

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al_2O_3 -SU, TiO_2 -SU ve CuO -SU NANOAKIŞKANLARIN
TÜRBÜLANSLI BORU AKIMINDA BASINÇ KAYIPLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Mustafa GÖZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**AĞUSTOS 2014
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Al_2O_3 -SU, TiO_2 -SU ve CuO -SU NANOAKIŞKANLARIN
TÜRBÜLANSLI BORU AKIMINDA BASINÇ KAYIPLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

**Mustafa GÖZ
10210269**

Tezin Savuma Tarihi : 12.08.2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Mustafa ÖZBEY

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Mustafa GÖZ Tarafından Hazırlanan

**Al₂O₃-SU, TiO₂-SU ve CuO-SU NANOAKIŞKANLARIN
TÜRBÜLANSLI BORU AKIMINDA BASINÇ KAYIPLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından .../.../... tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : **Doç.Dr. Engin BURGAZ**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç.Dr. Lütfü NAMLI**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Mustafa ÖZBEY
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

..../..../2014

Prof.Dr. Hüseyin DEMİR

Enstitü Müdürü

Başında, renkli sayfaların içinden poz veren, gülümseyen veya televizyon ekranında öne çıkarılmış şöhretleri gördüğümde hemen aklıma “Acaba mutlu bir ailesi var mı?” sorusu gelir. Benim için olmazsa olmaz şarttır bu... Onu seven bir eşi... veya çocukları... Eğer yoksa yazık... İsterse Karun kadar zengin olsun... En büyük ödüller, başarılar, birincilikler onun olsun... Kendisini sevgiyle karşılayan bir eşi veya kucağına oturmak, sarılmak için fırsat kollayan çocukları, annesi, kardeşi, evinde bir bekleyeni, kısaca bir ailesi yoksa....Benim böyle bir ailem var. Her zaman yanımda olan, huzurlu bir ortam sağlayan, desteklerini ve ilgilerini hissettiğim değerli aileme ve proje boyunca desteklerini benden esirgemeyen müstakbel eşim Tuba GÖZ’e çok teşekkür edip. Bu tezi onlara ithaf etmek istiyorum.

Eşime ve aileme

ÖNSÖZ

Değişen ve gelişen, hiç azalmadan aksine gün geçtikçe artan insan ihtiyaçlarını karşılayabilmek için, dünyada ve ülkemizde var olan enerji çeşitlerinden ve kaynaklardan en verimli şekilde yararlanmamız gerekmektedir. Isı enerjisi de var olan bu kaynakların en önemlilerindendir. Nano akışkanlar ısı enerjisinin transferi konusunda son yıllarda üzerine çalışılan ısı transfer akışkanlarındandır. Bu çalışmada ise; nano-akışkanlardan Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su, CuO-Su nano-akışkanları kullanılarak, nano-akışkanların ısı transferi yönünden değerlendirilmesinden farklı olarak, boru ve farklı boru elemanlarında meydana gelen sürtünme ve yerel basınç kayıpları deneysel olarak incelenerek değerlendirilmiştir.

Bu konu üzerine çalışmamı teşvik eden ve konuyu hazırlamam için gerekli dokümanlarını ve bilgisini benimle sonuna dek paylaşan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZBEY' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımda bana yardımcı olan çalışma arkadaşlarım Sezin YILMAZ ve Onur YAVUZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarımda vermiş olduğu desteklerden dolayı Sampa Otomotiv Sanayi ve Tic. A.Ş.' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ağustos 2014

Mustafa GÖZ
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR	xv
ÖZET.....	xvii
THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PRESSURE DROP OF.....	xix
Al ₂ O ₃ -WATER, TiO ₂ -WATER and CuO-WATER NANOFLUIDS	xix
IN TURBULENT PIPE FLOWS	xix
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Nano-Akışkanların Hazırlanması Üzerine Mevcut Literatürün İrdelenmesi6	
2.2. Nano Akışkanının Kullanıldığı, Basınç Kayıplarının Belirlenmesi Üzerine Sayısal Ve Deneysel Çalışmaların İrdelenmesi.....	7
3. MATERYAL ve METOD	9
3.1. Deneysel Çalışma.....	9
3.2. Nano-Akışkanların Sentezlenmesi ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	9
3.3. Deney Düzenekinin Tanıtılması.....	10
3.4. Temel Denklemler.....	13
4. BULGULAR ve İRDELEME	15
4.1. Nano-Akışkanların Sentezlenmesi.....	15
4.2. Nano-Akışkanların Fiziksel Özellikleri	15
5. Al ₂ O ₃ -SU NANO-AKIŞKANLARIN İNCELENMESİ.....	19
5.1. Al ₂ O ₃ -Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının İncelenmesi	19
5.2. Al ₂ O ₃ -Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi	21
5.3. Al ₂ O ₃ -Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	23
5.4. Al ₂ O ₃ -Su Nano-Akışkanların 90° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	25
5.5. Al ₂ O ₃ -Su Nano-Akışkanların 45° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	27
6. TiO ₂ -SU NANO-AKIŞKANLARIN İNCELENMESİ	29
6.1. TiO ₂ -Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının İncelenmesi	29
6.2. TiO ₂ -Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	31
6.3. TiO ₂ -Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	33
6.4. TiO ₂ -Su Nano-Akışkanların 90° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	35

6.5. TiO_2 -Su Nano-Akışkanların 45° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi.....	37
7. $\text{CuO-Su NANO-AKİŞKANLARIN İNCELENMESİ}$	39
7.1. $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	39
7.2. $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	41
7.3. $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	43
7.4. $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların } 90^\circ \text{ DirsekteYerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	45
7.5. $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların } 45^\circ \text{ DirsekteYerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	47
8. %2 KONSANTRASYONLU Al_2O_3-SU, TiO_2-SU VE $\text{CuO-Su NANO-AKİŞKANLARIN BİRBİRİ İLE KİYASLANMASI}$	49
8.1. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının Kıyaslanması}$	49
8.2. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	51
8.3. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	53
8.4. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların } 90^\circ \text{ DirsekteYerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	55
8.5. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve $\text{CuO-Su Nano-Akışkanların } 45^\circ \text{ DirsekteYerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi}$	57
9. SONUÇ	59
KAYNAKLAR	63
TEŞEKKÜR	66
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Sistem Elemanlarının Hat ve Detay Bilgileri	12
Çizelge 4.1. Temel Akışkan Su ve Nano-Akışkanların Viskozite Değerleri.....	16
Çizelge 4.2. Nano-Akışkanların Yoğunlukları	17
Çizelge 5.1. Düz Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	19
Çizelge 5.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	21
Çizelge 5.3. Daralan Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	23
Çizelge 5.4. 90° Dirsekte Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	25
Çizelge 5.5. 45° Dirsekte Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	27
Çizelge 6.1. Düz Boru İçin Ölçülen Değerler	29
Çizelge 6.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	31
Çizelge 6.3. Daralan Boru İçin Ölçülen Değerler	33
Çizelge 6.4. 90° Dirsek İçin Ölçülen Değerler	35
Çizelge 6.5. 45° Dirsek İçin Ölçülen Değerler	37
Çizelge 7.1. Düz Boru İçin Ölçülen Değerler	39
Çizelge 7.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	41
Çizelge 7.3. Daralan Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	43
Çizelge 7.4. 90° Dirsek İçin Ölçülen Değerler	45
Çizelge 7.5. 45° Dirsek İçin Ölçülen Değerler	47
Çizelge 8.1. Düz Boru İçin Ölçülen Değerler	49
Çizelge 8.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	51
Çizelge 8.3. Daralan Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler	53
Çizelge 8.4. 90° Dirsek İçin Ölçülen Değerler	55
Çizelge 8.5. 45° Dirsek İçin Ölçülen Değerler	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Ölçüm aletlerinin genel görünümü	10
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü	12
Şekil 4.1. Nano-akışkanların viskozitesinin konsantrasyon ile değişimi.....	16
Şekil 4.2. Nano-akışkanların yoğunluklarının konsantrasyon ile değişimi	17
Şekil 5.1. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (Düz boru)	19
Şekil 5.2. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için f sürtünme faktörünün Re sayısı ile değişimi (Düz boru).....	20
Şekil 5.3. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (Boru genişleme)	21
Şekil 5.4. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (Boru genişleme)	22
Şekil 5.5. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (Boru daralma).....	23
Şekil 5.6. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (Boru daralma)	24
Şekil 5.7. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (90° dirsek)	25
Şekil 5.8. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (90° dirsek).....	26
Şekil 5.9. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (45° dirsek)	27
Şekil 5.10. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (45° dirsek).....	28
Şekil 6.1. Düz boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiği	29
Şekil 6.2. Düz boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-f grafiği	30
Şekil 6.3. Genişleyen boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiği	31
Şekil 6.4. Genişleyen boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	32
Şekil 6.5. Daralan boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiği	33
Şekil 6.6. Daralan boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	34
Şekil 6.7. 90° Dirsekte TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiği	35

Şekil 6.8. 90° Dirsekte TiO ₂ -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	36
Şekil 6.9. 45° Dirsekte TiO ₂ -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	37
Şekil 6.10. 45° Dirsekte TiO ₂ -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	38
Şekil 7.1. Düz boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	39
Şekil 7.2. Düz boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-f grafiği	40
Şekil 7.3. Genişleyen boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği.....	41
Şekil 7.4. Genişleyen boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği.....	42
Şekil 7.5. Daralan boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	43
Şekil 7.6. Daralan boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	44
Şekil 7.7. 90° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	45
Şekil 7.8. 90° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	46
Şekil 7.9. 45° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	47
Şekil 7.10. 45° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	48
Şekil 8.1. Düz boruda %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	49
Şekil 8.2. Düz boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-f grafiği	50
Şekil 8.3. Genişleyen boruda %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	51
Şekil 8.4. Genişleyen boruda %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	52
Şekil 8.5. Daralan boruda %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	53
Şekil 8.6. Daralan boruda %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	54
Şekil 8.7. 90° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	55
Şekil 8.8. 90° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	56
Şekil 8.9. 45° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-ΔP grafiği	57
Şekil 8.10. 45° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al ₂ O ₃ -Su, TiO ₂ -Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği	58
Şekil A.0.1: Moody Diyagramı.....	68

KISALTMALAR

Simgeler	Anlamı	Birimi
D	Boru çapı	m
L	Boru uzunluğu	m
L_e	Eşdeğer boru uzunluğu	m
Q	Hacimsel debi	m^3/s
μ	Dinamik viskozite	cSt
V	Akım ortalama hızı	m/s
T	Sıcaklığı	$^{\circ}C$
ρ	Yoğunluk	kg/m^3
Re	Reynolds sayısı	
ΔP	Basınç farkı	Pa
f	Sürtünme faktörü	
K	Yerel kayıp katsayısı	
ν	Kinematik viskozite	cP
SUS	Saybolt Universal Saniye	s
h	Yükseklik	cm
A	Boru kesit alanı	m^2

**Al₂O₃-SU, TiO₂-SU ve CuO-SU NANOAKIŞKANLARIN
TÜRBÜLANSLI BORU AKIMINDA BASINÇ KAYIPLARININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

ÖZET

Geleneksel ısı transferi akışkanının içerisine yüksek ısıl iletkenliğe sahip nano boyuttaki katı partiküllerin katılmasıyla elde edilen yeni nesil ısı transferi akışkanlarına “nano-akışkan” ismi verilmektedir. Sıvı akışkan içerisine nano boyuttaki katı partiküller kararlı ve homojen olarak süspanse edilerek hazırlanan yüksek ısıl iletkenliğe sahip nanoakışkanlar yüksek ısıl performans sergilemektedir.

Bu çalışmada Al₂O₃-Su, TiO₂-Su, CuO-Su nanoakışkanlarının boru ve bazı boru elemanlarında basınç kayıpları deneysel olarak incelenmiştir. Bu deneysel çalışmada test edilen nanoakışkanlar %1, 2 ve 3 nanopartikül konsantrasyonlarında ve katı nanopartikül boyutları 30-40 nm’dir. Nanoakışkanların akım yapısı üzerine yapılan deneysel çalışmalarda ΔP basınç kayıpları ve debi ölçülerek boru akımı için f sürtünme faktörü ile çeşitli boru elemanları için K yerel basınç kayıp katsayıları belirlenerek, Re sayısı ile ilişkileri incelenerek değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen verilerden, nano-akışkanların temel akışkana kıyasla dikkate değer ölçüde daha yüksek basınç kayıpları, dolayısıyla daha yüksek sürtünme faktörü ve yerel basınç kayıp katsayısı sergilediği; buna ilaveten düz borudaki nanoakışkanın türbülanslı akışı için ölçülen sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi pürüzlü bir borudaki temel akışkan suyun sergilediği değişime benzer bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Pürüzlü bir borudaki türbülanslı su akışı için sürtünme faktörünün Moody diyagramındaki gibi Reynolds sayısı ile değişimi eğilimine benzer bir eğilim sergilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nano-Akışkanlar, Nano Sıvılar, Nano Akışkan Basınç Kayıpları

**THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PRESSURE DROP OF
Al₂O₃-WATER, TiO₂-WATER and CuO-WATER NANOFLUIDS
IN TURBULENT PIPE FLOWS**

ABSTRACT

New generation heat transfer fluids that are obtained by adding high thermal conductivity nano sized solid particles into the conventional heat transfer fluids are called nano-fluids. High thermal conductivity nano-fluids that are prepared by stable and homogeneously diffusing nano sized solid particles into liquid show high thermal performance.

In this study, Al₂O₃-Water, TiO₂-Water, CuO-Water nano-fluid pressures in the pipe and some pipe parts losses have been experimentally analyzed. Nano-fluids that are tested in this study have 1%, 2% and 3% of nano particle volumetric concentrations and 30-40 nm solid nano particle sizes. ΔP pressure drops and following pipe flow for friction factor and various pipe fitting for the local pressure loss coefficient were measured and Reynold number relationships in experimental studies based an nanofluid flow structure were determined.

It was determined that the nano-fluids results the higher pressure drops significantly with respect to base fluid, in addition to, the basic fluid water and nano-fluids in smooth pipe have smilar flow behaviour with rough pipe. The change of Reynold number with coefficient of friction graphics are in good aggrement with Moody diagram.

Keywords: Nano-Fluids, Nano Liquids, Pressure Losses of Nano-Particles

1. GİRİŞ

Enerjinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Bu kapsamda endüstrinin hemen hemen her alanında yer alan ısıtma veya soğutma sistemlerinde ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar enerji ekonomisi, küresel ısınma, sektörlerdeki minyatürleşme eğilimi ve performansa paralel artan soğutma ihtiyacının karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Isıl iletkenlikleri yüksek, nano boyuttaki katı partiküllerin (bakır, gümüş, titanyum, alüminyum vs.) geleneksel ısı transfer akışkanı ile sentezlenerek elde edilen yeni ısı transfer akışkanına “nano-akışkan” denmiştir.

Günümüzde ısı transferini iyileştirme alanında etkisi kanıtlanmış nano-akışkanların mühendislik sistemlerinde kullanımıyla ilgili literatür çok zengin değildir. Özellikle son on yılda, malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak nanometre boyutlarında katı partiküllerin üretilebilmesiyle ısı transfer akışkanı olarak kullanılan nano-akışkanların taşınım karakteristiklerini belirlemeye ve ısı iletkenliklerinin belirlenmesi üzerine deneysel ve teorik çalışmaların yoğunluk kazandığı görülmektedir. Ancak nano-akışkanlarının kullanım avantajlarının yanında kullanılan sisteme verebilecek zararları konusunda yapılan deneysel çalışmalar çok az olup, farklı konsantrasyonlarda ve boyutlarda nano-partiküller kullanılarak, özellikle deneysel çalışmaların yapılmasına şiddetle ihtiyaç vardır.

Nano-akışkanların uygulama alanı çok geniş olup, hemen hemen her sektörde kullanımı mevcuttur. Her geçen gün hızları, performansları ve kapasiteleri artan elektronik veya elektromekanik cihazlar, hatta son zamanlarda endüstride hız kazanan minyatürleşme sonucu ortaya çıkan mikro-elektromekanik sistemler veya elemanları çalışırken çok büyük değerlerde ısı akısı ortaya çıkarmaktadır. Yeterli soğutma yapılamayıp açığa çıkan bu ısı sistemden uzaklaştırılamadığı takdirde

sistem ve elemanlarının ömrü azalmaktadır ve minyatürleşme, hız, performans ve kapasite sınırlı kalmaktadır.

Nano-akışkanlar fiziksel yapıları gereği mikro kanallar içinde de tıkanma, çökme ve aşınma meydana gelmeden akabilecek özellikte olduğu için bu sistemler için de oldukça uygundur. Bu tip sistemlerde de nano-akışkanlar kullanılarak daha iyi soğutma sağlandığında elde edilen yüksek performans ve uzun ömürleri sayesinde mevcut limitleri aşılabacaktır. Kısacası, ısıtma ve soğutma gerektiren hemen hemen tüm sistemlerde nano-akışkanlar güvenli ve etkili bir şekilde kullanılabilir ve bu sayede elde edilecek en faydalı çıktı, enerji tasarrufu olacaktır. Ardından malzeme ve maliyet tasarrufu, son olarak performans, hız, kapasite, iş ve güç gibi çıktıların artmasını ve bu değerlerdeki şu an varılan limitlerinin daha da öteye taşınmasına önemli derecede katkıda bulunacaktır. Ayrıca, enerji tasarrufu daha az yakıt tüketimi yanı sıra daha az emisyon ve daha temiz bir çevre demektir.

2. GENEL BİLGİLER

Isıl iletkenlikleri yüksek, nano boyuttaki katı partiküllerin (bakır, gümüş, alüminyum vs.) geleneksel ısı transferi akışkanının içine katılmasıyla elde edilen yeni ısı transferi akışkanına “nano-akışkan” denmiştir. Nano-akışkanların basınç düşümünde yok denecek kadar az artışa neden olduklarından pratik uygulamalara uygun olabilecekleri düşünülmüştür.

Sentezlenen nano-akışkanlar temel akışkan saf su ile % 1.0, 2.0, ve 3.0 hacim konsantrasyonlarında ve 30-40 nm nano-partikül boyutunda Al_2O_3 , TiO_2 , CuO nano-partiküllerinden oluşmaktadır. Temel akışkan olarak kullanılan su içine yukarıda verilen hacimsel konsantrasyon oranlarında nano-partiküller ilave edilerek nano-partikül topaklarının temel akışkan içinde tamamen çözülmesi ve kolayca askıda kalmasını sağlamak için bir saat süre ile ultrasonik karıştırma işlemine tabi tutularak hazırlanmıştır. Bu işlem 750W, 20 kHz % 60 amplitude kapasitede gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada üç farklı hız 0.5, 1 ve 1.5 m/s ve sonucunda üç farklı debi olan 113.5, 227, 340,5 ml/s’ de, dolayısıyla yaklaşık 5000-25000 Re aralığında çalışılmıştır. Bu üç nano-akışkan ve temel akışkan su için basınç farkı, yerel kayıp katsayısı ve sürtünme katsayısının Reynols sayısı ile değişimleri yapılan deneysel çalışma ile incelenerek değerlendirilmiştir.

Çok küçük tane boyutlarındaki partiküller (16–60nm) akışkan içerisinde çok iyi karıştırıldığında, ortaya çıkan akışkan katı-sıvı karışımdan çok, tek fazlı akışkan gibi davranmıştır [3].

Literatürde nano-akışkan üretebilmek için kullanılan nano-partiküller yoğunlukla alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş(Ag) ve silisyum dioksit (SiO_2)’dir. Nano-partiküller gaz yoğunlaştırılması, mekanik aşındırma, kimyasal çöktürme yöntemlerinden biriyle üretilmektedir. Gaz yoğunlaştırma işlemi diğer yöntemlere göre daha avantajlı bir yöntemdir. Zira partiküller daha temiz bir ortamda üretilmekte ve yüzeyleri istenmeyen maddelerle kaplanmamaktadır. Ancak düşük enerji uygulanması durumunda; parçacıkların küçük demetlere ayrılmasıyla topaklanmalar meydana gelmektedir.

Nano-akışkanı basit bir katı-sıvı süspansiyonu olarak değil; süspansiyon kararlılığını uzun süre koruyabilen, partiküllerin mümkün olduğu kadar az topaklandığı ve akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmediği bir karışım olarak dikkate almak gerekir. Süspansiyon hazırlanırken kullanılan genel yöntemler üç çeşittir [18];

- Süspansiyonun PH değerini değiştirmek.
- Yüzey aktivatörleri ve/veya seyrelticiler kullanmak.
- Ultrasonik titreşime tabi tutmak.

Bu tekniklerin amacı, süspanse edilen partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmek ve kararlı süspansiyon elde etmek için partikül kümelenmesini önlemektir. Bu tekniklerin nasıl kullanıldığı uygulama durumuna da bağlıdır. Uygun seyreltici ve aktivatör kullanımı partikül ve solisyonun özelliklerine bağlıdır.

Nano-akışkan kavramı ortaya atıldıktan çok kısa süre sonra bu yeni nesil ısı transferi akışkanlarının ısı performansları ve ısı transferi uygulamaları üzerine birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır.

Akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin süspanse edilmesi ile akışkanın ısıl iletkenliğinin artırılması ve bu sayede ısı transferinin iyileştirilmesi yüz yıldan fazla zamandan beri bilinen bir yöntemdir. Ancak çökme, tortulaşma, aşınma ve daha az kararlı bir yapı göstermeleri nedeniyle mikro kanallarda tıkanmalara neden olması, ayrıca yüksek oranda basınç kayıplarına sebep olması gibi problemlerden dolayı endüstriyel uygulamalar için cazip bulunmamıştır [3,14,18,15]. Malzeme bilimindeki ve teknolojiadaki son yıllardaki gelişmelere paralel olarak nanometre (nm) boyutlarında partiküllerin üretilmesiyle bu problemlerin önüne geçilmesi imkânı doğmuştur. Özellikle son on yılda nano-akışkanlarla ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Nano-akışkanlar üzerine ilk kez Argonne National Laboratory A.B.D.' de Choi [1] tarafından çalışılmıştır ve nano-akışkan tanımı literatüre bu çalışma ile girmiştir. Bu çalışmada [1], nano-akışkanların ısı transferini iyileştirmede temel akışkandan daha iyi olduğundan, heyecan verici daha iyi ve yeni olanaklar sunduğuna ve gelecek nesil ısı transfer akışkanı olabileceğine dikkat çekilmiştir.

Bu çalışmada, nano-akışkanların düz borulardaki basınç kayıp karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda, nano-akışkanların sentezlenmesi ve fiziksel bazı özelliklerinin belirlenmesi aşamalarını da kapsamaktadır.

Deneyler, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında mevcut kurulu deney düzeneğinde yapılmıştır.

Isı transferi gerektiren tüm sistem ve elemanlarında, yani ısıtma veya soğutma gerektiren her yerde geleneksel sıvılar yerine nano-akışkanlar kullanıldığı takdirde, (mesela ısı eşanjörleri (radyatör), güneş enerji sistemleri, elektronik sistemler, kalorifer tesisatı, içten yanmalı motorların soğutma sistemleri gibi) en önemlisi harcanan enerji miktarı azalacaktır, yani daha az enerji ile daha iyi ısıtma veya soğutma yapılabilecek, ısı performansının artmasına paralel olarak ısıtma-soğutma sistemlerinin boyut olarak küçülmesine, sistem ve/veya elemanlarının kompakt hale gelmesi veya minyatürleşmeye imkan sağlaması, özellikle elektronik sistemlerin günümüzde ulaşılan hız, güç ve kapasite limitlerinin aşılması bu sayede mümkün olabilecektir. Enerji ihtiyacının azalması özellikle küresel ısınma ile mücadelede büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, ısıtma ve soğutma işleminin sektörün her alanında mevcut olan bir işlem olduğu düşünüldüğünde kullanım alanının genişliği, etkili olacağı tüm sektör veya sistemler düşünüldüğünde ve enerji tasarrufunun hiç de küçümsenemeyecek boyutlarda olacağı açıktır. Öte yandan temel akışkan olarak kullanılacak su ve nano-partikül olarak da alüminyum oksit (Al_2O_3) kullanılacak olması ülkemizin kaynaklarından daha yüksek oranda faydalanılması yönünden de önem arz etmektedir. Ayrıca, temel akışkan olarak su ve nano partikül olarak Al_2O_3 , TiO_2 , CuO kullanılarak elde edilen nano-akışkanların PE borulardaki basınç kayıpları üzerine ne teorik ne de deneysel bir çalışma literatürde mevcut değildir. Bu yüzden hem literatürde saptanan bu boşluğu dolduracak olmasından, hem de akademik yönden bir değer taşımaktadır.

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların literatürü incelendiğinde dikkat edilecek olursa ilgili çalışmaların 2004 sonrasında yoğunluk kazandığı ve halen yoğunluğun

artarak devam ettiği göze çarpmaktadır. Nano-akışkanların mühendislik sistemlerinde kullanımına yönelik deneysel çalışmalar ile ilgili literatür ise zengin değildir.

2.1. Nano-Akışkanların Hazırlanması Üzerine Mevcut Literatürün İrdelenmesi

Nano-akışkanlarla ilgili deneysel çalışmaların ilk adımı nano-akışkanın hazırlanmasıdır. Mevcut literatürde yaygın olarak kullanılan metot iki adımlı metot olarak sınıflandırılan, ilk adımı nano-partiküllerin üretilmesi, diğeri adımı ise nano-partiküllerin temel akışkan içine direkt olarak katılarak hazırlanmasıdır. Bu yöntemde, nano-partiküller genellikle mevcut nano-powder firmalarından satın alınarak temin edilir ve direkt olarak temel akışkan içine katılır. Fakat temel akışkan ile nano-partiküllerin direkt karıştırılarak nano-akışkanın hazırlanması işleminde, nano-partiküller temel akışkan içinde topaklanır ve çökelme meydana gelir. Topaklanma ve çökelmenin meydana gelmesini önlemek, yani nano-partiküllerin temel akışkan içinde topaklanmadan homojen bir şekilde temel akışkan içinde asılı vaziyette uzun süre kalabilmeleri, aynı zamanda da temel akışkanın kimyasal yapısında herhangi bir değişiklik meydana getirmeksizin dengeli bir süspansiyon elde etmek için yaygın olarak uygulanan metotlar;

- Çözeltinin PH değerini değiştirmek,
- Yüzey aktif madde çözeltileri kullanmak,
- Ultrasonik titreşimler uygulamaktır.

