



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mürüvvet AVCI

**TESİSAT BAĞLANTI
PARÇALARININ AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNİN
NANOAKIŞKAN KULLANILARAK
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

OSMANİYE – 2019

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TESİSAT BAĞLANTI PARÇALARININ AKIŞ
KARAKTERİSTİKLERİNİN NANOAKIŞKAN
KULLANILARAK SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Mürüvvet AVCI

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
AĞUSTOS-2019**

TEZ ONAYI

TESİSAT BAĞLANTI PARÇALARININ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN NANOAKIŞKAN KULLANILARAK SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mürüvvet AVCI tarafından Dr. Öğr. Üyesi Nehir TOKGÖZ danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nehir TOKGÖZ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Önder KAŞKA
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi İlyas KARASU
Havacılık ve Uzay Bilimleri Mühendisliği Anabilim Dalı, ATÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Mürüvvet AVCI



ÖZET

TESİSAT BAĞLANTI PARÇALARININ AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN NANOAKIŞKAN KULLANILARAK SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mürüvvet AVCI

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nehir TOKGÖZ

Ağustos 2019, 104 sayfa

Sunulan bu çalışmada, tesisatlarda yaygın olarak kullanılan bağlantı parçalarının (L, T, 90°dönümlü dirsek, ani daralma ve ani genişleme) içerisinde nanoakışkan geçirilerek akış karakteristikleri ve basınç düşüşleri sayısal olarak incelenmiştir. Alüminyum, bakır ve titanyum esaslı nanoparçacıkların temel akışkan olarak belirlenen suya ilave edilmesiyle homojen bir nanoakışkan elde edildiği kabul edilmiştir. Konsantrasyonun akış yapısı ve basınç kaybı üzerine etkisini incelemek için beş farklı konsantrasyonda Al_2O_3 (%0.3, %0.5, %1, %2, %3), dört farklı konsantrasyonda Ti_2O (%0.05, %0.1, %0.3, %0.5) ve üç farklı konsantrasyonda CuO (%1, %2, %4) nanoakışkanı ele alınmıştır. Bağlantı parçalarından geçen akışın yapısını hem türbülanslı hem de laminar şartlar altında incelemek için Reynolds sayısı $Re=500$ ve $Re=5000$ olarak belirlenmiştir. Su kullanılarak elde edilen sonuçlar literatür sonuçları ile doğrulanıp, nanoakışkan hesaplamalarına geçilmiştir. En doğru sayısal modeli tespit edebilmek için laminar model, $k-\epsilon$ RNG türbülans modeli, $k-\epsilon$ Standard türbülans modeli ve $k-\omega$ Standard türbülans modeli kullanılmıştır. Bütün nanoakışkanlar için konsantrasyon arttıkça viskozitenin artmasına bağlı olarak yerel kayıplar arttığı görülmüştür. Farklı bağlantı parçaları ve farklı türbülans modelleri incelendiğinde ise Reynolds sayısı, $Re=500$ için en uygun modelin T, L ve dirsek bağlantı parçası için laminar model olduğu görülmüştür. Kesit değişimi sonucu meydana gelen ani girdap kopmalarının meydana geldiği ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçalarında ise $k-\epsilon$ RNG modelin en uygun model olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı, $Re=5000$ için T, L ve dirsek bağlantı parçası için en uygun modelin $k-\epsilon$ Standard model iken; ani daralma ve ani genişleme parçaları için ise $k-\epsilon$ RNG modelinin literatür ile en iyi sonucu verdiği ortaya konulmuştur. $k-\omega$ standard türbülans modelinin ise hiçbir bağlantı malzemesi için uygun sonuçları vermediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Nanoakışkan, Basınç Farkı (Pa), Yerel Kayıp Katsayısı, Türbülans Modeli

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW CHARACTERISTICS OF DIFFERENT TYPE FITTINGS USING NANOFLUID

Mürüvvet AVCI

M.Sc., Department of Energy Systems Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nehir TOKGÖZ

August 2019, 104 pages

In this study, flow characteristics and pressure drops are investigated numerically by passing nanofluids through the fittings (L, T, 90 ° turning elbow, sudden contraction and sudden expansion) commonly used in installations. Aluminum, copper and titanium based nanoparticles were added homogeneously to water to obtain nanofluids. Five different concentrations of Al_2O_3 (%0.3, %0.5, %1, %2, %3), four different concentrations of Ti_2O (%0.05, %0.1, %0.3, %0.5) and three different concentrations of CuO (%1, %2, %4) have been discussed. The Reynolds number was determined as $Re = 500$ and $Re = 5000$ to examine the structure of the flow through the fittings under both turbulent and laminar conditions. The results obtained by using water were confirmed with the literature results and nano-fluid calculations were started. In order to determine the most accurate numerical model; laminar model, k- ϵ RNG turbulence model, k- ϵ Standard turbulence model and k- ω Standard turbulence model were used. It was observed that as the concentration increased for all nanofluids, local losses increased due to the increase in viscosity. When the different fittings and different turbulence models are examined, it is seen that the most suitable model for Reynolds number, $Re = 500$ is laminar model for T, L and elbow connection part. The k- ϵ RNG model was found to be most suitable model in the sudden contraction and sudden expansion connection pieces joints where sudden vortex ruptures occurred as a result of the change of section. The most suitable model for the Reynolds number, $Re=5000$ for T, L and elbow fittings is k - ϵ Standard model; however, the k - ϵ RNG model has been shown to give the best results for the sudden contraction and sudden expansion fragments. The k - ω standard turbulence model was found to be unsuitable for any fittings.

Key Words: Nanofluid, Pressure Difference, Local Loss Coefficient, Turbulence Model

Bu yüksek lisans tezimi, benim bugünlere gelmem için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan ve her zaman yanımda olan kıymetli aileme ithaf ediyorum...

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca kıymetli bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana yol gösteren ve her daim destek olan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Nehir TOKGÖZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını ve desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Yusuf Alper KAPLAN'a ve Arş. Gör. Mehmet Tahir ERDİNÇ'e teşekkür ederim. Ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana maddi, manevi destek olan beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli annem Nurten AVCI, babam Veli AVCI ve abim Alican AVCI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bölümdeki çalışmalarım süresince beni destekleyen diğer bölüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3.MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Modelin Tanımlanması.....	17
3.1.1. Problemin Hacimlere Bölünmesi (Grid Üretimi)	20
3.2. Modellerin Sınır Şartları.....	21
3.3. Problemin Çözüm Aşamaları	22
3.4. Sayısal Metod.....	23
3.5. Temel Denklemler.....	23
3.5.1. Reynolds Sayısı	23
3.5.2. Yerel Kayıplar ve Kayıp Katsayısı.....	23
3.5.3. Pompa Gücü	25
3.5.4. Hesaplamalarda Kullanılan Denge Denklemleri	26
3.5.4.1.Navier-Stokes Denklemleri	26
3.5.4.2. Standard $k - \epsilon$ Türbülans Modeli Denklemleri	27
3.5.4.3. RNG $k - \epsilon$ Türbülans Modeli Denklemleri.....	28
3.5.4.4. Standard $k - \omega$ Türbülans Modeli Denklemleri	28
3.6. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	29
4.BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Elde Edilen Sonuçların Doğrulanması	32
4.1.1. Su ve Al_2O_3 Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	32
4.1.2. Su ve CuO Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	50
4.1.3. Su ve TiO_2 Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	65
4.2. Farklı Nanoakışkanların Değişen Konsantrasyona Karşı Basınç Farkı Grafikleri	81
4.2.1. Değişen Konsantrasyonlarda, Reynolds Sayısı, $Re=500$ İçin Farklı Bağlantı Parçalarında Hesaplanan Basınç Farkı Değerleri	81

4.2.2. Değişen Konsantrasyonlarda, Reynolds Sayısı, $Re=5000$ İçin Farklı Bağlantı Parçalarında Hesaplanan Basınç Farkı Değerleri	83
4.3. Farklı Nanoakışkanların Konsantrasyona Karşı Pompa Gücü Grafikleri.....	88
4.3.1. Reynolds Sayısı, $Re=500$ İçin Farklı Nanoakışkanların Farklı Konsantrasyonlarında Pompa Gücünün Artışı	88
4.3.2. Reynolds Sayısı, $Re=5000$ İçin Farklı Nanoakışkanların Farklı Konsantrasyonlarında Pompa Gücünün Artışı	91
4.4. Farklı Ani Genişleme Bağlantı Parçasının Kayıp Katsayısı	95
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	104



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. 20 °C’de Alüminyum Oksidin Fiziksel Özellikleri (Özbey vd., 2011)	30
Çizelge 3.2. 20 °C’de Titanyum Oksidin Fiziksel Özellikleri (Gedik vd., 2017)	30
Çizelge 3.3. 20 °C’de Bakır Oksidin Fiziksel Özellikleri (Bedir, 2013)	30
Çizelge 4.1. Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re =500 Laminar Model (Al_2O_3).....	33
Çizelge 4.2. L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (Al_2O_3)	33
Çizelge 4.3. T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (Al_2O_3).....	34
Çizelge 4.4 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3)....	34
Çizelge 4.5 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3) .	35
Çizelge 4.6 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (Al_2O_3)	35
Çizelge 4. 7 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (Al_2O_3)	36
Çizelge 4.8 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard (Al_2O_3).....	39
Çizelge 4. 9 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (Al_2O_3)	39
Çizelge 4. 10 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (Al_2O_3)	42
Çizelge 4.11 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (Al_2O_3)	42
Çizelge 4.12 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3) .	45
Çizelge 4. 13 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω StandardModeli(Al_2O_3)	45
Çizelge 4. 14 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3)	47
Çizelge 4.15 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Modeli (Al_2O_3)	48
Çizelge 4.16 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (CuO)	51
Çizelge 4.17 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (CuO).....	51
Çizelge 4.18 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (CuO).....	51
Çizelge 4.19 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (CuO)	52
Çizelge 4.20 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (CuO)...	52
Çizelge 4.21 Dirsek Boru Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (CuO)	53
Çizelge 4.22 Dirsek Boru Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (CuO)	53
Çizelge 4.23 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (CuO)	55
Çizelge 4.24 L bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (CuO).....	56
Çizelge 4.25 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (CuO)	58
Çizelge 4.26 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (CuO)	59
Çizelge 4.27 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ RNG Modeli (CuO) ...	61
Çizelge 4.28 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Modeli (CuO)	62
Çizelge 4.29 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ RNG Modeli (CuO).	63
Çizelge 4.30 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω StandardModeli(CuO)	63
Çizelge 4.31 Dirsek Boru Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (TiO_2).....	65
Çizelge 4.32 L Boru Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (TiO_2)	66
Çizelge 4.33 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (TiO_2)	66
Çizelge 4.34 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (TiO_2) ...	66
Çizelge 4.35 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (TiO_2) .	67
Çizelge 4.36 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (TiO_2)	67
Çizelge 4.37 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (TiO_2).....	68
Çizelge 4.38 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ϵ Standard Model (TiO_2)	71
Çizelge 4.39 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=5000 k - ω Standard Model (TiO_2)	71

Çizelge 4.40 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (TiO_2)	74
Çizelge 4.41 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (TiO_2)	74
Çizelge 4.42 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (TiO_2) ...	76
Çizelge 4.43 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Modeli (TiO_2)	77
Çizelge 4.44 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (TiO_2) ..	78
Çizelge 4.45 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Modeli (TiO_2)	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. 90° dönümlü dirsek bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları	18
Şekil 3.2. L bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları	18
Şekil 3.3. T bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları	19
Şekil 3.4. Ani daralma bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları	19
Şekil 3.5. Ani genişleme bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları.....	20
Şekil 3.6. Ani daralma bağlantı parçası ağ örgüsü	21
Şekil 4.1: Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)	37
Şekil 4.2: Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3).....	38
Şekil 4.3 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3).....	40
Şekil 4.4 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3).....	41
Şekil 4.5 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3).....	43
Şekil 4.6 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3).....	44
Şekil 4.7 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)	46
Şekil 4.8 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı(Al_2O_3).....	47
Şekil 4.9 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3) ...	48
Şekil 4.10 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3)	49
Şekil 4.11 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)	54
Şekil 4.12 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO).....	55
Şekil 4.13 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)	57
Şekil 4.14 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO).....	58
Şekil 4.15 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)	60
Şekil 4.16 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO).....	61
Şekil 4.17 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)	62
Şekil 4.18 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO).....	63
Şekil 4.19 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO) ..	64
Şekil 4.20 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO)	64
Şekil 4. 21 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)	69
Şekil 4.22 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)	70
Şekil 4.23 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)	72
Şekil 4.24 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2).....	73
Şekil 4.25 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)	75
Şekil 4.26 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2).....	76
Şekil 4.27 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)	77
Şekil 4.28 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)	78
Şekil 4.29 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)...	79
Şekil 4.30 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)	80
Şekil 4.31 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve k - ϵ RNG modeli için Al_2O_3 nanoakışkanının farklı konsantrasyonları için basınç Farkı (Pa) grafiği.....	81

Şekil 4.32 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonları için basınç farkı (Pa) grafiği.....	82
Şekil 4.33 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için TiO ₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	82
Şekil 4.34 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \epsilon$ modeli için Al ₂ O ₃ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	83
Şekil 4.35 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \omega$ modeli için Al ₂ O ₃ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	84
Şekil 4.36 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \epsilon$ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	85
Şekil 4.37 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \omega$ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	85
Şekil 4.38 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \epsilon$ modeli için TiO ₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	87
Şekil 4.39 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \omega$ modeli için TiO ₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği	87
Şekil 4.40 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için Al ₂ O ₃ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	88
Şekil 4.41 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	89
Şekil 4. 42 Reynolds Sayısı, $Re= 500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için TiO ₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	90
Şekil 4.43 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \epsilon$ modeli için Al ₂ O ₃ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	91
Şekil 4.44 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \omega$ modeli için Al ₂ O ₃ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	91
Şekil 4.45 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \epsilon$ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	92
Şekil 4.46 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için değeri $k - \omega$ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	93
Şekil 4.47 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \epsilon$ modeli için TiO ₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	94
Şekil 4.48 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \omega$ modeli için TiO ₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı	94
Şekil 4.49. Farklı ani genişleme bağlantı parçası yerel kayıp katsayısı grafiği	96

SİMGELER ve KISALTMALAR

Al_2O_3	Alüminyum oksit	(-)
CuO	Bakır oksit	(-)
C_p	Akışkanın özgül ısısı	(J/kg K)
$C_\mu, C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}$	Model katsayıları	(-)
D	Kullanılan kesitin çapı	(m)
k	Isı iletim katsayısı	(W/m K)
K_k	Yerel kayıplar	(-)
Re	Reynolds sayısı	(-)
P	Basınç	(pa)
TiO_2	Titanyum dioksit	(-)
V	Ortalama akış hızı	(m/s)
W	Akışkana aktarılan faydalı güç	(Watt)
$\dot{w}$	Hesaplanan hacimsel debi	(m ³ /s)
$\dot{m}$	Kütle debisi	(kg/s)
σ_k	Türbülanslı Prandtl sayısı	(-)
ρ	Akışkanın yoğunluğu	(kg/m ³)
μ	Dinamik viskozite	(kg /ms)
ΔP	Pompa giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı	(Pa) (N/m ²)

1.GİRİŞ

Günümüzde ısı transferine yönelik araştırma ve çalışmaların temel amacı; enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasıdır. Elektronik, bilgi işlem, gıda kimya, iletişim gibi endüstrinin hemen hemen her alanında enerjinin verimsiz kullanılması ve atık enerji sorunlarıyla başa çıkmak için çalışmalar başlatılmıştır. Yeni enerji kaynakları arayışına girildiği gibi mevcut enerjinin de en iyi şekilde kullanılması için enerji verimliliği kavramları ortaya çıkmaya başlamıştır. En iyi enerji mevcut mantığı ile enerji tüketen cihazların verimliliğini arttırmak için geniş kapsamlı çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların çok büyük bir bölümünü hemen hemen her alanda ısıyı taşımak için kullanılan cihazlar oluşturmaktadır. Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar ekonomik açıdan çok önemli bir parametre olan enerjinin, etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmalar ile ısı değiştiricilerinin daha verimli, daha düşük maliyetli, daha hafif ve daha küçük ebatlı tasarlanarak enerjinin daha etkin kullanılması hedeflenmektedir. Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar genelde aktif, pasif, karma yöntemler kullanılarak elde edilir. Pasif yöntemler dış güç kullanılmamasını gerektirmeyen yöntemlerdir. Genişletilmiş yüzeyler, bobinli borular buna örnek verilebilir. Aktif yöntemlerde bir dış güç kaynağına ihtiyaç duyulur. Yüzey ve akışkan titreşimi, elektrostatik alanlar buna örnek verilebilir. Karma yöntemler ise aktif ve pasif yöntemlerden iki ya da daha fazlası bir arada kullanılır (Bergles,1983). İş yapan akışkanının (temel akışkan) ısı transferi etkinliğini artırmak için içerisine mikro veya nano boyuttaki katı parçacıklar ilave edilerek yeni akışkan elde edilmesi pasif yöntemlerden biridir. Bu yöntemlerin amacı ısı transferini iyileştirmeye yönelik olsa da, birçok dezavantajı da beraberinde getirmektedir. Buna santrallerde boru sistemlerinde yorulmalara, akışkanlarda çökelme ve tortulaşmalara sebep olması örnek gösterilebilir (Şahin,vd., 2006). Bu da performansı düşürüp ısı değiştiricilerinin boyutlarını ve maliyetini artırdığı için ısı transferine yönelik çalışmalarda yeni arayışların doğmasına sebep olmuştur.

Son yıllarda gelişen teknolojiyle temel akışkanların içerisine ilave edilen partiküller mikro boyuttayken ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$) yerini nano boyutlara ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) bırakmıştır. Aslında bunun sebebi, nano parçacıkların aynı hacimsel konsantrasyonda mikro parçacıklara kıyasla daha fazla yüzey alanına sahip olması, mikro partiküllerin

yüzeyden uzak olup ısıyı alamamasıdır. Ayrıca bu boyuttaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonların mikro kanallarda tıkanmalara sebep olduğu belirtilmiştir (Murshed vd., 2008). Nanoparçacıkların ise mikro parçacıkların aksine boru içerisinde çökme ve tortulaşma meydana getirmediği akış boyunca kanalı aşındırmadığı görülmüştür. Ayrıca nanoakışkan kullanımı mikro kanal yüzey ile akışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltıp, ısıl direncin azalmasına yol açmıştır.

Akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutundaki katı partiküllerin süspansiyon edilmesiyle ısı transferinin artırımı yüzyıldan fazla zamandan beri kullanılan yöntemdir. Malzeme bilimi ve endüstrinin gelişmesiyle su, etilen, motor yağı gibi yaygın olarak kullanılan temel akışkan içerisine; boyutu 100 nm'den daha düşük, ısı iletkenliği yüksek metalik ve metalik olmayan parçacıklar ilave edilerek nanoakışkan adı verilen yeni akışkanlar elde edilmiştir. Nanoakışkan kavramı ilk kez Choi ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuştur. Nanoakışkanın tercih edilme nedenleri ise ısı iletim katsayılarını geleneksel akışkanlara göre çok yüksek olmasıdır. Basınç düşümünü çok fazla arttırmamaktadır. Yüksek ısı transfer performansı ile daha küçük boyutlarda ısı değiştiricisi yapma imkanı sunmaktadır (Choi vd., 1990). Araştırmacılar çapı 100 nm'nin altında olan nano boyutlu katı parçacıkların kullanılmasıyla ısı transferinin büyük ölçüde iyileştirilebileceğini görmüşlerdir. Ve bunun da güneş kolektörleri, ısı boruları, nükleer reaktörler, elektronik soğutma sistemleri, otomobil radyatörleri vb. uygulamalar için muhtemel çalışma sıvıları olarak kabul edilebileceğini düşünmüşlerdir (Ganvir vd., 2016).

Nanoakışkanların ısı transferini artırmada önemli bir parametre olduğunu göz önüne alınmıştır fakat bunun için nanoakışkanın fiziksel özellikleri de düşünülmelidir. Araştırmacılar son yıllarda nanoparçacık boyutunun, konsantrasyonun, viskozitesinin, yoğunluğunun ve ısı iletkenliğinin ısı transfer mekanizması üzerine etkilerini içeren birçok çalışma yapmışlardır. Bu kapsamda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır ve araştırmalar devam etmektedir. Araştırmaların genel sonucu nanoakışkanların ısı transferini artırdığı iddia edilse de deney sonuçları her zaman bunu doğrulamamaktadır. Mohamad vd. yaptıkları çalışmalarda temel akışkana nano parçacık eklenmesinin (akışkanın yoğunluğuna kıyasla) kaldırma kuvveti ve doğal konveksiyonu azaltacağını savunmuştur. Ayrıca nano parçacıkların eklenmesi sonucu etkin viskozite artacağından bunda zorlanmış taşınım ve basınç düşüşünü

olumsuz etkileyeceğini ve bu parçacıkların yüzeylere çarpması sonucu erozyonların artabileceği belirtmiştir (Mohamad vd., 2015).

Isı transferinin artırılmasının partikül hacim konsantrasyonu ile arttığına dair birçok çalışma vardır. Burada genelde tek fazlı akış modeli kullanılmıştır. Nanoparçacık ve temel akışkandan oluşan karışımın homojen olduğu varsayılmıştır. Isı eşanjörleri, bağlantı elemanları gibi malzemelerde nanoakışkanların zorlanmış taşınımındaki akışları göz önüne alınmıştır. Reynolds sayısının, ısı akısının ve basınç düşümünün arttığı görülmüştür (Timofeeva vd., 2011). Nanopartikül eklenmesi ile verimlilik artmış, pompalama gücü azalmıştır. Temel akışkana metal, ametal veya oksit nanopartikülleri eklenmiştir. Araştırmaların çoğu metal oksitlerle gerçekleştirilmiştir ve ısı transferinin artırımında metalik nanopartiküllerin çok düşük hacimlerde bile olumlu yönde etki yaptığı görülmüştür. Bu açıdan metalik nanopartiküller ile nanopartiküllerin boyutları detaylandırılmıştır. Burada termal iletkenliğin parçacıkların Brown hareketiyle ve bu parçacıkların etrafında toplanan nano parçacıkların çalkalanarak hareket etmesinden dolayı aktarılan ısıya bir kısmını taşıdığından kaynaklandığı görülmüştür (Ganvir vd., 2017). Bu partiküller çok fazla hareket ederek, türbülans ve çalkantıları arttırmaktadır. Böylece enerji transferi artmakta ve dolayısıyla ısı iletkenliği de artmaktadır.

Yapılan bazı çalışmalarda farklı metal partiküllerinin süspansiyonlarını içeren akışkanların akış davranışı ve ısı aktarım performansını incelenmiştir. Düz tüp içinde akan suyun akış davranışlarıyla karşılaştırmışlardır ve simülasyona aktarılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre % 1'e kadar olan nanopartikül ilavesinin ısı transfer performansını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür (Sasmito vd., 2011)

Yapılan birçok çalışmada da nanoparçacık ilavesi ile elde edilen nanoakışkanın ısı transferi üzerine etkisi incelenmiştir. Artan hacimsel orana bağlı olarak etkin ısı iletkenliği artmaktadır. Çalışmaların çoğu ısı değiştiricileri, bina ısıtması ve otomotiv soğutması gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Günlük hayatta düşünüldüğünde borularda ve boru proje sistemlerinde, bağlantı elemanlarında kullanılan akış da ısı transferi açısından çok önemlidir. Burada oluşan yerel kayıplar ve basınç kayıpları sistemlerin uygun tasarlanması için gerekli bir parametredir. Enerjideki kayıpları içeren en temel etkenler; boru içerisindeki akışın durumu, borunun boyutu, malzemesi gibi fiziksel özellikleri, boru içerisinde akan akışın yön

değiştirmesine sebep olan geometrik faktörler sayılabilir. Düz boru ele alındığı zaman bu kayıplar Reynolds sayısına bağlı olarak akışın laminar, geçişli ve ya türbülanslı olup olmaması durumuna ve boru içerisindeki hız dağılımına göre değişebilir. Borudaki akışta enerji kaybına neden olan yerler arasında; borunun kesit alanındaki değişim olduğu yerler ve boru giriş çıkışları, akışın dallara ayrılması gibi yön değiştirdiği dirsekler, vana gibi akışı kısıtlayan unsurların bulunduğu yerler sayılabilir. Buralarda oluşan kayıplar yerel kayıplar olarak adlandırılır. Yerel kayıplar ısı transferi ve pompalama gücü açısından oldukça önemlidir.

Basınç dağılımlarının ve yerel kayıpların belirlenmesinde bağlantı elemanlarının eğrilik çapları, içerdiği akışın durumu, giriş hızı gibi parametreler çok önemlidir. Farklı boru ve boru parçalarının, sürtünme ve kayıp katsayıları temel akışkanın içerdiği nano partiküllerinin hacim konsantrasyonları attıkça artmaktadır. Akışkan boru içerisinde aktığı zaman, akışkanın akışkanlığı ve türbülans nedeniyle de bazı kayıplar verir. Kayıpların olması verimlilik açısından ve maliyet açısından istenmeyen bir durumdur. Sunulan bu tez çalışmasında, tesisatlarda yaygın olarak kullanılan L, T, 90° dönümlü dirsek, ani daralma ve ani genişleme gibi bağlantı malzemelerinin nanoakışkan kullanılan tesisatlarda kullanılması durumunda oluşturdukları basınç farkları ve buna bağlı olarak meydana getirdikleri yerel kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. Nanoakışkanın ısı transferini arttırmada önemli bir parametre olduğu göz önüne alınarak bağlantı parçaları içerisinde farklı nanoakışkanlar geçirilerek suya göre bağıl yerel kayıp katsayıları hesaplanmıştır. Temel akışkan su seçilerek içerisine alüminyum, titanyum ve bakır esaslı nano parçacıklar farklı hacim konsantrasyonunda ilave edilerek nanoakışkanlar elde edilmiştir. Al_2O_3 için beş, Ti_2O için dört, CuO için ise üç farklı hacim konsantrasyonu seçilmiştir. Seçilen nanoakışkanların termofiziksel özellikleri daha önce yapılan deneysel çalışmalardan alınmıştır. Farklı bağlantı elemanları ANSYS programında çizilip, modellenerek çözümlemeleri yapılmıştır. Çözümlemeler, sonlu hacimler metodunu esas alarak çözüm yapan, hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programında yapılmıştır. Elde edilen veriler işlem programından geçirilerek yorumlanmıştır. Reynolds 500 ve Reynolds 5000 değerlerinde giriş hızları hesaplanmıştır. Bu hız değerlerine bağlı olarak farklı noktalarda basınç değerleri ölçülmüştür. Basınç değerleri ile birlikte yerel kayıplar hesaplanmıştır. Yerel

kayıpların hesaplanmasında laminar model, $k-\epsilon$ RNG modeli, $k-\epsilon$ Standard model, $k-\omega$ Standard türbülans modeli kullanılmıştır. Hesaplamalar önce su kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar literatürde yaygın olarak kullanılmış (Çengel vd., 2008) sonuçlarıyla mukayese edilerek doğrulanmıştır. Nanoakışkan kullanılarak elde edilen sonuçlar ise su temel alınarak yorumlanmıştır. Hangi modelin daha uygun olduğu bulunmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Choi ve Eastman çalışmalarında ısı transferine nano partiküllerin eklenmesiyle yeni bir ısı transfer akışkanı elde edebilmeyi amaçlamışlardır. Bunun birlikte hazırladıkları nanoakışkanların hali hazırda kullanılan ısı transfer akışkanlarına kıyasla yüksek termal iletkenlik göstermesini beklemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, nanoakışkanların kullanımının ısı eşanjörlerinde pompalama gücünün azalmasına sebep olduğunu görmüşlerdir (Choi ve Eastman, 1995).

Xuan vd. nanoakışkanlar için bir numune hazırlamışlardır. Sıcak telli cihaz kullanarak nanoakışkanların ısı iletkenliğini ve nanoparçacıkların şekilleri, boyutları gibi özelliklerini teorik olarak incelenmişlerdir. Elde ettikleri ölçüm sonuçlarına göre, ultra ince parçacıkların hacim fraksiyonu ile birlikte nanoakışkanların termal iletkenliğinin belirgin şekilde arttığını görmüşlerdir. Su ve bakır nanopartiküllerinin süspansiyonu içinde hacim fonksiyonu arttıkça termal iletkenliğinde 1.24 ile 1.78 arasında değiştiğini görmüşlerdir (Xuan ve Li,1999).

Kostic, vd. öncelikle nanoakışkan baz sıvılarında lifler veya kompozitler içeren nano boyuttaki parçacıkların koloidal süspansiyonları olarak tanımlamışlardır ve daha sonra nanoparçacıkların konsantrasyonunun ölçümüne dair çalışmalar yapıp teknikler geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri teknik ile nanoakışkanların yoğunluğunu ölçmüşlerdir. Önce yoğunluğu belli damıtılmış suyun konsantrasyonunu ölçmüşler ve buna göre nanoakışkanların yoğunluğunu karşılaştırmışlardır. Kostic ve arkadaşları, yaptıkları ölçümler sonucunda küçük konsantrasyonlar için ölçüm belirsizliğinin büyük ve kabul edilemez, ancak, daha yüksek konsantrasyonlar için önemli olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu nedenle düşük konsantrasyonlar için büyük hacim oranları önermişlerdir (Kostic vd., 2006).

Das vd. mikrometre boyutundaki nano parçacıkların süspansiyonları ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. İnceledikleri çalışmalardan elde ettikleri sonuçlara göre; nano parçacıklı sıvıların soğutma ve ilgili teknolojilerde kullanım için büyük fayda sağladığını ve oksit nano partikül bazlı nano sıvıların ısı iletkenliğini arttırılmasında yararlı olabileceğini görmüşlerdir. Deneysel çalışmalarla metalik nano parçacıkların, çok düşük hacim fraksiyonunda termal iletkenliğini oldukça arttırdığını fark etmişlerdir (Das vd, 2006).

Artuç, akışkanların ısı iletkenliklerini artırmak için küçük metal parçacıklar kullanılarak nanoakışkanlar elde edilebileceğini düşünmektedir. Karışımın içerisindeki farklı boyutlarda bakır ve gümüş metalin ısı iletkenliği akışkanınkinden fazla olduğu için karışımın ısı iletkenliğinin de artacağını söylemiştir. Artuç, elde ettiği sonuca göre ısı iletkenliğinin nanoakışkanların hacimsel değerinin artışıyla arttığını belirlemiştir. Belirli bir artış değerinden sonra ise doyuma ulaştığını görmüştür. Nanoakışkanlarda ısı iletimini etkileyen faktörlerin boyut, hacimsel oran, sıcaklık, ısı iletim katsayısı gibi faktörler olduğu sonucuna varmıştır (Artuç, 2007).

Kulkarni, vd. süspansiyon halinde metalik nanopartiküller içeren nano sıvıların, temel sıvının termal iletkenliğini önemli miktarda arttırdığı fikrine dair çalışmalar yapmışlardır. Bunun için ilk olarak SiO_2 , Al_2O_3 ve CuO içeren nano sıvılarının çeşitli sıcaklıktaki farklı hacim yüzdelerindeki özelliklerini incelemişler, viskozite üzerine sıcaklık ve çap etkisini araştırmışlardır. Kulkarni ve arkadaşları, nanoakışkanların viskozitesinin nano partikül konsantrasyonunun bir fonksiyon olduğu ve konsantrasyonla arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Parçacık boyutu arttıkça viskozitenin azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmalar sonucunda, parçacık boyutunun, ısı transfer katsayısını etkilediğini ve çap ne kadar büyük olursa, ısı transfer katsayısının o kadar yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yoğunluğa bağlı olarak viskozitenin arttığını görmüşler ve konsantrasyon arttıkça basınç kaybının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Kulkarni vd., 2007).

Azizian ve arkadaşları ısı transferini soğutma işlemlerinde kullanmışlardır. Bunun için genişletilmiş yüzeyler ve artan akış hızı ile ilgili iki yöntem kullanmışlardır. Bu yöntemleri sınırlandırmışlardır. Nanoakışkanları yüksek performanslı soğutmayı sağlamak için kullanabileceklerini düşünmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalar ile akışkanlarının ısı iletkenlik özelliklerinin metallere kıyasla ısı iletiminde daha az etkili olduğunu görmüşlerdir. Katı metalin o akışkanın ısı iletkenliğini arttırmasını beklemişlerdir (Azizian vd., 2008).

Das ve diğerleri ısı transferi ve soğutma teknolojisinde yeni çalışmalar yapılması gerektiğini düşünerek, mevcut soğutma kapasitesinin atık ısının, atık ısı daha fazla olan nanoakışkanlar tasarlayarak önemli ölçüde arttırılabileceklerini düşünmüşlerdir. Süspansiyonlar kullanmışlar ve bunun temel akışkanın ısı iletkenliğini arttırdığını görmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalar ile, ısı transfer

akışkanlarının ısı iletkenliğini ve ısı transfer performansını arttırmak için kullanabileceklerini görmüşlerdir (Das vd., 2008).

Vajiha vd. bu çalışmalarında kütlece %60 etilen glikol ve %40 su karışımı içinde süspansiyon haline getirilmiş alüminyum oksit nanopartiküllerin özgül ısı ve yoğunluğunun ölçümelerini incelemişlerdir. Amaçları nanoakışkanların akışkanlar dinamiğini ve ısı transfer özelliklerini belirlemektir. Bunu yaparken farklı hacimsel konsantrasyonları için bir dizi sıcaklıkta ölçümler yapıp, elde ettikleri deney sonuçlarını da sıcaklık ve partikül hacmi konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak geliştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda elde ettikleri korelasyonların, endüstriyel ısı eşanjörleri, bina ısıtması ve otomotiv soğutması gibi çeşitli uygulamalarda Al_2O_3 nanoakışkanının ısı transfer performansını ve pompalama gücü gereksiniminin incelenmesinde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Vajiha vd., 2008).

Mahagaonkar vd. çalışmalarını kütlece %60 etilen glikol ve %40 su bazlı akışkan içinde alüminyum oksit (Al_2O_3), antimon-kalay oksit ($Sb_2O_5:Sn_2O_2$) ve çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri içeren üç farklı nanoakışkan üzerinde gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak temel akışkanın yoğunluğu için bir test sunmuşlar, sonra bu nanoakışkanların farklı hacmi konsantrasyonu için 0 ° C ila 50 ° C sıcaklık aralığında yoğunluk ölçümelerini incelemişlerdir. Mahagaonkar ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalar sonucunu yaygın olarak kullanılan teorik denklemler ile karşılaştırmış ve ölçümler arasındaki en iyi uyumun Al_2O_3 ve $Sb_2O_5:Sn_2$ içeren nanoyakıtlar için elde etmişlerdir. Bununla birlikte genel teorik deneyler arasındaki sapmanın ZnO nanoakışkanı ile daha yüksek olduğu ve partikül hacmi konsantrasyonu ile arttığını gözlemlemişlerdir (Mahagaonkar vd., 2008).

Godson vd. nanoakışkanların ısı transferini arttırıp geliştirdiğini Brownian hareketi ve termofiziksel özelliklere değinerek açıklamışlardır. Nanoakışkanların ısı transferini arttırdığını gözlemlemeleri üzerine, mühendislerin son derece kompakt ve etkili ısı transfer ekipmanları geliştirmeleri için bir fırsat sunabileceğini vurgulamışlardır. Nanoakışkanların ısı transfer katsayısının, temel bazlı akışkanın ısı transfer katsayısından çok daha yüksek olduğunu ve çok az basınç düşüşüne sebep olduğunu görmüşlerdir. Konvektif ısı transferinin, parçacık konsantrasyonunu ve Reynolds sayısını arttırarak arttırıldığını ifade etmişlerdir (Godson vd., 2009).

Bianco vd. çalışmalarında, sabit ve homojen bir ısı akısına tabi tutulan bir dairesel tüp içindeki su- Al_2O_3 içeren nanoakışkanı sayısal olarak incelemişlerdir. 100 nm boyuttaki parçacıklar için tek veya iki fazlı model kullanmışlardır. Bianco ve arkadaşları yaptıkları çalışmalar sonucunda tek ve çift faz model sonuçları arasındaki ortalama ısı transfer katsayısındaki maksimum fark yaklaşık % 11 olduğu ve nanoakışlar için taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkanınkinden daha büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca ısı transferinin artırılması partikül hacmi konsantrasyonu ile birlikte arttığını, ancak bunun kayma gerilmesini de arttırdığını görmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalar ile Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi daima geliştiğini de fark etmişlerdir (Bianco vd., 2009).

Ding vd. klasik soğutma maddelerinin yerine nanoakışkanların kullanılmasının avantajını incelemişlerdir. Nanoakışkanların ısı transferini artırması nedeniyle, alternatif bir soğutucu madde olarak kabul etmişler ve böylece gerekli soğutma akışkanı gücünü azaltmışlardır. Laminar akış koşulları altında taşınım ısı transferinin sayısal simülasyonlarını elde etmişlerdir. Ding ve arkadaşları yaptıkları bu çalışma sonucunda, artan nanopartikül hacminin duvar kayma gerilmesi üzerindeki etkisi olduğunu görmüşlerdir. Nanoparçacıkların hacim fraksiyonunun artmasıyla hem ısı transfer katsayısının hem de duvar kayma geriliminin arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Ding vd., 2009).

Timofeeva ve diğerleri, nanoakışkanlarda viskozite, ısı iletkenlik ve soğutma verimliliği gibi kavramların etkisini incelemişlerdir. Tek fazlı sıvılar için soğutma verimliliği ölçümlerini analiz edip, ısı transferi için önemli olan nanoakışkanların özelliklerini belirlemişlerdir. Timofeeva ve arkadaşları, nano boyuttaki parçacıkların temel akışkan içindeki konsantrasyonun ısı transferini artırmak için en etkili parametre olduğunu ortaya koymuşlardır (Timofeeva vd., 2010).

Hazmah su ve etilen glikol gibi temel akışkanlar ile nanopartikül boyutundaki materyali karıştırıp ısı transferini inceleyerek, nanoakışkanları regresyon denkleminin geliştirilmesine odaklanmıştır. Çalışmaları sonucunda, nanoakışkanların viskozite, özgül ısı yoğunluk, ve yoğunluk oranı ile ilgili ortalama sapma değerleri bulmuştur (Mohd Yusof Bin Taib, 2010).

Ahmed ve arkadaşları ısıtılan oluklu kanal üzerinden bakır-su nanoakışkanını ısı transferi ve basınç düşüşü özelliklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre ısı transferinin, Reynolds sayısı ve nano parçacık hacim fonksiyonu arttıkça arttığı ancak basınç düşüşünde de hafif bir artış olduğunu görmüşlerdir (Ahmed vd., 2011).

