

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNİ KANALDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI TRANSFERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR DEMİR

ARALIK 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNİ KANALDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI TRANSFERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uğur DEMİR

DANIŞMAN: Doç. Dr. Adnan TOPUZ

ZONGULDAK

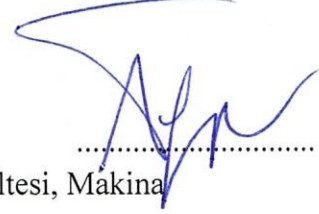
Aralık 2019

KABUL:

Uğur DEMİR tarafından hazırlanan “Mini Kanalda Nanoakışkan Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
30/12/2019

Danışman: Doç.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.”



Uğur DEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİNİ KANALDA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Uğur DEMİR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Adnan TOPUZ

Aralık 2019, 65 sayfa

Bu çalışmada, 400 µm paslanmaz çelik malzemeden daire kesitli yatay kanalda, saf su ve saf su bazlı %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃ (13nm), ZnO (18nm) nanoakışkanlarının ısı performansları, Nusselt sayısı ve basınç düşüşü değeri ile pompa güç gereksinimi değışimi, deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı (HAD) programı ile incelenmiştir. Program olarak Ansys 16.2 ticari programın fluent arayüzü kullanılmıştır. Deneyler, saf su ve saf su bazlı %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃, ZnO ile 45°C nanoakışkan giriş sıcaklığı, 10°C sabit yüzey sıcaklığı şartlarında sırasıyla 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 45, 50 mL/dk debilerde gerçekleştirilmiştir. Deney şartları, HAD programında iki boyutlu (2D) olarak modellenmiş olup laminer ve standart k-ε türbülans çözüm metodları ile her bir akışkan için analizler yapılmıştır. Sıcaklık, debi ve basınç ölçümleri sayesinde Nusselt sayısı, Reynolds sayısı, basınç düşüşü ve pompa güç gereksinimi ile ısı transferi miktarı ve ısı taşınım katsayıları her bir akışkan için 30 farklı deney çalışması ve 60 farklı simülasyon analizleri ile incelenmiştir. HAD programı yardımıyla hız gradyanı giriş ve atmosfer basıncı çıkış şartlarında akışın laminer ve türbülanslı nümerik çözümlemesi ile deneysel sonuçlar, mevcut analitik çalışmalar ile

ÖZET (devam ediyor)

karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmanın deneysel amacı mikrokanalda, belirlenen derişimde, nanoakışkan kullanmanın deney seti ile gerçek koşulların incelenmesi, deneyde elde edilen verilerin akış rejimine göre literatür denklemleri ile karşılaştırılmasıdır. Daha sonra Ansys 16.2’de hem laminer hem de türbülanslı model çözümlenmesiyle akış karakteristiği tayin edilmek istenmiştir. Deneysel ve nümerik çalışma neticesinde saf su bazlı Al_2O_3 ve ZnO nanoakışkanları saf su ile karşılaştırıldığında, ısı transferi değerinde sırasıyla %14.35, %7.42 ve ısı taşınım katsayısı değerinde ise %20.90, %10.01 artış belirlenmiştir. Diğer yandan ZnO nanoakışkan için basınç farkı değerinde artma sebebiyle pompa elektrik tüketiminde %13.49 artışa neden olması, belirlenen mikrokanal ve hacimsel derişimde Al_2O_3 nanoakışkanını ön plana çıkarmıştır. Ayrıca her bir akışkan için $Nu = c Re^m Pr^n$ şeklinde korelasyon önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Isı transferi, HAD.

Bilim Kodu: 625.04.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NANOFLUID USAGE ON HEAT TRANSFER IN MINI CHANNEL

Uğur DEMİR

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

**Thesis Advisor: Doç. Dr. Adnan TOPUZ
December 2019, 65 pages**

In this study, the thermal performance, Nusselt number variation and pressure drop value due to pumping power requirements of base pure water and pure water with %0.5 volume concentrations of Al₂O₃ (13nm), ZnO (18nm) as called nanofluids were investigated with experimental and Computational Fluids Dynamics (CFD) program, at 400 µm stainless steel horizontal circular microchannel. Ansys 16.2 commercial fluent database was used as related program. Experiments were made with pure water and pure water based %0.5 volume concentrations of Al₂O₃, ZnO nanofluids at 45°C temperature inlet, 10°C under constant surface cooling temperature with the volume flow rates 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 45, 50 mL/min respectively. The experimental conditions were modeled as 2D in Ansys 16.2 commercial program and analyzes were made for each fluid by laminar and standard k-ε turbulence solution methods. By the help of temperature, flow rate and pressure, Nusselt number, Reynolds number variation, pressure drops and pumping power requirements change, heat transfer and heat transfer coefficients were examined with 30 different experiments and 60 different

ABSTRACT (continued)

simulation analyzes for each fluid. Numerical analysis of flow, under velocity inlet, atmospheric pressure outlet conditons were made by the help of CFD program. Experimental results and program numerical analysis are presented comparatively with current analytical studies. While the experimental aim of the study was to investigate the actual conditions of the nanofluids usage at the determined concentration and microchannel with the experiment set, also to compare the data obtained by experiment with the literature flow equations. It was aimed that to determine the flow characteristics, with both laminar and turbulance model analysis in CFD. As a result of experimental study, when compared with pure water based %0.5 Al₂O₃ and ZnO nanofluids with pure water, heat transfer value increased by 14.35%, 7.42% and heat transfer coefficient value up to 20.90%, 10.01% respectively. On the other hand, because of the increase on the pressure drop value for ZnO nanofluid, it also increased the pump electricity consumption by 13.49%, thus highlighting the Al₂O₃ nanofluid in the determined microchannel and volumetric concentration. Besides these new korelation was performed for each fluids as $Nu = c Re^m Pr^n$.

Key Words: Nanofluids, Heat Transfer, CFD.

Science Code: 625.04.00

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya başladığım günden itibaren desteklerini ve tecrübelerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Adnan TOPUZ'a ve deneysel tecrübelerini paylaşıp analizleri kontrol eden Sayın Dr. Öğretim Üyesi Beytullah ERDOĞAN'a katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin başka laboratuvara taşınmasından sonra tekrar kurulumuna yardım edip gerekli kalibrasyon için yardım eden Sayın Öğretim Görevlisi Osman ÇELEN ve Alaplı Meslek Yüksekokulu Elektrik Bölümü personellerine, tez yazım aşamasında elde edilen grafik çizimleri için grafik programı dersini veren Sayın Dr. Öğretim Üyesi Fikret KABAKÇI'ya ayrıca deney düzeneğinde beraber çalışarak nanoakışkan hazırlamaya ve deney esnasında bozulan pompanın tamir edilmesine yardımcı olan Sayın Makine Mühendisi Ali Baş ve eniştesine teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak benim için çok değerli olan, her zaman yaşamımı kolaylaştıran, iyi kötü günlerimde yanımda olan eşim Tuba DEMİR'e ve sevgisinden güç aldığım oğlum Demir Eymen DEMİR'e ve beni bu hayata hazırlayıp, okutan, bu günlere gelmeme vesile olan annem Kadriye ve babam Önder DEMİR'e canı yürekten teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 TANIMLAR-TEMELLER	15
2.1 MİNİ/MİKRO/MAKRO KANALLAR.....	15
2.2 NANOAKIŞKANLAR.....	16
2.2.1 Nanoakışkan Türleri	16
2.2.2 Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri.....	16
2.3 AKIŞ REJİMLERİ	17
2.4 BOYUTSUZ SAYILAR	18
BÖLÜM 3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. MİKROBORU DENEY SETİ.....	19
3.1.1 Deney Düzeneginde Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri.....	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1.1.1 Pompa ve Regülatör	21
3.1.1.2 Isıtma ve Soğutma banyoları	23
3.1.1.3 Polimer Isı Değiştirici	23
3.1.1.4 Sıcaklık ve Basınç Sensörleri	24
3.1.1.5 Veri Toplayıcı ve Bilgisayar	24
3.2. BELİRSİZLİK ANALİZİ	25
3.3 NANOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI, KARARLILIK SÜRELERİ	29
3.3.1 Kullanılan Nanopartikül ve Yüzey Aktif Madde Miktarları.....	29
3.3.2 Nanoakışkan Hazırlığı	30
3.3.3 Nanoakışkanların Kararlılık Süreleri	31
3.4 NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE AİT DENKLEMLER	32
3.4.1 Deneysel Isı Transferi ve Isı Taşınım Katsayısının Belirlenmesi.....	33
3.4.2 Teorik Hesaplar İçin Kullanılan Referans ve Literatür Denklemleri.....	34
3.5 DENEYSEL ÇALIŞMA PROBLEM TANIM VE KOŞULLAR.....	35
BÖLÜM 4 DENEY KOŞULLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ	37
4.1 TEMEL DENKLEMLER.....	37
4.2 CFD ANALİZİ (ANSYS 16.2 WORKBENCH).....	40
4.2.1 Problem Tanımı ve Modeli	40
4.2.2 Problemin Ansys Workbench ile Modellenmesi	41
4.2.3 Problem Çözümünde Mesh Sayısının Etkisi	42
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
5.1 NUSSELT SAYISI.....	44
5.2 ISI TAŞINIM KATSAYISI-h (W/m ² K)	47

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.3 ISI TRANSFERİ-Q (W).....	51
5.4 BASINÇ KAYBI- ΔP_f (bar).....	53
5.4.1 Basınç Kaybı- ΔP_f (bar)- Pompa Gücü İlişkisi	55
5.4.2 Nusselt Sayısı İçin Bağntı.....	58
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Yayınlanan makalelerde kullanılan kanal geometrisi yüzdelik dağılımı.....	6
Şekil 2.1 Uzunluk skalasının görsel ifadesi	15
Şekil 2.2 Bir boruda sınır tabakanın gelişimi.....	17
Şekil 3.1 Mikro boru deney seti.....	19
Şekil 3.2 Deney setinin şematik görüntüsü.	20
Şekil 3.3 Pompa ve regülatör.	21
Şekil 3.4 Basınç kayıpları için ani daralma ve ani genişleme görseli.	22
Şekil 3.5 (a) Isıtma banyosu, (b) Soğutma banyosu.....	23
Şekil 3.6 (a) Polimer ısı değiştiricisi solidworks çizimi, (b) Polimer ısı değiştiricisi fotoğraf görüntüsü.....	24
Şekil 3.7 AYA-Logger ürün ve sensör bağlantı görselleri.....	24
Şekil 3.8 AYA-Logger veri toplayıcısından alınan değerlerin bilgisayar görüntüsü.....	25
Şekil 3.9 IVY Sistem Ultrasonik Homojenizatör.....	30
Şekil 3.10 %0.5 ZnO ve Al ₂ O ₃ için kararlılık süreleri incelenmesi.....	31
Şekil 3.11 %0.5 ZnO ve Al ₂ O ₃ için kararlılık süreleri incelenmesi.....	31
Şekil 3.12 Deney parametreleri.....	35
Şekil 4.1 Model oluşturmada problemin iki boyutta ifadesi.....	40
Şekil 4.2 Ansys 2D model ve mesh yapısı.....	40
Şekil 4.3 Ansys 2D modelde mesh en/boy oranı ile örgü kalitesi.....	41
Şekil 4.4 Mesh sayısının simülasyona etkisi (Mesh-Nu).....	42
Şekil 5.1 Saf su için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).....	44
Şekil 5.2 %0,5 Al ₂ O ₃ için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).....	45
Şekil 5.3 %0.5 ZnO için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).....	46
Şekil 5.4 Tüm akışkanlar için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).....	47
Şekil 5.5 Saf su için ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi (h-Re).....	48
Şekil 5.6 %0.5 Al ₂ O ₃ için ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi (h-Re).....	49
Şekil 5.7 %0.5 ZnO için ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi (h-Re).....	50
Şekil 5.8 Deneysel ısı taşınım katsayısının artan debiye göre akışkan bazında değişimi.....	51
Şekil 5.9 Deneysel ısı transferi miktarının artan debiye göre değişimi.....	53
Şekil 5.10 Tüm akışkanlar için debi değişimine göre basınç düşüşü değerleri.....	56
Şekil 5.11 Tüm akışkanlar için elde edilen kazanım değerleri karşılaştırılması.....	57
Şekil 5.12 Deneysel Nu sayılarının Nu bağıntısı ile karşılaştırılması.....	58



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Kanalların boyutlarına göre sınıflandırılması.	15
Çizelge 2.2 Boyutsuz sayılar ve tanımları.....	18
Çizelge 3.1 Şekil 3.2'deki deney setinde bulunan malzeme ve cihazlar.....	20
Çizelge 3.2 Ölçülen parametre için okuma sıklığına göre t-student güvenirlilik istatistiği.	26
Çizelge 3.3 Deney için kullanılan parametrelerde belirsizlik analizi.....	27
Çizelge 3.4 Deneysel parametrelerde hesaplanan toplam maksimum belirsizlik.	28
Çizelge 3.5 Hacimsel derişim oranı için nanopartikül ve SDS miktarları.	29
Çizelge 3.6 Deney akışkanlarının termofiziksel özellik denklemleri	32
Çizelge 3.7 Excel hesap tabloları için kullanılan referans denklemler.	34
Çizelge 3.8 Deneysel çalışmada kullanılan akışkanlar ve parametreler.	35
Çizelge 3.9 Deneysel çalışmalar için Ansys 16.2 model parametreleri.	36
Çizelge 4.1 Deney numaralarına göre program çözümü için gerekli olan değerler (T_{ort}).....	39
Çizelge 5.1 Saf su için Nusselt sayısı Reynolds sayısı değişimi.....	44
Çizelge 5.2 %0,5 Al_2O_3 için Nusselt sayısı Reynolds sayısı değişimi.	45
Çizelge 5.3 %0.5 ZnO için Nusselt sayısı Reynolds sayısı değişimi.	46
Çizelge 5.4 Saf su için ısı taşınım katsayısı Reynolds sayısı değişimi.	48
Çizelge 5.5 %0.5 Al_2O_3 için ısı taşınım katsayısı Reynolds sayısı değişimi.	49
Çizelge 5.6 %0.5 ZnO için ısı taşınım katsayısı Reynolds sayısı değişimi.	50
Çizelge 5.7 Saf su için debiye göre ısı transferi değişimi.	52
Çizelge 5.8 %0.5 Al_2O_3 için debiye göre ısı transferi değişimi.	52
Çizelge 5.9 %0.5 ZnO için debiye göre ısı transferi değişimi.	52
Çizelge 5.10 Saf su için debiye göre basınç kaybı değişimi.	54
Çizelge 5.11 %0.5 Al_2O_3 için debiye göre basınç kaybı değişimi.	54
Çizelge 5.12 %0.5 ZnO için debiye göre basınç kaybı değişimi.	54
Çizelge 5.13 Debi değişimi neticesinde basınç kaybı değişimi.	55
Çizelge 5.14 Denklem 5.2'ye göre elektriksel harcanan güç değişimi.	56
Çizelge 5.15 Deneysel Nusselt sayılarına göre Nu bağıntısı.	58



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Re	: Reynolds sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
L	: Mikro Boru boyu (m)
D_h	: Hidrolik Çap (m)
μ	: Dinamik Vizkozite ($Pa \cdot s$)
ν	: Kinematik vizkozite (m^2/s)
k	: Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
α	: Isıl Yayılma Katsayısı (m^2/s)
C_p	: Özgül Isı (J/kgK)
\dot{m}	: Nanoakışkan kütleli debisi (kg/s)
h	: Isı Taşınım Katsayısı (W/m^2K)
ΔP	: Basınç Düşüşü (Pa)
V	: Hacimsel debi (m^3/s)
A_s	: Mikrokanal iç yüzey alanı (m^2)
C_{pf}	: Nanoakışkan özgül ısısı (J/kgK)
ρ	: Yoğunluk (kg/m^3)
V	: Hız (m/s)
\dot{Q}	: Isı transferi ($Watt$)
f	: Sürtünme Faktörü
Pe	: Pecklet sayısı
Gz	: Graetz sayısı
ΔT_{lm}	: Logaritmik sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)
$T_{çf}$: Nanoakışkanın mikrokanaldan çıkış sıcaklığı
T_{gf}	: Nanoakışkanın mikrokanala giriş sıcaklığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

P	: Motor gücü (Watt)
U	: Akışkan Hızı (m/s)
V_r	: Radyal hız bileşeni
V_x	: Eksenel yönde hız
σ	: Standart sapma
\dot{W}_{pompa}	: Pompa gücü (Watt)
$\dot{W}_{elekt.harcanan}$: Elektriksel harcanan güç (Watt)

KISALTMALAR

CFD	: Computational fluids Dynamics
CNT	: Karbon nanotüpler
EG	: Etilen glikol
HAD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
SDBS	: Sodyum dodesil benzen sülfanat
SEM	: Scanning Elecktron Microscope
TEM	: Transmission Elecktron Microscope

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen sanayi ile makinaların çoğalması, değişen ve her geçen gün artan dünya talepleri, enerji sektörünün büyümesi, yeraltı kaynaklarının giderek azalması bilim çevresinin alternatif yakıtlara yönelmesine ve elde edilen enerjinin verimli kullanımına neden olmuştur. Zira talep edilen enerjinin çok az miktarları alternatif enerji türlerinden karşılanmaktadır. (Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi vb.)

Termodinamiğin 3. Kanunu ve ekserji analizi eşliğinde enerjinin bir sistemden bir sisteme dönüşünde çevresiyle ısı alış-verişi yapması ve sistem döngüsünün devamı için atık ısı diye tabir edilen ısının sistemden çıkarılması gerekmektedir (Karacaylı 2016). Özellikle taşıt ve ağır iş makinalarında ısının önemli bir kısmının soğutma yoluyla motordan uzaklaştırılması gerekir. Çalışan bir makinenin doğru bir şekilde ve doğru sıcaklık aralığında soğutulması, sürtünmenin fazlaca görüldüğü yüzeylerde makinenin hem verimi hemde uzun süre çalışması için önem arz etmektedir. Günümüz şartlarında egzoz emisyon değerlerinin düşürülmesi için, iyi ve doğru soğutma sağlamak artan motor güçleri ve motor sıcaklıkları nedeniyle zorlaşmış, radyatör için ayrılan hacimler ise sabit kalarak radyatörlere ek soğutma yükü çıkmıştır (Erdoğan 2016).

Bu sebeple soğutma sistemlerinde verimin artırılabilmesi amacıyla nano boyutta parçacıkların geleneksel soğutucu baz akışkanlar içerisine belirli oranlarda eklenerek oluşturulan nanoakışkanlar üzerinde yürütülen çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Mikro ve makro soğutma sistemlerinde metal parçacıkların yüksek ısı iletkenliğinden yararlanmak ana hedef noktasıdır. Özellikle Massachusetts Teknoloji Enstitüsü bu çalışmalarını bir üst çığaya taşıyarak nanoakışkanların nükleer uygulama alanlarında, ana reaktör soğutma ve acil durum soğutma sistemi ile reaktör çekirdeğinin soğutulmasında etkilerini araştırmaktadır (Buongiorno 2008).

Nanoakışkan (nanopartikül+baz akışkan) hazırlama aşamasında kullanılacak nano toz tanecik boyutları ve geometrik şekilleri, süspansiyon elde edilmesinde baz akışkan içerisine ilave edilen nano tozların hacimsel oranı, farklı nanoparçacık türleri (Al, Zn, Ti, Si, Cu vb) ile elde edilen tek faz ve çok fazlı karışımlar, geleneksel baz soğutucu akışkan (su, etilen glikol gibi) nazarında, karşılaştırmalı ısı iletkenlik ve ısı performans değerleri, sürtünme katsayısı, basınç düşüşü değişimi ölçüsünde pompalama gücü değişimleri, akış rejimine göre Reynolds ve Nusselt boyutsuz sayılarının değişimleri için birçok analitik ve deneysel çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır.

Nanoakışkanların soğutma sistemlerinde etkisi, kararlılık analizleri ve farklı nanoakışkan uygulamaları hakkında teorik ve deneysel çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Karakaya vd. (2018) çalışmalarında bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit malzemelerini içeren nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlemek için 50 nm boyutunda nano parçacıklardan oluşan süspansiyonun ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite ölçümlerini deneysel olarak gerçekleştirmiştir. En büyük ısı iletkenlik ve özgül ısı artışı bentonit içeren nanoakışkan ile elde edilmiştir. Genel anlamda ise nanoakışkanlar içerisinde bulunan 50 nm boyutunda nano taneciklerin oluşturduğu parçacık etkileşimi sebebiyle saf suya nazaran viskozitenin arttığı, ısı tutma ve ısı taşıma kapasitesinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Şahin vd. (2006) tarafından literatür çalışmaları yapılmış nanoakışkanların ısı transferini iyileştirmesine yönelik endüstriyel uygulamalar hakkında bilgi verilmiş, nanoakışkan hazırlamada dikkat edilmesi gereken noktalar ile nanopartikül katılan baz akışkanın ısı transfer performansını önemli derecede iyileşmesine sebep olan fiziksel olaylar maddeler halinde belirtilmiştir. Ayrıca nanoakışkan kullanımının endüstriyel uygulamaları ve gerekliliği belirtilmiştir.

Fuskele ve Sarviya (2017) çalışmalarında son zamanlarda nanoakışkan hazırlama ve nanoakışkan kararlılığı noktaları üzerine yazılmış makaleleri incelemiştir. İki adım yöntemi ile nanoakışkan hazırlama yönteminin, araştırmacıların büyük kısmı tarafından basit ve ekonomik oluşu nedeniyle kullanıldığı tespit edilirken metal oksit bazlı akışkanlar için daha kararlı akışkan elde etmek amacıyla iki adım yönteminin tek adım yöntemine göre tercih edildiğini belirtmiştir. Ayrıca çalışmasında çokça çalışılan nanoakışkanların uzun süre kararlılığını koruyabilmek adına daha çok teorik ve deneysel çalışmaların ihtiyacına dikkat çekmiştir.

Dilek (2008) çalışmasında nanoakışkan kavramını açıklayarak Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanları iki adım metodu ile farklı hacimsel oranlarda (%0.5, %1, %2, %4) ultrasonik karıştırıcıda karıştırarak incelemiştir. Çalışmasında nanoakışkanların stabilitesini (çökme kümeleşme SDBS miktarının kararlılığa etkisini) ve ısı iletkenliklerini araştırmıştır. Deneylerinde ısı iletkenlik ve hacimsel oran değişiminin hemen hemen lineer olduğu, tüm karışım oranlarında ısı iletkenliğinin baz akışkana göre daha büyük olduğu ve kullanılan farklı nanoakışkanın deney konularında birbirlerine oranla farklılıkları belirtilmiştir.

Literatürde en kapsamlı nanoakışkan hazırlamasına yönelik çalışma Xuan ve Li (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada oluşturulacak nanoakışkanın nasıl hazırlanması gerektiğinden süspansiyonun görünür ve deneysel sonuçlarından ve TEM görüntülerinden bilgiler verilmiştir. Süspansiyon hazırlanırken kullanılan en genel yöntemler üç çeşittir. Burada amaç nanoakışkan hazırlarken baz akışkana ilave edilen katı partiküllerin kümelenmesini engelleyerek kararlı bir süspansiyon elde etmektir.

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

Bu çalışmada sıcak tel metodu, nanoakışkanların termal iletkenliğini ölçmek için kullanılmıştır. Nano-akışkanların termal iletkenliğini artırıcı özelliği tespit edilmiştir.

Turgut (2010) ve Erdoğan (2016) çalışmalarını farklı hacim ve farklı özellikte nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini saptamak için 2 adım yöntemi ile elde edilmiş nanoakışkanlar ile yapmışlardır. Çalışmalarının ortak noktası her iki çalışmacı ultrasonik karıştırıcıda ultrasonik karıştırma zamanına 30 dk olarak karar vermiştir. 30 dakikadan fazla karıştırma süresinin belirgin etkisinin olmaması sebebiyle, literatürdeki birçok araştırmanın ortak noktası bu süre olmuştur.

Adlı (2013) tez çalışmasında kesit alanı dairesel bir boru içerisinde tam gelişmiş türbülanslı akışta farklı nanoakışkanlar kullanarak ısı transferi üzerindeki etkisini Dittus-Boelter korelasyonunda Einstein ve Brinkman viskozite modellerini kullanarak incelemiştir. Çalışmasında hacimsel parçacık oranının ne olması gerektiğini, farklı viskozite ve ısı iletim katsayısı modelleri için baz akışkan olarak su ve etilen glikol, nanoparçacık olarak ise Ag, Au,

Cu, CuO, Al₂O₃, TiO₂ kullanarak tablolar eşliğinde vermiştir. Nanoakışkanlar için varılan sonuç ısı iletim katsayısı yüksek olan metallerin az miktarda kullanılmasıyla önemli artışlar ortaya çıkması, ısı iletim katsayısı metallere göre düşük olan seramik nanoparçacıkların kullanılması durumunda ise, aynı oranda artışı sağlayabilmek adına daha yüksek miktarda seramik nanoparçacık kullanılması gerektiğini tablolar halinde belirtmiştir.

