsayıları.

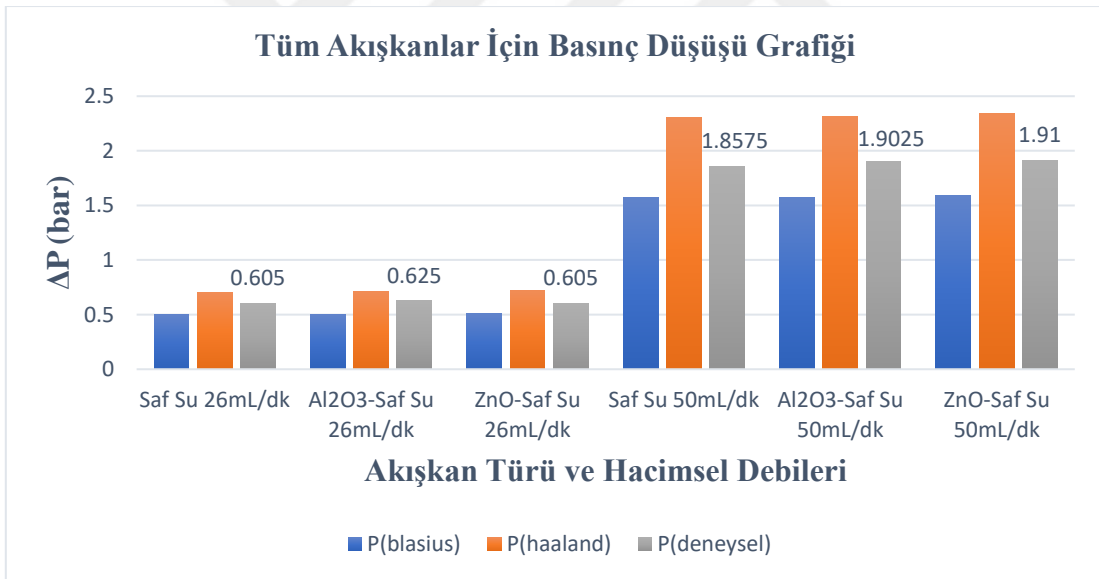
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
<b>Blasius</b>	0,5003	0,5016	0,5076	1,5693	1,5686	1,5935
<b>Haaland</b>	0,7072	0,7098	0,7180	2,3032	2,3153	2,3433
<b>Deneysel</b>	0,6050	0,6250	0,6050	1,8575	1,9025	1,9100

**Çizelge 4.13** 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların ısı taşınım katsayıları.

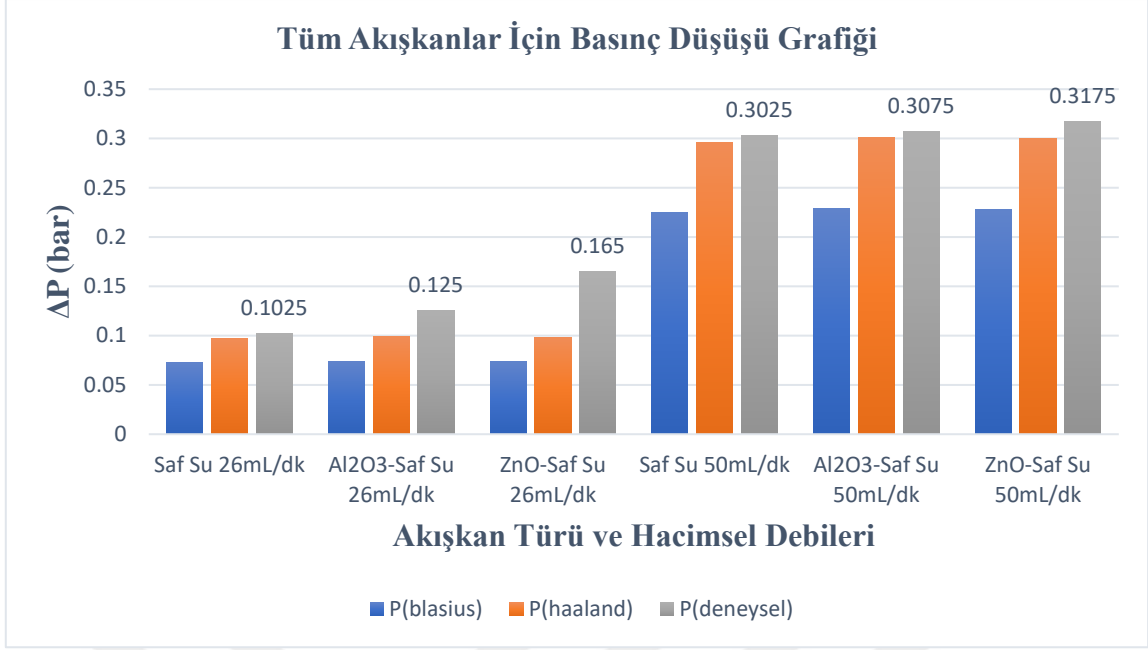
Akışkan ve Debi	Saf Su 26mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 26mL/dk	ZnO 26mL/dk	SafSu 50 mL/dk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50 mL/dk	ZnO 50 mL/dk
<b>Blasius</b>	0,0726	0,0738	0,0734	0,2250	0,2290	0,2278
<b>Haaland</b>	0,0972	0,0988	0,0979	0,2958	0,3011	0,3000
<b>Deneysel</b>	0,1025	0,1250	0,1650	0,3025	0,3075	0,3175



Şekil 4.19 400µm Peek mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği.