Hosseini vd. termal iletkenlik, viskozite, yoğunluk ve özgül ısı gibi nano sıvıların fiziksel özellikleri hakkında mevcut tüm formül ve korelasyonları gözden geçirip sınıflamışlardır. Yaptıkları incelemeler ile nano sıvıların fiziksel özellikleri üzerine parçacık konsantrasyonu, parçacık ve baz sıvısının fiziksel özellikleri, sıcaklık gibi birçok faktörün etki ettiğini görmüşlerdir. Tüm korelasyonun parçacık boyutu ve malzemesine bağlı olduğunu yüksek partikül hacmi konsantrasyonunda viskozite, yoğunluk ve özgül ısının etkinliğinin daha belirgin olduğunu fark etmişlerdir ve burada viskozite, yoğunluk ve özgül ısının sabit olduğunu varsaymışlardır (Hosseini vd., 2011).

Sasmito vd. yaptıkları çalışma ile bobinlerdeki nano sıvı akışkanını kullanan geometri efektini birleştirerek ısı transferini arttırmayı amaçlamışlardır. Al_2O_3 -su ve CuO_2 süspansiyonları içeren akışkanların akış davranışı ve ısı aktarım performansını inceleyip düz tüp içinde akan suyun akış davranışlarıyla karşılaştırmışlardır ve simülasyona aktarmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre % 1'e kadar olan nano partikül ilavesinin ısı transfer performansını önemli ölçüde artırdığını daha fazlasını ise ısı transfer performansını bozma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir (Sasmito vd., 2011).

Sridhara ve Satapathy soğutma teknolojisinde verimi artırmak istemişlerdir. Metalik veya metalik olmayan nanometre boyutlu katı partikülleri, su, yağ, dizel, etilen glikol, vb. gibi ısı transfer akışkanlarına ekleyerek yeni ısı transferi akışkanları elde etmişlerdir. Yeni nanoakışkanları baz sıvılarla karşılaştırmışlar ve önemli ölçüde daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu görmüşlerdir. Özellikle Al_2O_3 nanopartikül esaslı nano sıvıları incelemişler ve bu nano sıvıların ısı iletkenliğinin artırılması, viskozitesi gibi konularını ele almışlardır. Ve termal iletkenlikte artışın %2 ile %36 arasında olduğunu görmüşlerdir (Sridhara ve Satapathy, 2011) .

Manay vd. ilk başta ısı değıştiricilerinin de boyutlar mikro veya makro yapılarak üretimde hassasiyetin arttırılabileceğini düşünmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalarda mikro kanallı yüzeylerde daha çok ısı transferi yapılabildiğini ortaya çıkarmışlardır. Bunun dışında iş yapan akışkanın özelliklerini de değıştirerek yine ısı transferinin iyileşmesini beklemişlerdir. Manay ve arkadaşları bu mikro kanalların içerisinde yine nanoakışkanlar kullanılarak elde edilen kararlı ve homojen yapının cidarlarda tıkanmaya yol açmayacağını ve aynı zamanda türbülans sağlayarak, ısıl iletkenliklerinin yüksek olması ile daha iyi bir ısı transferi elde edilmiş olacağını ortaya koymuştur. Fakat partiküllerin varlığının kanallar içerisinde basınç düşümüne neden olabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca Manay ve arkadaşları kanal yüzeyi ile nanoakışkan arasındaki sıcaklık farkını azaltarak ısıl direncin azalmasını da etkilemişlerdir. Nusselt ve Reynolds sayılarının da arttığını görmüşlerdir (Manay vd., 2012).

Hashemi ve arkadaşları sabit ısı akışı altındaki helisel kıvrımlı bir boruda CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonunu ele alıp, ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşünü değerlendirmişlerdir. Çalışmacılar elde ettikleri sonuçlara göre; düz boru yerine kıvrımlı boru kullanmanın ısı transferini arttırdığı, ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşünün baz sıvısı yerine nanoakışkan kullanılarak arttığını savunmuşlardır (Hashemi vd., 2012).

Ahmed vd. iki boyutlu bir dalgalı kanaldaki laminar akışta bakır-su nanoakışkanının ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Sayısal çözümler için sonlu fark yöntemini kullanmışlar ve belirli bir Reynolds sayısı ve belirli bir hacim konsantrasyonunu ele almışlardır. Dalgalı kanalın genliği arttıkça sürtünme katsayısının ve Nusselt sayısının da arttığını görmüşlerdir. Buna ek olarak, ısı transferindeki artışın ağırlıklı olarak dalga boyundan (L_w) ziyade nano partikül hacim konsantrasyonuna, dalgalı duvarın genlik derecesine ve Reynolds sayısına bağlı olduğunu bulmuşlardır (Ahmed vd., 2012).

Kabeel vd. oluklu plakalı ısı eşanjörü için ısı transfer özelliklerini incelemişlerdir. Baz sıvısı olarak su ve nano partikül olarak Al_2O_3 kullanmışlar ve ısı aktarım katsayısı, güç ve basınç düşüşünü göze almışlardır. Sonuçları teorik bir modelle karşılaştırıp doğrulamışlardır. Nano materyal konsantrasyonunun arttırılmasıyla hem ısı transfer katsayısında hem de aktarılan güçte belirgin bir artış gözlemişler, hem

basınç düşüşü, hem de gerekli pompalama gücünün ise nanoakış konsantrasyonundaki ve Reynolds sayı değerindeki artışla birlikte arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Kabeel vd., 2012).

Gavtash ve arkadaşları bu çalışmalarında Fluent CFD yazılımını kullanarak, nano sıvıların silindirik ısı borularının termal performansı üzerindeki etkilerini modelleme ve simule etmeyi amaçlamışlardır. Sıvı akışkan (su) içerisinde nano parçacık varlığında basınç ve eksenel hızı araştırmışlardır. Parçacık yoğunluğunun ve boyutunun etkisini incelemişler ve sistemin çalışma sıvısı olarak nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun ısı performansının iyileştiğini görmüşlerdir. Ayrıca ısı iletkenliğinin parçacık konsantrasyonunun seviyesi arttıkça ve partikülün yarıçapı azaldıkça düştüğü sonucuna varmışlardır (Gavtash vd., 2012).

Duangthongsuk vd. Al_2O_3 -su içeren nanoakışkanların kaynama özelliklerine ilişkin bir deney yürütmüşlerdir. Araştırmalarının temel amacı, nanoakışkan konsantrasyonunun ve basıncının, su ile karşılaştırarak ısı iletim katsayısı ve ısı akısı üzerindeki etkisini incelemektir. Deneysel aparatı su ile kalibre etmişler ve deneysel sonuçları Rohsenow denklemi ile ortaya koymuşlardır. Duangthongsuk ve arkadaşları yaptıkları deney sonucunda, Al_2O_3 -su içeren nanoakışkanların ısı transfer katsayısının suyunkinden düşük olduğunu ve konsantrasyon yüksek olduğunda azalma eğiliminde olduğunu görmüşlerdir (Duangthongsuk vd., 2013).

Çağ ve Teymur, nanoakışkanlar ve nanoakışkanların ısı transferi iyileştirilmesine etkilerini incelemişlerdir. Nano parçacık oluşturma yöntemlerini ele alıp, endüstriyel alanlarda nanoakışkan uygulanabilirliğini gözlemlemişlerdir. Yaptıkları deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda, nano boyuttaki parçacıklar akışkanın termal iletkenliğini arttırdığını, bunun türbülans ve çalkantılar sonucunda meydana geldiğini, literatürde inceledikleri çalışmalarda basınç düşümünde çok az derecede artış olduğunu, var olan çalışmalar içinde tek fazlı olanlarının yetersiz olduğunu, termal iletkenliği yansıtan en iyi modelin hala geliştirilmediğini bunun için çok daha fazla çalışma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir (Çağ ve Teymur, 2013).

Chavda vd. farklı tip bağlantı parçalarındaki yerel kayıp katsayısını ve sürtünme faktörünü incelemişlerdir. Bunun için laminar akış altında suya farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 eklemişler ve bunu bağlantı parçalarının içinden geçirerek

deneysel bir çalışma elde etmişlerdir. Bağlantı parçalarında nanoakışkan kullanılması durumunda ulaştıkları sonuçları su ile kıyaslamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları deneysel verilerden elde ettikleri bulgulara göre; suya kıyasla Al_2O_3 'nin hacim konsantrasyonu arttıkça farklı bağlantı parçaları için sürtünme faktörü ve yerel kayıp katsayısının arttığını savunmuşlardır. Nanoakışkan kullanımı nedeniyle, akışkanın akmaya karşı direncinin arttığını bunun da sürtünme faktörünü arttırdığını belirtmişlerdir (Chavda vd., 2014).

Patel ve arkadaşları, bir santrifüj pompayı ele almışlar ve içerisinden nanoakışkanlar geçirerek ısı transferini ve pompa verimliliğini deneysel olarak incelemişlerdir. Bazı sıvısı olarak suyu ele almışlar ve içerisinden farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanlarını geçirmişlerdir. Araştırmacılar deneysel verilerden elde ettikleri sonuçlara göre; santrifüj pompanın verimliliğinin nanoakışkanların artan konsantrasyonlarına bağlı olarak azaldığını belirtmişlerdir (Patel vd., 2015).

Mohamad nanoakışkanların ısı transferi iyileştirmek için kullanılmasının fizik kurallarına çokta uygun olmadığını belirttiği makalesinde temel akışkana nano parçacık eklenmesinin (akışkanın yoğunluna kıyasla) kaldırma kuvveti ve doğal konveksiyonu azaltacağını savunmuştur. Ayrıca nano parçacıkların eklenmesi sonucu etkin viskoziteyi artıracığı bunda zorlanmış taşınım ve basınç düşüşünü olumsuz etkileyeceğini ve bu parçacıkların yüzeylere çarpması sonucu erozyonların artabileceği belirtmiştir (Mohamad, 2015).

Kakaç ve Pramuanjaroenkijj, çalışma sıvısı olarak kullandıkları termal sistemlerde konvektif ısı aktarım hızını artırmak amacıyla nanoakışkan kullanımının avantajını incelemişlerdir. Tek ve iki fazlı sistemlerde çalışmalar yapmışlardır. Nano yakıtlar tarafından ısı transferinin artırılmasının, partiküller arasındaki fiziksel etkileşim modelinde bulunan diferansiyel denklemlere bağlı olduğunu düşünmüşlerdir. Karışım modelinin, fiziksel özelliklerinin birleştirilmesi ve daha az hesaplama gücü gereksinimi gibi avantajlara rağmen, bazı çalışmalarda tek fazlı ve iki fazlı modellerin sonuçlarının çok benzer olduğunu temel farkın, fazların birbirine göre sürüklenme hızlarının etkisinden oluştuğunu görmüşlerdir. Ve iki fazlı modelin daha karmaşık ve hesaplama açısından daha maliyetli olduğunu her bir faz için denklemlerin ayrı ayrı çözülmesi ve fazlar arası koşullardan kaynaklandığını belirtmişlerdir (Kakaç ve Pramuanjaroenkijj, 2016).

Farsani ve Nodooshan 90° kare kesitli yatay bir tüpte zorlanmış ısı transferini sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Çalışma sıvısı olarak Al_2O_3 nanoakışkanını ele alıp sonlu hacimler yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre, nanoakışkanın hacim konsantrasyonu ve Reynolds sayısının artmasıyla dirsek içerisindeki ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Aynı zamanda boru içerisindeki içbükey yüzey, ısı transferi açısından dışbükey yüzeyden daha büyük bir etkiye sahiptir (Farsani vd., 2015).

Barik vd. 90° dirsek bağlantı parçasından Al_2O_3 , Ti_2O_3 ve CuO nanoakışkanlarını geçirip sonlu hacimler yöntemi kullanarak ısı transferini hesaplamışlardır. Reynolds sayısını 2500 ve 6000 arasında değiştirip, k- ϵ türbülans modelinde çözümler yapmışlardır. Barik ve arkadaşları yaptıkları sayısal çalışmalar sonucunda nanoakışkanların hacim fonksiyonlarının değişiminin ısı transferini önemli ölçüde arttığını görmüşlerdir. Ayrıca ısı transferinin Reynolds sayısı ile de arttığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar dirsek bağlantı parçasının dış duvar olarak tanımladıkları bölgede ikincil bir akış olduğunu görüp, buradaki kinetik enerjinin iç duvardan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ısı transferiyle beraber hesapladıkları Nusselt sayısının mevcut literatürün bir kısmı ile doğrulamışlardır. Diğer nanoakışkanlara karşı ısı transferindeki en fazla artışın CuO nanoakışkanında olduğunu görmüşlerdir (Barik vd., 2016).

Huminic ve arkadaşı sarmal borularda, spiral kıvrımlı borularda ve diğer kavisli borularda temel akışkan ve nanoakışkan kullanılması durumunda gerçekleşen ısı transferi ve akış özelliklerini hakkında yayınlanmış makaleleri derlemişlerdir. Huminic vd. yaptıkları derleme çalışmalarının sonunda ısı transferi açısından en kapsamlı çalışmaların kavisli borularda yapıldığını görmüşlerdir. Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü açısından en kapsamlı çalışmanın ise sarmal borularda olduğunu görmüşlerdir. Nanoakışkanların ısı transfer katsayılarının temel akışkandan daha yüksek olduğunu belirtip kavisli boruların termohidrodinamik performanslarının nanoakışkan kullanımı ile artırılabilceğini söylemişlerdir. Ayrıca nanoakışkanların sürtünme faktörü ve basınç düşüşünün de çok yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalar sonucunda ısı transferi ve akış özelliklerini incelemek için özellikle kavisli borularda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir (Huminic vd., 2016).

Dutta vd. 90° dirsek bağlantı parçası için yüksek Reynolds sayılarında akışkanın özelliklerini incelemişlerdir. Akışı tek fazlı olarak ele almışlar ve k - ϵ türbülans modelini kullanmışlardır. Akış ayrılma bölgelerini birincil ve ikincil akış ayrılma bölgesi olarak tanımlamışlar ve hız vektörlerinin dağılımlarını göstermişlerdir. Dutta ve arkadaşları araştırmalarından elde ettikleri sonuçlara göre; Reynolds sayısı arttıkça bağlantı parçasının iç ve dış bükümlerinde hız profilinin etkileri artıp azalarak tam gelişmiş şeklini elde ettiğini görmüşlerdir. Reynolds sayısının çok yüksek değerlerinde ise bağlantı parçasının eğriliğinin etkisinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır (Dutta vd., 2016).

Vasa vd. 180° üçgen kesitli bir U bağlantı parçasında Al_2O_3 nanoakışkanın farklı konsantrasyonlarında ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Reynolds aralığını 5000 ile 30000 arasında değiştirip türbülanslı akış durumunu ele almışlardır. Vasa ve arkadaşları elde ettikleri sonuçlara göre hem Reynolds sayısının hem de nanoakışkanın hacim fonksiyonu arttıkça bağlantı parçasının ısı transferinde de önemli bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir (Vasa vd., 2017).

Çelen ve arkadaşları 180° kavisli kare kanal içerisinden Al_2O_3 nanoakışkanı geçirip üç boyutlu bir laminar akışın sayısal incelemesini yapmışlardır. Kanal yüksekliği, Dean sayısı, hacim fonksiyonunun akışkanın akış ve ısı transferi üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri sayısal sonuçlara göre, kavisli kare kanal kullanıldığında ısı transferinin % 59.0 oranında arttığını, bu kanal içerisinden nanoakışkan geçirildiğinde ise yine ısı transfer katsayısının % 30.8 oranında arttığını görmüşlerdir. Ayrıca nanoakışkanların hacim oranı, Dean sayısı ve kanal yüksekliği arttıkça ısı transfer katsayısının ve basınç düşüşünün arttığı sonucuna ulaşmışlardır (Çelen vd., 2017).

Das, uzun vadeli kararlı bir nanoakışkan hazırlanmasının, ısı transferi uygulamalarında daha iyi kullanılacağını, sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından da temel gerekliliklerden biri olduğunu düşünmüştür. Termal iletkenliği etkileyen katı hacim fraksiyonu, farklı baz sıvılar, sıcaklık, parçacık boyutu, pH, sonikasyon, yüzey aktif maddeler ve nanoakışkan gelişiminde termal iletkenliğin artırılmasına ilişkin çeşitli mekanizmalar da dahil olmak üzere çeşitli faktörleri tartışmıştır. Ayrıca melez nanoakışkanların sentezi, hazırlama yöntemleri, ısı iletkenlik ve sorunları da göz önüne almıştır. Efektif parametrelerin termofiziksel özelliklere etkisi hakkında

literatürde birçok çelişkili sonuç olduğunu görmüştür. Das yaptığı geniş çaplı çalışmalar sonucunda tüm parametrelerin, herhangi bir nano yakıtın termofiziksel etkisini önemli derecede etkilediği ve melez nano yakıtının, normal nano yakıtlardan daha iyi ısı iletkenlik özelliği sergilediği bulmuştur (Das, 2017).

Cürebal vd. farklı çaplarda 90° dönümlü dirsek bağlantı parçasının içerisinden su, hava, doğalgaz olmak üzere üç farklı akışkan geçirmişler ve üç boyutlu sayısal çözüm elde etmişlerdir. Çözümlemelerinde birçok farklı türbülans modeli kullanmışlar ve yerel kayıp katsayısının Reynolds sayısına göre değişimini detaylı olarak incelemişlerdir. Dirsek bağlantı parçası boyunca ortalama hız ve basınç dağılımlarını elde etmişlerdir. Cürebal ve arkadaşları yaptıkları çalışmalardan elde ettikleri sonuçlara göre; yerel kayıp katsayısının belirlenmesinde kullandıkları türbülans modellerinden SST k- ω modelinin daha uygun sonuçları verdiğini görmüşlerdir. Ayrıca bağlantı parçasındaki yerel kayıp katsayısının sabit bir değerde olmadığı borunun çapının ve akışkanın hızının artmasıyla azaldığı sonucuna ulaşmışlardır (Cürebal vd., 2018).

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD); ısı transferi ve akışkanlar mekaniği ile ilgili karışık ve çözümü uzun zaman alan problemlerin çözümünde kullanılan bilgisayar destekli tasarım programlarıdır. Uygulaması yapılacak olan mühendislik tasarımlarının simülasyon çalışmaları önceden yapılarak, uygulamadan önce tasarlanacak ürünler hakkında bilgi edinme sürecini aylar mertebesinde günler mertebesine indirebilir. Deneysel olarak çalışmanın zor veya imkânsız olduğu büyük sistemlerde çalışma imkânı verir. Teknolojinin günden güne gelişmesi sonucunda ortaya çıkan yüksek hızlı bilgisayarlar sayesinde karmaşık gözüken bütün akış problemlerinin çözümü kolaylaştırılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği; günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Aerodinamikte, hidrodinamikte, elektrik-elektronik mühendisliğinde, meteorolojide, biomedikal mühendislikte v.b. alanlarda kullanılmaktadır. Kullanılan paket programlarından bazılarına örnek olarak Ansys, Phoenix, MIXSIM sayılabilir. Yapılan tez çalışmasında ANSYS-Fluent paket programı kullanılmıştır.

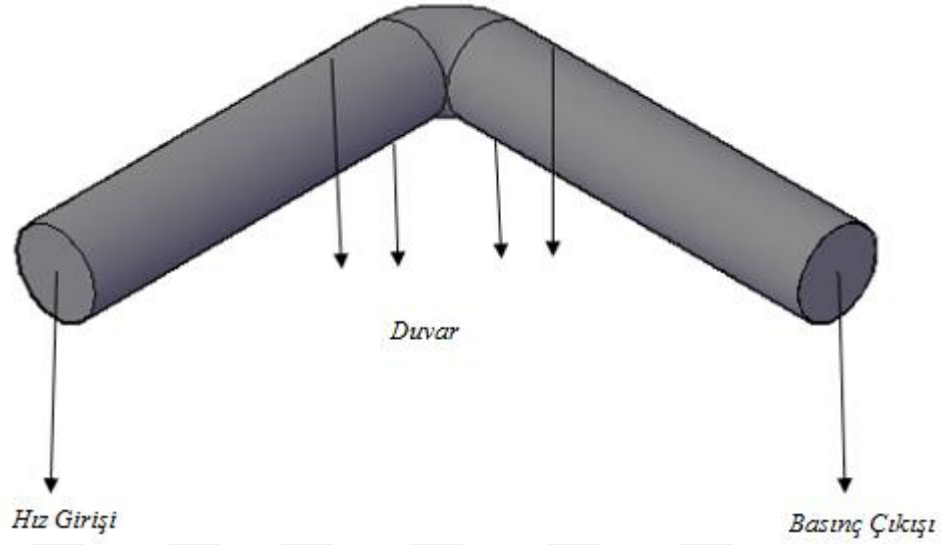
3.1. Modellerin Tanımlanması

İncelenen bağlantı malzemeleri GAMBIT ve ANSYS Design Moduler programında modellenmiştir. L bağlantı parçası, T bağlantı parçası, 90° dönümlü dirsek bağlantı parçası ve redüksiyonlar (ani daralma, ani genişleme) olmak üzere 5 farklı bağlantı parçası ele alınmıştır. Modellenen parçaların boyutları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Bağlantı Parçalarının Çapları

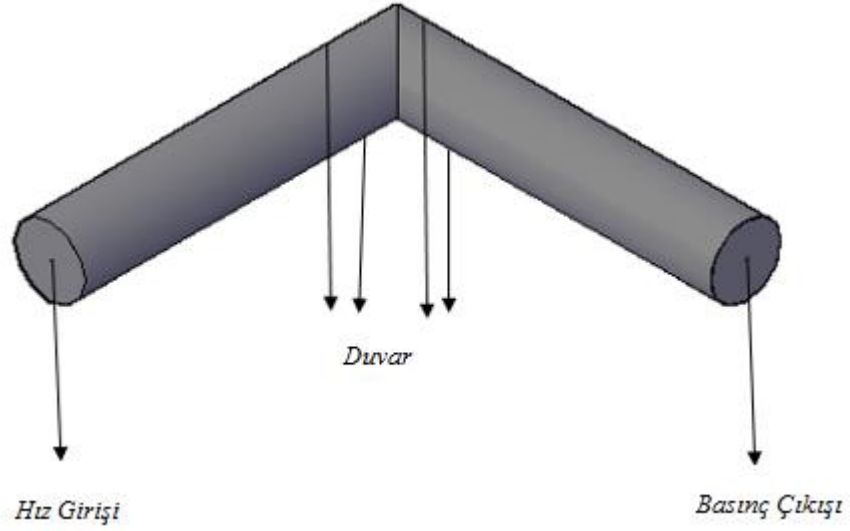
Boru	Hız Giriş Çapı (m)	Basınç Çıkış Çapı (m)
Dirsek	0,2	0,2
L	0,2	0,2
T	0,2	0,2
Ani Daralma	0,4	0,2
Ani Genişleme	0,2	0,4

Kullanılan bağlantı malzemelerinde giriş ve çıkış uzunluğu 5 metre alınmıştır. Malzemelerin 3 boyutlu şematik gösterimi ve uygulanan sınır şartları Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5’ te verilmiştir.

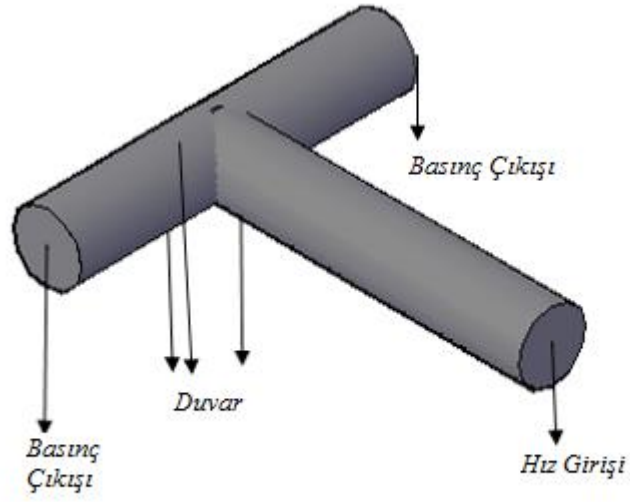


3.1. 90° dönümlü dirsek bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları

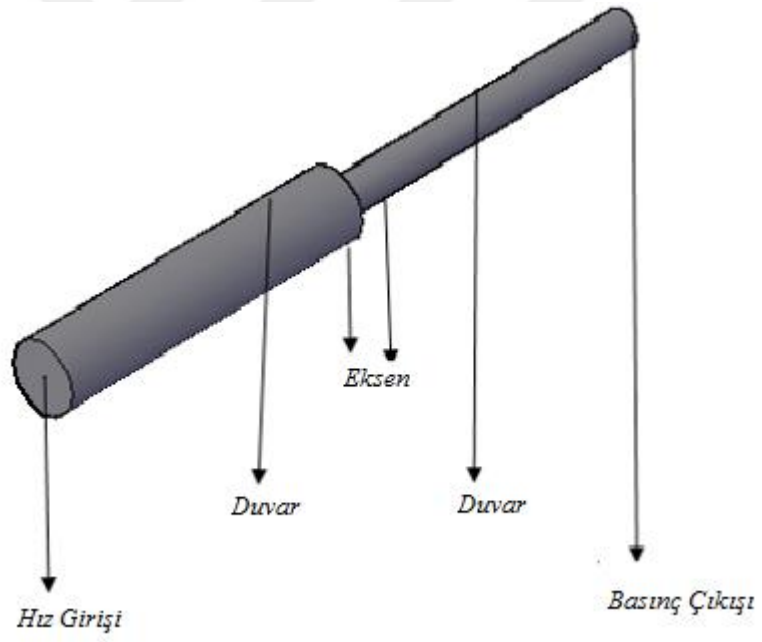
Şekil



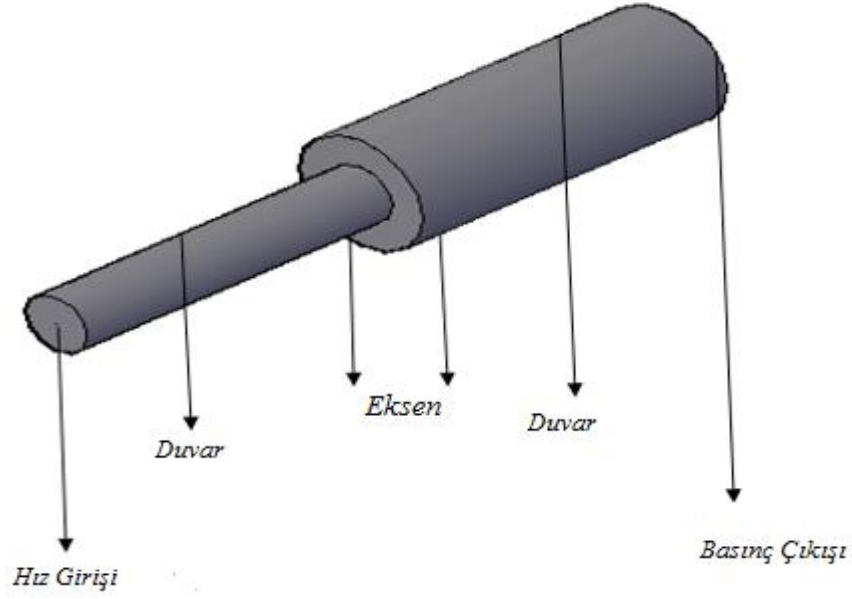
Şekil 3.2. L bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları



Şekil 3.3. T bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları



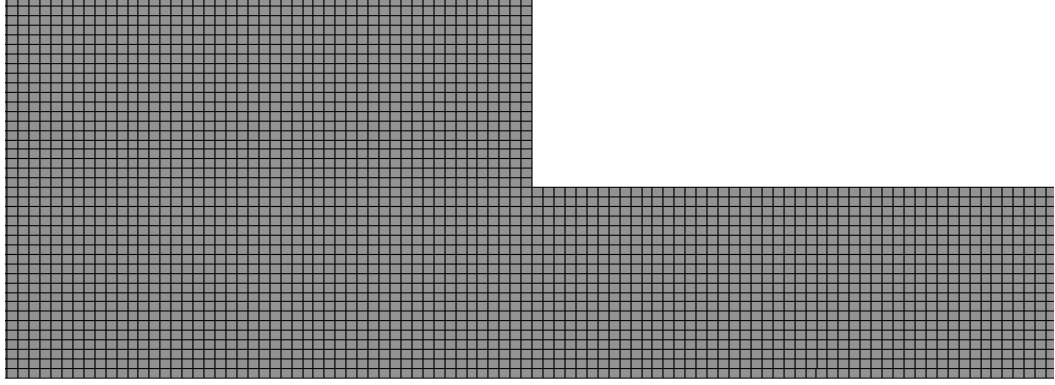
Şekil 3.4. Ani daralma bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları



Şekil 3.5. Ani genişleme bağlantı parçasının modeli ve sınır şartları

3.1.1. Problemin Hacimlere Bölünmesi (Grid Üretimi)

Çözülecek olan problem FLUENT programında simülasyona başlamadan önce Gambit adı verilen programda N kadar küçük kontrol hacmine bölünür. Daha sonra program her bir hacim için denklemleri çözerek sonuçları verilen değerlere yakınsamaya çalışır. Çalışmada kullanılan geometrilerde üç boyutlu çözüm yapılmıştır. Grid üretimi de kartezyen koordinatlarda x, y ve z düzlemlerinde oluşturulmuştur. Bir model için oluşturulan örnek ağ yapısı Şekil 3.6’da sunulmuştur. Şekilden de anlaşıldığı gibi hesaplamalı akışkanlar dinamiği için en uygun olan kare ağ yapısı elde edilmiştir. Dirsek bağlantı parçası için dönüşlerde tam olarak kare ağ elde edilmemiş olsa da, çözüm algoritmasına son derece uyumlu bir ağ yapısı elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Ani daralma bağlantı parçası ağ örgüsü

3.2. Modellerin Sınır Şartları

Tüm bağlantı parçalarında akışkanın girişi için uniform hız sınır şartı, çıkışı için ise basınç çıkışı sınır şartı ile tanımlanmıştır. Akışın tam olarak gelişmesini sağlamak ve çıkış etkilerini azaltmak için giriş bölgesi uzunluğu (L_g) ve çıkış bölgesi uzunluğu (L_c) inceleme bölgesinde oldukça uzak ($L_g \gg 10D$) alınmıştır.

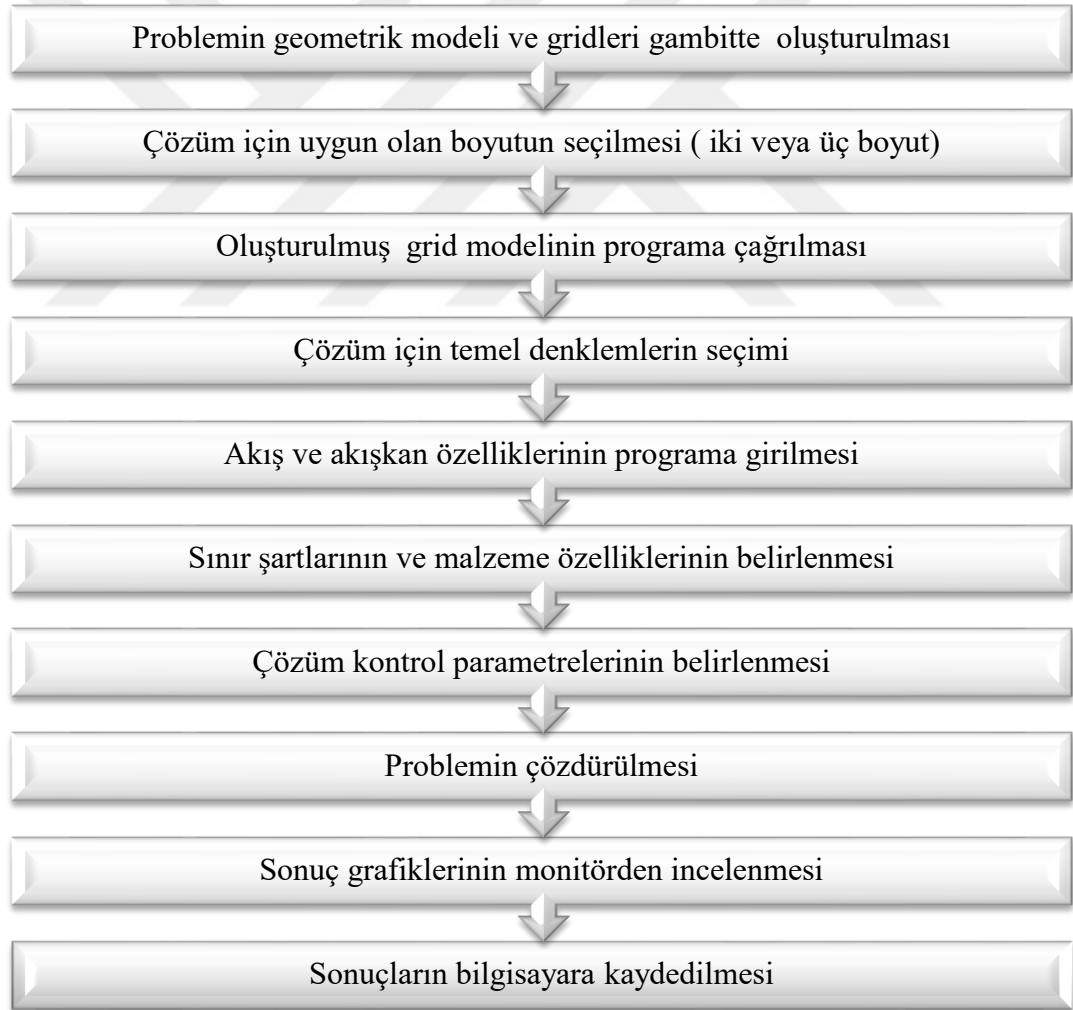
L bağlantı parçası, T bağlantı parçası, 90° dönümlü dirsek bağlantı parçası GAMBIT’te modellenmiştir. Her üç bağlantı parçası için boru girişlerinin sınır tipi ‘hız girişi’, boru çıkışlarının sınır tipleri ‘basınç çıkışı’ ve boru cidarları ‘duvar’ olarak tanımlanmıştır. Redüksiyon parçaları ise (ani daralma ve ani genişleme) ANSYS Design Moduler’de modellenmiştir. Redüksiyon parçaları yine için boru girişlerinin sınır tipi ‘hız girişi’, boru çıkışlarının sınır tipleri ‘basınç çıkışı’ ve boru cidarları ‘duvar’, boru ekseninin sınır tipi ise ‘eksen’ olarak tanımlanmıştır.

Hız girişi sınır şartında, giriş yüzeyi boyunca giren akışın hızı belirtilir. Türbülans denklemleri de çözüleceği için akışının sıcaklık gibi türbülansını etkileyen özelliklerinin de belirtilmesi gerekir. Basınç çıkışı sınır şartında akışkan hesaplama bölgesinden dışarı akar. Çıkış boyunca statik basıncın belirtilmesi gerekir. Hareket denklemlerini düşünüldüğünde basınç ve hız birbirine bağlıdır. Hız girişinde basınç belirtilmez aynı şekilde basınç çıkışında da hız belirtilmez. Çünkü hız girişinde basınç geride kalan akış alanı için kendini ayarlar. Aynı durum basınç çıkışı için de geçerlidir.

Bu çalışmada redüksiyon parçalarının çözümlemesinde kullanılan eksen sınır şartı simetri eksenini temsil eden kenara uygulanmıştır. Simetri eksenini ise xy düzleminde x eksenini baz alınarak oluşturulmuştur. Çalışmanın bir yüzeyi boyunca akan akış değişkenleri aynı yapıya sahip ikinci bir yüze sayısal olarak bağlanır. Bir yüzden ayrılan akış özellikleri (hız, sıcaklık, basınç vb.) aynı olan ikinci yüze giriyormuş gibi düşünülebilir. Simetri sınır şartı uygulanması durumunda çözüm için gerekli olan süre yarıya indirgenmiştir.

3.3. Problemin Çözüm Aşamaları

Tez çalışmasının çözüm aşamaları aşağıda gösterilmiştir.



3.4. Sayısal Metod

Bağlantı parçalarının sayısal çözümünde ANSYS-Fluent paket programı kullanılmıştır. Basınç için standart durumu ele alınmıştır. Momentum, enerji için ikinci dereceden upwind diskritizasyonu kabul edilmiştir. Viskoz modeli için farklı Reynolds sayılarına bağlı olarak laminar model, k- ϵ standard modeli, k- ϵ RNG ve k- ω standard modeli olmak üzere dört çözüm modeli kullanılmıştır. Hangi modelin uygun olduğu belirlenmiştir. Model çözümlenmesi sırasında başlangıç şartları hız girişine göre alınmıştır. Yakınsama kriteri 10^{-5} olarak alınmıştır. Çalışmada kullanılan geometriler çok karmaşık olmadığından ve enerji denklemleri çözümlenmediğinden yakınsama kriteri kabul edilebilir (10^{-3} - 10^{-4}) değerlerin üzerinde seçilerek çözümün hassas olması sağlanmıştır.

3.5. Temel Denklemler

3.5.1. Reynolds Sayısı

Bu çalışmada, 500 ve 5000 olmak üzere iki farklı Reynolds sayısı, Re kullanılmıştır. Böylece incelenen bağlantı malzemelerinin hem laminar hem de türbülanslı akıştaki karakteristikleri incelenmiştir. Reynolds sayısı şu şekilde tanımlanmıştır;

$$Reynolds = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.1)$$

Burada ρ , V , D ve μ sırasıyla akışkanın yoğunluğu (kg/m^3), ortalama akış hızı (m/s), kullanılan kesitin çapı (m) ve dinamik viskozitedir (kg/ms).

3.5.2. Yerel Kayıplar ve Kayıp Katsayısı

Boru akış problemlerinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli etken, borudaki akışın rejimi, borunun fiziksel olarak boyutları, boru yapımında kullanılan malzeme, akışkanın yön değiştirmesine sebep olan geometrik faktörlerden meydana gelen enerji kayıplarıdır. Meydana gelen kayıplar akışın laminar, geçişli veya türbülanslı olmasına bağlı olarak değişmektedir. Akış problemlerinde meydana gelen enerji kayıpları, viskoziteden meydana gelen sürtünmeden dolayı meydana gelen

sürekli yük kayıpları ve tesisat bağlantı elemanlarının sebep olduğu direncin meydana getirdiği yerel kayıplar olarak iki sınıfta değerlendirilebilir.

Bir boru akışında sürtünmeden kaynaklanan kayıplar sürekli, yani daima mevcuttur. Bu yüzden sürekli kayıp olarak tanımlanır. Bu kayıplar akışın yoğunluğu, viskozitesi, boru çapı, boru uzunluğu, boru iç yüzeyinin pürüzlülüğü ve akış hızına bağlıdır. Akışın laminar olduğu durumda sürtünme faktörü sadece Reynolds sayısına bağlı olarak değişir. Akışın geçişli olduğu bölgede ise sürtünme faktörü hem Reynolds sayısına bağlı olarak hem de pürüzlülüğe bağlı bir şekilde değişir. Türbülanslı akışın olduğu bölgelerde ise sadece sürtünme faktörünün etkisi vardır. Darcy-Weisbach denklemindeki sürtünme faktörü laminar akış için uygun bir şekilde kullanılabilir ve uygulamada zorluk çıkarmaz. Öte yandan, türbülanslı akışlara ait hız dağılımlarını analitik olarak belirlemek oldukça zor olduğundan deneysel çalışmalardan faydalanılır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ampirik formüllerle ifade edilebilir.

