

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BORULU ISI EŞANJÖRLERİNDE KULLANILAN
NANOAKIŞKANLARIN ISI TRANSFER
KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

SEDA DİLKİ

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BORULU ISI EŞANJÖRLERİNDE KULLANILAN
NANOAKIŞKANLARIN ISI TRANSFER
KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ

SEDA DİLKİ

Prof. Dr. Elif ÖĞÜT
Danışman, Kocaeli Üniv.
Dr. Öğretim Üyesi Zekeriya PARLAK
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.
Dr. Öğr. Üyesi Canan CİMŞİT
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.





Tezin Savunulduğu Tarih: 06.02.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, ileri akışkan olarak gelecek vadeden nanoakışkanların, mühendislik uygulamalarının başında gelen ısı eşanjörlerinde verimlilik artışına sağladığı faydaların incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez ve akademik çalışmalarımda çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve cesaretlendiren danışmanım Prof. Dr. Elif ÖĞÜT'e ve öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak-2020

Seda DİLKİ



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLOLAR DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2. ISI EŞANJÖRLERİ.....	7
2.1. Isı Eşanjörü Tipleri.....	7
2.1.1. Isı transferi temas şekline göre ısı eşanjörleri	8
2.1.1.1. Doğrudan temaslı ısı eşanjörleri.....	8
2.1.1.2. Dolaylı temaslı ısı eşanjörleri.....	8
2.1.2. Birim hacimdeki ısı transfer alanına göre ısı eşanjörleri.....	8
2.1.2.1. Kompakt ısı eşanjörleri	8
2.1.2.2. Kompakt olmayan ısı eşanjörleri.....	9
2.1.3. Yapısına göre ısı eşanjörleri.....	9
2.1.3.1. Borulu ısı eşanjörleri	9
2.1.3.2. Levha tipi ısı eşanjörleri	12
2.1.3.3. Rejeneratif ısı eşanjörleri	14
2.1.4. Akışkanların akış şekline göre ısı eşanjörleri.....	14
2.1.4.1. Paralel akışlı ısı eşanjörleri	14
2.1.4.2. Zıt akışlı ısı eşanjörleri	15
2.1.4.3. Çapraz akışlı ısı eşanjörü.....	15
2.1.4.4. Çok geçişli ısı eşanjörü	16
2.1.5. Isı transferi mekanizmasına göre ısı eşanjörleri.....	16
3. ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	17
4. NANOAKIŞKANLAR	18
4.1. Baz Akışkan ve Nanoparçacık Türü.....	19
4.2. Nanoparçacık Büyüklüğü.....	19
4.3. Nanoparçacık Şekli	19
4.4. Nanoparçacıkların Üretimi	20
4.5. Nanoakışkanların Üretimi	20
5. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	22
5.1. Yoğunluk	22
5.2. Özgül Isı	22
5.3. Viskozite.....	22
5.3.1. Viskozite için deneysel çalışmalar	23
5.3.2. Viskozite için teorik modeller	24
5.4. Isıl İletkenlik	25
5.4.1. Isıl iletkenlik için deneysel çalışmalar	25
5.4.2. Isıl iletkenlik için teorik modeller	26
6. MATERYAL VE YÖNTEM	31