Gedik (2009) çalışmasında Al₂O₃-Saf su ve CuO-Saf su nanoakışkanlarını kullanarak sabit sıcaklıkta dairesel kesitte türbülanslı akım rejiminde zorlanmış taşınım ile ısı transferi ve basınç düşüşü değerlerini farklı hacimsel oranlarda (%0.5, %1 %2 ve %4) deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca her deney akışkanı için Nusselt ve Reynolds sayı değişimleri grafiksel olarak ifade edilmiştir. %2 derişimden büyük değerler için fark edilir bir etkinin olmadığı, ısı transferi artışının azaldığı, yüksek derişimler için çökelmelerin olduğu fakat yüksek hacimsel oranlarda CuO partiküllerin daha etkin, düşük derişimlerde ise Al₂O₃ partiküllerin daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Liu Lin vd. (2005) çalışmalarında çok duvarlı karbon nanotüpler içeren etilen glikol ve sentetik motor yağı bazlı süspansiyonlarda termal iletkenliği incelemiş TEM ve SEM görüntüleri alınmıştır. CNT (karbon nanotüpler) nanoakışkanlar iki adım yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Termal iletkenlik artışı hacimsel orana göre değişimi neredeyse lineer bir artış göstermiştir. CNT-etilen glikol %1, CNT-sentetik motor yağı %2 derişimdedir. Carbon nanotüp baz akışkana göre, hacimsel oranı %1 olan CNT-etilen glikol süspansiyonunda termal iletkenlik %12.4 oranında artarken, CNT-sentetik motor yağı (%2 hacimsel oran) süspansiyonu için, %30 arttığı belirtilmiştir.

Halelfadl vd. (2014) çalışmalarında karbon nanotüpler (CNT) içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini değişik konsantrasyon ve sıcaklık değerlerinde incelemiştir. Akışkanlar SDBS yardımıyla kararlı hale getirildikten sonra deneyler %0.0055 - %0.278 derişim oranı ve -20 ile 40°C sıcaklık aralıklarında yapılmıştır. Termal iletkenlik, nanopartikül hacimsel oranının ve sıcaklığın artmasıyla artış göstermektedir. Ayrıca nanoakışkanların soğutma verimliliği hem laminer hem türbülanslı akım için değerlendirilmiştir.

Turgut (2010b) çalışmasında, ısıl iletim katsayıları ve viskozite değişimleri üzerinde çalışmıştır. Çalışma denek grubunda su bazlı TiO₂, SiO₂, Al₂O₃ ve Etilen Glikol bazlı Al₂O₃ nanoakışkanlarını farklı hacimsel oranlarda ve farklı sıcaklıklarda inceleyerek çıkan sonuçları

Hamilton-Crosser ve Einstein modelleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak viskozitenin önemini soğutucu pompa maliyet açısından irdeleyerek etilen glikon bazlı nanoakışkanların su bazlı nanoakışkanlara göre daha düşük viskozite değerlerine sahip olduğu fakat Einstein modeli ile şartların tahmin edilemediği belirtilmiştir. Farklı sıcaklıklarda yapılan ısı iletkenlik ölçümlerinde ise ısı iletkenliğinin akışkan sıcaklığı ile değişmediğini gözlemlemiştir. Etilen Glikol bazlı Al_2O_3 (25nm) nanoakışkanı için ise %5 hacimsel derişimde en büyük ısı iletkenlik artışı %13.3 olarak gerçekleşmiştir.

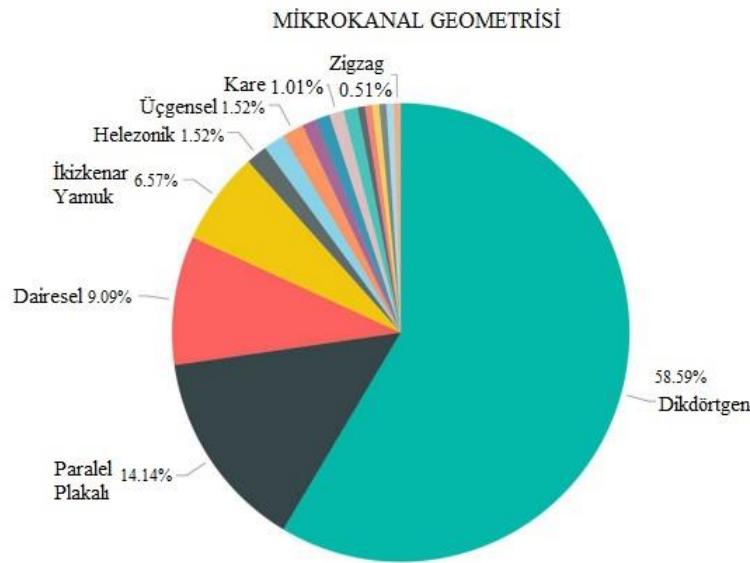
Elbasan (2016) elektronik sistemlerde nano akışkan kullanımının mikro kanal ve kanatçıklarda etkisini araştırmıştır. Elektronik sistemlerde yapılan bu tarz çalışmalara literatürde az rastlanmaktadır. Sıvı soğutmalı bir elektronik sistemde sabit debili ve değişken debili pompa yardımıyla saf su ve Al_2O_3 -Su süspansiyonu %1 hacimsel konsantrasyonunda ısı iletkenliği merkez noktada ölçen deneyler yapmıştır. Sonuç olarak hacimsel debi arttıkça merkez noktadaki sıcaklık farkının azaldığını görse de saf su yerine nano-akışkan kullanımının performansa 60, 120 ve 180 mL/dk hacimsel debilerde sırasıyla %8.25, %5.83 ve %3.53 etkisini belirtmiştir. Öte yandan aynı debilerde sırasıyla %2.9, %8.54, %12.1 soğutucu pompa elektrik tüketim artışı gözlemlenmiştir.

Salman (2012) çalışmasında 50 μm çap ve 250 μm uzunluğunda iki boyutlu mikrotüpte ısı transferini sabit ısı akısında laminer rejimde özellikle Nusselt sayısı ve Reynolds sayısı değişimini sonlu hacim yöntemi metoduyla sayısal olarak incelemiştir. Farklı nanopartikül boyutlarında 25, 45, 65 ve 80 nm ve Al_2O_3 , CuO, SiO_2 , ZnO nanoakışkanları ile %1 ve %4 hacimsel oranında değişen deneyler yapmıştır. Süspansiyon baz akışkanı olarak etilen glikol (EG) kullanılmış ve 10 ile 1500 arasında değişen Reynolds sayılarında inceleme yapılmıştır. Yapılan çalışma eşliğinde SiO_2 -EG en yüksek Nusselt sayısına sahip olurken en düşük ise partikül ilavesiz etilen glikolda varılmıştır. Tüm süspansiyon çeşitlerinde Nusselt sayısı Reynold sayısı ile artarken, Nusselt sayısının, derişim ile ters orantılı olduğu yani azaldığı belirtilmiştir.

Kumar vd. (2018) çalışmalarında mikro ve nano yapılarda nanoakışkanların ısı transferi, termal performanslar ve ısı değıştiriciler yönünden yazılmış birçok makaleyi derlemiş ve gözden geçirmişlerdir. Çalışmaları eşliğinde inceledikleri yazılardan çıkan ortak sonuçları toparlayarak sunmuşlardır. Bu sonuçlardan bazıları;

- Metal parçacık içeren nanoakışkanlar baz akışkana göre çok daha yüksek termal iletkenliğe sahiptir. Bu sayede ısı değiştiricilerin ısı performansları artar.
- Bakır-su nanoakışkan, alümina-su nanoakışkanından daha ekonomiktir.
- Isı transferinde artış esas olarak nanoparçacık tipine, hacim konsantrasyonuna, çapına ve kanatların en boy oranına bağlıdır. Buna istinaden üçgen oluklu plaka ısı değiştirici performansı diğerlerine göre üstündür.
- Gliserin bazlı nano-akışkan soğutmalı mikro kanallı ısı alıcı en düşük sıcaklık değerine sahipken, su bazlı nano-akışkan soğutmalı mikro kanallı ısı alıcı en yüksek değere sahiptir. Ardından etilen glikol ve yağ bazlı nano-akışkan soğutmalı mikro kanallı ısı alıcılar gelmektedir.

Chamkha (2018) derleme çalışmasında nanoakışkan ve uygulamalarını; tüm dergi makalelerini üç ana katagoride analitik, deneysel ve sayısal olmak üzere incelemiş ve yayınlanmış makalelerde kullanılan mikrokanal geometrilerini grafiksel olarak belirtmiştir. Aynı şekilde araştırmacıların %63'lük bir bölümünün nanopartikül olarak alümina kullandığı söylenmiştir.



Şekil 1.1 Yayınlanan makalelerde kullanılan kanal geometrisi yüzdeleri dağılımı.

Nine vd. (2014) nanoakışkanların endüstriyel ve ticari kullanımlarda kalite kullanılabilirliği ve uzun süre güvenilirliği üzerine ısı borusu düzeneğinde bakır-su ve gümüş-su nanoakışkanları üzerine çalışmışlardır. Nanoakışkanların deneyden önce ve sonra TEM görüntüleri ile fiziksel görüntüleri karşılaştırılmış, nano parçacık boyutları açısından farklılıklar gözlemlenmiştir. Deneyden sonra TEM görüntülerinde akışkanadaki tanecik boyutlarının değiştiği ve ısı transfer

yüzeyinde istenmeyen birikmeler ve kümelenmelerin meydana geldiği bulunmuştur. Aynı zamanda düşük sıcaklıkta bile oksitlenmeye yatkın olduklarından metal nanopartiküllerin termal kararsızlıkları neticesinde pahalı soğutma sistemlerine zarar verebileceği belirtilmiştir.

Sohel vd. (2013) çalışmalarında 400 µm dairesel bir bakır mikrokanalda üç tip nanoakışkan (Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO-Su) kullanarak karşılaştırmalı termal performanslarını artıran viskozite nedeniyle ek pompa gücü ihtiyacını göz önüne almadan incelemiştir. Nanoakışkanlar için ısı iletkenlikte iyileşme; hacim artışı nedeniyle max. % 4 derişimde ve 1.5 m/s giriş hızında, saf suya oranla sırasıyla % 11.98, % 9.97 ve % 11.34 olarak gözlemlenmiştir. Yüksek yoğunluğa sahip oluşundan dolayı en yüksek Reynolds sayısı ve ısı transfer katsayısındaki artış CuO-Su süspansiyonunda gözlemlenmiştir. Reynolds sayısı için % 4.25, ısı transfer katsayısı için % 16.41'lik bir artış rapor edilmiştir. Karşılaştırmalı akışkan özelliklerinden yapılan bu çalışma eşliğinde sürtünme faktöründe en büyük azalma yine % 9.38'lik bir değer ile CuO-Su bileşiminde bulunmasından dolayı elektronik soğutucu olarak diğer bileşimlere göre daha etkin ısı transfer performansına sahip olduğu belirtilmiştir.

Erdoğan (2016b) çalışmasında Al_2O_3 , TiO_2 ve ZnO – Saf su nanoakışkanlarını farklı derişim ve hacimsel debilerde 400, 700 ve 1000µm dairesel peek ve paslanmaz çelik malzemesi borularında nanoakışkanların, ısı taşınım katsayısı, Nusselt sayısı ve basınç düşüşü değerleri için en uygun çap değerini Taguchi Yöntemi kullanarak deneysel ölçmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen ANOVA grafiği ile %55.2 ile en büyük etkinin yüzey sıcaklığı olduğu belirtilmiştir. Taguchi Yöntemi kullanılarak 18 deney vasıtasıyla gerçekleştirilen deneyler neticesinde en uygun mikrokanal çapı 400 µm ve en uygun nanoakışkan ise Al_2O_3 -Saf su süspansiyonu olarak belirtilmiştir. Çalışmaya göre saf su baz akışkana göre, Al_2O_3 -Saf su nanoakışkanı ısı taşınım katsayısında %21 iyileşme gösterirken basınç düşüşü değerinde %40 azalma ile pompa gücünde son derece iyi bir performansa sahip olduğu belirtilmiştir.

Yue vd. (2015) çalışmalarında manifoldlu bir ısı değiştirici performansını nanoakışkan kullanarak baz akışkana göre değişimlerini incelemiştir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 -Safsu kullanılmış ve süspansiyondaki nanopartikül parçacık boyutu etkisinin (boyutları 29-38-4 ve 47nm) laminer rejimde 100 ile 400 Reynolds sayısı aralığında pompalama gücü, Nusselt sayısı ve ısı performansa katkıları değerlendirilmiştir. Nanopartikül konsantrasyonu arttıkça Nusselt sayısı ve pompalama gücü artarken parçacık çapı arttıkça Nusselt sayısı ve pompalama gücünün azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca nanoakışkan kullanmanın termal performansa etkisi için

yüksek hacimsel derişimde fakat düşük Reynolds sayısında süspansiyon oluşturulmasının mikro soğutma sistemleri için uygun olduğu belirtilmiştir.

Iranidokht vd. (2013) çalışmalarında tek parçalı nanoakışkan (Al_2O_3 -EG, Cu-EG, TiO_2 -EG) ile çok parçalı nanoakışkan, (Cu-TiO-EG, Al_2O_3 - TiO_2 -EG) kullanımının pH değişimi neticesinde termal iletkenlik üzerine etkilerini incelemiştirlerdir. Nanopartikül karıştırılmasının istenmeyen sonuçlar verdiği termal iletkenliğin azalmasına sebep olduğu bunun yanı sıra nötr pH değerine göre pH değişiminin tüm nanoakışkanlarda termal iletkenliği artırıcı etkileri belirtilmiştir. pH değişimi ile beraber % 2 hacimde, Cu-EG, Al_2O_3 -EG ve TiO_2 -EG tek parçalı nanoakışkanlarda termal iletkenlik artışı sırasıyla % 37, % 13 ve % 18 bulunmuştur. Karışık nanoakışkanların termal iletkenlikleri için Brownian hareketi etkisi üzerine çalışmalar yapılarak, tek parçalı nanoakışkan iletkenliklerin daha yüksek olduğu, nanoparçacık karışım değerlerinin, ayrı ayrı tek parçalı nanoakışkanlar için bulunan termal iletkenlik değerleri arasında olduğu gözlemlenmiştir. pH değişiminin etkileri göz önüne serilerek nanoakışkan kararlılığı için kullanılacak SDBS pH'nın, baz akışkan ve nano partikül pH'na yakın olması gerektiği vurgulanmıştır.

Baheta vd. (2013) Al_2O_3 ve Cu su bazlı nanoakışkanları kullanarak termal iletkenlik artışı üzerinde çalışmıştır. Çalışmanın dikkat çekici yönleri 6-8-10-20 nm arasında değişen Al_2O_3 nanopartikül boyutları doğrultusunda parçacık boyutu arttıkça termal iletkenlik artışı azalmaktadır. Nano parçacık boyutunun etkileri verilerek 10 nm çaplı nanopartikül baz su deneyinde belirli hacim derişiminde Cu'nun termal iletkenlik artışının Al_2O_3 'ten fazla oluşunun sebebi Cu'nun termal iletkenliğinin fazla oluşu gösterilmiştir.

Beck vd. (2009) çalışmasında 8-282 nm arasında değişen ortalama parçacık çapında alümina-su nanoakışkanlarının değişen hacim derişimlerinde termal iletkenlik üzerine çalışmıştır. Termal iletkenlik ölçümü sıcak tel cihazı ile ölçülmüş ve ortalama parçacık çapı 50 nm kadar hacim derişimi ile termal iletkenlik parabolik artarken parçacık boyutu arttıkça termal iletkenlik artışının azaldığı ifade edilmiştir.

Haghighi vd. (2013) çalışmalarında 0.50 mm iç çap 30 cm uzunluğunda paslanmaz çelik boruda 5 farklı akışkan kullanarak nanoakışkanların ısı transferi, basınç düşüşü ve pompalama gücü karşılaştırılmıştır. Akışkan olarak Al_2O_3 (2 çeşit), TiO_2 (2 çeşit), ve CeO_2 (1 çeşit) %9 derişim oranında kullanılmıştır. Viskozite artışı, termal iletkenlik artış oranına göre çok daha yüksek

bulunurken uygulamalarda; laminer akışta, bu hacimsel derişimde eşit pompa g¼c¼ koşulunda nanaokışkan ve su karşılaştırıldığında hişbir avantajın olmadığı belirtilmiştir.

Alawi vd. (2018) Al₂O₃, CuO, SiO₂ ve ZnO nanoakışkanlarını değişen hacim oranlarında, farklı sıcaklıklar uygulamalarında, nanopartik¼l şekli ve çapının termal iletkenliğe etkilerini incelemiştir.

* 20-100 nm değişen nanopartik¼l çaplarında nanopartik¼l çapı arttıķa termal iletkenlik giderek azalmakta,

* % 1 - % 5 değişen hacim oranlarında hacim derişimi arttıķa termal iletkenlik değeri artmakta, fakat sıcaklık artışının termal iletkenliğe aynı derişim oranlarında pozitif katkısının olduğu,

* Nanopartik¼l şeklinin her bir nanaokışkanda termal iletkenliğe farklı etkileri olduğu, nanopartik¼l boyutu arttıķa dinamik viskoziteyi azaltıcı etkileri olurken sıcaklık artırımının dinamik viskoziteye etkisinin ¼nemsiz olduğu belirtilmiştir.

Lee ve Mudawar (2007) alışmalarında baz akışkan içerisine farklı derişimlerde Al₂O₃ ilavesinin soğutma-ısıtma kanalı boyunca ısı transfer değişimine etkilerini incelemiştir. Geleneksel soğutma sıvılarına nazaran tek fazlı tam gelişmiş laminer akış için ısı transferi ¼nemli ¼l¼de artarken, t¼rb¼lanslı akış için bu artışın çok zayıf kaldığı belirtilmiştir. Kanal boyunca irdelenen deney sonuçları neticesinde en y¼ksek ısı transfer katsayısına giriş b¼lgelerinde rastlanırken, çıkış b¼lgelerinde okelmeler dolayısıyla azalmaların t¼rb¼lans akış için iyileştirmeyi azaltıcı fakt¼rlerin başında y¼ksek nano partik¼l konsantrasyonu olduğu belirtilmiştir.

şahin ve Namlı (2018) tarafından nanoakışkanların kararlılık ¼zelliklerinin, ısı iletim katsayısındaki etkilerini inceleyen araştırmalar karşılaştırılmıştır. Nanoakışkanların kararlılık s¼releri yani baz akışkan içerisinde homojen olarak dağılma s¼releri end¼striyel çalışmalar için en ¼nemli sorun olduğu uygulamalar için kararlılık s¼relerini artırıcı farklı y¼ntemler ile deneysel çalışmalar yapılması gerektiği belirtilmiştir. Aynı derişim ve nanopartik¼l iħtiva eden nanoakışkanlar için kararlılık y¼ntemine bağlı olarak ısı iletim katsayısında farklı oranlarda iyileşmelerin olduğu ve bu iyileşme derecesinin okelme ¼nleyici y¼zey aktif madde veya ultrasonik karıştırıcı kullanma ile değiştiği tablolar halinde ilgili araştırmalarca sunulmuştur.

Buraya kadar nano parçacıkların baz akışkan içerisine ilave edilmesiyle termofiziksel özelliklerin değişimleri, parçacık boyutu, şekli ve nanoakışkan sıcaklığının etkileri deneysel ve analitik olarak verilmeye çalışılmıştır. Nanoakışkan stabilitesi hazırlanma aşamalarında dikkat edilen hususlar, soğutucu kanal geometrilerinin ve akış rejiminin pozitif negatif etkileri yazılmış makaleler eşliğinde irdelendi. Bu kısımda ise CFD (Computational Fluid Dynamics) Ansys ticari yazılımı ile nanoakışkanlar üzerine yapılan deneysel ve analitik literatür çalışmaları incelenmiştir.

Kaya ve Arslan (2015) konferans bildirisinde iç çapı 150 mikrometre olan yarı dairesel kesitli kanalda ve sabit ısı akısında ($q=10 \text{ kW/m}^2$), 300 K giriş sıcaklığında Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörünü CFD analizi ile incelemiştir. Araştırmada akışkan olarak Su-Etilen Glykol ve Makine Yağı kullanılmıştır. 10^2 ile 10^3 aralığında değişen Reynolds sayılarında karşılaştırılan akışkanlar doğrultusunda Reynolds sayısı arttıkça Darcy sürtünme katsayısı azalmış, sürtünme ve ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına bağlı olduğu belirtilmiştir.

Kaya ve Arslan (2015) çalışmasında CuO-Su nanoakışkanının nanaopartikül büyüklüğüne göre ısı transferini araştırmıştır. $0.01\text{m} \times 0.01$ kare kesitte 20 kW/m^2 sabit ısı akısında, 3m uzunluğunda kare kanalda yapılan CFD analizine göre 10^4 ile 10^5 arasında değişen Reynolds sayılarında ve % 0 ile % 4 arasında değişen hacim konsantrasyonunda, nanopartikül çapının arttırılması, ortalama ısı transferini azaltırken, nanoakışkan hacim konsantrasyonunun arttırılmasının ısı transfer katsayısını arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek ısı transferindeki artış, en yüksek Reynolds sayıları üzerinde gerçekleşirken, Reynolds sayısının artması sürtünme faktörünün azalmasına neden olup, artan hacim konsantrasyonu nedeniyle viskozitenin artması sonucu sürtünme faktörünün de arttığı belirtilmiştir.

Hasan vd. (2009) çalışmalarında mikrokanaal yapıda ısı değiştiriciler için en uygun geometriyi bulmayı hedeflemiştir. Çalışmalarında aynı koşullar altında kanal şekilleri olarak dairesel, kare, dikdörtgen, izo-üçgen ve yamuk gibi şekilleri kullanmışlardır. Isı değiştiricide aynı hacim için kanal sayısının arttırılması basınç düşüşünde artışa sebep olurken ısı transferi ve basınç düşüşü parametrelerinde en uygun sonuç veren kanal geometrisi dairesel kesit olurken dairesel kesit sonrasında ise kare kesit olduğu belirtilmiştir.

Erdem vd. (2018) çalışmalarında 200 mm boyunda 15 mm çapında 0,415 mm et kalınlığında dairesel bir kanalda sabit Reynolds sayısında ($Re=2250$) değişen manyetik alan koşullarında

lityum sıvısını CFD ticari yazılımında incelemişlerdir. Değişen manyetik alan koşullarının lityum sıvısı üzerinde basınç-sıcaklık ilişkileri çalışılmıştır. Manyetik alan artması sıcaklık değerlerini düşürürken kanal boyu boyunca basınç değerlerini yükseltmiştir. Sıvı lityum için artan manyetik alanın etkisi ile soğutmayı iyileştirdiği açıkça belirtilmiştir

Balla vd. (2013) çalışmalarında su baz akışkanına farklı hacim konsantrasyonlarında hibrid CuO, Cu ve CuO-Cu nanopartikülleri ekleyerek su baz akışkana göre basınç düşüşü ve ısı transferi değişimlerini incelemiştir. Çalışmada literatür denklemleri ve CFD simülasyonu dairesel boruda yapılmış olup nanoakışkanların, termal iletkenlik ile beraber ısı transfer katsayısını arttırdığı belirtilmiştir. Basınç kaybının; Reynolds sayısı ve partikül hacminin artmasıyla arttığı tespit edilirken, artan Reynolds sayısının etkinliği ısı transferinde en büyük etkiye sahip olduğu açıklanmıştır.

Yarmand vd. (2014) çalışmalarında, Al₂O₃, ZnO, CuO, and SiO₂ nanoakışkanları % 1 ile % 5 oranında değişen hacim konsantrasyonunda su baz akışkanına eklenerek 5000<Re<25000 aralığında dikdörtgen bir kanalda incelemişlerdir. CFD simülasyonu yapılarak simülasyon ve literatür denklemleri her bir nanoakışkan ve baz su için kıyaslanmıştır. Karşılaştırma ısı transfer katsayısı, termal iletkenlik ve Nusselt sayısı üzerine yapılmış olup SiO₂ nanoakışkanı en büyük Nusselt sayısı değerine sahip olurken düşük ısı iletkenliği sebebiyle en düşük ısı transfer katsayısına sahiptir

Arslan (2014) çalışmasında iç çapı 46 mm, boy uzunluğu 2000 mm yarım dairesel kesit geometrisinde, Reynold sayısı 10⁴ ile 5.5x10⁴ aralığında değişen ve 0.7 Pr sayısında CFD ticari programının türbülans ara yüzlerini konu edinmiştir. CFD arayüzünde türbülans modelleri olarak k-ε Standard, k-ε Realizable, k-ε RNG, k-ω Standard ve k-ω SST bulunur ve model şartlarında bu türbülans modellerinin sonuca yaklaşımda çözüm sonuçları arasındaki farklılıklar çalışma konusu olmuştur. Hidrodinamik ve ısı gelişen rejimde 3D analizlerde karşılaştırma parametreleri olarak, ortalama Nusselt sayısı, ortalama sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısı baz alınmış, model ara yüzleri arasında literatür çalışmalarına en uygun ve birbirleri arasında en yakın sonuçların k-ε Standard, k-ε Realizable, k-ε RNG olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yapılan çalışma neticesinde artan Reynolds sayısı ortalama Nusselt sayısını arttırırken, ortalama sürtünme faktörünü azaltıcı etkisi olduğu belirtilerek, Nusselt sayısı ve Sürtünme faktörü için yeni korelasyon literatüre kazandırılmıştır.

Ghatage vd. (2017) çalışmalarında Al_2O_3 -Su nanoakışkanını farklı hacim derişimlerinde farklı Reynolds sayılarında, sabit duvar sıcaklığında tek faz ve iki faz model yaklaşımı ile Ansys 13.0 ticari yazılımında incelemiştir. Ticari yazılım şartları ile aynı zamanda hazırlanan deney seti ile doğrulama çalışması yapılmıştır. Sabit Reynolds sayısında ısı transfer katsayısındaki artış nanopartikül konsantrasyonu ile artarken iki faz model yaklaşımı, tek faz model yaklaşımına göre daha tahmin edilir sonuçlar verdiği belirtilerek Ansys 13.0 ticari yazılımı ile yapılan çalışmalar deney setiyle yapılan çalışmalarla türbülanslı akımda, değişen hacim konsantrasyonlarında birbirlerini destekleyici sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Jehad vd. (2015) çalışmalarında 1,7 m uzunluğunda 0,014 m çapında yatay dairesel kesit kanalda, türbülanslı rejimde, sabit ısı akısı (13381 W/m^2) altında 36 nm boyutunda Fe_3O_4 -Su nanoakışkanını CFD ticari yazılımı ile 3D olarak incelemiştir. Çalışma 5000 ile 20000 arasında değişen Reynolds sayısı aralığında ve % 0.1-0.6 derişim oranlarında ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü katsayısı değişimini incelemek amacıyla CFD analizi ile alınan sonuçlar, literatür denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Artan Reynolds sayısı ile Nusselt sayısı artarken bu artımın ısı transferini arttırdığı ve sürtünme katsayısını düşürdüğü söylenirken oluşturulan geometri modelinin bu koşullar altında literatür denklemleri ile tam örtüştüğü belirtilmiştir.