Bir boru içerisindeki akışta yerel yük kaybına neden olan bağlantı elemanları vardır. Bu bağlantı elemanlarına örnek olarak; sürekli daralıp, genişleyen borularda geçişi kolaylaştıran difüzörler, giriş ve çıkış çaplarındaki ani genişleme ve ani daralmalar, T geçişi, akışı kontrol edip yönlendiren vanalar sayılabilir. Bu gibi bağlantı elemanlarında yerel yük kayıpları (m) aşağıda verilen ifadeler ile hesaplanabilir;

$$H_k = \frac{\Delta P}{\rho g} = K_k \frac{V^2}{2g} \quad (3.2)$$

H_k : Yerel yük kaybıdır (m)

ΔP : İki nokta arasındaki basınç farkıdır (Pascal)

ρ : Akışkanın yoğunluğudur (kg/m^3)

g : Yerçekimi ivmesidir ($9,81 m/s^2$)

K_k : Yerel kayıp katsayısıdır

V : Ortalama akış hızıdır (m/s)

Bu formül hem laminar akış hem de türbülanslı akış için yük kayıplarının hesaplanmasında kullanılabilir.

3.5.3. Pompa Gücü

Pompalar dışarıdan aldıkları enerjiyi akış enerjisine dönüştürüp, akışkanı bulunduğu noktadan daha yükseğe çıkaran, boru içinden geçen akışkanı hareket ettirebilmek için yukarıda bahsedilen kayıpları karşılayan enerjiyi sağlarlar. Pompanın akış gücünün basma yüksekliği ve debisi ile ilgili bir ilişkisi vardır. Bu ilişki, pompanın giriş ve çıkışları arasında enerjinin korunumu denklemi yazılarak bulunabilir (Çengel vd., 2008). Birim debiye sahip akışkan için belirli iki noktası arasındaki enerji denklemi;

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 + gh_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + gh_k \quad (\text{J/s}) \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Pompa giriş ve çıkışındaki kütleli debi eşit ve $\dot{m}$ olarak kabul edilirse yukarıdaki denklem;

$$\dot{m} \frac{P_1}{\rho} + \dot{m} \frac{V_1^2}{2} + \dot{m}gz_1 + \dot{m}gh_p = \dot{m} \frac{P_2}{\rho} + \dot{m} \frac{V_2^2}{2} + \dot{m}gz_2 + \dot{m}gh_k \quad (\text{J/s}) \quad (3.4)$$

olarak yazılabilir. Giriş ve çıkışta hızlar ve konumlar eşit ($V_1 = V_2$, $z_1 = z_2$) olduğundan yukarıdaki denklem,

$$\dot{m} \left(\frac{P_1}{\rho} - \frac{P_2}{\rho} \right) + \dot{m}gh_p = \dot{m}gh_k \quad (3.5)$$

Pompalardaki kayıp enerji miktarı, pompanın verimi ile ifade edileceğinden dolayı yukarıdaki denklemde kayıp enerji ihmal edilebilir. Yani, $\dot{m}gh_k=0$ alınabilir. Bu durumda denklem,

$$\dot{m} \frac{P_1}{\rho} - \dot{m} \frac{P_2}{\rho} + \dot{m}gh_p = 0 \quad (3.6)$$

$$\dot{m} \left(\frac{m^3}{s} \right) * \Delta P (N/m^2) = \dot{m} \left(\frac{kg}{s} \right) g \left(\frac{m}{s^2} \right) h_p (m) \quad (3.7)$$

Denklem (3.7) den görüldüğü gibi hacimsel debi ile pompa giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkının çarpımı pompanın gücünü verir.

Pompanın akış gücü, belirli debideki sıvıyı belirli bir manometrik yüksekliğe çıkaran güç olduğuna göre manometrik yükseklik deneysel olarak tespit edilirse akış gücü belirlenmiş olur.

$$W = \dot{Q} \cdot \Delta P \quad (3.8)$$

Burada W , $\dot{Q}$, ΔP sırasıyla; akışkana aktarılan faydalı güç (Watt), hesaplanan hacimsel debi (m^3/s) ve pompa giriş ve çıkışı arasında deneysel olarak ölçülen basınç farkıdır (Pa) (N/m^2). $\dot{m}$ ise kütle debisidir (kg/s).

3.5.4. Hesaplamalarda Kullanılan Denge Denklemleri

Kullanılan modellerde endüstride standard haline gelmiş ve mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan laminar model, standard $k - \epsilon$ modeli, RNG $k - \epsilon$ modeli, standard $k - \omega$ modeli gibi 2 denklemlilikli türbülans modelleri tercih edilmiştir. Bu modeller ile akışın türbülans özellikleri Navier-Stokes denklemine ek olarak gelen iki adet denklem ile ifade edilir (Uğurlubilek, 2009).

3.5.4.1. Navier-Stokes Denklemleri

Navier-Stokes denklemleri olarak,

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.9)$$

x-Momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.10)$$

y-Momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3.11)$$

z- Momentumu denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.12)$$

u, v, w : Akışkanın sırasıyla x, y ve z yönündeki hızlarıdır

μ : Dinamik viskozite

P : Basınç

3.5.4.2. Standard k – ε Türbülans Modeli Denklemleri

Standard k – ε türbülans modeli bazı sınırlamaları olmasına rağmen bir çok endüstriyel uygulamada başarılı sonuçlar veren bir türbülans modelidir. Yüksek basınç gradyanları, büyük akış ayrılmalarını içeren ve eğri olan karmaşık akış yapılarında zayıf bir türbülans modelidir. İki denklemlilik türbülans modelleri arasında ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Navier-Stokes denklemleri temel alınarak geliştirilen modelin denklemleri ise (Ertınaz, 2015);

$$\frac{\partial(u_j k)}{\partial t} = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) - \rho \epsilon \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial(u_j \epsilon)}{\partial t} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) - \rho C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3.14)$$

Burada k , ϵ , σ_k sırasıyla; türbülans kinetik enerjisi, enerjinin yayılımı ve türbülanslı Prandtl sayıdır.

Türbülans Eddy viskozitesi ise :

$$\mu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.15)$$

Burada C_μ , $C_{\epsilon 1}$, $C_{\epsilon 2}$ model katsayılarıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$C_\mu = \left(\frac{u_*^2}{k} \right)^2 \quad (3.16)$$

$$C_{\epsilon 1} = C_{\epsilon 2} - \frac{\kappa}{\sqrt{C_\mu} \sigma_\epsilon}$$

u_* : Sürtünme hızıdır

σ_ϵ : Model sabitidir

Çözümlemede kullanılan sabitlerin değerleri ise şu şekildedir:

$$C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

3.5.4.3. RNG k – ε Türbülans Modeli Denklemleri

Çözümlemede kullanılan diğer model RNG k - ε türbülans modelidir. RNG k- ε türbülans modeli girdaplı akışlar için geliştirilmiş yine iki denklemlilik bir model olup esas itibariyle Navier-Stokes denklemlerinden renormalization group teorisi kullanılarak elde edilmiştir. Karmaşık kayma tabakalı akışlarda ve yerel olarak geçiş rejimli akışlarda kullanımı uygundur. Bu akış tiplerine örnek olarak; sınır tabaka akışları, büyük akış ayrılmaları, küt cisimler etrafında girdap kopmaları, oda havalandırması verilebilir. Analizinin yakınsaması güçtür ve zaman alır. RNG k - ε modeli akış hareketlerinin daha küçük ölçekler için de hesaplanabilmesi için yine Navier-Stokes denklemleri baz alınarak geliştirilmiştir. Standard k - ε türbülans modelinde kullanılan Eddy viskozitesi ile türbülans uzunluk ölçeklerinden seçilmiş olanından gelen etkiyi hesaplara katar. Ancak gerçekte birden fazla uzunluk ölçeği mevcuttur. Standard k - ε modelinin matematiksel türevi sayılabilecek bu model birden fazla ölçekten gelen katkıyı ele alır. Modelin denklemleri şu şekildedir (Ertınaz, 2005):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{2\epsilon}^* \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3.18)$$

Burada:

$$C_{2\epsilon}^* = C_{2\epsilon} + \frac{C_\mu \eta^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right)}{1 + \beta \eta^3} \quad (3.19)$$

Ayrıca:

$$\eta = S_\epsilon^k \quad \text{ve} \quad S = (2S_{ij}S_{ij})^2 \quad (3.20)$$

3.5.4.4. Standard k – ω Türbülans Modeli Denklemleri

Sınır tabaka akışlarında, serbest kayma tabakalı akışlarda ve düşük Reynolds sayılı akışlarda k- ε türbülans modellerine göre daha üstündür. Ters basınç gradyanı

altındaki ve büyük akış ayrılmalarının olduğu sınır tabaka akışlarında (dış akış aerodinamik ve turbomakina uygulamalarında) kullanımı gayet uygundur. $k - \epsilon$ türbülans modeline benzeyen standard $k - \omega$ modeli de iki denklemlilik bir model olmakla birlikte endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Yine benzer şekilde buradaki k türbülans kinetik enerjisi, ω ise enerjinin yayılımının farklı bir ifadesidir. Bu denklemler şu şekilde yazılabilir (Ertınaz, 2005):

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \sigma^* v_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \rho \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + \sigma v_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (3.22)$$

Burada kinematik Eddy viskozitesi şu şekilde ifade edilir:

$$v_T = \frac{k}{\omega} \quad (3.23)$$

$\rho, \beta, \beta^*, \sigma$ ve σ^* model katsayılarıdır ve sırayla 5/9, 3/40, 9/100, 1/2 ve 1/2 değerlerine eşittir.

3.6. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Çalışmada Al_2O_3 , Ti_2O , CuO olmak üzere üç farklı nanoakışkan kullanılmıştır. Nanoakışkanlar suya aynı boyut ve hacimde olduğu varsayılan nanopartiküllerin eklenmesi ve homojen bir karışım elde edilmesiyle oluşturulmuştur. Konsantrasyon açısından beş farklı konsantrasyonda Al_2O_3 (%0.3, %0.5, %1, %2, %3), dört farklı konsantrasyonda Ti_2O (%0.05, %0.1, %0.3, %0.5) ve üç farklı konsantrasyonda CuO (%1, %2, %4) kullanılmıştır. Her bir konsantrasyon için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır.

Kullanılan nanoakışkanların fiziksel özellikleri daha önce literatürde yapılan deneysel çalışmalardan alınarak aşağıdaki çizelgelerde özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. 20 °C’de Alüminyum Oksidin Fiziksel Özellikleri (Özbey vd., 2011)

Akışkanlar	Fiziksel Özellikler			
	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	Özgül ısı, C_p (j/kg K)	Dinamik Viskozite, μ (kg /ms)	Isı İletim Katsayısı, k (W/m K)
Su	998.2	4182.0	0.001003	0.6
Su+%0.3 Al ₂ O ₃	1005.80	4145.20	0.0010862	0.608334
Su+%0.5 Al ₂ O ₃	1011.87	4110.86	0.00117021	0.619223
Su+%1.0 Al ₂ O ₃	1028.20	4036.67	0.00139827	0.644465
Su +%2.0 Al ₂ O ₃	1055.48	3925.80	0.0019319	0.685893
Su+%3.0 Al ₂ O ₃	1083.60	3810.77	0.0025689	0.728339

Çizelge 3.2. 20 °C’de Titanyum Oksidin Fiziksel Özellikleri (Gedik vd., 2017)

Akışkanlar	Fiziksel Özellikler			
	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	Özgül ısı, C_p (j/kg K)	Dinamik Viskozite, μ (kg /ms)	Isı İletim Katsayısı, k (W/m K)
Su+%0.05 Ti ₂ O	1077.3	3858.3	0.000845	0.6569
Su+%0.1 Ti ₂ O	1154.6	3573.7	0.000892	0.6953
Su+%0.3 Ti ₂ O	1463.6	2736.8	0.001082	0.8656
Su+%0.5 Ti ₂ O	1771.9	2192.8	0.001271	1.068

Çizelge 3.3. 20 °C’de Bakır Oksidin Fiziksel Özellikleri (Bedir, 2013)

Akışkanlar	Fiziksel Özellikler			
	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	Özgül ısı, C_p (j/kg K)	Dinamik Viskozite, μ (kg /ms)	Isı İletim Katsayısı, k (W/m K)
Su+%1 CuO	1051.418	4145.615	0.001387	0.645
Su+%2 CuO	1104.636	4109.150	0.001545	0.657
Su+%4 CuO	1211.072	4036.221	0.001762	0.694

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde incelenen Al_2O_3 , CuO ve TiO_2 nanoakışkanlarının farklı hacim konsantrasyonlarından elde edilen sonuçlarına değinilmiştir. Belirlenen hacim konsantrasyonlarında, öncelikle Reynolds 500 ve Reynolds 5000 için farklı bağlantı parçalarında dört farklı hesaplama modeli kullanılarak giriş hızı değerleri hesaplanmıştır. Giriş hızına göre akışın tam gelişmiş olduğu yer tespit edilip iki farklı yüzey atılarak basınçlar hesaplanmıştır. Belirli noktalarda elde edilen basınç farkları ile yerel kayıp katsayısı değerleri hesaplanmış, her bir nanoakışkan konsantrasyonu için detaylı çizelgeler, hız ve basınç dağılımları oluşturulmuştur. Basınç farkları ile hesaplanan yerel kayıp katsayısı literatürde türbülanslı akış için kabul görmüş (Çengel vd., 2008) yerel kayıp katsayıları ile kıyaslanmıştır. Bu katsayılar 90° dönümlü dirsek bağlantı parçası için 0.9, L bağlantı parçası için 1.2, T bağlantı parçası için 2.0'dır. Ani daralma bağlantı parçası için d^2/D^2 oranına bağlı diyagram kullanılırken, ani genişleme bağlantı parçası için $(1 - \frac{d^2}{D^2})^2$ bağıntısı kullanılmıştır (Çengel vd., 2008).

Bu çalışmada bağlantı malzemelerinden su yerine nanoakışkan geçirilmesi durumundaki yerel kayıp katsayıları hesaplanmıştır. Yerel kayıp katsayı hesabında kullanılan hız değerleri Reynolds sayısından çekilerek hesaplanmıştır. Çözümlemeler sonucunda hangi modelin referans alınan kaynağa en yakın sonuçlar verdiği tespit edilerek uygun türbülans modeline karar verilmiştir. Aradaki farkın büyüklüğünü ortaya koymak adına kullanılan modellerin hepsi için sonuçlar ayrı ayrı çizelge ve grafikler halinde sunulmuştur. Kullanılan her nanoakışkan için elde edilen sonuçlar ayrı başlıklar halinde devam eden bölümlerde verilmiştir.

4.1. Elde Edilen Sonuçların Doğrulanması

Tablo 2 : Su İçin Elde Edilen Sonuçların Doğrulanması

Bağlantı Parçası	Basınç Farkı (Pa)	K_k	K_k (Çengel vd., 2008)
T	0.633	2.008	2
Dirsek	0.290	0.923	0.9
L	0.359	1.145	1.1
Ani Daralma	0.629	0.499	0.48
Ani Genişleme	0.189	0.602	0.58

Literatürde yaygın olarak kullanılan (Çengel vd., 2008) ve diğerleri tarafından belirlenen kayıp katsayısı değerleri ile sunulan çalışmada elde edilen değerler tablo 2 de mukayese edilmiştir. Metin içerisinde yerel kayıp katsayısı ifadesi K_k sembolü ile gösterilmiştir. Sunulan bu tez çalışmasında K_k hesaplanırken suyun yoğunluğu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yakın değer %0,8 farkla T bağlantı malzemesinde, en uzak değer de %5,5 farkla L bağlantı malzemesinde hesaplanmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılık %5-10 mertebesinde olduğunda kabul edilebilir aralıkta kabul edilmektedir. Bu değere göre en uzak olarak ifade edilen değer sınır şartlarının çok çok altındadır.

4.1.1. Su ve Al_2O_3 Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Su ve Al_2O_3 nanoakışkanının belirlenen hacim konsantrasyonları kullanılarak, Reynolds sayısı $Re=500$ için farklı bağlantı malzemelerinde laminar akış modeli ele alınıp hesaplanan hız ve yerel kayıp değerleri sırası ile dirsek, L, T, ani daralma, ani genişleme bağlantı parçaları için Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 , Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. **Dirsek** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re = 500$ Laminar Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			K_k
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	
Su	0.01591929	0.013034998	0.002884294	0.917
Su+%0.3 Al_2O_3	0.01834248	0.015000208	0.003342276	0.925
Su+%0.5 Al_2O_3	0.02138785	0.017512256	0.003875595	0.930
Su+%1.0 Al_2O_3	0.02995296	0.024529777	0.005423183	0.946
Su+%2.0 Al_2O_3	0.05581891	0.045707114	0.010111798	0.970
Su+%3.0 Al_2O_3	0.09615476	0.078735195	0.017419569	0.996

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi konsantrasyon arttıkça yerel kayıp katsayısı da artmaktadır. Dirsek bağlantı parçasında akış, köşeli bir dönüş ile yönünü 90° değiştirmeye zorlamaktadır. Bu durum akışın enerjisini düşürerek basınç kaybıyla sonuçlanmaktadır. Düşük konsantrasyonlardaki kayıpta artış gözle görülür seviyede olmasa da hacim konsantrasyonunun 10 katı değerinde artması ile yerel kayıp katsayısı hemen hemen 1 değerine ulaşmıştır. Yerel kayıp katsayısındaki bu artış, viskozite ve yoğunluktaki artış ile doğrudan ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.2. **L** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=500$ Laminar Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			(K_k)
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	
Su	0.02142344	0.01763616	0.00378728	1.204
Su+%0.3 Al_2O_3	0.02456692	0.02021138	0.00435553	1.206
Saf+%0.5 Al_2O_3	0.02878216	0.02369236	0.00508979	1.221
Su+%1.0 Al_2O_3	0.04028906	0.03317448	0.00711457	1.240
Su+%2.0 Al_2O_3	0.07510364	0.06182896	0.01327468	1.274
Su+%3.0 Al_2O_3	0.12937884	0.10650911	0.02286973	1.307

Çizelge 4.2’de L bağlantı parçası için artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşı basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerlerinin arttığı görülmektedir. L bağlantı parçasında akış düzgün giderken birden kesintiye uğrayıp, keskin bir dönüşe zorlanır. Akışta dönüş esnasında girdaplar meydana gelir. Bağlantı parçasındaki bu keskin dönüşler basınç kaybına da neden olmaktadır. Çizelgede konsantrasyonun artmasıyla basınç farkı da artmakta, bu da yerel kayıp katsayısına artışına sebep olmaktadır.

Çizelge 4.3. T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.02335467	0.0173270	0.00602766	1.917
Su+%0.3 Al_2O_3	0.02695171	0.0199577	0.00699393	1.937
Su+%0.5 Al_2O_3	0.03137952	0.0232792	0.00810030	1.943
Su+%1.0 Al_2O_3	0.04392820	0.0325985	0.01132961	1.975
Su+%2.0 Al_2O_3	0.08189033	0.060753	0.02113706	2.028
Su+%3.0 Al_2O_3	0.14106029	0.104655	0.03640529	2.081

Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi T bağlantı parçasında nanoakışkan hacim konsantrasyonunun artması ile birlikte basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerinde artış görülmektedir. T bağlantı parçasında, giriş ve çıkış çapında bir değişiklik olmadan akışın yönünde değişiklik olmaktadır. Ve buradaki enerji kayıpları, iç tarafta akışın ayrılmasından ve keskin dönüşlerin meydana getirdiği girdaplı akışlardan kaynaklanmaktadır. Konsantrasyon artışı ile birlikte yoğunluk ve viskozitedeki artış yerel kayıp katsayısının ve basınç farkının artışına sebep olmuştur. T, L ve dirsek bağlantı parçasında Reynolds sayısı, Re=500 değerinde laminar model kullanıldığında çözümlemeler kolayca yakınsanmıştır. Ani daralma ve ani genişleme redüksiyon parçaları için, laminar model kullanıldığında çözümlemeler yakınsanamamıştır. Ani daralma ve ani genişlemelerden kaynaklanan aynı çap değişimlerinden ötürü girdap kopmaları meydana gelmiştir. Bu durum laminar model kullanıldığında ani girdap kopmalarının yakalanamamış olmasıyla ilişkilendirilebilir. Redüksiyon parçaları için, büyük akış ayrılmalarının, girdap kopmalarının olduğu yerlerde kullanılan RNG k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.0494244	0.04326744	0.00616	0.489
Su+%0.3 Al_2O_3	0.0574642	0.05030824	0.00716	0.492
Su+%0.5 Al_2O_3	0.0663230	0.05806190	0.00826	0.495
Su+%1.0 Al_2O_3	0.0931754	0.08157142	0.01160	0.503
Su+%2.0 Al_2O_3	0.1732984	0.15171433	0.02158	0.520
Su+%3.0 Al_2O_3	0.2986053	0.26140917	0.03720	0.531

Çizelge 4.4’te büyük akış ayrılmalarının olduğu ani daralma bağlantı parçasında k - ϵ RNG modeli kullanıldığında elde edilen basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri görülmektedir. Artan konsantrasyonla birlikte değerlerde de artış olduğu

görülmektedir. Ani daralma bağlantı parçasında köşelerde akış ayrılması oluşur ve akış bağlantı parçasının ortasında bulunan daralmış kesitte sıkışmaktadır. Bu da akışın enerji kaybetmesine neden olur. Enerji kaybı beraberinde basınç kaybını getirmektedir.

Çizelge 4.5 **Ani Genişleme** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=500$ $k - \epsilon$ RNG Modeli (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.0028357	0.00097691	0.00186	0.571
Su+%0.3 Al_2O_3	0.0031325	0.00101842	0.00211	0.581
Su+%0.5 Al_2O_3	0.0036170	0.00117526	0.00244	0.585
Su+%1.0 Al_2O_3	0.0050808	0.00165079	0.00343	0.595
Su+%2.0 Al_2O_3	0.0094485	0.00307004	0.00638	0.611
Su+%3.0 Al_2O_3	0.0162763	0.00528842	0.01099	0.627

Şekil 4.5’de ani genişleme bağlantı parçası için $k - \epsilon$ RNG modelinde basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. Özellikle ani girdap kopmalarının olduğu yerlerde akış ayrılmasından dolayı enerji kayıpları gerçekleşmiştir. Bu da basınç kayıplarının ve yerel kayıp katsayısının artışına sebep olmuştur.

Su + Al_2O_3 nanoakışkan Reynolds sayısı, $Re=5000$ için farklı model ve konsantrasyonlarda hesaplanan hız ve yerel kayıp değerleri aşağıdaki Çizelge 4.6 Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 Çizelge 4.12, Çizelge 4.6, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.6 **Dirsek** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \epsilon$ Standard Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.9926023	0.7023890	0.2902132	0.923
Su+%0.3 Al_2O_3	1.1547027	0.8170479	0.3376547	0.935
Su+%0.5 Al_2O_3	1.3326982	0.9430386	0.3896596	0.935
Su+%1.0 Al_2O_3	1.8609949	1.3164114	0.5445835	0.949
Su+%2.0 Al_2O_3	3.4815586	2.4635568	1.0180018	0.977
Su+%3.0 Al_2O_3	5.9953484	4.2420979	1.7532505	1.002

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi nanoakışkan hacim konsantrasyonundaki artışla birlikte yoğunluk ve viskozitenin artması beklenen bir durumdur. Reynolds sayısı ve bununla doğrudan ilişkili olarak hızdaki artış ile birlikte akışın yönünü köşeli olarak 90° zorlamasından kaynaklanan enerji kayıpları birlikte ele alındığında basınç

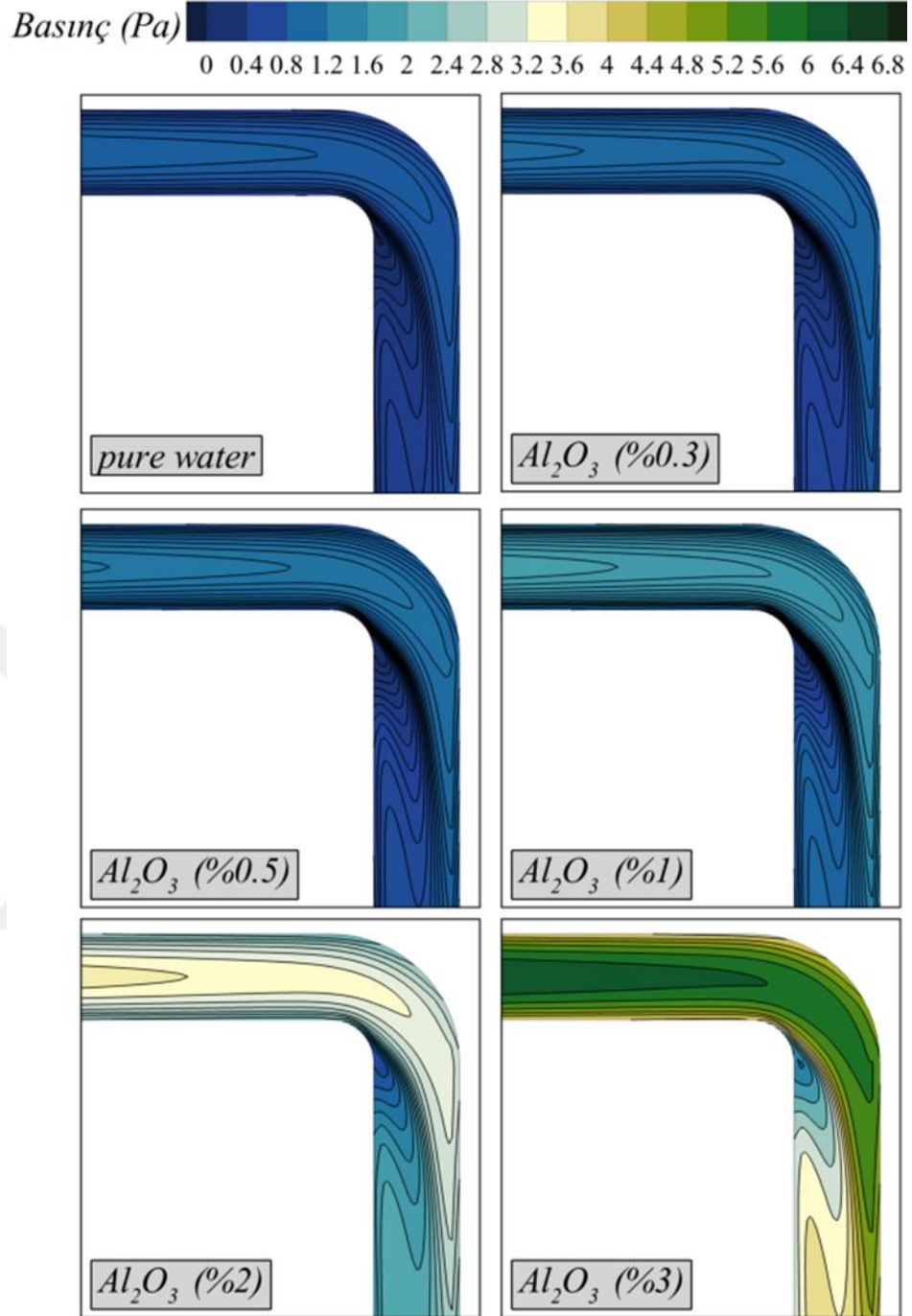
farkında ve yerel kayıp katsayısı değerinde bir artış görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda gözle görülür bir değer artışı olmasa da yüksek konsantrasyonlarda yerel kayıp katsayısı değerinin 1'i geçtiği görülmektedir.

Çizelge 4. 7 **Dirsek** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	1.1895039	0.8473607	0.3421431	1.088
Su+%0.3 Al_2O_3	1.3856059	0.9870186	0.3985872	1.104
Su+%0.5 Al_2O_3	1.5993963	1.1394007	0.4599956	1.103
Su+%1.0 Al_2O_3	2.2466016	1.600466	0.6461356	1.127
Su+%2.0 Al_2O_3	4.1772389	2.975771	1.2014677	1.153
Su+%3.0 Al_2O_3	7.1952977	5.125992	2.0693054	1.183

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi akışın türbülanslı bölgede oluşu, nanoakışkan hacim konsantrasyonuna bağlı olarak hızdaki, yoğunluktaki, viskozitedeki artışlardan ötürü basınç farkında ve yerel kayıp katsayısında ciddi artışlar görülmektedir. Saf su değerinde yerel kayıp katsayısının literatürde olması gereken (Çengel vd., 2008) değerden daha fazla çıkması çözümlemelerde kullanılan türbülans modelinin k - ω Standard model olması ile ilişkilendirilebilir. Hacim konsantrasyonunun artışı ile yerel kayıp katsayısı değerindeki bu fazla artış çözümlemedeki k - ω Standard model uygun olmadığını göstermektedir.

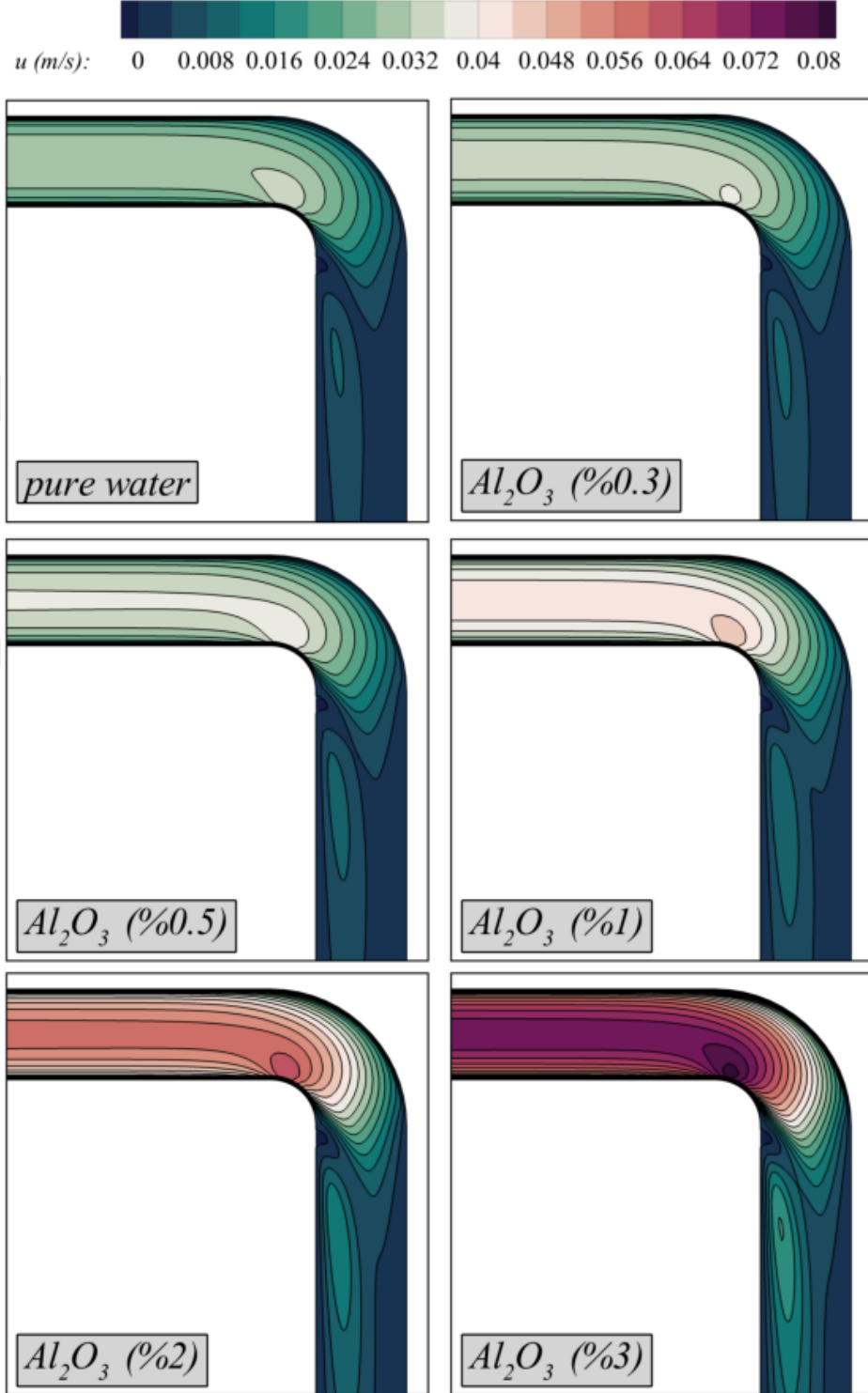
Akış yapısını daha iyi açıklayabilmek için simetri eksenlerine tanımlanan yüzeylerdeki hız ve basınç dağılımları sırası ile dirsek, L, T, ani daralma ve ani genişleme için Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 ile özetlenmiştir.



Şekil 4.1: Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)

Artan konsantrasyonun basınç dağılımı üzerine etkisi Şekil 4.1’de verilmiştir. Daha önce verilen çizelgelerde belirtildiği gibi nanoakışkanın konsantrasyonunun artması sonucu basınç dağılımı da değişmektedir. Dirseğin içerisinden geçerken 0.4 Pa mertebesinde olan basınç en yüksek konsantrasyon değeri olan %3’e çıktığında 6.8 Pa mertebesine kadar çıkmıştır. Dağılım olarak bütün şekillerde geometrinin tamamının verilmediği sadece akış için önemli olan yerlerin yakınlaştırılarak

sunulduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Akışkanın dirsekten tam dönerken alt bölgesinde kalan kısmında, iç tarafta akış ayrılmasından kaynaklanan girdaplı akıştan dolayı basıncın diğer bölgelere göre çok fazla düştüğü açıkça görülmektedir.



Şekil 4.2: Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.2 incelendiği zaman dirsek bağlantı parçası için Al_2O_3 nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinin arttığından dolayı hız dağılımının sıklaştığı görülmüştür. Düşük konsantrasyon değerinde 0.008 m/s olan hız değeri konsantrasyon değerinin artışı ile birlikte yaklaşık 10 katı değerine çıkararak 0.08 m/s mertebesine kadar ulaşmıştır. Bu da Reynolds sayısı $Re=5000$ değerinde akışın türbülanslı bölgede olmasıyla ilişkilendirilebilir. Basınç dağılımında olduğu gibi, akışkanın dirsekten tam dönerken alt bölgesinde kalan kısmında hızın diğer bölgelere göre çok fazla düştüğü açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.8 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			(K_k)
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	
Su	0.9525068	0.5925285	0.359978	1.145
Su+%0.3 Al_2O_3	1.1095512	0.6902855	0.419265	1.153
Su+%0.5 Al_2O_3	1.2817162	0.7979830	0.483733	1.160
Su+%1.0 Al_2O_3	1.7994808	1.1198399	0.679640	1.179
Su+%2.0 Al_2O_3	3.3484627	2.0848915	1.263571	1.210
Su+%3.0 Al_2O_3	5.7670105	3.5902885	2.176722	1.242

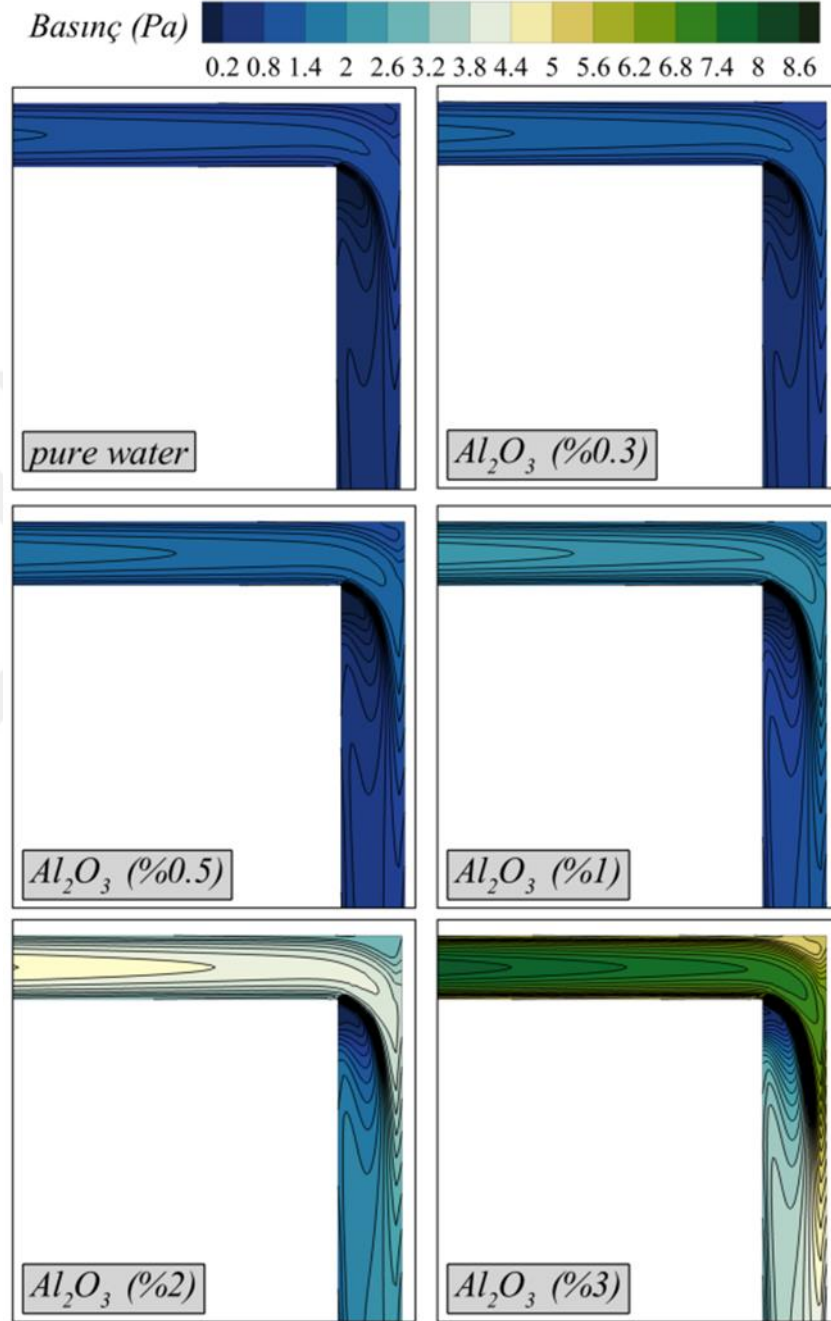
L bağlantı parçasında artan nanoakışkan konsantrasyonu ile birlikte artan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Akışın türbülanslı bölgede oluşu, L bağlantı parçasında akışın keskin köşelerde enerji kaybetmesiyle yerel kayıp katsayısı artmaktadır.