6.1. ANSYS Yönetici Denklemler	31
6.2. Isı Transferi Hesaplamaları	34
6.2.1. İç boru akışkanı	34
6.2.2. Dış boru akışkanı	36
6.3. Basınç Düşümü	37
6.4. Isı Eşanjörünün Etkinliği.....	37
7. SAYISAL ANALİZ	39
7.1. Geometrinin Oluşturulması	40
7.2. Sayısal Çalışmanın Doğrulanması	41
7.3. Çözüm Ağı Bağımsızlığının İncelenmesi	43
7.4. Problemin ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi	44
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	45
8.1. Zıt Akış.....	45
8.1.1. Al ₂ O ₃ - su ve SiO ₂ -su	45
8.1.2. Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/su ve SiO ₂ -%40:60 EG/su.....	49
8.1.3. Al ₂ O ₃ - % 60:40 EG/su ve SiO ₂ -% 60:40 EG/su.....	54
8.1.4. Al ₂ O ₃ - EG ve SiO ₂ - EG.....	58
8.2. Paralel Akış	62
8.2.1. Al ₂ O ₃ - su ve SiO ₂ - su	62
8.2.2. Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/su ve SiO ₂ -%40:60 EG/su.....	66
8.2.3. Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/su ve SiO ₂ -%60:40 EG/su	71
8.2.4. Al ₂ O ₃ -EG ve SiO ₂ -EG.....	75
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	82
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Çift borulu ısı eşanjörü	10
Şekil 2.2.	Spiral borulu ısı eşanjörü	10
Şekil 2.3.	Gövde borulu ısı eşanjörü	11
Şekil 2.4.	Kanatlı borulu ısı eşanjörü	11
Şekil 2.5.	Contalı levhalı ısı eşanjörü	12
Şekil 2.6.	Spiral levhalı ısı eşanjörü.....	13
Şekil 2.7.	Lamelli levhalı ısı eşanjörü.....	13
Şekil 2.8.	Paralel akışlı ısı eşanjörü	14
Şekil 2.9.	Zıt akışlı ısı eşanjörü.....	15
Şekil 2.10.	Çapraz akışlı ısı eşanjörü	15
Şekil 4.1.	Nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri (a) Altın nanoçubuklar, (b) Altın çekirdek-silika nanoparçacıklar, (c) içi boşluklu platin nanoparçacıklar	20
Şekil 7.1.	Sayısal modelin; (a) genel görünümü, (b) radyal görünümü, (c) paralel akış eksenel kesiti, (d) zıt akış eksenel kesiti.....	40
Şekil 7.2.	Mevcut çalışma ile literatür çalışmasının sabit 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) sıcak su hacimsel debi değerleri için Nu değerlerinin karşılaştırılması	42
Şekil 7.3.	Modelin çözüm ağı yapısı.....	43
Şekil 8.1.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/d değerleri için, Al ₂ O ₃ -su SiO ₂ -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması	46
Şekil 8.2.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -su ve SiO ₂ -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması	47
Şekil 8.3.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -su ve SiO ₂ -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 8.4.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/Su ve SiO ₂ -%40:60 EG/Su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması	50

Şekil 8.5.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/Su ve SiO ₂ -%40:60 EG/Su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması	51
Şekil 8.6.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/Su ve SiO ₂ -%40:60 EG/Su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması	53
Şekil 8.7.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/Su ve SiO ₂ -%60:40 EG/Su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması	54
Şekil 8.8.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/Su ve SiO ₂ -%60:40 EG/Su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması	56
Şekil 8.9.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk değerleri için, Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/Su ve SiO ₂ -%60:40 EG/Su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması	57
Şekil 8.10.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -EG ve SiO ₂ -EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması	58
Şekil 8.11.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -EG ve SiO ₂ -EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması	60
Şekil 8.12.	Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -EG ve SiO ₂ -EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması	61
Şekil 8.13.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -su ve SiO ₂ -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması	62
Şekil 8.14.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -su ve SiO ₂ -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması	64
Şekil 8.15.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -su ve SiO ₂ -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim	

	konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.....	65
Şekil 8.16.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/su ve SiO ₂ -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 8.17.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/su ve SiO ₂ -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Şekil 8.18.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%40:60 EG/su ve SiO ₂ -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 8.19.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/su ve SiO ₂ -%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 8.20.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/su ve SiO ₂ -%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 8.21.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -%60:40 EG/su ve SiO ₂ -%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.....	74
Şekil 8.22.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ - EG ve SiO ₂ -EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması.....	75
Şekil 8.23.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -EG ve SiO ₂ -EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 8.24.	Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al ₂ O ₃ -EG ve SiO ₂ -EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması.....	78

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1. Nanoakışkanlar için viskozite modelleri.....	25
Tablo 5.2. Farklı nanoakışkanlar için ısıl genleşme katsayıları.....	28
Tablo 6.1. Isı eşanjörü verimliliği ve NTU bağıntıları.....	38
Tablo 7.1. Termofiziksel özellikler (25°C)	39
Tablo 7.2. Borulu ısı eşanjörünün geometrik özellikleri.....	41
Tablo 7.3. Ağ bağımsızlığı için nanoakışkan çıkış sıcaklığının ve Nusselt sayısının karşılaştırılması.....	43
Tablo 7.4. Sınır koşulları.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ΔP	: Basınç değişimi, (Pa)
M	: Baz akışkan mol kütlesi, (g/mol)
L	: Boru uzunluğu, (mm)
f	: Darcy sürtünme faktörü
h_o	: Dış boru ısı taşınım katsayısı, (W/m ² K)
$D_{o,o}$: Dış boru dış çap, (mm)
$D_{o,i}$: Dış boru iç çap, (mm)
$D_{o,h}$: Dış boru hidrolik çapı (mm)
ϵ	: Etkinlik
C_f	: Fanning sürtünme faktörü
V	: Hacimsel debi, (l/dk)
A_s	: Isı transferi kesit alanı, (m ²)
β	: Isıl genleşme katsayısı
k	: Isıl iletkenlik katsayısı, (W/mK)
h_i	: İç boru ısı taşınım katsayısı, (W/m ² K)
$D_{i,o}$: İ boru dış çap, (mm)
$D_{i,i}$: İç boru iç çap, (mm)
$D_{i,h}$: İç boru hidrolik çapı (mm)
ϕ	: Katı hacim konsantrasyonu
ΔT_m	: Logaritmik ortalama sıcaklık farkı, (K)
d	: Nanoparçacık apı, (nm)
Nu	: Nusselt sayısı
V_{ort}	: Ortalama hız (m/s)
C_p	: Özgül ısı, (kJ/kg K)
Pr	: Prandtl sayısı
Re	: Reynolds sayısı
\dot{O}_{sic}	: Sıcak akışkandan olan ısı transferi miktarı, (W)
\dot{m}_{sic}	: Sıcak akışkanın debisi, (kg/m.s)
T	: Sıcaklık, (K)
$\dot{O}_{soğ}$: Soğuk akışkandan olan ısı transferi miktarı, (W)
$\dot{m}_{soğ}$: Soğuk akışkanın debisi, (kg/m.s)
κ	: Stefan-Boltzmann sabiti, 1.381×10^{-23} (J/K)
U	: Toplam ısı transfer katsayısı, (W/m ² K)
μ	: Viskozite, (kg/m.s)
ρ	: Yoğunluk, (kg/m ³)
τ_w	: Yüzey gerilimi (kg/s ²)