Yüzey aktif çözeltiler ve ultrasonik titreşimi beraber veya ayrı ayrı uygulamak mevcut literatürde araştırmacıların çoğunun tercih ettiği en yaygın kullanılan yöntemdir. Uygun yüzey aktif madde çözeltileri seçimi başlıca temel akışkan ve partiküllerin özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, bu metotların kullanımı nano-akışkanların kullanım özelliklerine de bağlıdır.

Eastman ve diğeri [4], Lee ve diğeri [9], Wang ve diğeri [16], Heris ve diğeri [5], [6], Şahin ve diğeri [13] Al_2O_3 -su nano-akışkanı, Zhang [19] Al_2O_3 -

su nano-akışkanını hazırlamak için herhangi bir yüzey aktif madde çözeltisi kullanmaksızın sadece ultrasonik titreşim uygulamışlardır.

Lee ve diğerleri [9] ile Das ve diğerleri [2] de herhangi bir yüzey aktif madde çözeltisi kullanmamışlardır. Yüzey aktif maddelerinin temel akışkanın dolayısıyla nano-akışkanın ısı iletkenliğini olumsuz etkilediğini ve böylece nano-akışkanın ısı iletkenliğinde yapılabilecek gerçek iyileştirmeyi kısıtladığını iddia etmişlerdir. Yüzey aktif madde çözeltileri kullanan diğer araştırmacılar ise aynı zamanda ultrasonik titreşim de uygulamışlardır.

Wenve Ding [17] Al_2O_3 -su nano-akışkanı hazırlamak için yüzey aktif maddesi olarak sodyum dodecyl benzene sulfonate (SDBS) kullanmışlardır.

Namlı ve diğerleri [10], Özbey ve diğerleri [11], Al_2O_3 -su nano-akışkanını hazırlamak için yüzey aktif madde olarak Sodyum Silikat (NaS) ve Darvan C-N (amonyum-polimetakrilat) çözeltisi kullanmışlardır. Ayrıca süspansiyon dengesini ve kararlılığını optimize etmek için ultrasonik titreşim ile karıştırma yöntemini de kullanmışlardır.

2.2. Nano Akışkanının Kullanıldığı, Basınç Kayıplarının Belirlenmesi Üzerine Sayısal Ve Deneysel Çalışmaların İrdelenmesi

Jung ve diğerleri [8], dikdörtgen mikro kanallarda nano-akışkanların konvektif ısı transfer katsayısını ve sürtünme katsayısını ölçmüşlerdir. Deneylerde çeşitli hacimsel oranlardaki 170 nm çapında Al_2O_3 nano-partikülleri kullanmışlardır. Saf su ile karıştırıldığında laminar rejimde ve % 1,8 hacimsel oranda sürtünme kaybı olmaksızın nano-akışkanın konvektif ısı transfer katsayısında % 32' nin üzerinde artış gözlemlenmiştir.

Reave diğerleri [12], Al_2O_3 -Su nano-akışkanının düşey ısıtılan bir tüpte laminar konvektif ısı transferini ve viskoz basınç düşümünü incelemişlerdir. Nano-akışkan için ölçülmüş basınç kayıpları saf suya göre çok yüksektir. Ölçüm hataları dışında ısı transferinde ve basınç kayıplarında anormal bir artış gözlenmemiştir.

Hwangve diğeri [7], tarafından yapılan çalışmada tamamen gelişmiş laminar akış rejiminde, uniform bir şekilde ısıtılmış dairesel boru içerisinde akan Al_2O_3 -Su nano-akışkanının konvektif ısı transfer katsayısı ve basınç düşümü ölçülmüştür. Tek fazlı akışlar için Darcy eşitliğinden elde edilen analitik tahminlerle sürtünme faktörü için benzer sonuç gösterdiği belirtilmiştir.

Namlı ve diğeri [10], su bazlı Al_2O_3 nano-akışkanının, farklı eğrilik açlarına sahip eğrisel (kırıklı) borulardaki akışında, ısı transferi ve basınç kayıp karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Seçilen eğrilik açıları 45° , 90° , 135° ve 180° dir. Elde edilen sonuçlara göre; geleneksel ısı transfer akışkanı su yerine nano-parçacık hacim fraksiyonunu %3,0 olan su bazlı Al_2O_3 nano-akışkan kullanılması; basınç kayıplarında önemli bir artış olmaksızın, ısı transferinde önemli bir oranda artış elde etmenin mümkün olduğu ve 180° eğrilik açısına sahip kırıklı boruda, basınç kayıplarında önemli bir artışa sebep olmadan ısı transferindeki artışın, düz boru ile kıyaslandığında 2-3 katını bulabileceği belirtilmiştir.

Özbey ve diğeri [11], farklı hacimsel oranlarda elde edilen Al_2O_3 -Su ve su/boryağı- Al_2O_3 nano-akışkanlarının düz bir borudaki akışında sabit ısı akışı ısı sınır şartında meydana gelen ısı transferini ve basınç kayıplarını sayısal olarak incelemişlerdir. Hem laminar hem de türbülanslı akış koşulu için çözümler elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre su/boryağı- Al_2O_3 nano-akışkanının kullanılması durumunda meydana gelen basınç kayıpları, hem su akışkanından hem de Al_2O_3 -Su nano-akışkanından daha yüksek değerlerdedir. Ancak diğeri geleneksel ısı transferini iyileştirme teknikleri ile kıyaslandığında bu basınç kayıplarındaki artışın sınırlı kaldığı belirtilmiştir.

3. MATERİYAL ve METOD

Bu tez konusu tamamen deneysel çalışılmış olup, üç aşamadan oluşmaktadır.

3.1. Deneysel Çalışma

İlk aşama nano-akışkanın sentezlenerek hazırlanmasıdır. Sonraki aşama, hazırlanan nano-akışkanların bazı fiziksel özelliklerinin (yoğunluk ve viskozitesinin) belirlenmesidir. Son aşama ise kurulu deney düzeneğinde nano-akışkanların yatay düz boru, genişleyen boru, daralan boru, 90° ve 45° dirsek borularda basınç kayıpları üzerine etkilerinin incelenmesidir. Test edilen nano-akışkanlar, temel akışkan olarak su ile nano boyutlarda Al_2O_3 , TiO_2 , CuO partiküllerinin süspansiyonundan oluşmaktadır.

3.2. Nano-Akışkanların Sentezlenmesi ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

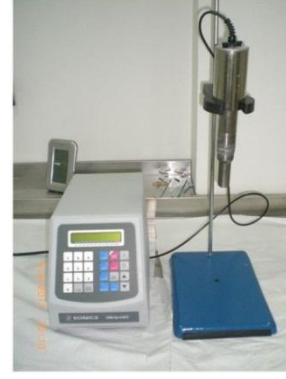
Al_2O_3 , TiO_2 , CuO nano-partikülleri, Nanostrucured& Amorphous Materials (Nano Amor), Inc. USA firmasından satın alınarak temin edilmiştir. Nano-partiküller temel akışkanlar içine süspanse edilerek nano-akışkanlar hazırlanırken meydana gelebilecek topaklanma ve çökelmeleri önlemek için 750W kapasiteli ultrasonik karıştırıcı kullanılmıştır. Nano-akışkanların yoğunlukları 0.1mg hassasiyetli terazi kullanılarak 100ml hacimli numunelerin kütleleri ölçülerek belirlenmiştir. Nano-akışkanların viskozitesi Sayboltviskozimetre ile ölçülmüştür. Ölçüm ve bazı proses cihazlarının genel görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



a) Saybolt viskozimetre



b) Hassas terazi



c) Ultrasonik karıştırıcı

Şekil 3.1. Ölçüm aletlerinin genel görünümü

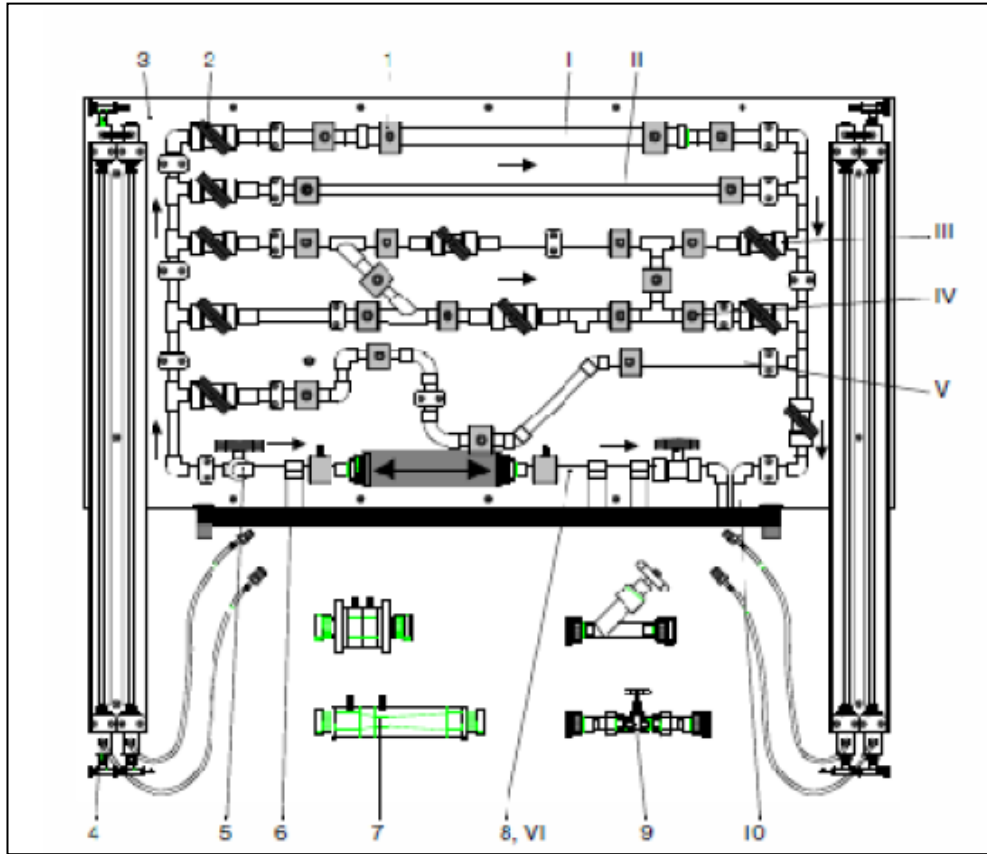
Bu çalışmada, ölçülerek ve hesaplanarak belirlenen fiziksel büyüklükleri üç ana grupta toplayabiliriz:

1. Partikül ile ilgili olanlar: Nano-partikül malzemesi (Al_2O_3 alüminyum oksit, TiO_2 Titanyum dioksit, CuO Bakır oksit), boyutları, hacim konsantrasyonu (nano-partiküllerin temel akışkanla karışım oranını veren hacim konsantrasyonu).
2. Akışkan ile ilgili olanlar: Yoğunluk (ρ) ve kinematik viskozite (ν).
3. Akım ile ilgili olanlar: Reynolds sayısı (Re).

3.3. Deney Düzenekinin Tanıtılması

Deney düzenekinin şematik görünüşü Şekil 3.2’de verilmiştir. Deney düzenekinin içerdiği elemanlar ise Tablo 3.1’de açıklamalı olarak verilmiştir. Deney düzenekği temel olarak farklı elemanlar içeren bir boru tesisatı, santrifüj pompa, hidrolik tank ve elektromanyetik debimetreden oluşan kapalı devre bir sistemdir. Deney düzenekğinde bulunan tesisat elemanları: düz boru, genişleyen ve daralan kesitli boru, çeşitli dirsekler, branşmanlar, muhtelif vanalar ve bağlantı elemanları. Bunlara ilaveten 2 farklı vana, birer venturi, orifis ve lüle bulunmaktadır, fakat bunlar birbiri yerine değişmeli kullanılabilmektedir. Deney düzenekği Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi 6 ana hattan oluşmaktadır. Sistemi oluşturan tesisat elemanları boru iç çapı 17

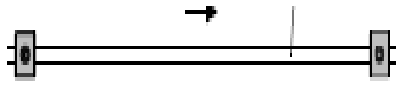
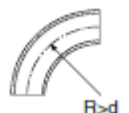
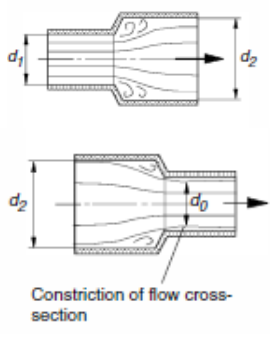
mm'dir, sadece I nolu hattaki daralma ve genişleme kesitleri bulunan boru iç çapı 30 mm'dir. Sisteme giriş tek hattan olup, ilk girişte 2'ye ayrılmaktadır. Bunlardan biri VI numaralı hattı, yani vana, venturi, orifis ve lüle bağlanabilen ayrı bir hattı beslemektedir. Diğerisi ise I-V numaralı hatları beslemektedir. Tesisatta bulunan muhtelif vanalar yardımıyla bu hatlarda ayrı ayrı veya hatlar arasında akım sağlanabilir. Basınç kayıp ölçümlerinin yapıldığı boru ve boru bağlantı elemanlarının boyutları Tablo 3.1'de verilmiştir. Statik basınçlar U-tüp manometreler kullanılarak, debi ölçümü ise elektromanyetik tip hacimsel debiölçer ile yapılmıştır. Deneylerde, belirli bir ortalama akım hızında çalışılmıştır; tesisatta ortalama akım hızını veren debi hesaplanarak belirlendikten sonra santrifüj pompanın devri hız kontrol cihazı ile ayarlanarak ortalama akım hızı ve debi set edilmiştir.



No	Adı	No	Adı
1	Statik Basınç Nipelleri	6	Çelik Konstrüksiyon
2	Vanalar	7	Ventürimetre ve Orifismetre
3	Panel Tezgah	8	Ayarlanabilir Boru Parçası
4	Manometreler	9	Vana
5	Giriş Borusu	I-VI	Akım Hatları

Şekil 3.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Çizelge 3.1. Sistem Elemanlarının Hat ve Detay Bilgileri

Hat No	Adı	Şekil	f veya K	Özellikleri
II	Boru		Laminer: $f = \frac{64}{Re}$ Türbülanslı: $f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$	PVC 20x1,5 düz boru, uzunluk 800mm, pürüzsüz, iç çapı 17 mm
V	45° dirsek		0,35	Geniş açılı (135°) dirsek, yuvarlatılmış
V	90° dirsek		0,1 (x2)	Yuvarlatılmış 90° dirsek, R>d
I	Boru Daralma ve Genişleme		2,4	PVC boru, Genişleme ve daralma: 20x1,5 - 32x1,8 d = 17 mm, D = 28,4 mm, d/D=0,6

3.4. Temel Denklemler

Deneysel bulguları değerlendirirken kullanılan boyutsuz parametrelerin bağıntıları aşağıda verilmiştir:

Reynolds sayısı akım rejiminin belirlenmesinde kullanılan boyutsuz bir parametredir ve dairesel kesitli boru akımları için:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3.3.1)$$

Burada;

V: akımın eksenel ortalama hızı, m/s

D: boru iç çapı, m

ν : akışkanın kinematik viskozitesidir, m²/s.

Akımın ortalama hızı ölçülen hacimsel debinin boru kesit alanına bölünmesiyle belirlenmiştir.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Burada;

Q: hacimsel debi, m³/s

A: boru kesit alanı, m²

Manometre kollarındaki yükseklik farkından yararlanarak basınç kaybının hesaplanması için:

$$\Delta P = \rho \times g \times \Delta h \text{ (Pa)} \quad (3.3.3)$$

Burada;

ρ : akışkanın yoğunluğu, kg/m³

g: yer çekimi ivmesi, m/s²

Δh : manometre kolları arasındaki yükseklik farkı, m

Deneyisel olarak sürtünme faktörünü hesaplamak için:

$$f_{\text{deneyisel}} = \frac{2 \times \Delta P \times D}{\rho \times L \times V^2} \quad (3.3.4)$$

Burada;

L: Boru uzunluğu, m

D: boru çapı, m

Dirsek ve branşmanlardan kaynaklanan yerel kayıp katsayısını hesaplamak için:

$$K_{\text{deneyisel}} = \frac{(2 \times \Delta P)}{(\rho \times V^2)} \quad (3.3.5)$$

4. BULGULAR ve İRDELEME

Bu projede yapılan deneysel çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama nano-akışkanların sentezlenmesi, daha sonra karakterizasyonu yani bazı fiziksel özelliklerinin ölçülmesi, son aşama ise kurulu deney düzeneğinde basınç kayıp deneylerinin yapılmasından oluşmaktadır.

4.1. Nano-Akışkanların Sentezlenmesi

Sentezlenen nanoakışkanlar temel akışkan olarak damıtılmış su ile % 1.0, 2.0, ve 3.0 hacim konsantrasyonlarında ve 30-40 nm nano-partikül boyutunda Al_2O_3 , TiO_2 , CuO nano-partiküllerinden oluşmaktadır. Nano-akışkanlar sentezlenirken süspansiyon dengesini ve kararlılığını artırmak için yayıcı (dispersant) olarak Sodyum Silikat ($Na_2(SiO_3)$) yüzey aktif madde sulu çözeltisi kullanıldı.

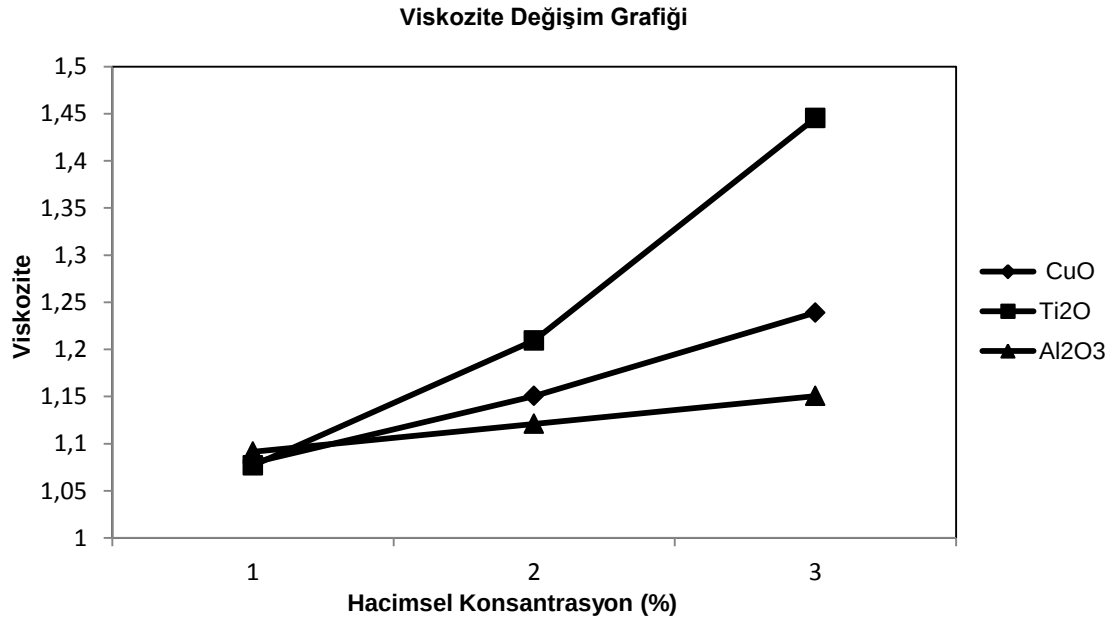
Al_2O_3 - Su, TiO_2 - Su, CuO - Su nano-akışkanları temel akışkan olarak kullanılan su içine yukarıda verilen hacimsel konsantrasyon oranlarında nano-partiküller ilave edilerek bir saat süre ile nano-partikül topaklarının temel akışkan içinde tamamen çözülmesi ve kolayca askıda kalmasını sağlamak için ultrasonik karıştırma işlemine tabi tutularak hazırlanmıştır. Bu işlem 750W, 20kHz %60 amplitude kapasitede gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik karıştırma işlemi başlangıcında nano-akışkanın süspansiyon dengesini ve kararlılığını artırmak amacıyla % 0.3 hacimsel konsantrasyonlarda ($Na_2(SiO_3)$) dispersantları ilave edildi.

4.2. Nano-Akışkanların Fiziksel Özellikleri

Temel akışkan olarak kullanılan su ile Al_2O_3 , TiO_2 , CuO nano-partiküllerinin sentezlenmesi ile elde edilen nano-akışkanların 20°C ve 40°C sıcaklıkta yoğunluk ve viskoziteleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler Tablo 4.1’de verilmiştir. Al_2O_3 - Su, TiO_2 - Su, CuO - Su nano-akışkanlarının yoğunluk ve viskozitesi nano-partikül konsantrasyonu ile artmaktadır. Ayrıca, en yüksek viskoziteye TiO_2 - Su, en düşük viskoziteye ise Al_2O_3 - Su, nanoakışkanı sahiptir.

Çizelge 4.1. Temel Akışkan Su ve Nano-Akışkanların Viskozite Değerleri

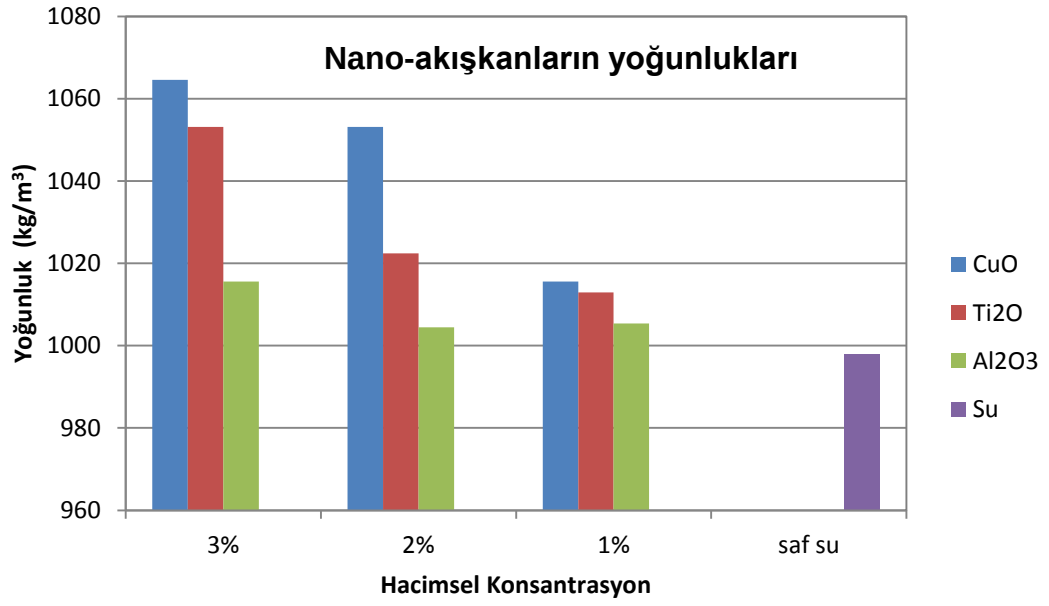
Sıcaklık (°C)	%1 CuO (m ² /s) x 10 ⁻⁶	%2 CuO (m ² /s) x 10 ⁻⁶	%3 CuO (m ² /s) x 10 ⁻⁶
20 °C	1,0797	1,1505	1,239
40 °C	1,0443	1,0974	1,18
Sıcaklık (°C)	%1 Ti ₂ O (m ² /s) x 10 ⁻⁶	%2 Ti ₂ O (m ² /s) x 10 ⁻⁶	%3 Ti ₂ O (m ² /s) x 10 ⁻⁶
20 °C	1,07675	1,2095	1,4455
40 °C	1,0443	1,121	1,2095
Sıcaklık (°C)	%1 Al ₂ O ₃ (m ² /s) x 10 ⁻⁶	%2 Al ₂ O ₃ (m ² /s) x 10 ⁻⁶	%3 Al ₂ O ₃ (m ² /s) x 10 ⁻⁶
20 °C	1,0915	1,121	1,1505
40 °C	1,01775	1,075275	1,10035
Sıcaklık (°C)	Su (m ² /s) x 10 ⁻⁶		
20 °C	1,004		
40 °C	0,658		



Şekil 4.1. Nano-akışkanların viskozitesinin konsantrasyon ile değişimi

Çizelge 4.2. Nano-Akışkanların Yoğunlukları

Nanoakışkanlar	Yoğunluk(kg/m ³)	Nanoakışkanlar	Yoğunluk(kg/m ³)
3% CuO	1064,54	%3 Al ₂ O ₃	1005,4
2% CuO	1053,1	%2 Al ₂ O ₃	1012,96
1% CuO	1015,54	%1 Al ₂ O ₃	1020
3% TiO	1043,76	Su	998
2% TiO	1022,44		
1% TiO	1004,46		



Şekil 4.2. Nano-akışkanların yoğunluklarının konsantrasyon ile değişimi

5. Al₂O₃-SU NANO-AKIŞKANLARIN İNCELENMESİ

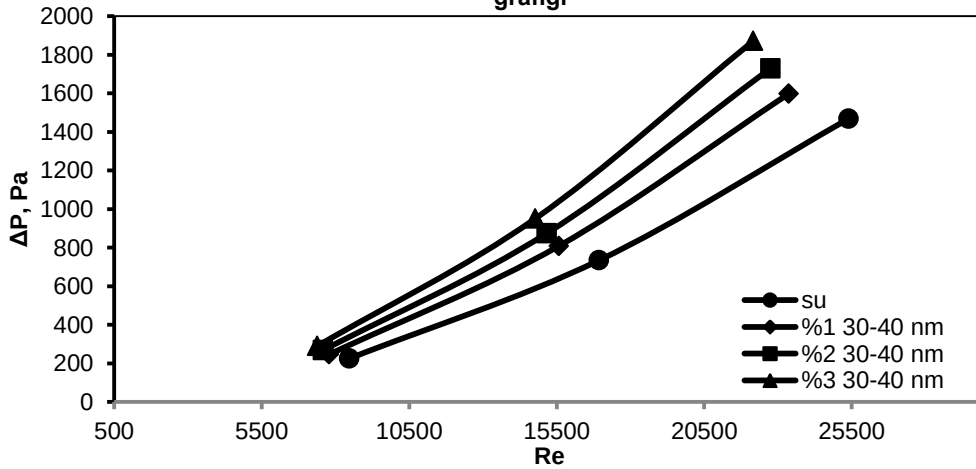
Al₂O₃ – Su nano-akışkanının sürtünmeden kaynaklanan basınç kayıplarının ve sürtünme faktörünün deneysel olarak belirlenmesi amacıyla 30-40 nm boyutta ve 3 farklı konsantrasyonda (% 1, %2 , %3) karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar kullanılarak yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki tablo ve grafikler oluşturulmuştur.