Çizelge 4. 9 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			(K_k)
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	
Su	2.9307923	2.6378572	0.2929351	0.932
Su+%0.3 Al_2O_3	2.5305486	2.1891785	0.3413701	0.939
Su+%0.5 Al_2O_3	2.8951254	2.5010512	0.3940742	0.945
Su+%1.0 Al_2O_3	3.9303644	3.3769679	0.5533965	0.960
Su+%2.0 Al_2O_3	8.1046677	7.0754685	1.0291992	0.985
Su+%3.0 Al_2O_3	11.224492	9.4519548	1.7725372	1.011

Çizelge 4.9’da L bağlantı parçası için çözümlemelerde k - ω Standard modelin kullanılmasıyla elde edilen basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri verilmiştir. Çizelgede yerel kayıp katsayısı literatür (Çengel vd., 2008) sonuçları ile

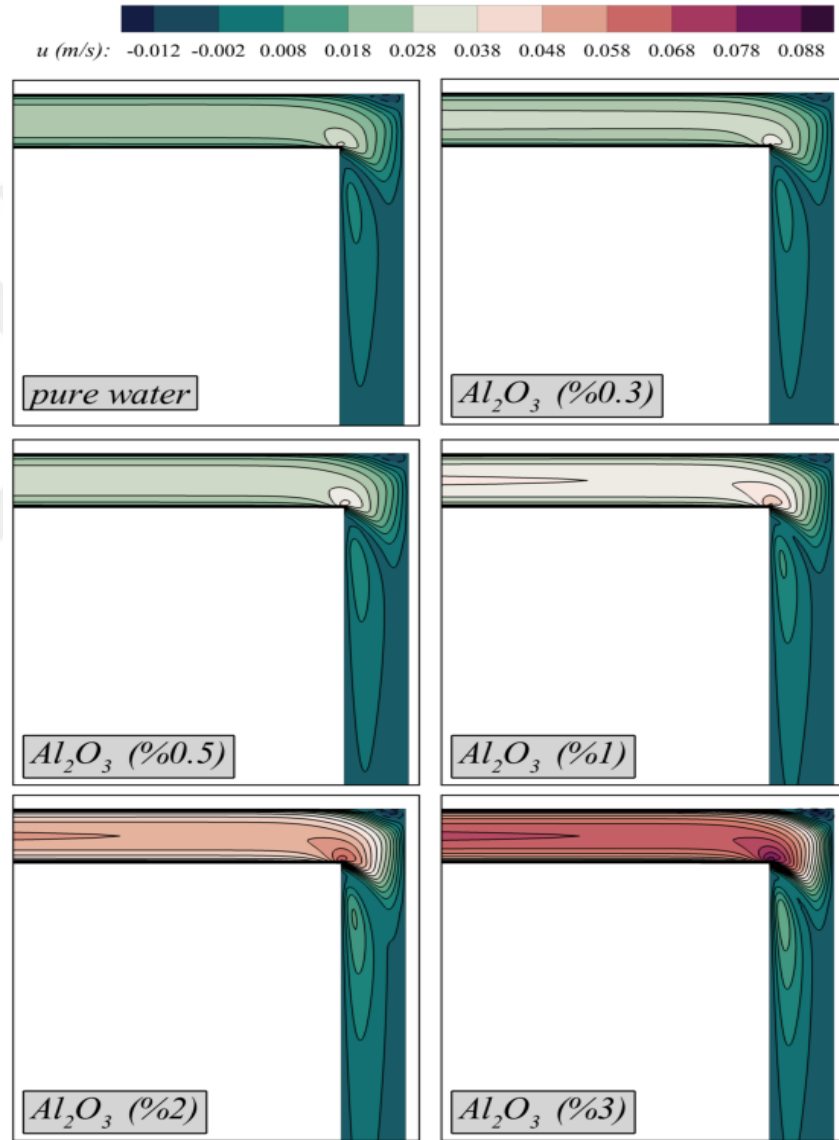
kıyaslandığında olması gereken değerden oldukça farklı çıktığı görülmüştür. Bu da k
- ω Standard modelin uygun bir model olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.3 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.3'te L bağlantı parçasının artan konsantrasyona karşı basınç dağılımlarının da
arttığı görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 0.8 Pa mertebesinde olan basınç

konsantrasyon artışı ile birlikte 7.4 Pa mertebesine kadar çıkmıştır. L bağlantı parçasındaki bu basınç artışı akışın keskin köşelerde girdaplı hal almasıyla ilişkilendirilebilir. Buralarda akış enerji kaybeder doğal olarak basınç kaybı artar. Çizelgelerde görüldüğü gibi bu durum da basınç farkının ve yerel kayıp katsayısının artmasına sebep olmaktadır. L bağlantı parçasında şekil 4.3'te görüldüğü gibi akışın keskin köşelere denk gelen alt kısımlarında, basıncın çok fazla düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.4 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.4 göz önüne alındığında L bağlantı parçasının Al_2O_3 konsantrasyonunun artışı ile birlikte hız dağılımı da artmıştır. Bu durum nanoparçacıkların artışı ile birlikte

türbülans değerinin artması ile ilişkilendirilebilir. Özellikle keskin köşelerdeki dönüşlerdeki hız daha sıkı bir hal almıştır.

Çizelge 4. 10 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (Al_2O_3)

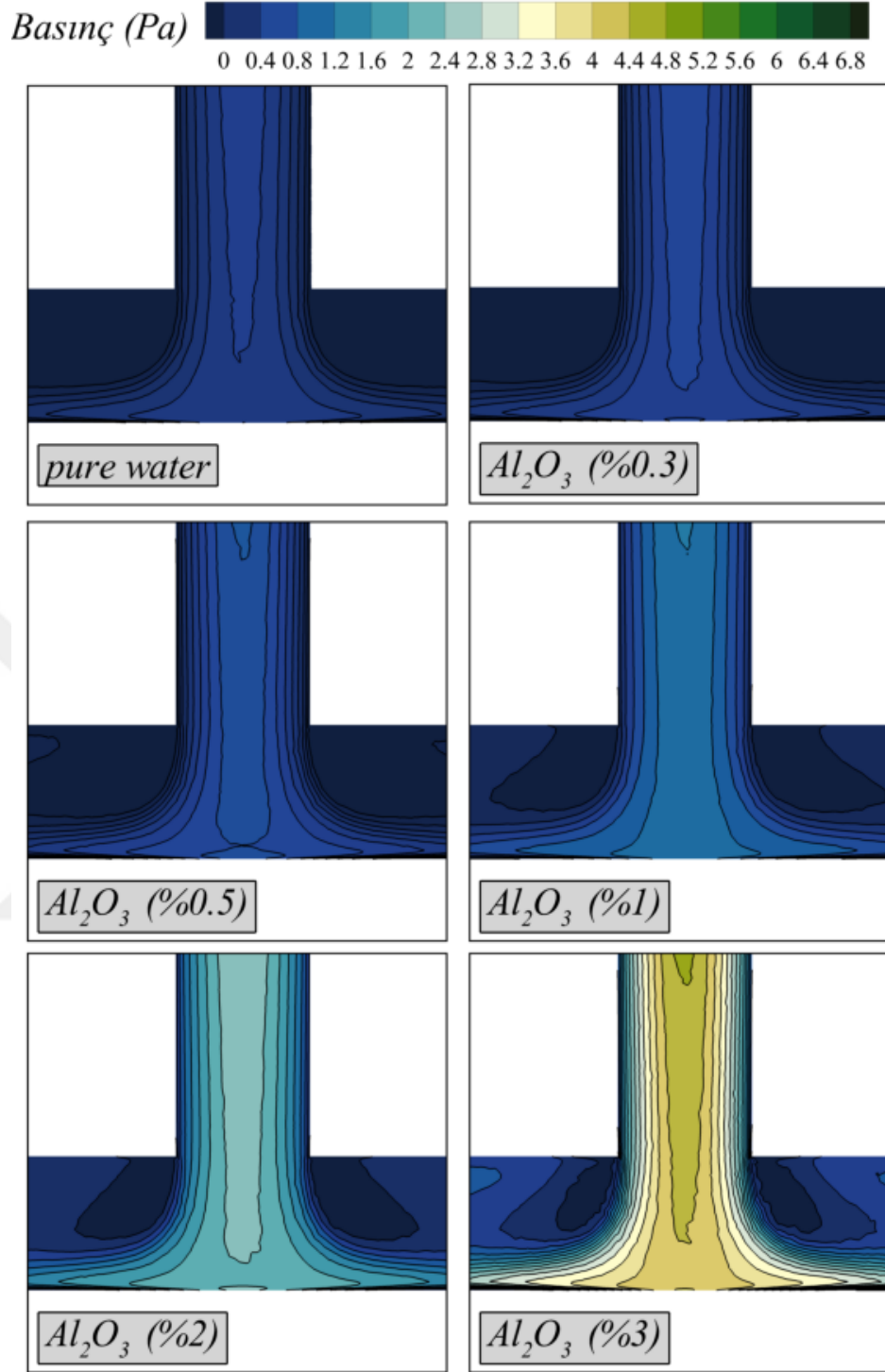
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.7566858	0.12413074	0.633	2.008
Su+%0.3 Al_2O_3	0.8802415	0.14439693	0.736	2.024
Su+%0.5 Al_2O_3	1.0159867	0.16666567	0.849	2.036
Su+%1.0 Al_2O_3	1.4172528	0.23242455	1.185	2.071
Su+%2.0 Al_2O_3	2.6540444	0.43537126	2.219	2.124
Su+%3.0 Al_2O_3	4.5716155	0.74995508	3.822	2.180

Çizelge 4.10’da artan Reynolds sayısı $Re=5000$ olmasından, akışın türbülanslı bölgede oluşundan, bağlantı parçasının akış yönünde değişiklik olmasından ve keskin dönüşlerden kaynaklı girdaplı akışlardan dolayı konsantrasyon artışı ile birlikte basınç farkı ve yerel kayıp katsayısında artış olduğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.11 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	3.1340382	2.554981	0.57905650	1.839
Su+%0.3 Al_2O_3	3.7136035	3.013896	0.69970730	1.925
Su+%0.5 Al_2O_3	4.4463282	3.644405	0.80192240	1.922
Su+%1.0 Al_2O_3	5.7412457	4.614089	1.12715670	1.970
Su+%2.0 Al_2O_3	8.9363041	6.843302	2.09300140	2.104
Su+%3.0 Al_2O_3	13.801016	10.22194	3.57907000	2.242

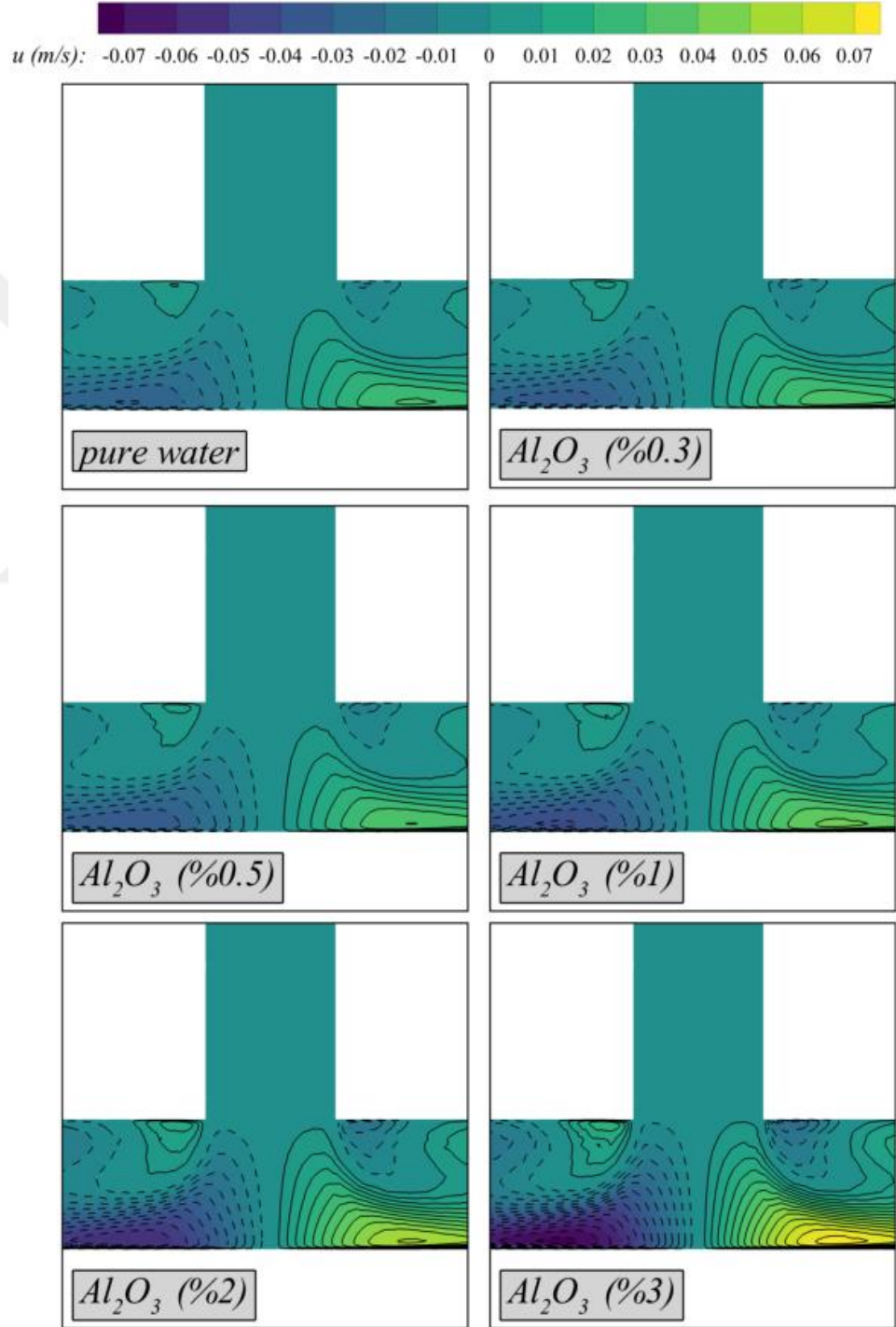
Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi T bağlantı parçasında basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerinde artış görülmüştür. Akışın yönünde değişiklik olması sebebiyle iç taraftaki akış ayrılması ve keskin dönüşlerden meydana gelen girdaplı akışlardan dolayı bir enerji kaybı meydana gelmiştir. Nanoakışkan hacim konsantrasyonunun artması ile birlikte basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı da artmıştır. Türbülans modelleri düşünüldüğünde, çizelge 4.11 değerlendirildiğinde hesaplanan yerel kayıp katsayısının literatür sonuçlarından (Çengel vd., 2008) uzak oluşu çözümlemede kullanılan k - ω Standard modelin uygun bir model olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.5 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.5'te T bağlantı parçası için artan konsantrasyonun basınç dağılımı üzerine etkisi verilmiştir. Çizelgelerde de belirtildiği gibi, nanoakışkan konsantrasyonundaki artışla birlikte basınç dağılımı da değişmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 0.4 Pa mertebesinde olan basınç en yüksek konsantrasyonda 4.8 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Dağılım olarak bütün şekillerde geometrinin tamamının verilmediği

sadece akış için önemli olan yerlerin yakınlaştırılarak sunulduğu göz önünde bulundurulmalıdır. T bağlantı parçasında da akışın kollara ayrıldığı keskin köşelerde, girdaplı akıştan dolayı basıncın diğer bölgelere göre çok fazla düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.6 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.6 incelendiği zaman T bağlantı parçası için Al_2O_3 nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerleri artmıştır. Özellikle hız değerlerinin düşük konsantrasyonlarda negatif değerlerdeyken, konsantrasyon artışı ile birlikte pozitif değerlere çıktığı görülmüştür. T bağlantı parçasında da akışın kollara ayrıldığı keskin köşelerde, akış yön değiştirir. Şekil 4.6’da kesikli çizgilerle gösterilen yerler akışın yön değiştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.12 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3)

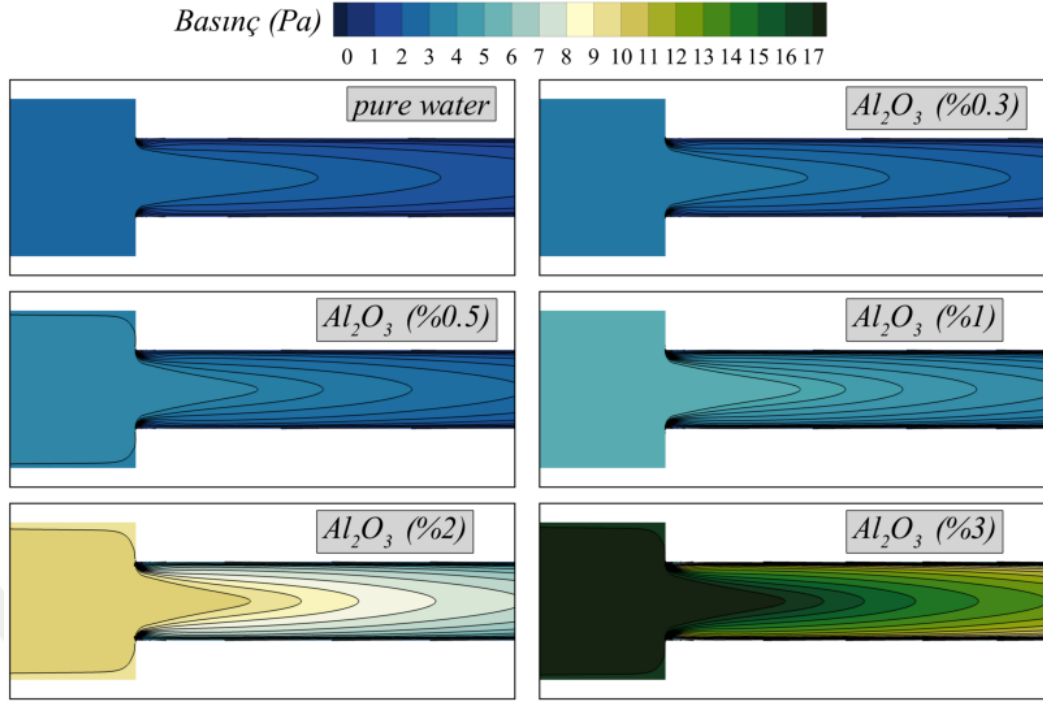
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	2.9483236	2.3188446	0.629	0.4997
Su+%0.3 Al_2O_3	3.4273893	2.6958098	0.732	0.5034
Su+%0.5 Al_2O_3	3.9561138	3.1115943	0.845	0.5065
Su+%1.0 Al_2O_3	5.5575225	4.3711954	1.186	0.5146
Su+%2.0 Al_2O_3	10.279029	8.0871317	2.192	0.5280
Su+%3.0 Al_2O_3	17.812303	14.009497	3.803	0.5424

Çizelge 4.12’de ani daralma bağlantı parçası için türbülanslı bölgede artan konsantrasyonla birlikte yerel kayıp katsayısındaki artış görülmektedir. Bu durum köşelerdeki ani girdap kopmalarından dolayı akışın enerji kaybetmesi ile ilişkilendirilebilir. Elde edilen sonuçların literatür (Çengel vd., 2008) sonuçlarına yakın değerler vermesi k - ϵ RNG modelinin çözümleme için uygun bir model olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. 13 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω StandardModeli(Al_2O_3)

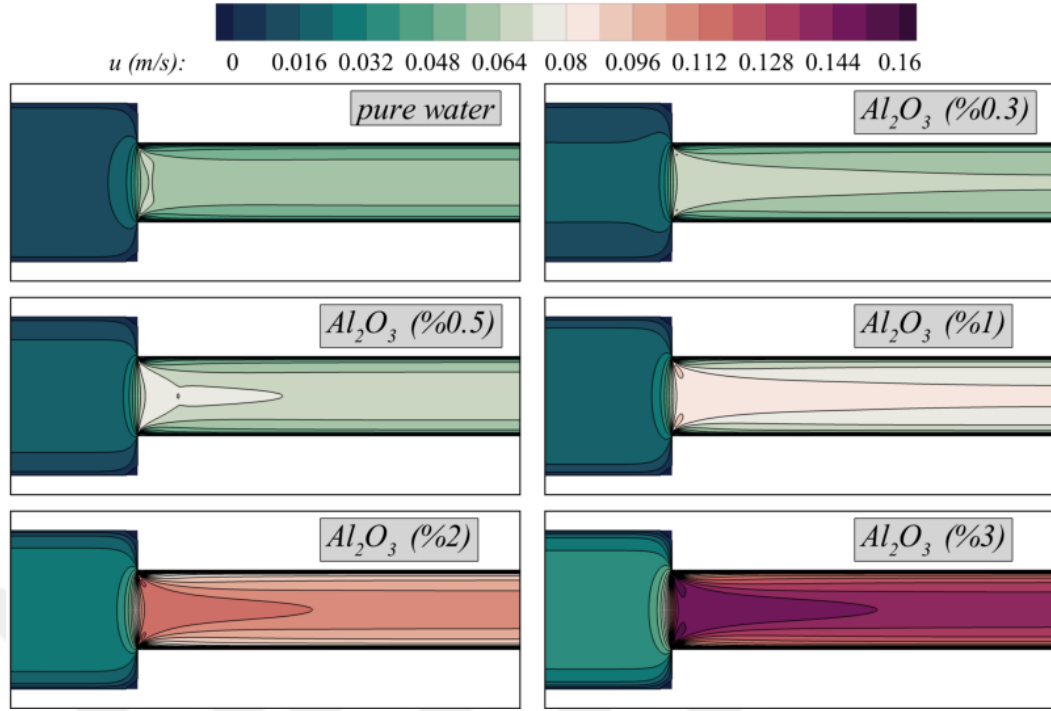
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	2.8430197	2.048788	0.794	0.6305
Su+%0.3 Al_2O_3	3.6450828	2.705827	0.939	0.6463
Su+%0.5 Al_2O_3	3.8147951	2.749143	1.066	0.6391
Su+%1.0 Al_2O_3	5.3524980	3.857245	1.495	0.6487
Su+%2.0 Al_2O_3	9.8997531	7.135272	2.764	0.6659
Su+%3.0 Al_2O_3	17.176000	12.37774	4.798	0.6844

Çizelge 4.13’de k - ω Standard modelinin kullanılması durumunda elde edilen basınç farkı (Pa) ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçların literatür (Çengel vd., 2008) vd., 2008) sonuçları ile mukayese edildiğinde olması gereken değerden uzak çıkması k - ω Standard modelinin uygun olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.7 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.7 incelendiğinde, ani daralma bağlantı parçası için konsantrasyon değeri arttıkça basınç değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu durum köşelerde oluşan ani girdap kopmalarından kaynaklanmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda 1 Pa mertebesinde olan basıncın yüksek konsantrasyonda 17 Pa değerine kadar çıkması bu durumun sonucu olarak nitelendirilebilir. Diğer bağlantı parçaları göz önüne alındığı zaman Şekil 4.7 incelendiği zaman ani daralma bağlantı parçası için özellikle basınç değerinde yaklaşık %160 oranında bir artış olmuştur. Ani daralmadaki bu fazla artışın nedeni ise ani girdap kopmalarından dolayı bağlantı parçalarının köşelerinde akış ayrılımlarının oluşmasındandır.



Şekil 4.8 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı(Al_2O_3)

Şekil 4.8 incelendiği zaman ani daralma bağlantı parçası için Al_2O_3 nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinin de arttığı, özellikle ani girdap kopmalarının olduğu yerlerde hız dağılımının çok daha fazla sıklaştığı görülmüştür. Köşelerde türbülans girdaplarından dolayı hız değerlerinde ani bir artış meydana gelmiştir. Bağlantı parçasının giriş kısmındaki büyük çapta hız değeri 0.016 m/s iken, çıkış kısmındaki küçük çapta hız değeri aniden 10 katına çıkarak 0.16 m/s değerine kadar ulaşmıştır.

Çizelge 4. 14 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (Al_2O_3)

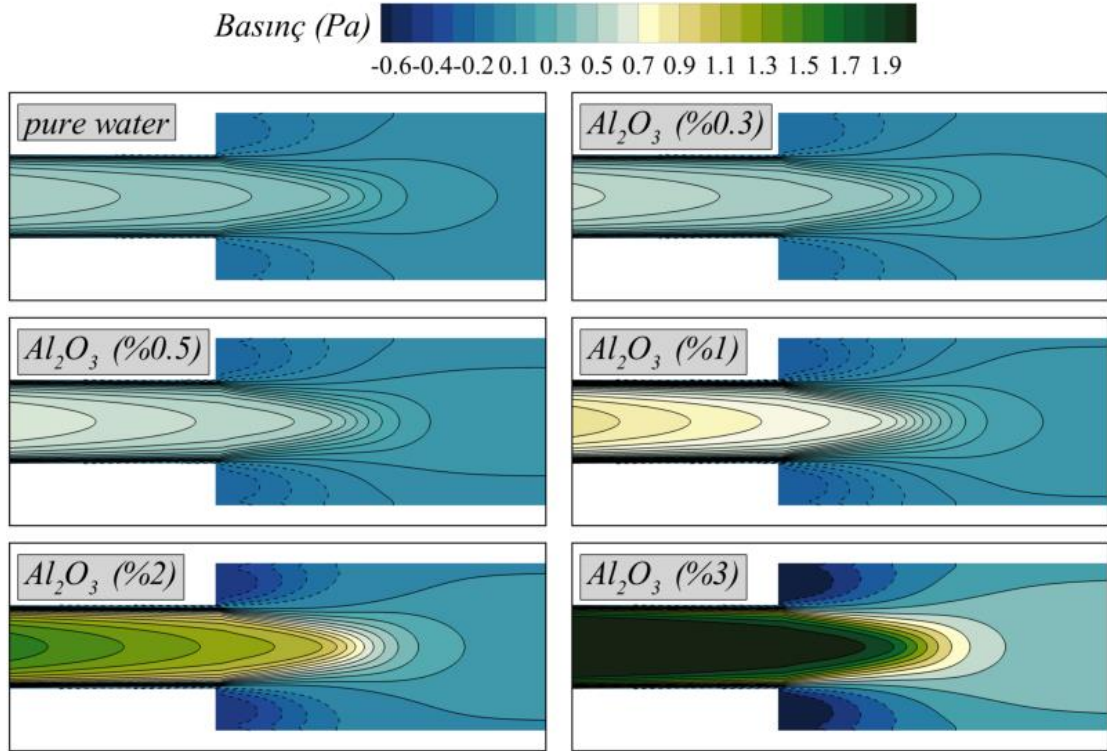
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.2231817	0.03385562	0.18933	0.602
Su+%0.3 Al_2O_3	0.2599993	0.03942321	0.22058	0.607
Su+%0.5 Al_2O_3	0.3001005	0.04550778	0.25459	0.610
Su+%1.0 Al_2O_3	0.4215282	0.06391961	0.35761	0.620
Su+%2.0 Al_2O_3	0.7839310	0.11887287	0.66506	0.637
Su+%3.0 Al_2O_3	1.3503329	0.20478053	1.14555	0.654

Çizelge 4.14'de ani genişleme bağlantı parçası için yerel kayıp katsayısı ve basınç farkı değerleri gösterilmiştir. Basınç farkındaki artış, konsantrasyon artışı ile birlikte ani girdap kopmalarının olduğu yerlerdeki enerji kayıpları ile ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.15 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k- ω Standard Modeli (Al_2O_3)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su	0.216955	0.015976989	0.20098	0.639
Su+%0.3 Al_2O_3	0.2527631	0.018611449	0.23415	0.644
Su+%0.5 Al_2O_3	0.2917498	0.021479441	0.27027	0.648
Su+%1.0 Al_2O_3	0.409802	0.030174357	0.37963	0.658
Su+%2.0 Al_2O_3	0.762124	0.056114186	0.70601	0.676
Su+%3.0 Al_2O_3	1.313042	0.096940546	1.21610	0.694

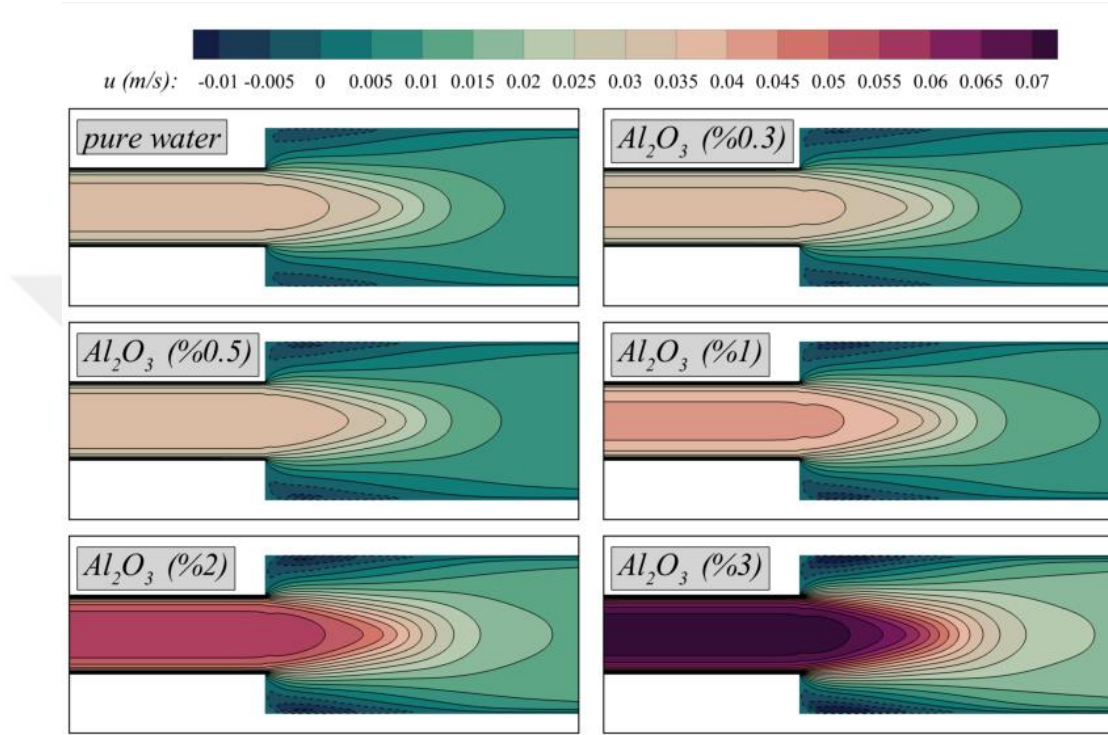
Çizelge 4.15’de ani genişleme bağlantı parçası için türbülanslı akışta çözümlmelerde k- ω Standard modeli kullanıldığı durumda yerel kayıp katsayısı ve basınç farkı değerleri gösterilmiştir. Yerel kayıp katsayısı değerinin literatür sonuçları (Çengel vd., 2008) ile karşılaştırıldığında olması gereken değerden yüksek çıkması uygulanan modelin uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.9 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, her konsantrasyondaki ani genişleme bağlantı parçası için giriş çapındaki basınç değerinin, çıkış çapında akışın ayrılması ile düştüğü görülmektedir. Basınç değerindeki bu ani düşüş, bağlantı parçasının keskin köşesine

denk gelen akış ayrılmasıyla sonuçlanan enerji kayıpları ile ilişkilendirilir. Negatif basınç değerleri kesikli çizgiler ile sembolize edilmiştir. Ani genişlemeden hemen sonra keskin köşelere yakın yerlerde ikincil akış alanları oluşmaktadır. Bu akış alanlarında oluşan akışlar ölü akış olarak adlandırılır. Isı transferi iyileştirme çalışmalarında oluşan bu alanı ana akışa karıştırmak esas amaçtır.



Şekil 4.10 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (Al_2O_3)

Şekil 4.10 incelendiği zaman ani genişleme bağlantı parçası için Al_2O_3 nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinin arttığı görülmüştür. Basınç dağılımında olduğu gibi, her bir bağlantı parçasında yine giriş çapının olduğu yerden çıkışa yaklaştıkça enerji ve basınç kayıplarından dolayı hız değerleri azalmıştır. Maksimum hızın kesitin en dar olduğu yerde meydana gelmesi süreklilik denklemi gereği beklenen bir sonuçtur. Basınç dağılımının verildiği şekildeki gibi hız dağılımında da negatif hızlar kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Akışkan keskin bir kenardan boruya girerken sahip olduğu hız yükünün büyük bir bölümünün kaybeder. Özellikle çok yüksek Reynolds sayılarında akışkanın keskin dönüşler yapması oldukça zordur. Bu dönüşleri yapabilmesi için enerji kaybetmesi kaçınılmazdır. Bu dönüşler neticesinde şekilde de açıkça görüldüğü gibi köşelerde akış ayrılmaları meydana gelerek yön değiştiren ikinci bir akış alanı oluşmuştur. Boru boyunca ani

olarak genişleyen akış alanında hız azalarak basınç artmıştır. İdeal bu artışı Bernoulli denkleminde beklendiği gibi hız yükünün direkt basınç yüküne dönüşmesi şeklinde olması beklenirdi. Fakat bu artma işlemi gerçekte böyle gerçekleşmez. Girdaplardan ve karışmadan kaynaklanan kinetik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür. Sonuç olarak basınç enerjisinde çok ciddi bir artış meydana gelmez.

Ele alınan nanoakışkan için hacim konsantrasyonunun artması ile birlikte basınç farkı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Çünkü basınç farkı konsantrasyonun bir fonksiyonudur. Konsantrasyon arttıkça basınç farkı da artar. Bunun nedeni ise viskozitenin konsantrasyonla artmasıdır. Partiküllerin yoğunluğunun artışı ile birlikte türbülans ve çalkantılar artarak moleküllerin hareketi zorlaşır, bu da basınç ve basınç farkını artırır. Basınç farkının artması da yerel kayıpların artmasına sebep olmuştur. Farklı bağlantı malzemeleri ve farklı türbülans modelleri incelendiği zaman Reynolds sayısı, $Re=500$ için en uygun modelin T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve dirsek bağlantı parçası için laminar model; ani daralma ve ani genişleme redüksiyon parçaları için ise $k - \epsilon$ RNG modeli olduğu görülmüştür. Çünkü $k - \epsilon$ RNG modeli, ani girdap kopmalarının olduğu akışkanların doğruluğunu önemli ölçüde artıran bir türbülans modelidir. Aynı şekilde Reynolds sayısı, $Re=5000$ için çözümlemeler yapıldığında T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve dirsek bağlantı parçası için en uygun modelin $k - \epsilon$ Standard model; ani daralma ve ani genişleme redüksiyon parçaları için ise $k - \epsilon$ RNG modeli olduğu görülmüştür. $k - \epsilon$ Standard modeli yüksek Reynolds sayılı bir model olsa da, $k - \epsilon$ RNG modeli düşük Reynolds sayısındaki etkileri hesaba katan etkili viskozite için analitik olarak türetilmiş bir diferansiyel formül sunmaktadır. Farklı model olarak denenilen $k - \omega$ Standard modelinin hiçbir bağlantı malzemesi için uygun sonuçları vermediği görülmüştür.

4.1.2. Su ve CuO Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Su + CuO nanoakışkanı için Reynolds sayısı, $Re=500$ için farklı modellerde hesaplanan basınç ve yerel kayıp değerleri aşağıdaki Çizelge 4.16, Çizelge 4.17, Çizelge 4.18, Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.16 **Dirsek** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %1 CuO	0.02891971	0.02367685	0.00524286	0.966
Su+ %2 CuO	0.03415574	0.02796377	0.00619197	1.015
Su+ %4 CuO	0.04052325	0.03317731	0.00734593	1.113

Çizelge 4.16’da görüldüğü gibi dirsek bağlantı parçasında konsantrasyon artışı ile yerel kayıp katsayısı değeri artmıştır. Bağlantı parçasında akış 90° dönüşlerde bir enerji kaybına uğrar. Bu da beraberinde enerjiyi düşürerek basınç farkında ve yerel kayıp katsayısında artış olmasına neden olmuştur. Seçilen nanoakışkan için düşük ve yüksek hacim konsantrasyonları arasındaki fark 4 katı olduğu durumda kayıplardaki artış oranının fazla olması nanoakışkan da hacim konsantrasyonun da etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.17 **L** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %1 CuO	0.038917046	0.032030422	0.006886624	1.269
Su+ %2 CuO	0.045964092	0.037830707	0.008133385	1.333
Su+ %4 CuO	0.054527115	0.044878278	0.009648837	1.461

Çizelge 4.17’de L bağlantı parçası için laminar modelde CuO nanoakışkanın artan konsantrasyonuna karşı basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. Konsantrasyon arttıkça, bağlantı parçasındaki enerji kayıplardan dolayı yerel kayıp katsayısında da artış meydana gelmiştir.

Çizelge 4.18 **T** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %1 CuO	0.042442907	0.031497918	0.010944989	2.016
Su+ %2 CuO	0.049871132	0.036897674	0.012973458	2.126
Su+ %4 CuO	0.059468493	0.044131052	0.015337441	2.323

Çizelge 4.18’de T bağlantı parçasının artan hacim konsantrasyonuna karşı artan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri verilmiştir. Akışın yönünün değişmesi ve ayrılması nedeniyle enerji kayıpları oluşarak basınç farkı meydana gelmiştir.

Konsantrasyonun 4 katına çıkmasıyla yerel kayıp katsayısında %15'lik bir artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.19 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=500$ k - ϵ RNG Modeli (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	0.14226821	0.13018167	0.012087	0.5567
Su+ %2 CuO	0.16790939	0.15371365	0.014196	0.5816
Su+ %4 CuO	0.19917679	0.18234016	0.016837	0.6375

Şekil 4.19'da ani daralma bağlantı parçası için, ani girdap kopmalarının sonucu olarak oluşan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısının değerleri verilmiştir. Artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşı çizelgede verilen değerlerinde arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.20 **Ani Genişleme** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=500$ k - ϵ RNG Modeli (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	0.0048909	0.001776226	0.003114697	0.573
Su+ %2 CuO	0.0057774	0.002098126	0.003679293	0.602
Su+ %4 CuO	0.0068516	0.002864255	0.003987345	0.603

Çizelge 4.20'de ani genişleme bağlantı parçası için, akışın laminar olduğu durumda çözümlemede k - ϵ RNG modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça, yerel kayıp katsayısında ve basınç farkında bir artış gözlenmiştir.