BORULU ISI EŞANJÖRLERİNDE KULLANILAN NANOAKIŞKANLARIN ISI TRANSFER KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Enerji tasarrufu konusundaki farkındalığın artmasıyla birlikte, enerji verimliliğinde istikrarlı ve önemli bir artış olmuştur. Isı eşanjörlerinin verimliliği ve kompaktlığının aktif ve pasif yöntemlerle artırılabilceği hem deneysel hem de sayısal çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur. Bu çalışmada, farklı hacimsel debilerde sıcak ve soğuk akışkanların kullanıldığı, eş merkezli, iç içe borulu, paralel ve zıt akışlı bir ısı eşanjörünün ısı ve hidrolik performansı sayısal olarak incelenmiştir.

Sıcak akışkan tarafında su, soğuk akışkan tarafında %0:100, %40:60, %60:40 ve %100:0 olmak üzere farklı oranlardaki etilen glikol-su karışımı içerisinde %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında Al₂O₃ ve SiO₂ nanoparçacıkların eklenmesiyle elde edilen nanoakışkanlar kullanılmıştır.

Sayısal çalışmaların sonuçlarına göre, zıt akış altında sıcak akışkan olan suyun sabit hacimsel debi değereri 3 l/dk ve nanoakışkanların sabit hacimsel debi değereri 0,9 l/dk alındığında, %6 katı hacim konsantrasyon için Al₂O₃-%100:0 EG/su ve SiO₂-%100:0 EG/su nanoakışkanlarının Nusselt sayısında, %0:100 EG/su oranına kıyasla sırasıyla %15,4 ve %9,1 oranında artış olmuştur.

Sonuçlar, zıt akışlı bir ısı eşanjöründeki basınç düşümünün yüksek değerelerde olmasının yanında, ısı eşanjörü performansının paralel akışa göre daha iyi olduğunu, nanoakışkanın içerdiği katı hacim konsantrasyonun artmasıyla Nusselt sayısının arttığını ve Al₂O₃-%100:0 EG/su nanoakışkanının hem %0:100 EG/su oranına hem de SiO₂- %100:0 EG/su nanoakışkanına göre ısı eşanjörünün performansını artırmada daha etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Borulu Isı Eşanjörü, CFD, Isı transferi, Nanoakışkan.

NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF NANOFLUIDS USED IN TUBULAR HEAT EXCHANGERS

ABSTRACT

With the increased awareness of energy saving, there has been a steady and significant increase in energy efficiency. It has been revealed as a result of both experimental and numerical studies that the efficiency and compactness of heat exchangers can be increased by active and passive methods. In this study, the thermal and hydraulic performance of a concentric, intertwined, parallel and counter flow in a tubular heat exchanger, using hot and cold fluids at different volumetric flows, was investigated numerically.

Water on the hot fluid side, 0:100%, 40:60%, 60:40% and 100:0% on the cold fluid side, into different ratios of EG-water at 0%, 2%, 4%, 6% solid volume concentrations nanofluids obtained by adding Al_2O_3 and SiO_2 nanoparticles were used.

According to the results of numerical studies, when the fixed volumetric flow value of hot fluid water is 3 l/min and the constant volumetric flow value of nanofluids is 0.9 l/min, Al_2O_3 -100:0% EG/water and SiO_2 -100:0% EG/water. The Nusselt number of nanofluids increased by 15.4% and 9.1%, respectively, compared to 0:100% EG/water.