Şekil 4.20 500µm Peek mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği.



**Şekil 4.21** 750µm Peek mini kanallardaki akışkanların basınç farkı karşılaştırmalı grafiği.

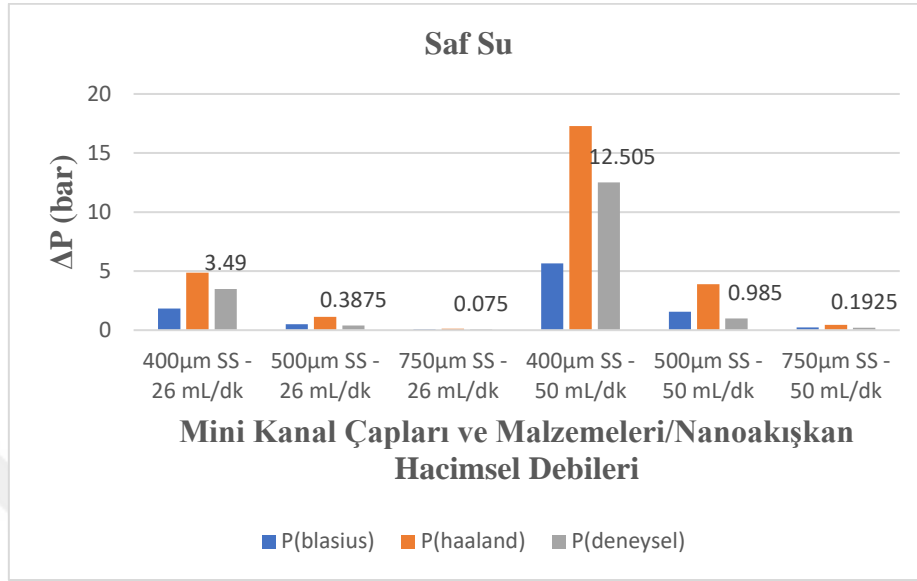
Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te sırasıyla 400, 500 ve 750 µm çaplarındaki Peek malzemedan imal edilmiş mini kanallarda her üç akışkan için de 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde deneysel olarak bulunan basınç düşüşü değerleri, Blasius ve Haaland ile hesaplanan basınç düşüşü değerleri ile birlikte verilmiştir.

Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de tüm akışkanlar için 26 ve 50 mL/dk debilerde 400, 500 ve 750 µm çaplardaki Peek malzemedan imal edilmiş mini kanal içerisinden geçip çevrimi tamamlayıncaya kadar olan basınç düşüşünün deneysel sonuçları, Blasius ve Haaland bağıntıları kullanılarak hesaplanan sonuçlarla birlikte gösterilmiştir. Grafiklerde hem deneysel sonuçlarda, hem de Blasius ve Haaland bağıntılarından hesaplanan sonuçlarda akışkanların debilerinin artmasıyla basınç düşüşlerinin de arttığı görülmektedir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre 400 µm'lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk'dan 50 mL/dk'ya çıktığında basınç düşüşü değerinde %291,21'lik (1,264 bar → 4,945 bar) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin %213,25 (1,7725 bar → 5,5525 bar), ZnO – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin ise %285,83 (1,4650 bar → 5,6525 bar) oranında arttığı görülmüştür. 500 µm'lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk'dan 50 mL/dk'ya çıktığında basınç düşüşü değerinde %207,02'lik (0,6050 bar → 1,8575 bar) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinde %204,4 (0,6250 bar → 1,9025 bar), ZnO – saf su

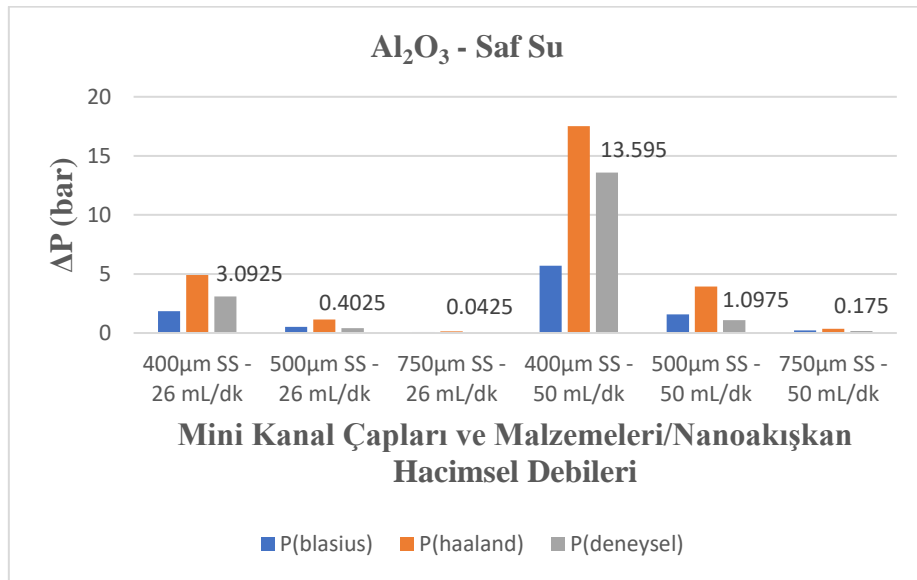
nanoakışkanının ısı transferi miktarının %215,7 (0,6050 bar → 1,9100 bar) oranında arttığı görülmüştür. 750 µm'lik mini kanal içerisinde saf suyun debisi 26 mL/dk'dan 50 mL/dk'ya çıktığında ise basınç düşüşü değerinde %195,12'lik (0,1025 bar → 0,3025 bar) bir artış tespit edilmiştir. Aynı durumda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin %146 (0,1250 bar → 0,3075 bar), ZnO – saf su nanoakışkanının basınç düşüşü değerinin %92,42 (0,1650 bar → 0,3175 bar) oranında arttığı görülmüştür.