5.1. Al₂O₃-Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 5.1. Düz Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

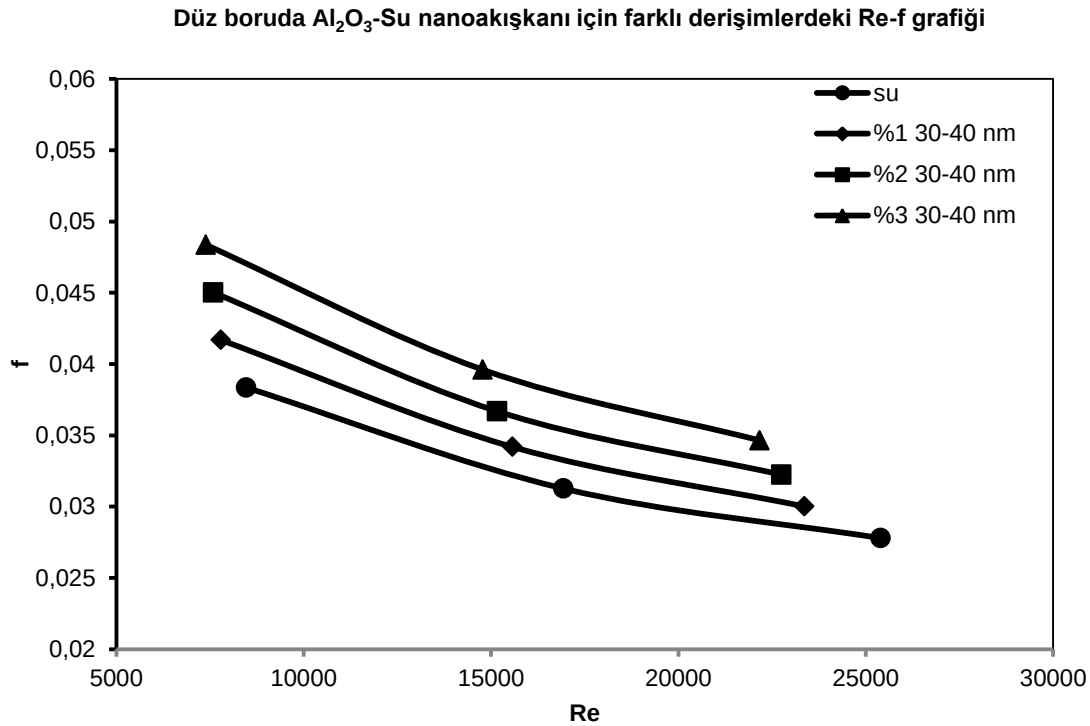
Deney No	Düz Boru		su	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	ν , cSt (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik
1	30,8	28,5	113,5	0,5	998	1,004	8466,135458	225,17874	0,0383571	0,0329432
2	56,7	49,2	227	1	998	1,004	16932,27092	734,2785	0,031269375	0,027701819
3	65	50	340,5	1,5	998	1,004	25398,40637	1468,557	0,027795	0,025031419
Deney No	Düz Boru		%1 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	ν , m ² /s (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik
1	37,2	34,7	113,5	0,5	1005,25	1,0915	7787,448465	246,5375625	0,0416925	0,033638629
2	41,2	33	227	1	1005,25	1,0915	15574,89693	808,643205	0,03418785	0,028286602
3	48,2	32	340,5	1,5	1005,25	1,0915	23362,3454	1597,563405	0,0300186	0,025559831
Deney No	Düz Boru		%2 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=23,5)	ν , m ² /s (T=23,5)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik
1	39,2	36,5	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	268,3027152	0,0450279	0,033863649
2	41,3	32,5	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	874,4681088	0,0366894	0,028475821
3	52,4	35	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	1729,061942	0,0322422	0,025730809
Deney No	Düz Boru		%3 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=25,3)	ν , m ² /s (T=25,3)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik
1	57,7	54,8	113,5	0,5	1020,26	1,1505	7388,092134	290,2537674	0,0483633	0,034084271
2	36	26,5	227	1	1020,26	1,1505	14776,18427	950,831307	0,039607875	0,028661341
3	45,2	26,5	340,5	1,5	1020,26	1,1505	22164,2764	1871,636362	0,0346511	0,025898445

Düz boruda Al₂O₃-Su nano-akışkanları için farklı derişimlerdeki Re- ΔP grafiğı



Şekil 5.1. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nanoakışkanları için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (Düz boru)

Şekil 5.1’ de 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanının, ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Basınç kayıplarının Reynolds sayısı ile hemen hemen doğrusal bir şekilde arttığı ve temel akışkan suya kıyasla nano-akışkanların daha yüksek basınç kayıplarına sebep olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, hacim konsantrasyonlarının artması, basınç farklarının da artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.2. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için f sürtünme faktörünün Re sayısı ile değişimi (Düz boru)

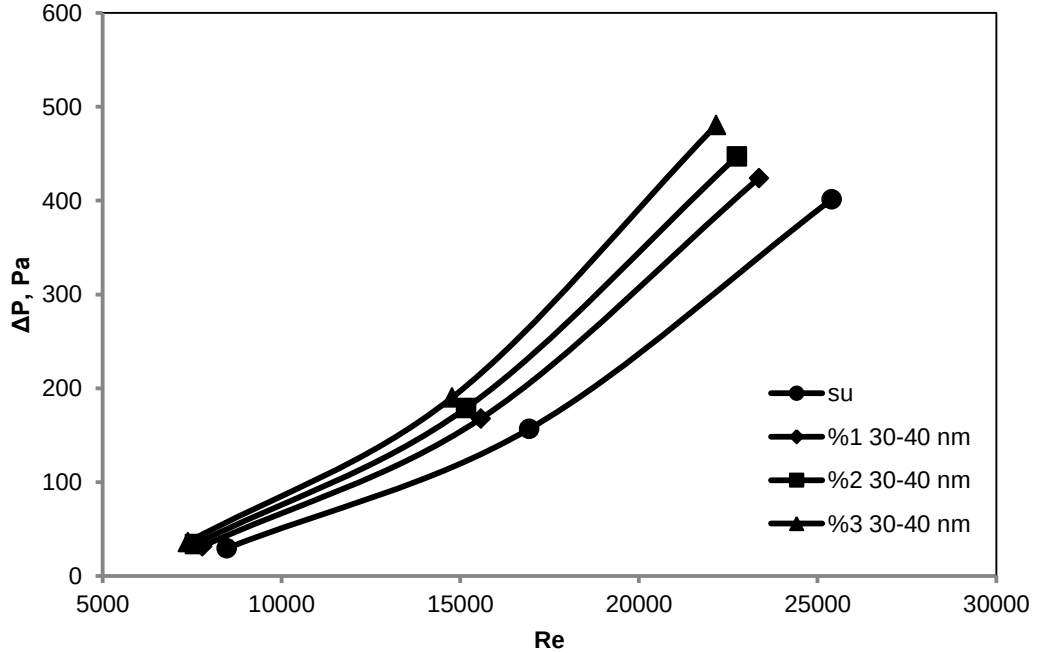
Şekil 5.2’ de 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanının, düz ve yatay borudaki sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile sürtünme faktörü değerlerinin hemen hemen doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Buna ilaveten, yüksek konsantrasyon sürtünme faktöründe artışa sebep olmaktadır.

5.2. Al_2O_3 -Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 5.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

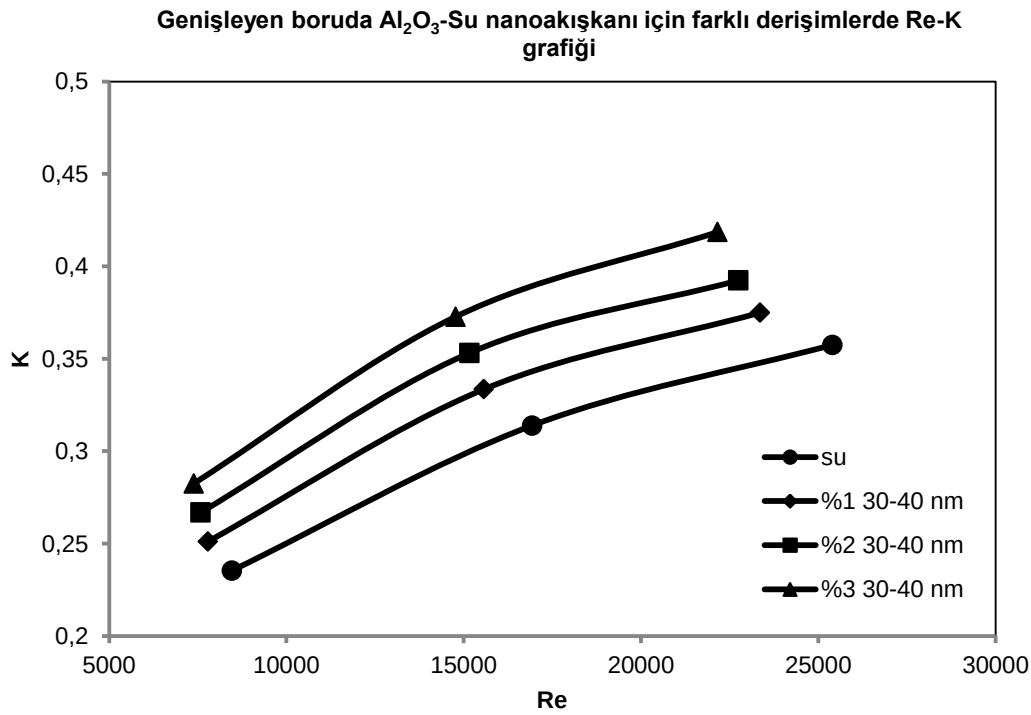
Deney No	Boru Genişleme		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cSt (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, m/s						Deneysel	Teorik	
1	41,3	41	113,5	0,5	998	1,004	8466,135458	29,37114	0,23544	2,4	0,030374099
2	33,3	31,7	227	1	998	1,004	16932,27092	156,64608	0,31392	2,4	0,048161459
3	39,5	35,4	340,5	1,5	998	1,004	25398,40637	401,40558	0,35752	2,4	0,060702113
Deney No	Boru Genişleme		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, m/s						Deneysel	Teorik	
1	20,3	19,98	113,5	0,5	1005,3	1,0915	7787,448465	31,556808	0,251136	2,4	0,031729236
2	30,3	28,6	227	1	1005,3	1,0915	15574,89693	167,6455425	0,33354	2,4	0,050113654
3	37	32,7	340,5	1,5	1005,3	1,0915	23362,3454	424,0446075	0,37496	2,4	0,062347048
Deney No	Boru Genişleme		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s (T=23,	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, m/s						Deneysel	Teorik	
1	52,1	51,76	113,5	0,5	1013	1,121	7582,515611	33,78626784	0,266832	2,4	0,033488299
2	51,8	50	227	1	1013	1,121	15165,03122	178,8684768	0,35316	2,4	0,052708928
3	57,5	53	340,5	1,5	1013	1,121	22747,54683	447,171192	0,3924	2,4	0,064813353
Deney No	Boru Genişleme		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s (T=25,	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, m/s						Deneysel	Teorik	
1	42,5	42,14	113,5	0,5	1020,3	1,1505	7388,092134	36,03150216	0,282528	2,4	0,035228684
2	44,1	42,2	227	1	1020,3	1,1505	14776,18427	190,1662614	0,37278	2,4	0,055277071
3	50,3	45,5	340,5	1,5	1020,3	1,1505	22164,2764	480,4200288	0,41856	2,4	0,068686749

Genişleyen boruda Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için farklı derişimlerdeki Re- ΔP grafiğı



Şekil 5.3. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değışimi (Boru genişleme)

Şekil 5.3’ de 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanının genişleyen boruda farklı hacimsel konsantrasyonlarda, basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının arttığı ve artan hacim konsantrasyonunu ile orantılı olarak basınç farkının da arttığı görülmektedir.



Şekil 5.4. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (Boru genişleme)

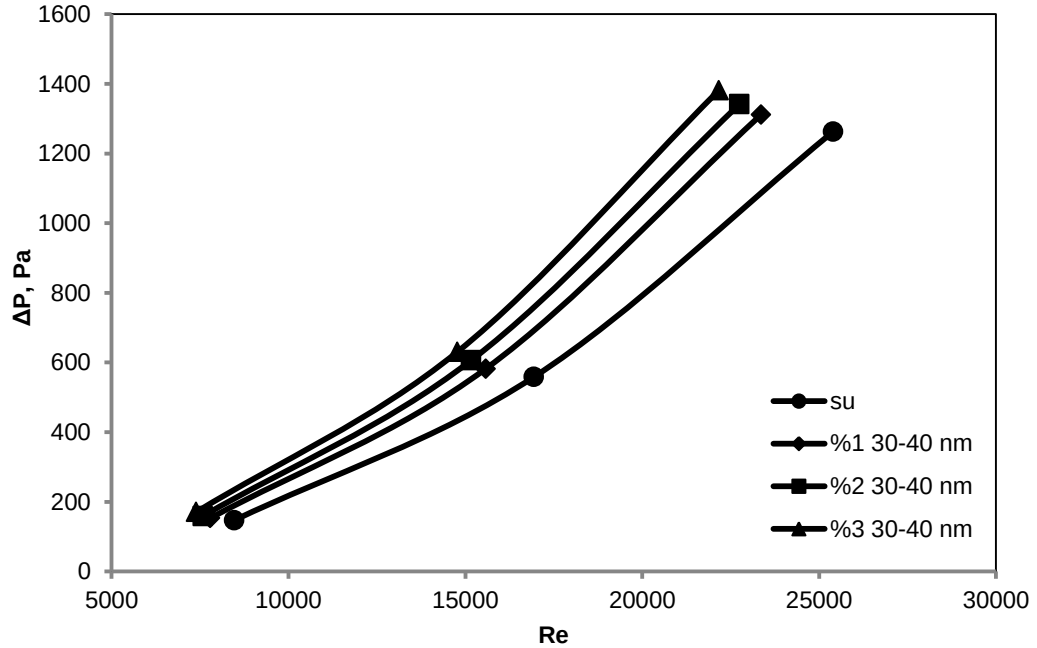
Şekil 5.4’ te 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanının, genişleyen boruda yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi konsantrasyon ve Reynolds sayısı ile K yerel basınç kayıp katsayısı artmaktadır.

5.3. Al_2O_3 -Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 5.3. Daralan Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

Deney No	Boru Daralma		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cSt (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik	
1	29,8	28,3	113,5	0,5	998	1,004	8466,135458	146,8557	1,1772	2,4	0,151870493
2	56,2	50,5	227	1	998	1,004	16932,27092	558,05166	1,11834	2,4	0,171575198
3	63,4	50,5	340,5	1,5	998	1,004	25398,40637	1262,95902	1,12488	2,4	0,190989574
Deney No	Boru Daralma		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik	
1	36,4	34,85	113,5	0,5	1005	1,092	7787,448465	152,8532888	1,21644	2,4	0,153688487
2	35,2	29,3	227	1	1005	1,092	15574,89693	581,8286475	1,15758	2,4	0,173923857
3	44,1	30,8	340,5	1,5	1005	1,092	23362,3454	1311,579833	1,15976	2,4	0,192840871
Deney No	Boru Daralma		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik	
1	40,2	38,6	113,5	0,5	1013	1,121	7582,515611	158,9942016	1,25568	2,4	0,157591995
2	23,1	17	227	1	1013	1,121	15165,03122	606,1653936	1,19682	2,4	0,1786247
3	51,5	38	340,5	1,5	1013	1,121	22747,54683	1341,513576	1,1772	2,4	0,194440058
Deney No	Boru Daralma		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , m ² /s	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik	
1	29,9	28,2	113,5	0,5	1020	1,151	7388,092134	170,1487602	1,33416	2,4	0,166357674
2	33	26,7	227	1	1020	1,151	14776,18427	630,5512878	1,23606	2,4	0,183287132
3	42,1	28,3	340,5	1,5	1020	1,151	22164,2764	1381,207583	1,20336	2,4	0,197474402

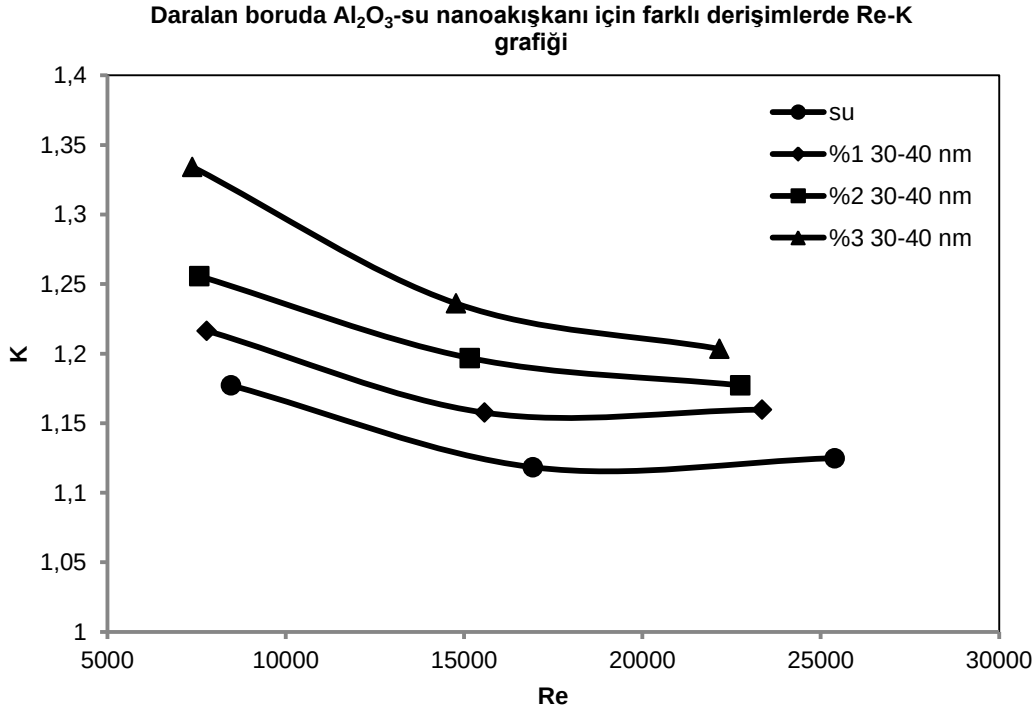
Daralan boruda Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 5.5. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (Boru daralma)

Şekil 5.5' de 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nano-akışkanının, daralan boruda basınç farkının Reynolds sayısıyla değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde

artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının arttığı görülmektedir. Ayrıca ΔP basınç farkının artan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak da artış gösterdiği grafikten okunmaktadır.



Şekil 5.6. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (Boru daralma)

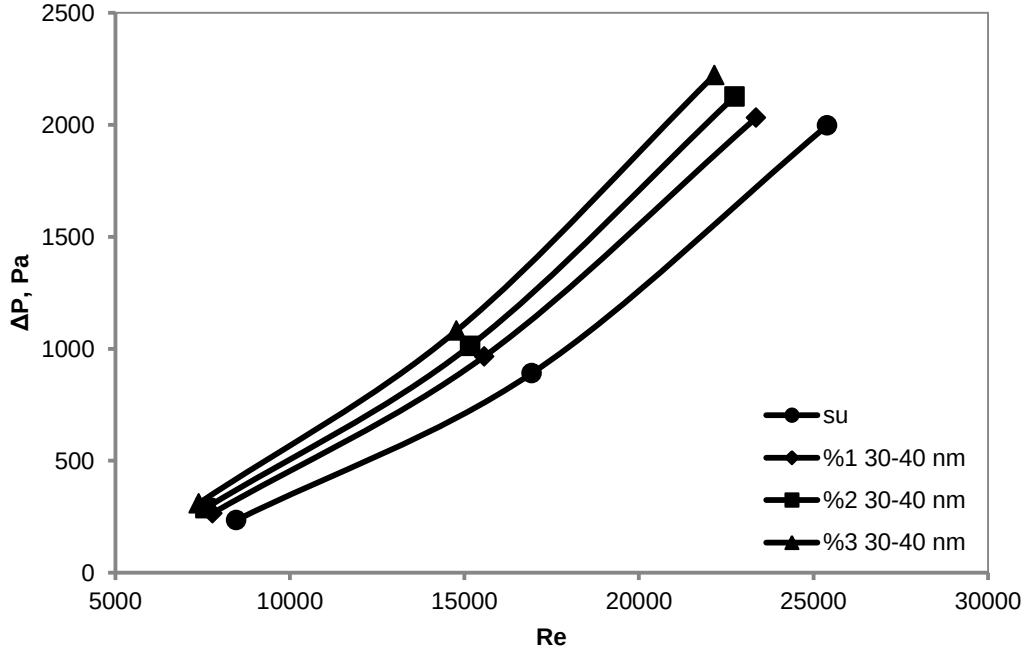
Şekil 5.6’ da 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nanoakışkanının, daralan boruda yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile yerel kayıp katsayısının arttığı, Reynolds sayısı ile azaldığı görülmektedir. Ayrıca, artan Reynolds sayısı ile yerel kayıp katsayısındaki azalmanın yavaşladığı ve yüksek Reynolds sayılarında sabit bir değer sergilediği görülmektedir.

5.4. Al₂O₃-SuNano-Akışkanların 90° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 5.4. 90° Dirsekte Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

D deney No	90 ° Dirsek		Su Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20)	ν , cSt (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	41,8	39,4	113,5	0,5	998	1,004	8466,135458	234,96912	1,88352	0,1	0,24299279
2	46,6	37,5	227	1	998	1,004	16932,27092	890,92458	1,78542	0,1	0,273918298
3	49,1	28,7	340,5	1,5	998	1,004	25398,40637	1997,23752	1,77888	0,1	0,302030024
D deney No	90 ° Dirsek		%1 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=21,9)	ν , m ² /s (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	28,7	26	113,5	0,5	1005,25	1,0915	7787,448465	266,2605675	2,11896	0,1	0,26771543
2	36,5	26,7	227	1	1005,25	1,0915	15574,89693	966,427245	1,92276	0,1	0,288890474
3	46,2	25,6	340,5	1,5	1005,25	1,0915	23362,3454	2031,469515	1,79632	0,1	0,29868586
D deney No	90 ° Dirsek		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=23,5)	ν , m ² /s (T=23,5)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	52,5	49,6	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	288,1769904	2,27592	0,1	0,28563549
2	59,2	49	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	1013,588035	2,00124	0,1	0,298683925
3	66,4	45	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	2126,547446	1,86608	0,1	0,3082235
D deney No	90 ° Dirsek		%3 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=25,3)	ν , m ² /s (T=25,3)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	43,1	40	113,5	0,5	1020,26	1,1505	7388,092134	310,2712686	2,43288	0,1	0,303358111
2	48,8	38	227	1	1020,26	1,1505	14776,18427	1080,945065	2,11896	0,1	0,314206511
3	59,7	37,5	340,5	1,5	1020,26	1,1505	22164,2764	2221,942633	1,93584	0,1	0,317676212

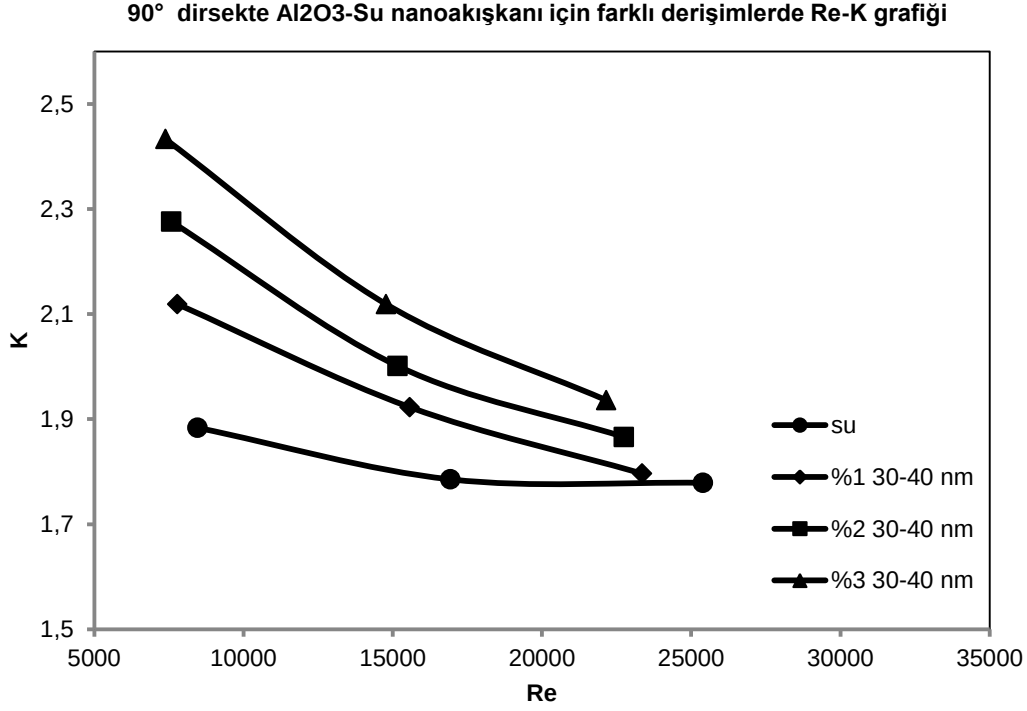
90° dirsekte Al₂O₃-Su nanoakışkanları için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 5.7. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nano-akışkanları için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değişimi (90° dirsek)

Şekil 5.7' de 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nano-akışkanının 90° dirsekte basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde

artan Reynolds sayısıyla ΔP basınç farkı doğrusala yakın bir değişimle ve artan konsantrasyon ile de hemen hemen aynı oranla artmaktadır.