The results showed that the pressure drop in a counter flow tubular heat exchanger is high, as well as the heat exchanger performance is better than the parallel flow, the Nusselt number increases with the solid volume concentration contained in the nanofluid, and both the 0:100% ratio and the SiO_2 of the Al_2O_3 -100:0% EG/water nanofluid. SiO_2 -100:0% EG/water indicates that it is more effective in increasing the performance of the heat exchanger compared to nanofluid.

Key words: CFD, Heat Transfer, Nanofluid, Tubular Heat Exchanger.

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artışı ve sürekli gelişen teknolojiyle birlikte sosyal yaşamda enerjiye duyulan ihtiyacı da aynı hızla artırmaktadır. Yaşamın sürdürülebilmesi için enerjiyi yeterli düzeyde üretmek, temin etmek ve günlük hayatın kullanımına sunmak insan yaşamının en temel ihtiyaçlarının başında gelmektedir [1]. Ancak özellikle 1970'li yıllardan sonra enerji tüketimi büyük ölçüde artmış ve enerji kaynaklarının tükenebilirliği gözardı edilerek, tasarruf edilmeden kullanım sonucunda enerji kıtlığı ortaya çıkmıştır. Günümüzde enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmakta, buna karşılık enerji ihtiyacını büyük bir kısmının kullanıldığı fosil yakıt rezervleri çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu sorunu çözebilmek ve mevcut kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak amacıyla, dünya ülkeleri yeni arayışlara ve araştırmalara büyük ölçüde önem vermeye başlamışlardır. Bu konuda, hayatın her alanında var olan enerjinin, minimum maliyet ile maksimum verimlilikte elde edilebilmesinin yolları araştırmaların ana konusudur. Özellikle endüstrinin her alanında kullanılan ısı eşanjörlerinde, ısı transferlerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar artmış ve dikkate değer literatür oluşturulmuştur [2].

Endüstri ve mühendislik uygulamalarında, ısı eşanjörleri ; santral, klima, petrokimya endüstrisi, soğutma, proses endüstrisi, güneş enerjili su ısıtıcı, kimyasal reaktörler ve nükleer reaktör gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Isı eşanjörlerinin ısı transfer performansının artırılması, enerji tasarrufu sağlayabilir, işlem süresini kısaltabilir, termal performansı iyileştirebilir ve çalışma ömrünü uzatabilir. Isı transfer uygulamaları için yüksek performanslı termal sistemlere olan talebe bağlı olarak, bu sistemlerin ısı transfer davranışına ilişkin pratik uygulamaları için ısı transfer verimliliğine yönelik çalışmalar yapılmakta ve yöntemler geliştirilmektedir. Genişletilmiş yüzeylerin kullanılması, ısı transfer yüzeylerine titreşim uygulanması, mikrokanalların kullanılması gibi yöntemlerdir. Isı geçişini iyileştirme tekniklerinin uygulanmasıyla ısı geçişinde önemli ölçüde iyileştirme sağlanmasına rağmen, yüksek basınç kaybı ve düşük debi değerlerinin ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Bir ısı eşanjörünün görevi; ısıtma, soğutma, atık ısı enerji geri kazanımı gibi ısı aktarımını gerçekleştirmek olsa da, arzu edilen en az işletme masrafıyla daha az basınç kaybı ile daha çok ısı geçişinin daha yüksek debilerde aynı zamanda gerçekleşmesidir. Bu amaç doğrultusunda uygulanan aktif tekniklerin kendi başına yeterli olmadığı sonucuna varılmış ve pasif tekniklerden biri olan ısı eşanjörlerinde su, etilen glikol, motor yağı gibi düşük termal iletkenliğe sahip soğutucu akışkanların özelliklerinin değiştirilmesi kavramı ortaya çıkmıştır. Bir akışkanın termofiziksel özelliklerinden ısı iletkenliğinin artırılması, ısı transfer verimliliğini artırabilir. Bu sebeple o akışkana ısı iletkenliği yüksek küçük katı parçacıklar eklenerek çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle milimetre ve mikrometre boyutlarında metal ve metal oksit katılar eklenerek başlanmış ve parçacıkların çökmesi, kanalların tıkanması ve kanal duvarlarında erozyon gibi önemli dezavantajlar gözlemlenmiştir. Bu dezavantajlar baz akışkanlara katı parçacık süspansiyonunun pratik uygulamasını engellemektedir. Ancak son yıllarda nano teknoloji alanındaki gelişmeler sayesinde uygulanan bu yöntem yeni bir boyut kazandırılmıştır ve yeni teknoloji sayesinde 100 nm (100×10^9 m) 'nin altında nanoparçacıklar elde edilerek, baz akışkanlara belirli hacimsel oranlarda karıştırılmasıyla yeni akışkanlar elde edilmiştir. Bu akışkanlar, ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanoakışkanlar (nanofluids) olarak adlandırılmıştır [3]. Nanoakışkanlarda nanoparçacıklar o kadar küçüktür ki; baz akışkanın içinde kolayca akışkanlaşır, katı-sıvı karışımından ziyade tek fazlı bir akışkan gibi davranır, kanalların tıkanması ve kanal duvarlarında erozyon gibi sistemin verimliliğini düşüren etkiler meydana getirmez. Süspansiyonun stabilitesinin sağlanabilmesi için, uygun dağıtıcılar kullanılarak parçacıkların çökmesinin önlenilebileceği gösterilmiştir. Böylece mikrokanallarda nanoakışkanların kullanılması da mümkün olmaktadır [4, 5]. Yapılan çalışmalar nanoparçacıkların cinsi, hacimsel oranı, şekli, boyutu, yüzey alanı ile nanoakışkanların ısı iletkenliğinin arttığını ortaya koymuştur. Nanoparçacıkların, baz akışkanın sadece ısı iletim katsayısını değiştirmediği aynı zamanda nanoakışkanın akış yapısında etkide bulunduğu elde edilen önemli sonuçlardan biridir [6-8].