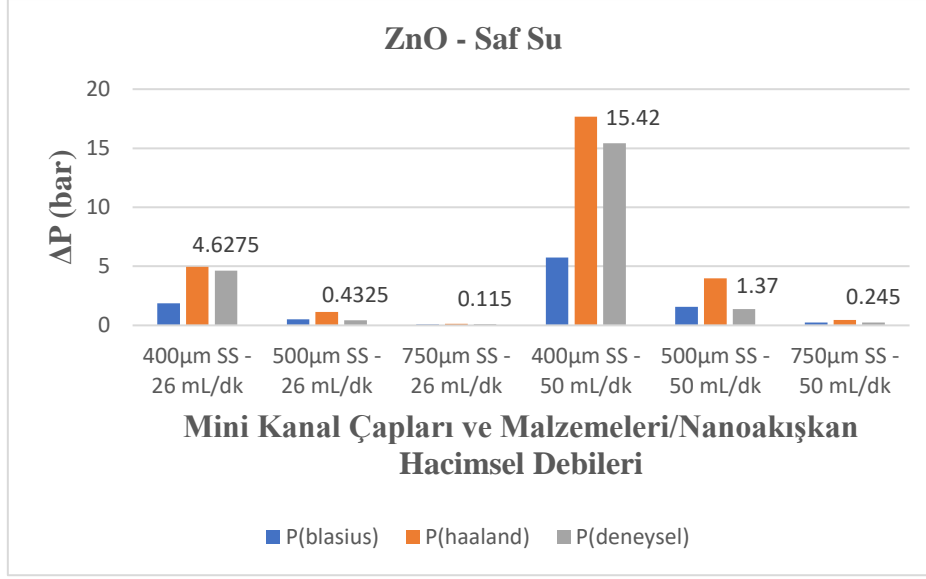
#### 4.4.3 400µm, 500µm ve 750µm Çaplı, SS (Paslanmaz Çelik) ve Peek (Poly Ether Ether Ketone) Mini Kanallarda Oluşan Basınç Farkları ve Karşılaştırmalı Grafikleri



Şekil 4.22 Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.



Şekil 4.23 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.



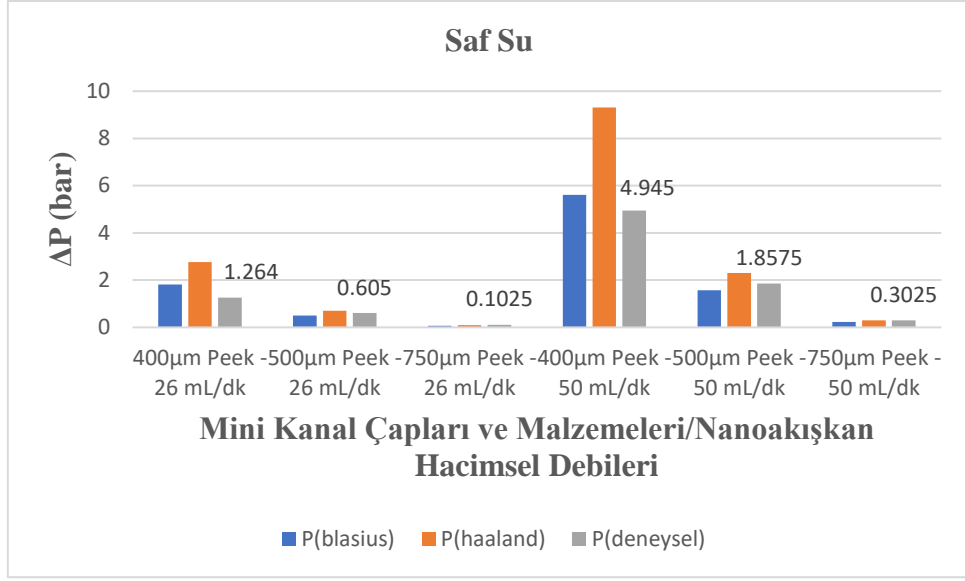
**Şekil 4.24** ZnO - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda SS mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te sırasıyla saf su,  $Al_2O_3$  – saf su ve ZnO – saf su akışkanlarının 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde, 400, 500 ve 750  $\mu m$  çaplardaki SS malzemeden imal edilmiş mini kanalların içinden akışı sonucunda oluşan basınç düşüşlerinin deneysel sonuçları, Blasius ve Haaland bağıntıları ile hesaplanan sonuçlar ile beraber gösterilmektedir. Grafiklerde  $Al_2O_3$  – saf su akışkanları için en yüksek basınç düşüşü değeri 400  $\mu m$  çapta (13,595 bar), ZnO – saf su nanoakışkanı için ise 400  $\mu m$ 'lik çapta (15,42 bar) olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu parametrelerde  $Al_2O_3$  – saf su nanoakışkanı saf suya nazaran basınç düşüşünde %8,71 (12,505 bar  $\rightarrow$  13,595 bar) oranında, ZnO – saf su nanoakışkanı da yine saf suya nazaran %23,31'lik (12,505 bar  $\rightarrow$  15,42 bar) bir basınç düşüşü artışına sebep olmuştur.