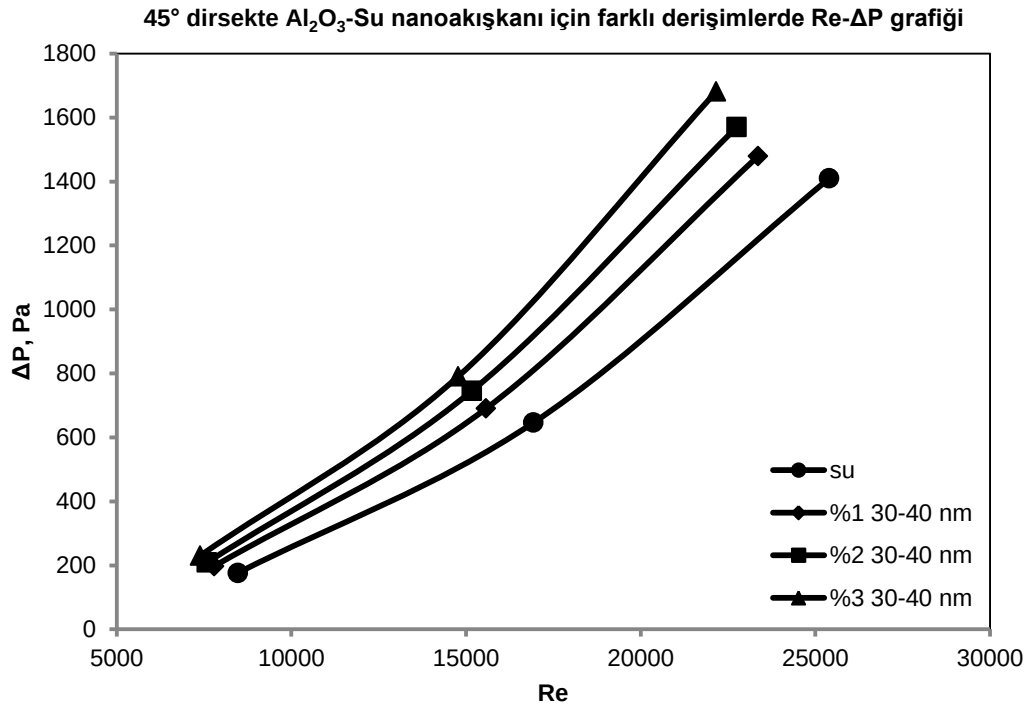
Şekil 5.8. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nanoakışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (90° dirsek)

Şekil 5.8’ de 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nanoakışkanının 90° dirsekte K yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile K yerel kayıp katsayısının arttığı ve artan Reynolds sayısı ile de K yerel kayıp katsayısının azaldığı görülmektedir.

5.5. Al₂O₃-Su Nano-Akışkanların 45° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 5.5. 45° Dirsekte Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

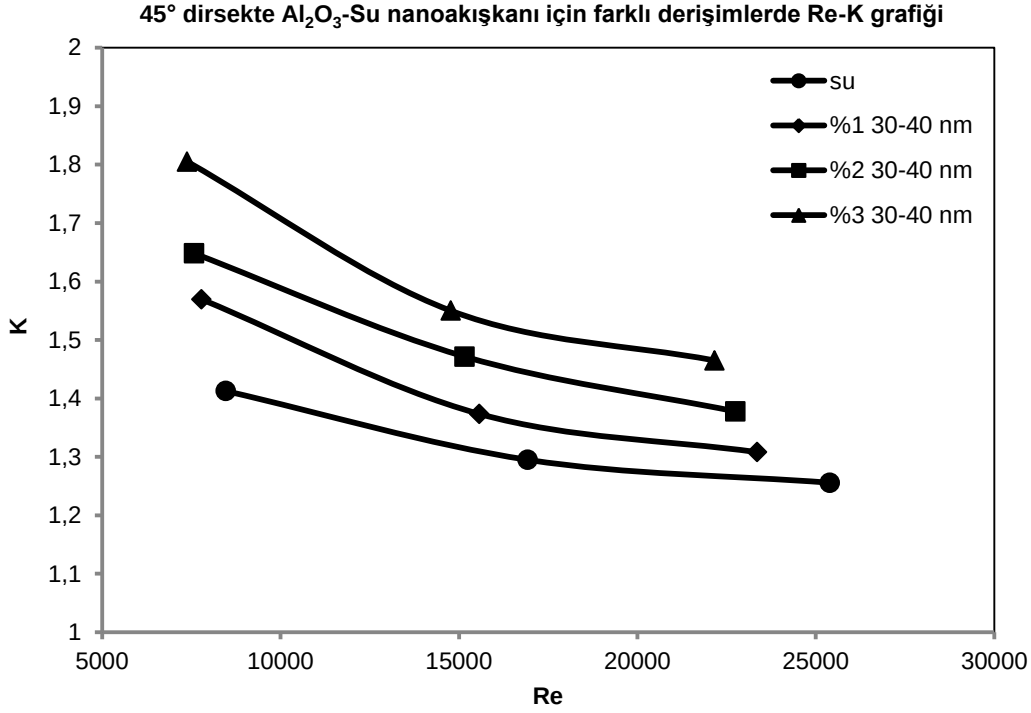
Deneysel No	45° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	ν , cSt (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	29,1	27,3	113,5	0,5	998	1,004	8466,135458	176,22684	1,41264	0,35	0,182244592
2	32,6	26	227	1	998	1,004	16932,27092	646,16508	1,29492	0,35	0,198666019
3	63,9	49,5	340,5	1,5	998	1,004	25398,40637	1409,81472	1,25568	0,35	0,213197664
Deneysel No	45° Dirsek		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=21,9 C)	ν , m ² /s (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	36,3	34,3	113,5	0,5	1005,25	1,0915	7787,448465	197,23005	1,5696	0,35	0,198307726
2	42,3	35,3	227	1	1005,25	1,0915	15574,89693	690,305175	1,3734	0,35	0,206350339
3	64	49	340,5	1,5	1005,25	1,0915	23362,3454	1479,225375	1,308	0,35	0,217489704
Deneysel No	45° Dirsek		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=23,5 C)	ν , m ² /s (T=23,5 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	39,1	37	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	208,6798896	1,64808	0,35	0,206839493
2	44,8	37,3	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	745,28532	1,4715	0,35	0,219620533
3	49,3	33,5	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	1570,067741	1,37776	0,35	0,227566883
Deneysel No	45° Dirsek		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=25,3 C)	ν , m ² /s (T=25,3 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	58,4	56,1	113,5	0,5	1020,26	1,1505	7388,092134	230,2012638	1,80504	0,35	0,225072147
2	54,5	46,6	227	1	1020,26	1,1505	14776,18427	790,6912974	1,54998	0,35	0,229836244
3	62,5	45,7	340,5	1,5	1020,26	1,1505	22164,2764	1681,470101	1,46496	0,35	0,24040362



Şekil 5.9. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nano-akışkanı için ΔP basınç farkının Re sayısı ile değışimi (45° dirsek)

Şekil 5.9’ de 30-40 nm boyutundaki Al₂O₃-Su nano-akışkanının 45° dirsekte basınç farkının Reynolds sayısıyla değışimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde

artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının doğrusala yakın bir şekilde arttığı, aynı zamanda konsantrasyon ile de arttığı görülmektedir.



Şekil 5.10. Farklı konsantrasyonlardaki 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için K yerel basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (45° dirsek)

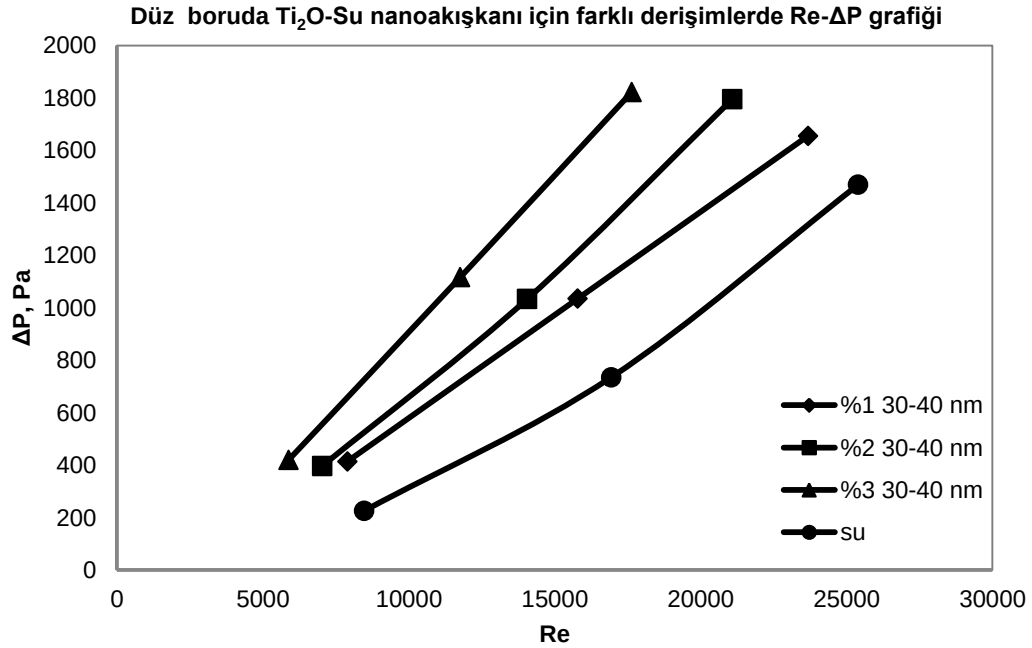
Şekil 5.10’de 30-40 nm boyutundaki Al_2O_3 -Su nanoakışkanının 45° dirsekte yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile K yerel kayıp katsayısının arttığı ve artan Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısının küçük bir eğim ile azaldığı görülmektedir.

6. TiO₂-SU NANO-AKIŞKANLARIN İNCELENMESİ

6.1. TiO₂-Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının İncelenmesi

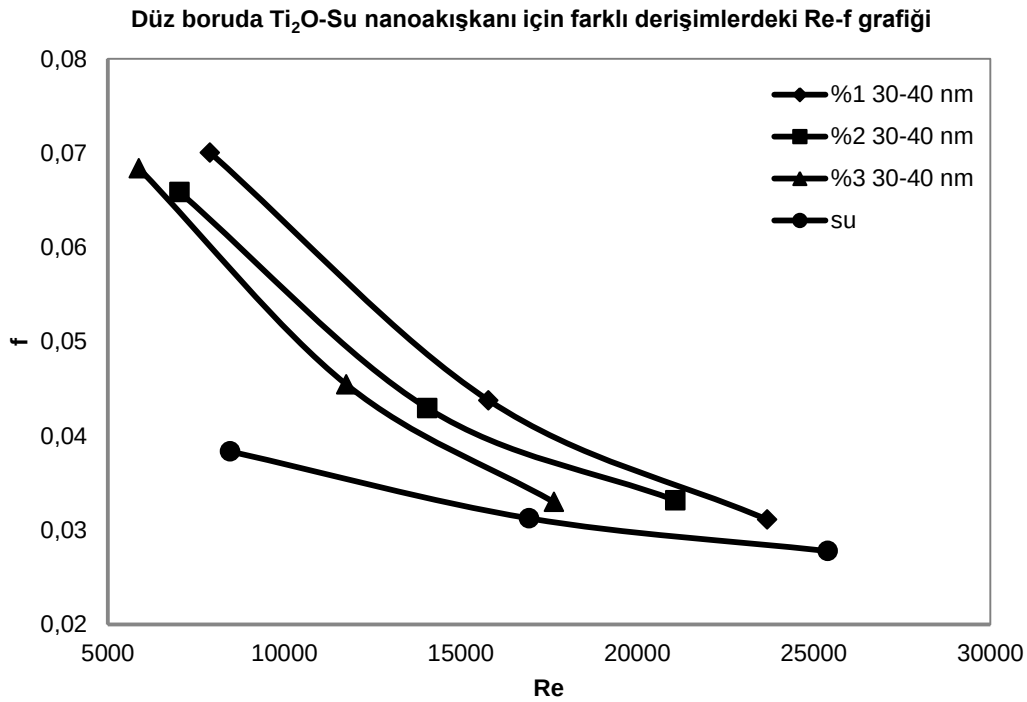
Çizelge 6.1. Düz Boru İçin Ölçülen Değerler

Deney No	Düz Boru		su	Vort , m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							Deneysel	Teorik
1	30,8	28,5	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	225,2712483	0,0383571	0,0329432
2	56,7	49,2	227	1	998,41	1,004	16932,27092	734,5801575	0,03126938	0,02770182
3	65	50	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1469,160315	0,027795	0,02503142
Deney No	Düz Boru		%1 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							Deneysel	Teorik
1	73	68,8	113,5	0,5	1004,5	1,07675	7894,125842	413,8576092	0,0700434	0,0335244
2	78,5	68	227	1	1004,5	1,07675	15788,25168	1034,644023	0,04377713	0,02819055
3	82,8	66	340,5	1,5	1004,5	1,07675	23682,37752	1655,430437	0,0311304	0,02547304
Deney No	Düz Boru		%2 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							Deneysel	Teorik
1	53,1	49	113,5	0,5	1022,4	1,2095	7027,697396	411,2355924	0,0683757	0,03451309
2	60	49,7	227	1	1022,4	1,2095	14055,39479	1033,104049	0,04294328	0,02902193
3	79,5	62,8	340,5	1,5	1022,4	1,2095	21083,09219	1675,032779	0,0309451	0,02622428
Deney No	Düz Boru		%3 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							Deneysel	Teorik
1	29,1	25	113,5	0,5	1043,8	1,4455	5880,318229	419,8107096	0,0683757	0,03608584
2	73,3	62,4	227	1	1043,8	1,4455	11760,63646	1116,08213	0,04544483	0,03034446
3	76,6	58,8	340,5	1,5	1043,8	1,4455	17640,95469	1822,592837	0,0329834	0,02741931



Şekil 6.1. Düz boruda TiO₂-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 6.1’ de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-aışkanının, ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde hacim konsantrasyonlarının artmasının, basınç farklarında bir artışa neden olduğu görölmektedir. Saf suya kıyasla nano-aışkanın konsantrasyonu arttıkça, konsantrasyonla orantılı olarak basınç farkının da arttığı görölmektedir. Ayrıca Reynolds sayısı arttıkça ΔP basınç farkı doğrusala yakın bir şekilde artmaktadır.



Şekil 6.2. Düz boruda TiO_2 -Su nano-aışkanını için farklı konsantrasyonlarda Re-f grafiği

Şekil 6.2’ de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-aışkanının, düz borudaki sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikte artan Reynolds sayısı ile sürtünme faktörünün azaldığı görölmektedir. Nano-aışkanlara kıyasla temel aışkan suyun, Reynolds sayısının artması ile sürtünme faktörünün daha yavaş azalma gösterdiği nano aışkanların sürtünme faktörünün ise daha dik bir eğim ile azaldığı görölmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla TiO_2 -Su nano-aışkanının sürtünme faktörü temel aışkan suyun sürtünme faktörüne yaklaşmaktadır. Dolayısıyla, daha düşük Reynolds sayılarında TiO_2 -Su nano-

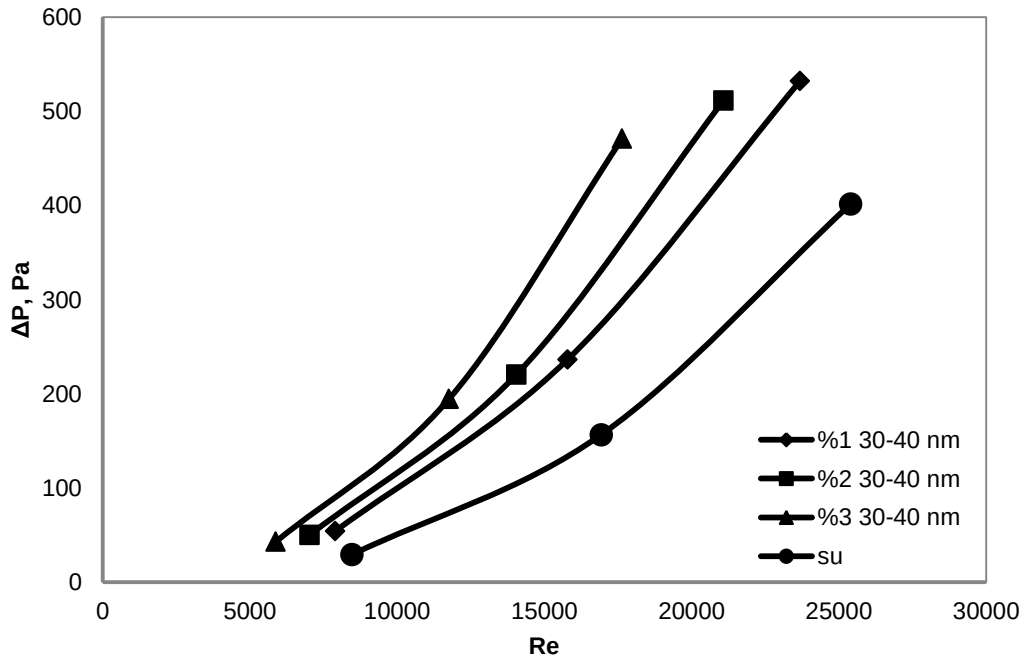
akışkanı suya kıyasla daha yüksek sürtünme faktörü sergilerken yüksek Reynolds sayılarında hemen hemen aynı sürtünme faktörünü sergilemektedir.

6.2. TiO₂-Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 6.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

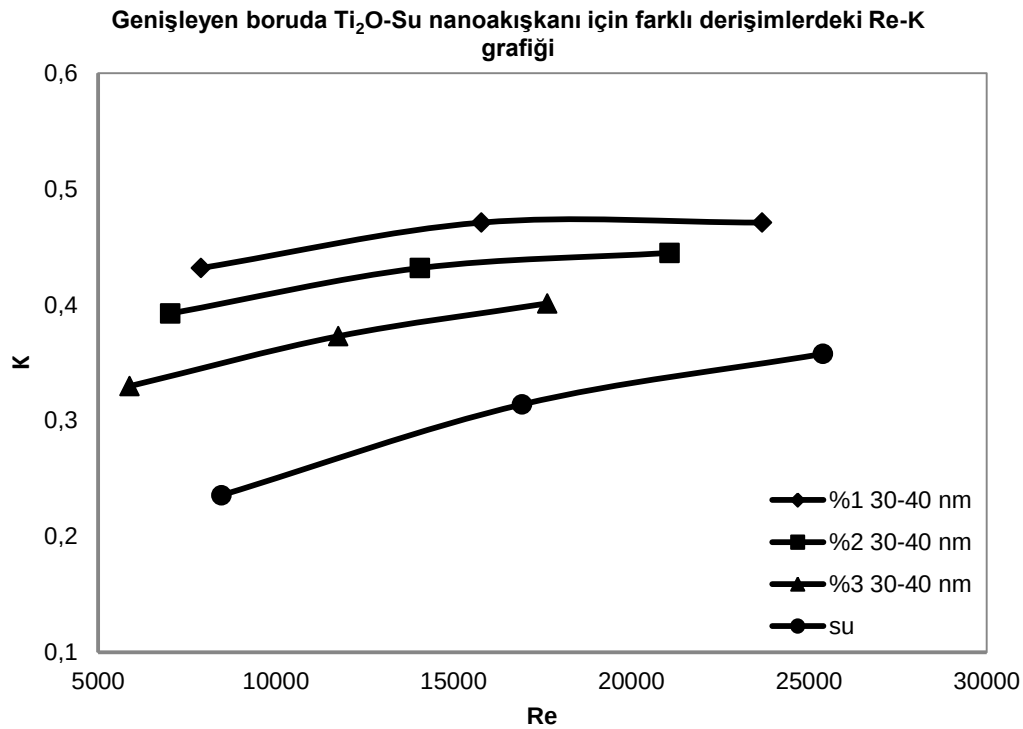
Deney No	Boru Genişleme		Su Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							DeneySEL	Teorik	
1	41,3	41	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	29,3832063	0,23544	2,4	0,030374099
2	33,3	31,7	227	1	998,41	1,004	16932,27092	156,7104336	0,31392	2,4	0,048161459
3	39,5	35,4	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	401,5704861	0,35752	2,4	0,060702113
Deney No	Boru Genişleme		%1 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							DeneySEL	Teorik	
1	73,3	72,75	113,5	0,5	1004,46	1,07675	7894,125842	54,1956393	0,43164	2,4	0,054720435
2	76,3	73,9	227	1	1004,46	1,07675	15788,25168	236,4900624	0,47088	2,4	0,070989743
3	84,5	79,1	340,5	1,5	1004,46	1,07675	23682,37752	532,1026404	0,47088	2,4	0,078563065
Deney No	Boru Genişleme		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							DeneySEL	Teorik	
1	54	53,5	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	50,150682	0,3924	2,4	0,048320799
2	57,6	55,4	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	220,6630008	0,43164	2,4	0,063209782
3	77,5	72,4	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	511,5369564	0,44472	2,4	0,072072915
Deney No	Boru Genişleme		%3 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							DeneySEL	Teorik	
1	30,3	29,88	113,5	0,5	1043,76	1,4455	5880,318229	43,00499952	0,329616	2,4	0,03882043
2	73,5	71,6	227	1	1043,76	1,4455	11760,63646	194,5464264	0,37278	2,4	0,052211018
3	76,8	72,2	340,5	1,5	1043,76	1,4455	17640,95469	471,0071376	0,40112	2,4	0,062173696

Genişleyen boruda Ti₂O-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 6.3. Genişleyen boruda TiO₂-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 6.3' de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının genişleyen boruda farklı hacimsel konsantrasyonlarda, basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının arttığı görülmektedir ve artan hacim konsantrasyonu ile orantılı olarak basınç farkı artmaktadır.



Şekil 6.4. Genişleyen boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

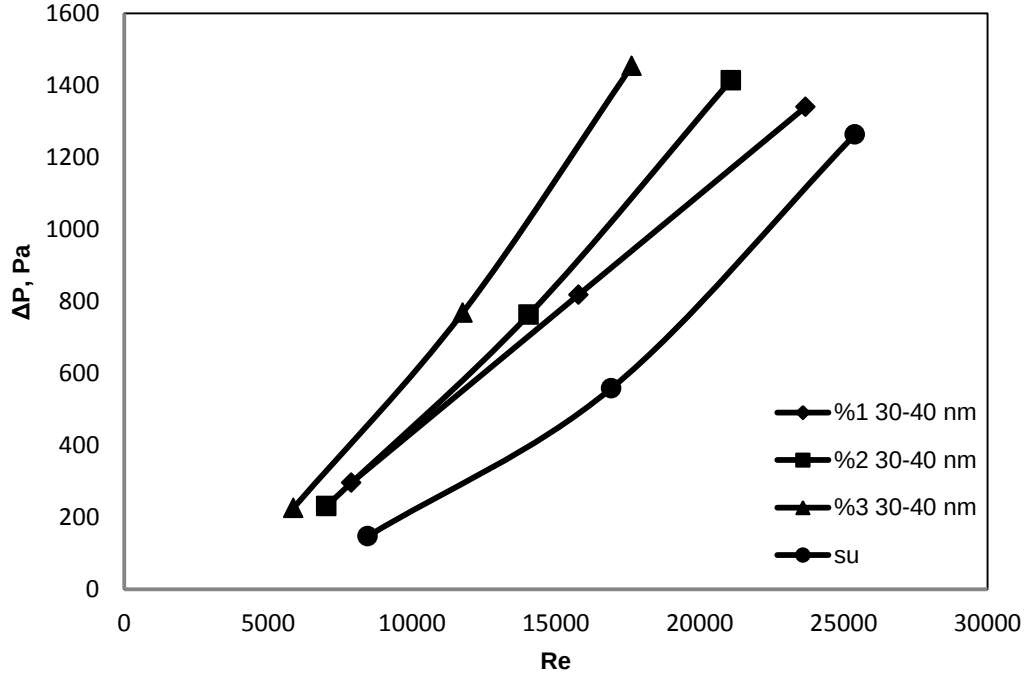
Şekil 6.4' te 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının, genişleyen boruda yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan nanopartikül konsantrasyonu daha düşük K yerel kayıp katsayısı sergilemektedir. Genişleyen boru kesitinde ayrıca Reynolds sayısı arttıkça nano akışkanların K yerel kayıp katsayısının düşük bir eğilimle arttığı görülmektedir. Yrel kayıp katsayısındaki bu Reynolds sayısı ile azalması Reynolds sayısı arttıkça da azaldığı görülmektedir. Genişleyen boru kesiti yüksek Reynolds sayılarında hemen hemen sabit yerel kayıp katsayısı sergilemektedir.