Bu tezin amacı literatürden ısı transferini iyileştirdiği bilinen, pasif yöntemlerden biri olan farklı baz akışkanların içerisine çeşitli nanoparçacıkların eklenmesiyle elde edilen nanoakışkanların farklı parametreleri için, borulu bir ısı eşanjöründe, paralel ve zıt akış altında gösterdiği ısı transferi karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi sonucu en iyi ısı transferi iyileşmesinin elde edildiği sonuçların karşılaştırılarak literatüre ve

gelecek vadeden nanoakışkanların mühendislik uygulamalarındaki kullanımına katkı sağlamaktır. Giriş, birinci bölüm literatür araştırması, ikinci bölüm ısı eşanjörleri, nc bölüm ısı transferini iyileştirme yöntemleri, dördüncü bölüm nanoakışkanlar, beşinci bölüm nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, altıncı bölüm materyal ve yöntem, yedinci bölüm sayısal analiz, sekinci bölüm sonuçların değerlendirilmesi ve dokuzuncu bölüm sonuç ve öneriler olacak şekilde düzenlenmiştir.



1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tez çalışmasının bu kısmında literatürde nanoakışkanlar ve nanoakışkanların ısı eşanjörlerindeki kullanımı ile ilgili yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar sunulmuştur.

Nanometre boyutlarındaki parçacıklarla yapılan ilk çalışma Argonne National Laboratory tarafından yürütülmüş, farklı nanometre boyundaki parçacıkların eklenmesiyle elde edilen yeni akışkanları nanoakışkan olarak tanımlayan ilk araştırmacı Choi olmuştur. Nanoakışkanların ısı transferi iyileştirmesi konusunda bir potansiyele sahip olduğu görülmüş ve bu alanda çalışmalar hızla artarak geniş bir literatür oluşmuştur.

Choi yaptıkları çalışmada, baz akışkan su, makine yağı, etilen glikol içerisine eklenen Al_2O_3 ve Cu nanoparçacıklarını kullanarak akışkanların ısı iletkenliğini hesaplamışlardır. Deneysel sonuçlara göre, nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin baz akışkanlara bağlı olarak artış göstermekte olduğunu gözlemlemişlerdir [9].

Baz akışkan etilen glikol içerisine 38 nm çapında, % 4 hacim oranında CuO eklenerek elde edilen nanoakışkanın ısı iletkenliği araştırılmıştır ve ısı iletkenlikte % 20 oranında artış olduğunu bulunmuştur [10].

Sabit ısı akısı altında laminer akış için Al_2O_3 - su nanoakışkanlı ısı transferini incelenmiştir. Baz akışkana göre nanoakışkanın ısı transferinin daha iyi olduğu ve dağılım nedeniyle azalan ısı sınır tabaka kalınlığının, Brownian etkisinden dolayı nanoparçacıkların hareketiyle ısı iletkenliğinin arttığı sonucuna varılmıştır [11].

Borulu bir ısı eşanjörü için, Al_2O_3 ve TiO_2 nanoakışkanlarının performansını incelenmiştir. Baz akışkana kıyasla ısı transfer iyileştirme kapasitelerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir[12].

Yapılan bir çalışmada Al_2O_3 -EG ve CuO- EG nanoakışkanlarının konvektif ısı taşınımını baz akışkan EG ile karşılaştırılmıştır ve artan sıcaklık ve nanoparçacık konsantrasyonu ile zorlanmış ısı transfer katsayısının arttığını gözlemlenmiştir [13].