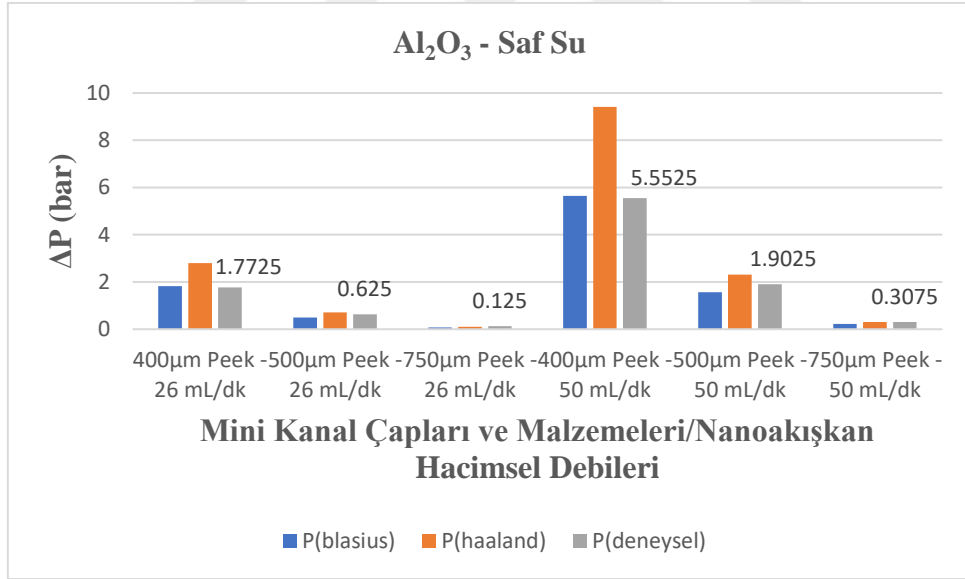
Yine grafiklerdeki verilerden yola çıkarak saf su ile 26 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$  çap kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$  çap kullanımına göre %800,65 (0,3875 bar  $\rightarrow$  3,49 bar) oranında, 750  $\mu m$  çap kullanımına göre ise %4553,3 (0,075 bar  $\rightarrow$  3,49 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur. Aynı akışkanla 50 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$  çap kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$  çap kullanımına göre %1169,54 (0,985 bar  $\rightarrow$  12,505 bar) oranında, 750  $\mu m$  çap kullanımına göre ise %6396,1 (0,1925 bar  $\rightarrow$  12,505 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur.

$Al_2O_3$  - saf su ile 26 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımını basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %668,32 (0,4025 bar  $\rightarrow$  3,0925 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %7176,47 (0,04 bar  $\rightarrow$  3,0925 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur. Aynı akışkanla 50 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %1138,72 (1,0975 bar  $\rightarrow$  13,595 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %7668,57 (0,175 bar  $\rightarrow$  13,595 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur.

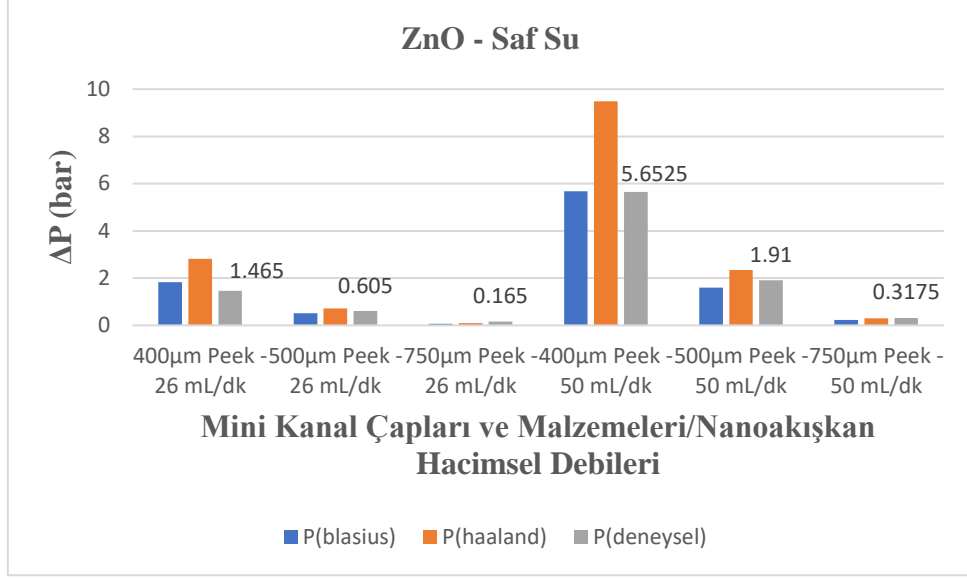
ZnO - saf su ile 26 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımını basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %969,94 (0,4325 bar  $\rightarrow$  4,6275 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %3923,91 (0,115 bar  $\rightarrow$  4,6275 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur. Aynı akışkanla 50 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %1025,54 (1,37 bar  $\rightarrow$  15,42 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %6193,87 (0,245 bar  $\rightarrow$  15,42 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur.