6.3. TiO₂-Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 6.3. Daralan Boru İçin Ölçülen Değerler

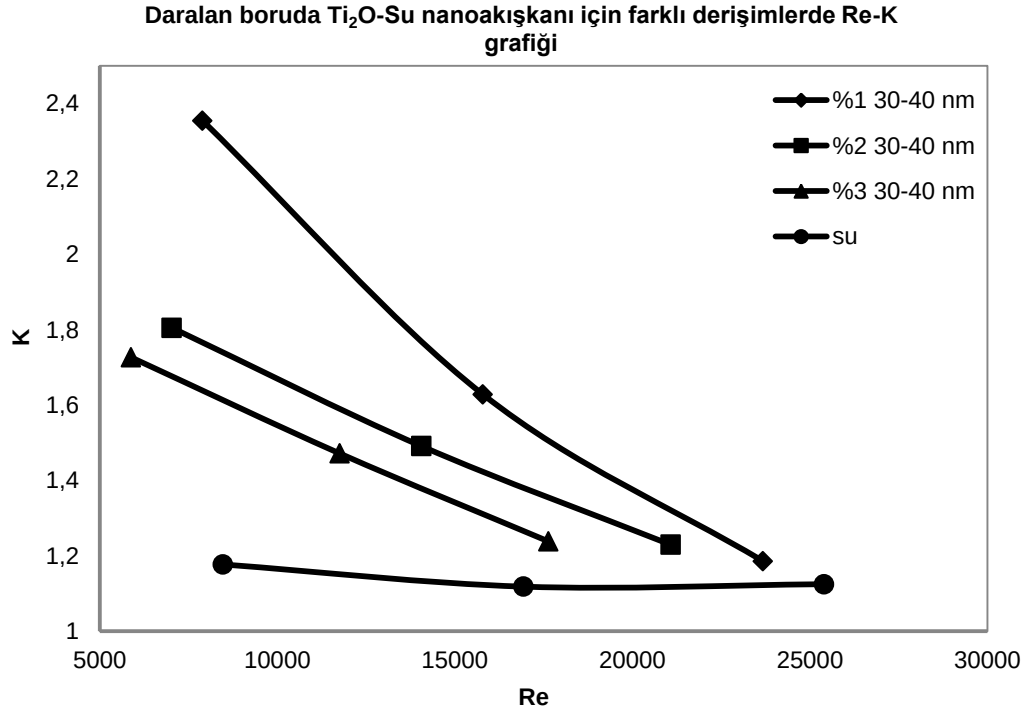
Deney No	Boru Daralma		Su Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	29,8	28,3	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	146,9160315	1,1772	2,4	0,151870493
2	56,2	50,5	227	1	998,41	1,004	16932,27092	558,2809197	1,11834	2,4	0,171575198
3	63,4	50,5	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1263,477871	1,12488	2,4	0,190989574
Deney No	Boru Daralma		%1 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	74,2	71,2	113,5	0,5	1004,5	1,07675	7894,125842	295,612578	2,3544	2,4	0,298475101
2	77,5	69,2	227	1	1004,5	1,07675	15788,25168	817,8614658	1,62846	2,4	0,245506194
3	84,6	71	340,5	1,5	1004,5	1,07675	23682,37752	1340,110354	1,18592	2,4	0,197862534
Deney No	Boru Daralma		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	46,4	44,1	113,5	0,5	1022,4	1,2095	7027,697396	230,6931372	1,80504	2,4	0,222275677
2	79,5	71,9	227	1	1022,4	1,2095	14055,39479	762,2903664	1,49112	2,4	0,218361066
3	83,6	69,5	340,5	1,5	1022,4	1,2095	21083,09219	1414,249232	1,22952	2,4	0,199260411
Deney No	Boru Daralma		%3 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	45,5	43,3	113,5	0,5	1043,8	1,4455	5880,318229	225,2642832	1,72656	2,4	0,203345109
2	74,9	67,4	227	1	1043,8	1,4455	11760,63646	767,94642	1,4715	2,4	0,206096122
3	79,2	65	340,5	1,5	1043,8	1,4455	17640,95469	1453,978555	1,23824	2,4	0,191927496

Daralan boruda TiO₂-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 6.5. Daralan boruda TiO₂-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 6.5’ de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının, daralan boruda basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan Reynolds sayısı ve konsantrasyon ile ΔP basınç farkının arttığı görülmektedir.



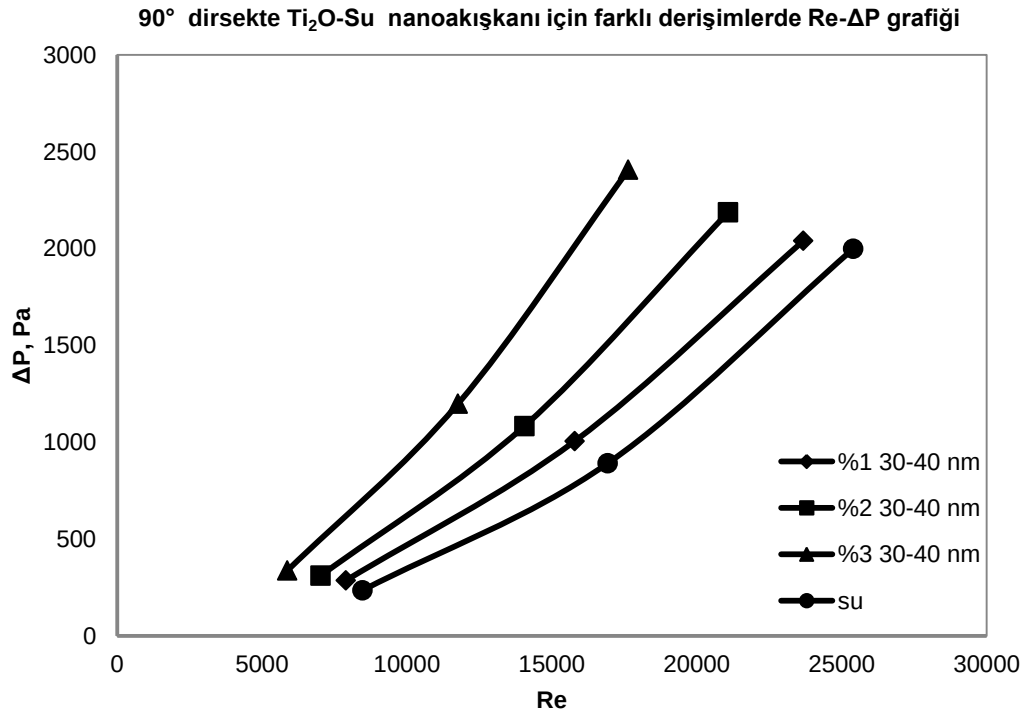
Şekil 6.6. Daralan boruda TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

Şekil 6.6’ da 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının, daralan boruda yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak yerel basınç katsayısının azaldığı, artan Reynolds sayısına bağlı olarak da nano akışkanların yerel basınç katsayısının azaldığı görülmektedir. Temel akışkan suyun yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişmediği görülürken, nano-akışkanların kayıp katsayısının artan Reynolds sayısı ile daha dik bir eğimle, yani etkin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Reynolds sayısının artmasıyla TiO_2 -Su nano-akışkanının kayıp katsayısının temel akışkan suyun kayıp katsayısına yaklaşmaktadır. Dolayısıyla, yerel basınç katsayısındaki bu düşüş Reynolds sayısının artmasıyla yavaşlamaktadır.

6.4. TiO₂-Su Nano-Akışkanların 90° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

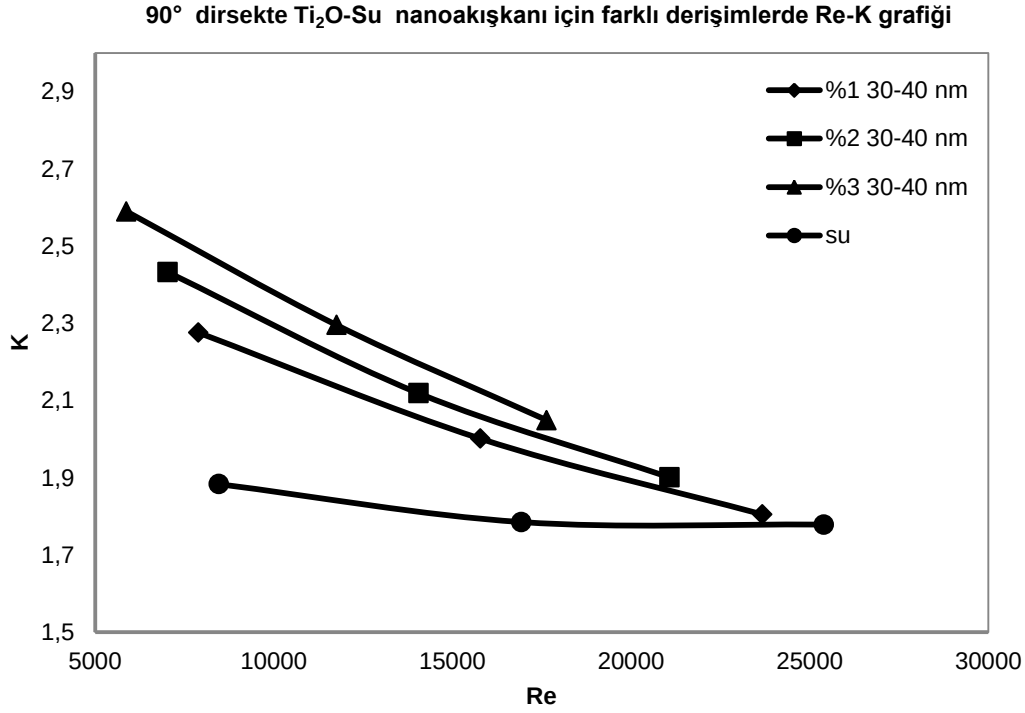
Çizelge 6.4. 90° Dirsek İçin Ölçülen Değerler

Deney No	90 ° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	41,8	39,4	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	235,0656504	1,88352	0,1	0,24299279
2	46,6	37,5	227	1	998,41	1,004	16932,27092	891,2905911	1,78542	0,1	0,273918298
3	49,1	28,7	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1998,058028	1,77888	0,1	0,302030024
Deney No	90 ° Dirsek		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	74,5	71,6	113,5	0,5	1004,5	1,07675	7894,125842	285,7588254	2,27592	0,1	0,288525931
2	79,4	69,2	227	1	1004,5	1,07675	15788,25168	1005,082765	2,00124	0,1	0,301706407
3	87,8	67,1	340,5	1,5	1004,5	1,07675	23682,37752	2039,726788	1,80504	0,1	0,301158415
Deney No	90 ° Dirsek		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	56,1	53	113,5	0,5	1022,4	1,2095	7027,697396	310,9342284	2,43288	0,1	0,299588956
2	62	51,2	227	1	1022,4	1,2095	14055,39479	1083,254731	2,11896	0,1	0,310302567
3	86	64,2	340,5	1,5	1022,4	1,2095	21083,09219	2186,569735	1,90096	0,1	0,30807638
Deney No	90 ° Dirsek		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	32	28,7	113,5	0,5	1043,8	1,4455	5880,318229	337,8964248	2,58984	0,1	0,305017663
2	75,6	63,9	227	1	1043,8	1,4455	11760,63646	1197,996415	2,29554	0,1	0,32150995
3	83,9	60,4	340,5	1,5	1043,8	1,4455	17640,95469	2406,232116	2,0492	0,1	0,31762649



Şekil 6.7. 90° Dirsekte TiO₂-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 6.7’ de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının 90° dirsekte basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının arttığı, artan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak basınç farkının da aynı oranla arttığı görülmektedir.



Şekil 6.8. 90° Dirsekte TiO_2 -Su nano-akışkanını için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

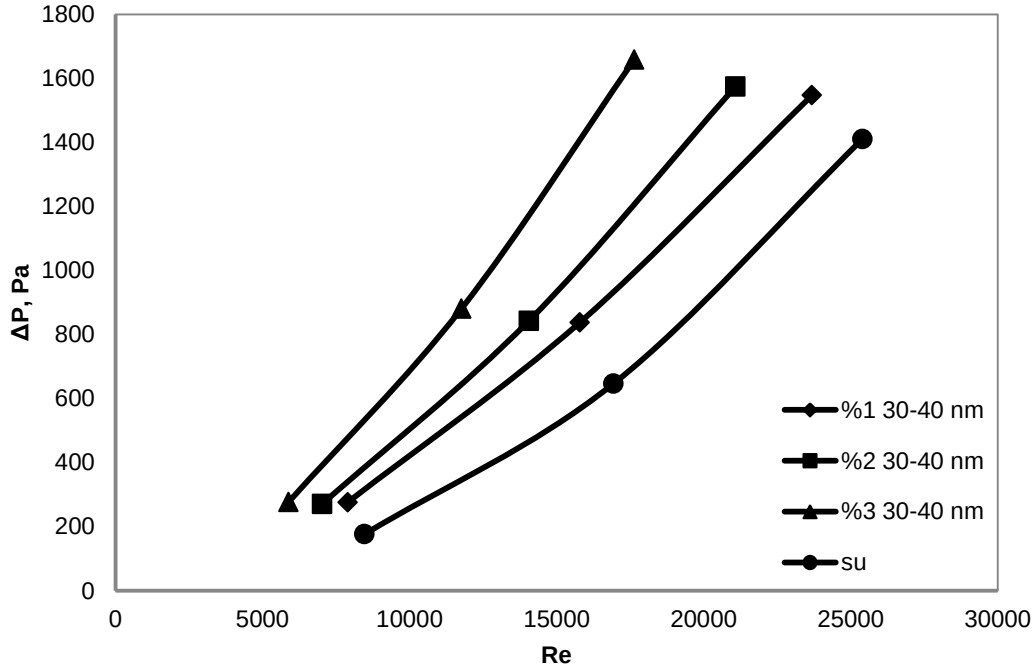
Şekil 6.8’ de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının 90° dirsekte K yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile K yerel kayıp katsayısının arttığı ve Reynolds sayısının artması ile kayıp katsayısının daha yavaş azalma gösterdiği nano akışkanların kayıp katsayısının ise daha dik bir eğim ile azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Reynolds sayısının artmasıyla TiO_2 -Su nano-akışkanının kayıp katsayısı temel akışkan suyun kayıp katsayısına yaklaşmaktadır.

6.5. TiO₂-Su Nano-Akışkanların 45° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 6.5. 45° Dirsek İçin Ölçülen Değerler

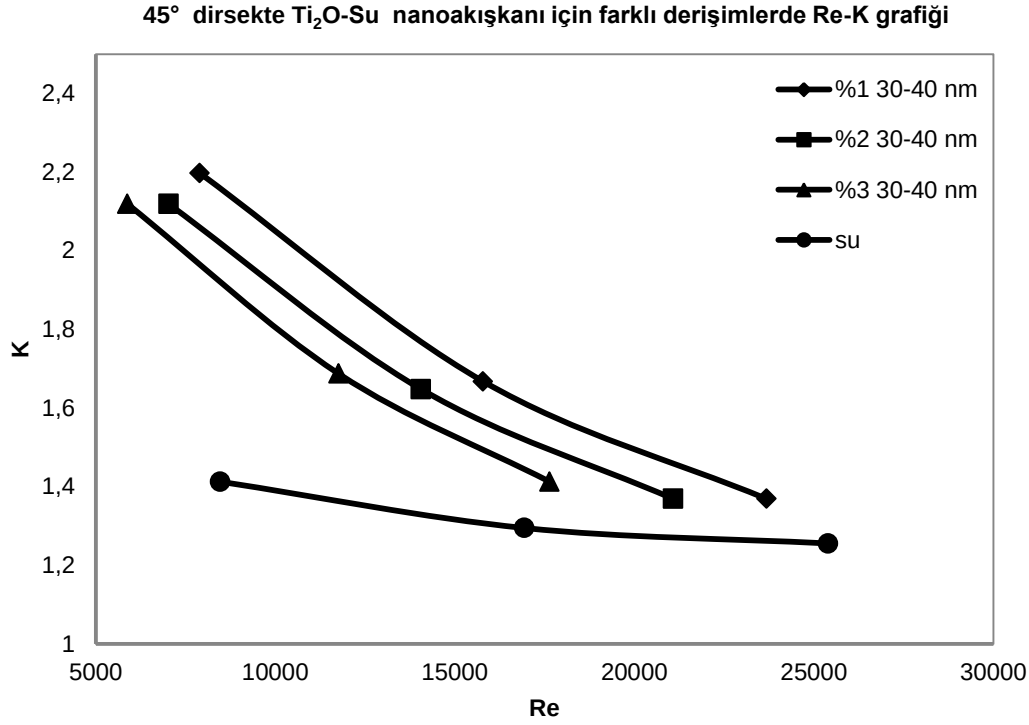
Deney No	45° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	29,1	27,3	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	176,2992378	1,41264	0,35	0,182244592
2	32,6	26	227	1	998,41	1,004	16932,27092	646,4305386	1,29492	0,35	0,198666019
3	63,9	49,5	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1410,393902	1,25568	0,35	0,213197664
Deney No	45° Dirsek		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	74,7	71,9	113,5	0,5	1004,46	1,07675	7894,125842	275,9050728	2,19744	0,35	0,278576761
2	78,5	70	227	1	1004,46	1,07675	15788,25168	837,568971	1,6677	0,35	0,251422006
3	85,9	70,2	340,5	1,5	1004,46	1,07675	23682,37752	1547,039158	1,36904	0,35	0,228414837
Deney No	45° Dirsek		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	75,5	72,8	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	270,8136828	2,11896	0,35	0,260932316
2	79,9	71,5	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	842,5314576	1,64808	0,35	0,241346441
3	80	64,3	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	1574,731415	1,36904	0,35	0,221871522
Deney No	45° Dirsek		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	43	40,3	113,5	0,5	1043,76	1,4455	5880,318229	276,4607112	2,11896	0,35	0,249559906
2	69,8	61,2	227	1	1043,76	1,4455	11760,63646	880,5785616	1,68732	0,35	0,236323553
3	79,6	63,4	340,5	1,5	1043,76	1,4455	17640,95469	1658,764267	1,41264	0,35	0,218959538

45° dirsekte Ti₂O-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 6.9. 45° Dirsekte TiO₂-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 6.9’ de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının 45° dirsekte basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının doğrusala yakın bir şekilde arttığı ve artan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak da ΔP basınç farkının arttığı görülmektedir.



Şekil 6.10. 45° Dirsekte TiO_2 -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 6.10’de 30-40 nm boyutundaki TiO_2 -Su nano-akışkanının 45° dirsekte yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile K yerel kayıp katsayısının arttığı ve artan Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısının belirli bir eğim ile azaldığı görülmektedir. Fakat saf suyun yerel kayıp katsayısının neredeyse bir değişim olmamış gibi çok küçük bir eğim ile azaldığı görülmüştür. Ayrıca, Reynolds sayısının artmasıyla TiO_2 -Su nano-akışkanının kayıp katsayısı temel akışkan suyun kayıp katsayısına yaklaşmaktadır. Dolayısıyla, 45° ve 90° dirseklerle artan Reynolds sayısı ile yerel kayıp katsayısı azalması yavaşlayarak temel akışkaninkine yaklaşmaktadır. Bu demek oluyor ki düşük Reynolds sayılarında temel akışkana kıyasla nano-akışkanlar bir hayli yüksek yerel basınç kayıp katsayısı sergilemektedirler.

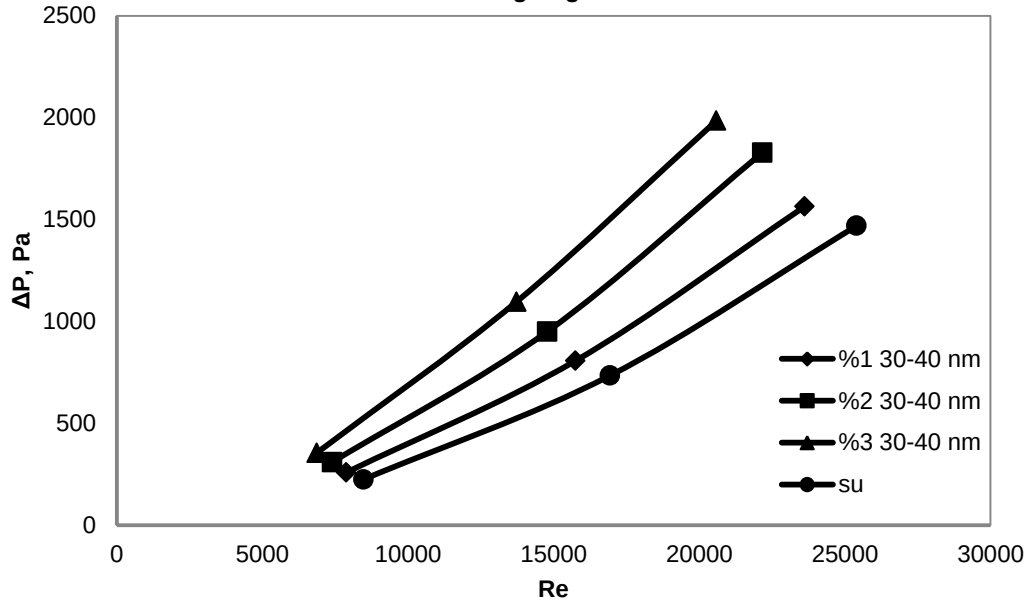
7. CuO-SU NANO-AKIŞKANLARIN İNCELENMESİ

7.1. CuO-Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 7.1. Düz Boru İçin Ölçülen Değerler

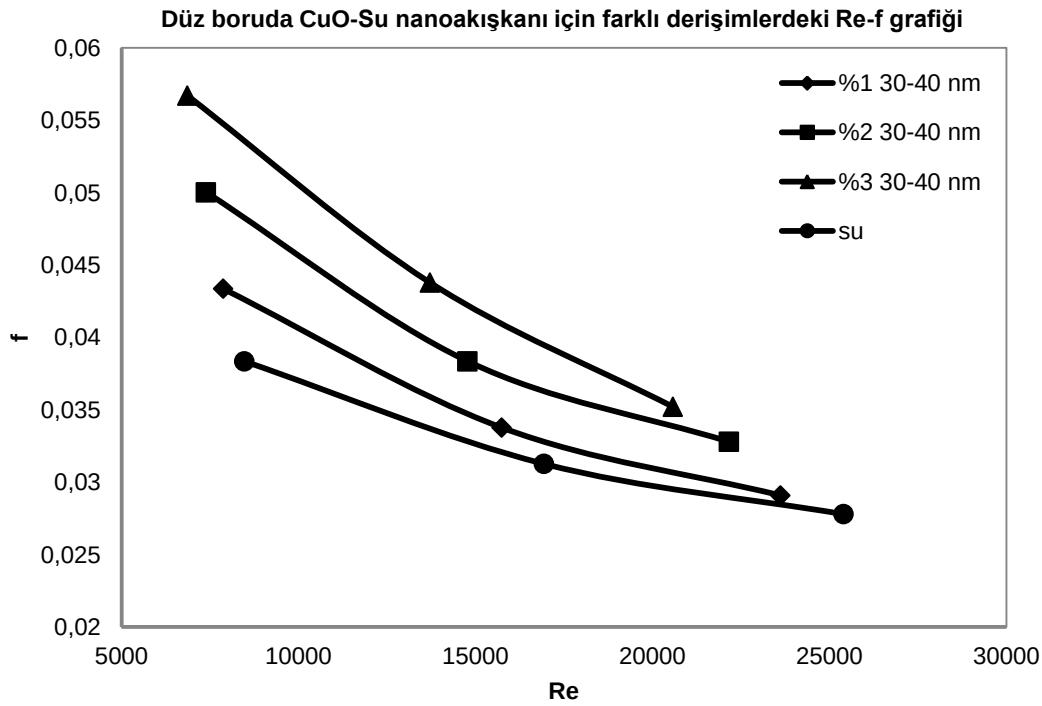
Deney No	Düz Boru		su	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							DeneySEL	Teorik
1	30,8	28,5	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	225,2712483	0,0383571	0,0329432
2	56,7	49,2	227	1	998,41	1,004	16932,27092	734,5801575	0,031269375	0,027701819
3	65	50	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1469,160315	0,027795	0,025031419
Deney No	Düz Boru		%1 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							DeneySEL	Teorik
1	56	53,4	113,5	0,5	1015,54	1,0797	7872,557192	259,0236324	0,0433602	0,033547343
2	61,4	53,3	227	1	1015,54	1,0797	15745,11438	806,9582394	0,033770925	0,02820984
3	69,5	53,8	340,5	1,5	1015,54	1,0797	23617,67158	1564,104242	0,0290921	0,025490468
Deney No	Düz Boru		%2 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							DeneySEL	Teorik
1	37	34	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	309,92733	0,050031	0,034084271
2	42	33,1	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	919,451079	0,037106325	0,028661341
3	48,1	31,4	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	1725,262137	0,0309451	0,025898445
Deney No	Düz Boru		%3 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2							DeneySEL	Teorik
1	56,7	53,3	113,5	0,5	1064,54	1,239	6860,371267	355,0666716	0,0567018	0,034721636
2	60,6	50,1	227	1	1064,54	1,239	13720,74253	1096,529427	0,043777125	0,029197299
3	62,9	43,9	340,5	1,5	1064,54	1,239	20581,1138	1984,196106	0,035207	0,026382738

Düz boruda CuO-Su nanoakışkanları için farklı derişimlerdeki Re- ΔP grafiğı



Şekil 7.1. Düz boruda CuO-Su nano-akışkanları için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 7.1’ de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının, farklı konsantrasyonlarda ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde hacim konsantrasyonlarının artmasının, basınç farklarında bir artışa neden olduğu görülmektedir. Nano-akışkanın konsantrasyonu arttıkça, konsantrasyonla orantılı olarak basınç farkının da neredeyse doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca, Reynolds sayısının artmasıyla da bir hayli basınç farkının arttığı görülmektedir.



Şekil 7.2. Düz boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-f grafiğı

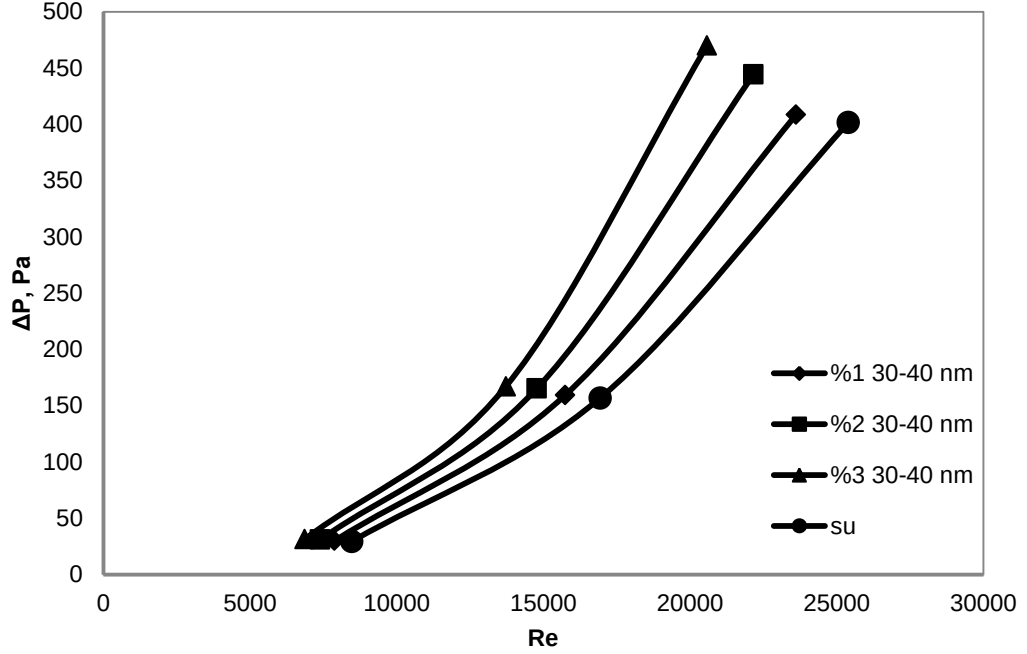
Şekil 7.2’ de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının, farklı konsantrasyonlarda düz borudaki sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile sürtünme faktörü değerlerinin azaldığı görülmektedir. Nano-akışkanlara kıyasla temel akışkan suyun, Reynolds sayısının artması ile sürtünme faktörünün daha yavaş azalma gösterdiği, nano akışkanların sürtünme faktörünün ise daha dik bir eğim ile azaldığı görülmektedir.