Plakalı bir ısı eşanjöründe türbülanslı akışta CuO-su nanoakışkanı için deneysel ve sayısal bir çalışma yapılmıştır. Isıl iletkenlik, suya göre yaklaşık % 10 artmıştır. Sonuçlar, belirli bir ısı yükü için, gerekli olan nanoakışkan hacimsel debisinin, daha düşük basınç düşümüne neden olan suyunkinden daha düşük olduğunu göstermektedir [14].

Dalgalı trapez plakalı bir ısı eşanjöründe türbülanslı akışta Al_2O_3 , CuO, SiO_2 ve ZnO – su nanoakışkanı için sayısal çalışma yapılmıştır. % 4 hacim konsantrasyonunda 20 nm çapındaki nanopartiküller için ortalama Nusselt sayısında % 10 artış gözlenmiştir. Ancak sonuçlar kıyaslandığında SiO_2 'nin nanoakışkanlar arasında en büyük Nusselt sayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir [15].

Bir diğer çalışmada, plakalı bir ısı eşanjöründe CeO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının ısıl iletkenliklerini deneysel olarak farklı debi ve konsantrasyonlar altında karşılaştırılmıştır. CeO_2 -su nanoakışkanının diğer nanoakışkanlara göre düşük optimum konsantrasyonda en iyi performansı verdiği görülmüştür [16].

Gövde borulu bir ısı eşanjöründe, Fe_2O_3 , CNT % 0.1 hacim oranında nanoparçacık katı hacim konsantrasyonunda laminar ve türbülanslı akış için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Isıl transfer katsayısı, su ile karşılaştırıldığında, sırasıyla % 13,54 ve % 27,69 artmıştır. Laminar ve türbülanslı her akış rejimi için nanoakışkanın konvektif ısı transfer katsayısının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [17].

Dairesel düz bir tüp içinde laminar ve türbülanslı akış için sabit ısı akısı altında nanoakışkanların ısıl ve hidrolik davranışlarını incelenmiştir. Baz akışkanlara kıyasla, konvektif ısı transfer katsayısında laminar akışta % 15, türbülanslı akışta % 20 artış olduğu bildirilmiştir. Ayrıca laminar akışta ısıl sınır tabakanın baskın, türbülanslı akışta ise ısıl iletkenliğin baskın olduğunu gözlemlenmiştir [18].

Eğimli bir ısı borusunda, % 1 hacim oranında su bazlı CuO nanoakışkanının termal performansını incelenmiştir. Yapılan çalışmada ısı borusunun eğim açısı ve çalışma

basıncı üzerine odaklanılmıştır ve eğim açısının termal performansta ve CuO-su nanoakışkanının ise su ile karşılaştırıldığında ısı transferini iyileştirmede büyük rolü olduğunu gözlemlemişlerdir [19].

1m uzunluğunda, dış çap 32 mm, iç çap 6 mm dairesel bir boruda, Al₂O₃-su için % 0,2, 1, 2, 2,5 ,CuO-su için % 3 hacim oranlarında laminer akış incelenmiştir. Peclet sayısının artmasıyla ısı taşınım katsayısının arttığı ve en yüksek ısı transfer hızının Al₂O₃-su nanoakışkanında olduğu gözlemlenmiştir [20].

Dairesel bir boruda türbülanslı akışta % 3 hacim oranında Al₂O₃-su ve TiO₂-su nanoakışkanlarının ısı ve hidrolik performanslarını incelenmiştir. Çalışılan nanoakışkanların su baz akışkanına göre daha düşük ısı taşınım katsayısına sahip olduğu ve artan hacim konsantrasyonuyla nanoakışkanların suya kıyasla viskozitelerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir [21].

Çift tüplü sarmal ısı eşanjöründe, 24 nm boyutunda CuO ve TiO₂ nanopartiküllerin eklenmesiyle elde edilen CuO-su ve TiO₂-su nanoakışkanlarının laminer akış altında ısı transfer karakteristiklerinin belirlenmesi için sayısal çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, nanoakışkanın ısı transferi hızının saf sudan % 14 daha fazla olduğunu göstermiştir [22].

Zıt akışlı gövde borulu bir ısı eşanjöründe türbülanslı akış altında Al₂O₃-su nanoakışkanının ısı transfer performansını deneysel incelenmiştir. Taşınım ile ısı transferi katsayısının, aynı kütleli debi ve sıcaklıktaki su baz akışkan sudan daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca taşınım ile ısı transferi katsayısının, kütleli debinin artması ile artacağı ve aynı zamanda ısı transferi katsayısının da Al₂O₃-su nanoakışkanının hacimsel konsantrasyonunun artmasıyla arttığını fakat hacimsel konsantrasyon artışının nanoakışkanın viskozitesini artırmasından dolayı, sürtünme faktöründe de bir artış olduğunu ve buna bağlı olarak basınç düşümünün arttığı gözlemlenmiştir [23].