Patel vd. (2015) çalışmalarında 1 m boyunda ve 10 mm çapında dairesel kesit kanalda sürtünme faktörü katsayısı ve basınç artışını Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nano-akışkanlarını kullanarak, saf su baz akışkana göre değişimini karşılaştırmalı olarak CFD Ansys Fluent programı ile incelemiştir. % 1 hacim konsantrasyonu ve 0.05 W ile 0.5 W pompa gücünde yapılan çalışma aynı zamanda deney seti ile yapılan deneyler ile karşılaştırılmıştır. Değişen iç çap değerlerine göre tablolar hazırlanarak 10 mm ile yapılan deney ve simülasyon sonuçları arasında yüzdelerik hata payı 10.64 olarak bulunmuş ve baz akışkana nano partikül ilave edilmesinin basınç artışına sebep olduğu belirtilmiştir.

Ting ve Hou (2015) çalışmasında zorlanmış laminer akış koşullarında sabit ısı akısında kare kesitli kanalda 25 nm partikül boyutlarında Al_2O_3 -su nanoakışkanının ısı transferi üzerine etkilerini farklı hacim konsantrasyonlarında boyutsuz Nusselt ve Peclet sayıları etkinliğinde incelemiştir. Çalışma 1 metre boy, 1 cm^2 yüzey alanına sahip kare kesit kanalda %0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, ve %2.5 hacimsel oranlarda deneysel ve simülasyon koşullarında yapılmıştır. Isı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı artan hacim konsantrasyonu ve Peclet sayısı ile artmaktadır. 7500 Peclet sayısında ve %2.5'lik hacim konsantrasyonunda baz akışkana göre Al_2O_3 -su

nanoakışkan ısı transfer katsayısında % 25.5'lik bir artış gösterirken aynı sabit değerlerde efektif ısı iletkenlik değişimi % 9.98 olarak ölçülmüştür. Deneysel ve simülasyon model arasında hata payının %6 aralığında olduğu ve yapılan simülasyonun tüm hacim konsantrasyonlarında gerçeğe yakın sonuçlar verdiği grafiklerle belirtilmiştir.

Pandey (2011) tezinde 215 µm genişlik 821 µm derinlik ve 4.48 cm uzunluğunda dikdörtgen kanal ile 0.0005 m çap ve 0.1 m uzunluğunda dairesel kanalda nanoakışkan kullanımının ısı transferi üzerine etkilerini nümerik ve CFD analizi ile incelemiştir. Her iki kanal kesitinde parametreler; sıcaklık 30 °C ve 100 W/m² sabit ısı akısında gerçekleşirken giriş ve çıkış sıcaklıkları % 10-15 kadar değişim ile simülize edilmiştir. Laminer ve türbülanslı rejimde % 2 ve % 5 hacim derişimde Al₂O₃ kullanılmıştır. Tamamen gelişmiş akım için giriş uzunluğu nanoparçacık konsantrasyonuna bağlı olup, konsantrasyon arttıkça ısı transfer katsayısı artarken, dikdörtgen kanal girişinde daha büyük ısı transfer katsayısı elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca girişten çıkışa doğru sıcaklık Reynolds sayısındaki azalma ile arttığı Reynolds sayısındaki artışın ise basınç düşmesini arttırdığı ifade edilmiştir.

Parlak N. (2010) çalışmasında adyabatik ve sabit yüzey sıcaklığı sınır şartlarında mikro boruda 0.01 ve 10 mL/dk arasında değişen hacimsel debide deiyonize su kullanılarak laminer akış için ısı transferi deneysel ve bilgisayarlı simülasyon ile incelemiştir. Deneysel için 3 farklı malzeme paslanmaz çelik, ergimiş silis ve polimer olmak üzere, uzunluğu 5 ile 20 cm arasında 50 ile 180 µm çaplarında değişen dairesel kesitli mikro borular kullanılmıştır. 20 ile 3200 arasında değişen Reynolds sayılarında deneysel ve bilgisayarlı simülasyon koşullarında sürtünme faktörü, ısı taşınım katsayısı ve Nusselt değerleri incelenmiştir. 1000<Re<4000 aralığında bilgisayarlı simülasyona göre 150 µm pürüzsüz borular için basınç düşüşü ile sürtünme faktörü analizleri neticesinde laminer bölgede Hagen-Poiseuille, türbülanslı bölgede ise Blasius denklemleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. 100-180 µm çapında mikro kanallar için Reynolds sayısı değişiminin Nusselt sayısı değişimi üzerine, yapılan deneyler neticesinde tek fazlı zorlanmış deiyonize su akışı için;

$$300 < \text{Re} < 1600 \quad \text{Nu} = 0.0214 \text{Re}^{0.67} \text{Pr}^{0.33}$$

$$2500 < \text{Re} < 5200 \quad \text{Nu} = 0.0067 \text{Re}^{0.87} \text{Pr}^{0.33} \quad \text{bağıntıları önerilmiştir.}$$

Bu çalışmanın diğer çalışmalara göre özgün tarafı sabit boru malzemesi ve sabit yüzey sıcaklık şartlarında 400 μm çap ve 20 cm uzunluğunda dairesel kesit kanalda farklı hacimsel debilerde (20-23-26-29-32-35-38-41-45-50 mL/dk.) ve 0.5 derişim oranında nanoakışkan kullanım etkilerinin deneysel ve bilgisayarlı simülasyon koşullarında araştırılmasıdır. Nanoakışkan olarak ZnO (18nm) ve Al₂O₃ (13nm) partikülleri kullanılmıştır. Giriş bölümünde örnekleri verilen sınırlı sayıdaki literatür çalışmalarına göre akış laminer ya da türbülanslı hidrodinamik ve ısı gelişmiş durumlarda incelenmiş, kanal boyu ya çok kısa ya da çok çok uzun seçilmiştir. Bu çalışmada ise boru uzunluğu 20 cm seçilmiş, deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ticari paket programı ile karşılaştırmalı incelenerek akış karakteristiği tanımı yapılmıştır. Ayrıca boyutsuz Nusselt sayısı için yeni bir bağıntı sonuç kısmında önerilmiştir.



BÖLÜM 2

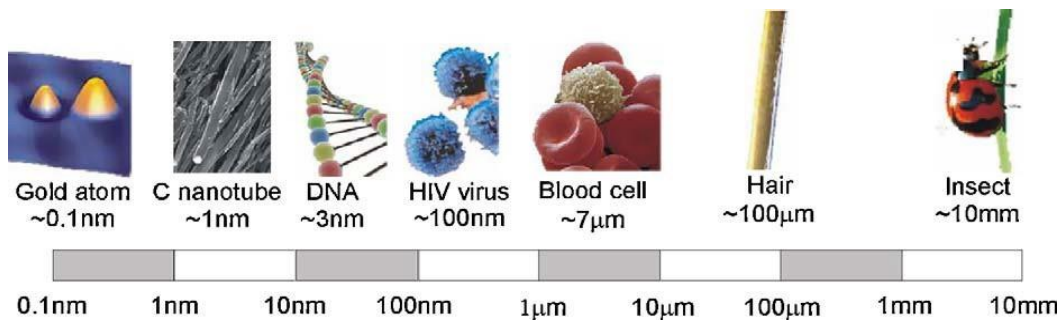
TANIMLAR-TEMELLER

2.1 MİNİ/MİKRO/MAKRO KANALLAR

Hidrolik çapı 1-100 μm arasında değişen kanallar mikro kanal olarak adlandırılmaktadır. Daha sağlam ve uzun ömürlü, daha ucuz ve daha hafif olmaları neticesinde küçük ölçekli kanallardan oluşan sistemler literatür ve uygulamadaki faydaları sebebiyle mühendislik alanlarının temelini oluşturmaktadır. Küçük ölçekli yapılar sayesinde kullanılan parçaların daha az yer kaplaması, ucuz nakliye, az enerji ihtiyacı ve yüksek ısı akıları sebebiyle uygulamada mini/mikro/makro kanallar ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, dış çapı 400 μm , iç çapı 381 μm paslanmaz çelik malzemesinde mini kanal kullanılmıştır. Çalışma basınç aralığı 400-1523 bar iken maksimum sıcaklık dayanımı 289 $^{\circ}\text{C}$ ve 200 mm uzunluğunda dairesel kesitli kanal seçilmiştir. Çizelge 2.1’de kanal çaplarına göre sınıflandırma yer alırken Şekil 2.1’de ise nanometre, mikrometre ve milimetre ölçeklerini daha iyi betimlemek adına görseller verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kanalların boyutlarına göre sınıflandırılması.

Kanal Adı	Canay 2007	Grande 2004
Mikro Kanallar	$1 \mu\text{m} < D_h < 100 \mu\text{m}$	$10 \mu\text{m} < D_h < 200 \mu\text{m}$
Mini Kanallar	$100 \mu\text{m} < D_h < 1\text{mm}$	$200 \mu\text{m} < D_h < 3 \text{mm}$
Geçiş Bölgesi Kanalları	$1 \text{mm} < D_h$	$3 \text{mm} < D_h$



Şekil 2.1 Uzunluk skalasının görsel ifadesi (Serrano vd. 2009).

2.2 NANOAKIŞKANLAR

Günümüz soğutma sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricilerinde soğutucu akışkan olarak en yaygın su, etilen glikol ve motor yağı kullanılır. Fakat bu geleneksel akışkanların soğutma kapasiteleri sistem içinde sınırlıdır. Aynı boyutlarda ısı değiştiriciyi değiştirmeksizin ısı performans arttırmanın yolu soğutucu akışkan ısı tutma kapasitesini yani ısı performansını arttırmaktan geçer. Bu nedenle soğutucu baz akışkan içerisine yüksek ısı iletim katsayısına sahip katı partikül ilavesiyle oluşturulan süspansiyonlar mühendislikte araştırılan konular arasına girmiştir. Baz akışkan içerisine belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen nanoakışkanların en büyük katkıları: maliyet ve enerji tasarrufu sağlayarak uygulamada daha etkili akış, yağlama ve ısıl performansta artış sağlamasıdır (Goharsadi 2013).

2.2.1 Nanoakışkan Türleri

Nanoakışkan hazırlama aşamasında kullanılan nanopartikül çeşitliliği çok fazladır ve türlerine göre dört gruba ayrılır. Üretim kolaylığı sebebiyle tercih edilen ilk ürün seramik nanoakışkanlardır. Örnek olarak: SiC, SiO₂, TiC, TiO₂, CeO₂, CuO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Fe₃O₄, ZnO₂, WO₃ verilebilir. İkinci ürün saf metal nanoakışkanlar olarak bilinen Ag, Au, Cu, Fe, Ni gibi tek fazda saf metallerdir. Bu metallerin seçilme sebepleri yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmalarıdır. Üçüncü ürün ise alaşım ürünleri olarak kullanılan ve birkaç metalin ergime yoluyla oluşturduğu yeni bir üründür. Örnek verecek olursak Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu. Son ürün ise karbon esaslı, yapısında çift veya çok duvarlı karbon atomları bulunan ve diğer ürünlere nazaran çok daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip üründür.

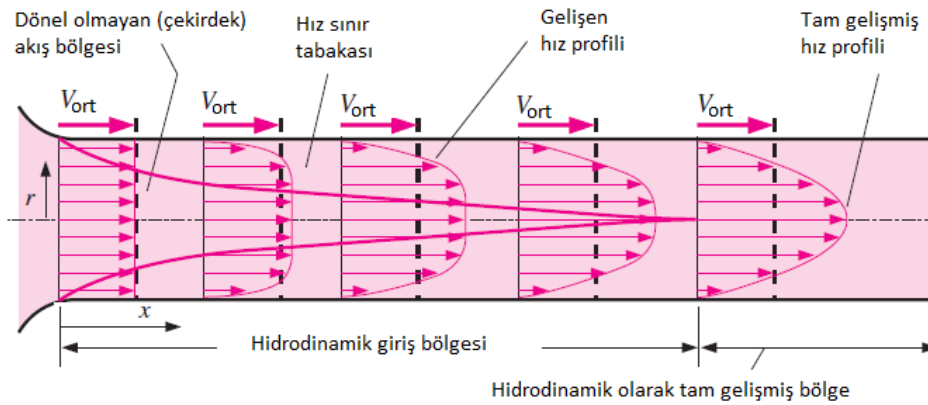
2.2.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri

Literatür araştırmalarında çokça kullanılan yöntemler tek adım yöntemi ve iki adım yöntemi olmak üzere 2 çeşittir. Tek adım yönteminde nanoakışkanlar baz akışkan ile sentezlenerek tek bir işlemlle elde edilir. İşlemlde kullanılan yöntemler: vakum buharlaştırma yöntemi, kimyasal ıslatma yöntemi, lazer ablasyon yöntemi ve tozaltı nanoparçacık sentez yöntemi olarak sıralanır. Tek adım yönteminde metal nanopartiküller akışkan ile birlikte havayla teması engellenerek sentezlenir. Ayrıca işlem basamaklarında yüksek homojenlik sayesinde çok daha iyi süspansiyonlar elde edildiğinden diğer yöntemlere göre daha kararlıdır (Şahin 2018). İki adım yöntemi ise literatür araştırmalarında en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde

nanoakışkanlar, toz halinde elde edilen nanopartiküllerin temel akışkan içerisine belirli oranlarda ilave edilmesiyle oluşur. Bu yöntemle ucuz ve kolay süspansiyon elde edilmesine rağmen baz akışkan içerisine partikül ilave edilmesi nedeniyle oluşan süspansiyonun çok iyi homojenize edilmesi gerekmektedir. Partiküllerin süspansiyon içerisinde kümeleşmesini engellemek amacıyla yüzey katkı maddesi (SDS) ilavesi sonrası ultrasonik homojenizatör kullanılır. Bu çalışmada nanoakışkanlar iki adım yöntemi ile hazırlanmış olup akışkan kütlesine göre SDS miktarı hesaplanarak Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

2.3 AKIŞ REJİMLERİ

Boru içindeki akış, hız şartına bağlı olarak laminar veya türbülanslı olabilir. Düşük hızlarda hız akımı çizgili, vektörel dolayısıyla laminardır. Fakat hız kritik değerin üstüne çıktığında akım çizgileri karmaşıklaşır farklı boyutlarda hareket izlenir. Akım, türbülanslı akışa aniden geçmez bir geçiş bölgesi oluşabilmektedir. Gelişmiş ortalama hız profili laminar akışta parabolikken türbülanslı akışta girdap hareketleri ile beraber oluşan ortalama hız profili daha basık ve doludur. Akımın mesafeye bağlı hız profili Şekil 2.2’de verilmiştir (Çengel vd. 2011).



Şekil 2.2 Bir boruda sınır tabakanın gelişimi (Çengel vd. 2011).

Boru kanal içinde akışın hem hidrodinamik hem de ısıl olarak gelişmiş olduğu dolayısıyla hız ve boyutsuz sıcaklık profillerinin değişmeden kaldığı bölge, tam gelişmiş akış olarak adlandırılırken sıcaklık profiline değişmeden kaldığı bölgeye ise ısıl tam gelişmiş bölge denir.

$$\text{Hidrodinamik tam gelişmiş: } \frac{\partial u(r, x)}{\partial x} = 0 \quad u=u(r) \quad (2.1)$$

Isıl tam gelişmiş:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s(x) - T(r, x)}{T_s(x) - T_m(x)} \right] = 0 \quad (2.2)$$

Hidrodinamik ve ısı giriş uzunlukları ise sırasıyla denklem 2.3 ve 2.4 ile verilmiştir.

$$\left[\frac{X_f}{D} \right]_{laminar} = 0.05 Re_D Pr \quad (2.3)$$

$$\left[\frac{X_f}{D} \right]_{türbülans} = 10 \quad (Re_D \text{ ve } Pr \text{ sayısından bağımsız}) \quad (2.4)$$

2.4 BOYUTSUZ SAYILAR

Çizelge 2.2 Boyutsuz sayılar ve tanımları.

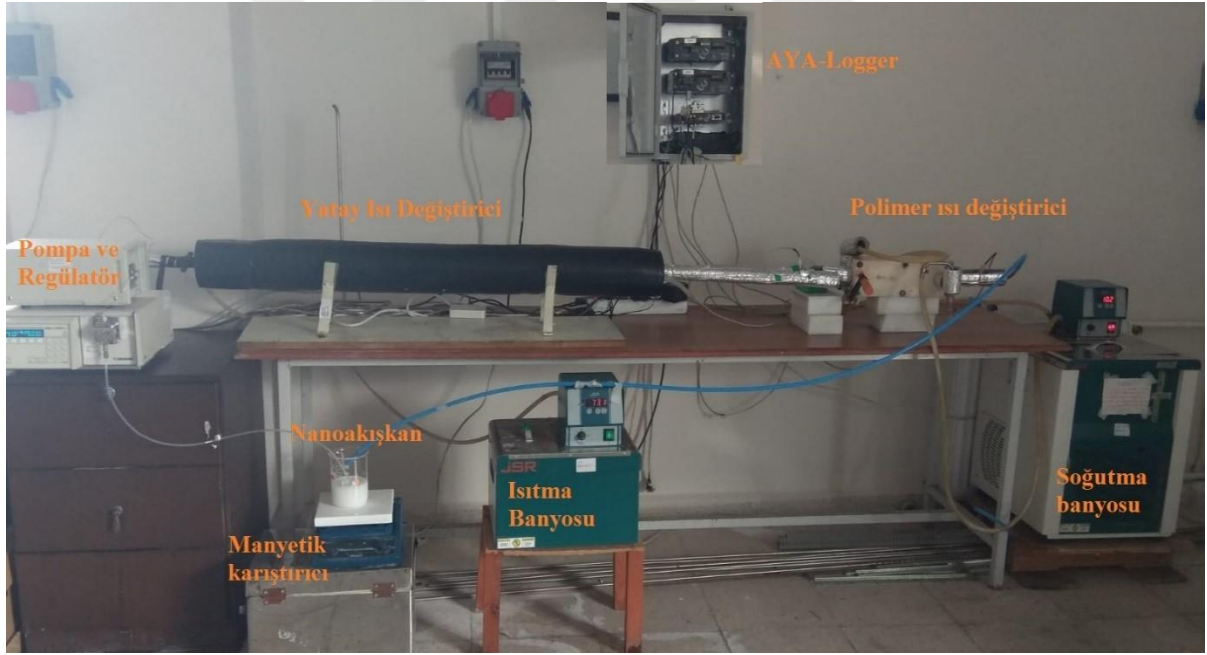
Boyutsuz sayı	Tanım	Formül	Bileşenler
Reynolds sayısı	Atalet Kuvveti / Vizkoz Kuvveti Laminar Türbülanslı 2300 ≤ Re _D ≤ 4000 Geçiş Bölgesi	$Re_D = \frac{UD_h}{\nu}$	U : Akışkan Hızı (m/s) D _h : Hidrolik Çap (m) ν : Kinematik Vizkozite (m ² /s)
Prandtl Sayısı	Momentum Difüzyonu / Isıl Difüzyon	$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{C_p \mu}{k}$	C _p : Özgül Isı (kJ / kg °C) μ : Dinamik Vizkozite (Pa s) k : Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK) α : Isıl Yayınma Katsayısı (m ² /s) ρ : Yoğunluk (kg/m ³)
Nusselt Sayısı	Akışkanın Taşınım ile Isı Aktarımı / Akışkanın İletim ile Isı Aktarımı	$Nu = \frac{hD_h}{k}$	h : Isı Taşınım Katsayısı (W/m ² K) D _h : Hidrolik Çap (m) k : Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
Pecklet Sayısı	Zorlanmış Taşınım ile Difüzyon / Isıl Difüzyon	$Pe = Pr Re = \frac{UD_h}{a}$	Pr : Prandtl sayısı Re : Reynolds sayısı
Graetz Sayısı	Ortalama Nusselt Sayısının tersi Gz > 10 Isıl Giriş Bölgesi	$Gz = Re Pr \frac{D}{L}$	Pr : Prandtl sayısı Re : Reynolds sayısı D _h : Hidrolik Çap (m) L : Kanal Boyu (m)

BÖLÜM 3

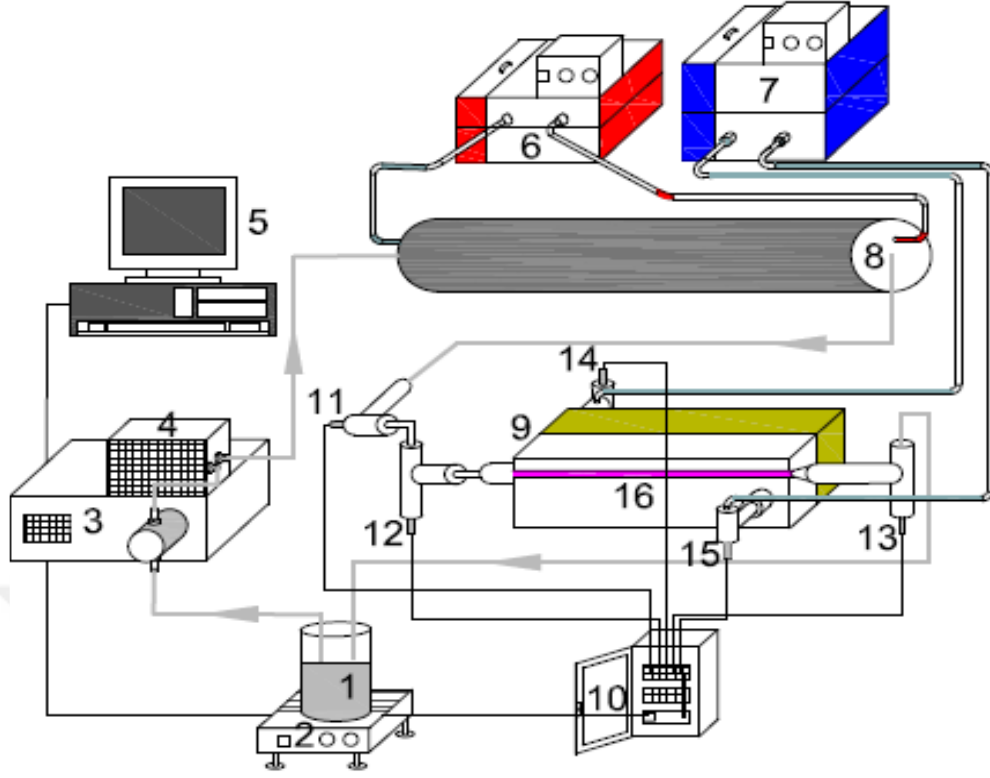
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MİKROBORU DENEY SETİ

Tez aşamasında kullanılan deney düzeneğinin şeması ve bağlantılar bir sonraki Şekil 3.2’de daha detaylı verilmiş olup Şekil 3.1’de ise deney düzeneği fotoğraf görüntüsü sunulmuştur. Kullanılan teçhizatlar gösterilmiştir. Deney setindeki teçhizatlar bu bölümde açıklanacak olup deneylerin yapılışı izah edilmiştir.



Şekil 3.1 Mikro boru deney seti.



Şekil 3.2 Deney setinin şematik görüntüsü.

Çizelge 3.1 Şekil 3.2'deki deney setinde bulunan malzeme ve cihazlar.

1: Nanoakışkan Tankı	9: Polimer Isı Değiştirici
2: Manyetik Karıştırıcı	10: Veri Toplayıcı (AYA-Logger)
3: Pompa	11: Basınç Sensörü
4: Regülâtör	12: Sıcaklık Sensörü (Nanoakışkan Giriş)
5: Bilgisayar	13: Sıcaklık Sensörü (Nanoakışkan Çıkış)
6: Isı Banyosu (Isıtma)	14: Sıcaklık Sensörü (Yüzey Soğuma Giriş)
7: Isı Banyosu (Soğutma)	15: Sıcaklık Sensörü (Yüzey Soğuma Çıkış)
8: Paslanmaz Çelik Isı Değiştirici	16: Mikro Boru

Çizelge 3.1 ve Şekil 3.2 ile verilen deney düzeneğinde deneyin yapılışı, kullanılan cihazların görevleri; iki adım yöntemiyle hazırlanan nanoakışkan(1) pompa yardımıyla sistem içerisine basılır. 3 numara ile temsil edilen pompa vasıtasıyla debi 20-23-26-29-32-35-38-41-45-50 mL/dk olarak her deney için ayarlanabilmektedir. Pompa ani basınç düşmesi ve azalma önleyici regülâtör(4) yardımıyla nanoakışkan 8 numaralı yatay ısı değiştiricisine aktarılır. Yatay ısı değiştiricisi çıkışında, ısı banyosu sayesinde(6), sıcaklığı 45°C olan nanoakışkan ısı değiştiricisini terk ederek polimer ısı değiştiricisine gider. Polimer ısı değiştiricisi öncesi giriş sıcaklığı ve giriş basıncını ölçmek için sensörler buradan aldıkları veriyi 10 numaralı veri

toplayıcısına iletirken bu veriler ana bilgisayarda(5) grafik halinde anlık değişimleri gözlemlenir. Polimer ısı değiştiricisinden(9) çıkan nanoakışkan sıcaklığını ölçmek için çıkışta bir adet sıcaklık sensörü bulunur. Bu sıcaklık sensöründen sonra nanoakışkan tekrar 1 numaralı nanoakışkan tankına dönerek sistem döngüsünü tamamlar. Ayrıca 1 numara ile temsil edilen nanoakışkan tankı ısıtmalı manyetik karıştırıcı(2) üzerine koyulmuştur. Homojenliğin deney süresince bozulmaması ve karıştırılan düşük sıcaklıktaki nanoakışkanın sistem döngüsüne daha stabil sıcaklıklarda katılması için deney süresince yararlanılmıştır. Deneyler 12 numaralı sıcaklık sensöründe her akışkan için $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ ve $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sabit soğutma(14-15) sıcaklığında 20-50 ml/dk arasında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 Deney Düzeneginde Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri

3.1.1.1 Pompa ve Regülatör



Şekil 3.3 Pompa ve regülatör.