Su + CuO nanoakışkanı için Reynolds sayısı, $Re=5000$ için farklı modellerde hesaplanan basınç ve yerel kayıp değerleri aşağıdaki Çizelge 4.21, Çizelge 4.22 Çizelge 4.23, Çizelge 4.24, Çizelge 4.25, Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.28 Çizelge 4.29, Çizelge 4.30 ile özetlenmiştir. Çizelgelerde hesaplanan basınç farkı değerlerine ve akışın tam gelişmiş olduğu noktalardaki hız değerlerine göre Tecplot programında oluşturan veriler ise Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.21 **Dirsek Boru** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (CuO)

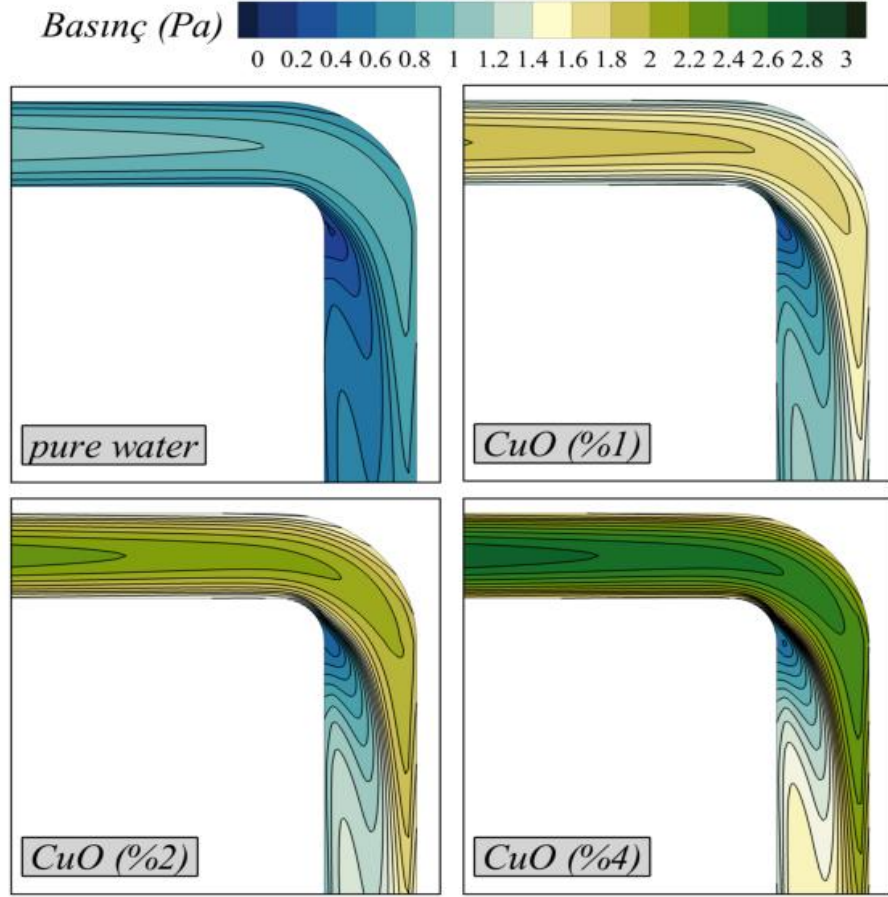
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	1.801757	1.2749136	0.5268442	0.971
Su+ %2 CuO	2.128163	1.5059249	0.6222381	1.020
Su+ %4 CuO	2.524607	1.7864042	0.7382031	1.118

Çizelge 4.21’de görüldüğü gibi nanoakışkan hacim konsantrasyonu 4 katına çıktığında basınç farkında ve yerel kayıp katsayısı değerinde artış olmuştur. Bu nanoakışkan partiküllerinin artıp türbülans ve çalkantılara neden olmasıyla hızın, yoğunluk ve viskozitedeki artışın artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.22 **Dirsek Boru** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (CuO)

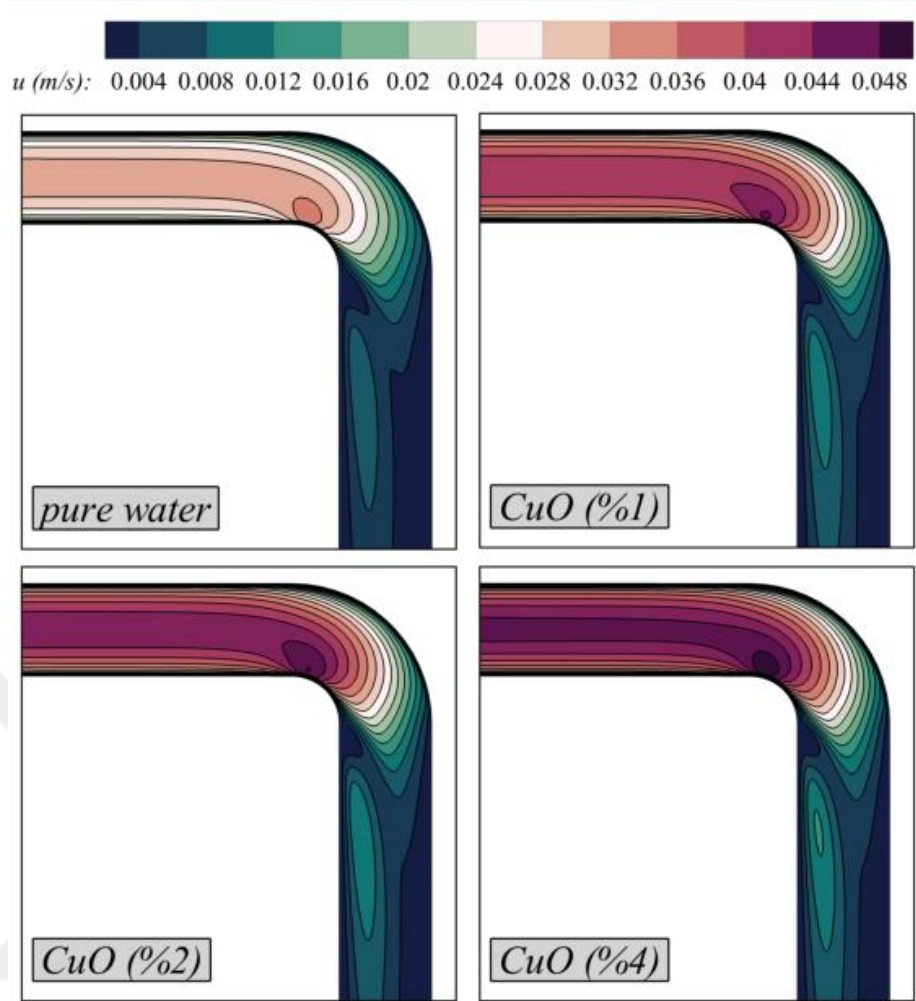
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	2.1622665	1.5403756	0.6218909	1.146
Su+ %2 CuO	2.5535724	1.8191336	0.7344388	1.204
Su+ %4 CuO	3.0293941	2.1580639	0.8713302	1.320

Çizelge 4.22’de görüldüğü gibi konsantrasyon artışıyla birlikte yerel kayıp katsayı değerinde ciddi bir artış görülmektedir. Buna akışın dönüşlerdeki enerji kayıpları, türbülanslı bölgede oluşu, hız ve viskozite değerinin artışı neden olmaktadır. Düşük ve yüksek konsantrasyonlar arasında basınç farkında yaklaşık %40 yerel kayıp katsayısında ise yaklaşık %25 oranında artış gözlenmiştir. Bu türbülans modelinin k - ω Standard Modeli olması ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca en düşük nanoakışkan hacim konsantrasyonu değerinde bile yerel kayıp katsayısı değerinin literatür sonuçlarından (Çengel vd., 2008) oldukça fazla oluşu k - ω Standard Modelinin uygun olmadığını bir kez daha uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.11 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)

Şekil 4.11’te konsantrasyon artışı ile birlikte çizelgelerde belirtildiği gibi, basınç dağılımı da değişmektedir. Dirseğin içerisinde 0.8 Pa mertebesinde olan basınç konsantrasyon değerinin %4’e çıkması durumuyla 2.8 Pa değerine kadar ulaşmıştır. Yine akış dirsekten tam dönerken alt bölgede kalan iç kısımda basıncın çok fazla düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.12 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO)

Şekil 4.12 incelendiği zaman CuO nanoakışkanında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinde de artış olmuştur. Basınç dağılımları daha da sıklaşmıştır. Hız ve basınç dağılımları dönüşlerde daha çok artmıştır. Şekil 4.12’de hız değerinin konsantrasyon değerinin artışı ile hız değerinin yaklaşık 10 katına kadar çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.23 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	1.7329603	1.0790375	0.6539228	1.205
Su+ %2 CuO	2.0446181	1.2725888	0.7720293	1.265
Su+ %4 CuO	2.4255815	1.5097062	0.9158753	1.387

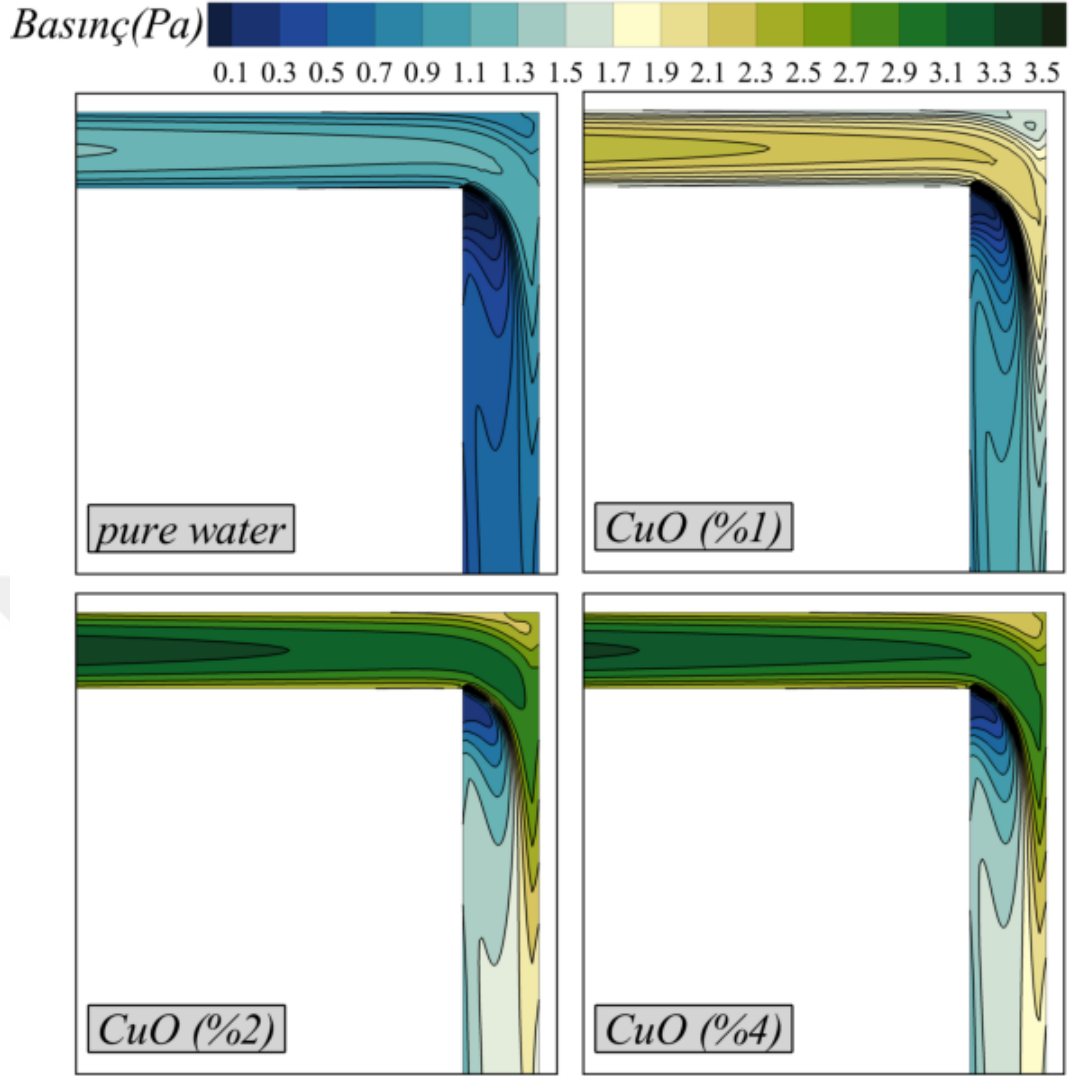
Çizelge 4.23’te L bağlantı parçası için artan konsantrasyon değerine karşı basınç farkı (Pa) ve yerel kayıp katsayısında artış olduğu görülmektedir. Bu artış akışın

türbülanslı bölgede oluşu, keskin dönüşlerde ise enerji kaybına uğramasıyla ilişkilendirilebilir. Konsantrasyon oranının 4 katına çıkması durumunda yerel kayıp katsayısında %15’lik bir artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.24 L bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (CuO)

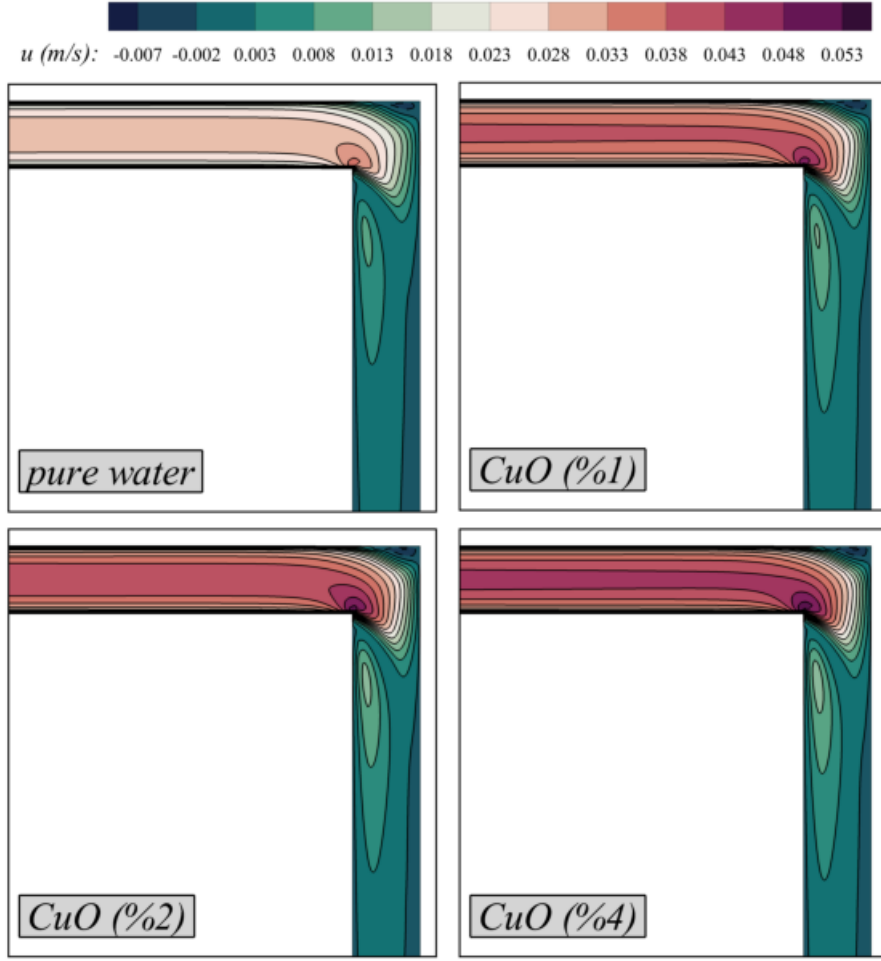
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	4.7532439	4.2205582	0.5326857	0.981
Su+ %2 CuO	7.4026461	6.7731457	0.6295004	1.032
Su+ %4 CuO	6.4388661	5.6924887	0.7463774	1.130

Çizelge 4.24’de L bağlantı parçası için k - ω Standard modeli kullanılması durumunda basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri görülmektedir. Konsantrasyon değerinin artışı ile birlikte çizelge değerleri de arttığı belirtilmiştir. Yerel kayıp katsayısı değerinin literatür (Çengel vd., 2008) sonuçları ile mukayese edildiğinde k - ω Standard modelinin çözümleme için çok da uygun olmadığı sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 4.13 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)

Şekil 4.13’de L bağlantı parçasında artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşı basınç dağılımının da arttığı görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 1.9 Pa mertebesinde olan basınç değerinin konsantrasyon artıkça 3.3 Pa mertebesine kadar çıktığı görülmektedir. Özellikle keskin dönüşün olduğu yerlerde; enerji kayıplarından dolayı basınç değerleri çok fazla azalmıştır.



Şekil 4.14 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO)

Şekil 4.14 için yine L bağlantı parçasında konsantrasyon artışı ile birlikte hız değerlerinde de bir artış gözlenmiş, konsantrasyon arttıkça hız dağılımlarının da sıklaştığı görülmüştür. Düşük konsantrasyonda 0.028 m/s değerinde olan hızın, yüksek konsantrasyonda 0.048 m/s değerine kadar çıkmıştır. Hız değerindeki bu akışın Reynolds sayısı, $Re=5000$ oluşuyla akışın türbülanslı bölgede olmasıyla ilişkilendirilebilir. Şekil 4.14 incelendiği zaman keskin köşelerin olduğu alt kısımlarda akışın enerji kaybetmesiyle hız değerinin çok fazla düştüğü görülmektedir.

Çizelge 4.25 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (CuO)

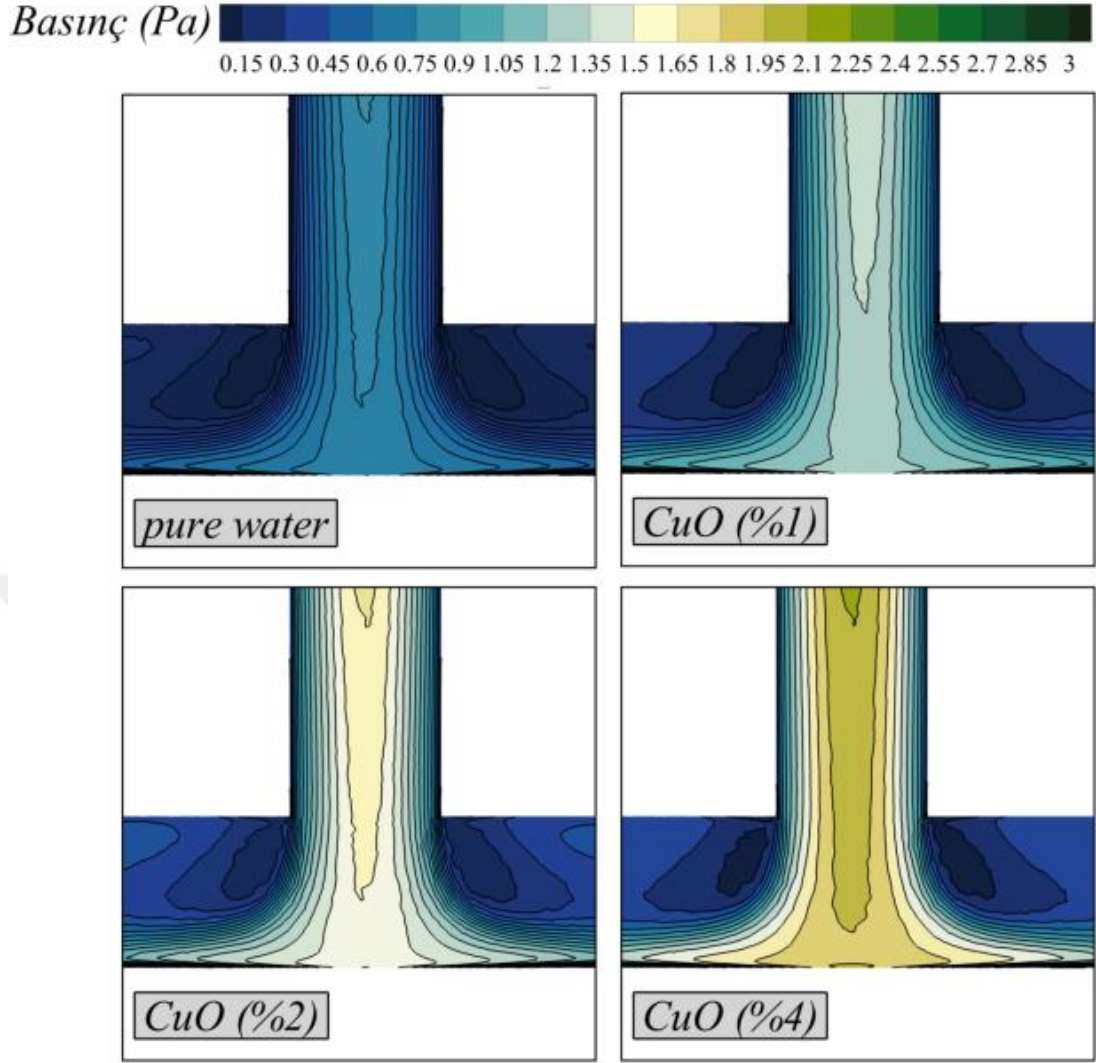
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	1.373623	0.29231877	1.08130463	1.992
Su+ %2 CuO	1.622456	0.34526703	1.27718957	2.093
Su+ %4 CuO	1.924762	0.40959928	1.51516322	2.295

Çizelge 4.25'te Reynolds sayısı, $Re=5000$ değerinde T bağlantı parçası için basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. T bağlantı parçasında keskin köşelerde girdap oluşarak akışın yönünün değişerek ayrılması, artan Reynolds değerine bağlı olarak akış hızının artması, konsantrasyona bağlı olarak yoğunluk ve viskozitedeki artışın olması; basınç farkının ve yerel kayıp katsayısının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.26 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (CuO)

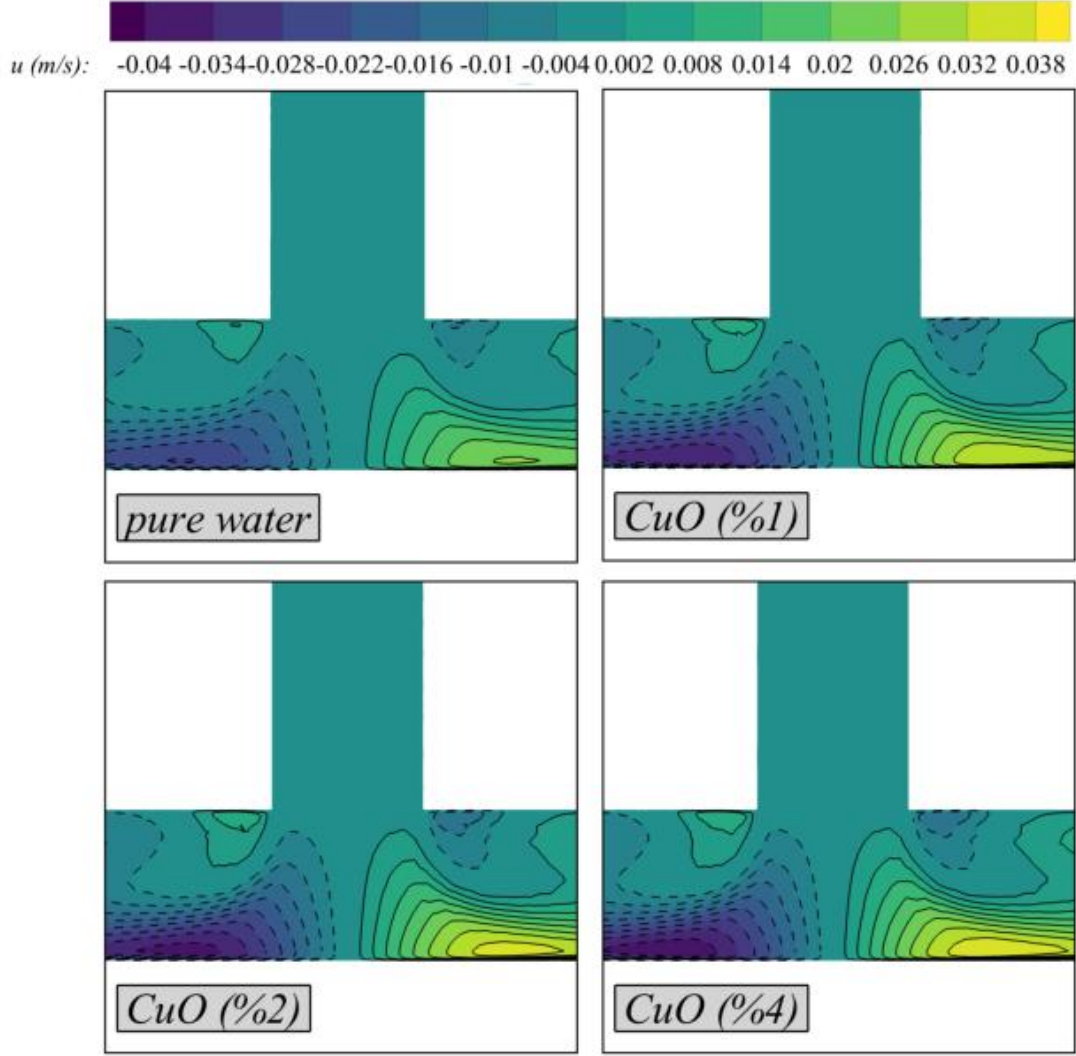
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	3.3449395	2.1968422	1.1480973	2.115
Su+ %2 CuO	3.4185028	2.0273635	1.4911393	2.280
Su+ %4 CuO	3.9680626	2.3727727	1.5952899	2.416

Çizelge 4.26'da T bağlantı parçasının çözümlemesinde k - ω Standard modelinin kullanılması durumunda elde edilen basınç farkı (Pa) ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. T bağlantı parçasında akışın ayrılması, keskin dönüşlerde girdap oluşması akış hızını ve yerel kayıp katsayısı değerinin arttırmıştır. Literatürdeki yerel kayıp katsayısı (Çengel vd., 2008) değerleri ile mukayese edildiğinde, k - ω Standard modelinin kullanılması durumunda yerel kayıp katsayısı değerlerinin oldukça fazla çıkması kullanılan modelin uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.15 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)

CuO nanoakışkanı kullanıldığı durumda artan konsantrasyona bağlı olarak değişen basınç dağılımı şekil 4.15’de gösterilmektedir. T bağlantı parçası içinde düşük konsantrasyonlarda 0.15 Pa mertebesinde olan basınç konsantrasyon değerinin artışı ile birlikte 2.1 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Yine T bağlantı parçasında alttaki keskin köşelerde akış kollara ayrılmış ve basınç diğer bölgelere göre çok fazla düşmüştür.



Şekil 4.16 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO)

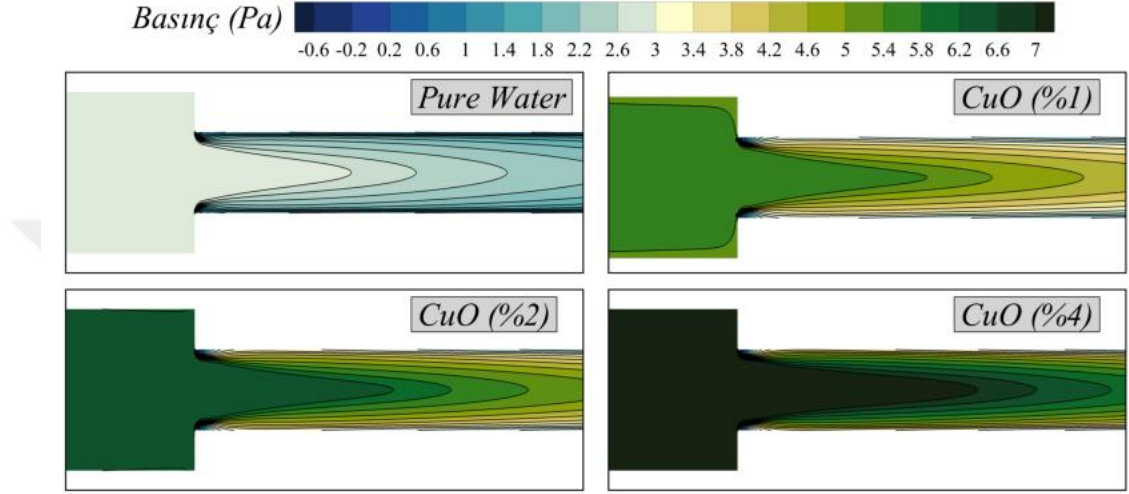
Şekil 4.16 T bağlantı parçası için hızdaki artışa bağlı olarak hız dağılımlarının da sıklaştığı görülmektedir. Hızdaki artış akışın türbülanslı bölgede olması ve keskin köşelerde akışın kollara ayrılması ile ilişkilendirilebilir. Şekil 4.16'da kesikli çizgilerle gösterilen yerlerde akış yön değiştirir.

Çizelge 4.27 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınc Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	5.448206	4.2928853	1.15531	0.5321
Su+ %2 CuO	6.331271	4.9932778	1.33793	0.5482
Su+ %4 CuO	7.510989	5.9236912	1.58728	0.6010

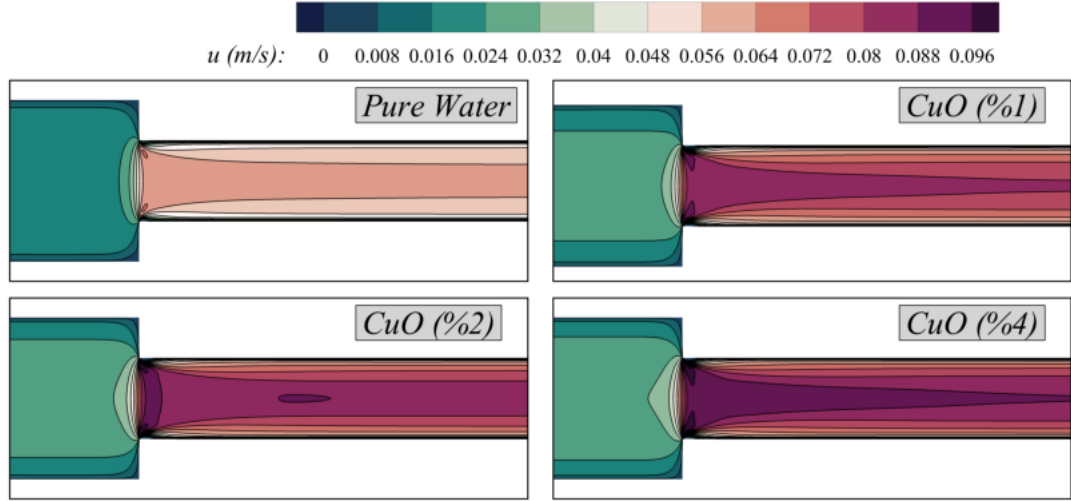
Çizelge 4.28 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Modeli (CuO)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	5.1613469	4.1914682	0.96989	0.4467
Su+ %2 CuO	6.0957248	4.9502604	1.14544	0.4693
Su+ %4 CuO	7.2315171	5.8726229	1.35884	0.5145



Şekil 4.17 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)

Şekil 4.17’de ani daralma bağlantı parçasının türbülanslı akış bölgesinde basınç dağılımları görülmektedir. Ani girdap kopmalarından kaynaklı enerji kayıplarından dolayı, basınç değerleri oldukça fazla bir artış göstermiştir. Giriş çapında basınç 2.6 Pa mertebesindeyken, çıkış çapında basınç değeri aniden 7 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır.



Şekil 4.18 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO)

Şekil 4.18’de ani daralma redüksiyon parçası için diğer bağlantı parçalarına oranla hız ve basınç değerlerinde yaklaşık 10 kat daha fazla artış olduğu görülmüştür. Giriş çapında hız değeri 0.024 m/s değerindeyken, çıkış çapında hız değeri aniden 0.096 m/s değerine kadar ulaşmıştır. Büyük akış ayrılmalarının olduğu yerlerde hız dağılımlarının çok fazla sıklaştığı görülmektedir.

Çizelge 4.29 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (CuO)

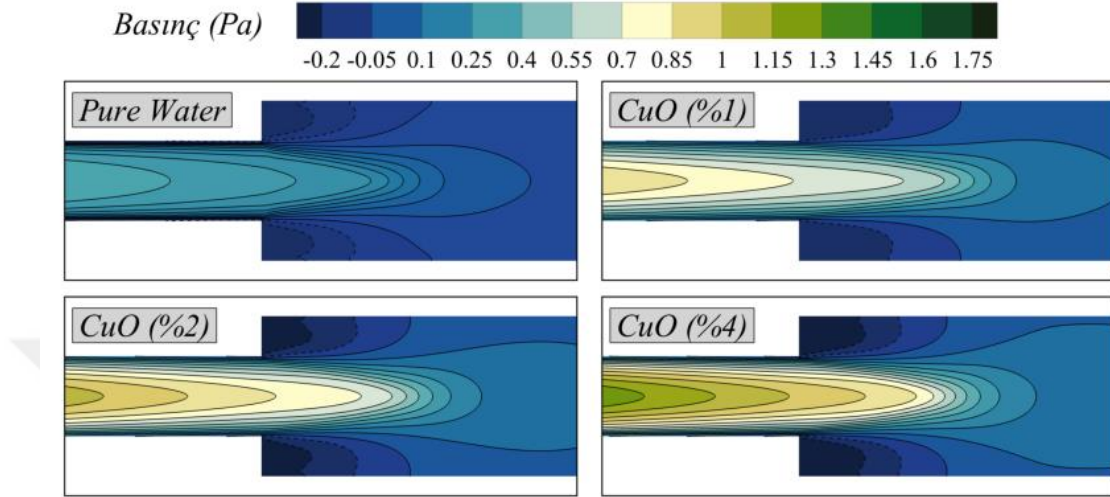
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	0.4263138	0.083541	0.34277	0.632
Su+ %2 CuO	0.5053680	0.098895	0.40647	0.666
Su+ %4 CuO	0.5997436	0.117606	0.48214	0.730

Çizelge 4.29’da ani genişleme bağlantı parçası için türbülanslı akışta, akışın ani girdap kopmasına denk geldiği yerlerdeki enerji kayıpları ile basınç farkı (Pa) ve yerel kayıp katsayısı değerinde bir artış gözlenmiştir.

Çizelge 4.30 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω StandardModeli(CuO)

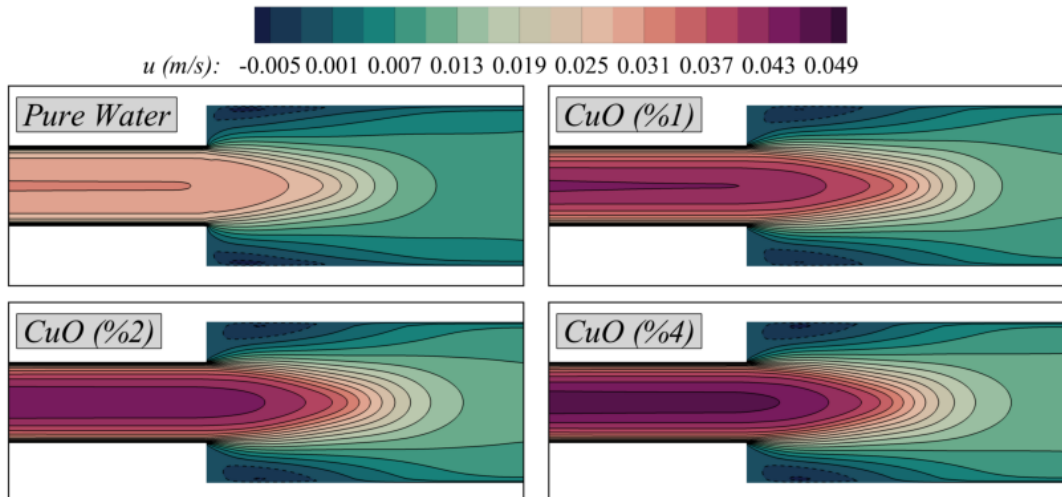
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %1 CuO	0.3944536	0.029040712	0.36541	0.673
Su+ %2 CuO	0.4659167	0.034303676	0.43161	0.707
Su+ %4 CuO	0.5527291	0.040695345	0.51203	0.775

Çizelge 4.30 için ani genişleme bağlantı parçasının çözümlemesinde kullanılan $k - \omega$ Standard modelinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Bağlantı parçasının şekli, akışın durumu ve kayıplar ele alındığında $k - \omega$ Standard modelinin uygun olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.19 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (CuO)

Şekil 4.19’da görüldüğü gibi her bir bağlantı parçasının girişinden çıkışına doğru yöneldikçe basınç değerlerinde ani bir düşüş gözlenmiştir. Konsantrasyon bazında değerlendirildiğinde ise, her bir bağlantı parçası için giriş çapındaki basınç değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.20 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (CuO)

Şekil 4.20 incelendiğinde ani genişleme bağlantı parçası için yine hız dağılımının arttığı görülmüştür. Konsantrasyon arttıkça hız değerleri de artmıştır. her bir bağlantı parçası için düşünüldüğünde, giriş çapındaki hız değerinin çıkışa doğru gidildikçe aniden düştüğü, özellikle ani girdap kopmasının yaşandığı köşelerde dağılımın sıklaştığı görülmüştür.

Su + CuO nanoakışkanında da %1, %2, ve %4 olmak üzere 3 farklı konsantrasyonu ele alınmıştır. Farklı bağlantı malzemeleri için bu konsantrasyonlar Reynolds sayısı, $Re=500$ ve $Re=5000$ için yine 4 farklı türbülans modeli ele alınıp çözümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde verilen değerler (Çengel vd., 2008) ile kıyaslandığında Reynolds 500 için en uygun modelin T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve dirsek bağlantı parçası için laminar model; redüksiyon parçaları için ise (ani daralma ve ani genişleme) $k - \epsilon$ RNG modeli olduğu görülmüştür. Aynı şekilde Reynolds 5000 için çözümler yapıldığında T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve dirsek bağlantı parçası için en uygun modelin $k - \epsilon$ Standard model; redüksiyon parçaları için ise $k - \epsilon$ RNG modeli olduğu görülmüştür. Yine $k - \omega$ Standard modelinin hiçbir bağlantı malzemesi için uygun sonucu vermediği görülmüştür.