2. ISI EŞANJÖRLERİ

Isı eşanjörü, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla sıvı arasında iç ısı enerjisinin aktarılması için kullanılan bir ısı transfer cihazıdır [24]. Isı eşanjörleri, güç, petrol, ulaşım, iklimlendirme, soğutma, ısı geri kazanımı, alternatif yakıtlar ve diğere endüstrilerde kullanılırlar. En çok bilenen ısı eşanjörleri, otomobil radyatörleri, kondansatörler, buharlaştırıcılar, hava ön ısıtıcılar ve yağ soğutucularıdır.

Isı eşanjörlerinde genellikle sıcak ve soğuk akışkanın birbirine karışmasını önleyen bir ısı transfer yüzeyi mevcuttur ve ısı transferi sıcak akışkandan soğuk akışkana iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşir. Isı eşanjörlerinde akışkanla yüzey arasındaki taşınım ve akışkanları ayıran cidarla arasındaki iletim incelenir. Bütün ısı transferi incelemelerinde olduğu gibi ısı eşanjörlerinde de, yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı arttıkça ısı transferi miktarı artmaktadır. Uygulamada ısı transferini artırmak için birçok yöntem vardır. Yüzeylere kanatçık eklenmesi, boru içine türbülator takılması, akışkanın özelliklerinin değiştirilmesi gibi. Ancak bu uygulamaların yanında kirlilik ve yüksek basınç düşümleri ısı eşanjörünün performansını etkilemektedir. Bu sebeple belirlenen ihtiyacı karşılayacak ısı eşanjörünün seçimi ve sonrasında ısı transferini iyileştirmek için yapılacak uygulamalar önemlidir.

2.1. Isı Eşanjörü Tipleri

Günümüzde var olan çeşitli ısı transferi uygulamaları sonucunda farklı tip ve donanıma sahip birçok ısı eşanjörü geliştirilmiştir. Her tip ısı eşanjörünün kendine özgü belirli kısıtlamalarının olması sebebiyle sayısız ısı eşanjörü tipi ortaya çıkmıştır. Ancak genel bir ifade ile ısı eşanjörleri, ısı transferi işleminin şekline, ısı eşanjörünün yapısına, birim hacimdeki ısı transferi alanına, kullanılan akışkanların akış düzenine ve ısı transferi mekanizmasına göre sınıflandırmaktadır [25].

2.1.1. Isı transferi temas şekline göre ısı eşanjörleri

Isı eşanjörleri, aktarım işlemlerine göre dolaylı temas ve doğrudan temas ısı eşanjörleri olarak ikiye ayrılırlar;

2.1.1.1. Doğrudan temashlı ısı eşanjörleri

Akışkanların birbirlerine karışmadan doğrudan temas halinde bulunmasıyla ısı transferi gerçekleşmektedir. Sıcak akışkandan soğuk akışkana sürekli ısı geçişi olur. Doğrudan olmayan ısı transferine kıyasla ısı transfer oranları yüksektir, imalatları kolaydır.

Bu tür ısı eşanjörler için kullanılan akışkanlar tek fazlı veya iki fazlı, birbirleri ile aralarında ısı değişimi olan su-yağ karışımları gibi karıştırılmaz akışkanlar, gaz-sıvı ve sıvı-buhar olacak şekilde tasarlanmaktadır [26]. Gaz-sıvı akışkanlar için soğutma kuleleri, sıvı-buhar karışımları için buhar akümülatörleri örnek verilebilir.

2.1.1.2. Dolaylı temashlı ısı eşanjörleri

Isı transferi, akışkanları birbirinden ayıran sızdırmaz bir cidar boyunca sıcak akışkandan soğuk akışkana geçiş şeklinde olur. Isı önce sıcak akışkandan katı cidara, cidardan soğuk akışkana aktarılır. Akışkanlar arasında temas yoktur. Bu tip ısı eşanjörlerine yüzey ısı eşanjörleri de denir [26]. Rejeneratör, bu tip ısı eşanjörlerine örnektir.

2.1.2. Birim hacimdeki ısı transfer alanına göre ısı eşanjörleri

Birim hacimdeki ısı geçiş yüzey alanına göre kompakt ve kompakt olmayan olarak ısı eşanjörleri olarak ikiye ayrılır;

2.1.2.1. Kompakt ısı eşanjörleri

Gaz-sıvı akışkanların kullanıldığı ısı eşanjörlerinde, birim hacim başına ısı geçiş alanı $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerine eşit ya da $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ den fazla, sıvı-sıvı ve faz değişimli olduğu durumda ise alan yoğunluğu, $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerine eşit veya bu değerden büyük ise bu ısı eşanjörü kompakt olarak adlandırılır.