Şekil 3.3’de görülen Gilson 305 marka 0-600 bar basınç çalışma kapasiteli pistonlu pompa kullanılmıştır. İç çapı 400 μm paslanmaz çelik malzeme mikro boru için 20 mL/dk ile 50 mL/dk aralığında istenilen debi bu pompa yardımıyla sağlanmıştır. Mini kanalda deney süresi boyunca pistonlu pompa kullanımı esnasında sızdırma ve ani basınç dalgalanmalarını engellemek amacıyla pompa üzerine çıkış basıncı düzenleyici GILSON 805/806 modül regülatör kullanılmıştır. Ayrıca sıcaklık ve basınç sensörleri yardımıyla alınacak değerlerde süreklilik için basınç regülatörü önem arz etmektedir. Deney düzeneği üzerinde P_1 noktasından alınan basınç düşüşü değeri kullanılarak deneysel sürtünme faktörü değeri denklem 3.1’e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta P = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho V^2}{2} + \text{Yerel Kayıplar} + \text{Hidrostatik Basınç Kaybı} \quad (3.1)$$

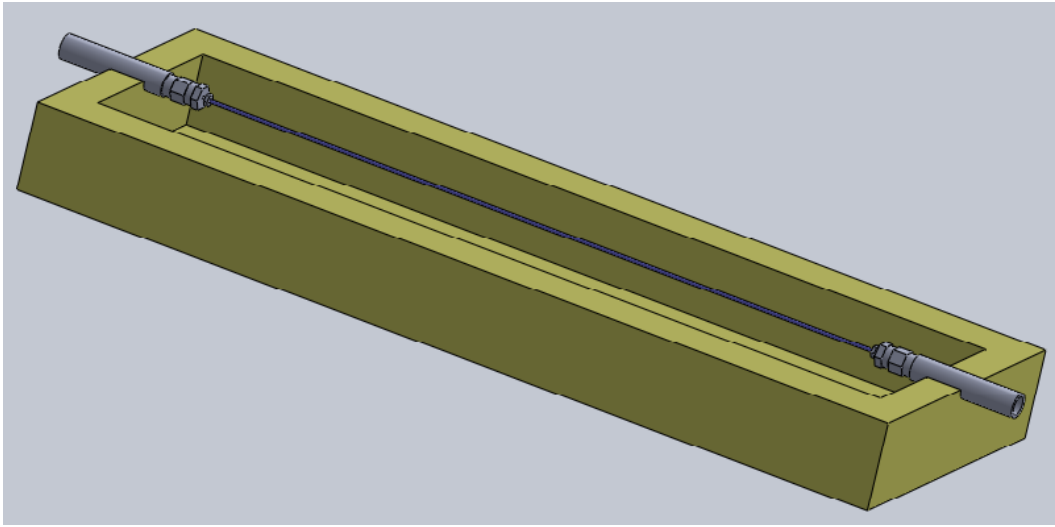
f: Sürtünme Faktörü (-)

ΔP : Basınç Düşüşü (Pa)

L: Mikro Boru boyu (m)

D_h : Mikro Boru çapı (m)

V: Hız (m/s)



Şekil 3.4 Basınç kayıpları için ani daralma ve ani genişleme görseli.

Deney düzeneği polimer ısı değiştiricisi bağlantıları Şekil 3.4'te verilmiştir. Yerel basınç kayıpları 400 μm boyutunda mikro kanal içerisinde akışın gönderilmesi için kullanılan bağlantı elemanlarında gerçekleşmiştir. Bu bağlantı elemanları sayesinde 7.05 mm çapında bir ana boru hattı önce 1.27 mm çapa, sonrasında ise 400 μm çapa düşürülmüştür. Mikro borudan akan akışkanın polimer ısı değiştiricisini terki için ise gene aynı bağlantı elemanı kullanılmış ve çıkışta 7.05 mm çap ve 9.5 cm yüksekliğinde ana boru hattı ile deney döngüsü tamamlanmıştır. Yerel basınç kayıpları için Ansys 16.2 ile bu koşullar altında her deney için simülasyon gerçekleştirilmiş ve bu etki programa veri olarak girilmiştir. 9.5 cm çıkış yüksekliği için basınç kaybı ortalama 928 Pa olarak denklem 3.2 ile hesaplanmıştır.

Çıkıştaki Yükseklik Basıncı: $\Delta P_h = \rho_{\text{çıkış}} g h \quad (3.2)$

3.1.1.2 Isıtma ve Soğutma banyoları

Kullanılan akışkan polimer ısı değiştiricisine ulaşmadan, ısıtma banyosunda sıcaklığı 45°C olacak şekilde ısıtılmıştır. Sabit yüzey sıcaklığı koşulları altında gerçekleşen deney için soğutma banyosu, polimer ısı değiştirici giriş çıkış değerleri için mikroboru yüzey sıcaklığı 10°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Polimer ısı değiştirici giriş ve çıkış sıcaklık değerleri veri toplama cihazı ile bilgisayara gerekli formüller ile aktarılıp sabit sıcaklık altında tekrarlamıştır. Görselleri Şekil 3.5’de verilen ısıtıcılar için ısıtma banyosu gücü 345 Watt iken soğutma banyosu gücü ise 172.50 Watt’dır.



(a)

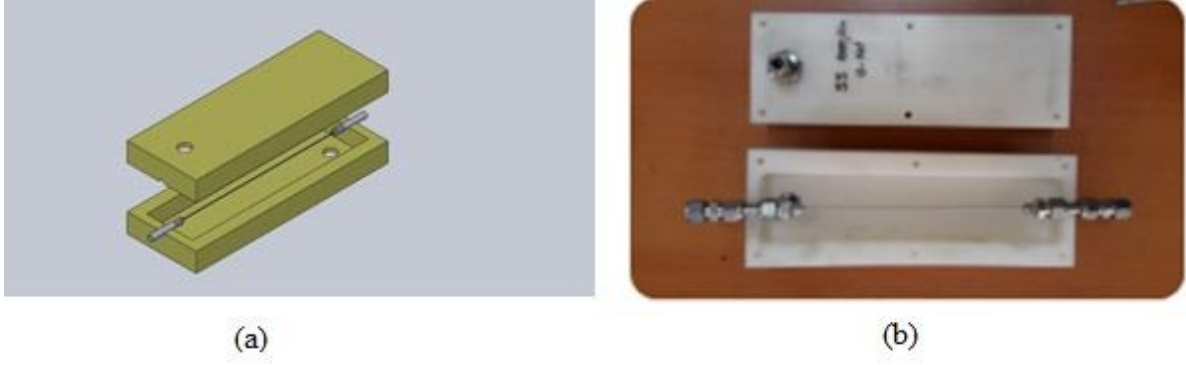


(b)

Şekil 3.5 (a) Isıtma banyosu, (b) Soğutma banyosu.

3.1.1.3 Polimer Isı Değiştirici

Sabit yüzey sıcaklık koşullarını sağlamak amacıyla Şekil 3.6’da verilen polimer ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Polimer ısı değiştiricisi içerisine iç çapı 381 µm dış çapı 400 µm uzunluğu 200 mm olan paslanmaz çelik malzemesinde mikro kanal, bağlantı elemanları ile yerleştirilmiştir. Polimer ısı değiştiricisi üzerindeki kanallardan soğutma suyu olarak 10°C’de su geçirilerek sabit yüzey sıcaklık şartı oluşturulmuştur.



Şekil 3.6 (a) Polimer ısı değiştiricisi solidworks çizimi, (b) Polimer ısı değiştiricisi fotoğraf görüntüsü.

3.1.1.4 Sıcaklık ve Basınç Sensörleri

Deneylerde kullanılan NTC sıcaklık sensörü üretici firmanın tavsiye ettiği sıcaklık ölçüm denklemleri eşliğinde buzlu su (yaklaşık 0°C) ve kaynayan su (yaklaşık 99.6°C) içerisinde değişen sıcaklıklarda test edilmiş, değişen ölçümlerle sıcaklık sensörleri kalibre edilmiştir. Basınç sensörü için 0-25 bar aralıklarında basınç ölçme test tertibatı kurulmuş, ölçülen basınç değerlerine göre voltaj değerleri not edilerek bağıntılı bir denklem tayin edilmiş ve veri toplama cihazına bu bağıntılar girilmiştir. Böylelikle ölçümlerden kaynaklanabilecek hatalar minimize edilmiştir.

3.1.1.5 Veri Toplayıcı ve Bilgisayar

Veri toplayıcı olarak ARM 9 + gömülü Linux tabanlı, 2W güç tüketimi ile -40 ile 85°C sıcaklık arasında 32 analog, 32 dijital sensör giriş ve 28 dijital çıkış kanal sayesinde akıllı formüller ile kontrol edilebilme özelliğine sahip AYA-Logger bağlantıları Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 AYA-Logger ürün ve sensör bağlantı görselleri.

Bilgisayar kontrollü alınan sonuçlar; akışkan giriş ve çıkış sıcaklık değerleri, akışkan giriş basıncı ve sabit yüzey sıcaklık koşulları için polimer ısı değiştiricisi giriş-çıkış sıcaklıklarıdır. Bilgisayar ekranında okunan değerlerde sürekli bir artış veya azalmanın olmadığı deney sınır koşul şartlarının sağlandığı grafikler yardımıyla takip edilmiştir. 45°C giriş ve 10°C sabit yüzey sıcaklığı, her bir debi için lineer grafik görüntüsü alınana kadar devam eden deneylerin bilgisayar görüntüsü Şekil 3.8 ile verilmiştir.



Şekil 3.8 AYA-Logger veri toplayıcısından alınan değerlerin bilgisayar görüntüsü.

3.2. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Elde edilen sonuçların ne derece anlamlı olduğu veya doğru sonuçtan ne derece sapma yaptığını belirlemek için belirsizlik analizi kullanılır. Analiz için, bulunması istenen parametrenin doğrudan veya dolaylı yoldan ölçülmesine göre hesaplar değişir. Son yıllarda hata oranlarının tespitinde Kline ve McClintock belirsizlik analiz (Holman 1994) yöntemi çokça tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde n adet bağımsız değişkenler için ölçülmesi gereken büyüklük R ile, değişen parametreler X ile temsil edilirken, U ise tüm değişkenlere ait hata oranlarını göstermek için kullanılır. Deneyler esnasında yapılan ölçüm sayıları sınırlıdır. Ölçülen X değerlerinin standart sapması veya aritmetik ortalaması alınarak hatalar minimize edilmek istenir. Bu sorunları çözebilmek için W.S Gosset tarafından oluşturulan Çizelge 3.2 ile ölçümlerdeki gerçek sapmanın tam olarak belirlenememesi durumunda bir t-istatistiği ile beraber güvenilirlik aralığı belirlenir.

Çizelge 3.2 Ölçülen parametre için okuma sıklığına göre t-student güvenirlilik istatistiği.

V=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
∞	1.645	1.960	2.576

Çizelge 3.2’de ölçülen tek bir parametre için ölçüm sayısına göre değişen (n) ve hesaplamalarda standart sapma için gerekli olacak güvenirlilik verilmiştir. Bu çalışma için güvenirlilik t_{90%} olarak alınmış ve her deney için tekrarlanma sayısı n=3 olarak alındığında t-student değeri 2.92 olarak tespit edilmiştir (Altın 2010).

$$X_{\text{gerçek}}=X_{\text{ort.}}\pm U_x (90\%) \quad (3.3)$$

$$U_x=\pm \sqrt{U_{\text{sbt},x}^2 + U_{\text{De},x}^2} \quad (3.4)$$

$$U_{\text{De},x}=\pm t_{90\%} \sigma_x / \sqrt{n} \quad n \leq 120 \quad (3.5)$$

$$\sigma_x=\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{ort.}})^2} \quad (3.6)$$

Denklem 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6 kullanılarak, hataya yol açan parametrelerin hata oranları Çizelge 3.3 ile verilirken bu parametrelerin hata oranları neticesinde, hesaplara etki edecek maksimum belirsizlik Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Deney için kullanılan parametrelerde belirsizlik analizi.

Malzeme	Ölçüm aralığı	Ölçülen parametreler	Toplam belirsizlik	Deneyde ölçülen değerler T_{in}/K		Belirsizlik yüzdesi, % U_x/T_x	
				Min.	Max.	Min.	Max.
1. NTC Sıcaklık Sensörü (MC65 Tip Termometre)	233-378 K	Sıvı giriş sıcaklığı, T_{in}	$U_{Sabit, T_{in}} = \pm 0.05K$ $U_{Değişken, T_{in}} = \pm t \sigma / \sqrt{n}$ (%90) $U_{T_{in}} = \sqrt{U_{Sbt, T_{in}}^2 + U_{De, T_{in}}^2}$ $U_{De, T_{in}} = 2.92 \times 0.3041 / \sqrt{3} \cong \pm 0.5127K$ $U_{T_{in}} = \sqrt{0.05^2 + 0.5127^2} \cong \pm 0.515K$	317.70	318.37	0.16176%	0.1621%
2. NTC Sıcaklık Sensörü (MC65 Tip Termometre)	233-378 K	Sıvı çıkış sıcaklığı, T_{out}	$U_{De, T_{out}} = 2.92 \times 0.3536 / \sqrt{3} \cong \pm 0.5961K$ $U_{T_{out}} = \sqrt{0.05^2 + 0.5961^2} \cong \pm 0.5982K$	296.45	303.36	0.1972%	0.2018%
3. IC Sıcaklık Sensörü (LM35 Tip Termometre)	218-423 K	Mikroboru yüzey giriş sıcaklığı, $T_{s,in}$	$U_{Sabit, T_s} = \pm 0.2K$ $U_{De, T_s, in} = 2.92 \times 0.0799 / \sqrt{3} \cong \pm 0.1347K$ $U_{T_s, in} = \sqrt{0.2^2 + 0.1347^2} \cong \pm 0.24K$	283.250	283.475	0.0847%	0.0846%
4. IC Sıcaklık Sensörü (LM35 Tip Termometre)	218-423 K	Mikroboru yüzey çıkış sıcaklığı, $T_{s,out}$	$U_{De, T_s, out} = 2.92 \times 0.0615 / \sqrt{3} \cong \pm 0.1037K$ $U_{T_s, out} = \sqrt{0.2^2 + 0.1037^2} \cong \pm 0.23K$	283.325	283.500	0.0812%	0.0811%
5. Basınç sensörü (Keller PR-21Y)	0-25 bar	Basınç düşüşü, ΔP	$U_{\Delta P} = 25 \times 1.5\% \cong \pm 0.38 \text{ bar}$	ΔP (bar) 2.44	12.505	$U_{\Delta P} / \Delta P$ 3.0388%	15.574%
6. Pompa (Gilson 305 tip)	0-50 mL/dk	Akışkan debisi, \dot{V}	$U_{\dot{V}} = \sqrt{0.5^2 + 0^2} \cong \pm 0.5 \text{ mL/dk}$	\dot{V} /mL/dk 20.0	50.0	$U_{\dot{V}} / \dot{V}$ 1.0%	2.5%
7. Termofiziksel özellikler (k, μ, ρ)			Isı iletkenlik katsayısı $\cong \pm 6.13\%$, dinamik vizkozite $\cong \pm 7.26\%$, yoğunluk $\cong \pm 0.19\%$ (Erdoğan vd. 2018)				

Çizelge 3.4 Deneysel parametrelerde hesaplanan toplam maksimum belirsizlik.

Hesaplanan parametreler	Maksimum belirsizlik,%
1. Hız $V=\dot{V}/A_{s,in}$	$\frac{U_V}{V} = \left[\left(\frac{\partial V}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{U_{\dot{V}}}{V} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial A_{s,in}} \cdot \frac{U_{A_{s,in}}}{V} \right)^2 \right]^{0.5} = [2.5\%^2 + 0^2]^{0.5} = 2.5\%$
2. Kütleli debi	$\frac{U_{\dot{m}}}{\dot{m}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \rho} \cdot \frac{U_{\rho}}{\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{U_{\dot{V}}}{\dot{m}} \right)^2 \right]^{0.5} = [0.19\%^2 + 2.5\%^2]^{0.5} = 2.507\%$
3. hacimsel debi	$\frac{U_{\dot{V}}}{\dot{V}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{V}}{\partial V} \cdot \frac{U_V}{\dot{V}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{V}}{\partial A_{s,in}} \cdot \frac{U_{A_{s,in}}}{\dot{V}} \right)^2 \right]^{0.5} = [2.5\%^2 + 0^2]^{0.5} = 2.5\%$
4. Akışkanın kanala giriş ve çıkış sıcaklık farkı $\Delta T=T_{out}-T_{in}$	$\frac{U_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial T_{out}} \cdot \frac{U_{T_{out}}}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial T_{in}} \cdot \frac{U_{T_{in}}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{0.5} = \left[\left(\frac{0.5982}{14.238} \right)^2 + \left(\frac{0.515}{14.238} \right)^2 \right]^{0.5} = 5.544\%$
5. Akışkanın kanal girişindeki sıcaklık farkı $\Delta T=T_{in}-T_{s,in}$	$\frac{U_{\Delta T_{in}}}{\Delta T_{in}} = \left[\left(\frac{\partial \Delta T_{in}}{\partial T_{in}} \cdot \frac{U_{T_{in}}}{\Delta T_{in}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_{in}}{\partial T_{s,in}} \cdot \frac{U_{T_{s,in}}}{\Delta T_{in}} \right)^2 \right]^{0.5} = \left[\left(\frac{0.515}{22.914} \right)^2 + \left(\frac{0.24}{7.695} \right)^2 \right]^{0.5} = 3.84\%$
6. Akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık farkı $\Delta T=T_{out}-T_{s,out}$	$\frac{U_{\Delta T_{out}}}{\Delta T_{out}} = \left[\left(\frac{\partial \Delta T_{out}}{\partial T_{out}} \cdot \frac{U_{T_{out}}}{\Delta T_{out}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_{out}}{\partial T_{s,out}} \cdot \frac{U_{T_{s,out}}}{\Delta T_{out}} \right)^2 \right]^{0.5} = \left[\left(\frac{0.5982}{236.322} \right)^2 + \left(\frac{0.23}{6.10} \right)^2 \right]^{0.5} = 3.779\%$
7. Logoritmik sıcaklık farkı $\Delta T_{in} = \frac{\Delta T_{in} - \Delta T_{out}}{\ln(\Delta T_{in} / \Delta T_{out})}$	$\frac{U_{\Delta T_{in}}}{\Delta T_{in}} = \left[\left(\frac{\partial \Delta T_{in}}{\partial T_{in}} \cdot \frac{U_{T_{in}}}{\Delta T_{in}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_{in}}{\partial T_{out}} \cdot \frac{U_{T_{out}}}{\Delta T_{in}} \right)^2 \right]^{0.5} = \left[\left(0.43 \cdot \frac{0.332}{15.01} \right)^2 + \left(0.5 \cdot \frac{0.442}{15.01} \right)^2 \right]^{0.5} = 1.133\%$
8. Reynolds sayısı, Re	$\frac{U_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{\partial Re}{\partial \rho} \cdot \frac{U_{\rho}}{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial V} \cdot \frac{U_V}{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial D_{in}} \cdot \frac{U_{D_{in}}}{Re} \right)^2 + \left(\frac{\partial Re}{\partial \mu} \cdot \frac{U_{\mu}}{Re} \right)^2 \right]^{0.5} = [0.19\%^2 + 2.5\%^2 + 0\%^2 + 7.26\%^2]^{0.5} = 7.681\%$
Isı transfer katsayısı, \dot{Q}	$\frac{U_{\dot{Q}}}{\dot{Q}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \dot{m}} \cdot \frac{U_{\dot{m}}}{\dot{Q}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial c_p} \cdot \frac{U_{c_p}}{\dot{Q}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{Q}}{\partial \Delta T} \cdot \frac{U_{\Delta T}}{\dot{Q}} \right)^2 \right]^{0.5} = [2.507\%^2 + 2.5\%^2 + 5.554\%^2]^{0.5} = 6.578\%$
9. Isı taşınım katsayısı, h	$\frac{U_h}{h} = \left[\left(\frac{\partial h}{\partial \dot{Q}} \cdot \frac{U_{\dot{Q}}}{h} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial A_{s,in}} \cdot \frac{U_{A_{s,in}}}{h} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \Delta T_{in}} \cdot \frac{U_{\Delta T_{in}}}{h} \right)^2 \right]^{0.5} = [6.578\%^2 + 0\%^2 + 1.133\%^2]^{0.5} = 6.675\%$
10. Nusselt sayısı, Nu	$\frac{U_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial h} \cdot \frac{U_h}{Nu} \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial D_{in}} \cdot \frac{U_{D_{in}}}{Nu} \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial k} \cdot \frac{U_k}{Nu} \right)^2 \right]^{0.5} = [6.675\%^2 + 0\%^2 + 6.13\%^2]^{0.5} = 9.063\%$

3.3 NANOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI, KARARLILIK SÜRELERİ

3.3.1 Kullanılan Nanopartikül ve Yüzey Aktif Madde Miktarları

Deney için saf su içerisinde ortalama boyutları 20 nm ve 18 nm olan Al_2O_3 ve ZnO nanopartiküllerinin %0.5 hacimsel derişimde eklenmesi ile nanoakışkanlar elde edilmiştir. Çizelge 3.5’de hacimsel derişimler neticesinde kullanılan miktarlara bakacak olursak 500mL saf su baz akışkanına %0.5 hacimsel derişim için 14.015 gram ZnO nanopartikül ilavesi gerekirken Al_2O_3 için bu miktar 9.725 gramdır. Aynı derişim oranı için %30 oranında fazla bir nanopartikül sarfiyatı gerekmekte bu fazlaca oran deneysel çalışmalar için çökeltme ve kanal boyunca tıkanma risklerini meydana getirmektedir. Bu nedenle türbülanslı akışta akış dikkatle takip edilmiştir. Her bir deney en az üç kez tekrarlanmış ve ortalama değerler not alınmıştır.

Çizelge 3.5 Hacimsel derişim oranı için nanopartikül ve SDS miktarları.

Al_2O_3 — Saf Su Nanoakışkan						
Hacimsel Katkı Oranı	Nanoakışkan Hacmi	Partikül Yoğunluğu	Partikül Kütlesi	Baz Akışkan Kütlesi	SDS Katkı Oranı	SDS Kütlesi
ϕ (%)	V_{nf} (mL)	ρ_{np} (kg/m ³)	$m_{np}=\rho_{np} V_{np}$ (g)	$\rho_{bf}V_{bf}$ (g)	m_{SDS}/m_{np} (%)	$\phi_{w,SDS}m_{np}$ (g)
0.10%	500	3890	1.945	498.501	50%	0.973
0.50%	500	3890	9.725	496.505	15%	1.459
1.00%	500	3890	19.450	494.010	15%	2.918
ZnO — Saf Su Nanoakışkan						
Hacimsel Katkı Oranı	Nanoakışkan Hacmi	Partikül Yoğunluğu	Partikül Kütlesi	Baz Akışkan Kütlesi	SDS Katkı Oranı	SDS Kütlesi
ϕ (%)	V_n (mL)	ρ_{np} (kg/m ³)	$m_{np}=\rho_{np} V_{np}$ (g)	$\rho_{bf}V_{bf}$ (g)	m_{SDS}/m_p (%)	$\phi_{w,SDS}m_{np}$ (g)
0.10%	500	5606	2.803	498.501	50%	1.402
0.50%	500	5606	14.015	496.505	25%	3.504
1.00%	500	5606	28.030	494.010	15%	4.205

Nanografi-Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık Ltd. Şti. firmasından alınan nanopartiküllerin kümelenip çökmesini önlemek, dolayısıyla nanoakışkan kararlılığını

sağlamak adına yüzey aktif madde olarak Mercek İlaç Ecza ve Kimya Tic. A.Ş. firmasından alınan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) kullanılmıştır.