**Şekil 4.25** Saf su akışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.



**Şekil 4.26** Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.



**Şekil 4.27** ZnO - saf su nanoakışkanı için çeşitli çaplarda Peek mini kanallardaki basınç farkı değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de sırasıyla saf su,  $Al_2O_3$  – saf su ve ZnO – saf su akışkanlarının 26 ve 50 mL/dk hacimsel debilerde, 400, 500 ve 750  $\mu m$  çaplardaki Peek malzemeden imal edilmiş mini kanalların içinden akışı sonucunda oluşan basınç düşüşlerinin deneysel sonuçları, Blasius ve Haaland bağıntıları ile hesaplanan sonuçlar ile beraber gösterilmektedir. Grafiklerde  $Al_2O_3$  – saf su akışkanları için en yüksek basınç düşüşü değeri 400  $\mu m$  çapta (5,5525 bar), ZnO – saf su nanoakışkanı için ise 400  $\mu m$ ’lik çapta (5,6525 bar) olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu parametrelerde  $Al_2O_3$  – saf su nanoakışkanı saf suya nazaran basınç düşüşünde %12,8 (4,945 bar  $\rightarrow$  5,5525 bar) oranında, ZnO – saf su nanoakışkanı da yine saf suya nazaran %14,30’luk (4,945 bar  $\rightarrow$  5,6525 bar) bir basınç düşüşü artışına sebep olmuştur.

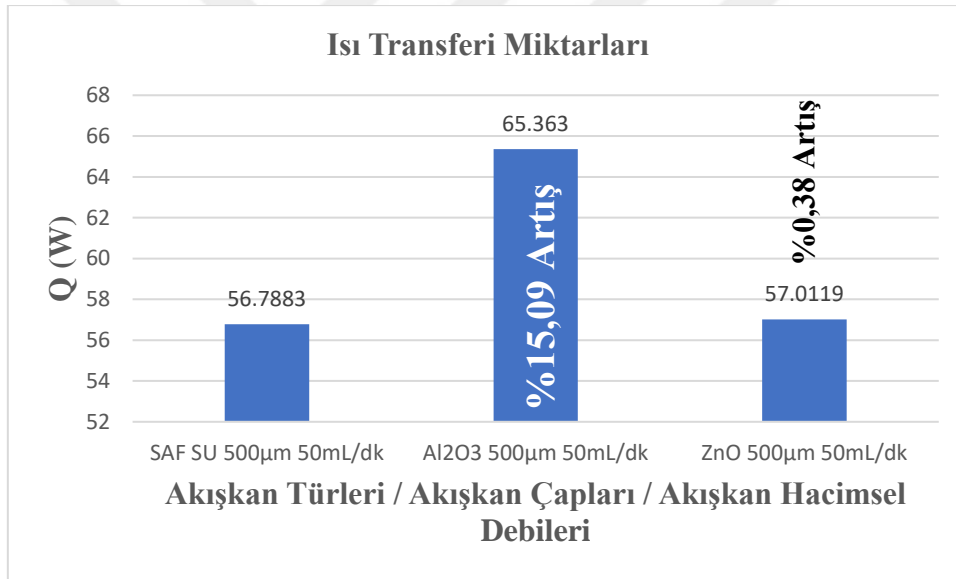
Yine grafiklerdeki verilerden yola çıkarak saf su ile 26 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$  çap kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$  çap kullanımına göre %108,92 (0,605 bar  $\rightarrow$  1,264 bar) oranında, 750  $\mu m$  çap kullanımına göre ise %1133,17 (0,1025 bar  $\rightarrow$  1,264 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur. Aynı akışkanla 50 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$  çap kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$  çap kullanımına göre %166,21 (1,8575 bar  $\rightarrow$  4,945 bar) oranında, 750  $\mu m$  çap kullanımına göre ise %1534,71 (0,3025 bar  $\rightarrow$  4,945 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur.

$Al_2O_3$  - saf su ile 26 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımını basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %183,6 (0,625 bar  $\rightarrow$  1,7725 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %1318 (0,125 bar  $\rightarrow$  1,7725 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur. Aynı akışkanla 50 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %191,85 (1,9025 bar  $\rightarrow$  5,5525 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %1705,69 (0,3075 bar  $\rightarrow$  5,5525 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur.

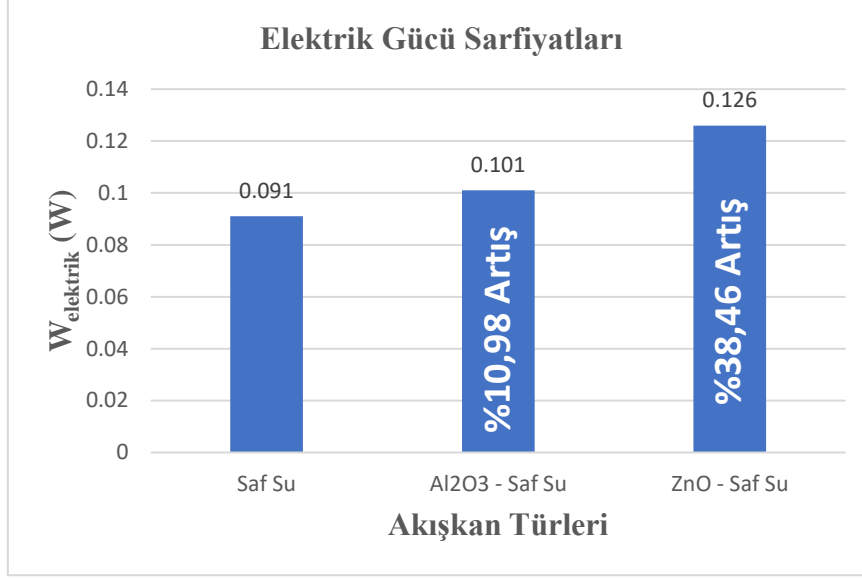
$ZnO$  - saf su ile 26 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımını basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %142,14 (0,605 bar  $\rightarrow$  1,465 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %787,87 (0,165 bar  $\rightarrow$  1,465 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur. Aynı akışkanla 50 mL/dk debilerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre 400  $\mu m$   $\phi$  kullanımının basınç düşüşünü 500  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre %195,94 (1,91 bar  $\rightarrow$  5,6525 bar) oranında, 750  $\mu m$   $\phi$  kullanımına göre ise %1680,31 (0,3175 bar  $\rightarrow$  5,6525 bar) oranında arttırdığı ortaya koyulmuştur.