4.1.3. Su ve TiO₂ Nanoakışkanı İçin Elde Edilen Sonuçlar

Su + TiO₂ nanoakışkanı için Reynolds sayısı, $Re=500$ için farklı türbülans modellerinde hesaplanan basınç ve yerel kayıp değerleri aşağıdaki Çizelge 4.31, Çizelge 4.32, Çizelge 4.33, Çizelge 4.34, Çizelge 4.35 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.31 **Dirsek Boru** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=500$ Laminar Model (TiO₂)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %0.05 TiO ₂	0.01047677	0.00857752	0.001799251	0.990
Su+ %0.1 TiO ₂	0.01089323	0.00891846	0.001854447	1.050
Su+ %0.3 TiO ₂	0.01264383	0.01075171	0.001812123	1.110
Su+ %0.5 TiO ₂	0.01441139	0.01259882	0.001892575	1.129

Çizelge 4.31’de dirsek bağlantı parçası için artan konsantrasyona karşı yerel kayıp katsayısı ve basınç farkı değerinin arttığı görülmektedir. Görüldüğü gibi düşük hacim konsantrasyonunda yerel kayıp katsayısı değeri literatür (Çengel vd., 2008)

sonuçlarına yakinken, hacim konsantrasyonunun artışı birlikte enerji kayıplarından, viskozite ve yoğunlukta küçük artışlardan dolayı basınç farkı artmış bu da yerel kayıp katsayısının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.32 L Boru Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (TiO₂)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %0.05 TiO ₂	0.014097	0.01160237	0.00249463	1.300
Su+ %0.1 TiO ₂	0.014657	0.01206386	0.00259376	1.393
Su+ %0.3 TiO ₂	0.017013	0.01400316	0.00301067	1.766
Su+ %0.5 TiO ₂	0.019391	0.01595983	0.00343147	2.138

Çizelge 4.32, L bağlantı parçası için konsantrasyon arttıkça basınç farkı ve yerel kayıp katsayısının arttığı görülmektedir. L bağlantı parçasında keskin dönüşlerden dolayı akışın ayrılması sebebiyle enerji kayıpları fazla olmakta bu da konsantrasyon arttıkça yerel kayıp değerinin artmasına sebep olmuştur.

Çizelge 4.33 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 Laminar Model (TiO₂)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %0.05 TiO ₂	0.015373571	0.011411081	0.00396	2.065
Su+ %0.1 TiO ₂	0.015979851	0.011864928	0.00411	2.210
Su+ %0.3 TiO ₂	0.018551387	0.013769799	0.00478	2.805
Su+ %0.5 TiO ₂	0.021013627	0.015570619	0.00544	3.391

Çizelge 4.33'te T bağlantı parçası için artan konsantrasyona karşı artan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri verilmiştir. T bağlantı parçası için laminar akış ele alındığı durumda bile, akışın keskin köşelerde ayrılmasından dolayı basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değeri oldukça artmıştır.

Çizelge 4.34 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, Re=500 k - ε RNG Modeli (TiO₂)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K _k)
Su+ %0.05 TiO ₂	0.032504238	0.028455036	0.00409	0.5275
Su+ %0.1 TiO ₂	0.033795719	0.029585631	0.00420	0.5653
Su+ %0.3 TiO ₂	0.039227935	0.034341132	0.00487	0.7166
Su+ %0.5 TiO ₂	0.044711088	0.039141222	0.00550	0.8676

Çizelge 4.34'te ani daralma bağlantı parçası için artan konsantrasyona karşı basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. Bu durum enerji kayıplarından oluşan basınç farkı ve artan konsantrasyonlarıyla ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.35 **Ani Genişleme** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=500$ k - ϵ RNG Modeli (TiO_2)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.001758118	0.0006425262	0.001116	0.581
Su+ %0.1 TiO_2	0.001842024	0.0007557126	0.001086	0.583
Su+ %0.3 TiO_2	0.002254587	0.0012201267	0.001034	0.606
Su+ %0.5 TiO_2	0.002570079	0.0015916768	0.000978	0.609

Su + TiO_2 nanoakışkanı için Reynolds sayısı, $Re=5000$ için yine farklı modeller kullanılarak elde edilen basınç değerleri ve bu basınç değerlerine bağlı olarak hesaplanan hız ve yerel kayıp değerleri aşağıdaki Çizelge 4.36, Çizelge 4.37, Çizelge 4.38, Çizelge 4.39, Çizelge 4.40, Çizelge 4.41, Çizelge 4.42, Çizelge 4.43, Çizelge 4.44, Çizelge 4.45 ile özetlenmiştir. Çizelgelerde hesaplanan basınç farkı değerlerine ve akışın tam gelişmiş olduğu noktalardaki hız değerlerine göre Tecplot programında oluşturan veriler ise Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 Şekil 4.24 Şekil 4.25 Şekil 4.26, Şekil 4.27 , Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 ile özetlenmiştir.

Çizelge 4.36 **Dirsek** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (TiO_2)

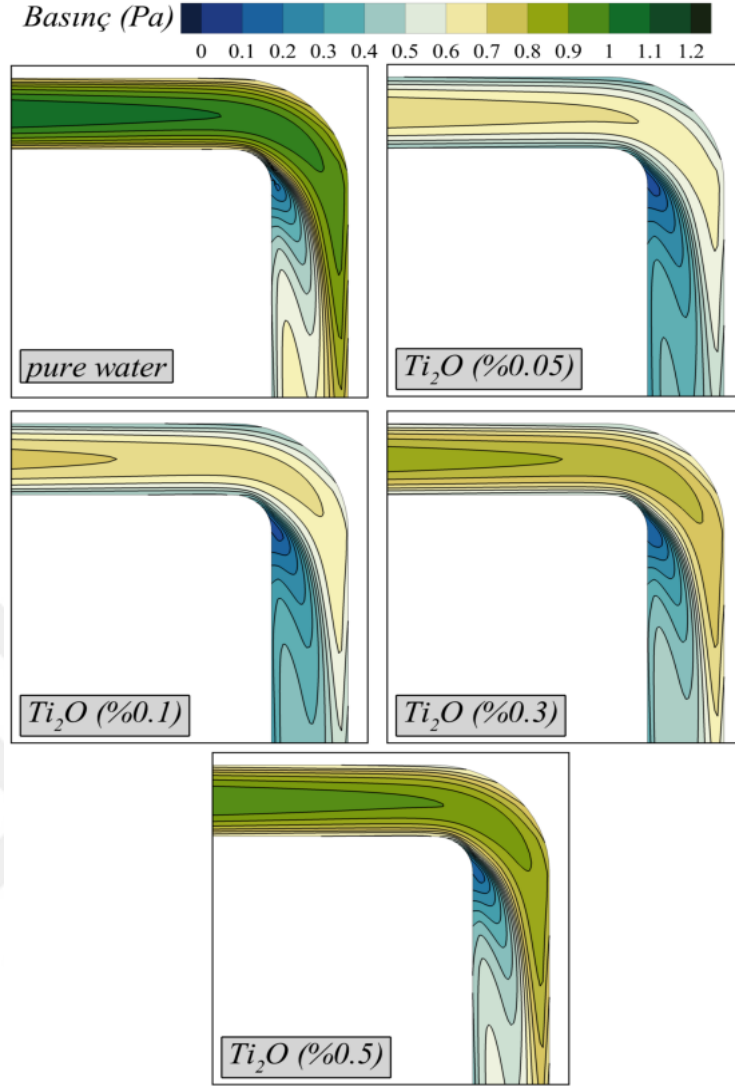
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.6777107	0.49388267	0.1838281	0.958
Su+ %0.1 TiO_2	0.7049197	0.51331241	0.19160729	1.029
Su+ %0.3 TiO_2	0.8178619	0.62096792	0.19689405	1.155
Su+ %0.5 TiO_2	0.8978749	0.71000306	0.19787191	1.171

Çizelge 4.36'da görüldüğü gibi nanoakışkan hacim yüzdesindeki artış basınç farkını ve yerel kayıp katsayısı değerini arttırmıştır. Buna akışın türbülanslı olması, dönüşlerdeki enerji kayıpları, viskozite ve yoğunluktaki artış sebep olmuştur.

Çizelge 4.37 **Dirsek** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (TiO_2)

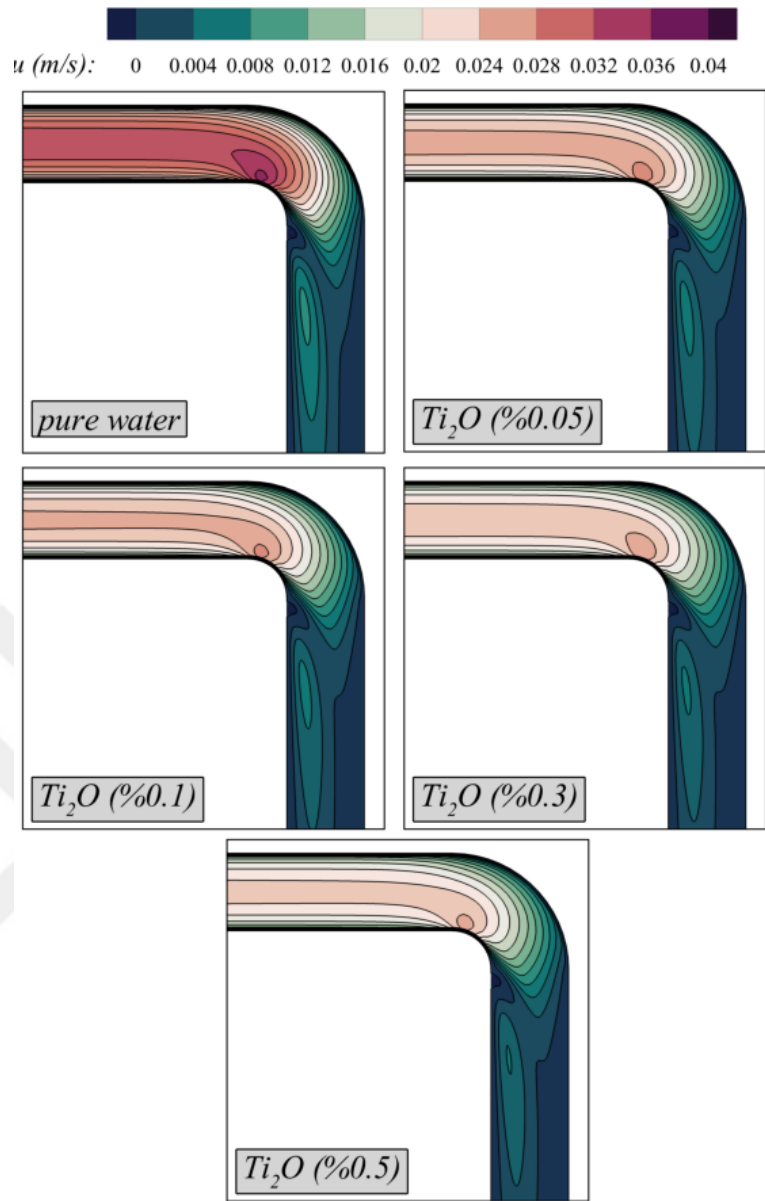
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.7834562	0.55812991	0.2253263	1.174
Su+ %0.1 TiO_2	0.5835563	0.32010195	0.2634544	1.415
Su+ %0.3 TiO_2	0.9455916	0.67359847	0.2719932	1.596
Su+ %0.5 TiO_2	1.0775239	0.76762283	0.3099010	1.931

Çizelge 4.37’de görüldüğü gibi basınç farkında ve yerel kayıp katsayısında ciddi bir artış görülmektedir. Akışın dönüşlerdeki enerji kayıpları, çok düşük de olsa viskozite, yoğunluk artışı buna sebep olmaktadır. Ayrıca en düşük hacim konsantrasyonunda bile yerel kayıp katsayısı değerinin literatür (Çengel vd., 2008) sonuçlarından uzak olması, kullanılan k - ω Standard modelinin çok da uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4. 21 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.21’de yine artan konsantrasyona bağlı olarak basınç dağılımı gösterilmiştir. Çizelgelerde de belirtildiği gibi, konsantrasyon artışına bağlı olarak basınç farkı değerleri de artmıştır. En düşük konsantrasyona bağlı olarak düşük değerlerde 0.6 Pa mertebesinde olan basınç en yüksek konsantrasyonda 1.1. Pa değerine kadar artmıştır. Yine akışın dirsekten tam dönerken alt bölgesinde kalan kısımlarında diğer bölgelere oranla çok fazla düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.22 Dirsek Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.22 incelendiğinde hız dağılımlarının sıklaştığı görülmüştür. Burada diğer nanoakışkanların aksine hız dağılım değerinde azalma olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise; TiO_2 nanoakışkanının aynı konsantrasyon değerleri düşünüldüğünde, viskozitedeki ve yoğunluk oranlarındaki artış oranı diğer nanoakışkanlara göre daha düşüktür. Çok düşük konsantrasyonlarda konsantrasyon değeriyle birlikte yoğunluk ve dinamik viskozite artmış olsa bile düşük artış oranı bunun önüne geçmiş ve hız değeri azalmıştır. Ve hız dağılımları seyrekleşmiştir. Konsantrasyonun çok düşük olması, hız değerini azaltmış olmasına rağmen basınç farkının artmasını engelleyememiştir.

Çizelge 4.38 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (TiO_2)

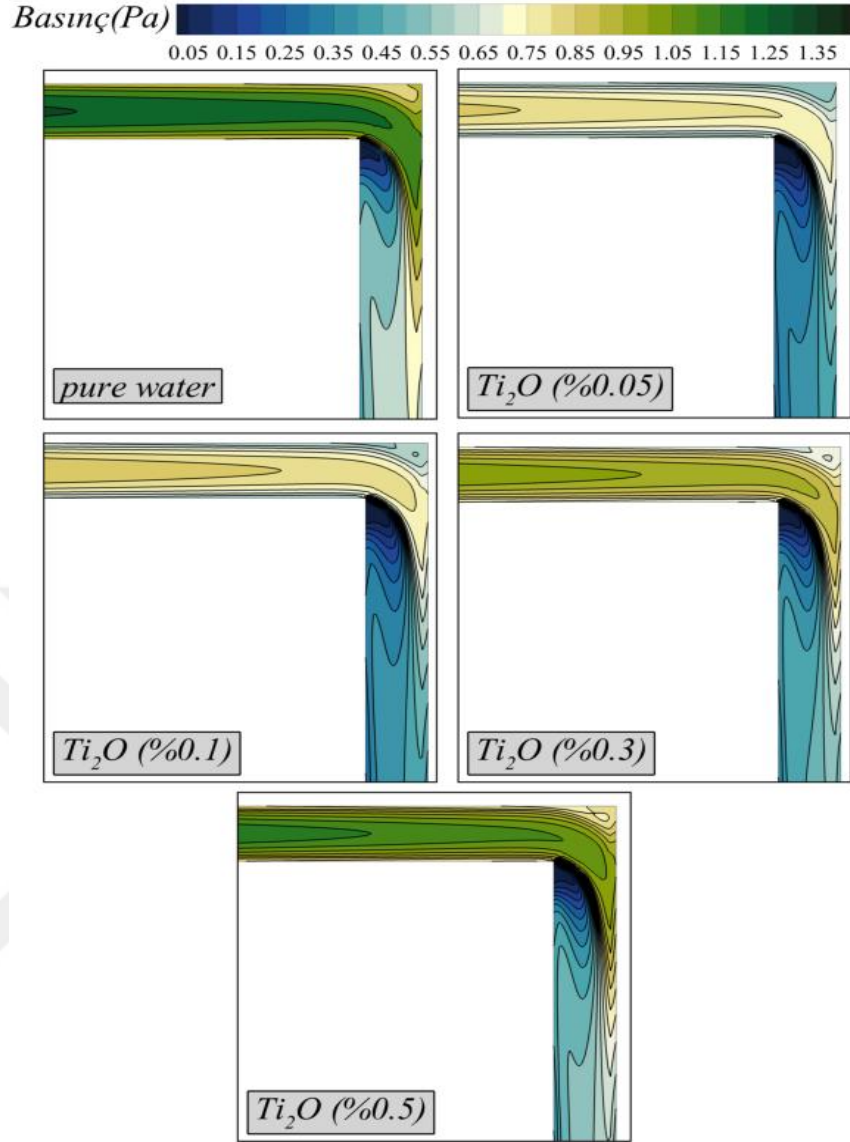
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.627208	0.41732274	0.20988526	1.094
Su+ %0.1 TiO_2	0.652135	0.43388386	0.21825155	1.172
Su+ %0.3 TiO_2	0.758024	0.56471218	0.21933118	1.134
Su+ %0.5 TiO_2	0.862770	0.64298421	0.21978612	1.369

L bağlantı parçası için türbülanslı akışta, artan hacim konsantrasyonuna karşı basınç farkı ve yerel kayıp katsayısındaki artış çizelge 4.38’de gösterilmiştir. Bağlantı parçasındaki artış, enerji kaybını ve basınç kaybını beraberinde getirmiştir. Konsantrasyon artışıyla beraber, yerel kayıp katsayısı değerlerinin literatür (Çengel vd., 2008) sonuçlarına yakın olması, çözümleme için k - ϵ Standard modelini uygun model olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.39 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (TiO_2)

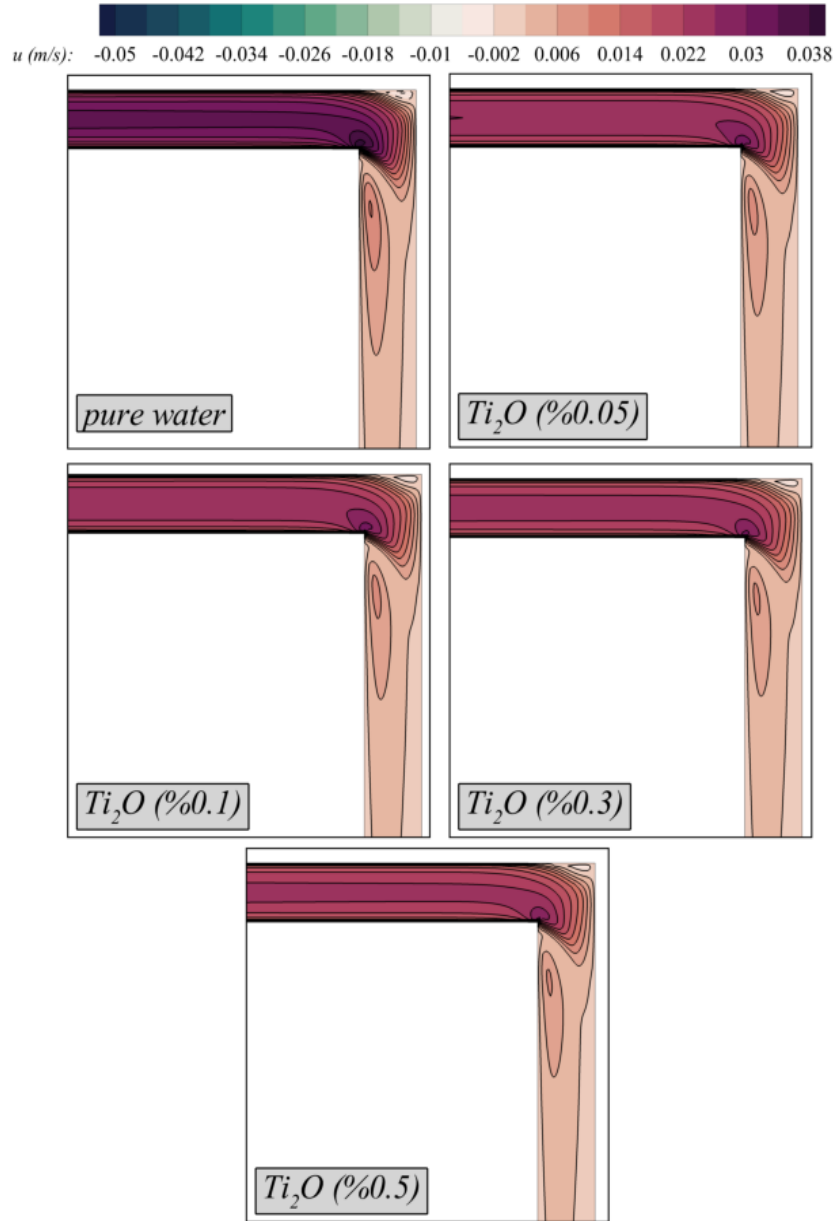
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	2.236311	2.0440373	0.1922737	1.002
Su+ %0.1 TiO_2	1.597541	1.3306392	0.2669023	1.434
Su+ %0.3 TiO_2	2.696226	2.4639552	0.2322716	1.363
Su+ %0.5 TiO_2	3.197741	2.9321613	0.2655797	1.655

Çizelge 4.39’da L bağlantı parçasının sayısal çözümlemesinde k - ω Standard modelinin kullanılması durumunda meydana gelen basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri görülmektedir. çözümlemeler sonucunda elde edilen yerel kayıp katsayısı değerlerinin literatür (Çengel vd., 2008) sonuçlarından uzak olması k - ω Standard modelinin çözümlemeler uygun bir model olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.23 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.23'te L bağlantı parçası için artan basınç dağılımları gösterilmiştir. Düşük konsantrasyon değerlerinde 0.75 Pa mertebesinde olan basınç konsantrasyon artışı ile birlikte 1.05 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Keskin köşelerin olduğu kısımlarda enerji kayıplarından dolayı basınç çok fazla azalmıştır.



Şekil 4.24 L Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.24 incelendiğinde hız dağılımlarının özellikle köşelerde daha çok sıklaştığı, hız değerinin ise yine azaldığı görülmüştür. Hız değeri azalmış olsa da hacimsel konsantrasyonun ve Reynolds sayısının artışı sonucunda basınç farkının değerleri artmıştır.

Çizelge 4.40 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ Standard Model (TiO_2)

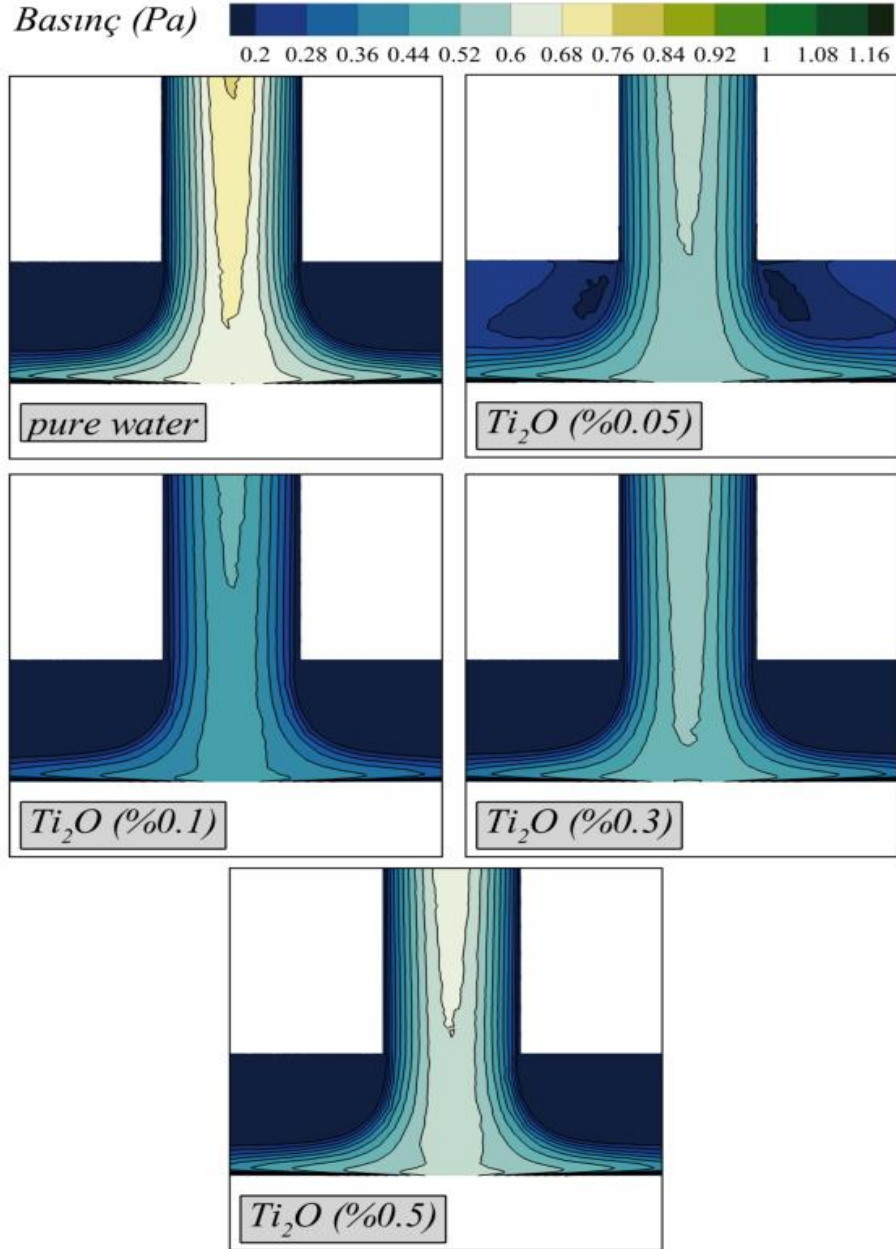
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.49763631	0.11471079	0.383	2.00
Su+ %0.1 TiO_2	0.51740839	0.11926848	0.398	2.138
Su+ %0.3 TiO_2	0.60056067	0.13843412	0.462	2.711
Su+ %0.5 TiO_2	0.68452164	0.15778997	0.527	3.282

Çizelge 4.40'da T bağlantı parçası için çözümlemelerde k - ϵ Standard modelinin kullanılması durumunda elde edilen basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri verilmiştir. T bağlantı parçasında akışın kollara ayrılması, keskin köşelerde akışın girdaplar oluşturulması nedeniyle yerel kayıp katsayı değerleri artmıştır. Ayrıca bu durum Reynolds sayısı, $Re=5000$ değerinde olmasından dolayı akışın türbülanslı olmasıyla da ilişkilendirilebilir.

Çizelge 4.41 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Model (TiO_2)

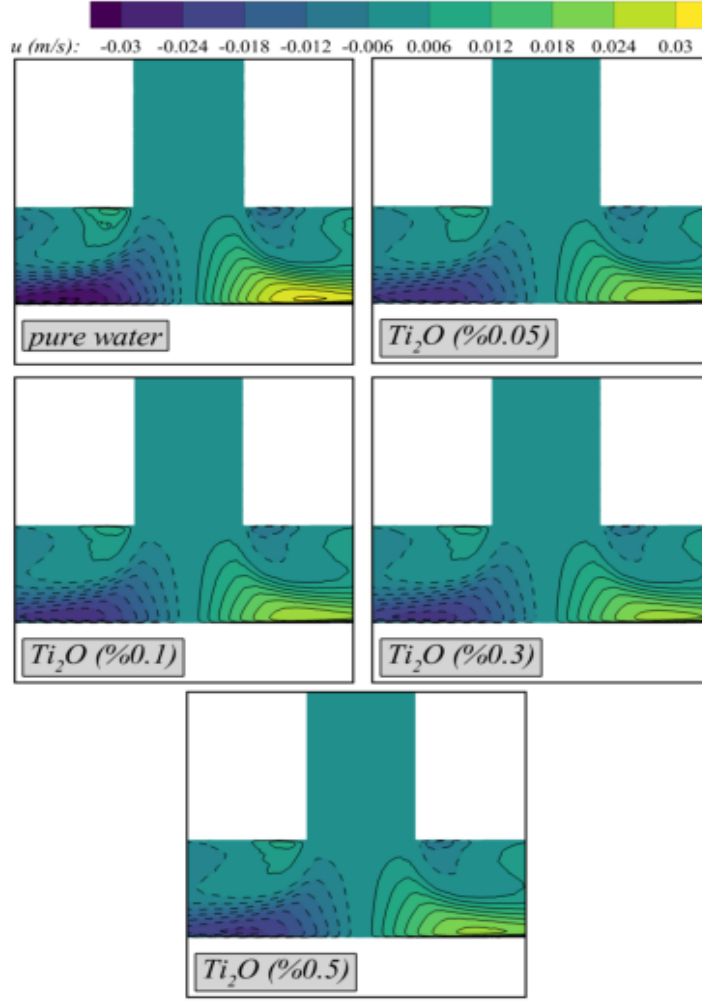
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	2.654587	2.2158306	0.439	2.286
Su+ %0.1 TiO_2	2.432494	1.8777752	0.555	2.979
Su+ %0.3 TiO_2	2.639801	1.9958428	0.644	3.777
Su+ %0.5 TiO_2	4.170856	3.4458084	0.725	4.517

Çizelge 4.41'de T bağlantı parçası için çözümlemelerde k - ω Standard modelinin kullanılması durumunda elde edilen basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri verilmiştir. K - ω Standard modeli ele alındığında özellikle yerel kayıp katsayısı değerlerinin literatürde (Çengel vd., 2008) olan değerlerle kıyaslandığında, özellikle yüksek konsantrasyonlarda yaklaşık 2.5 kat daha fazla olması; k - ω Standard modelinin uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.25 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.25’te artan konsantrasyona bağlı olarak T bağlantı parçası için basınç dağılımı gösterilmektedir. Düşük konsantrasyonlarda 0.36 Pa mertebesinde olan basınç değeri konsantrasyon artışı ile birlikte 0.68 Pa mertebesine kadar ulaşmıştır. Akışın kollara ayrıldığı keskin bölgelerde basınç dağılımları sıklaşmıştır.



Şekil 4.26 T Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.26 incelendiğinde T bağlantı parçası için akış ayrılmalarının olduğu yerlerde hız dağılımlarının sıklaştığı görülmektedir. Keskin dönüşlerin olduğu girdap kopmalarında akış ters yönde hareket etmektedir. Şekil 4.26'daki kesikli çizgiler, akışın yönünü değiştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.42 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (TiO_2)

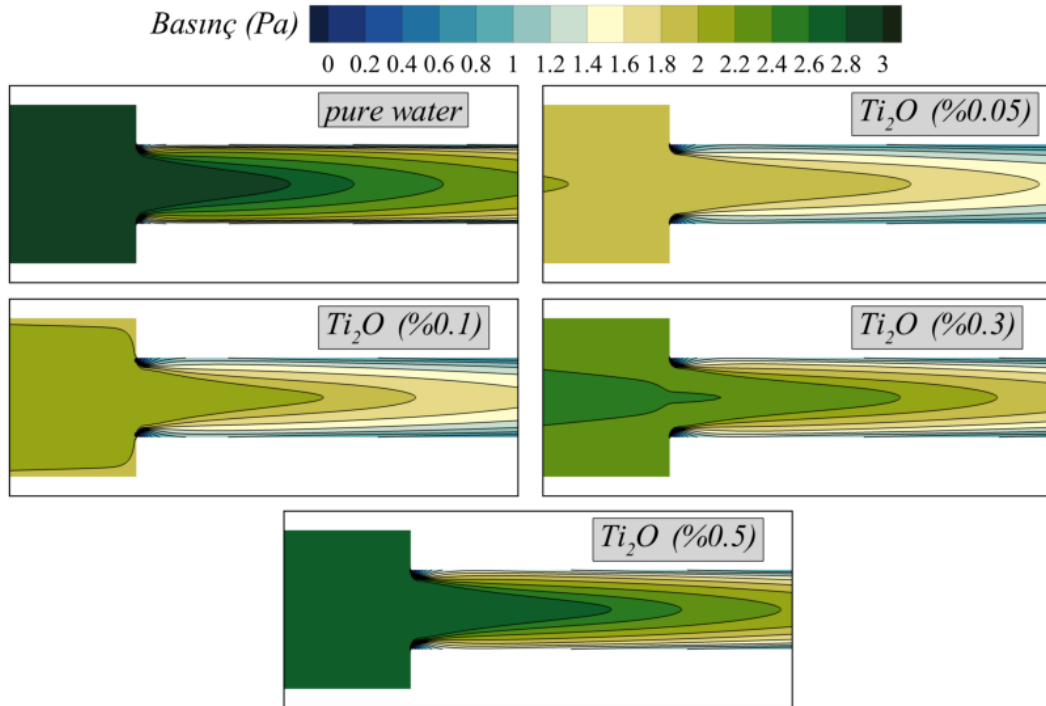
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	1.941923	1.4755215	0.46642	0.6076
Su+ %0.1 TiO_2	2.018728	1.5342044	0.48454	0.6506
Su+ %0.3 TiO_2	2.343236	1.7808307	0.56246	0.8247
Su+ %0.5 TiO_2	2.671240	2.0296799	0.64150	0.9993

Şekil 4.42’de ani daralma bağlantı parçası için, türbülanslı akışta hesaplanan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri belirtilmiştir. Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça ani girdap kopmalarından dolayı basınç farkında ve yerel kayıp katsayısında bir artış görülmüştür.

Çizelge 4.43 **Ani Daralma** Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω Standard Modeli (TiO_2)

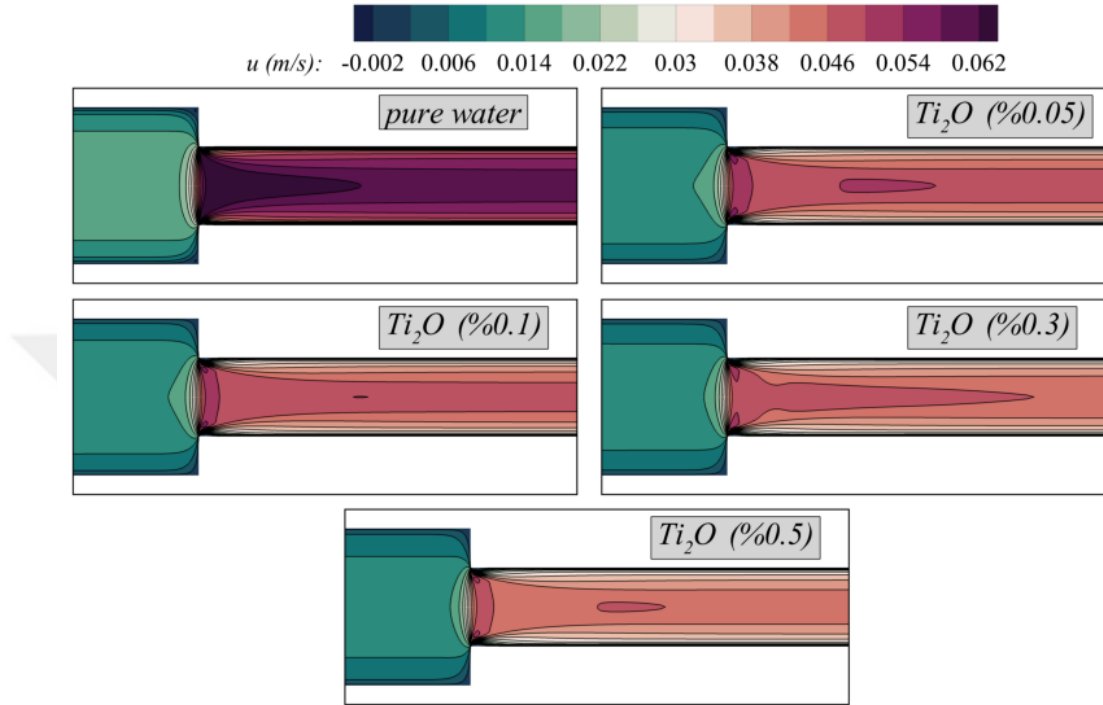
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	1.8697059	1.3474084	0.52228	0.6804
Su+ %0.1 TiO_2	1.9439952	1.4009461	0.54309	0.7292
Su+ %0.3 TiO_2	2.2564858	1.6261054	0.63030	0.9244
Su+ %0.5 TiO_2	2.5718757	1.8533965	0.71849	1.1191

Çizelge 4.43’de ani daralma bağlantı parçası için k - ω Standard modeli ile çözümleme yapıldığında hesaplanan basınç farkı ve yerel kayıp katsayısı değerleri gösterilmiştir. Yerel kayıp katsayısının literatür değerleri ile kıyaslandığında (Çengel vd., 2008) olması gereken değerden çok yüksek olması çözümelemede kullanılan k - ω Standard modelinin uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.27 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.27 görüldüğü gibi ani girdap kopmalarının olduğu yerlerde basınç değerleri oldukça fazla artmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda 1.6 Pa mertebesinde olan basınç değerinin konsantrasyon artışı ile birlikte 2.8 Pa mertebesine kadar çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.28 Ani Daralma Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.28’de ani daralma bağlantı parçası için hızlı girdap kopmalarının olduğu yerlerde hız dağılımlarının çok fazla sıklaştığı görülmüştür. Giriş çapında hız değeri 0.022 m/s değerinde iken, çıkış çapında akışın aniden sıkışmasıyla hız değeri 0.054 m/s değerine kadar çıkmıştır.