3.3.2 Nanoakışkan Hazırlığı

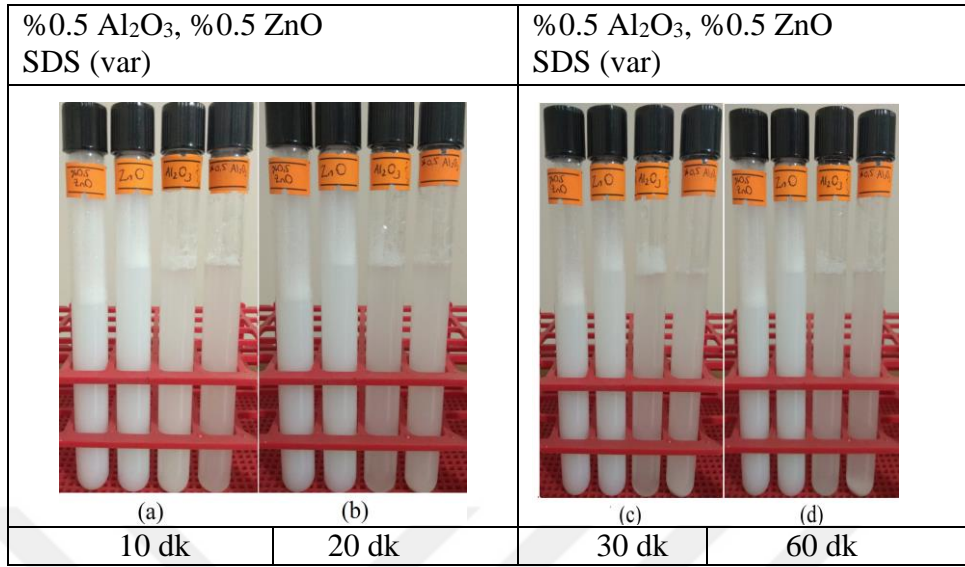
Bu çalışma için tüm nanoakışkanlar 2-adım yöntemi ile hazırlanmıştır. Çizelge 3.5 ile verilen madde miktarları 500 ml saf su içerisine ilave edildikten sonra kümelenmeyi engellemek, saf su içerisinde düzgün homojen dağılımı sağlamak amacıyla prob tipi ultrasonik homojenizatör kullanılmıştır. Kullanılan homojenizatör: Optic Ivymen System/ CY-500, 20 kHz frekans ve 500W gücündedir. Prob 5.6 mm çap ve 60 mm uzunluk ölçüsündedir. Ultrasonik karıştırma zamanı olarak 30 dakika (Turgut (2010), Erdoğan (2016)), belirlenmiştir. Güç yoğunluğu %95'e ayarlanmış bu yoğunlukta, beherdeki akışkan sıcaklığının 45°C'yi geçmemesine dikkat edilmiştir. Ultrasonik prob beher yüzeyinden 1-2 cm yükseklikte tutularak karıştırma işlemi bitirilmiştir.



Şekil 3.9 IVY Sistem Ultrasonik Homojenizatör.

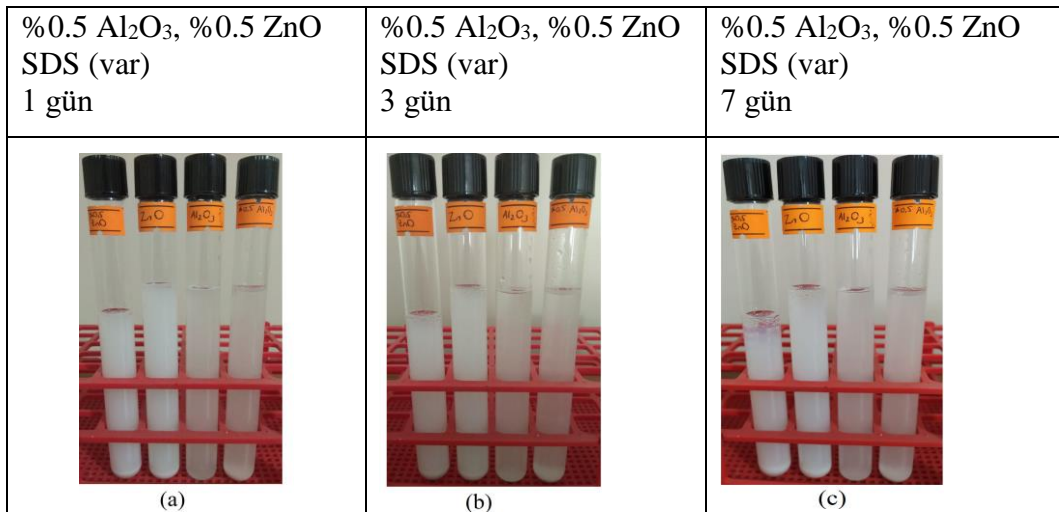
Nanoakışkanlar 500 mL beherde karışım oranına göre SDS ilavesi yapıldıktan sonra önce manyetik karıştırıcı ile 45 dakika, sonrasında ise ultrasonik karıştırıcı ile tam güçte (500W) en az 30 dakika karıştırılmış ve deney öncesi Al₂O₃ ve ZnO için ikişer numune hazırlanarak kararlılık süreleri incelenmiştir.

3.3.3 Nanoakışkanların Kararlılık Süreleri



Şekil 3.10 %0.5 ZnO ve Al₂O₃ için kararlılık süreleri incelenmesi.

Şekil 3.10’da iki adım yöntemi ile oluşturulan nanoakışkanların 10, 20, 30 ve 60 dakika sonrası cam beher içinde kararlılık süreleri incelenmiştir. Bu süreler için belirgin bir çökme görülmemiştir.



Şekil 3.11 %0.5 ZnO ve Al₂O₃ için kararlılık süreleri incelenmesi.

Şekil 3.11’de iki adım yöntemi ile oluşturulan nanoakışkanların 1, 3 ve 7 gün sonrası cam beher içinde kararlılık süreleri incelenmiştir. 3 gün sonunda belli belirsiz çökelmeler gözlemlenirken 7. Gün sonunda nanoakışkan yüzeyinde çökelmeler daha net gözükmeye başlamıştır.

3.4 NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE AİT DENKLEMLER

Deneyde kullanılan saf su ile saf su bazlı nanoakışkanlar için termofiziksel özellikler derişim oranına göre Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Deney akışkanlarının termofiziksel özellik denklemleri (Erdoğan 2016).

Akışkan Türü	Derişim oranı	Isıl iletkenlik, dinamik vizkozite, yoğunluk ve özgül ısı denklemleri
Al ₂ O ₃ -Saf su	% 0.5	$k = -0,000005173T^2 + 0,006465725T - 0,873479845$ $\mu = 0,0001414899T^2 - 0,1016966799T + 18,6735327192$ $\rho = -0,0032T^2 + 1,647T + 804,89$ $C_p = 0,0119T^2 - 7,6021T + 5330,8$
ZnO-Saf su	% 0.5	$k = -0,000003541T^2 + 0,004431173T - 0,394436183$ $\mu = 0,0001298656T^2 - 0,0950168388T + 17,7271169694$ $\rho = -0,0032T^2 + 1,647T + 813,47$ $C_p = 0,0117T^2 - 7,4734T + 5274,7$
Saf Su	---	$k = -0,000009079T^2 + 0,007058036T - 0,689765063$ $\mu = 0,00000000002821399T^6 + 0,00000000587782534T^5$ $+0,00000509992744T^4 + 0,002359655752T^3 +$ $0,614286790T^2 - 85,359969978T + 4950,6390118$ $\rho = -0,00322T^2 + 1,65524T + 789,38388$ $C_p = 0,01234T^2 - 7,86299T + 5432,30088$

Deney süresince değişen debi, sıcaklık ve basınç sensörlerinden alınan değerler neticesinde Çizelgede 3.6’da verilen ampirik formüller ile karşılaştırma parametreleri için excel’de hesaplama tabloları oluşturulmuştur. Hesap tabloları her bir akışkanın ısı taşınım katsayısı, ısı transferi, boyutsuz sayılar ve basınç düşüşü değerleri için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Kullanılan denklemler ve literatür referans denklemleri ise Çizelge 3.7’de verilmiştir.

3.4.1 Deneysel Isı Transferi ve Isı Taşınım Katsayısının Belirlenmesi

Isı transferi miktarı için sabit yüzey sıcaklığı koşullarına göre hesaplama denklemi aşağıda verilmiştir.

$$Q = m_f C_{pf} (T_{\zeta f} - T_{gf}) \quad (3.3)$$

m : nanoakışkan kütleli debisi (kg/s)

C_{pf} : nanoakışkan özgül ısısı (kJ/kgK)

$T_{\zeta f} - T_{gf}$: nanoakışkanın mikrokanala giriş ve çıkış sıcaklığı farkını ($^{\circ}\text{C}$) gösterir.

Logaritmik sıcaklık farkı;

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_g - \Delta T_{\zeta}}{\ln\left(\frac{\Delta T_g}{\Delta T_{\zeta}}\right)} \quad (3.4)$$

Isı taşınım katsayısı hesabı için denklem 3.5 yardımıyla her bir akışkan için deneysel ısı taşınım katsayısı bulunur.

$$h = \frac{\dot{Q}}{A_S \Delta T_{in}} \quad (3.5)$$

A_S : mikrokanal iç yüzey alanı (m^2)

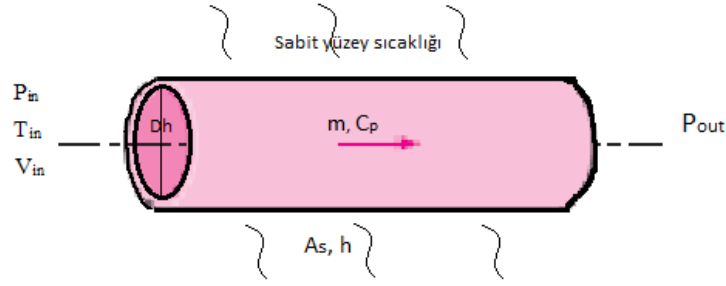
Deneysel ısı taşınım katsayısı ve ısı transferi her bir deney numarası için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra tez kapsamında her bir değer grafikler eşliğinde daha önce yapılan literatür çalışmaları ile kıyaslanmış ayrıca her deney ve simülasyonu yani 3 farklı akışkan ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Bölüm 5’de sunulmuştur. Tüm hesaplarda kullanılan referans literatür denklemleri Çizelge 3.7 ile verilmiştir.

3.4.2 Teorik Hesaplar İçin Kullanılan Referans ve Literatür Denklemleri

Çizelge 3.7 Excel hesap tabloları için kullanılan referans denklemler.

Reynolds Sayısı	$Re=VD_{in} / \nu$
Pecklet Sayısı	$Pe=RePr$
Graetz Sayısı	$Gz=RePrD_{in} / L$
Prandtl Sayısı	$Pr=\mu C_p / k$
Darcy Denklemi	$f=64/Re$
Nusselt Sayısı (Sieder-Tate) (0.6<Pr<5) (0.0044<μ_b/μ_s<9.75) (Re<2300) (Hidrokinamik ve Isıl Gelişim)	$Nu_{the}=1.86Gz^{1/3}(\mu_b/\mu_s)^{0.14}$
Nusselt Sayısı (Edwards) (Re<2300) (Hidro. Gelişmiş, Isıl Gelişim) (Pr≥5)	$Nu_{the}=3.66+0,065Gz/(1+0,04Gz^{2/3})$
Celata 2006	$Nu_{the}=4,36+0,023Gz/(1+0,0012Gz^1)$
Parlak 2010	$Nu=0.0214Re^{0,67}Pr^{0,33}$
Nusselt Sayısı (Tam&Ghajar) (5 ≤ Pr ≤ 55) (1600 < Re < 10700) Ghajar 2010,413	$Nu_{lam}=1.24(Gz+0.025(GzPr)^{0.75})^{1/3}(\mu_b/\mu_s)^{0.14}$ $Nu_{turb}=0.023Re^{0.8}Pr^{0.385}(L/D_{in})-0.0054(\mu_b/\mu_s)^{0.14}$ $Nu_{the}=Nu_{lam}+[\exp[(a-Re)/b]+Nu_{turb}^c]^c$
Sürtünme Faktörü (Haaland) (Re>4000 ve pürüzlü boru)	$f_{the}=[1/(-1.8\log(6.9/Re+(\epsilon/D_{in}/3.7)^{1.11}))]^2$
Sürtünme Faktörü (Blasius) (Re>4000 ve pürüzsüz boru)	$f_{the}=0.3164Re^{-0.25}$
Sürtünme Basınç Kaybı (Haaland)	$\Delta P_{f,the}=(f_{the}L/D_{in}\rho V^2/2)/10^5$ (bar)
Sürtünme Basınç Kaybı (Blasius)	$\Delta P_{f,the}=(f_{the}L/D_{in}\rho V^2/2)/10^5$ (bar)

3.5 DENEYSEL ÇALIŞMA PROBLEM TANIM VE KOŞULLAR



Şekil 3.12 Deney parametreleri.

Deney tanımı Şekil 3.12'ye göre paslanmaz çelik 400 μm dairesel kesitli kanal dış çapında, 10°C sabit yüzey soğutma banyosu sıcaklığında, 45°C \pm 1 giriş sıcaklık ve değişen hız gradyanları etkisinde, atmosfer basıncı çıkış koşullarında gerçekleştirilmiştir (velocity inlet, atmospheric pressure outlet). Akışkanın kanala giriş hızı debi ayarlı pompa ile 20-50 mL/dk arasında değişirken akışkanın kanala giriş sıcaklığı ve sabit yüzey soğutma şartları her deney için korunmuştur. Deneyler 3 farklı akışkan ile yapılmış olup değişen debi koşullarına göre ısı transferi, ısı taşınım katsayısı, pompa basınç düşüşü ve boyutsuz sayılar neticesinde laminar ve türbülanslı akış rejimlerinde karakteristik sebep-sonuç ilişkileri incelenmiştir.

Çizelge 3.8 Deneysel çalışmada kullanılan akışkanlar ve parametreler.

A	B	C	D	E	F	G
Tüp Malzemesi	Tüp Çapı (μm)	Akışkan Çeşidi	Hacimsel Derişim (%)	Giriş Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Akışkan Debisi (mL/dk)
SS	400	Saf Su	---	45	10	20-50
SS	400	Al ₂ O ₃ -Saf su	0.5	45	10	20-50
SS	400	ZnO-Saf su	0.5	45	10	20-50

Çizelge 3.8'de verilen akışkanlar ile 20-23-26-29-32-35-38-41-45-50 mL/dk debilerde deneyler yapılmış olup, deneyin hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı Ansys 16.2 verileri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Deneysel çalışmalar için Ansys 16.2 model parametreleri.

A	B	C	D	E	F	G	H
Tüp Malzemesi	Tüp Çapı (μm)	Akışkan Çeşidi	Hacimsel Derişim (%)	Giriş Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Yüzey Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Akışkan Debisi (mL/dk)	Akış Rejimi
SS	400	Saf Su	---	45	10	20-50	Laminer
SS	400	Saf Su	---	45	10	20-50	Standart k- ϵ Türbülans Modeli
SS	400	Al ₂ O ₃ -Saf su	0.5	45	10	20-50	Laminer
SS	400	Al ₂ O ₃ -Saf su	0.5	45	10	20-50	Standart k- ϵ Türbülans Modeli
SS	400	ZnO-Saf su	0.5	45	10	20-50	Laminer
SS	400	ZnO-Saf su	0.5	45	10	20-50	Standart k- ϵ Türbülans Modeli

Ansys 16.2 ticari programı ile deney koşulları akış rejiminin karakteristiğini belirlemek adına tüm Reynolds sayıları için program gereği, mikrokanal girişinden itibaren akış tamamen laminer ya da türbülanslı kabul edilerek her bir akışkan için debi değişimine göre toplamda 60 adet analiz yapılmıştır. Çizelge 3.9’da akışkan analizi için, analiz yöntemi verilmiştir. Bu analizler ile deneysel veriler hem kendi aralarında hem de literatür referans denklemleri ile karşılaştırılmış ve söz konusu koşullarda nanoakışkan kullanımının etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEY KOŞULLARININ MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Deneysel koşulları için hesaplamalı akışkanlar dinamiği diğer adıyla CFD (Computational Fluid Dynamics) Ansys 16.2 sürüm ticari programı kullanılmıştır. Bu bölümde; programın çalışma mantığı, deneysel simülasyonu ile modelleme çözümünde kullanılan Laminer ve Standart k-ε Türbülans modeli açıklanacaktır. Ayrıca deneysel sınır şartlarında kullanılan program ara yüzü anlatılacaktır.

4.1 TEMEL DENKLEMLER

Ansys 16.2 ticari yazılımının, Fluent arayüzüyle 2D eksene göre simetrik geometri model koşullarında problem çözümünde kullandığı teorik denklemler şu şekildedir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\delta p}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x}(\rho v_x) + \frac{\delta}{\delta r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = 0 \quad (4.1)$$

Eksenel ve radyal momentum denklemleri:

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta t}(\rho v_x) + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta x}(r \rho v_x v_x) + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r}(r \rho v_r v_x) = -\frac{\delta p}{\delta x} \\ + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta x} \left[r \mu \left(2 \frac{\delta v_x}{\delta x} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left[r \mu \left(\frac{\delta v_x}{\delta r} + \frac{\delta v_r}{\delta x} \right) \right] + F_x \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta t}(\rho v_r) + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta x}(r v_x v_r) + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r}(r v_r v_r) = -\frac{\delta p}{\delta r} + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta x} \left[r \mu \left(\frac{\delta v_r}{\delta x} + \frac{\delta v_x}{\delta r} \right) \right] \\ + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left[r \mu \left(2 \frac{\delta v_r}{\delta r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] - 2 \mu \frac{v_r}{r^2} + \frac{2}{3} \frac{\mu}{r} (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \frac{v_x^2}{r} + F_r \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$(\nabla \cdot \vec{v}) = \frac{\delta v_x}{\delta x} + \frac{\delta v_r}{\delta r} + \frac{v_r}{r} \quad (4.4)$$

x : aksenel kordinatta akış yönü

r : radyal koordinat sistem

V_x : aksenel yönde hız

V_r : radyal hız bileşeni

F : dış kuvvet etkisi (0 alınır)

Türbülans akış rejimi bölgesel hız vektörlerin farklı yön ve şiddetlerde dalgalanmasıyla oluşan bir akım türüdür. Değişen akım profilleri, aksenel ve radyal dalgalanan hız vektörlerinin sonuca etkisi için momentum ve enerji denklemlerinin çözümlenmesi gerekir. Fakat türbülanslı akış türünde bu değişkenlerin etkilerini simüle etmek için Ansys programında uygun türbülans modelinin de seçilmesi gereklidir. Bu çalışmada, tek fazda zorlanmış taşınım için girişte hız etkisi çıkışta atmosfer basınç şartlarında olmak üzere Standart k-ε Türbülans modeli kullanılmıştır.

Standart k-ε Türbülans modeli denklemleri:

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho k) + \frac{\delta}{\delta x_i}(\rho k v_i) = \frac{\delta}{\delta x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\delta k}{\delta x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_m + S_k \quad (4.5)$$

$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho \varepsilon) + \frac{\delta}{\delta x_i}(\rho \varepsilon v_i) = \frac{\delta}{\delta x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\delta \varepsilon}{\delta x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{2\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (4.6)$$

Denklemlerde G_k ortalama hız gradyanlarına bağlı olarak türbülans kinetik enerji oluşumunu temsil ederken, G_b hacimsel yüzdürme merkezi (buoyancy) boyunca oluşan türbülanslı kinetik enerji oluşumunu temsil eder. Y_m genel türbülans dağılım oranının sıkıştırılabilir hale katkısını temsil eder. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$ türbülans modeline özgü sabit sayılarken, σ_k ve σ_ε prandtl sayıları için belirlenen sabit sayılardır. Bu sabit sayılar Standart k-ε Türbülans modeli için program tarafından $C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $C_{3\varepsilon}=0.09$, $\sigma_k=1.0$ ve $\sigma_\varepsilon=1.3$ olarak atanmıştır. Ayrıca k ve ε'dan oluşan bu model türünde türbülanslı viskozite denklem 4.7 ile hesaplanır.

$$\mu_i = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.7)$$

Ansys 16.2 ticari yazılımında modelleme yapıldıktan sonra çözüm aşamasında materyal tanımının yapılması gereklidir. Bu materyal simülasyon edilecek akışkanın özelliklerini programa tanıtmaktan geçer. Akışkanın termofiziksel özellikleri programa girildikten sonra yapılacak işlem deney koşullarını sistem sınır şartları olarak belirlemektir. Akışkanın giriş sıcaklığı ve basıncı bu şartlara örnek olarak verilebilir. Programa Çizelge 4.1 ile verilen değerler tanımlandıktan sonra akış türü ve akışkanın hareket edeceği ortam koşulları belirlenir. Akış rejimi maalesef ki model kısmında laminer veya türbülanslı olarak seçilmektedir. Programda hidrodinamik gelişen akış türü belirlenememekte, kanal girişinden itibaren akış türünü ya laminer ya da tamamen türbülanslı olarak program tanımaktadır. Çözümleme metodu geçiş bölgeleri için eksik görülebilir. Akım modeli seçildikten sonra akışkanın içinde hareket edeceği materyal malzeme (paslanmaz çelik, peek vs.) ile duvar koşulları; sabit ısı akısı veya sabit yüzey sıcaklık şartları tanımlanır.

Deney koşullarında akışkanın %0.5 hacimsel derişim oranında ortalama sıcaklık değerlerine göre termofiziksel özellikleri her deney için ayrı ayrı ampirik formüller (Erdoğan 2016) yardımıyla hesaplanmış ve programa girilmiştir. Ansys için gerekli akışkan tanımlamada kullanılan termofiziksel özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

$$T_{ort} = (T_g + T_ç) / 2 \quad (K) \quad (4.8)$$

Çizelge 4.1 Deney numaralarına göre program çözümü için gerekli olan değerler (T_{ort}).

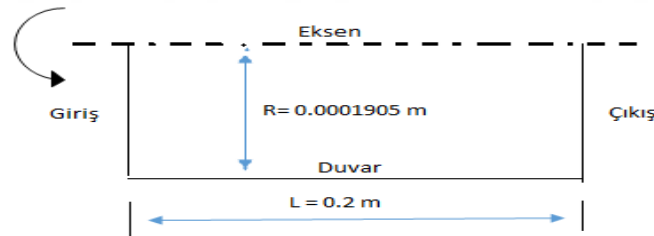
	Saf Su (Deney No1)	% 0.5 derişimde Al ₂ O ₃ (Deney No11)	% 0.5 derişimde ZnO (Deney No21)
k (W/mK)	0.62148	0.62309	0.63165
ρ (kg/m ³)	994.037	1009.005	1017.580
μ (kg/m s)	7.34x10 ⁻⁴	7.92x10 ⁻⁴	8.0x10 ⁻⁴
C _p (J/kg K)	4181.374	4118.596	4083.1512

Ansyes 16.2 ticari yazılım ile anlatılan tüm aşamalar eşliğinde her bir akışkan için deney koşulları simüle edilerek hem laminar hem de türbülanslı rejim incelenmiştir. Bir akışkan ile 20-50 mL/dk değişen debilerde deneyler yapılmıştır. Deneyler önce saf su ile akabinde Al_2O_3 ve ZnO nanoakışkanları ile yapılarak toplam 30 deneysel çalışma ile tezin deneysel kısmı bitirilmiştir. Her bir deneyin giriş çıkış şartları, bu şartlarda akışkanın ortalama sıcaklıktaki termofiziksel özellikleri (Çizelge 4.1) programa girilerek her bir akışkan için toplamda 30 adet laminar ve 30 adet Standart k- ϵ Türbülans modeli olmak üzere 60 adet simülasyon çözümleme yapılmıştır. Paket programda hidrodinamik gelişen akış için herhangi bir seçenek olmadığından ve akış karakteristiğini belirlemek amacıyla çözümlenmeler her iki akım modeli için yapılmıştır.

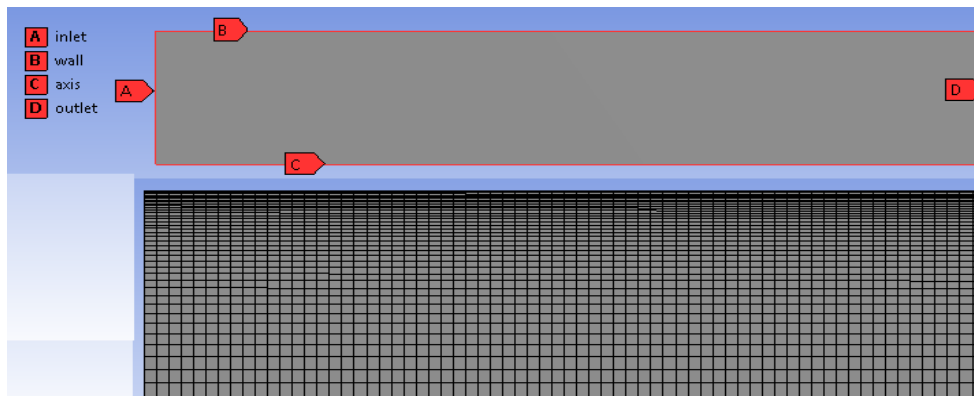
4.2 CFD ANALİZİ (ANSYS 16.2 WORKBENCH)

4.2.1 Problem Tanımı ve Modeli

Şekil 3.12’de verilen problem tanımı modellenmesi için, iki boyutta çizim yapıлып program arayüzü ile eksen düzleminde 360° döndürmeyle dairesel kesit elde edilmiştir. Şekil 4.2’ de çizilen geometri sonrası modelin mesh yapısı ve sınır yüzeyleri verilmiştir.