## 4.5 PERFORMANS ANALİZİ

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre en yüksek ısı transferi miktarı, 500  $\mu\text{m}$  çapında SS malzemeden imal edilmiş mini kanal içinden 50 mL/dk hacimsel debide akan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – saf su nanoakışkanı için tespit edilmiştir. Bu deneysel parametrelerde  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – saf su nanoakışkanı saf suya göre %15,09’luk bir ısı transferi miktarı artışı (56,79 W  $\rightarrow$  65,36 W) göstermiştir. Aynı parametrelerde ZnO – saf su nanoakışkanı da saf suya nazaran %0,38’lik bir ısı transferi artışı (56,79 W  $\rightarrow$  57,01 W) göstermiştir. Bu şartlarda basınç kaybından meydana gelen pompa elektrik tüketimi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – saf su nanoakışkanında saf suya göre %10,98 oranında artmıştır (0,091 W  $\rightarrow$  0,101 W). Aynı şartlarda en fazla güç tüketimi görülen ZnO – saf su nanoakışkanında ise saf suya göre %38,46 oranında daha fazla güç sarfıyatı (0,091 W  $\rightarrow$  0,126 W) görülmüştür.

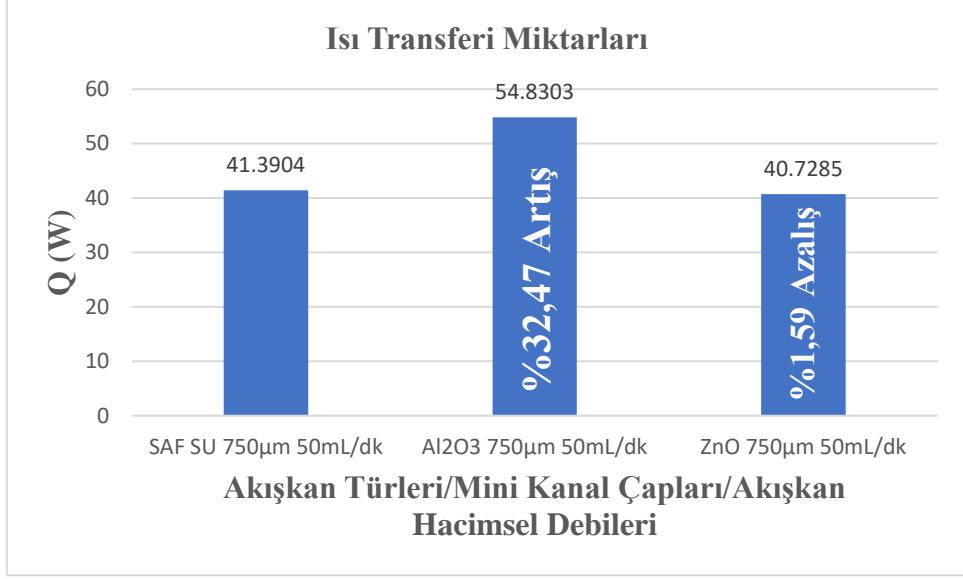


**Şekil 4.28** SS malzemeden imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 500 $\mu\text{m}$  çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların ısı transferi miktarlarının karşılaştırması.

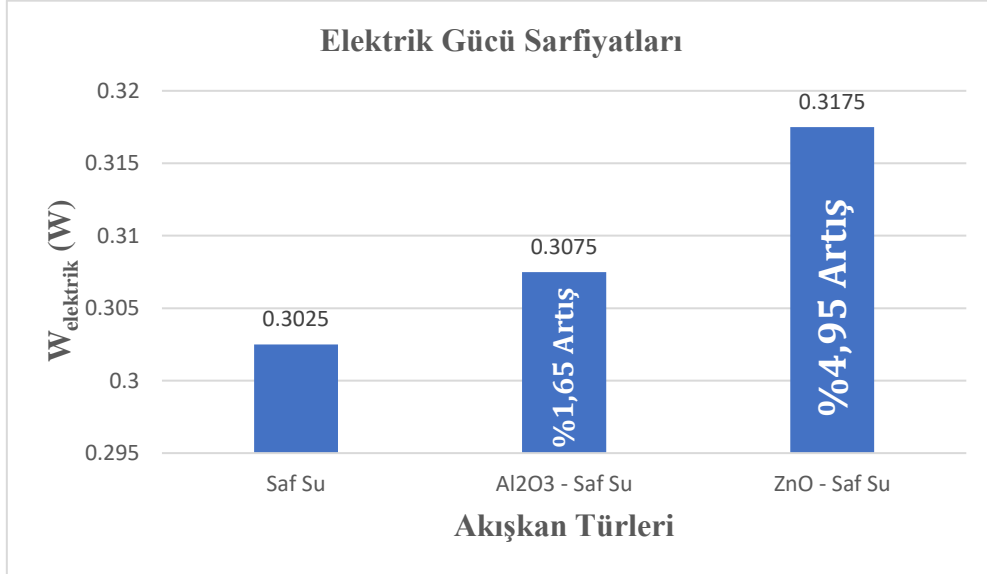


**Şekil 4.29** SS malzemeden imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 500µm çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların sebep olduğu pompa elektrik gücü sarfiyatı kıyasları