7.2. CuO-Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 7.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

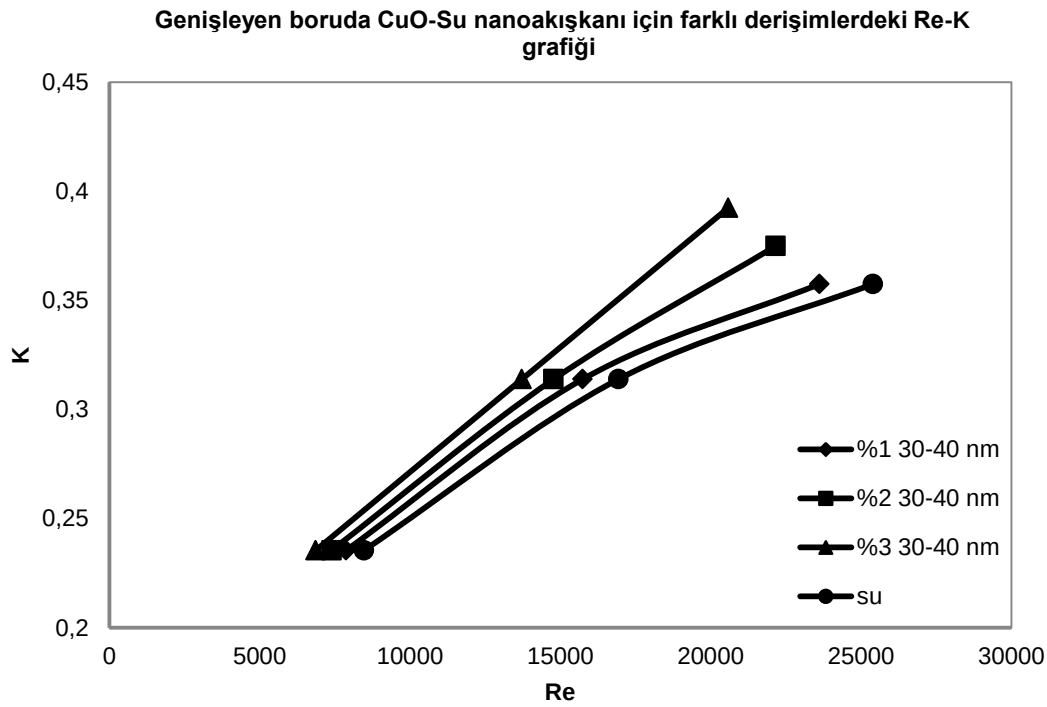
Deney No	Boru Genişleme		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	41,3	41	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	29,3832063	0,23544	2,4	0,030374099
2	33,3	31,7	227	1	998,41	1,004	16932,27092	156,7104336	0,31392	2,4	0,048161459
3	39,5	35,4	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	401,5704861	0,35752	2,4	0,060702113
Deney No	Boru Genişleme		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	70	69,7	113,5	0,5	1015,5	1,0797	7872,557192	29,8873422	0,23544	2,4	0,029827102
2	72,8	71,2	227	1	1015,5	1,0797	15745,11438	159,3991584	0,31392	2,4	0,047294135
3	77	72,9	340,5	1,5	1015,5	1,0797	23617,67158	408,4603434	0,35752	2,4	0,059608948
Deney No	Boru Genişleme		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	73	72,7	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	30,992733	0,23544	2,4	0,029357237
2	74,7	73,1	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	165,294576	0,31392	2,4	0,046549113
3	47	42,7	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	444,229173	0,37496	2,4	0,061531879
Deney No	Boru Genişleme		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	62,1	61,8	113,5	0,5	1064,5	1,239	6860,371267	31,3294122	0,23544	2,4	0,028818343
2	54	52,4	227	1	1064,5	1,239	13720,74253	167,0901984	0,31392	2,4	0,045694638
3	62,7	58,2	340,5	1,5	1064,5	1,239	20581,1138	469,941183	0,3924	2,4	0,063211787

Genişleyen boruda CuO-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 7.3. Genişleyen boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 7.3' de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının genişleyen boruda farklı hacimsel konsantrasyonlarda, basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının bir hayli arttığı görülmektedir. Artan hacim konsantrasyonu ile de orantılı olarak basınç farkının arttığı ve konsantrasyon oranı arttıkça da bu artışın daha dik bir eğim ile hızlı yükseldiği görülmektedir.



Şekil 7.4. Genişleyen boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

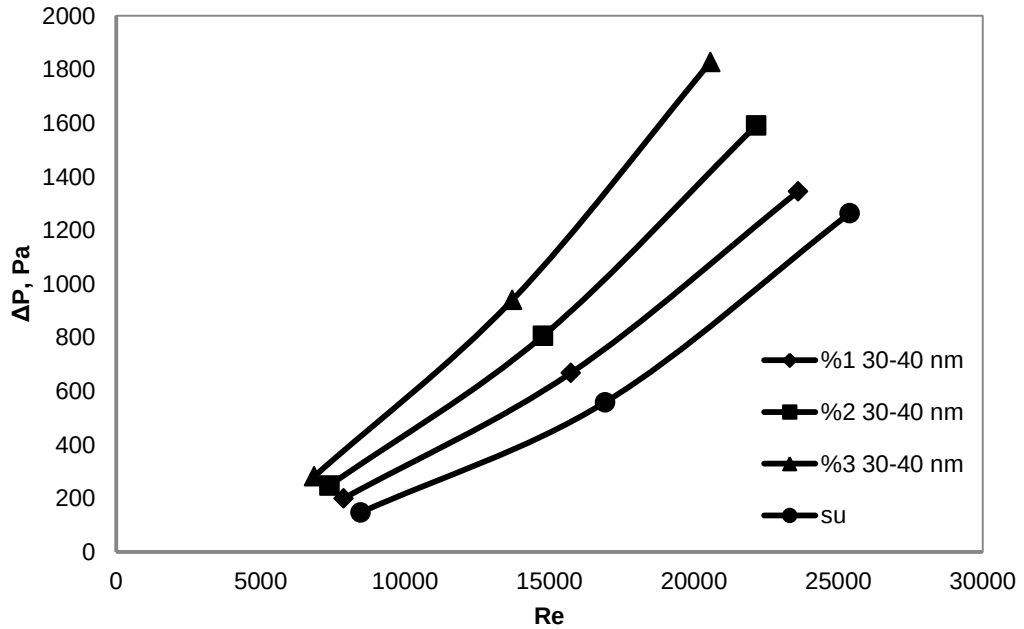
Şekil 7.4' te 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının, genişleyen boruda yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan konsantrasyona bağlı olarak K yerel basınç katsayısının arttığı görülmektedir. Artan Reynolds sayısı ile de nano-akışkanların yerel kayıp katsayısının arttığı görülmektedir.

7.3. CuO-Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 7.3. Daralan Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

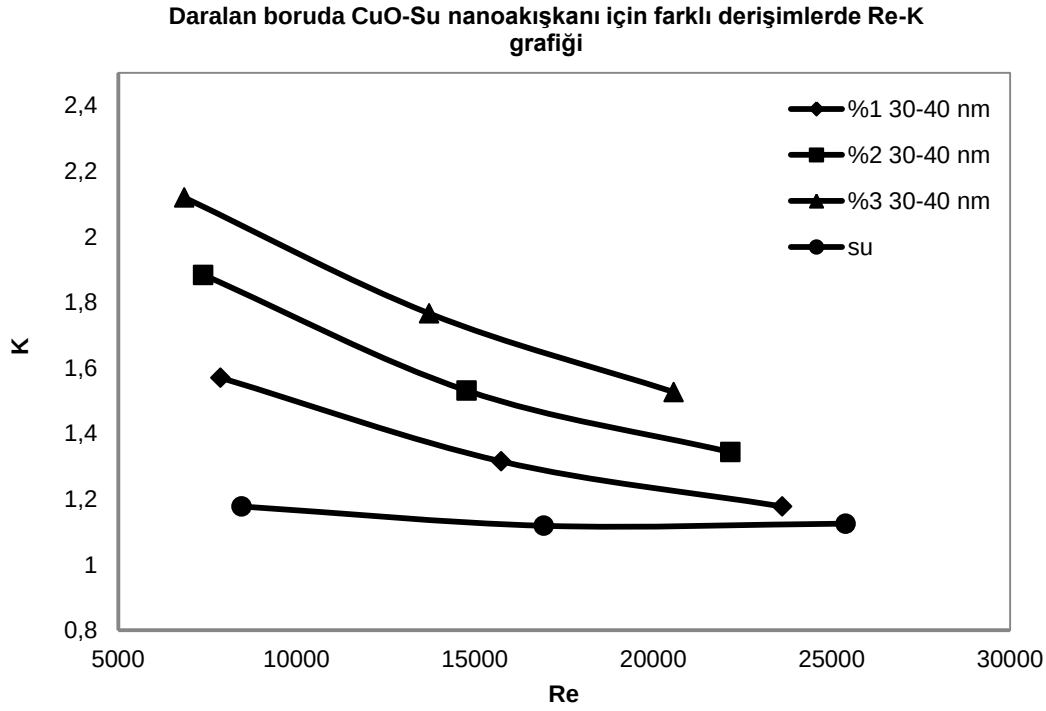
Deney No	Boru Daralma		Su Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	29,8	28,3	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	146,9160315	1,1772	2,4	0,151870493
2	56,2	50,5	227	1	998,41	1,004	16932,27092	558,2809197	1,11834	2,4	0,171575198
3	63,4	50,5	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1263,477871	1,12488	2,4	0,190989574
Deney No	Boru Daralma		%1 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	63,3	61,3	113,5	0,5	1015,54	1,0797	7872,557192	199,248948	1,5696	2,4	0,198847344
2	68,1	61,4	227	1	1015,54	1,0797	15745,11438	667,4839758	1,31454	2,4	0,198044191
3	75,4	61,9	340,5	1,5	1015,54	1,0797	23617,67158	1344,930399	1,1772	2,4	0,196273366
Deney No	Boru Daralma		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	75,7	73,3	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	247,941864	1,88352	2,4	0,234857892
2	80,8	73	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	805,811058	1,53036	2,4	0,226926925
3	86,8	71,4	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	1590,960294	1,34288	2,4	0,220369985
Deney No	Boru Daralma		%3 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	51	48,3	113,5	0,5	1064,54	1,239	6860,371267	281,9647098	2,11896	2,4	0,259365084
2	40,5	31,5	227	1	1064,54	1,239	13720,74253	939,882366	1,7658	2,4	0,257032336
3	46,5	29	340,5	1,5	1064,54	1,239	20581,1138	1827,549045	1,526	2,4	0,245823614

Daralan boruda CuO-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 7.5. Daralan boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 7.5’ de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının, daralan boruda basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının artan hacim konsantrasyonuna ve Reynolds sayısına bağlı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 7.6. Daralan boruda CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

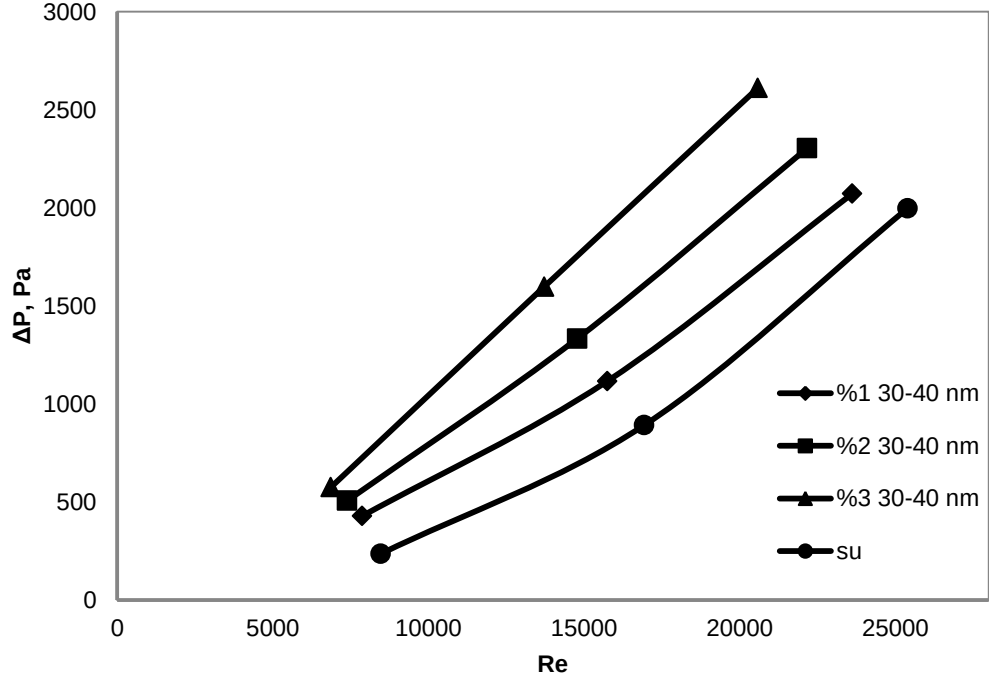
Şekil 7.6’ da 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının, daralan boruda yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Yerel kayıp katsayısı konsantrasyon ile artarken Reynolds sayısı ile azaldığı, temel akışkan suyun ise Reynolds sayısı ile hemen hemen değişmediği görülmektedir.

7.4. CuO-Su Nano-Akışkanların 90° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 7.4. 90° Dirsek İçin Ölçülen Değerler

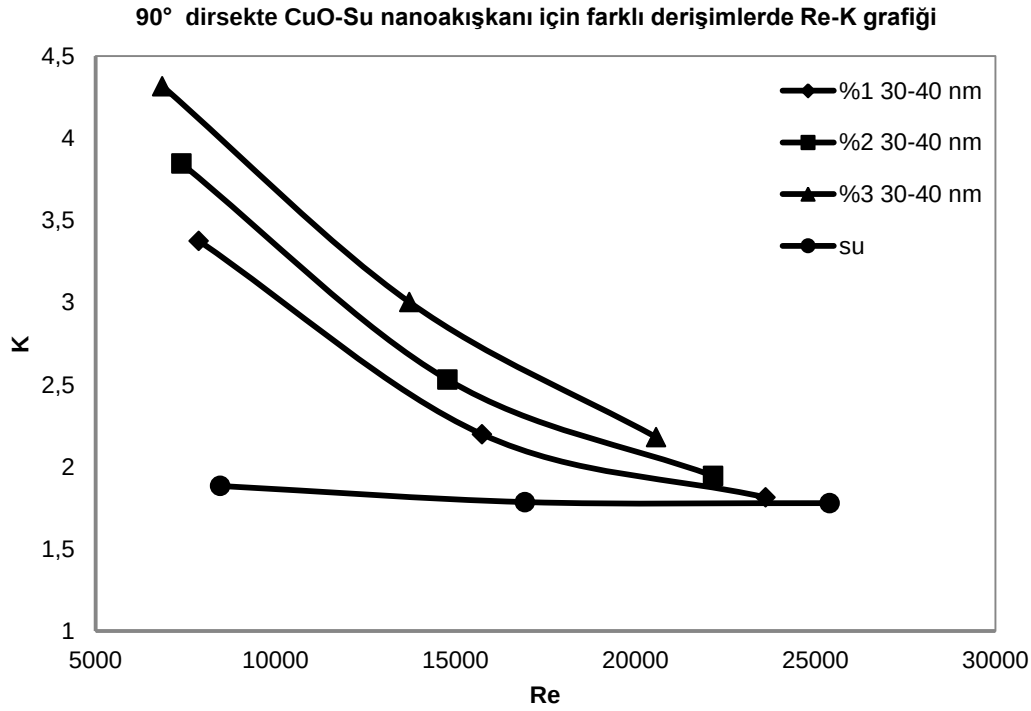
Deney No	90° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	41,8	39,4	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	235,0656504	1,88352	0,1	0,24299279
2	46,6	37,5	227	1	998,41	1,004	16932,27092	891,2905911	1,78542	0,1	0,273918298
3	49,1	28,7	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1998,058028	1,77888	0,1	0,302030024
Deney No	90° Dirsek		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	67	62,7	113,5	0,5	1015,54	1,0797	7872,557192	428,3852382	3,37464	0,1	0,427521789
2	72,9	61,7	227	1	1015,54	1,0797	15745,11438	1115,794109	2,19744	0,1	0,331058946
3	82,9	62,1	340,5	1,5	1015,54	1,0797	23617,67158	2072,189059	1,81376	0,1	0,302406371
Deney No	90° Dirsek		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	37,1	32,2	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	506,214639	3,84552	0,1	0,47950153
2	45,1	32,2	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	1332,687519	2,53098	0,1	0,375302222
3	56	33,7	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	2303,793153	1,94456	0,1	0,319107186
Deney No	90° Dirsek		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	57,5	52	113,5	0,5	1064,54	1,239	6860,371267	574,372557	4,3164	0,1	0,528336283
2	63,8	48,5	227	1	1064,54	1,239	13720,74253	1597,800022	3,00186	0,1	0,436954972
3	74	49	340,5	1,5	1064,54	1,239	20581,1138	2610,78435	2,18	0,1	0,351176592

90° dirsekte CuO-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 7.7. 90° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 7.7’ de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-aışkanının 90° dirsekte basınç farkının Reynolds sayısıyla değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının arttığı, artan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak basınç farkının da aynı oranla doğrusala yakın bir şekilde arttığı görölmektedir.



Şekil 7.8. 90° Dirsekte CuO-Su nano-aışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği

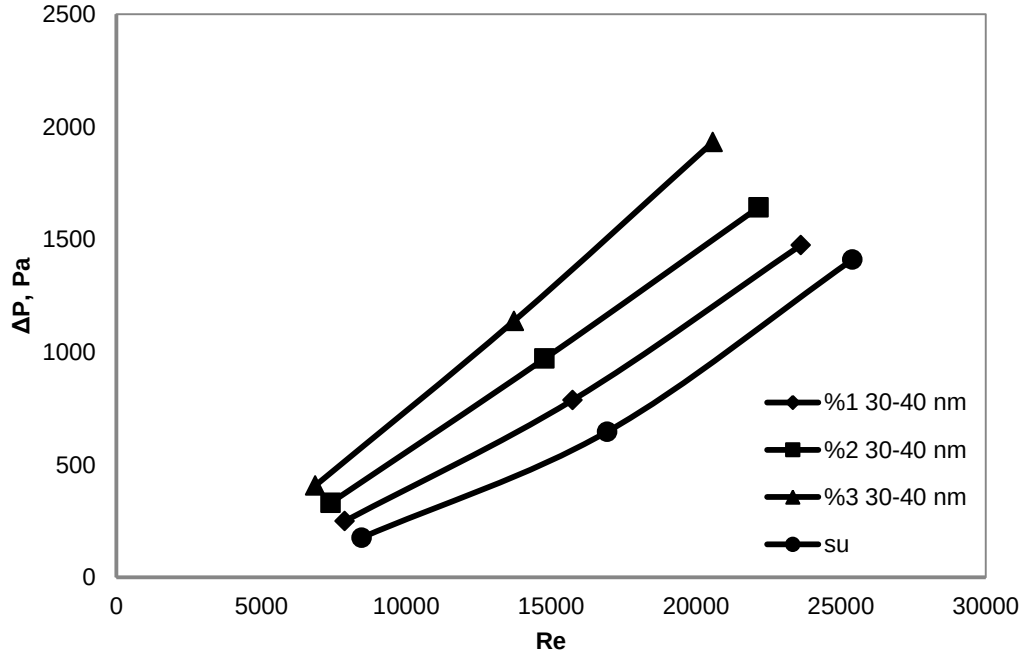
Şekil 7.8’ de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-aışkanının 90° dirsekte K yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile K yerel kayıp katsayısının arttığı ve artan Reynolds sayısı ile K yerel basınç katsayısının azaldığı görölmektedir. Temel akışkan suyun K yerel kayıp katsayısının ise neredeyse hiç değişmediği gözlenmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla nano-aışkanların yerel kayıp katsayısının azalmasının yavaşlayarak temel akışkanınkine yaklaştığı görölmektedir. Dolayısıyla, yüksek Reynolds sayılarında nano-aışkanlar temel akışkanın yerel kayıp katsayılarını sergilerlerken düşük Reynolds sayılarında temel akışkana kıyasla oldukça yüksek yerel kayıp katsayısı sergiledikleri görölmektedir.

7.5. CuO-Su Nano-Akışkanların 45° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 7.5. 45° Dirsek İçin Ölçülen Değerler

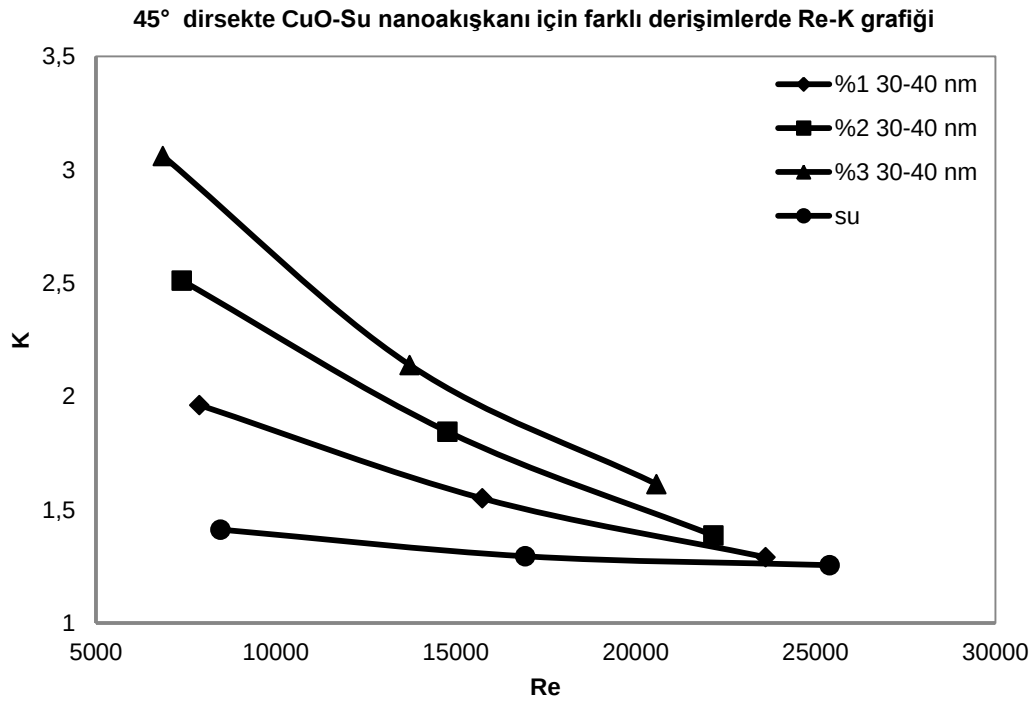
Deneysel No	45° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	29,1	27,3	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	176,2992378	1,41264	0,35	0,182244592
2	32,6	26	227	1	998,41	1,004	16932,27092	646,4305386	1,29492	0,35	0,198666019
3	63,9	49,5	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1410,393902	1,25568	0,35	0,213197664
Deneysel No	45° Dirsek		%1 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	83,5	81	113,5	0,5	1015,54	1,0797	7872,557192	249,061185	1,962	0,35	0,248559179
2	88	80,1	227	1	1015,54	1,0797	15745,11438	787,0333446	1,54998	0,35	0,233514792
3	94,3	79,5	340,5	1,5	1015,54	1,0797	23617,67158	1474,442215	1,29056	0,35	0,215173764
Deneysel No	45° Dirsek		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	76,7	73,5	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	330,589152	2,51136	0,35	0,313143857
2	82	72,6	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	971,105634	1,84428	0,35	0,273476038
3	88,4	72,5	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	1642,614849	1,38648	0,35	0,227524855
Deneysel No	45° Dirsek		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	36,7	32,8	113,5	0,5	1064,54	1,239	6860,371267	407,2823586	3,06072	0,35	0,374638455
2	40,5	29,6	227	1	1064,54	1,239	13720,74253	1138,301977	2,13858	0,35	0,311294718
3	55,8	37,3	340,5	1,5	1064,54	1,239	20581,1138	1931,980419	1,6132	0,35	0,259870678

45° dirsekte CuO-Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 7.9. 45° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 7.9’ de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının 45° dirsekte basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile ΔP basınç farkının doğrusala yakın bir şekilde arttığı ve artan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak da ΔP basınç farkının belli bir oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 7.10. 45° Dirsekte CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

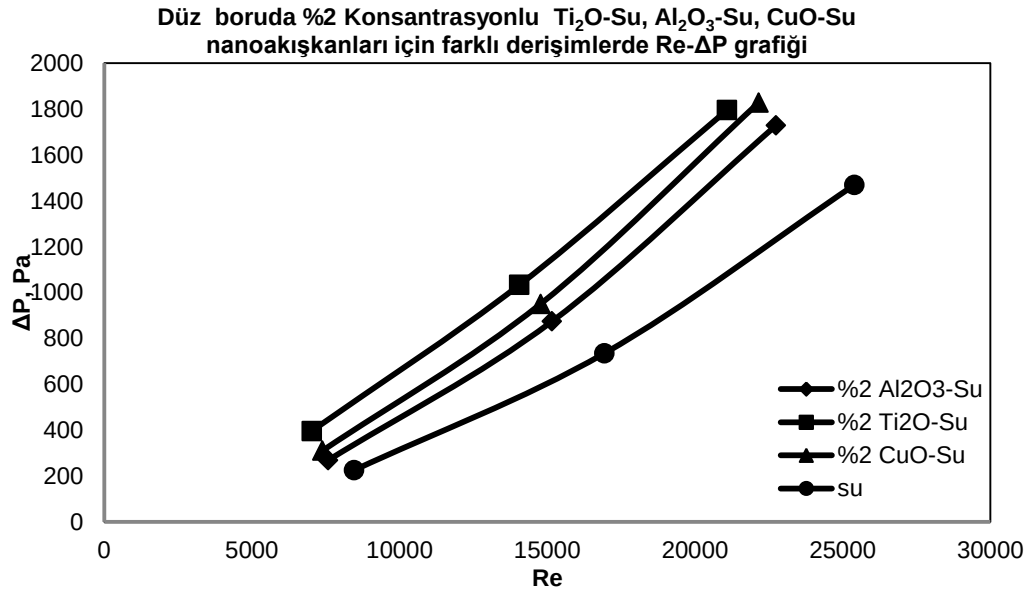
Şekil 7.10’de 30-40 nm boyutundaki CuO-Su nano-akışkanının 45° dirsekte yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Artan hacim konsantrasyonu ile K yerel kayıp katsayısının arttığı ve artan Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısının belirli bir eğim ile azaldığı görülmektedir. Temel akışkan suyun K yerel kayıp katsayısının ise neredeyse hiç değişmediği gözlenmektedir. 90° dirsekte olduğu gibi Reynolds sayısının artmasıyla nano-akışkanların yerel kayıp katsayısının azalmasının yavaşlayarak temel akışkanınkine yaklaştığı görülmektedir. Dolayısıyla, yüksek Reynolds sayılarında nano-akışkanlar temel akışkanın yerel kayıp katsayılarını sergilerlerken düşük Reynolds sayılarında temel akışkana kıyasla oldukça yüksek yerel kayıp katsayısı sergiledikleri görülmektedir.