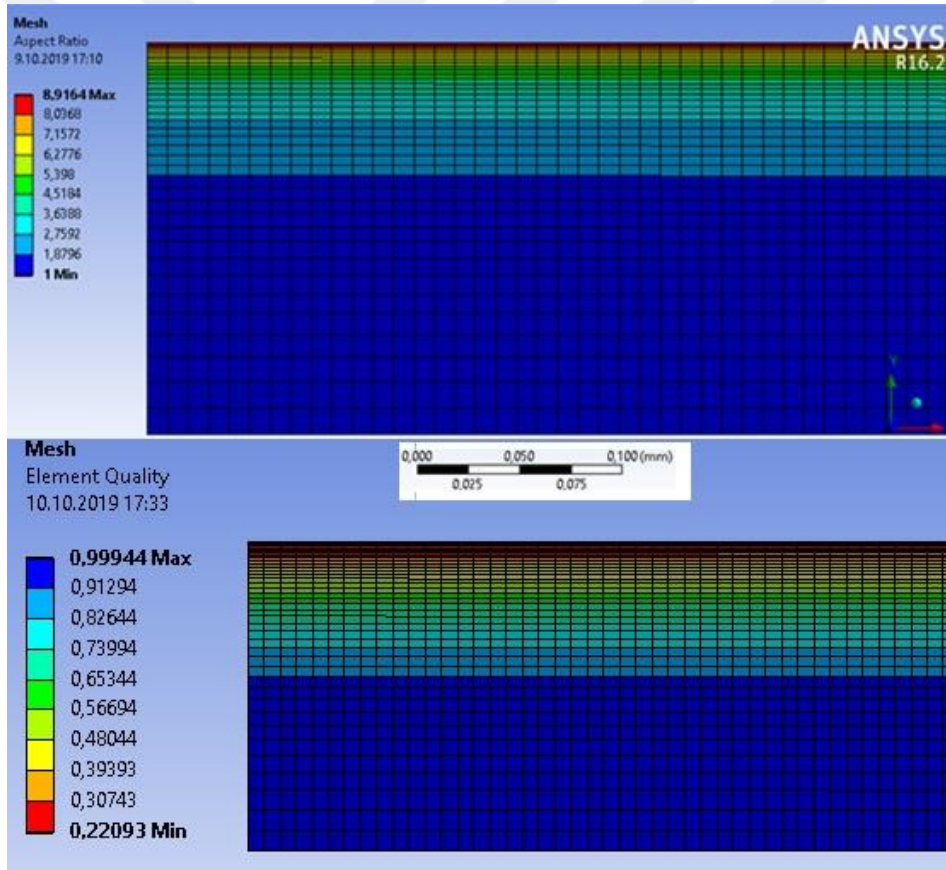
Şekil 4.1 Model oluşturmada problemin iki boyutta ifadesi.



Şekil 4.2 Ansys 2D model ve mesh yapısı.

4.2.2. Problemin Ansys Workbench ile Modellenmesi

İki boyutlu tasarımı gerçekleştirilen akış modeli ile ağ yapısından kaynaklanabilecek hatalar minimize edilmiştir. Mikrokanal çalışmasında kanal boyunca sınır tabakanın etkisini görebilmek için duvar bölgesinde sık ağlar atılmış, aynı zamanda iki boyutlu tasarım ile işlem hızında kazanım sağlanmıştır. Yapısal ağları (mesh) oluşturan örgü nokta sayısı, örgü noktaların birleşmelerinden oluşan ağların sayısı, simülasyonun gerçeğe yakınlığı için önemlidir. Örgüyü oluşturan optimum nokta sayısı ve örgü sayısı belirlendikten sonra modelleme kısmı bitirilmiştir. Mesh aspect ratio (hücre oranları) gerçeğe yakın sonuçlar almak için 1-10 arasında olması gerekirken örgü kalitesinin ise 1'den küçük olması gerekir. Şekil 4.3 ile mesh ve örgüler arasındaki oranların maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.



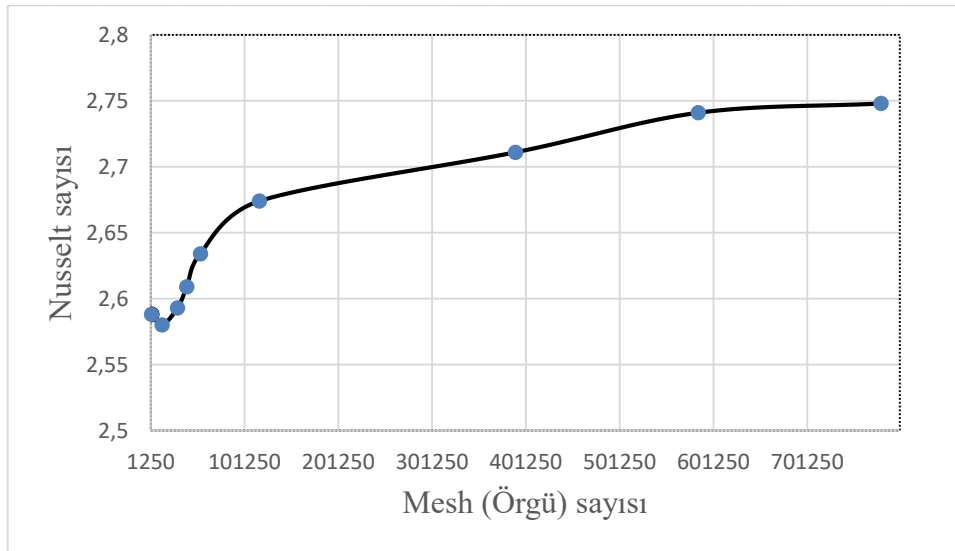
Şekil 4.3 Ansys 2D modelde mesh en/boy oranı ile örgü kalitesi.

İki boyutlu (2D) çizim çözümlemesinde axis yani 2D simetri çizgisinin ve duvar bölgelerin tanımlanması çok önemlidir (Şekil 4.2). Çünkü program bu eksen çizgisi etrafında modeli döndürerek dairesel kanal çözümlemesi yapmakta ve tanımlanan duvar bölgelerinde daha önce yapısal ağlarla belirlenen mesh'ler sayesinde sınır tabaka akımlarını dikkate almaktadır. Ayrıca

duvar bölgesi tanımlanarak akışkanın hangi sabit koşullar altında simüle edileceği belirlenir. Sabit ısı akısı veya sabit yüzey sıcaklığı koşulları gibi. Modelleme kısmından sonra Fluent kısmı açılarak “setup” bölümünde, Çizelge 4.1’de örneği verilen deney numaralarına göre akışkanın termofiziksel özellikleri, akışkan türü, akışkanın içinde aktığı yüzey ve simülasyon edilecek deney koşulları bu bölümde akış rejimine göre (laminer, türbülanslı) programa girilir. Materyal ve sınır şartları girilmeden önce modelleme 2D ise “solver” kısmında “axisymmetric” kısmının işaretli olmasına dikkat edilmelidir. “setup” kısmında gerekli koşullar programa girildikten sonra çözümlene başlatılır ve “solution” kısmında gerekli olan değerler okunur.

4.2.3. Problem Çözümünde Mesh Sayısının Etkisi

Mesh yani örgü sayısı iki ve üç boyutta sonuca direk etki eden bir faktördür. Zira mesh sayısı sıklığı ve düzgün geometrisi bilgisayarlı çözümde simülasyon boyunca akış noktaları ve akış profilinin oluşmasında mikro düzeyde hata payları için programın yararlandığı ilk unsurdur. Bu nedenle optimum ve aynı zamanda çözüm zamanını arttırmayacak mesh sayısı çalışmada 70×10^4 olarak alınmıştır. Mesh ve örgü sayısının sonuca etkisini Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Mesh sayısının simülasyona etkisi (Mesh-Nu).

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bölüm 3'te denklemleri verilen bağıntılar eşliğinde öncelikle deneysel çalışma ve Ansys 16.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği paket programı ile ulaşılan sonuçlar literatür denklemleri ve önerilen korelasyonlara uygunluğu saf su nazarında verilirken, sonrasında sırasıyla Al₂O₃ ve ZnO bulguları verilecektir. Sonraki kısımda ise üç akışkanın tüm bulguları karşılaştırmalı olarak verilecek ve pompa basınç düşüşü değeri eşliğinde nanoakışkan kullanılmasının sistemde pompa gücü için etkileri belirtilecektir.

Basınç kaybı neticesinde pompa motor gücü hesabı için kullanılacak denklem aşağıda verilmiştir.

Motor gücü hesabı:

$$\dot{W}_{pompa} = \dot{V} \Delta P \quad (5.1)$$

$$\eta_{verim} = \frac{\dot{W}_{pompa}}{\dot{W}_{elekt.harcanan}} \quad (5.2)$$

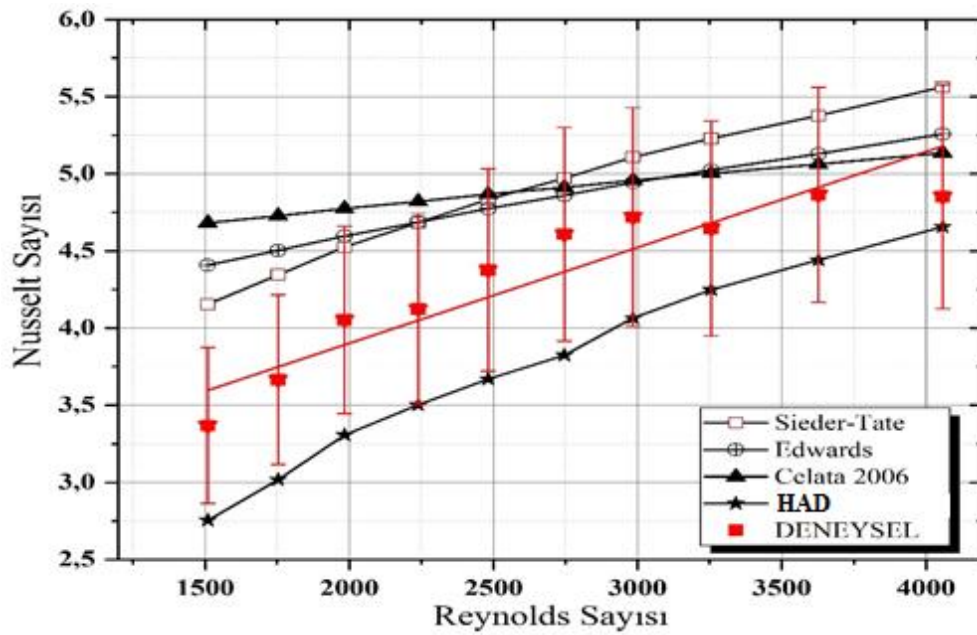
- \dot{W}_{pompa} : Pompa gücü (Watt)
 $\dot{W}_{elekt.harcanan}$: Elektrik motor gücü (Watt)
 \dot{V} : Hacimsel debi (m³/s)
 ΔP : Basınç kaybı (N/m²)
 η_{verim} : Motor verimi 0.9 alınmıştır.

5.1 Nusselt Sayısı

Literatür referans denklemleri ile hesaplanan Nusselt sayıları, Ansys 16.2 sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelgede 5.1’de verilmiştir. Nusselt sayısının, Reynolds sayısına göre değişimi Şekil 5.1 için deneysel sonuçlar, Sieder-Tate ve Edwards denklemleri ile %15 hata çizgisi aralığında yaklaşım gösterirken Re >2250 için Celata 2006 çalışması ile benzeşim göstermektedir. Şekil 5.1 HAD çözümlerinin Ghajar denklemi ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1 Saf su için Nusselt sayısı Reynolds sayısı değişimi.

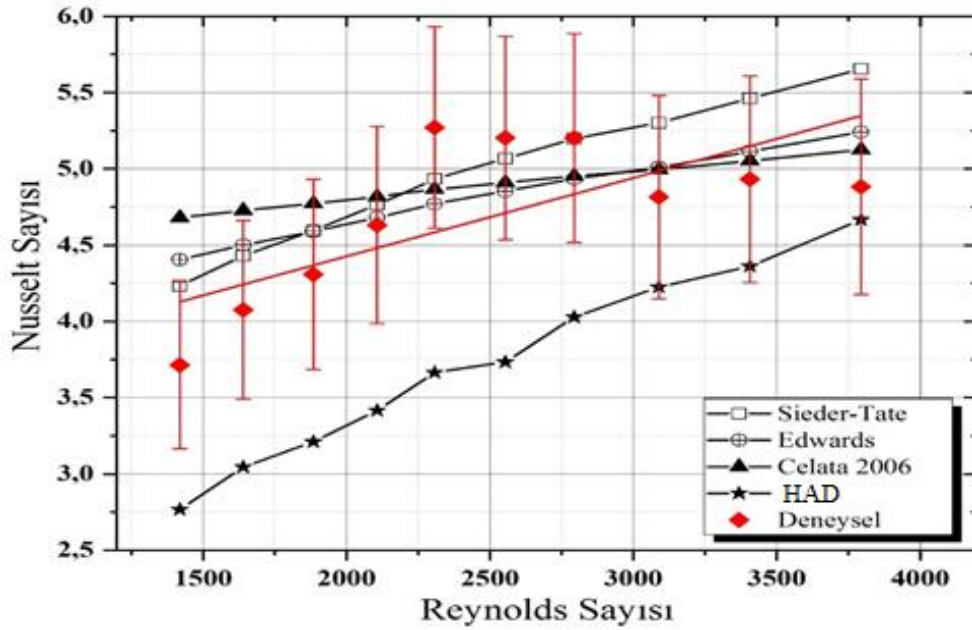
Re	1509.585	1753.447	1984.092	2238.977	2481.603	2746.540	2984.243	3255.665	3627.784	4057.847
Nu										
Sieder-Tate	4.16	4.35	4.53	4.68	4.84	4.97	5.11	5.23	5.38	5.56
Edwards	4.41	4.50	4.7	4.69	4.77	4.86	4.94	5.02	5.13	5.26
Ghajar Lam.	2.79	2.92	3.04	3.14	3.24	3.33	3.42	3.50	3.60	3.72
Celata 2006	4.68	4.73	4.78	4.82	4.87	4.91	4.96	5.00	5.06	5.14
Parlak 2010	4.89	5.38	5.85	6.31	6.75	7.19	7.60	8.02	8.58	9.22
Deneysel	3.37	3.67	4.05	4.12	4.38	4.61	4.72	4.65	4.86	4.85
Ansys Lam.	2.76	3.02	3.31	3.50	3.67	3.82	4.07	4.25	4.44	4.66
Ansys Türb.	3.59	4.13	4.66	5.22	5.77	6.41	6.91	7.47	8.21	9.12



Şekil 5.1 Saf su için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).

Çizelge 5.2 %0,5 Al₂O₃ için Nusselt sayısı Reynolds sayısı değişimi.

Re	1419.526	1640.628	1884.350	2107.220	2307.653	2553.321	2794.542	3088.922	3406.873	3793.789
Sieder-Tate	4.23	4.43	4.60	4.76	4.93	5.07	5.20	5.30	5.46	5.65
Edwards	4.41	4.50	4.59	4.68	4.77	4.85	4.94	5.01	5.11	5.24
Ghajar Laminer	2.85	2.98	3.09	3.20	3.31	3.40	3.48	3.55	3.66	3.79
Celata 2006	4.68	4.73	4.77	4.82	4.87	4.91	4.95	4.99	5.05	5.13
Parlak 2010	4.78	5.26	5.73	6.17	6.58	7.00	7.41	7.85	8.36	8.98
Deneysel	3.71	4.08	4.31	4.63	5.27	5.20	5.20	4.82	4.93	4.88
Ansys Laminer	2.77	3.05	3.21	3.42	3.67	3.73	4.03	4.23	4.36	4.67
Ansys Türbülans	3.62	4.11	4.63	5.18	5.74	6.31	6.85	7.36	8.10	9.03

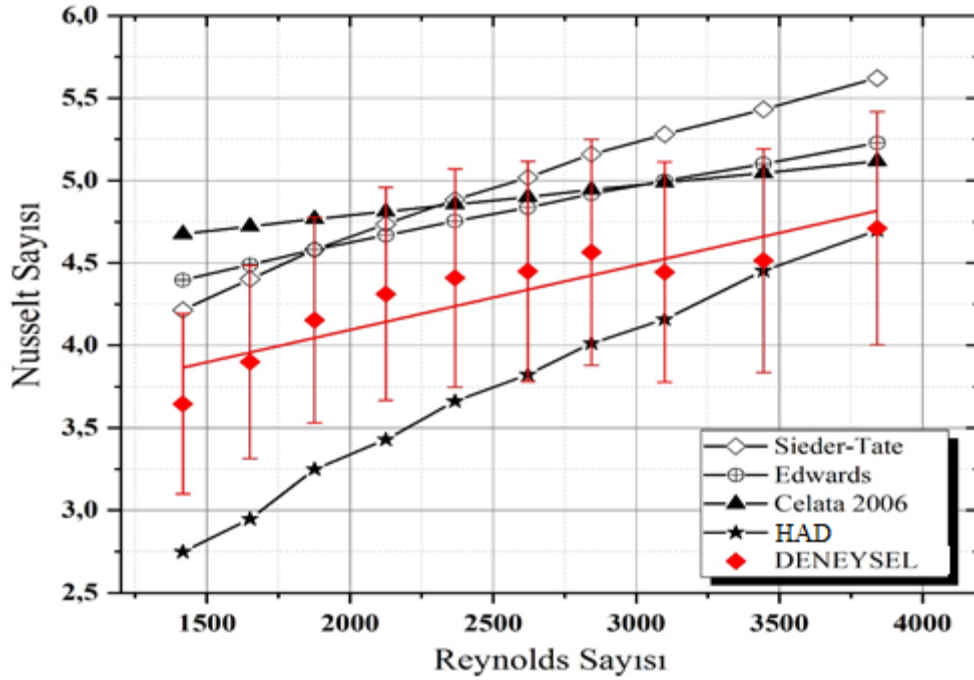


Şekil 5.2 %0,5 Al₂O₃ için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).

Nusselt sayıları, Asys 16.2 sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir. Nusselt sayısının, Reynolds sayısına göre değişimi Şekil 5.2 için deneysel sonuçlar, Sieder-Tate ve Edwards denklemleri ile %15 hata çizgisi aralığında yaklaşım gösterirken Re >2000 için Celata 2006 çalışması ile sonuçlar benzeşim göstermektedir. En büyük etki geçiş bölgelerinde görülmüştür. HAD çözümlenmeleri ise Ghajar laminer çalışması ile verilen bağıntılarla örtüşmektedir (Çizelge 5.2).

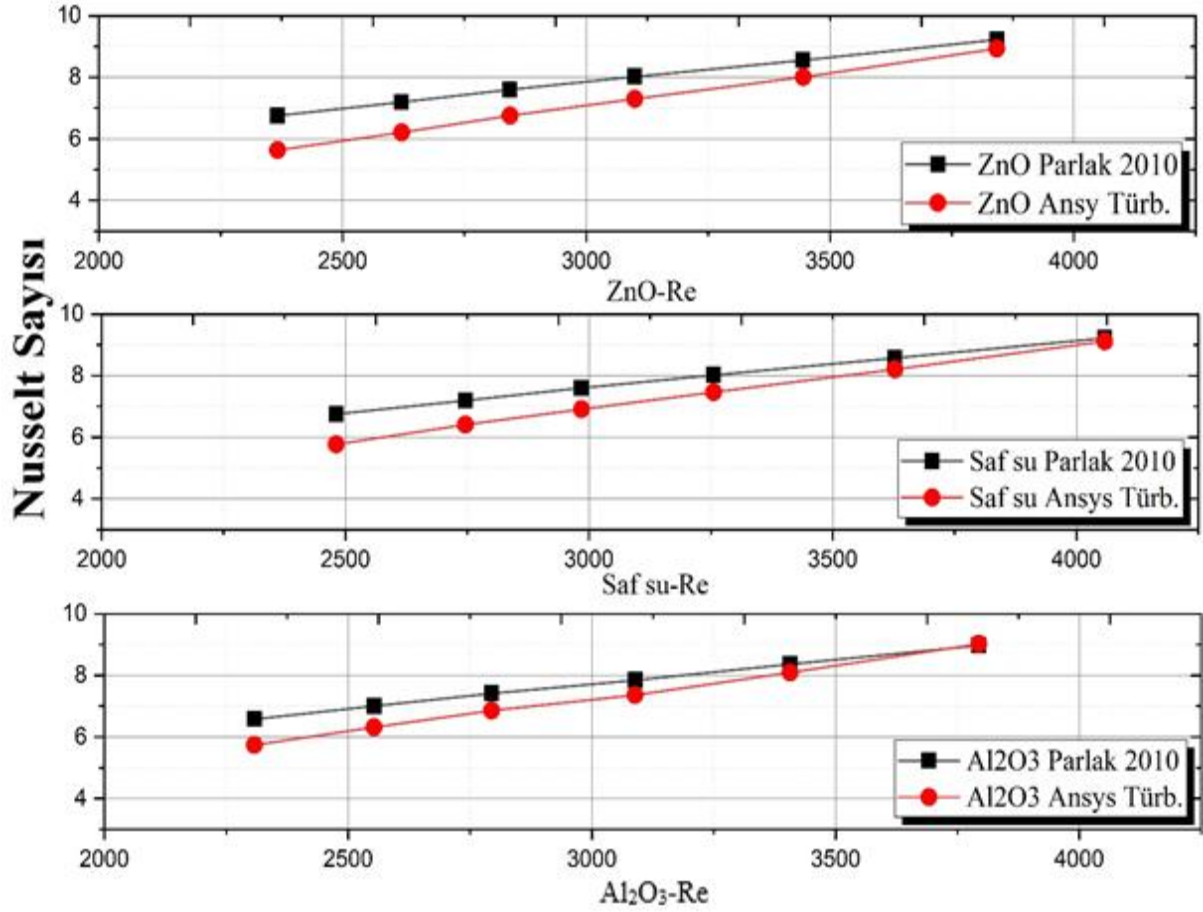
Çizelge 5.3 %0.5 ZnO için Nusselt sayısı Reynolds sayısı değişimi.

Re	1416.194	1650.435	1876.665	2125.303	2367.009	2621.229	2843.750	3099.522	3445.081	3842.416
Sieder-Tate	4.21	4.40	4.58	4.74	4.88	5.02	5.16	5.28	5.43	5.62
Edwards	4.40	4.49	4.58	4.67	4.75	4.84	4.92	5.00	5.10	5.23
Ghajar Laminer	2.83	2.96	3.08	3.18	3.28	3.36	3.46	3.54	3.64	3.76
Celata 2006	4.68	4.72	4.77	4.81	4.86	4.90	4.95	4.99	5.05	5.12
Parlak 2010	4.76	5.24	5.70	6.16	6.59	7.03	7.42	7.83	8.36	8.99
Deneysel	3.65	3.90	4.15	4.31	4.41	4.45	4.57	4.45	4.52	4.71
Ansys Laminer	2.75	2.95	3.25	3.43	3.66	3.82	4.01	4.16	4.45	4.70
Ansys Türbülans	3.53	4.05	4.58	5.11	5.64	6.21	6.75	7.29	8.01	8.93



Şekil 5.3 %0.5 ZnO için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).

Nusselt sayıları, Ansys 16.2 sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelgede 5.3’de verilmiştir. Nusselt sayısının, Reynolds sayısına göre değişimi Şekil 5.3 için deneysel sonuçlar, Sieder-Tate ve Edwards denklemleri ile %15 hata çizgisi aralığında yaklaşım gösterirken Re >2250 için Celata 2006 çalışması ile sonuçlar benzeşim göstermektedir. HAD çözümlenmeleri Ghajar laminar çalışması ile yaklaşım gösterirken Standart k-ε türbülans model sonuçları Parlak 2010 çalışmasında verilen bağıntılar için ayrıca Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4 Tüm akışkanlar için Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi (Nu-Re).

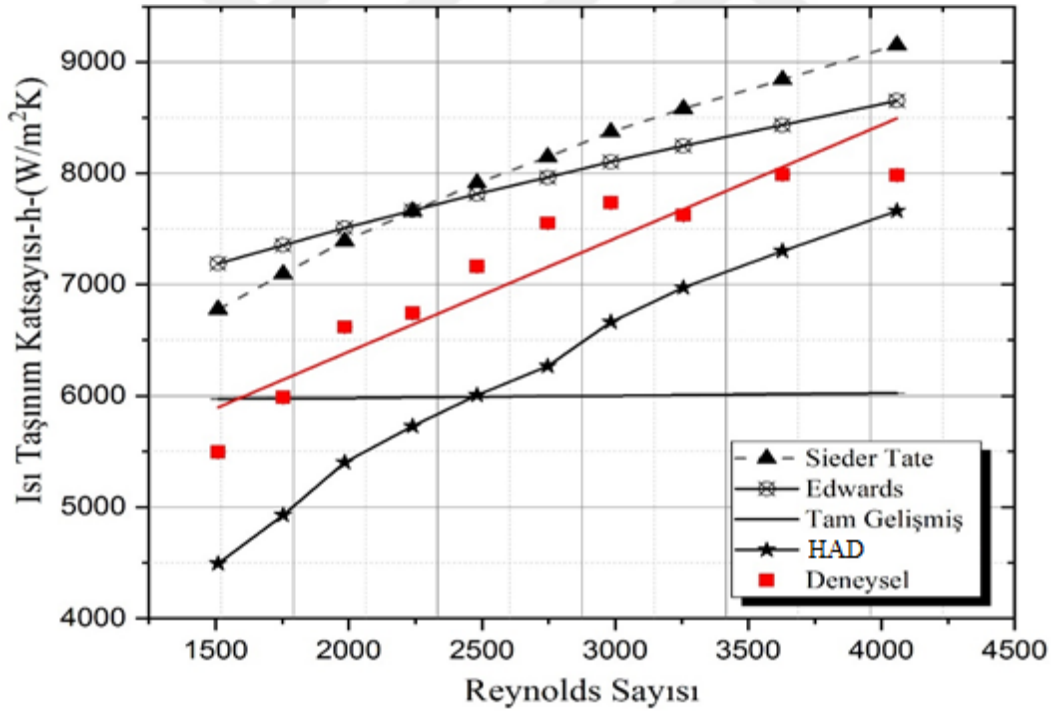
Ansys laminer model çıktıları Ghajar laminer çalışması ile desteklenirken Şekil 5.4’de Ansys 16.2 standart k-ε türbülans model çıktıları Parlak 2010 tarafından verilen bağıntı ile uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Deneysel sonuçlar için Nusselt sayısı değişiminde benzer bir bağıntı deney sonuçları için belirlenmiş olup Çizelge 5.15’de akış rejimine göre verilmiştir. Aynı zamanda %0.5 hacimsel derişimde nanoakışkan kullanımı neticesinde, Reynolds sayısındaki artışın, Nusselt sayısını arttırıcı etkileri belirlenmiştir.