Peek malzemeden imal edilmiş mini kanalların kullanıldığı deneylerden en iyi ısı transferi miktarını veren akışkan, hidrolik çap ve hacimsel debi parametreleri sırasıyla, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı, 750 µm mini kanal iç çapı ve 50 mL/dk’lık akışkan debisi olarak tespit edilmiştir. Bu parametrelerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı saf suya oranla %32,47’lik bir ısı transferi miktarı artışı (41,39 W → 58,46 W) göstermiştir. Sarfedilen pompa elektrik gücü %1,62 oranında artsa da (0,0280 W → 0,0284 W) elde edilen ısı transferi iyileştirmesiyle karşılaştırıldığında harcanan bu enerji tolere edilebilir bulunmuştur. Aynı şartlarda ZnO – saf su nanoakışkanının ısı transferi miktarının saf suyun ısı transferi miktarına oranla %1,59 oranında daha düşük (41,39 W → 40,73 W) olduğu görülmüştür. Elektrik gücü sarfiyatı da ZnO – saf su nanoakışkanında saf suya göre %4,95 daha fazladır (0,0280 W → 0,0293 W).



**Şekil 4.30** Peek malzemededen imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 750 $\mu$ m çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların ısı transferi miktarlarının kıyasları.



**Şekil 4.31** Peek malzemededen imal edilmiş mini kanallar içinde yapılan deneylerden en iyi ısı transferi performansı gözlenen parametreler olan 750 $\mu$ m çapında mini kanal içinden 50mL/dk debi ile akan akışkanların sebep olduğu pompa elektrik gücü sarfiyatı kıyasları.



## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel sonuçlara göre şu yorumlar yapılabilir:

- Soğutma sistemlerinde nanoakışkan kullanımı, teoride olduğu gibi uygulamada da verimi arttırmaktadır.
- Mikro/mini kanalların soğutma sistemleri için ısı transferi miktarını artırma konusunda bir çözüm yolu olabileceği ortaya konulmuştur. Burada önemli olan çap küçüldükçe artan basınç düşüştür. Bu dengenin sağlanabilmesi için sistemde kullanılacak pompanın gücünün iyi ayarlanması gerekmektedir.
- Deneysel sonuçlarına göre tüm çaplarda ve debilerde SS malzemedeki yapılmış mini kanal içerisinde akan akışkanların ısı taşınım katsayıları ve ısı transferi miktarları Peek malzemedeki imal edilmiş mini kanal içerisinde akan akışkanların ısı taşınım katsayılarından ve ısı transferi miktarlarından büyük çıkmıştır.
- Deneysel sonuçlarına göre sabit debiler altında yapılan çalışmalarda tüm nanoakışkanlar için mini kanal çapı daraldıkça basınç farkının arttığı görülmektedir. Aynı çaplarda akışkan hacimsel debisi arttırıldığında da basınç farkının arttığı gözlenmiştir..
- Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ısı transferi miktarı, 500 µm çapında SS malzemedeki imal edilmiş mini kanal içinden 50 mL/dk hacimsel debide akan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı için tespit edilmiştir. Bu deneysel parametrelerde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanı saf suya göre %15,09'luk bir ısı transferi miktarı artışı (56,79 W → 65,36 W) göstermiştir. Bu parametrelerde basınç kaybından meydana gelen pompa elektrik tüketimi ise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – saf su nanoakışkanında saf suya göre %10,98 oranında artmıştır (0,091 W → 0,101 W). Ancak elde edilen ısı transferi kazancı harcanan gücün büyüklüğünü tolere edebilecek niteliktedir.