Çizelge 4.44 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ RNG Modeli (TiO_2)

Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.15444617	0.030265145	0.12418	0.647
Su+ %0.1 TiO_2	0.16058246	0.031467571	0.12911	0.693
Su+ %0.3 TiO_2	0.18638654	0.036524311	0.14986	0.879
Su+ %0.5 TiO_2	0.21244816	0.041631198	0.17082	1.064

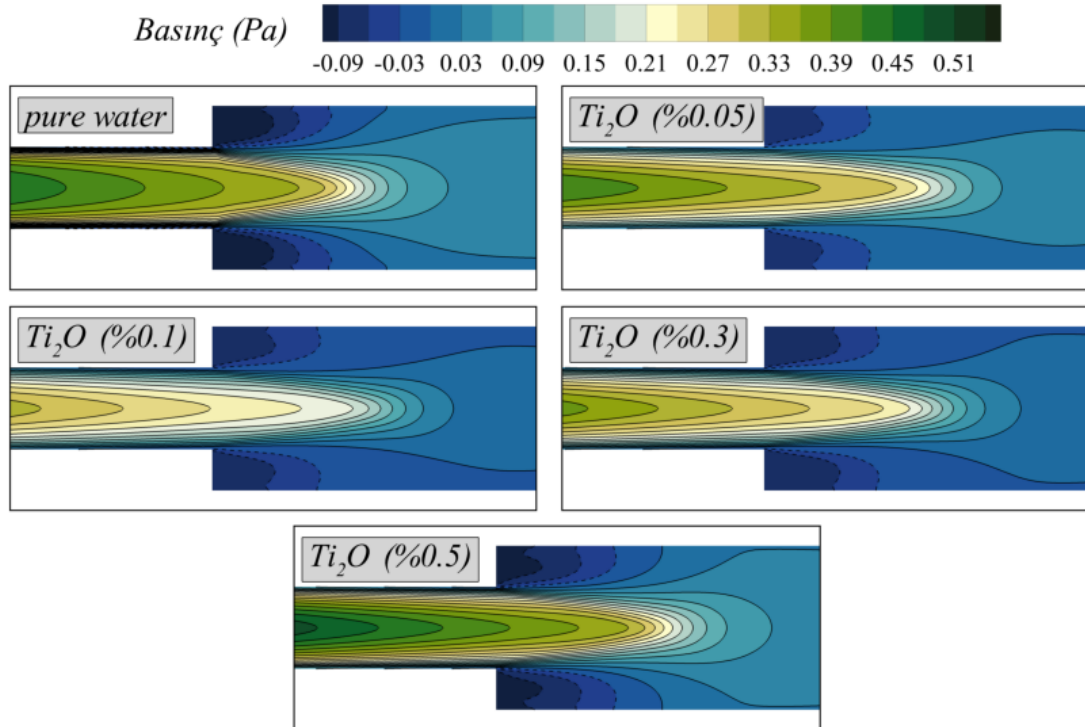
Çizelge 4.44’de ani genişleme bağlantı parçası için Reynolds sayısı, $Re=5000$ değerinde artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşılık basınç farkı (Pa) ve yerel

kayıp katsayısı gösterilmiştir. Ani genişleme bağlantı parçasında, ani girdap kopmalarının olduğu yerlerde büyük enerji kayıpları yaşanmaktadır. Bu durum basınç kaybını da beraberinde getirerek yerel kayıp katsayısının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.45 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω StandardModeli (TiO_2)

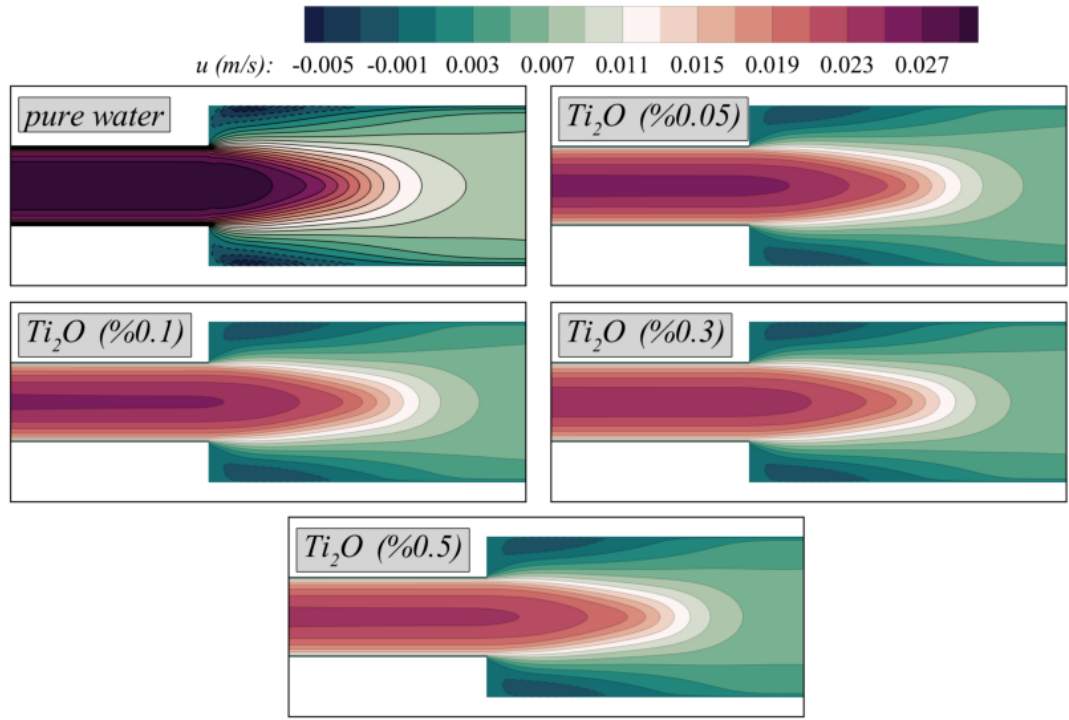
Akışkanlar	Hesaplanan Değerler			
	1.Yüzey Basıncı	2.Yüzey Basıncı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
Su+ %0.05 TiO_2	0.14290495	0.01052154	0.13238	0.690
Su+ %0.1 TiO_2	0.14858284	0.01093959	0.13764	0.739
Su+ %0.3 TiO_2	0.17592162	0.01269753	0.16322	0.957
Su+ %0.5 TiO_2	0.19657233	0.01447287	0.18210	1.135

Çizelge 4.45'te ani genişleme bağlantı parçası için türbülanslı akışta çözümler için k - ω Standard modelinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Enerji kayıpları, basınç farkı ve çözümlerde k - ω Standard modelinin kullanılması değerlendirildiğinde yerel kayıp katsayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.29 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için basınç dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.29’da artan nanoakışkan konsantrasyonuna karşı basınç değerlerinin arttığı özellikle basınç dağılımlarının sıklaştığı görülmektedir. Ani genişleme bağlantı parçası için giriş çapında yüksek basınç değerleri görülürken, özellikle büyük enerji kayıplarının olduğu köşelerde ve alt kısımlarda basınç değerlerinin ani bir şekilde düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 4.30 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için hız dağılımı (TiO_2)

Şekil 4.30 incelendiğinde yine konsantrasyon artışı ile birlikte hız dağılımlarında artış gözlenmiştir. Diğer nanoakışkanların aksine hız değerinde azalma olmuş olsa bile, bu azalma basınç değerlerinin önüne geçememiş ve sonuç olarak basınç farkı değeri yine artmıştır.

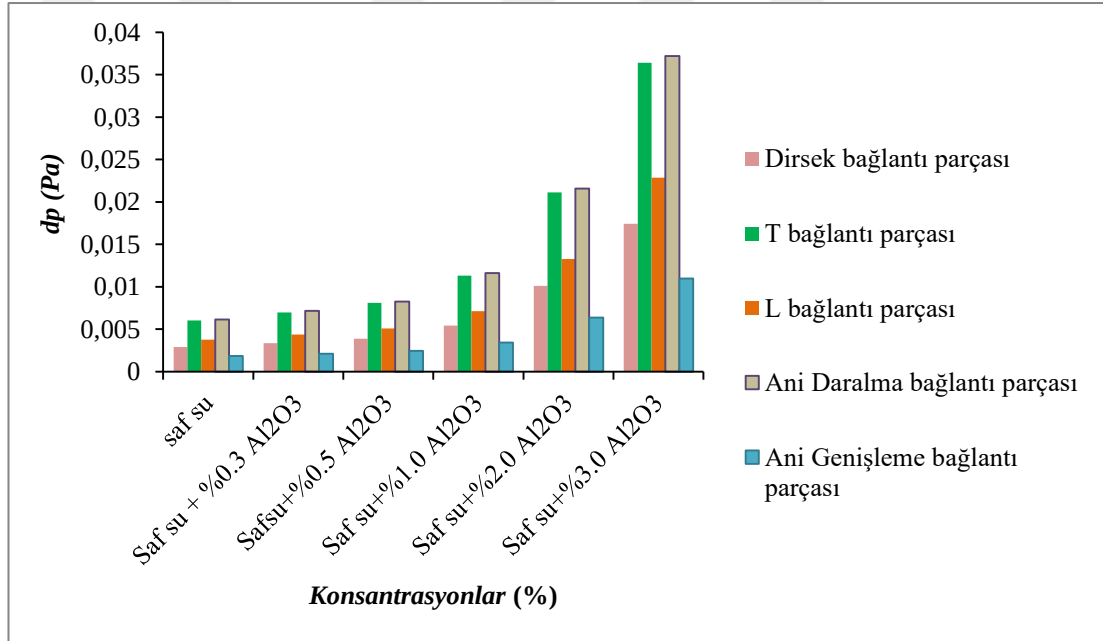
TiO_2 nanoakışkanın 4 farklı hacim konsantrasyonu da ele alındığında konsantrasyonun artışı ile birlikte basınç farkının da arttığı görülmektedir. Basınç farklarıyla hesaplanan yerel kayıp katsayı değerinin de arttığı görülmüştür. Modellerin uygunluğu diğer nanoakışkanlarla aynı olup, Reynolds 500 için T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve dirsek bağlantı parçası için laminar modelin en uygun olduğu; redüksiyon parçaları için ise $k - \epsilon$ RNG modelinin uygun olduğu görülmüştür. Reynolds 5000 için çözümler yapıldığında T bağlantı parçası, L

bağlantı parçası ve dirsek bağlantı parçası için en uygun modelin $k - \epsilon$ Standard model; redüksiyon parçaları için ise $k - \epsilon$ RNG modeli olduğu görülmüştür.

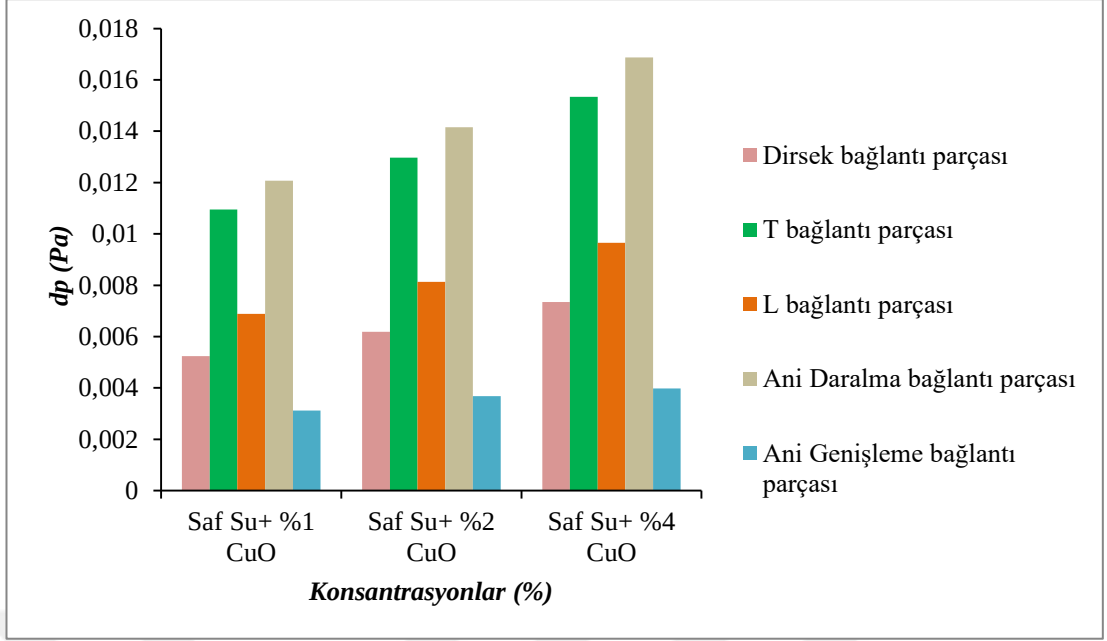
4.2. Farklı Nanoakışkanların Değişen Konsantrasyona Karşı Basınç Farkı Grafikleri

Çizelgelerde her bir nanoakışkanın konsantrasyonu arttıkça tam gelişmiş bölgeye denk gelen yerlerdeki basınç farklarının da arttığı görülmektedir. Farklı nanoakışkanların birçok farklı konsantrasyonlarında Reynolds sayısı, $Re=500$ ve $Re=5000$ için elde edilen basınç farkının grafikleri aşağıda özetlenmiştir.

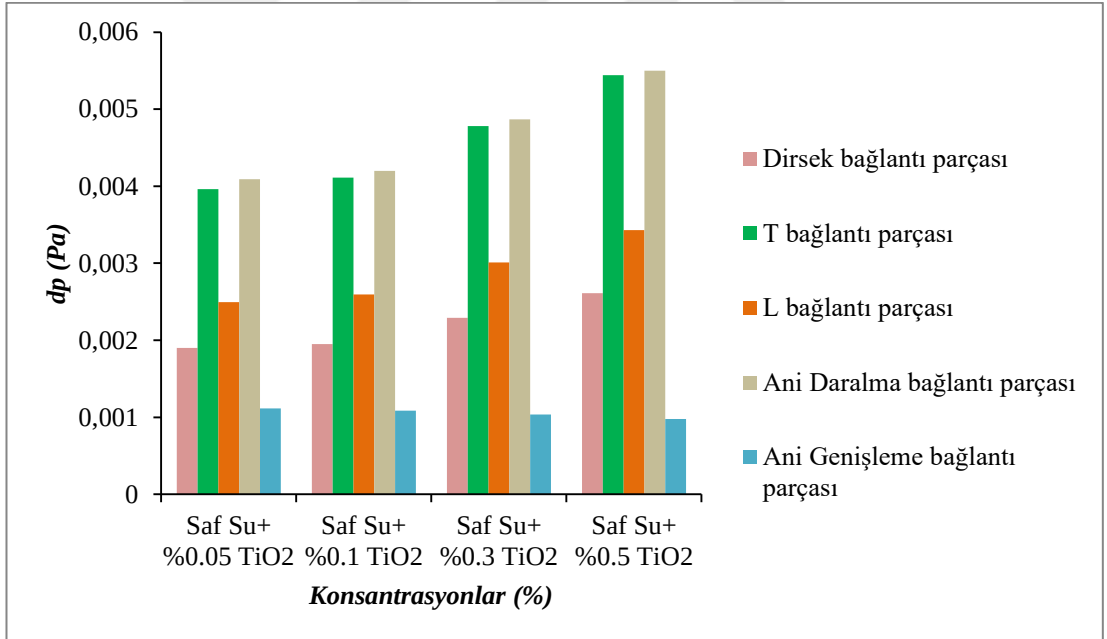
4.2.1. Değişen Konsantrasyonlarda, Reynolds Sayısı, $Re=500$ İçin Farklı Bağlantı Parçalarında Hesaplanan Basınç Farkı Değerleri



Şekil 4.31 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için $Al_2 O_3$ nanoakışkanının farklı konsantrasyonları için basınç farkı (Pa) grafiği



Şekil 4.32 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonları için basınç farkı (Pa) grafiği

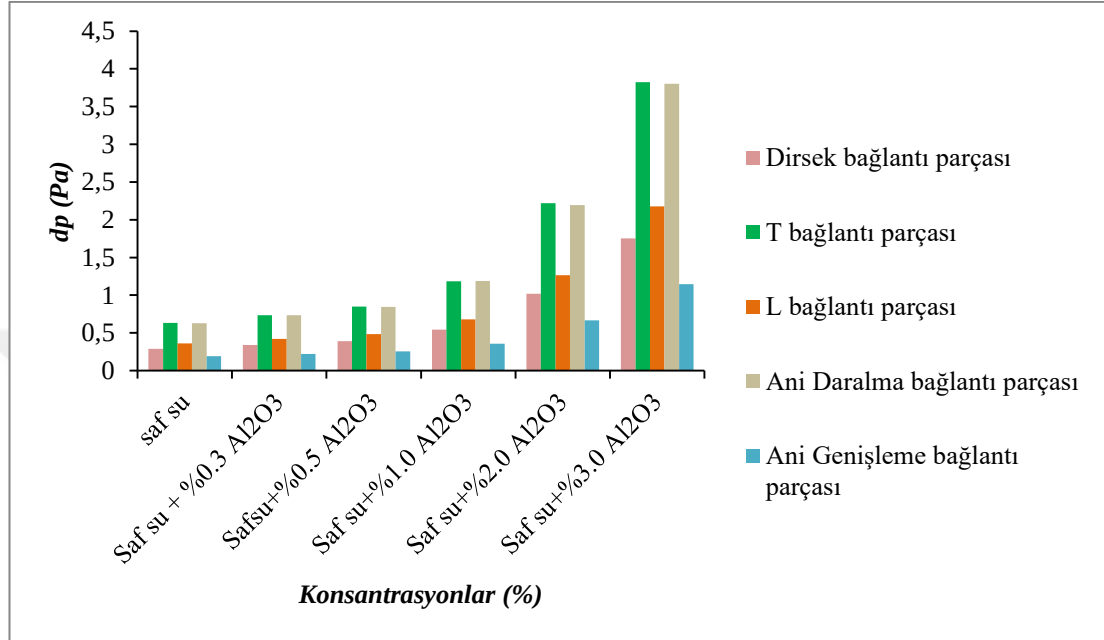


Şekil 4.33 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için TiO₂ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği

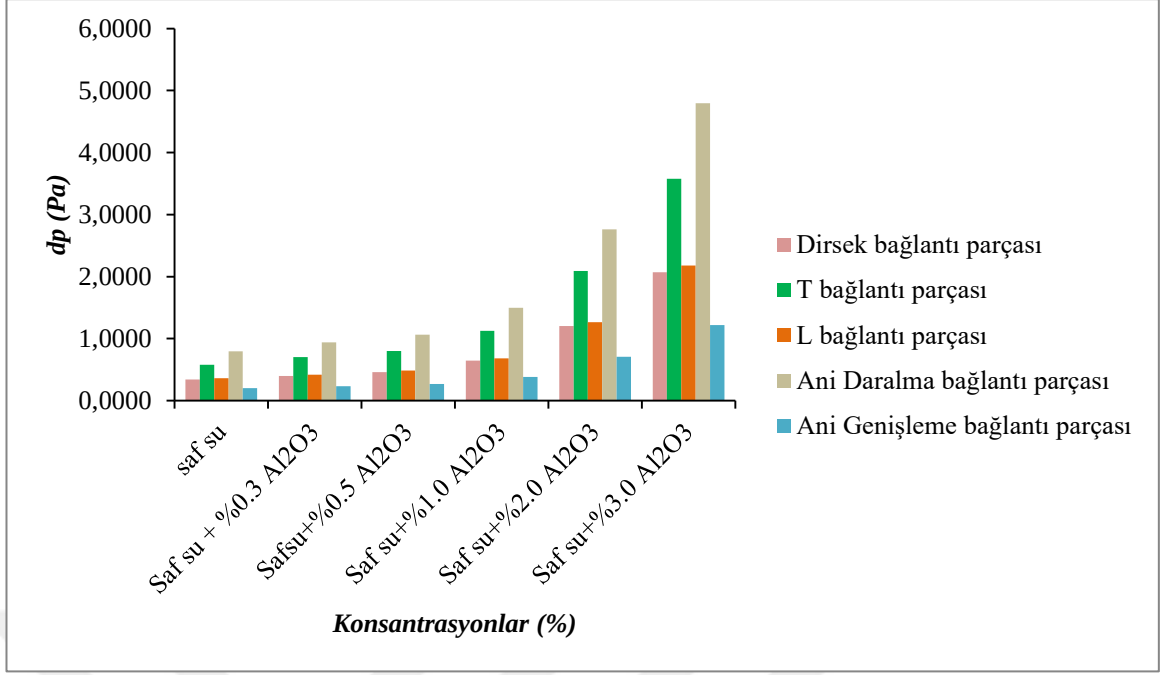
Reynolds 500 değerinde yoğunluk ve konsantrasyon arttıkça buna bağlı olarak viskozite de artmıştır. Reynolds 500 değerinde her bir bağlantı parçası için en düşük konsantrasyon ve en yüksek konsantrasyon değerleri arasında yaklaşık 1.5 kat fark

vardır. Konsantrasyona bağılı olarak her bir nanoakışkan için düşük hız oranlarında bile konsantrasyon arttıkça basınç farkı da artmaktadır.

4.2.2. Değişen Konsantrasyonlarda, Reynolds Sayısı, $Re=5000$ İçin Farklı Bağlantı Parçalarında Hesaplanan Basınç Farkı Değerleri

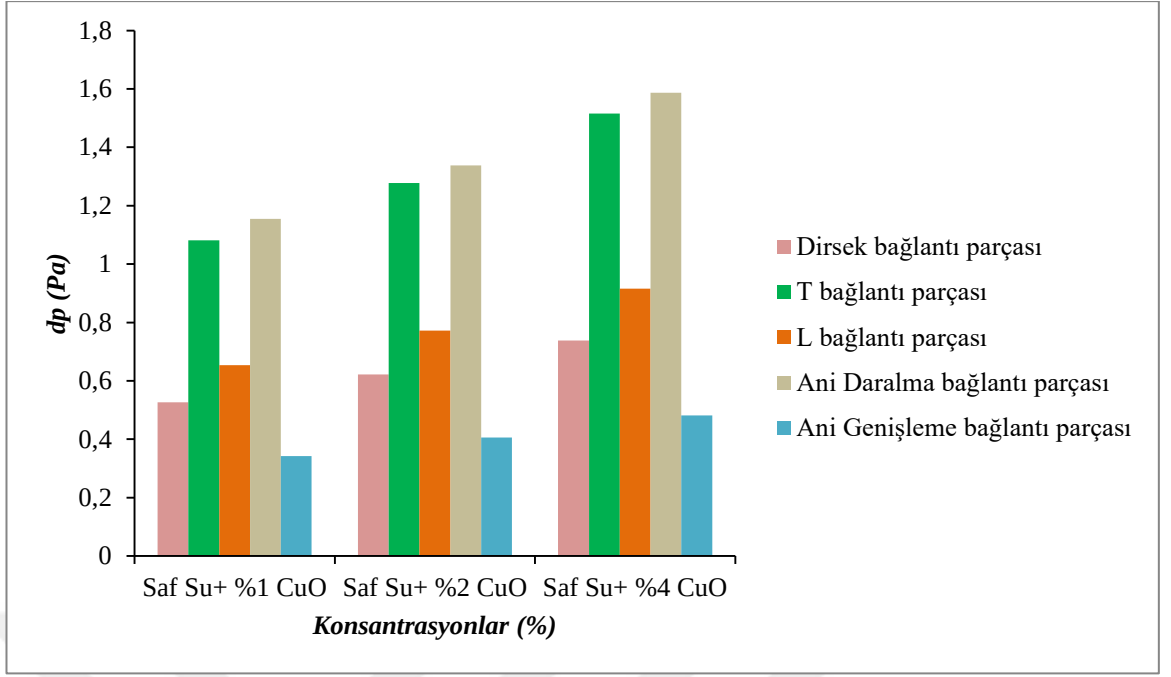


Şekil 4.34 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ modeli için Al_2O_3 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği

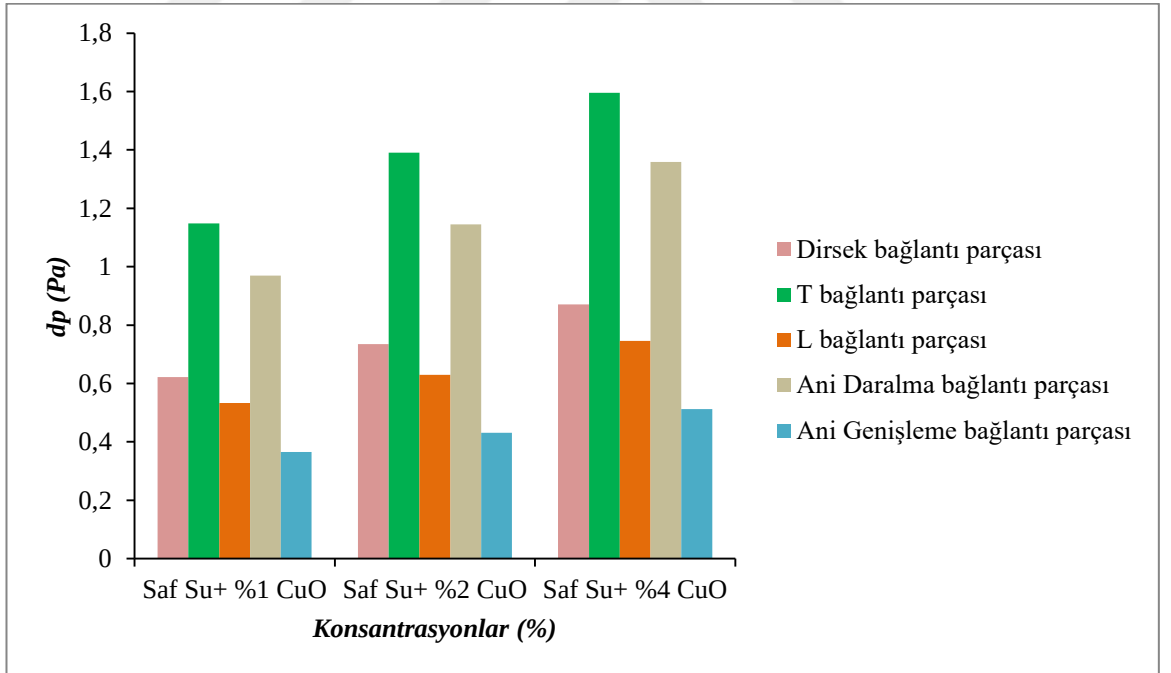


Şekil 4.35 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω modeli için Al_2O_3 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği

Reynolds 500 ve Reynolds 5000 değeri göz önüne alındığı zaman, aynı nanoakışkanın için konsantrasyon arttıkça basınç farkı üzerinde bir etki ortaya çıkmaktadır. Özellikle, bu etki daha yüksek Reynolds sayılarında daha belirgindir. Çünkü yüksek Reynolds sayısında akış hızı çok daha yüksektir ve bu durum viskoziteyi ve türbülansları artırarak basıncın artmasına sebep olur. Alümina nano taneciklerinin baz sıvısına eklenmesi, bağlantı parçasının ısı akışını artırır. Alümina nano partiküllerinin yüzdesinin artması ise bu ısı akışını artırarak nanoakışkanın termal iletkenliğini arttırmıştır. Bu durum türbülans ve çalkantılar sonucu meydana gelmiştir, böylece basınç düşümünde de bir artış olmuştur.



Şekil 4.36 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği

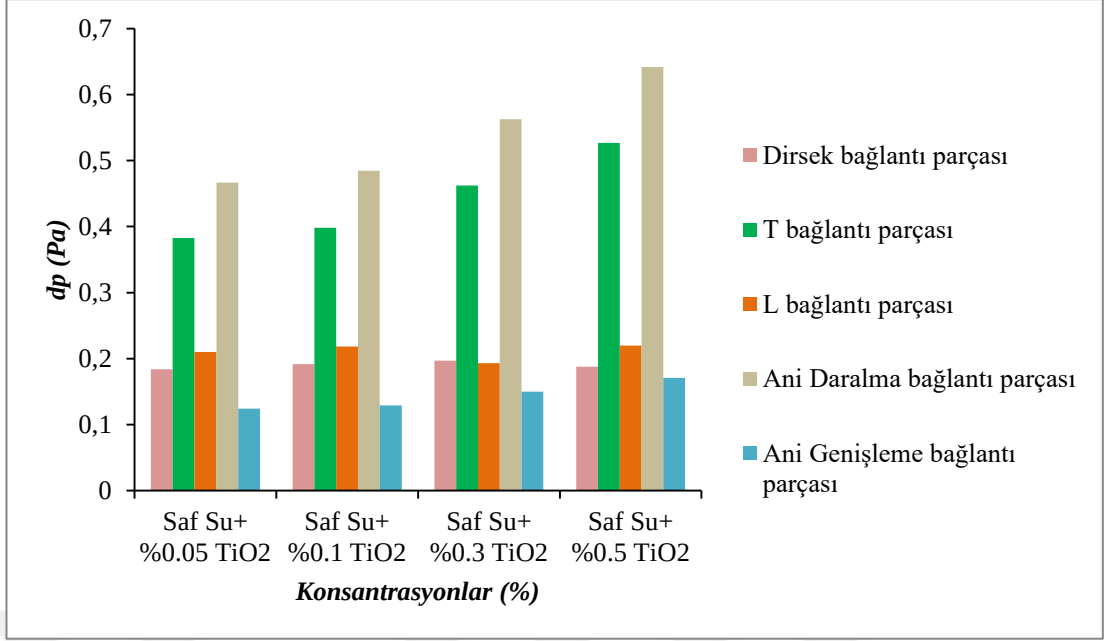


Şekil 4.37 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği

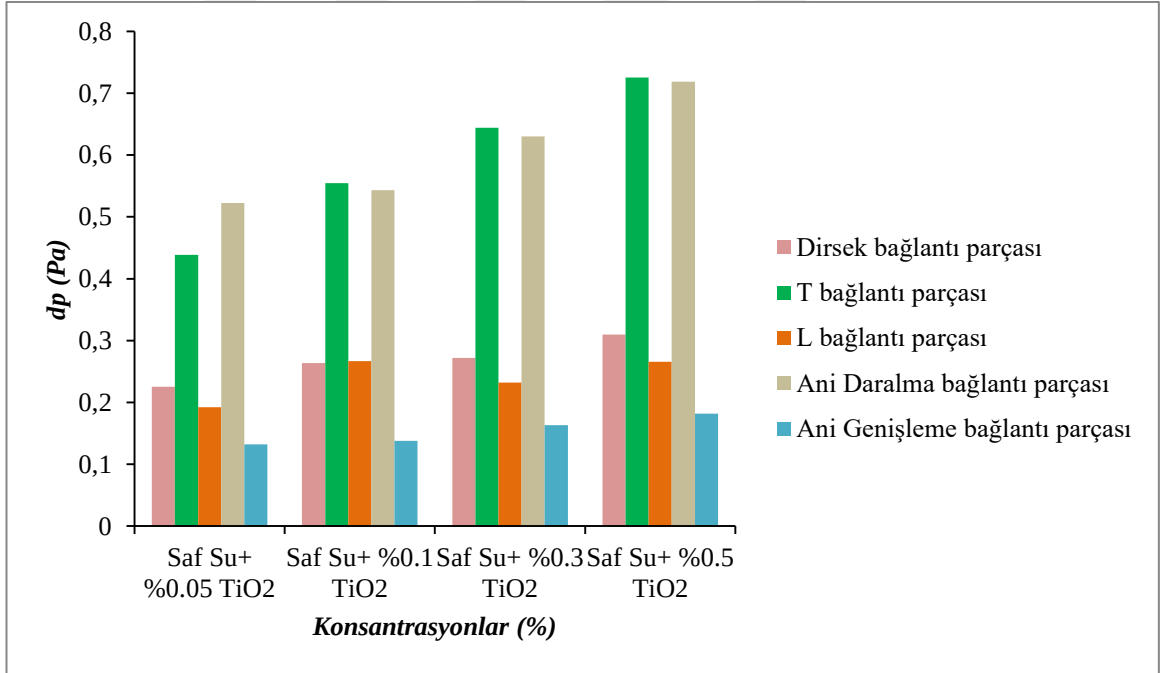
Aynı Reynolds sayısı baz alınıp CuO nanoakışkanı için farklı modellerde yoğunluğa bağlı olarak viskozitenin arttığı görülmüştür. Konsantrasyon arttıkça basınç kaybının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bağlantı parçaları göz önüne alındığında aynı konsantrasyon bazında genel olarak en yüksek basınç farkının ani daralmada olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, gerçek akış şartlarında, sürtünmenin sebep olduğu enerji kaybı nedeniyle, akışkan içinde ve akış istikametinde farklı iki nokta arasındaki enerji azalan bir eğilim gösterir. Bağlantı parçası girişindeki yük kaybı geometriye bağlıdır. Ani daralma gibi keskin kenarlı bir giriş, bağlantı parçasına girerken akışkanın hız yükünün yarısının kaybolmasına neden olur. Akışkan 90° gibi keskin dönüşleri kolayca yapamaz. Bunun sonucunda ani daralma bağlantı parçasının köşelerinde akış ayrılmaları oluşur ve akış bağlantı parçasının orta noktasındaki daralmış kesite sıkıştırılır. Azalmış bulunan etkin akış alanından dolayı daralmış kesit kısmında hız artar. Sonrasında bağlantı parçasının tüm kesit alanını doldururken hız azalır. Oluşan türbülans girdaplarının neden olduğu kinetik enerjinin sürtünmelerden dolayı ısınmaya dönüşmesi sebebi ve hızdaki bu artış oranının fazla olması sebebiyle, ani daralma bağlantı parçasında girişte ve çıkışta belirlenen noktalar arasında basınç farkı çok fazladır.

Şekil 4.37’de en yüksek diğer şekillerle kıyaslandığında en yüksek basınç farkının T bağlantı parçasında olduğu görülmüştür. Buradaki çözümlemede Reynolds 5000 değeri için kullanılan modelin $k - \omega$ modeli olması T bağlantı parçası için belirlenen noktadaki yerel kaybın ve basıncın beklenen değerden çok daha yüksek olması $k - \omega$ modelinin uygun bir model olmadığını bir kez daha göstermektedir.



Şekil 4.38 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ϵ modeli için TiO_2 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği



Şekil 4.39 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ k - ω modeli için TiO_2 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarının basınç farkı (Pa) grafiği

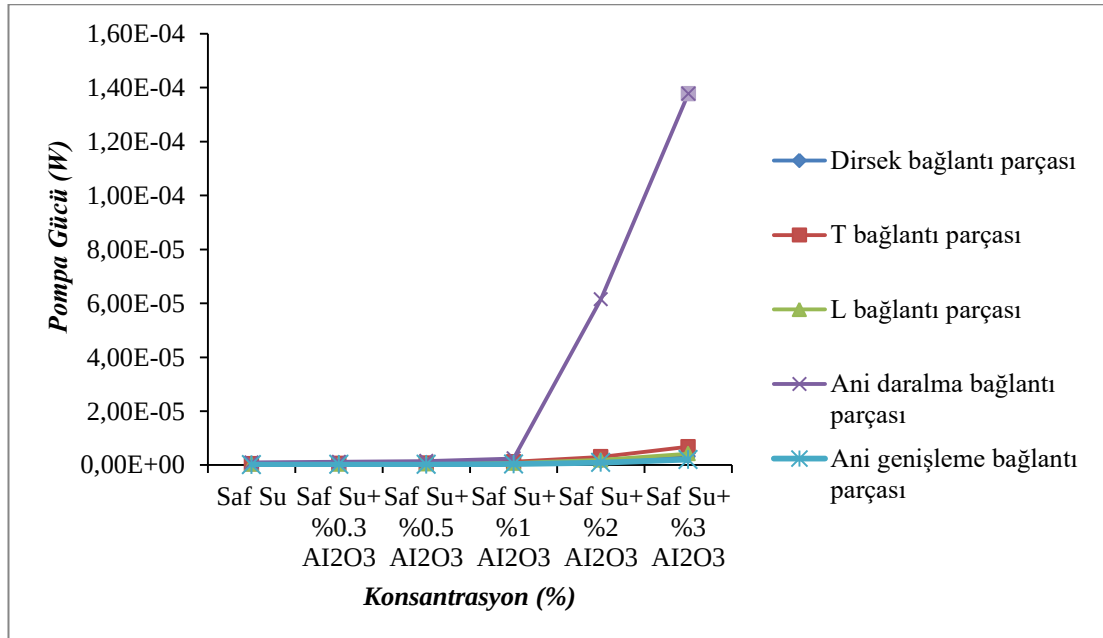
Her bir bağlantı parçası için TiO_2 nanoakışkanının birçok farklı konsantrasyonu ele alınıp basınç özellikleri incelenmiştir. Genel itibariye hacimsel konsantrasyon

arttıkça nanoakışkan viskozitesi artmaktadır. Bu da hız değerini artırır. Burada diğer nanoakışkanların aksine viskozitenin artmasıyla akış hızı azalmıştır. Çünkü diğer nanoakışkanlarla beraber TiO_2 nanoakışkanının aynı konsantrasyon değerleri baz alındığında dinamik viskozitedeki ve yoğunluk oranlarındaki artış oranı diğer nanoakışkanlarla kıyaslandığında çok daha düşüktür. Konsantrasyon değeriyle birlikte yoğunluk ve dinamik viskozitedeki artmış olsa bile düşük artış oranı bunun önüne geçmiş ve hız azalmıştır. Fakat hızın azalması gerilmeleri arttırmıştır. Buna ek olarak hacimsel konsantrasyonun ve Reynolds sayısının artışı da sonuç itibarıyla basınç farkının artmasına neden olmuştur.

4.3. Farklı Nanoakışkanların Konsantrasyona Karşı Pompa Gücü Grafikleri

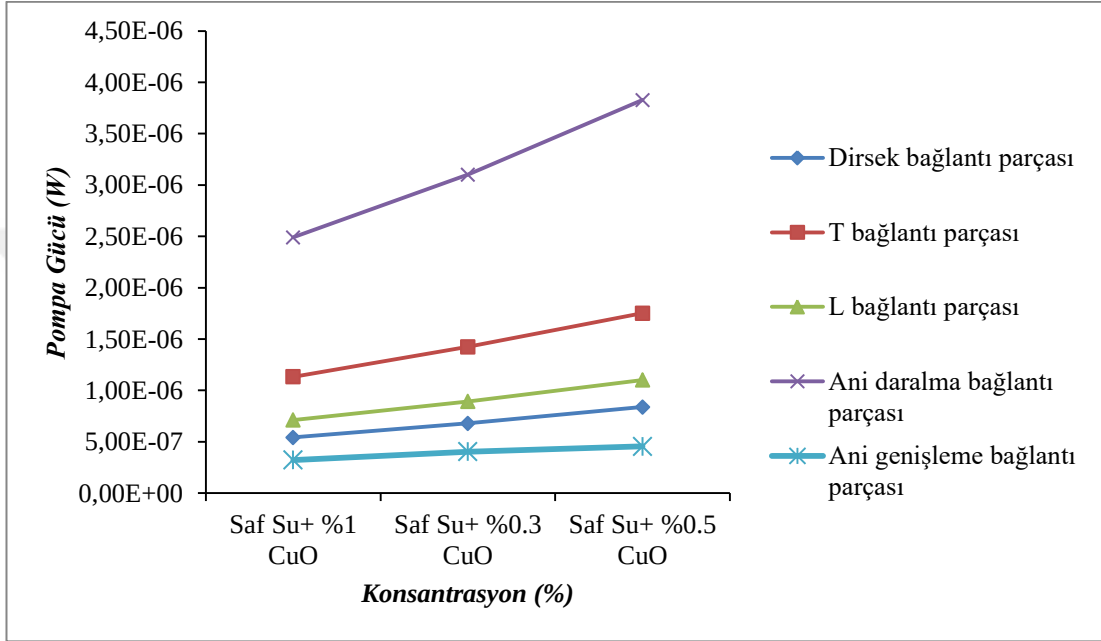
Farklı nanoakışkanların artması basınç farkını da arttırmıştır. Basınç farkının artması ise denklem 3.9'a göre pompa gücünün de artmasına sebep olmuştur. Konsantrasyonlara karşı farklı Reynolds sayısı, $\text{Re}=500$ ve $\text{Re}=5000$ için farklı modellerde oluşturan pompa gücü grafiklerle özetlenmiştir.

4.3.1. Reynolds Sayısı, $\text{Re}=500$ İçin Farklı Nanoakışkanların Farklı Konsantrasyonlarında Pompa Gücünün Artışı

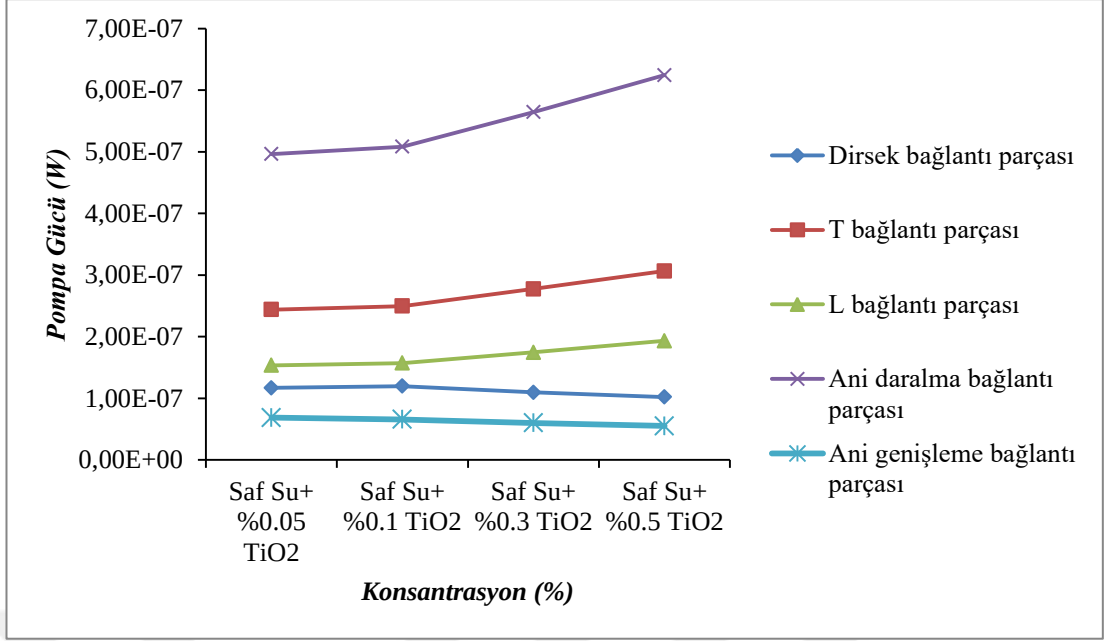


Şekil 4.40 Reynolds Sayısı, $\text{Re}=500$ laminar ve $k-\epsilon$ RNG modeli için Al_2O_3 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

İncelenen bir Reynolds sayısı için, nanoakışkan akış hızı, yüksek kinematik viskozitesinden dolayı sudan daha yüksektir. Bu nedenle; nano akış pompalama gücü hesaplanırken, basınç düşüşündeki artışa ve akış oranındaki artışa bağlı bir bileşik etki göz önüne alınırsa suya göre kıyaslandığında pompalama gücünde daha yüksek bir artışa neden olmuştur.