5.2 Isı Taşınım Katsayısı-h (W/m²K)

Ansys 16.2 ticari programı laminer ve standart k-ε türbülans modeliyle belirlenen ısı taşınım katsayısı, Çizelge 3.7’de verilen literatür denklemleri ile hesaplanan ısı taşınım katsayısı ve deneysel sonuçlar çizelgede belirtilmiştir. Isı taşınım katsayısının, Reynolds sayısına göre değişimi sırasıyla saf-su akışkanını, %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃ ve ZnO nanoakışkanları için ayrı ayrı verilecek sonrasında ise karşılaştırmalı ısı taşınım katsayısı Şekil 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Saf su için ısı taşınım katsayısı Reynolds sayısı değişimi.

Re	1509.585	1753.447	1984.092	2238.977	2481.603	2746.540	2984.243	3255.665	3627.784	4057.847
Isı taşınım katsayısı -h- (W/m ² K)										
Sieder-Tate	6777.19	7095.57	7391.06	7658.95	7912.02	8145.31	8371.25	8579.45	8840.59	9152.35
Edwards	7189.04	7353.58	7507.17	7664.45	7812.76	7963.01	8101.95	8245.45	8432.74	8651.37
Tam Gelişmiş	5970.09	5977.33	5978.04	5986.49	5989.71	5998.29	5998.84	6006.86	6017.83	6022.66
DeneySEL	5494.37	5987.32	6619.25	6742.45	7161.74	7552.40	7735.78	7623.20	7986.68	7983.33
Ansys Laminer	4493.59	4928.56	5401.89	5728.14	6006.13	6267.00	6663.29	6971.97	7301.45	7661.75
Ansys Türb.	5854.88	6737.11	7618.19	8535.43	9447.46	10415.53	11328.4	12258.19	13497.75	15007.16

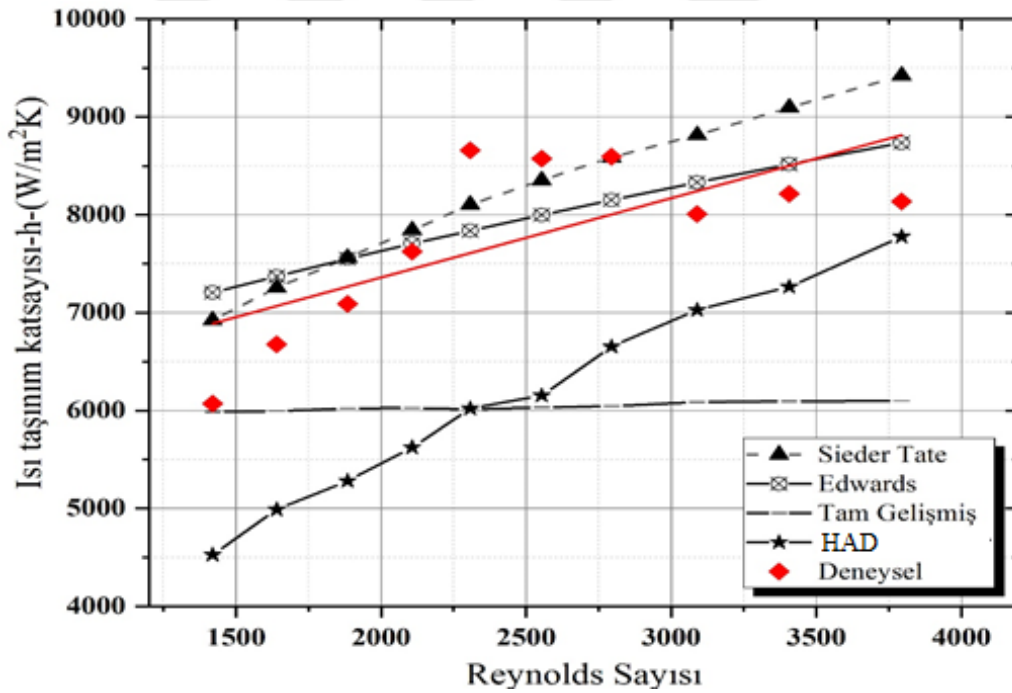


Şekil 5.5 Saf su için ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi (h-Re).

Reynolds sayısına göre Nuselt sayısı değişim grafiğinin benzer eğilimini Şekil 5.5’de ısı taşınım katsayısı için görmek mümkündür. DeneySEL sonuçlar Sieder-tate ve Edwards denklemleri ile benzeşim gösterirken $Re > 1750$ değerleri için HAD verileri hid. ve ısıl gelişmiş bağıntısı ile desteklenmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.5 %0.5 Al₂O₃ için ısı taşınım katsayısı Reynolds sayısı değişimi.

Re	1419.526	1640.628	1884.350	2107.220	2307.653	2553.321	2794.542	3088.922	3406.873	3793.789
Isı taşınım katsayısı -h- (W/m ² K)										
Sieder-Tate	6923.5	7255.1	7562.6	7843.7	8102.9	8352.4	8587.2	8815.4	9094.9	9420.7
Edwards	7204.8	7370.8	7551.5	7705	7836	7999.1	8151.9	8330.5	8515.9	8734.4
Tam Gelişmiş	5985.6	5994.1	6021.3	6025.7	6012.8	6032.5	6046.2	6087.2	6095.5	6099.3
Deneysel	6072	6675.1	7088.4	7624	8658.6	8574.7	8593.8	8007.7	8213.4	8136.4
Ansys Laminer	4525.7	4988.6	5282.2	5623.7	6021.1	6153.9	6654.3	7027.5	7264.5	7776.7
Ansys Türb.	5921.7	6728.9	7612.1	8519.3	9425.5	10404.1	11322.1	12247.8	13482.2	15039.2

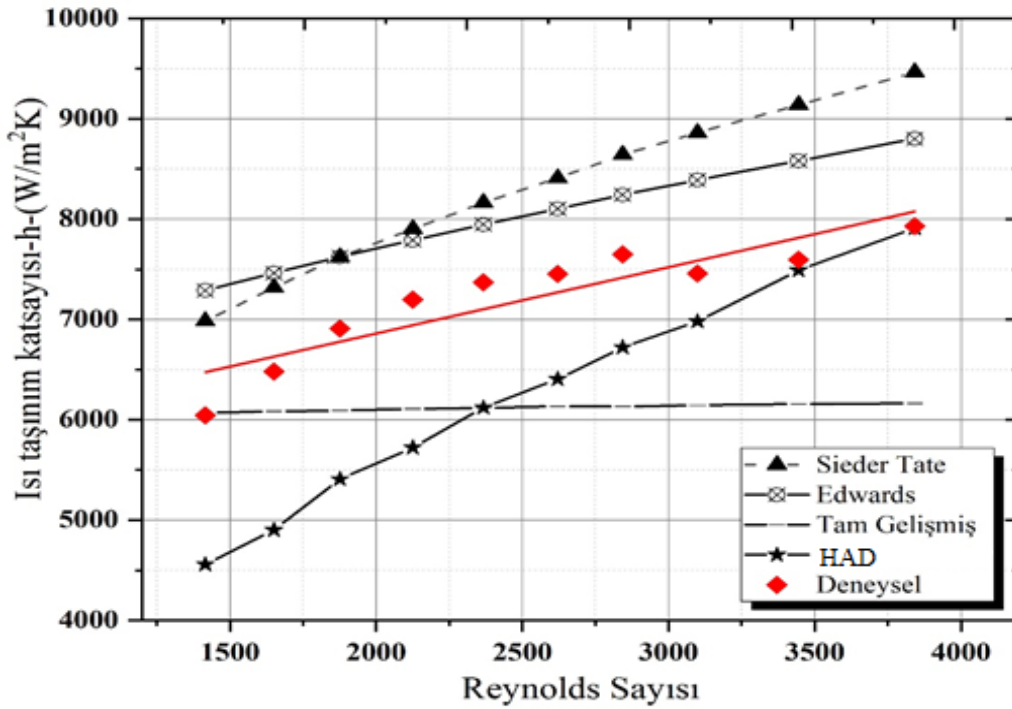


Şekil 5.6 %0.5 Al₂O₃ için ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi (h-Re).

Şekil 5.6'da Reynolds sayısı değişimine göre ısı taşınım katsayısının değişimi verilmiştir. Deneysel sonuçlar Sieder-tate ve Edwards denklemleri ile benzeşim gösterirken Re>1850 değerleri için HAD verileri hidrodinamik ve ısıl gelişmiş bağıntısı ile desteklenmiştir (Çizelge 5.5). Reynolds sayısı artışının ısı taşınım katsayısını arttırdığı gözlemlenmiştir. Türbülans bölgesi için artan vizkozite nedeniyle artışın sınırlı kaldığı görülmüştür.

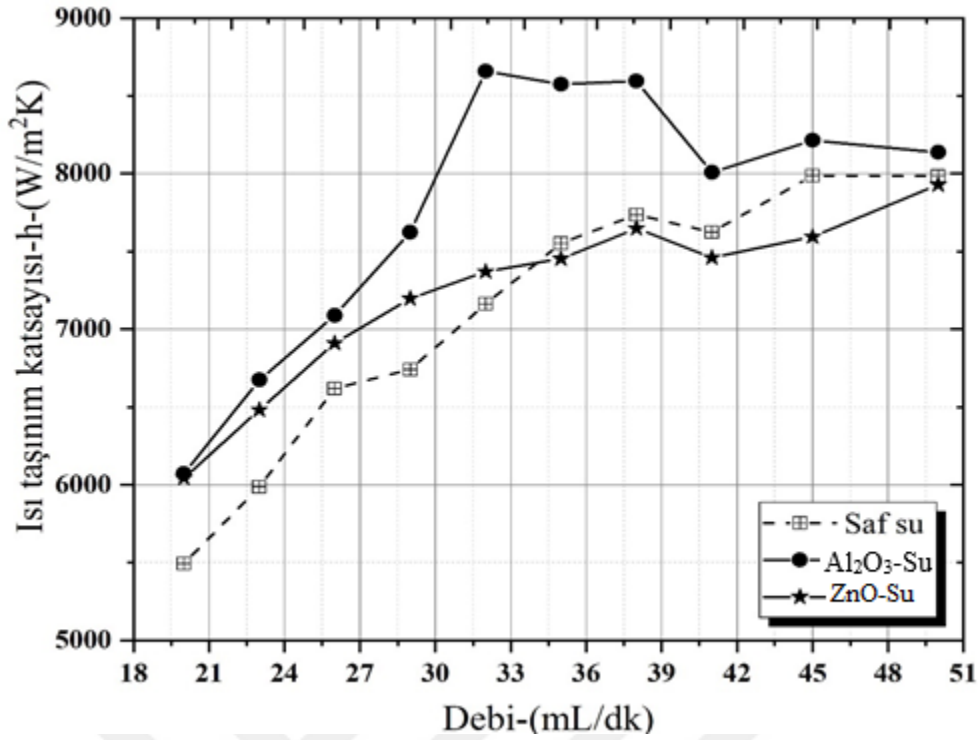
Çizelge 5.6 %0.5 ZnO için ısı taşınım katsayısı Reynolds sayısı değişimi.

Re	1416.194	1650.435	1876.665	2125.303	2367.009	2621.229	2843.750	3099.522	3445.081	3842.416
Isı taşınım katsayısı-h- (W/m ² K)										
Sieder-Tate	6986.5	7317.4	7621.6	7901.2	8162.9	8407.7	8641.6	8860.9	9137.1	9462.7
Edwards	7288.8	7462.1	7622.3	7789.4	7945.9	8102.6	8240.9	8388.9	8580.9	8800.5
Tam Gelişmiş	6067.8	6083.1	6089.7	6107.1	6117.7	6131.8	6130.9	6142.4	6156.7	6160.9
Deneysel	6044.2	6481.1	6910.7	7196.5	7370.4	7453.1	7647.5	7459.2	7594.4	7928.4
Ansys Laminer	4556.6	4900.6	5407.4	5721.9	6121.4	6406.2	6721.4	6980.9	7490.5	7908.9
Ansys Türb.	5854.5	6734.1	7615.8	8522.1	9424.5	10407.2	11312.5	12241	13479.3	15039.4



Şekil 5.7 %0.5 ZnO için ısı taşınım katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi (h-Re).

Şekil 5.7'de Reynolds sayısı değişimine göre ısı taşınım katsayısını değişimi verilmiştir. Deneysel sonuçlar daha çok Edwards denklemleri ile benzeşim gösterirken $Re > 1750$ değerleri için HAD verileri hidrodinamik ve ısıl gelişmiş bağıntısı ile diğer akışkanlara nazaran daha çok yakınlık içerisindedir (Çizelge 5.5). Reynolds sayısının artışı ısı taşınım katsayısını arttırıcı özelliği belirlenmiştir.



Şekil 5.8 Deneysel ısı taşınım katsayısının artan debiye göre akışkan bazında değişimi.

Şekil 5.8’de saf su baz akışkanına göre, %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃-Su nanoakışkanı kullanmak ısı taşınım katsayısında 32 mL/dk debide %20.90 artış sağlarken bu artış %0.5 hacimsel derişimde ZnO-Su nanoakışkanı için 20 mL/dk debide %10.01 olarak gerçekleşmiştir. Nanoakışkan kullanmanın ısı taşınım katsayısını arttırıcı özelliği görülmektedir.

5.3 Isı Transferi-Q (W)

Ansysticari programı laminer ve standart k-ε türbülans modeliyle belirlenen ısı transferi miktarı, çizelge 3.4’de verilen literatür denklemleri ile hesaplanan değerler ve deneysel sonuçlar çizelgede verilmiştir. Isı taşınım katsayısının, artan debiye göre değişimi sırasıyla saf su akışkanı, %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃ ve ZnO nanoakışkanları için ayrı ayrı verilmiştir.

Reynolds sayısı değişimine göre çizilen grafiklerde genel benzeşimin Sieder-Tate ve Edwards denklemleri ile olması ısı transferi için incelemenin bu denklemler üzerinden yapılması gerektiği kanısını oluşturmuştur. Isı transferinin debiye göre değişimleri tüm akışkanlar için Çizelge 5.7, 5.8 ve 5.9 ile sırasıyla saf su, %0.5 derişimde saf su tabanlı Al₂O₃ ve ZnO akışkanları için verilmiştir.

Çizelge 5.7 Saf su için debiye göre ısı transferi değişimi.

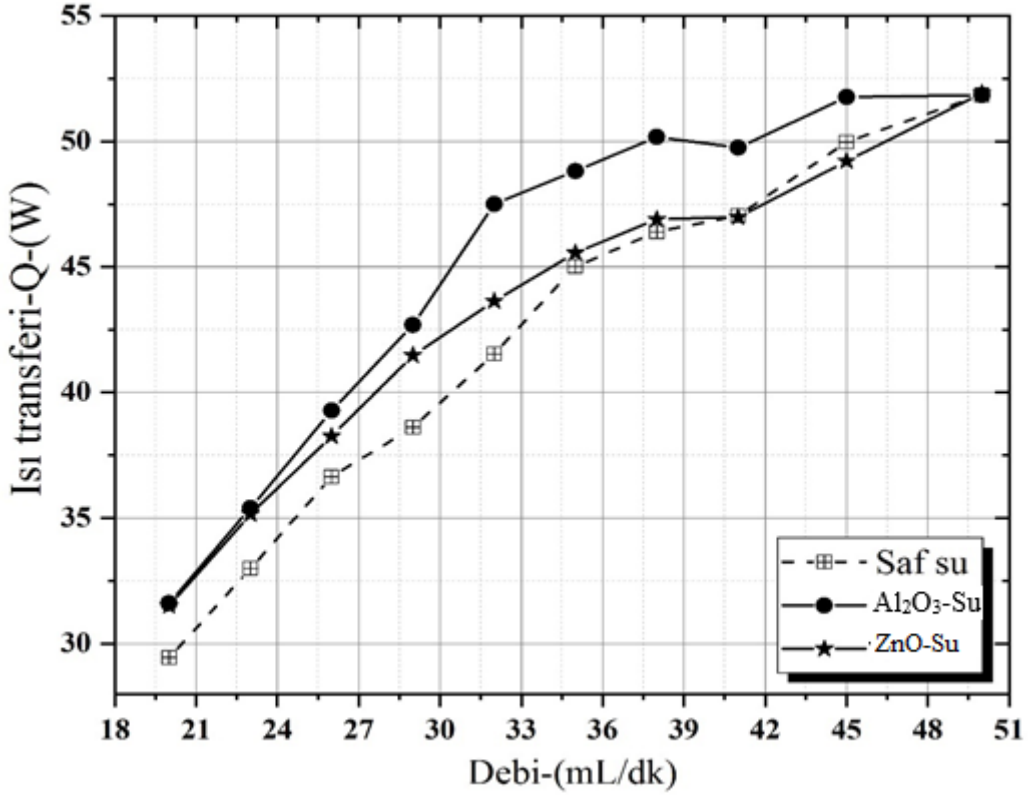
İş debi (mL/dk)	20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Isı Transferi-Q-(W)										
Sieder-Tate	36.32	39.10	40.92	43.86	45.89	48.55	50.21	52.94	56.63	59.44
Edwards	38.52	40.52	41.56	43.89	45.32	47.46	48.59	50.88	54.02	56.18
Deneysel	29.44	32.99	36.64	38.61	41.54	45.01	46.40	47.04	49.98	51.84
Ansys Türb.	19.93	23.05	25.95	29.04	32.05	35.60	38.17	41.24	45.28	50.80

Çizelge 5.8 %0.5 Al₂O₃ için debiye göre ısı transferi değişimi.

İş debi (mL/dk)	20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Isı Transferi-Q-(W)										
Sieder-Tate	36.04	38.47	41.90	43.91	44.45	47.55	50.14	54.76	57.32	60.02
Edwards	37.51	39.08	41.84	43.14	43.00	45.54	47.60	51.75	53.67	55.65
Tam Gelişmiş	31.16	31.78	33.36	33.73	32.99	34.34	35.30	37.82	38.41	38.86
Deneysel	31.61	35.39	39.28	42.68	47.50	48.82	50.18	49.75	51.76	51.84
Ansys Türb.	20.50	23.23	26.73	29.65	32.48	35.52	38.45	42.11	45.96	50.36

Çizelge 5.9 %0.5 ZnO için debiye göre ısı transferi değişimi.

İş debi (mL/dk)	20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Isı Transferi-Q-(W)										
Sieder-Tate	36.42	39.69	42.20	45.54	48.33	51.40	52.99	55.81	59.22	61.97
Edwards	38.00	40.48	42.20	44.90	47.05	49.53	50.53	52.84	55.61	57.63
Tam Gelişmiş	31.63	33.00	33.72	35.20	36.22	37.48	37.59	38.69	39.90	40.35
Deneysel	31.51	35.16	38.26	41.48	43.64	45.56	46.89	46.98	49.22	51.92
Ansys Türb.	20.17	23.42	26.38	29.88	33.02	36.33	38.87	41.82	46.26	51.11



Şekil 5.9 Deneysel ısı transferi miktarının artan debiye göre değişimi.

Çizelge 5.7’de artan debi neticesinde ısı transferi miktarının değişimi saf su için verilmiş olup 20 mL/dk debi hariç(%18.93) tüm debilerde deneysel sonuçlar maksimum %15 hata payı içerisinde çizelgede verilen tüm literatür denklemleri ile benzeşim gösterirken, Ansys 16.2 standart k-ε türbülans model çıktılarının geçiş bölgesinden sonra ($Re > 2500$) yakınlık gösterdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 5.8 ve 5.9 nanoakışkan verilerine baktığımızda Ansys 16.2 standart k-ε türbülans model çıktıları hidrodinamik ve ısıl gelişmiş denklemi ile 29 mL/dk debi ve sonrasında çok yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir. Isı transferi miktarı yönünden Şekil 5.9’a göre üç akışkanı karşılaştırdığımızda ise, saf su baz akışkanına göre 29 mL/dk debide ZnO-Su nanoakışkan ısı transferini maksimum %7.423 oranında arttırırken Al₂O₃-Su nanoakışkan için bu etki 32 mL/dk debi için %14.35 olarak gerçekleşmiştir.

5.4 Basınç Kaybı- ΔP_f (bar)

Ansys 16.2 ticari programı laminer ve standart k-ε türbülans modeliyle belirlenen basınç kaybı, Çizelge 3.4’de verilen literatür denklemleri ile hesaplanan değerler ve deneysel sonuçlar çizelgede verilmiştir. Basınç kaybı değeri, Reynolds sayısına göre değişimi sırasıyla saf-su akışkanını, %0.5 derişimde Al₂O₃ ve ZnO nanoakışkanları için ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.10 Saf su için debiye göre basınç kaybı değişimi.

\dot{V}_{debi} (mL/dk)	20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Basınç Kaybı- ΔP , (bar)										
Haaland	2.92	3.81	4.83	5.96	7.21	8.58	10.07	11.67	13.99	17.20
Blasius	1.13	1.44	1.79	2.16	2.56	2.98	3.44	3.92	4.60	5.52
Deneysel	2.44	2.89	3.23	4.16	4.77	6.16	7.98	8.56	10.06	12.51
Ansys Laminer	1.61	1.92	2.49	2.67	2.81	2.93	3.53	3.88	4.15	4.46
Ansys Türb.	1.28	1.48	1.69	2.89	4.90	6.45	7.61	9.01	11.05	13.28

Çizelge 5.11 %0.5 Al₂O₃ için debiye göre basınç kaybı değişimi.

\dot{V}_{debi} (mL/dk)	20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Basınç Kaybı- ΔP , (bar)										
Haaland	2.98	3.89	4.92	6.07	7.35	8.74	10.25	11.87	14.24	17.50
Blasius	1.17	1.49	1.84	2.22	2.64	3.08	3.55	4.03	4.74	5.70
Deneysel	2.64	2.83	3.25	4.45	5.08	6.59	8.15	9.53	11.20	13.27
Ansys Laminer	1.81	2.25	2.25	2.52	3.07	2.86	3.71	4.18	4.21	5.06
Ansys Türb.	1.38	1.60	1.80	2.40	3.93	6.49	7.73	9.12	11.11	13.93

Çizelge 5.12 %0.5 ZnO için debiye göre basınç kaybı değişimi.

\dot{V}_{debi} (mL/dk)	20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Basınç Kaybı- ΔP , (bar)										
Haaland	3.01	3.92	4.96	6.12	7.40	8.80	10.33	11.97	14.35	17.64
Blasius	1.18	1.50	1.85	2.24	2.65	3.09	3.57	4.06	4.77	5.73
Deneysel	2.77	3.34	4.22	5.22	6.26	7.21	8.58	10.27	12.11	15.10
Ansys Laminer	1.86	1.92	2.57	2.70	3.19	3.36	3.76	3.94	4.85	5.38
Ansys Türb.	1.38	1.60	1.82	2.50	4.27	6.60	7.73	9.14	11.20	14.07

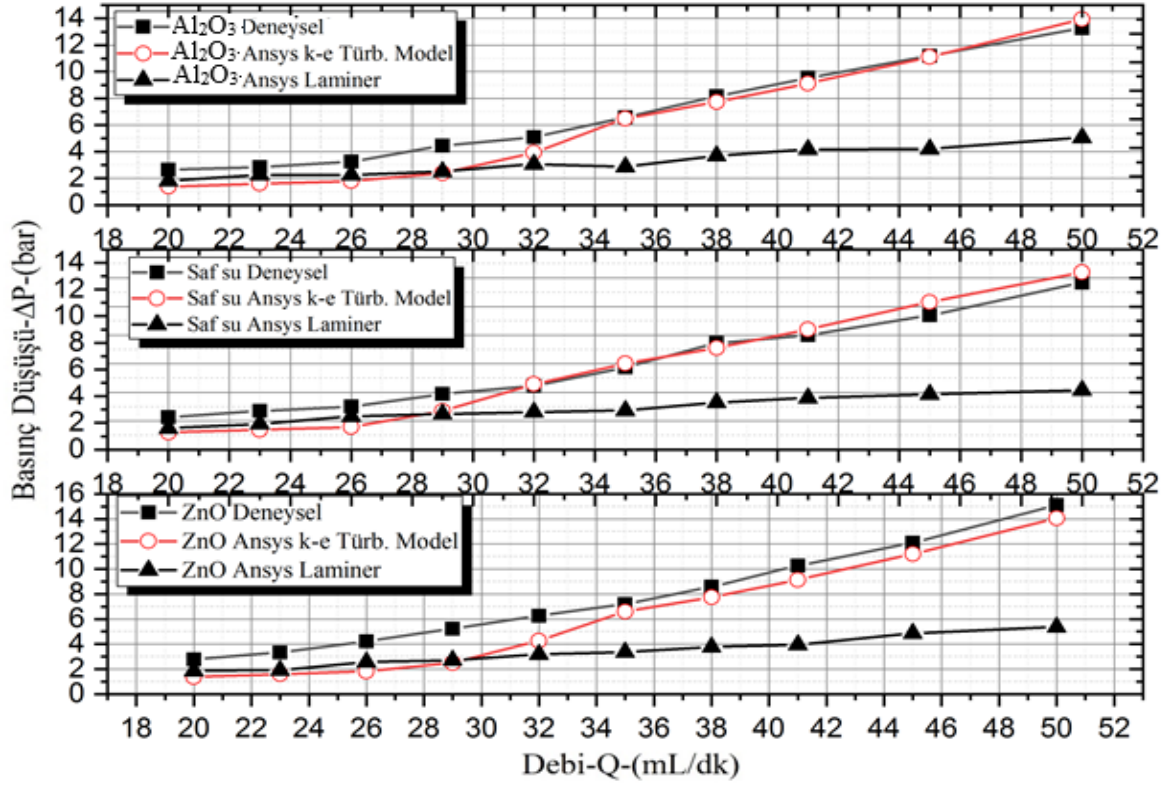
Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12’de verilen bilgilere göre Ansys 16.2 ticari programı ile laminer koşullarda yapılan analiz laminer bölge için Blasius bağıntısı ile uyum içinde olurken, deneysel sonuçlar ve Ansys 16.2 ticari programı standart k-ε türbülans modeli için akışın laminer olmadığı türbülanslı ve/veya aralıklı değişen akış rejimi olduğu varsayımına götürmüştür. $Re > 2500$ türbülanslı rejim akış koşullarında eğilim Haaland denklemine yakın çıkmaktadır. Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12’de deneysel veriler $Re > 2500$ değerleri için basınç düşüşü değerlerinde Ansys 16.2 standart k-ε türbülans model analizlerine yakın değerler vermiştir. Mini kanal nanoakışkan deneylerinde literatür araştırmaları da göstermektedir ki; nanoakışkanlar için kritik Reynolds sayısı tahmin etmek veya akış profilini tam anlamıyla çizmek zordur. Bu nedenle araştırmacılar tarafından ulaşılan sonuçlar bölgelere ayrılmış ve her bölge için uyumlu denklemler gösterilmiştir. Bu sebeple çalışmada, deney koşulları için bağıntılar önerilerek Çizelge 5.15’de verilmiştir. Çalışmamızda basınç kaybı için, deneysel ve Ansys standart k-ε türbülans modeli ile ulaşılan sonuçlar birbirini desteklemekte ve bu bulgular neticesinde basınç kaybı değeri için sistem de kullanılacak pompa modifikasyonunda ne gibi değişiklikler olması gerekliliği de ayrıca araştırılmıştır.