8. %2 KONSANTRASYONLU Al_2O_3 -SU, TiO_2 -SU VE CuO -SU NANO-AKIŞKANLARIN BİRBİRİ İLE KIYASLANMASI

8.1. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su Nano-Akışkanların Düz Boruda Sürtünmeden Kaynaklanan Basınç Kayıplarının Kıyaslanması

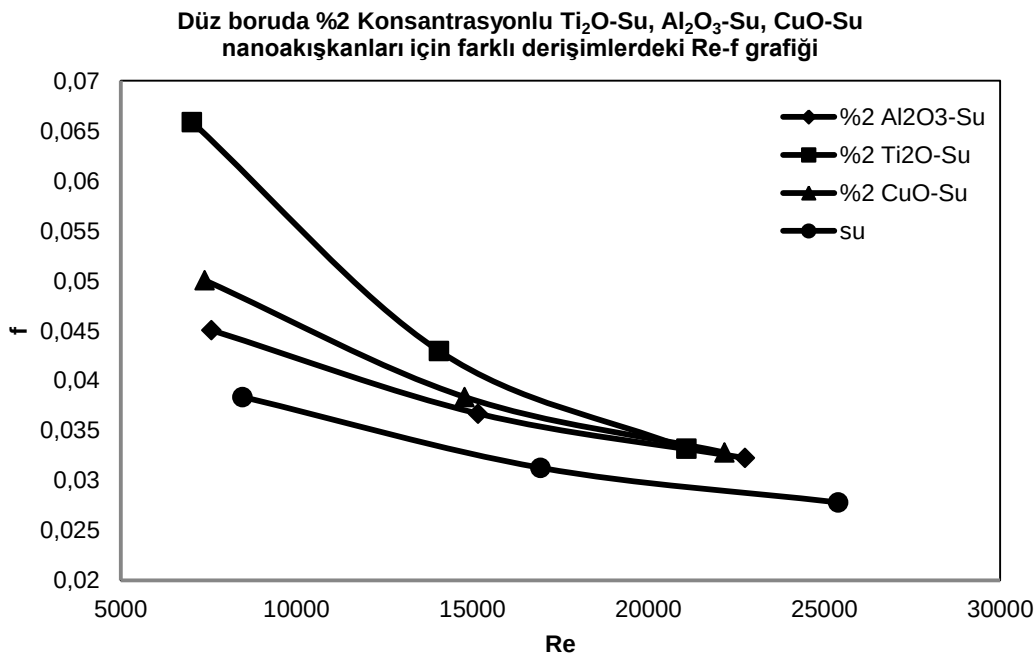
Çizelge 8.1. Düz Boru İçin Ölçülen Değerler

Deney No	Düz Boru		su	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik
1	30,8	28,5	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	225,2712483	0,0383571	0,0329432
2	56,7	49,2	227	1	998,41	1,004	16932,27092	734,5801575	0,031269375	0,027701819
3	65	50	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1469,160315	0,027795	0,025031419
Deney No	Düz Boru Al_2O_3		%2 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	v , m/s (T=23,5 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik
1	39,2	36,5	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	268,3027152	0,0450279	0,033863649
2	41,3	32,5	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	874,4681088	0,0366894	0,028475821
3	52,4	35	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	1729,061942	0,0322422	0,025730809
Deney No	Düz Boru Ti_2O		%2 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik
1	53,1	49,15	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	396,1903878	0,06587415	0,034513088
2	60	49,7	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	1033,104049	0,042943275	0,029021932
3	79,5	61,6	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	1795,394416	0,0331687	0,026224276
Deney No	Düz Boru CuO		%2 30-40 nm	Vort , m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K	
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneyssel	Teorik
1	37	34	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	309,92733	0,050031	0,034084271
2	42	32,8	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	950,443812	0,0383571	0,028661341
3	48,1	30,4	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	1828,571247	0,0327981	0,025898445



Şekil 8.1. Düz boruda %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nanoakışkanları için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 8.1’ de 30-40 nm boyutlarındaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının, düz ve yatay boruda ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde nano-akışkanların basınç kayıplarının temel akışkan sudan daha yüksek olduğu görölmekle beraber basınç kayıplarının artan Reynolds sayısına bağlı olarak hemen hemen doğrusal olarak arttığı ve en yüksek basınç kaybının TiO_2 -Su, en düşük kaybın ise Al_2O_3 -Su nano-akışkanında meydana geldiği görölmektedir.



Şekil 8.2. Düz boruda CuO -Su nano-akışkanları için farklı konsantrasyonlarda Re-f grafiği

Şekil 8.2’ de ise 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının, düz borudaki sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi basınç kaybı değişimine benzer sonuçlar sergilemiştir, en yüksek sürtünme faktörü değerlerini TiO_2 -Su nanoakışkanı verirken en düşük değerleri basınç kaybı değerlerine benzer olarak Al_2O_3 -Su nano-akışkanının verdiği görölmüştür, farklı olarak sürtünme faktörü artan Reynolds sayısı ile azalmaktadır. Bu azalma düşük Reynolds sayılarında bir hayli yüksek olmakla beraber yaklaşık 20000 Reynolds sayılarından itibaren azalmaktadır ve her üç nanoakışkanının

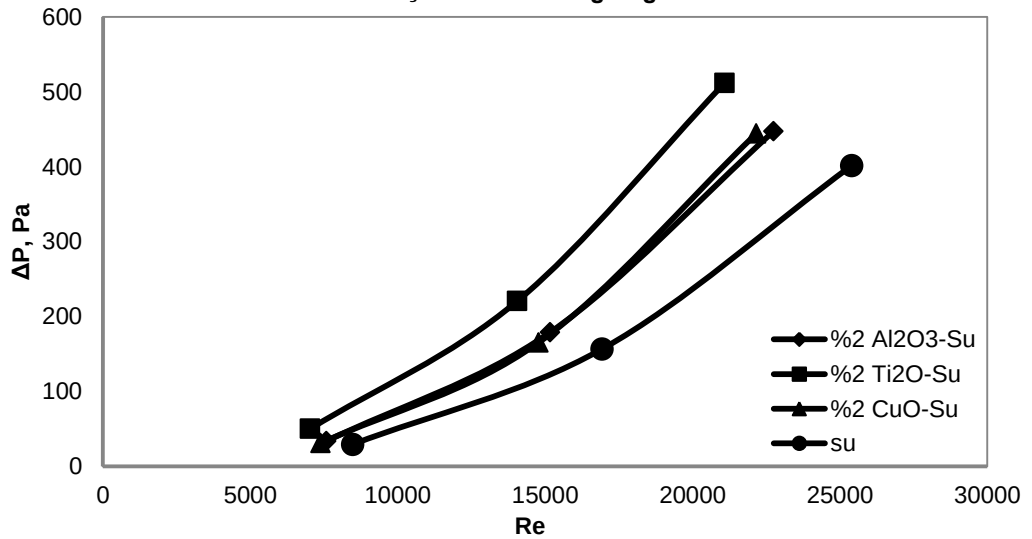
sürtünme faktörü değerleri yaklaşık 20000 Reynolds sayısından itibaren hemen hemen aynı değer ve eğilimi sergilediği görülmektedir. Bunlara ilaveten, TiO_2 -Su nano-akışkanının sürtünme faktörünün düşük Reynolds sayılarında diğerlerine kıyasla daha da yüksek sürtünme faktörü değeri verdiği, ayrıca daha dik bir eğri ile artan Reynolds sayısı ile azaldığı görülmektedir.

8.2. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su Nano-Akışkanların Genişleyen Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 8.2. Genişleyen Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

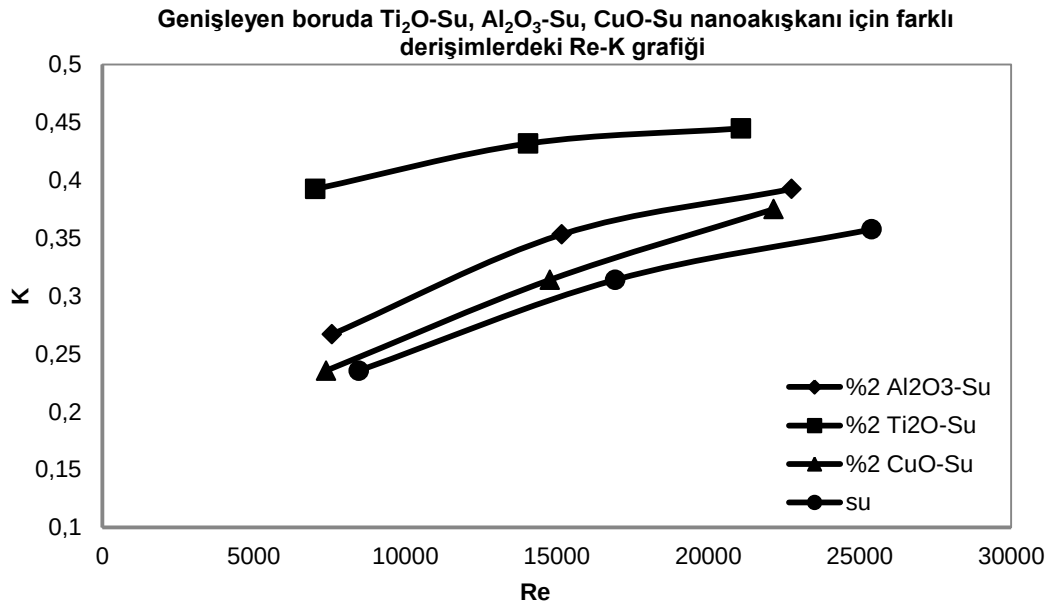
Deney No	Boru Genişleme		Su Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	41,3	41	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	29,3832063	0,23544	2,4	0,030374099
2	33,3	31,7	227	1	998,41	1,004	16932,27092	156,7104336	0,31392	2,4	0,048161459
3	39,5	35,4	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	401,5704861	0,35752	2,4	0,060702113
Deney No	Boru Genişleme Al_2O_3		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , m ² /s (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	52,1	51,76	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	33,78626784	0,266832	2,4	0,033712313
2	51,8	50	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	178,8684768	0,35316	2,4	0,053061516
3	57,5	53	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	447,171192	0,3924	2,4	0,065246911
Deney No	Boru Genişleme		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	54	53,5	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	50,150682	0,3924	2,4	0,048320799
2	57,6	55,4	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	220,6630008	0,43164	2,4	0,063209782
3	77,5	72,4	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	511,5369564	0,44472	2,4	0,072072915
Deney No	Boru Genişleme CuO		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	73	72,7	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	30,992733	0,23544	2,4	0,028818343
2	74,7	73,1	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	165,294576	0,31392	2,4	0,045694638
3	47	42,7	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	444,229173	0,37496	2,4	0,060402374

Genişleyen boruda Ti_2O_3 -Su, Al_2O_3 -Su, CuO -Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 8.3. Genişleyen boruda %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 8.3' de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının genişleyen boruda, ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde beklenildiği gibi genişleyen kesitte de nanoakışkan basınç kayıplarının temel akışkan sudan daha yüksek olduğu, ayrıca artan Reynolds sayısına bağlı olarak basınç kayıplarının da arttığı görülmüştür. Genişleyen kesitte de düz borudaki basınç kaybı değerlerinde olduğu gibi en yüksek kaybı TiO_2 -Su nano-akışkanının verdiği ve Reynolds sayısı ile doğrusal olarak arttığı görülmektedir. Farklı olarak, Al_2O_3 -Su ve CuO -Su nano akışkanları birilerine çok yakın değerler vermekle beraber benzer eğilim göstermektedirler.



Şekil 8.4. Genişleyen boruda %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

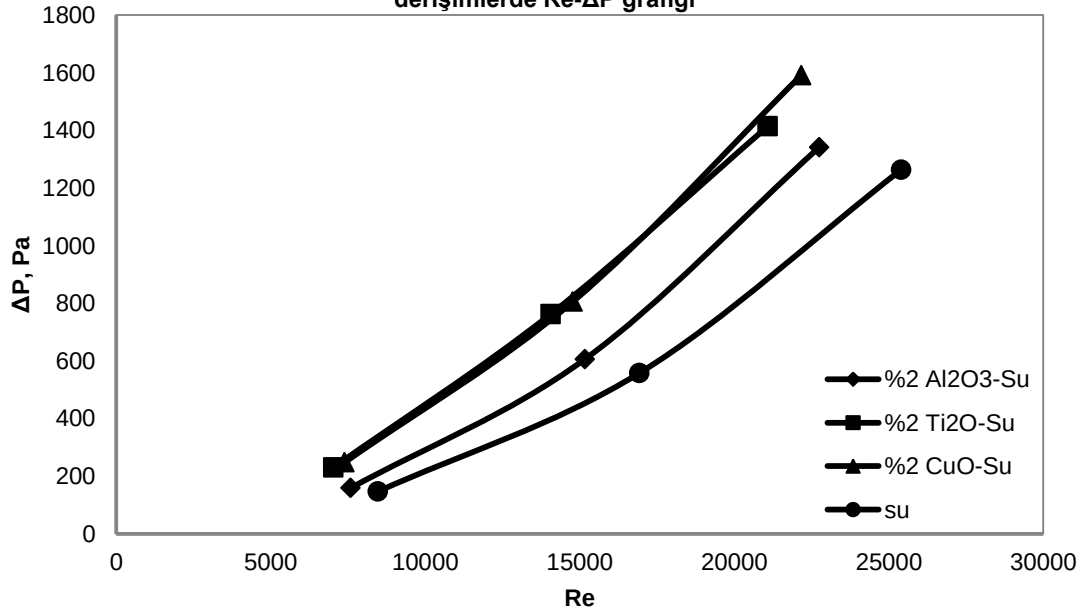
Şekil 8.4' de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının, genişleyen borudaki basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile her üç nano-akışkan için yerel basınç kayıp katsayılarının doğrusala yakın arttığı görülmüştür. Ayrıca, nanoakışkanların kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi temel akışkan suyunkine benzer bir eğilim göstermektedir. Bunlara ilaveten en yüksek basınç kayıp katsayısını yine benzer olarak TiO_2 -Su nanoakışkanı verirken, farklı olarak en düşük katsayıyı CuO -Su nanoakışkanı vermektedir.

8.3. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su Nano-Akışkanların Daralan Boruda Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 8.3. Daralan Boruda Ölçülen ve Hesaplanan Değerler

Deney No	Boru Daralma		Su Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	29,8	28,3	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	146,9160315	1,1772	2,4	0,151870493
2	56,2	50,5	227	1	998,41	1,004	16932,27092	558,2809197	1,11834	2,4	0,171575198
3	63,4	50,5	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1263,477871	1,12488	2,4	0,190989574
Deney No	Boru Daralma Al_2O_3		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	ν , m ² /s (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	40,2	38,6	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	158,9942016	1,25568	2,4	0,158646181
2	23,1	17	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	606,1653936	1,19682	2,4	0,179819581
3	51,5	38	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	1341,513576	1,1772	2,4	0,195740733
Deney No	Boru Daralma		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	46,4	44,1	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	230,6931372	1,80504	2,4	0,222275677
2	79,5	71,9	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	762,2903664	1,49112	2,4	0,218361066
3	83,6	69,5	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	1414,249232	1,22952	2,4	0,199260411
Deney No	Boru Daralma CuO		%2 30-40 nm Debi, ml/s	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneyssel	Teorik	
1	75,7	73,3	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	247,941864	1,88352	2,4	0,230546741
2	80,8	73	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	805,811058	1,53036	2,4	0,222761358
3	86,8	71,4	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	1590,960294	1,34288	2,4	0,21632478

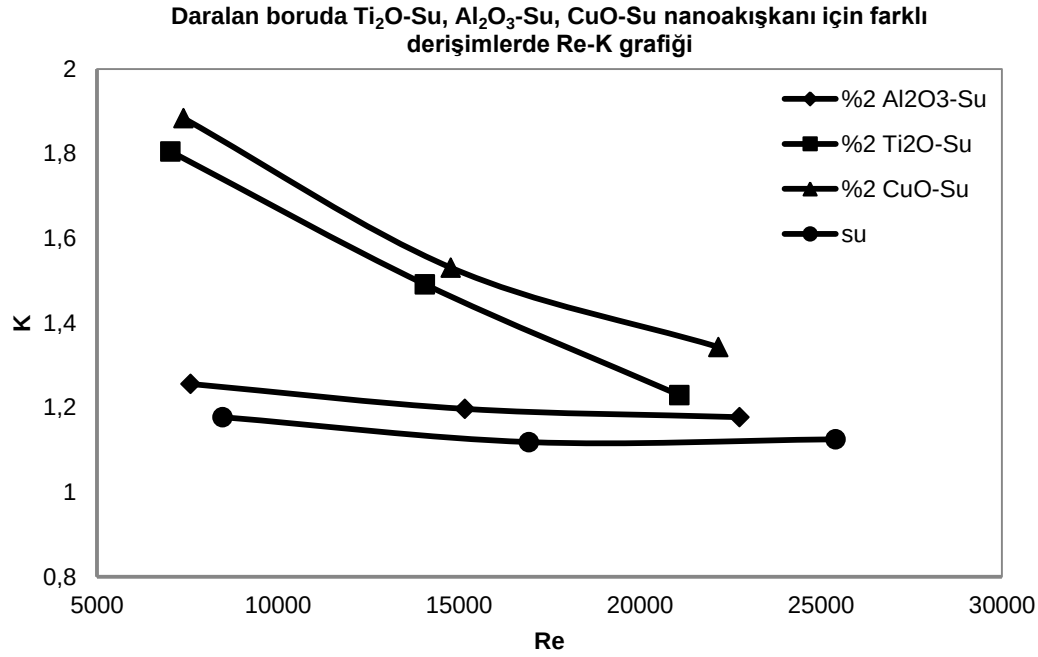
Daralan boruda Ti_2O -Su, Al_2O_3 -Su, CuO -Sunanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 8.5. Daralan boruda %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 8.5' de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının daralan boruda, ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısına bağlı olarak

basınç kayıplarının doğrusala yakın bir şekilde arttığı görülmüş ve CuO-Su ve TiO₂-Su nano-akışkanlarının birbirine yakın değerler ve benzer eğilimle Al₂O₃-Su nano-akışkanından daha yüksek basınç farkı sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 8.6. Daralan boruda %2 Konsantrasyonlu Al₂O₃-Su, TiO₂-Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

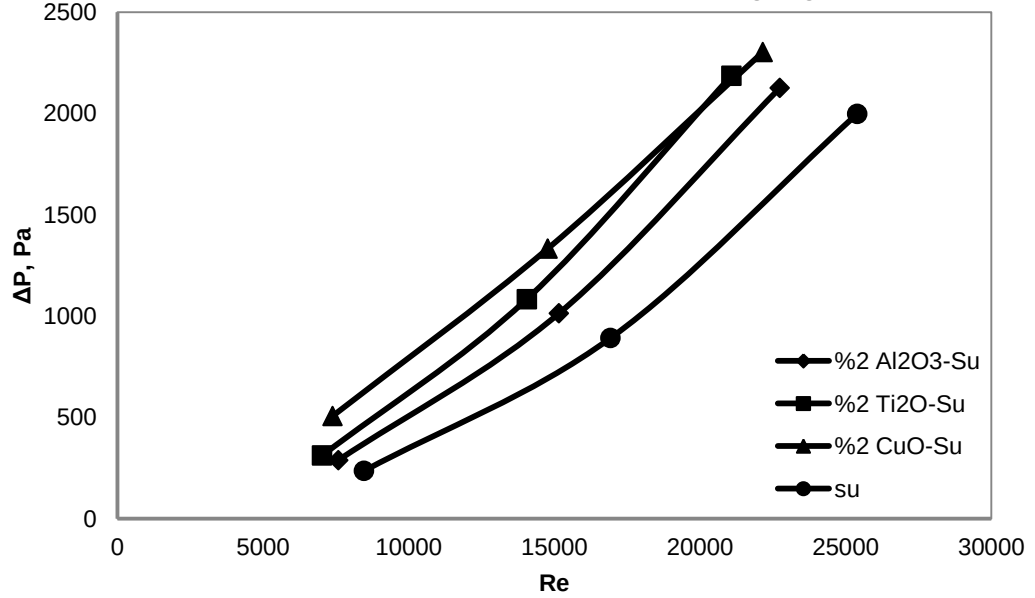
Şekil 8.6’ de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al₂O₃-Su, TiO₂-Su ve CuO-Su nano-akışkanlarının, daralan borudaki yerel basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile TiO₂-Su ve CuO-Su nano-akışkanları için yerel basınç kayıp katsayılarının daha dik bir eğim ile azalırken, Al₂O₃-Su nano-akışkanı ve temel akışkan su için ise çok küçük bir eğim ile azaldığı görülmüştür. Temel akışkan su ve Al₂O₃-Su nano akışkanının yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile pek de değişmediği, bunun yanı sıra en yüksek yerel basınç kayıp katsayısını CuO-Su nano-akışkanı vermekle beraber, buna yakın değerlerde ve eğilimle TiO₂-Su nano-akışkanı temel akışkan su ve Al₂O₃-Su nano-akışkanına kıyasla bir hayli yüksek yerel basınç kayıp katsayısı sergilediği görülmektedir.

8.4. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su Nano-Akışkanların 90° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 8.4. 90° Dirsek İçin Ölçülen Değerler

Deney No	90 ° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	41,8	39,4	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	235,0656504	1,88352	0,1	0,24299279
2	46,6	37,5	227	1	998,41	1,004	16932,27092	891,2905911	1,78542	0,1	0,273918298
3	49,1	28,7	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1998,058028	1,77888	0,1	0,302030024
Deney No	90 ° Dirsek Al_2O_3		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	v, m ² /s (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	52,5	49,6	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	288,1769904	2,27592	0,1	0,287546202
2	59,2	49	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	1013,588035	2,00124	0,1	0,300681922
3	66,4	45	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	2126,547446	1,86608	0,1	0,310285311
Deney No	90 ° Dirsek Ti_2O		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	56,1	53	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	310,9342284	2,43288	0,1	0,299588956
2	62	51,2	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	1083,254731	2,11896	0,1	0,310302567
3	86	64,2	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	2186,569735	1,90096	0,1	0,30807638
Deney No	90 ° Dirsek CuO		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	v, cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2							Deneysel	Teorik	
1	37,1	32,2	113,5	0,5	1053,1	1,1505	7388,092134	506,214639	3,84552	0,1	0,470699597
2	45,1	32,2	227	1	1053,1	1,1505	14776,18427	1332,687519	2,53098	0,1	0,368413015
3	56	33,7	340,5	1,5	1053,1	1,1505	22164,2764	2303,793153	1,94456	0,1	0,31324952

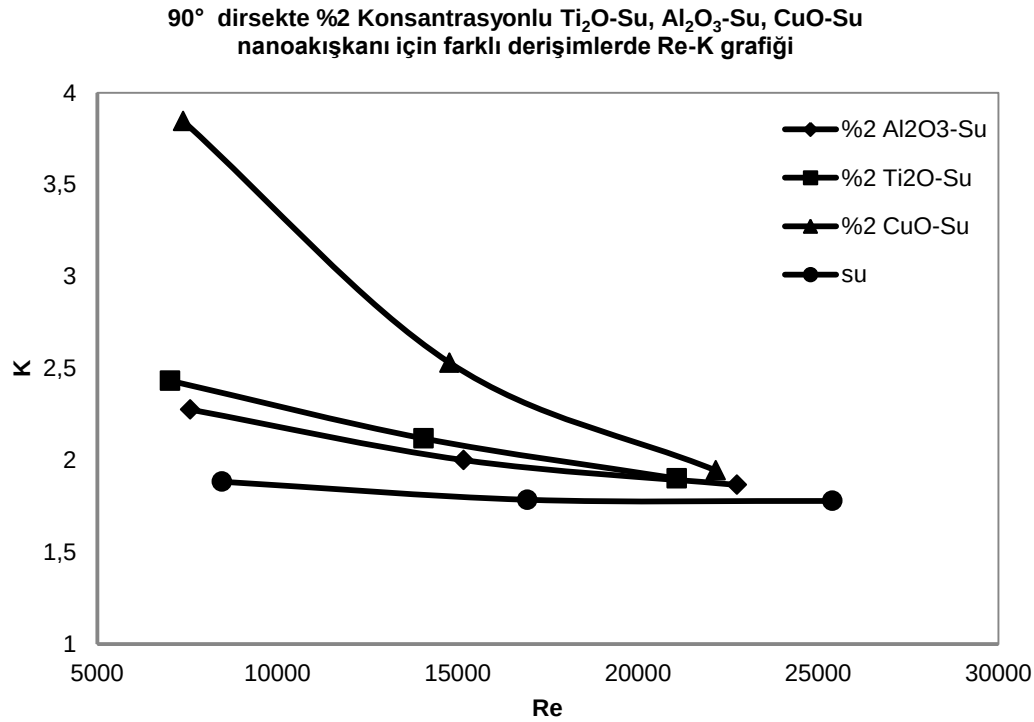
90° dirsekte %2 Konsantrasyonlu Ti_2O -Su, Al_2O_3 -Su, CuO -Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 8.7. 90° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nanoakışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 8.7' de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının 90° dirsekteki, ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile

değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısına bağlı olarak basınç kayıplarının doğrusala yakın bir şekilde arttığı görülmüştür. En yüksek basınç farkını CuO-Su nano-akışkanı sergilerken sırasıyla TiO₂-Su ve Al₂O₃-Su nano-akışkanlarının takip ettiği görülmektedir.