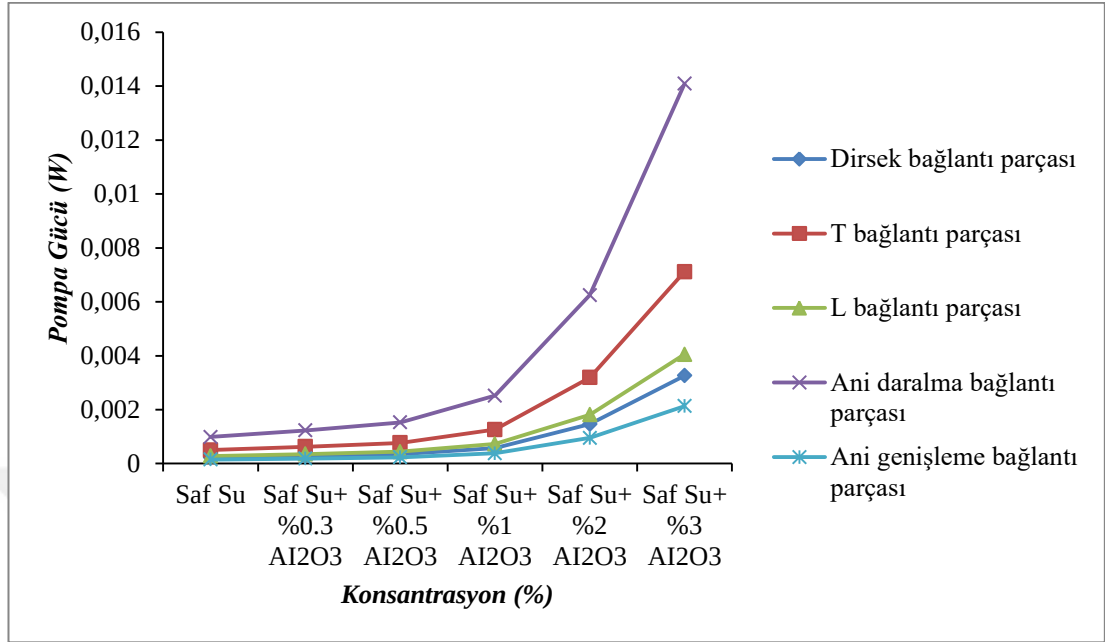
Şekil 4.41 Reynolds Sayısı, $Re=500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



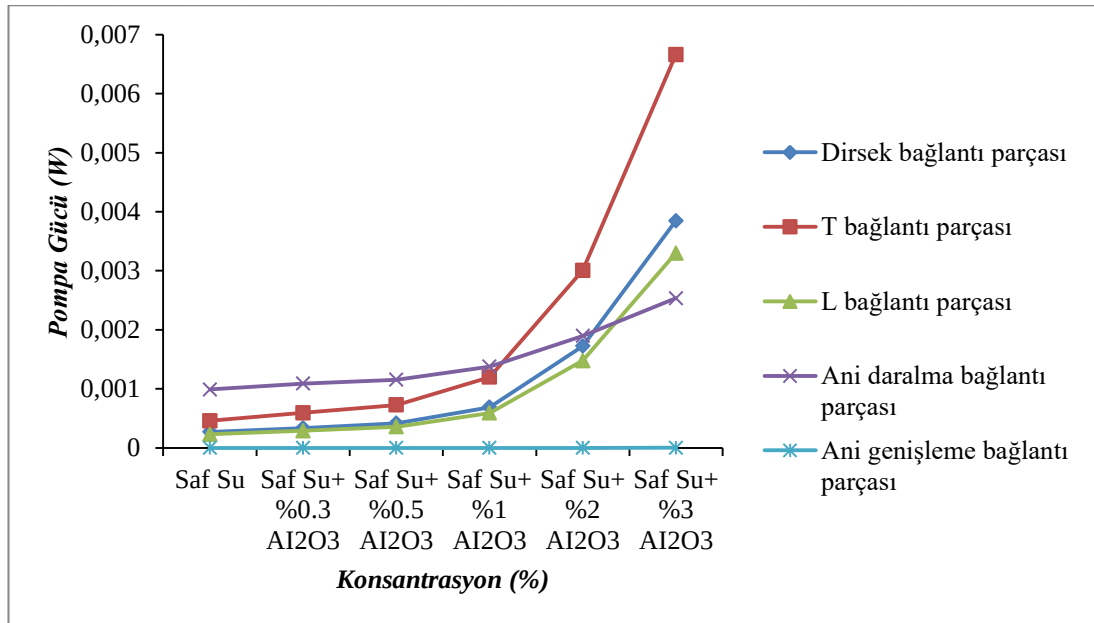
Şekil 4. 42 Reynolds Sayısı, $Re = 500$ laminar ve $k - \epsilon$ RNG modeli için TiO_2 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

Reynolds sayısı düşük olduğu durumda bile CuO ve TiO_2 materyallerini içeren nanoakışkanlar incelendiğinde, su içerisindeki nanoakışkan konsantrasyonunun artması hızı da arttırmaktadır. Boruların giriş çapları sabit tutulduğunda, hızın artmasıyla beraber akışkanın hacimsel debisi de artmaktadır. Nanoakışkan kullanımı basınç farkını da etkilemektedir. Konsantrasyon arttıkça basınç farkı da artmaktadır. Hem hacimsel debi hem de nanoakışkanın basınç farkının artmasıyla gerekli pompalama gücünü de arttırmaktadır.

4.3.2. Reynolds Sayısı, $Re=5000$ İçin Farklı Nanoakışkanların Farklı Konsantrasyonlarında Pompa Gücünün Artışı



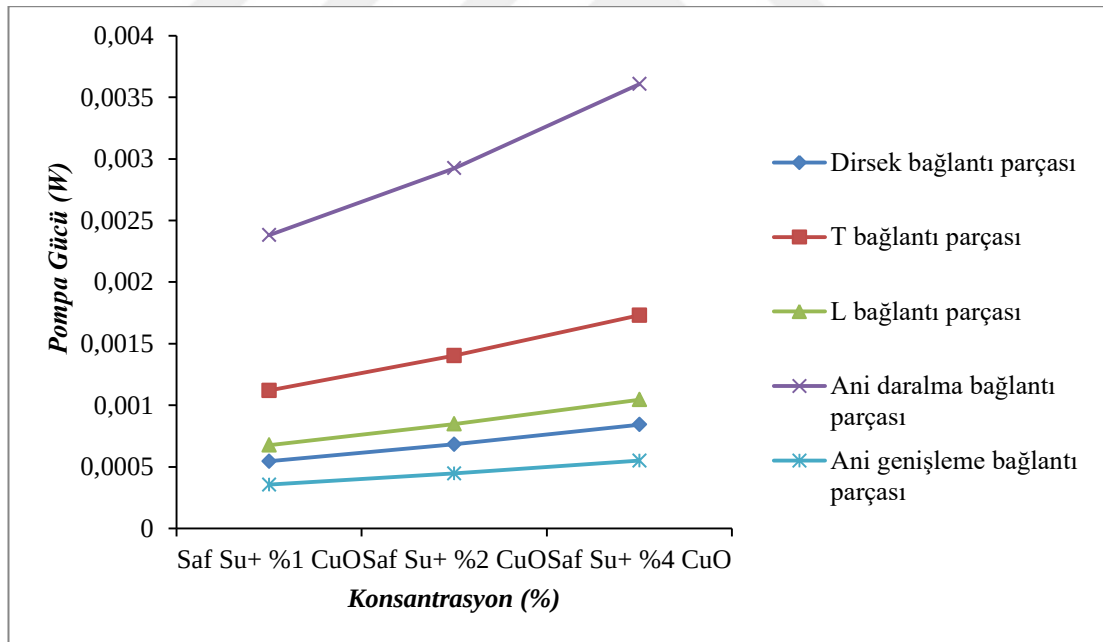
Şekil 4.43 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \epsilon$ modeli için $Al_2 O_3$ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



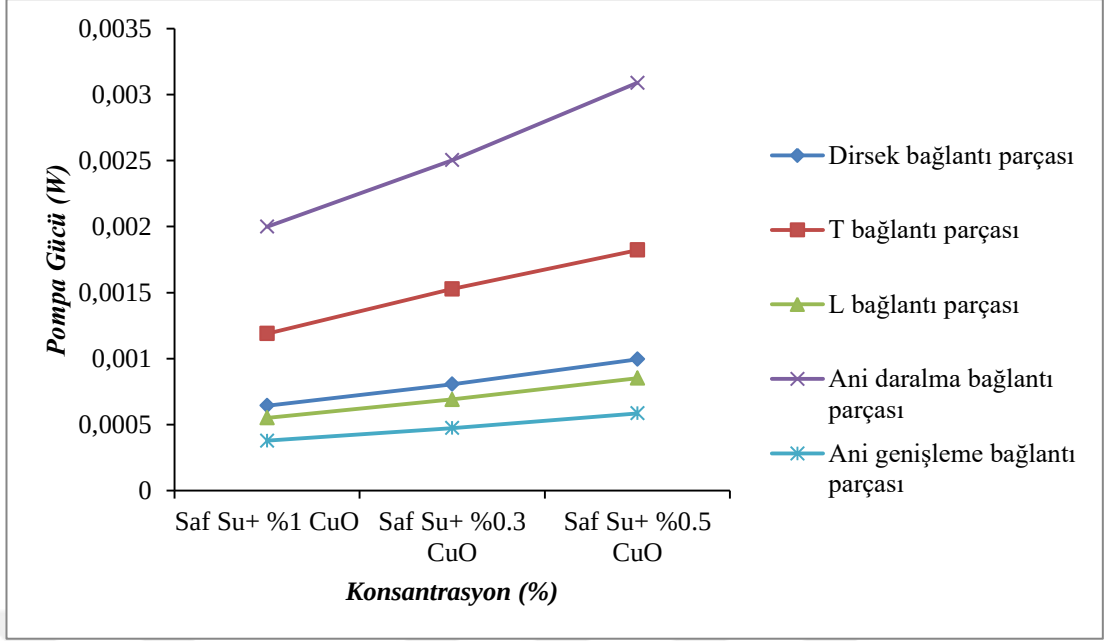
Şekil 4.44 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \omega$ modeli için $Al_2 O_3$ nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

Reynolds sayısı arttıkça buna bağlı olarak, nanoakışkanın giriş hızı da artmaktadır. Hem giriş hızının artması hem de basınç düşüşünün artması gerekli pompa gücünün artmasına sebep olmuştur. Aynı nanoakışkanın aynı konsantrasyonları incelendiği zaman, pompalama gücü Reynolds 500 ve Reynolds 5000 için yaklaşık 1000 kat artmıştır. Pompalama gücündeki bu fazla artış, Reynolds sayısının 10 kat daha fazla olması ve bunun giriş hızını ve basınç farkını da etkilemesindendir.

Her bir grafik değerlendirildiği zaman pompa gücündeki artışın en fazla ani daralma borusunda olduğu görülmektedir. Fakat Şekil 4.44 incelendiği zaman, $k - \omega$ modeli için en fazla artışın T boruda olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, $k - \omega$ modeli kullanıldığı zaman, basınç farkı çok fazla artmaktadır. Basınç farkı arttığı zaman yerel kayıplar da olması gereken değerden çok daha yüksek şekilde hesaplanmıştır. Bu da gerekli pompa gücünü arttırmış ve nanoakışkan çözümlemeleri için $k - \omega$ modelinin kullanılmasının olumsuz etki yaratacağını göstermektedir.

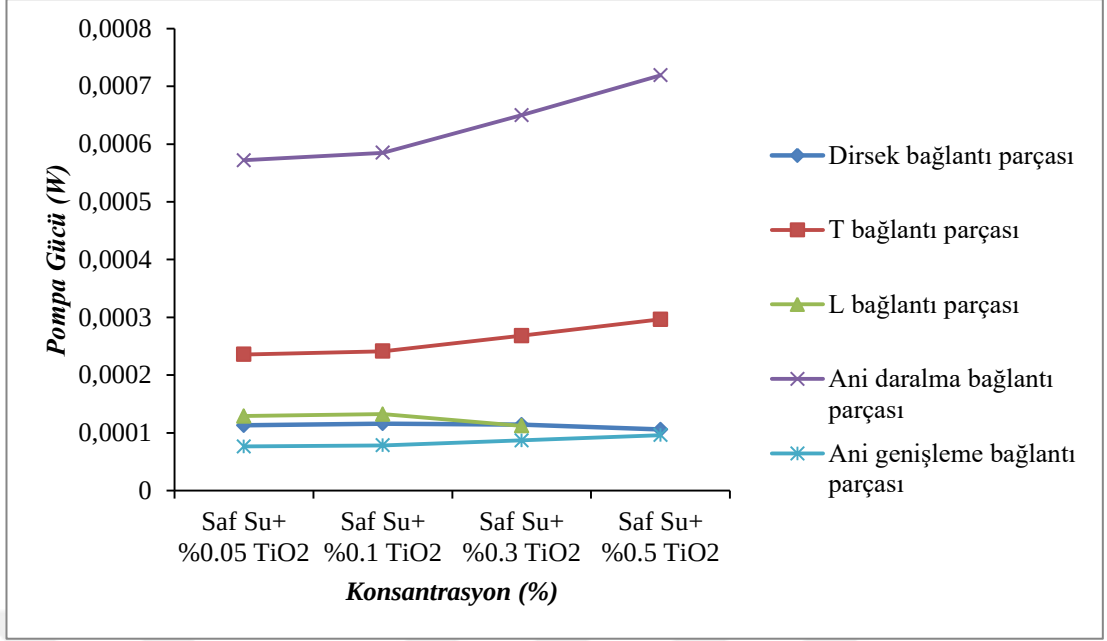


Şekil 4.45 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \epsilon$ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

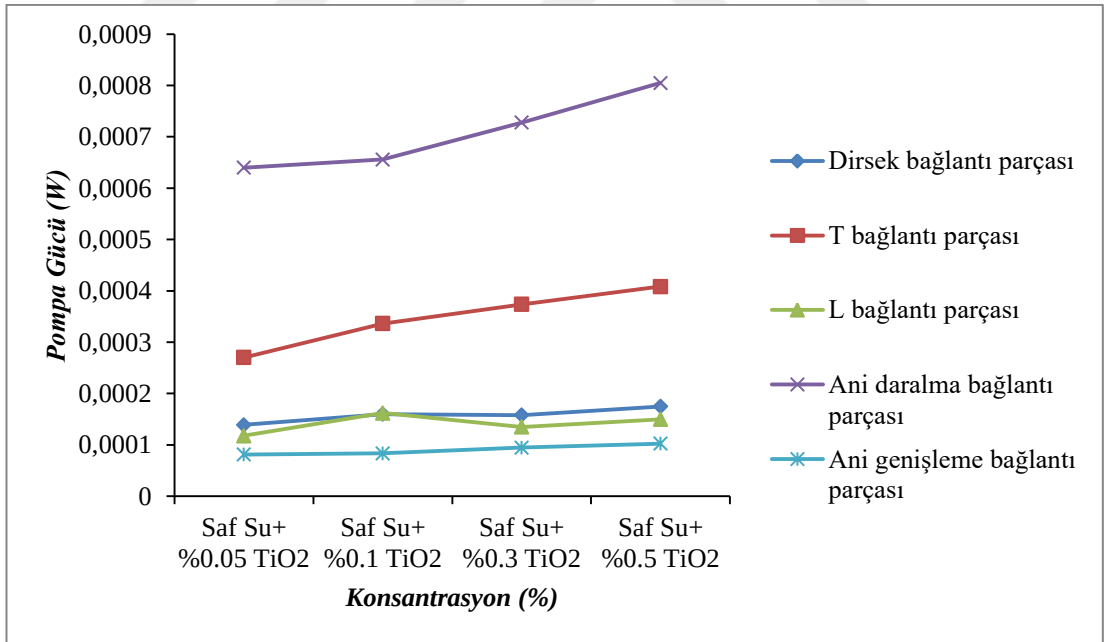


Şekil 4.46 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için değeri $k - \omega$ modeli için CuO nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

Nanoakışkan konsantrasyonu arttıkça aktarılan güçte belirgin bir artış gözlenmiştir. Hem basınç düşüşü, hem de gerekli pompalama gücü nano akış konsantrasyonundaki ve Reynolds sayı değerindeki artışla birlikte artmıştır. Çünkü CuO nanoakışkanı için konsantrasyon arttıkça viskoziteye bağlı olarak giriş hızı da artmaktadır. Bu durum hacimsel debiyi arttırmış ve gerekli pompalama gücünün de artmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.47 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \epsilon$ modeli için TiO_2 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı



Şekil 4.48 Reynolds Sayısı, $Re=5000$ için $k - \omega$ modeli için TiO_2 nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda pompa gücünün (W) artışı

Pompa ile aktarılan güçte optimum bir düzey belirlenmesi enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Güçteki fazla artış enerji sarfiyatını ve maliyeti

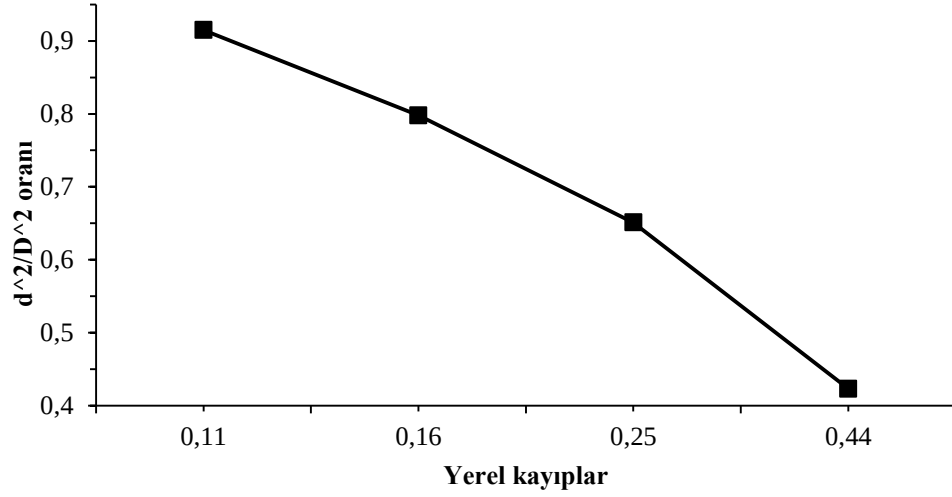
olumsuz yönde etkileyeceği göz ardı edilmemelidir. Gerekli pompa gücü için Reynolds sayısı, giriş hızı, hacimsel debi, basınç farkı gibi faktörler büyük önem taşımaktadır. Bunların yanı nanoakışkan kullanıldığı zaman çözümlemelerde kullanılan model de önem arz etmektedir. Şekil 4.48 incelendiği zaman $k - \omega$ modeli için, L boruda belirlenen noktalardaki basınç farklarından ve yerel kayıpların olması gereken değerden fazla uzaklaşması sebebiyle giriş hızı artsa bile pompa gücündeki artma ve azalma görülmüştür. Bu nanoakışkan çözümlemesinde $k - \omega$ modelinin çok da uygun olmadığını bir kez daha göstermektedir.

4.4. Farklı Ani Genişleme Bağlantı Parçasının Kayıp Katsayısı

Ani genişleme bağlantı parçası ele alındığında yerel kayıp katsayısı giriş ve çıkış oranına göre değişmektedir (Çengel vd., 2008). Yerel kayıpların incelenmesinde düz borudan olan sürekli kayıplara ek olarak dirsek bağlantı parçası, T bağlantı parçası, L bağlantı parçası ve redüksiyon gibi boru ekleme parçalarından olan basınç kayıpları da yerel kayıp olarak değerlendirilir. Boru ve boru parçalarının giriş ve çıkış çapları arasındaki oran da aslında yerel kayıpların belirlenmesinde çok önem arz etmektedir. Aşağıda dört farklı redüksiyon parçası (ani genişleme bağlantı parçası) fluent ANSYS programı kullanılarak çizilmiştir. Bu parçaların içerisinde su yerine piyasa en çok kullanılan Al_2O_3 nanoakışkanının %3'lük konsantrasyonu kullanılmıştır. Burada kullanılan bağlantı parçalarının giriş çapları 20 cm çıkış çapları ise sırayla 30cm, 40cm, 50cm ve 60cm'dir. Fluent analizi Reynolds 5000 için çözdürülmüş, model için ise uygunluk açısından $k - \epsilon$ RNG modeli kullanılmıştır.

Çizelge 4.7 Ani Genişleme Bağlantı Parçası Reynolds Sayısı, $Re=5000$ $k - \epsilon$ RNG Modeli

Bağlantı parçalarının giriş ve çıkış çapları oranı (d^2/D^2)	Hesaplanan Değerler				
	1.yüzey basıncı	2.yüzey basıncı	Hızı	Basınç Farkı (Pa)	(K_k)
0.44	1.6110683	0.87054524	0.05926	0.74052	0.423
0.25	1.4188649	0.27812641	0.05926	1.14074	0.651
0.16	1.4577086	0.05900870	0.05926	1.39870	0.798
0.11	1.6334181	1.03017646	0.05926	1.60324	0.915



Şekil 4.49. Farklı ani genişleme bağlantı parçası yerel kayıp katsayısı grafiği

Grafikte görüldüğü gibi redüksiyon parçasının giriş ve çıkış çapları arasındaki oran azaldıkça yerel kayıplar artmaktadır (Çengel vd., 2008). Bağlantı parçasının giriş uzunluk değeri sabit tutulduğundan hız değişmemiştir. Fakat çıkış çap uzunluğu arttıkça basınç değeri azaldığı için yerel kayıplar azalmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı tipte tesisat bağlantı parçalarının içerisinde su yerine nanoakışkan geçirilmesi durumunda oluşan basınç kayıp karakteristiği ve yerel kayıp katsayıları sayısal olarak incelenmiştir. İlk olarak literatürden derlenen çalışmalarda nanoakışkanların ne amaçla ve hangi şekilde kullanıldığı incelenmiş, nanoakışkanların ısı transferine olan katkısından bahsedilmiştir. Sonrasında daha önce çalışılmamış, tesisatlarda en çok kullanılan 5 farklı bağlantı parçası (L, T, 90°dönümlü dirsek, ani daralma ve ani genişleme) seçilip, bu bağlantı parçalarının içerisinde alüminyum, bakır ve titanyum esaslı nanopartiküllerin eklenmesiyle oluşan nanoakışkanlar geçirilmiş ve basınç düşümleri sayısal olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkanların konsantrasyonu arttıkça yerel kayıp katsayısı değerinin ve basınç farkının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bağlantı parçalarının içerisinde geçirilen nanoakışkanların enerji verimliliği açısından basınç karakteristikleri ve yerel kayıpları nasıl etkilediği amaçlanmıştır. Bu amaçla L, T, 90°dönümlü dirsek, ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçalarının fiziksel özellikleri tanımlanmış, farklı Reynolds sayıları ve farklı türbülans modelleri kullanılarak oluşturulan bulguların değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır.

Literatürde nanoakışkanlar genelde düz boru içerisinde geçirilmiştir. Bu durumda özellikle ısı değiştiricilerinde su, etilen alkol, motor yağı gibi temel akışkanlar yerine, ısı değeri yüksek nanopartiküllerin oluşturduğu nanoakışkanların geçilmesiyle ısı transferinin arttığı belirlenmiştir. Isı transferinin artması basınç kayıplarını da arttırdığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında da daha önce çalışılmayan farklı tipteki tesisat bağlantı parçalarından nanoakışkanların geçirilmesi durumunda yine basınç kaybının arttığı görülmüştür. Basınç kaybının artışında; Al_2O_3 , Ti_2O , CuO nanoakışkanlarını oluşturan nanopartiküllerin sabit sıcaklık altındaki termofiziksel özellikleri, farklı hacim konsantrasyonları, akışkanın türbülanslı ya da laminar şartlar altındaki karakteristik özelliğinin çok fazla etkili olduğu bulunmuştur. Al_2O_3 (%0.3, %0.5, %1, %2, %3), Ti_2O (%0.05, %0.1, %0.3, %0.5) ve CuO (%1, %2, %4) nanoakışkanlarında incelenen birçok farklı modelde hacim konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak dinamik viskozitenin artışı ile birlikte basınç farkının da arttığı görülmüştür. Sayısal çözümlemelerde laminar model, k- ϵ RNG türbülans modeli, k- ϵ Standard türbülans modeli ve k- ω Standard türbülans modeli olmak üzere dört

farklı model kullanılmıştır. Modellerin uygunluğu literatür (Çengel vd., 2008) ile kıyaslanmıştır. Düşük Reynolds sayısı olan $Re=500$ için en uygun modelin T, L ve dirsek bağlantı parçası için laminar model olduğu, ani daralma ve ani genişleme bağlantı parçalarında ise $k-\epsilon$ RNG modelin en uygun model olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise; $k-\epsilon$ RNG modelinin ani girdap kopmalarının ve büyük akış ayrılmalarının olduğu akış tiplerinde doğru sonuçları vermesinden kaynaklanmaktadır. Reynolds sayısı $Re=5000$ için T, L ve dirsek bağlantı parçası için en uygun modelin $k-\epsilon$ Standard model iken; ani daralma ve ani genişleme parçaları için ise $k-\epsilon$ RNG modelinin uygun sonuçları verdiği doğrulanmıştır. Bunun nedeni ise $k-\epsilon$ Standard modelin yüksek türbülanslarda başarılı sonuçlar veren bir model olmasındandır. Yine ani kopmaların olduğu yerlerde ise $k-\epsilon$ RNG uygun sonuçlar vermiştir. $K-\omega$ standard türbülans modelinin ise hiçbir bağlantı malzemesi için uygun sonuçları vermediği tespit edilmiştir.

Çalışmanın diğer kısmında tesisatlardaki bağlantı parçalarının seçimi için gerekli pompa gücünün hesabı incelenmiştir. Konsantrasyondaki ve dinamik viskozitedeki artışa bağlı olarak hacimsel debi artmış bu da her bir bağlantı parçası için gerekli pompalama gücünde bir artış meydana getirmiştir.

Tesisatlarda pompa seçimi bilindiği gibi; öncelikle enerji verimliliği ve maliyet açısından çok önem arz etmektedir. Buna ek olarak pompanın birlikte kullanılacağı akışkanın yoğunluğu, viskozitesi, pompanın tipi ve bağlanacağı tesisat da önemli kriterler arasındadır. Bunun için tesisatlarda temel akışkan yerine iletkenliği yüksek nanoakışkan kullanımının ısı transferini arttırdığı durumu ele alınmalı, nanoakışkanların yerel kayıpları ve basınç kayıplarını arttırması durumu göz ardı edilmelidir.

Bu tez çalışması nanoakışkanlarla ilgili olan bilimsel bilgi birikimine katkı sağlayacağı umut edilmektedir. Daha önce çalışılmamış olan birçok bağlantı parçasının bir arada kullanılması ve 3 farklı nanoakışkan ele alınması nedeniyle bu konuda bir ilk gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözümler uzun zaman almış, elde edilen analitik sonuçların ilerde nanoakışkan ile ilgili olan çalışmalara yol gösterici nitelikte olduğu düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda ise farklı tipteki tesisat bağlantı parçalarında nanoakışkan kullanılması durumunda ısı transferinin deneysel olarak incelenmesi düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Azizian, M.R., Aybar, Ş.H., Thermo physical properties of nanofluids (density, specific heat and thermal conductivity), Ankara, 2008.
- Bergles, A.E., Augmentation of Heat Transfer. Heat Exchanger Design Handbook. Hemisphere Publishing Co, Washington DC, 1983.
- Bergles, M.R., Aybar, Ş.H., Thermo physical properties of nanofluids (density, specific heat and thermal conductivity), Ankara, 2008.
- Ahmed, M.A., Shuaib N.H., Yusoff M.Z., Numerical investigations of flow and heat transfer enhancement in a corrugated channel using nanofluid, International Communications in Heat and Mass Transfer, 38, 1369-1375, 2011.
- Ahmed, M.A., Shuaib N.H., Yusoff M.Z., Numerical investigations on the heat transfer enhancement in a wavy channel using nanofluid, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55 (2012), 5891–5898, 2012.
- Artuç M., Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 67, 2007.
- Bedir, Ö., Sabit ısı akılı yatay bir boruda türbülanslı akışta nanoakışkanların sayısal incelenmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, 103, 2013.
- Barik, A., Satapathy P., Sahoo S., CFD study of forced convective heat transfer enhancement in a 90 bend duct of square cross section using nanofluid, Indian Academy of Science, (7), 795-804, 2016.
- Bianco, V.F., Chiacchio F., Manca, O., Nardini S., Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes, Applied Thermal Engineering 29, 17-18 (2009), 36-32, 2009.
- Choi, U.S., Eastman J.A., Sahoo S., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, International Mechanical Engineering Congress, San Francisco, 1995.
- Cürebal, T., Baydar E., Özdemir Y., Dairesel kesitli 90° dirsekteki akışın üç boyutlu sayısal incelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 57, 2018.
- Chavda, N.K., Jania J., Patel A., Zala K., Nimbark N.G., Effect of nanofluid on friction factor of pipe and pipe fittings: part I - effect of aluminum oxide

- nanofluid, International Journal of Current Engineering and Technology, 4(6), 4069-4074, 2014.
- Çağ, S., Teymur B., Isı değıştiricilerinde ısı transferinin nano parçacıklar kullanılarak iyileştirilmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisans Tezi, Osmaniye, 74, 2013.
- Çengel Y., Cimbala J.M.,, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 2008.
- Çelen, F., Evran Ö., Turgut O., Tigli B., Numerical study of flow and heat transfer in a curved square duct with longitudinal triangular rib using al_2O_3 /water nanofluid , Athens Journal of Technology and Engineering, Gazi Üniversitesi, 1-21, 2017.
- Das, K.S., Evran Ö., Choi U.S., Patel E.H., Heat Transfer in Nanofluids- A Review, Heat Transfer Engineering, 27(10), 2006.
- Das, K.S., A Review Based on The effect and mechanism of thermal conductivity of normal nanofluids and hybrid nanofluids, Journal of Molecular Liquids, 240 (2017) 420–446, 2017.
- Das, K.S., Choi, U.S., Yu, W., Pradeep T., Nanofluids Science and Technology, New Jersey, 2008.
- Ding, Z., W., Cheah, S.C., Saeid, H.N., Parametric study of heat transfer enhancement using nanofluids, 3rd International Conference on Energy and Environment, 294-298, Malaysia, 7-8 December 2009.
- Duangthongsuk, W., Yiamsawas, T., Dalkılıç A.S., Wongwises S., Pool-Boiling heat transfer characteristics of al_2O_3 -water nanofluids on a horizontal cylindrical heating surface, 9 (2013), 56-60, 2013.
- Dutta, P., Saha K., Nandi N., Pal N., Numerical study on flow separation in 90° pipe bend under high Reynolds number by k-ε modelling, Engineering Science and Technology, an International Journal 19 (2016), 904–910, 2016.
- Ertınaz, F., Kompleks arazilerde rüzgar analizi ile türbinlere yer bulan yazılım, Tübitak 1512 Destek Programı, 2130278, İstanbul, 2015.
- Farsani, A., Nodooshan A., Numerical investigation of nanofluids flow and heat transfer in 90° elbow with square cross-section, 37 (2), 162-172, 2015.

- Godson, L., Raja, B., Mohan, D., Wongwises S., Enhancement of heat transfer using nanofluids—an overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010), 629–641, 2010.
- Gavtash, B., Hussain, K., Layeghi, M., Lafmejani, S.S., Numerical simulation of the effects of nanofluid on a heat pipe thermal performance, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 68(2012), 549-555, 2012.
- Ganvir, R.B., Walke P.V., Kriplani V.M., Heat transfer characteristics in nanofluid—A review, *World Academy of Science, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75 (2017), 451–460, 2016.
- Gedik, E., Kayfeci, M., Keçebaş, A., Kurt, H., dairesel bir boruda Al_2O_3 /su ve TiO_2 /su nanoakışkanların laminar zorlanmış ısı taşınımı, *TTMD Dergisi*, 48-53, 2017.
- Hosseini, S.S., Shahrjerdi, A., Vazifeshenas, Y., A Review of relations for physical properties of nanofluids, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5 (10), 417-435, 2011.
- Hashemi S.M., Akhavan M.A., An empirical study on heat transfer pressure drop characteristics of CuO base oil nanofluid flow in a horizontal helically coiled tube under constant heat flux, *International Communications in Heat Mass Transfer*, 39, 144–151 , 2012.
- Huminic G., Huminic A., Heat transfer and flow characteristics of conventional fluids and nanofluids in curved tubes: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58 (2016), 1327–1347, 2016.
- Kostic, M., Sankaramadhi, V.K., Simham, C.K., New Educational Lab: Measurement and uncertainty evaluation of nanofluid particle concentration using volumetric flask method, *American Society for Engineering Education*, 2006.
- Kulkarni, D.P., Praveen, Namburu, K.P., Das, K.D., Comparison of heat transfer and fluid dynamic performance of nanofluids, *NSTI-Nanotech*, 366-369, 2007.
- Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A., Analysis of convective heat transfer enhancement by nanofluids: single-phase and two-phase treatments, *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 3 (89), 758-793, 2016.
- Kabeel, A.E., Abou, T., Samadony, Y., The effect of using nano-particles on corrugated plate heat exchanger performance, 2012.

- Mahagaonkar, B.M., Vajjha, R.S., Das, D.K., Density measurement of different nanofluids and their comparison with theory, *Petroleum Science and Technology*, 27 (6), 612-624, 2008.
- Manay, E., Şahin, B., Akyürek, E.F., Çomaklı, Ö., Mikrokanallarda nanoakışkanların kullanımı, *TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (627), 38-42, 2012.
- Mohamad, A.A., Myth About nano-fluid heat transfer enhancement, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 86 (2015), 397–403, 2015.
- Murshed, S.M.S., Leong, K.C., Yang, C., Thermophysical and elektrokinetic properties of nanofluids-A critical review, *Applied Thermal Engineering*, 28, 2109-2125, 2008.
- Özbey, M., Namlı, L., Özcan, H., 2011. Nanoakışkanların helisel dönen akımında ısı transferinin sayısal ve deneysel incelenmesi. TÜBİTAK MAG 1001 projesi, 108M119.
- Sasmito, A.P., Kurnia, C.J., Mujumdar, A.S., Numerical evaluation of laminar heat transfer enhancement in nanofluid flow in coiled square tubes, *Nanoscale Research Letters*, Singapore, 2011.
- Sridhara, V., Satapathy, N.L., Mujumdar, A.S., Al₂O₃ -based Nanofluids: a Review, *Nanoscale Research Letters*, India, 2011.
- Şahin, B., Çomaklı, K., Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi, *Mühendis Makine*, 559 (2006), 29-34, 2006.
- Taib, B.Y.M., Development of regression equation for heat capacity and density of nanofluids properties, *Universiti Malaysia Pahang, Faculty of Mechanical Engineering, Bachelor's Degree*, Pekan, 6, 2016.
- Timofeeva, E.V., Yu, W., France, D.M., Singh, D., Routbort J.L., nanofluids for heat transfer an engineering approach, *Nanoscale Research Letters*, 6 (1), 182, 2011.
- Uğurlubilek, N., Yarı Küresel engel konulan bir kanal içerisinde ısı geçişi ve akışın sayısal incelenmesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 46-54, 2009.
- Patel, G., Chavda N., Makwana M., Effect of nanofluid on efficiency of centrifugal pump, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2321 (7308), 701-705, 2015.

- Vajjiha, R.S., Debendra K.D., Measurements of specific heat and density of Al_2O_3 nanofluid, AIP Conference Proceedings, 6 (8), 361-370, 2008.
- Vasa, A., Barik A., Nayak B., Turbulent convection heat transfer enhancement in a 180-degree U-bend of triangular cross-section using nanofluid, Materials Science and Engineering, 225 (2017), India , 2017.
- Xuan, Y., Qian L., Heat transfer enhancement of nanofluids, International Journal of Heat and Fluid Flow, 21 (2000), 58-64, 1999.



ÖZGEÇMİŞ

- 1. Adı Soyadı** : Mürüvvet AVCI
2. Doğum Tarihi : 28.01.1994 / İstanbul
3. Ünvanı : Enerji Sistemleri Mühendisi- Elektrik Elektronik Mühendisi
4. Öğrenim Durumu : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2016
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği (Çap)	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2016
Yüksek Lisans	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	

5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Stajyer Mühendis	EÜAŞ Ambarlı Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali Avcılar / İstanbul	2013
Stajyer Mühendis	TOSYALI HOLDİNG TOSÇELİK Profil ve Sac Üretim Şirketi	2014

6. Yayınlar:

Tokgöz, N., Avcı, M., Kaşka, Ö., Aksoy, M., literatür incelemesi, ısı transferinin iyileştirilmesinde nanoakışkanların kullanılması, Osmaniye, Türkiye, 2017

7. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

Tokgöz, N., Avcı, M., Kaşka, Ö., Aksoy, M., A literature review study of using nanofluids in heat transfer enhancement, International Advanced Researches Engineering Congress, 607, Osmaniye – Turkey, 16-18 November 2017

8. Projeler:

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi / Binalarda Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesabı, 2016

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi / Akıllı Şebekeler, 2016

9. Ödüller:

Onur Belgesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye - Türkiye, 2012

Onur Belgesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye - Türkiye, 2013

Yüksek Onur Belgesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye - Türkiye, 2014

Onur Belgesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye - Türkiye, 2015

10. Sertifikalar:

English Branch Certificate of Achievement, American Cultural Association Language Schoold, Osmaniye – Turkey, 2011

Enerji Yöneticisi Sertifikası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara - Türkiye, 2016