5.4.1 Basınç Kaybı- ΔP_f (bar)- Pompa Gücü İlişkisi

Çizelge 5.13’de basınç kaybı değeri için artan debiye göre deneysel ve Ansys 16.2 ticari programında standart k-ε türbülans modeli için hesaplanan değerler verilmiştir. Pompa gücü hesabı için denklem 5.1 kullanılmıştır. Denklem 5.2 ile elektriksel güç tüketim artışı hesaplanmış ve Çizelge 5.14 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.13 Debi değişimi neticesinde basınç kaybı değişimi.

\dot{V}_{debi} (mL/dk)		20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Saf su	Deneysel	2.44	2.89	3.23	4.16	4.77	6.16	7.98	8.56	10.06	12.51
	Standart k-ε türb. modeli	1.28	1.48	1.69	2.89	4.90	6.45	7.61	9.01	11.05	13.28
Al ₂ O ₃	Deneysel	2.64	2.83	3.25	4.45	5.08	6.59	8.15	9.53	11.20	13.27
	Standart k-ε türb. modeli	1.38	1.60	1.80	2.40	3.93	6.49	7.73	9.12	11.11	13.93
ZnO	Deneysel	2.77	3.34	4.22	5.22	6.26	7.21	8.58	10.27	12.11	15.10
	Standart k-ε türb. modeli	1.38	1.60	1.82	2.50	4.27	6.60	7.73	9.14	11.20	14.07



Şekil 5.10 Tüm akışkanlar için debi değişimine göre basınç düşüşü değerleri.

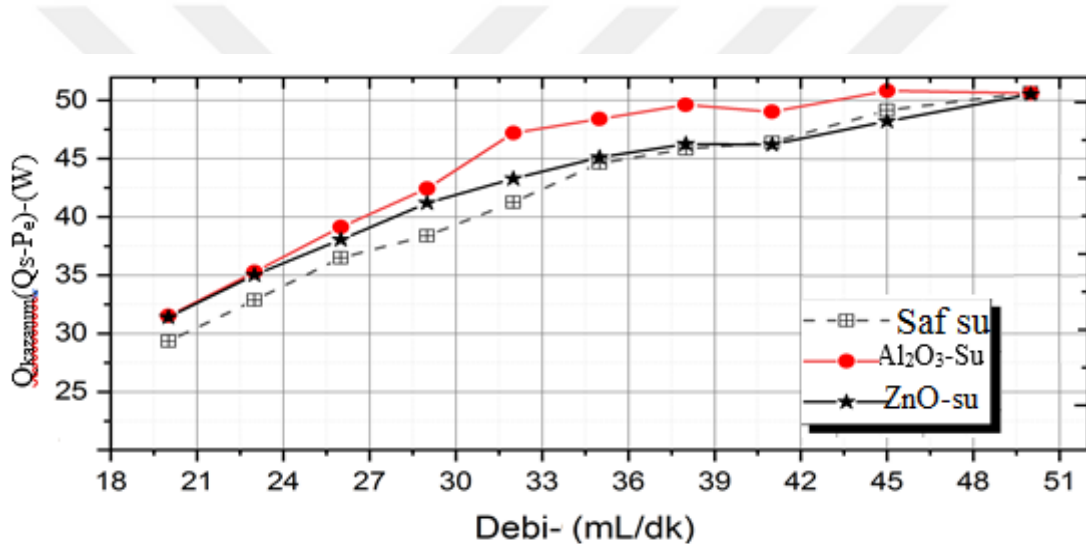
Şekil 5.10’da deneysel veriler ile Ansys laminar ve standart k-ε türb. model çıktılarının artan debiye göre basınç düşüşündeki değişimi verilmiştir. Kritik Reynolds sayısından sonra türbülans model değerleri arasındaki yakınlık oranı artmakta iken bu değerden önce deney verilerinin laminar model çıktıları ile benzeşim halinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Reynolds sayısının artışı ile basınç düşüşü değerindeki artışın artan yoğunluk ile olduğu düşünülmektedir (Lee 2007).

Çizelge 5.14 Denklem 5.2’ye göre elektriksel harcanan güç değişimi.

\dot{V}_{debi} (mL/dk)		20	23	26	29	32	35	38	41	45	50
Saf su	Pe-(W)	0.090	0.123	0.156	0.223	0.283	0.399	0.561	0.650	0.838	1.158
	Qs-(W)	29.44	32.99	36.64	38.61	41.54	45.01	46.40	47.04	49.98	51.84
Al ₂ O ₃	Pe-(W)	0.098	0.121	0.156	0.239	0.301	0.427	0.573	0.723	0.933	1.229
	Qs-(W)	31.61	35.39	39.28	42.68	47.50	48.82	50.18	49.75	51.76	51.84
ZnO	Pe-(W)	0.103	0.142	0.203	0.280	0.371	0.467	0.603	0.780	1.009	1.398
	Qs-(W)	31.51	35.16	38.26	41.48	43.64	45.56	46.86	46.98	49.22	51.92

Çizelge 5.14’de nanoakışkan kullanımının, saf suya göre pompa elektrik tüketim artışına sebep olduğu görülmektedir. Al_2O_3 nanoakışkanı için 32 mL/dk debide %20.90 ısı taşınım katsayısındaki artışa karşılık gelen pompa elektrik tüketim artışı %6.50 olurken ZnO nanoakışkanı için 20 mL/dk debide %10.01 ısı taşınım katsayısındaki artış için %13.49 oranında fazladan elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Çizelge 5.14’de ayrıca her bir akışkan için Q soğutma değerleri verilmiş olup Şekil 5.11’de ise deneyde kullanılan tüm akışkanlar için kazanım değerleri hesaplanarak grafik halinde verilmiştir. $Q_{kazanım}$ ifadesi; her bir akışkan için hesaplanan ısı transferi değerinden pompa elektriksel güç artışındaki değer çıkartılarak denklem 5.3 ile bulunmuştur.

$$Q_{kazanım} = Q_s - P_e \quad (5.3)$$



Şekil 5.11 Tüm akışkanlar için elde edilen kazanım değerleri karşılaştırılması.

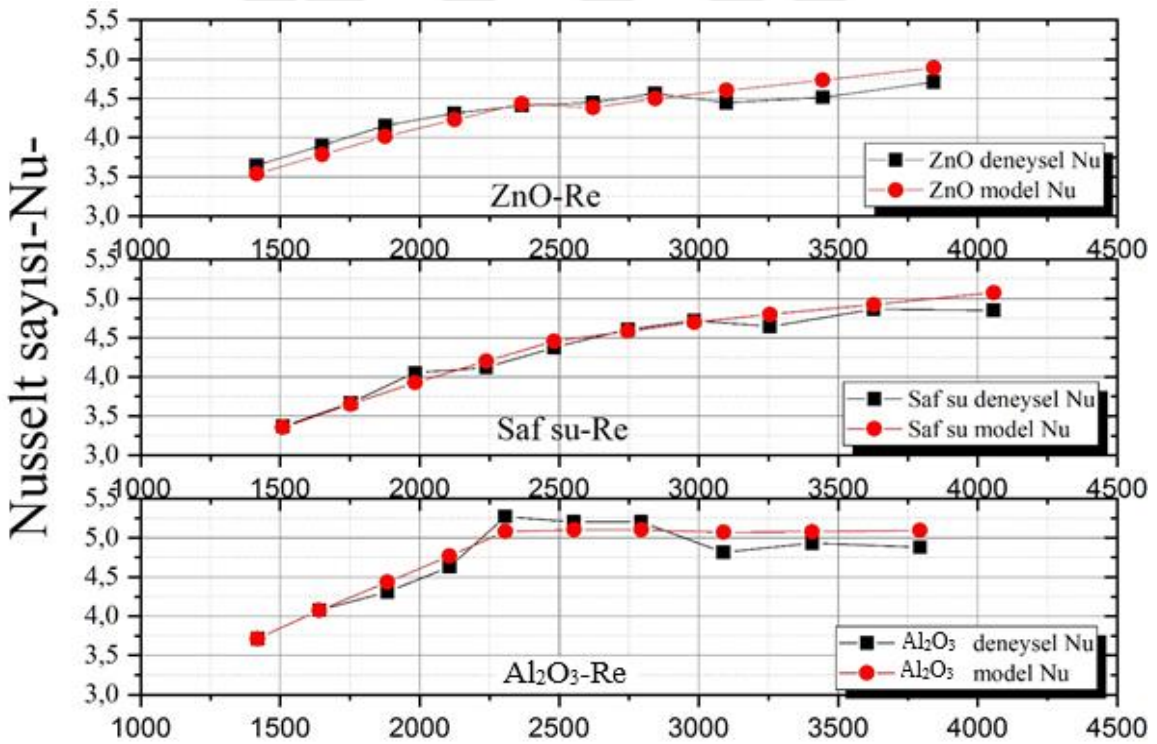
Saf su ve saf su tabanlı %0.5 hacimsel derişimde ZnO nanoakışkanına göre ısıl performans ve karşılaştırılan tüm parametreler neticesinde en uygun akışkanın %0.5 hacimsel derişimde Al_2O_3 -su olduğu belirlenmiştir.

5.4.2 Nusselt Sayısı İçin Bağntı

Pr sayısının üssü 0.33 seçilerek (Incropera 2002 ve Parlak 2010) Nusselt denkleminin önündeki sabit katsayı belirlenmiş ve Reynolds sayı aralığına göre laminar ve türbülanslı akış rejimleri için bağıntılar Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15 Deneysel Nusselt sayılarına göre Nu bağıntısı.

	Laminar bölge	Geçiş ve Türbülanslı akış bölgesi
Saf su	$1400 < Re < 2400$ $Nu = 0.027 Re^{0.592} Pr^{0.33}$	$2400 < Re < 4100$ $Nu = 0.028 Re^{0.293} Pr^{0.33}$
%0.5 Al ₂ O ₃ - Saf su	$1400 < Re < 2400$ $Nu = 0.018 Re^{0.659} Pr^{0.33}$	$2400 < Re < 4100$ $Nu = 2.2 Re^{0.380} Pr^{0.33}$
%0.5 ZnO- Saf su	$1400 < Re < 2400$ $Nu = 0.066 Re^{0.474} Pr^{0.33}$	$2400 < Re < 4100$ $Nu = 0.22 Re^{0.314} Pr^{0.33}$



Şekil 5.12 Deneysel Nu sayılarının Nu bağıntısı ile karşılaştırılması.

Şekil 5.11, önerilen bağıntıların ne derecede deneysel verileri doğruladığını görmek için verilmiştir. Reynolds sayılarına göre değerler laminar bölge ile geçiş ve türbülanslı bölgeler için ayrı ayrı hesaplanmış olup grafikte bağıntı eğilimi, model Nu ile gösterilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Paslanmaz çelik boru malzemesi ve sabit yüzey sıcaklık şartlarında 400 µm çap ve 20 cm uzunluğunda dairesel kesit kanalda farklı hacimsel debilerde (20-23-26-29-32-35-38-41-45-50 mL/dk.) saf su, %0.5 derişim oranında Al₂O₃ ve ZnO nanoakışkan kullanım etkileri ile ilgili deneysel ve bilgisayarlı simülasyon koşullarında ulaşılan sonuçlar özetlenmiştir. Nanoakışkan olarak ZnO (18nm) ve Al₂O₃ (13nm) partikülleri kullanılmıştır.

- Nanoakışkan kullanımının deneysel ve nümerik incelenmesi neticesinde bulunan Nusselt sayısı değişimi, literatür denklemleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiş Reynolds sayısındaki artışın Nusselt sayısını arttırıcı etkisi olduğu belirtilmiştir.
- Saf su baz akışkanına göre %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃ nanoakışkanı kullanmak ısı taşınım katsayısında 32 mL/dk debide %20.90 artış sağlarken bu artış %0.5 hacimsel derişimde ZnO nanoakışkanı için 20 mL/dk debide %10.01 olarak gerçekleşmiştir. Nanoakışkan kullanmanın ısı taşınım katsayısını arttırıcı özelliği tespit edilmiştir.
- Isı transferi miktarı yönünden üç akışkanı karşılaştırdığımızda saf su baz akışkanına göre 29 mL/dk debide ZnO nanoakışkanı ısı transferini maksimum %7.423 oranında arttırırken Al₂O₃ nanoakışkanı için bu etki 32 mL/dk debi için %14.35 olarak gerçekleşmiştir.
- Nanoakışkan kullanımı basınç düşüşü değerini arttırdığından pompa gücü gereksiniminde artış gözlemlenmiştir. Pompa gücü gereksinimindeki artış için, Al₂O₃ nanoakışkanı için 32 mL/dk debide %20.90 ısı taşınım katsayısındaki artışa karşılık elektrik tüketim artışı %6.50 olurken ZnO nanoakışkanı için 20 mL/dk debide %10.01 ısı taşınım katsayısındaki artış için %13.49 elektrik tüketim artışı belirlenmiştir.

- Ansys 16.2 ticari programıyla, deneysel veriler ve literatür denklemleri doğrulanmıştır. Uygulamalar neticesinde iki boyutlu analizin problem çözmede uygun görüldüğü tespit edilmiştir.
- 400 µm paslanmaz çelik dairesel kesit kanal için tüm karşılaştırma parametreleri için en uygun akışkanın %0.5 hacimsel derişimde Al₂O₃-Saf su nanoakışkanı olduğu tespit edilmiştir.
- $Nu = c Re^m Pr^{0.33}$ şeklinde hem laminer bölge hem de geçiş ve türbülanslı akış bölgeleri için yeni bağıntılar önerilmiştir.

1000<Re<2300 aralığında akış rejimi ısı olarak gelişen fakat hidrodinamik olarak gelişmiş bir akıştır. Re>2300 için ise akış geçiş bölgesine doğru ilerler türbülanslı akışla beraber kullanılacak bağıntılar değişir. Örneğin Re>3000 için Gnielinski denklemini baz alırsak Nusselt sayısı 60 civarlarında, Re>10000 için önerilen Dittus-Boelter denklemi ile Nusselt sayısının 30 civarlarında çıkması beklenmektedir. Fakat deney koşulları tüm Reynolds sayıları için akışın laminer rejime daha yatkın olduğunu göstermekte, Ansys 16.2 ticari programı laminer rejim modelinde hesaplanan Nusselt sayıları bu sonuçları desteklemektedir. Ansys 16.2 ticari programı standart k-ε türbülans modeli bulgularına göre ise Nusselt sayısı çok daha yüksek çıkarken akışın geçiş bölgesinde durumu tahmin edilememektedir. Geçişin türbülanslı ya da belirli aralıklarla dalgalanmalar yapabileceği aslında akışın ne tam laminer ne de tam türbülanslı olduğunun tam olarak Reynolds sayısına göre mini/mikro kanallar için öngörülemeyeceği olgusunu oluşturmuştur. Bunun nedeni mini/mikro kanalların pürüzlülüğünün tam olarak simüle edilememesi, denklemlerin kullanım şartlarıyla deneysel şartların uyumsuzluğu gösterilebilir. Simülasyonların, farklı araştırmalar tarafından değişen Reynolds sayıları için önerilen Nusselt bağıntıları ile desteklenmiş olması doğru yolda olduğumuzu göstermiş fakat ilerleyen çalışmalar için çok küçük çaptaki deneysel çalışmalarda hedef; kanal ve deney borularının şeffaf ve termal borular olması belki de akış boyası ile deney süresince akış rejimini belirlemek olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Adlı D** (2013) Nanoakışkanların Isı Transferine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Trakya 59 s.
- Alawi O A, Sidik A C, Xian H W, Kean T H, Kazi S N** (2018) Thermal Conductivity and Viscosity Models of Metallic Oxides Nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116: 1314–1325.
- 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.
- Arslan K** (2014) Three-dimensional Numerical Investigation of Turbulent Flow and Heat Transfer Inside a Horizontal Semi-circular Cross-sectioned Duct. *Thermal Science*, 18(4): 1145–1158.
- Baheta A T ve Woldeyohannes A D** (2013) Effect of Particle Size on Effective Thermal Conductivity of Nanofluids. *Asian Journal of Scientific Research*, 2: 339-345.
- Balla H H, Abdullah S, MohdFaizal W, Zulkifli R, Sopian, K** (2013) Numerical Study of the Enhancement of Heat Transfer for Hybrid CuO-Cu Nanofluids Flowing in a Circular Pipe. *Journal of Oleo Science*, 62(7): 533–539.
- Beck M P, Yuan Y, Warriar P, Teja A S** (2009) The Effect of Particle Size on Thermal Conductivity of Alumina Nanofluids. *Journal of Nanoparticle Research* 11 (5): 1129-1136.
- Buongiorno J, Hu L W, Kim S J, Hannink R, Truong B, Forrest E** (2008) Nanofluids for Enhanced Economics and Safety of Nuclear Reactors: An Evaluation of the Potential Features, Issues, and Research Gaps. *Nuclear Technology*, 162(1): 80–91.
- Chamkha A J, Molana M, Rahnama A, Ghadami F** (2018) On the Nanofluids Applications in Microchannels. A Comprehensive Review. *Powder Technology*, 332: 287–322.
- Çengel Y A, Tanyıldızı V, Dağtekin İ** (2011) *Isı ve Kütle Transferi*, Güven Kitabevi, üçüncü basım, 879 s.
- Dilek E F** (2008) Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl İletkenliklerinin Belirlenmesi *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 97 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Ekiciler R, Tekir M, Arslan K** (2017) Effect of Nanoparticle Diameter on Nanofluid Turbulent Forced Convective Heat Transfer in a Square Cross-Sectioned Horizontal Channel, *1st international Conference on System Engineering*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. conference paper, November 2-4 2017: Karabük, Türkiye: 449-454.
- Elbasan E** (2016) Elketronik Sistemlerin Nanoakışkan ile Soğutulması, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 45 s.
- Erdem M, Fırat M, Varol Y** (2018) Numerically Investigation of MHD Liquid Lithium Flow Under Cooling Conditions in a Circular Channel. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(1): 30–35.
- Erdoğan B** (2016) Mini/Mikro Kanalda Nanoakışkan ile Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak 168 s.
- Erdoğan B, Topuz A, Engin T, Özalp A** (2018) Experimental investigation of Optimum Thermal Performance and Pressure Drop of Water-based Al_2O_3 , TiO_2 and ZnO Nanofluids Flowing inside a Circular Microchannel, (131): 2843–2863.
- Fuskele V ve Sarviya R M** (2017) Recent Developments in Nanoparticles Synthesis, Preparation and Stability of Nanofluids. *Materials Today*, 4(2): 4049–4060.
- Gedik G** (2009) Nanoakışkanların Isı Trasnferi ve Basınç Düşüşünün Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 83 s.
- Ghatage P, Shah A, Chavan D K** (2017) CFD Analysis of Heat Transfer Enhancement in Pipe Flow Using Nanofluid. *Iarjset,(International Advanced Research Journal In Science And Techonology)*, 4(1): 7–12.
- Goharshadi E K, Ahmadzadeh H, Samiee S, Hadadian M** (2013) Nanofluids for Heat Transfer Enhancement-A Review, *Phys. Chem. Res.*, 1 (1): 1-33.
- Haghighi E B, Saleemi M, Nikkam N, Anwar Z, Lumbreras I, Behi M, Palm B** (2013) Cooling Performance of Nanofluids in a Small Diameter Tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49: 114-122.
- Hasan M I, Rageb A A, Yaghoubi M, Homayoni H** (2009) Influence of Channel Geometry on the Performance of a Counter Flow Microchannel Heat Exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(8): 1607–1618.
- Holman J P** (1994) *Experimental Methods for Engineers*, McGraw-Hill, Singapore, 8 Edition 761 pp.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Iranidokht V, Hamian S, Mohammadi N, Shaffi M B** (2013) Thermal Conductivity of Mixed Nanofluids Under Controlled pH Conditions. *International Journal of Thermal Sciences*, 74: 63–71.
- Jehad D G, Hashim G A, Bahru J** (2015) Akademia Baru Numerical Prediction of Forced Convective Heat Transfer and Friction Factor of Turbulent Nanofluid Flow through Straight Channels, *Akademia Baru*, 8(1): 1–10.
- Karakaya U, Gürü M, Sözen A Y, Aydın D, Bilici İ** (2018) Nano Mineralojik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Journal of Polytechnic*, 22(4): 619-626.
- Kaya H, Arslan K** (2015) CFD Analysis of Forced Convection Flow and Heat Transfer in Semi-Circular Cross-Sectioned Micro-Channel. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı *conference paper, 3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISITES2015 Valencia –Spain*: 1326-1335.
- Kumar S, Kumar A, Darshan K A, Singh B M** (2018) A Review of Flow and Heat Transfer Behaviour of Nanofluids in Micro Channel Heat Sinks. *Thermal Science and Engineering Progress*, 8(October): 477-493.
- Lee J, ve Mudawar I** (2007) Assessment of The Effectiveness of Nanofluids for Single-Phase and Two-Phase Heat Transfer in Micro-Channels, *Heat and Mass Transfer*, 50:452–463.
- Liu M S, Ching L M, Huang I T, Wang C C** (2005) Enhancement of Thermal Conductivity with Carbon Nanotube for Nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32(9):1202–1210.
- Nine M J, Chung H, Tanshen M R, Osman B A, Jeong H** (2014) Is Metal Nanofluid Reliable as Heat Carrier? *Journal of Hazardous Materials*, 273:183–191.
- Pandey A K** (2011) A Computational Fluid Dynamics Study of Fluid Flow and Heat Transfer in a Micro channel, *Master Thesis*, National Institute of Technology, Chemical Engineering, Rourkela, India, 94 pp.
- Patel P T, Gaywala K B, Shah H A** (2015) CFD Analysis of Nano Fluid through Channel, *International Journal of Fluids Engineering*, 7(1): 41–50.
- Salma H A, Thierry M A, Patrice E** (2014) Efficiency of Carbon Nanotubes Water Based Nanofluids as Coolants Experimental Thermal and Fluid Science, Elsevier, 53: 104-110.
- Salman B H, Mohammed H A, Kherbeet A S** (2012) Heat Transfer Enhancement of Nanofluids Flow in Microtube With Constant Heat Flux. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(8): 1195–1204.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sohel M R, Saidur R, Sabri F M, Kamalisarvestani M, Elias M M, Ijam A** (2013) Investigating the Heat Transfer Performance and Thermophysical Properties of Nanofluids in a Circular Micro-Channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 42: 75–81.
- Şahin B** (2014) Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 53(627): 38-42.
- Şahin B** (2015) Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 559: 29-34.
- Şahin F ve Namlı L** (2018) Nanoakışkanlarda Kararlılığın Isı Transferini İyileştirme Açısından Önemi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, 7(2): 880–898.
- Ting H H ve Hou S S** (2015) Investigation of Laminar Convective Heat Transfer for Al₂O₃ - water Nanofluids Flowing through a Square Cross-section Duct with a Constant Heat Flux. *Materials*, 8(8): 5321–5335.
- Turgut A** (2010) Investigation of Thermophysical Properties of Nanofluids, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 88 s.
- Xuan Y ve Li Q** (2000) Heat Transfer Enhancement of Nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21(1):58–64.
- Yarmand H, Gharekhani S, Kazi S N, Sadeghinezhad E, Safaei M R** (2014) Numerical investigation of Heat Transfer Enhancement in a Rectangular Heated Pipe for Turbulent Nanofluid. *Scientific World Journal*: 98-122
- Yue Y, Mohammadian S K, Zhang Y** (2015) Analysis of Performances of a Manifold Microchannel Heat Sink with Nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 89: 305–313.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur DEMİR 1986 yılında KDZ.Ereğli’de doğdu. İlkokulu burada bitirdikten sonra İstanbul’da Vatan Anadolu Lisesini kazanarak orta ve lise öğrenimini tamamladı. 2004 yılı mezuniyet sonrası aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Bölümü’ne girdi. 2009 yılında Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisi unvanıyla ticari gemilerde stajını tamamlayıp Uzakyol Vardiya Mühendisi oldu. Uzakyol 2.Mühendis olarak gemi çalışma hayatını bırakıp Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Alaplı Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümünde 2017 yılından itibaren Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

E- Posta: ugurdemir1905@gmail.com