şekil 8.8. 90° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al₂O₃-Su, TiO₂-Su ve CuO-Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiği

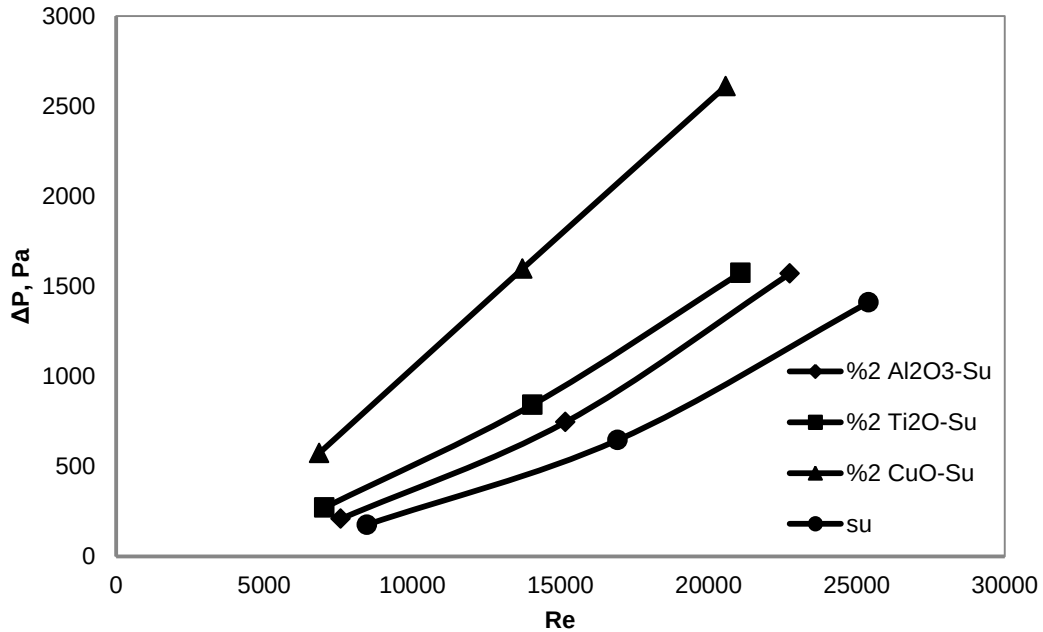
şekil 8.8’ de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al₂O₃-Su, TiO₂-Su ve CuO-Su nano-akışkanlarının, 90° dirsekteki yerel basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısıyla temel akışkan suyun yerel kayıp katsayısının hemen hemen değişmediği görölürken nano-akışkanlar için azaldığı görülmektedir. CuO-Su nano-akışkanının diğer nano-akışkanlara kıyasla daha dik bir eğim ile yerel kayıp katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, Reynolds sayısı arttıķça nano-akışkanların yerel kayıp katsayısının azalmasının yavaşlayarak temel akışkan suyunkine yaklaştığı görülmektedir.

8.5. %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su Nano-Akışkanların 45° Dirsekte Yerel Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Çizelge 8.5. 45° Dirsek İçin Ölçülen Değerler

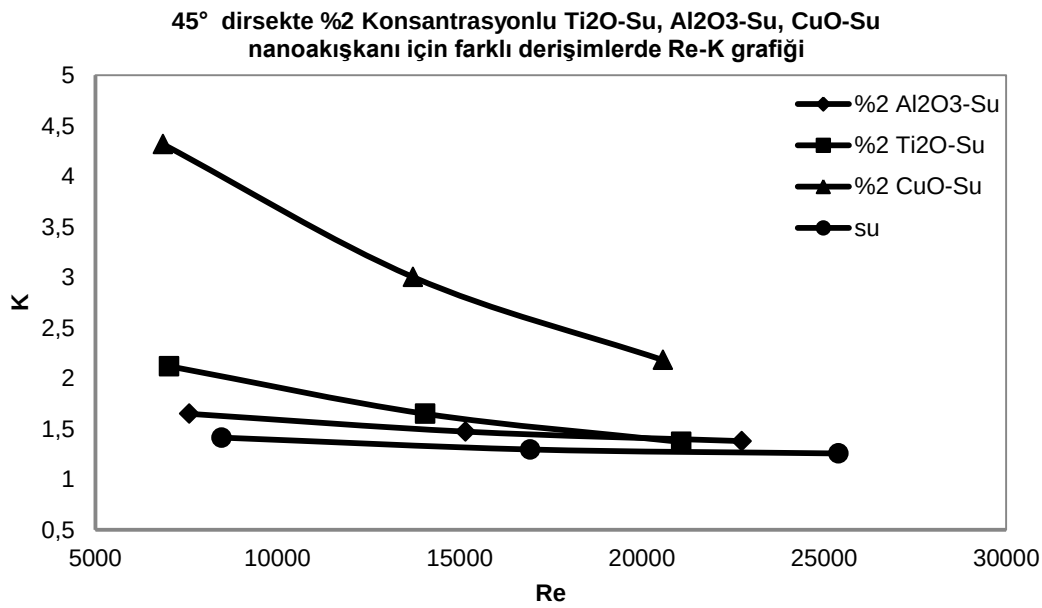
Deney No	45° Dirsek		Su	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	29,1	27,3	113,5	0,5	998,41	1,004	8466,135458	176,2992378	1,41264	0,35	0,182244592
2	32,6	26	227	1	998,41	1,004	16932,27092	646,4305386	1,29492	0,35	0,198666019
3	63,9	49,5	340,5	1,5	998,41	1,004	25398,40637	1410,393902	1,25568	0,35	0,213197664
Deney No	45° Dirsek Al_2O_3		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20 C)	ν , m ² /s (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	39,1	37	113,5	0,5	1012,96	1,121	7582,515611	208,6798896	1,64808	0,35	0,208223112
2	44,8	37,3	227	1	1012,96	1,121	15165,03122	745,28532	1,4715	0,35	0,221089648
3	49,3	33,5	340,5	1,5	1012,96	1,121	22747,54683	1570,067741	1,37776	0,35	0,229089155
Deney No	45° Dirsek TiO_2		%2 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	75,5	72,8	113,5	0,5	1022,44	1,2095	7027,697396	270,8136828	2,11896	0,35	0,260932316
2	79,9	71,5	227	1	1022,44	1,2095	14055,39479	842,5314576	1,64808	0,35	0,241346441
3	80	64,3	340,5	1,5	1022,44	1,2095	21083,09219	1574,731415	1,36904	0,35	0,221871522
Deney No	90° Dirsek CuO		%3 30-40 nm	Vort, m/s	ρ , kg/m ³ (T=20C)	ν , cst (T=20 C)	Re	ΔP , Pa	f veya K		Le
	h1	h2	Debi, ml/s						Deneysel	Teorik	
1	57,5	52	113,5	0,5	1064,54	1,239	6860,371267	574,372557	4,3164	0,1	0,528336283
2	63,8	48,5	227	1	1064,54	1,239	13720,74253	1597,800022	3,00186	0,1	0,436954972
3	74	49	340,5	1,5	1064,54	1,239	20581,1138	2610,78435	2,18	0,1	0,351176592

45° dirsekte %2 Konsantrasyonlu Ti_2O -Su, Al_2O_3 -Su, CuO -Su nanoakışkanı için farklı derişimlerde Re- ΔP grafiğı



Şekil 8.9. 45° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nanoakışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re- ΔP grafiğı

Şekil 8.9’ de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının 45° dirsekteki, ΔP basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısına bağlı olarak basınç kayıplarının doğrusala yakın bir şekilde arttığı görülmüştür. Fakat CuO -Su nano-akışkanının basınç kayıplarının diğer akışkanlara oranla daha doğrusal ve dik bir eğimle arttığı belirlenmiştir.



Şekil 8.10. 45° Dirsekte %2 Konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanı için farklı konsantrasyonlarda Re-K grafiğı

Şekil 8.10’ de 30-40 nm boyutundaki %2 konsantrasyonlu Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su ve CuO -Su nano-akışkanlarının, 45° dirsekteki sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde artan Reynolds sayısı ile nano-akışkanların ve temel akışkan suyun yerel kayıp katsayısının azaldığı görülmüştür. CuO -Su nano-akışkanının yerel kayıp katsayısının diğer akışkanlara kıyasla hem daha yüksek değerlere sahip olduğu hem de daha dik bir eğim ile azaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle temel akışkan suyun ve Al_2O_3 -Su nano-akışkanının yerel kayıp katsayısının çok küçük bir eğim ile azaldığı ve birbirine yakın değerler sergilediği görülmüştür. Benzer şekilde artan Reynolds sayısı ile bu yerel kayıp katsayısındaki azalma yavaşlayarak temel akışkan suyunkine yaklaştığı görülmektedir.

9. SONUÇ

Enerjinin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasına bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Bu kapsamda endüstrinin hemen hemen her alanında yer alan ısıtma veya soğutma sistemlerinde ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar enerji ekonomisi, küresel ısınma, sektörlerdeki minyatürleşme eğilimi ve performansa paralel artan soğutma ihtiyacının karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Nanoakışkanlar son yıllarda yeni nesil ısı transfer akışkanı olarak nitelendirilmektedir. Özellikle son on yılda, malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak nanometre boyutlarında katı partiküllerin üretilebilmesiyle ısı transfer akışkanı olarak kullanılan nano-akışkanların ısıl performanslarının ve özellikle ısıl iletkenliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların yoğunluk kazandığı görülmektedir. Ancak, nano-akışkanlarının ısı transferini artırmaya yönelik avantajlarının yanında akış koşullarında sergileyeceği akış direnci, dolayısıyla basınç kaybı yönünden deneysel çalışmalar çok az olup, farklı konsantrasyonlarda, boyutlarda ve malzemeden nano-partiküller kullanılarak, farklı deneysel çalışmaların yapılmasına şiddetle ihtiyaç vardır.

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada sentezlenen nanoakışkanlar temel akışkan olarak damıtılmış su ile % 1.0, 2.0, ve 3.0 hacim konsantrasyonlarında ve 30-40 nm nano-partikül boyutunda Al_2O_3 , TiO_2 , CuO nano-partiküllerden oluşmaktadır. Yapılan çalışmada üç farklı hız 0.5, 1 ve 1.5 m/s ve sonucunda üç farklı debi olan 113.5, 227, 340,5 ml/s' de çalışılmıştır. Deney düzeneği temel olarak farklı elemanlar içeren bir boru tesisatı, santrifüj pompa, hidrolik tank ve elektromanyetik debimetreden oluşan kapalı devre bir sistemdir. Deney düzeneğinde bulunan tesisat elemanları: düz boru, genişleyen ve daralın boru kesitleri ile 90° ve 45° dirsek boru tesisat elemanlarından oluşmaktadır. Bu üç nano akışkan ve temel akışkan suyun türbülanslı akımda sergilediği ΔP basınç farkı, yerel basınç kayıp katsayısı ve sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimleri bu çalışmada deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesinden genel olarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- 1- Test edilen nano-akışkanların türbülanslı akımında düz boru, genişleyen ve daralan boru kesitlerinde, 45° ve 90° dirseklerde basınç kayıpları, dolayısıyla f sürtünme faktörü ve K yerel basınç kayıp katsayısı temel akışkan suyunkinden yüksektir, ayrıca nano-partikül konsantrasyonu arttıkça da artmaktadır.
- 2- Nano akışkanların yoğunlukları temel akışkan suyunkinden haliyle daha yüksektir. En yüksek yoğunluğa CuO-Su nano-akışkanı sahipken, sırasıyla Al_2O_3 – Su ve en düşük yoğunluğa ise TiO_2 –Su nano-akışkanı sahiptir.
- 3- Nanoakışkanların viskoziteleri temel akışkan suyunkinden yoğunlukta olduğu gibi haliyle daha yüksektir. En yüksek viskozite değeri TiO_2 –Su nano-akışkanına ait olup, daha sonra CuO-Su nano-akışkanı ve en düşük viskozite değerine ise Al_2O_3 – Su nano-akışkanı sahiptir.
- 4- Nano-akışkanlarının yoğunluk ve viskozitesi nano-partikül konsantrasyonu ile artmaktadır.
- 5- Nano-akışkanlar ve temel akışkan için, artan Re sayısı ile ΔP basınç farkı doğrusala yakın bir şekilde artmaktadır.
- 6- Artan nano-partikül hacim konsantrasyonuna bağlı olarak ΔP basınç farkı artmaktadır, dolayısıyla f sürtünme faktörü ve K yerel basınç kayıp katsayısı da artmaktadır.
- 7- Genel olarak artan Reynolds sayısı ile f sürtünme faktörü azalmaktadır.
- 8- Daralan boru kesiti, 45° dirsek ve 90° dirsek geçişlerinde en yüksek basınç kayıp katsayısı CuO-Su nano-akışkanına aitken en düşük katsayısı TiO_2 –Su nano-akışkanı vermektedir. Düz ve genişleyen borularda ise en yüksek basınç kayıp katsayısını TiO_2 –Su nano-akışkanı verirken, en düşük basınç kayıp katsayısı CuO-Su nano-akışkanına aittir.
- 9- Moody diyagramı[EK A] incelendiğinde pürüzsüz borudaki türbülanslı su akımı için sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile parabolik olarak azaldığı, pürüzlü bir boruda ise belli bir Reynolds sayısından sonra artan Reynolds sayısı ile değişmediği görülmektedir. Bu çalışmada düz borudaki nano-

akışkanın türbülanslı akımı için belirlenen sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi pürüzlü bir borudaki temel akışkan suyun sergilediği değişime benzer bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Test edilen her üç nano-akışkanın sürtünme faktör değerleri artan Reynolds sayısı ile azalarak yaklaşık 20000 Reynolds sayısından sonra aynı değer ve benzer eğilimi, yani 20000 Reynolds sayısından itibaren artan Reynolds sayısı ile hemen hemen sabite yakın daha düşük bir azalma eğilimi göstermektedir. Bu davranışın Moody diyagramından da görüldüğü gibi pürüzlü bir borudaki türbülanslı su akımı için sürtünme faktörünün Reynolds sayısı ile değişimi eğilimine benzer olduğu belirlenmiştir.

- 10- Genel sonuç, mevcut literatür incelendiğinde nanoakışkanların temel akışkana kıyasla ısı özelliklerinin daha iyi olduğu buna bağlı olarak ısı performansı artırdığı görülmektedir. Bu çalışma da nano-akışkanların türbülanslı boru ve elemanlarında temel akışkana kıyasla dikkate değer ölçüde basınç farkını, dolayısıyla sürtünme faktörünü ve yerel basınç kayıp katsayısını artırdığını göstermiştir.
- 11- Nano-akışkanların hazırlanması için kullanılan sentezleme metodu ile elde edilen nano-akışkanlar, kararlı ve uzun ömürlü süspansiyon özellikleri göstermektedir. Hatta çalışma kapsamında elde edilen nano-akışkanların uzun süre kullanılmamaları ve tamamen çökmeleri halinde bile karıştırıldıklarında tekrar ultrasonik karıştırmaya ihtiyaç duymadan tam süspansiyon halini aldıkları gözlemlenmiştir. Bundan dolayı çalışma kapsamında elde edilen nano-akışkanlar özellikle endüstride çok yaygın şekilde kullanılan tüm kapalı devre sıvı akışkanlı ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılmaya oldukça elverişlidirler.
- 12- Bu çalışmada % 1.0, 2.0, ve 3.0 hacim konsantrasyonlarında ve 30-40 nm nano-partikül boyutunda Al_2O_3 , TiO_2 , CuO nano-partiküller ile temel akışkan suyun sentezlenmesi ile elde edilen nano-akışkanlar ile çalışılmıştır. Yapılan çalışmada üç farklı hız 0.5, 1 ve 1.5 m/s ve üç farklı debi olan 113.5, 227, 340,5 ml/s' de, dolayısıyla 5000-25000 Reynolds sayısı aralığında çalışılmıştır. Bu çalışma aralıkları, farklı akım tipleri, farklı malzemeli ve konsantrasyonlarda nano-akışkanlar ile çalışılarak akışkan özelliklerinin ve

Özellikle akım karakteristik davranışlarının belirlenmesine daha ihtiyaç vardır. En nihayetinde nano-akışkanların laminar ve türbülanslı akımları için hız, debi, basınç farkı, sürtünme faktörü ve yerel basınç kayıp katsayısı ile nano-partikül boyutu ve hacim konsatrasyonu arasındaki ilişkileri veren genel bağıntıların belirlenmesi için teorik ve deneysel çalışmalar yapılması öngörülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Choi S.U.S., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, FED-vol. 231/MD-vol.66, 1995, 99-105
2. Das S.K., Putra N., Thiesen P. And Roetzel W., Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids. ASME J. of Heat Transfer, 2003, 125, 567-574.
3. Daungthongsuk W. and Wongwises S., A critical review of convective heat transfer of nano fluids, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11, 797-817.
4. Eastman J.A., Choi S.U.S., Li S., Yu W. and Thomson L.J., Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. Appl. Phys. Letters, 2001, 78, 718-720.
5. Heris S.Z., Esfahany M.N. and Etemad S.Gh., Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube, Int. J. of Heat and Fluid Flow, 2007, 28, 203-210.
6. Heris S.Z., Etemad S.Gh. and Esfahany M.N., Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, 2006, 33, 529-535.
7. Hwang K. S., Jang S. P., Choi S.U.S., , Flow and convective heat transfer characteristics of water based Al₂O₃ nanofluids in fully developed laminar flow regime, School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 412-791, Republic of Korea, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL 60607, USA, High Efficiency Energy Research Department, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Republic of Korea, 2009.

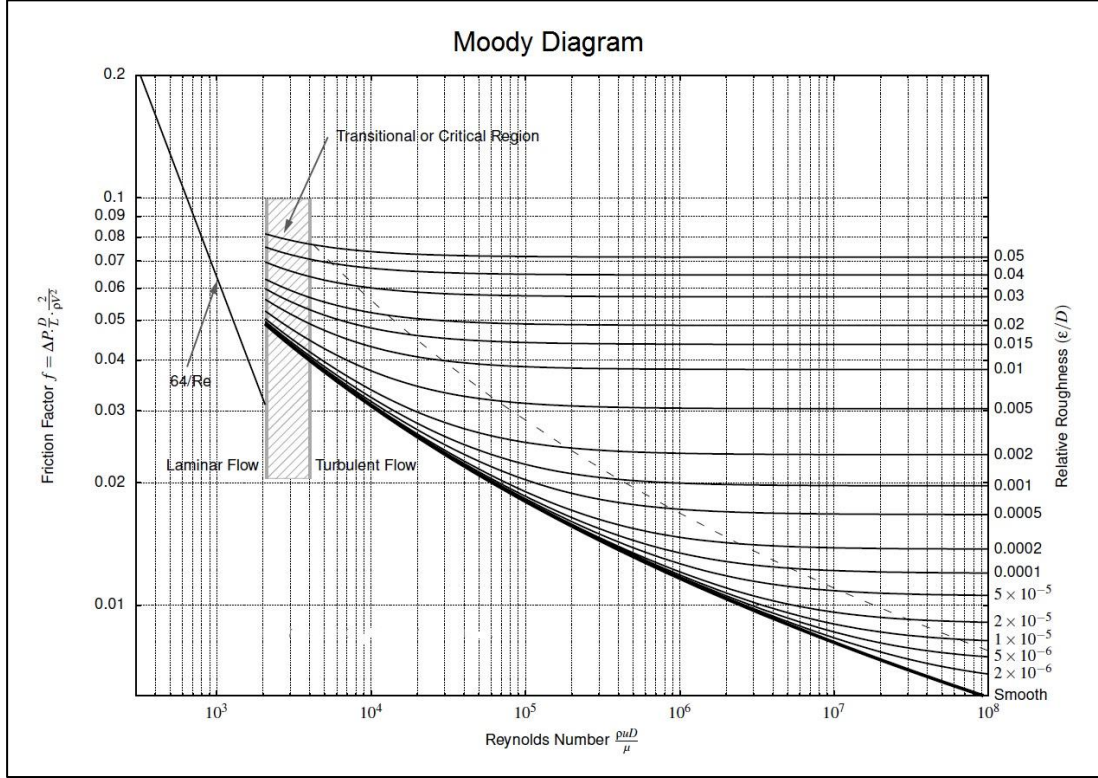
8. Jung J.-Y. , Oh H.-S., Kwak H.-Y., Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels, International Journal of Heat and Mass Transfer 52, 466-472, 2009.
9. Lee S., Choi S.U.S., Li S. and Eastman J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. ASME J. Heat Transfer, 1999, 121, 280-289.
10. Namlı L., Sucu A., Eğrisel Borulardaki Nanoakışkan Akışında Isı Geçişi ve Basınç Kayıp Karakteristiklerinin Sayısal İncelenmesi, ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 07-10 Eylül 2011.
11. Özbey M., Namlı L., Özcan H., Su/Boryağı- Al_2O_3 Nanoakışkanının Düz Boru Akımında Isı Transferi ve Basınç Kayıp Karakteristiklerinin Sayısal İncelenmesi, ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 07-10 Eylül 2011.
12. Rea U., Mc Krell T., Hu L.W., Buongiorno J., Laminar convective heat transfer and viscous pressure loss of alumina–water and zirconia–water nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer 52, 2042-2048, 2009.
13. Şahin B., Gedik G., Karagöz Ş., Dilek E.F., Al_2O_3 ve CuO Nano akışkanlarının Isı Transferi ve Basınç Düşümü Karakteristiklerinin Belirlenmesi, ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 07-10 Eylül 2011.
14. Trisaksri V. And Wongwises S., Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11, 512–523.
15. Wang X.Q. and Mujumdar A.S., Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, Int. J. of Thermal Sciences, 2007, 46, 1-19.
16. Wang X. Xu X. And Choi S.U.S., Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture, J. of Thermo physics and Heat Transfer, 1999, 13(4), 474-480.

17. Wen D. and Ding Y. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 2004; 47: 5181-5188.
18. Xuan Y. and Li Q., Heat transfer enhancement of nanofluids. *Int J. of Heat and Fluid Flow*, 2000, 21, 58-64.
19. Zhang X., Gu H. and Fujii M., Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles, *Experimental Thermal and Fluid Science*, accepted 2006.

EKLER

EK A: Mody Diyagramı

EK A



Şekil A.0.1:Moody Diyagramı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa GÖZ

Tabiiyeti : T.C.

Doğum Yeri : Samsun

Doğum Tarihi : 25.01.1986

Ev Telefonu : (362) 2389424

İş Adresi : Organize Sanayi Böl. Organize San. Bul. No:31 Kutlukent-SAMSUN

İş Telefonu : (362) 3626300/2104

Cep Telefonu : (543) 4627121

Fax : (362) 2669358

Web Sayfası : info@sampa.com.tr

e-mail : mustafa.goz@sampa.com.tr

Medeni Hali : Evli

Eğitim Durumu

1. Lisans: Cumhuriyet Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi – Makine Mühendisliği Bölümü - 2008

2. Lisans: GSI-SLV-München / GSI-SLV-TR – Kaynak Mühendisliği - 2013

İş Deneyimi

1.Sampa Otomotiv / Ar-ge Sorumlusu - 23.05.2013 - Devam

2.Rhomberg-Kalebozan Demiryolu İnşaat / Şantiye Şefi – 20.04.2011- 20.04.2013

3.As-Çelik Grup- Memsan Makine / Kalite Kontrol ve İmalat Mühendisi -
15.04.2010 – 20.04.2011

Mesleki Sertifika ve Eğitimler

- 1.Elastomer Teknolojileri Eğitimi - Kauçuk Derneği
- 2.Proje Yönetim Metodolojileri Ve Uygulamaları - İstanbul Kurumsal Gelişim
- 3.Ms Project Proje Yönetimi Kullanımı Eğitimi - İstanbul Kurumsal Gelişim
- 4.İş Güvenliği –Personel Emniyeti Ve İş Güvenliği Sertifika Eğitim - Kosgeb
- 5.Iso 9001 Kalite Yönetim İ Ve Bilgisi Eğitim Sertifikası - Eta Patent Danışmanlık
- 6.Ohsas 18001 İş Ve İşçi Güvenliği Eğitim Sertifikası - Eta Patent Danışmanlık
- 7.Hidrolik Ve Pnömatik Sistemler Teknik Eğitimi -PlasserTheurer-Deutsche
- 8.Demiryolu Buraj Ve Yol Geometrisi Mks Ve Dar Graph Sistemi -PlasserTheurer-Deutsche
9. Win Alc, Alc Yol Geometrisi Bilgisi Eğitimi -PlasserTheurer-Deutsche
- 10.Termit Kaynağı Eğitimi Ve Sertifikası - RhombergBauGmbH
- 11.Alınkaynağı Ve Makineli Alın Kaynağı Eğitimi Ve Sertifikası - RhombergBauGmbH
- 12.Demiryolu Ölçüm Sistemi Eğitim Ve Sertifikası - RhombergBauGmbH

Yayın, Patent

1. 2014/02291 numaralı “Burç içeren bir bağlantı kolu” başlıklı patent başvurusu