## KAYNAKLAR

- Ali H M** (2020) In Tube Convection Heat Transfer Enhancement: SiO<sub>2</sub> Aqua Based Nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, 308.
- Ali H M, Ali H, Liaquat H, Maqsood H T B and Nadir M A** (2015) Experimental Investigation of Convective Heat Transfer Augmentation for Car Radiator Using ZnO - Water Nanofluids. *Energy*, 84 : 317-324.
- Altın M** (2010) Hassas Sıcaklık Ölçümünde Ölçüm Belirsizliği İçin Farklı Modellemeler ve Deneysel Karşılaştırmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara 78 s.
- Babar H and Ali H M** (2019) Towards Hybrid Nanofluids: Preparation, Thermophysical Properties, Applications And Challenges. *Journal of Molecular Liquids*, 281 : 598-633.
- Bhanvase B A, Sarode M R, Putterwar L A, Abdullah K A, Deosarkar M P and Sonawane S H** (2014) Intensification of Convective Heat Transfer In Water/Ethylene Glycol Based Nanofluids Containing TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, *Chemical Engineering And Processing*, 82 : 123–131.
- Choi T J, Kim S H, Jang S P, Yang D J and Byeon Y M** (2020) Heat Transfer Enhancement of a Radiator With Mass - Producing Nanofluids (EG/Water-Based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids) for Cooling a 100 kW High Power System. *Applied Thermal Engineering*, 180.
- Çengel Y A** (2012) *Isı ve Kütle Transferi-Pratik Bir Yaklaşım*, Güven Kitabevi, üçüncü basım, 869 s.
- Çengel Y A ve John M C** (2012) *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*, Güven Kitabevi, birinci basım, 938 s.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Demir U** (2020) Mini Kanalda Nanoakışkan Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak 85 s.
- Demirkır Ç ve Ertürk H** (2021) Convective Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Graphene - Water Nanofluids in Transitional Flow. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 121.
- Erdoğan B** (2016) Mini/Mikro Kanallarda Nanoakışkan İle Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak 168 s.
- Ghadimi A, Saidur R and Metselaar I H** (2011) A Review of Nanofluid Stability Properties and Characterization in Stationary Conditions, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 54 : 4051–4068.
- Gkoutas A A, Benos L T, Nikas K S and Sarris I E** (2020) Heat Transfer Improvement By an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Water Nanofluid Coolant in Printed-Circuit Heat Exchangers of Supercritical CO<sub>2</sub> Brayton Cycle. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20.
- Guo W, Li G, Zheng Y and Dong C** (2020) The Effect of Flow Pulsation on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids Heat Transfer Behavior in a Helical Coil: A Numerical Analysis. *Chemical Engineering Research and Design*, 156 : 76-85.
- Kumar P C M and Kumar C M A** (2019) Numerical Study on Heat Transfer Performance Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water Nanofluids in Six Circular Channel Heat Sink for Electronic Chip. *Materials Today: Proceedings*, 21 (Part1) : 194-201.
- Ma M, Zhai Y, Yao P, Li Y and Wang H** (2020) Effect of Surfactant on the Rheological Behavior and Thermophysical Properties of Hybrid Nanofluids. *Powder Technology*, 379 : 373-383.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Naraki M, Peyghambarzadeh S M , Hashemabadi S H and Vermahmoudi Y** (2013) Parametric Study of Overall Heat Transfer Coefficient of CuO/Water Nanofluids in a Car Radiator. *International Journal of Thermal Sciences*, 66 : 82-90.
- Saeed M and Kim M H** (2017) Heat Transfer Enhancement Using Nanofluids (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O) in Mini - Channel Heatsinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 120 : 671-682.
- Sokhal G S** (2020) Heat Transfer Performance of Water Based Nanofluids: A Review. *Materials Today: Proceedings*.
- Vermahmoudi Y, Peyghambarzadeh S M, Hashemabadi S H and Naraki M** (2013) Experimental Investigation on Heat Transfer Performance of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Water Nanofluid in an Air - Finned Heat Exchanger. *European Journal of Mechanics B/Fluids*, 44 : 32-41.
- Vidhya R, Balakrishnan T and Kumar B S** (2020) Investigation on Thermophysical Properties and Heat Transfer Performance of Heat Pipe Charged With Binary Mixture Based ZnO - MgO Hybrid Nanofluids. *Materials Today: Proceedings*.
- Wang Y, Zou C, Li W, Zou Y and Huang H** (2020) Improving Stability and Thermal Properties of TiO<sub>2</sub> Nanofluids by Supramolecular Modification: High Energy Efficiency Heat Transfer Medium for Data Center Cooling System, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 156.
- Wen T, Lu L, Zhang S and Zhong H** (2020) Experimental Study and CFD Modelling on the Thermal and Flow Behavior of EG/water ZnO Nanofluid in Multiport Mini Channels. *Elsevier*.
- Yücel E ve Çiçek A** (2011) İmalat Alanında Yaygın Olarak Kullanılan Mikro İşleme Teknikleri. *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 15 : 46-59.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Zangeneh A, Peyghambarzadeh S M, Bayat A and Vatani A** (2020) Application of General Multilevel Factorial Design Approach in Forced Convection and Subcooled Flow Boiling Heat Transfer to CuO/Water Nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, 313.

**Zhong D, Zhong H and Wen T** (2020) Investigation on the Thermal Properties, Heat Transfer and Flow Performance of a Highly Self - Dispersion TiO<sub>2</sub> Nanofluid in a Multiport Mini Channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 117.

**URL-1** < <https://tr.wikipedia.org/wiki/Nanoteknoloji#:~:text=Nanoteknoloji%20maddenin%20atomik%20molek%C3%BCler%20ayr%C4%B1ca,belirli%20bir%20amac%C4%B1n%C4%B1%20ifade%20etmektedir.> >, Ziyaret Tarihi : 20.01.2021

**URL-2** < <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/24%20-%20NANOAKI%20%9EKANLAR%20ve%20G%C3%9CNE%20ENERJ%C4%B0L%C4%B0%20SICAK%20SU%20S%C4%B0STEMLER%C4%B0NDE%20KULLANIMI%20-%20Do%C3%A7.Dr.%20%C4%B0BRAH%C4%B0M%20ATMACA.pdf> >, Ziyaret Tarihi : 22.01.2021

## ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta okulu Karaelmas İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra Erdemir Anadolu Lisesi'ni kazanarak lise öğrenimini burada tamamladı. 2011 yılında mezun olduktan sonra aynı sene adı daha sonra Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi olarak değiştirilen Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1 senesi hazırlık olmak üzere 5 sene sonra 2016 yılında lisans öğrenimini tamamladıktan sonra aynı sene yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017 senesinde GAZSAN Mühendislik firmasında çalışma hayatına başladı ve halen devam etmekte