Küçük hacimde akışkanlar arasında yüksek ısı geçiş hızı sağlar ve ağırlık, hacim gibi kısıtlı parametrelerle tasarlanan ısı eşanjörü uygulamalarında kullanılırlar. İstenilen yüzey alanı, akışkanları birbirinden ayıran duvarlara, ince plakaların veya oluklu kanatların eklenmesiyle elde edilir [26].

2.1.2.2. Kompakt olmayan ısı eşanjörleri

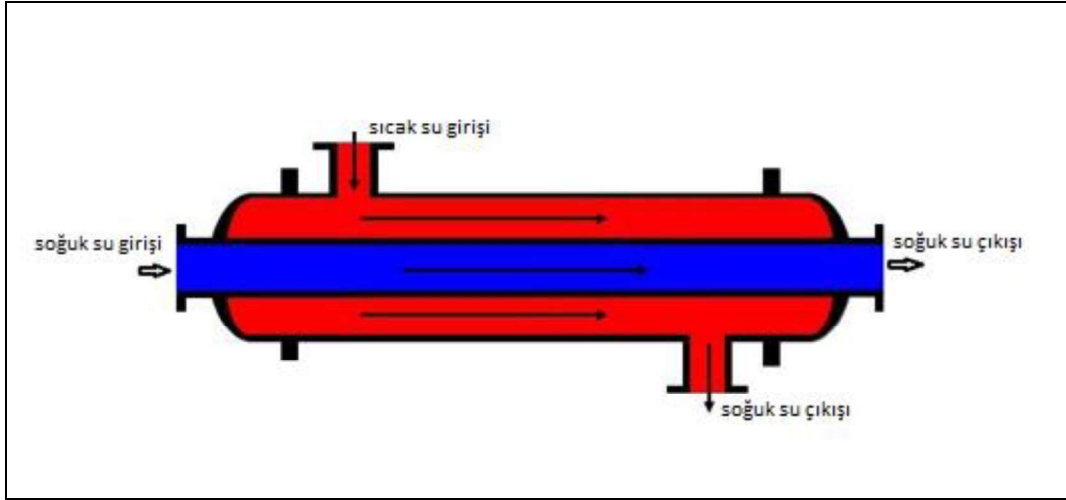
Gaz-sıvı akışkanlarının kullanıldığı ısı eşanjörlerinde , birim hacim başına ısı transferi alanı $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ den az , sıvı-sıvı ve faz değişimli olduğu durumda ise alan yoğunluğu, $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ değerinden küçük ise kompakt olmayan ısı eşanjörü olarak adlandırılır [26].

2.1.3. Yapısına göre ısı eşanjörleri

2.1.3.1. Borulu ısı eşanjörleri

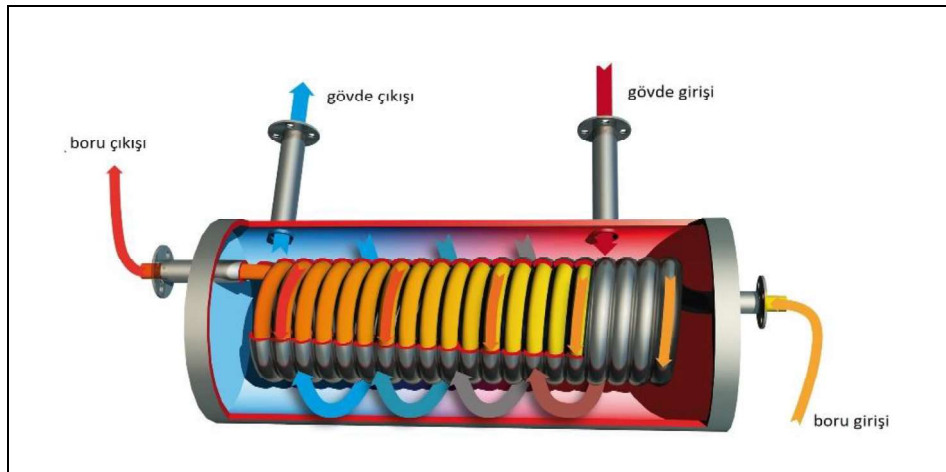
Borulu ısı eşanjörleri genellikle dairesel kesitli borulardan meydana gelir. Ancak eliptik, prizmatik ya da burulmuş tip borular da mevcuttur. Çoğunlukla aralarında basınç farkı olan akışkanlar için imal edilir ve sıvı-sıvı veya faz değişimi uygulamaları için kullanılırlar. Akışkanlardan biri borunun içinde akarken, diğeri borunun dışından akması prensibine dayanır. İhtiyaca göre boru sayısı, boru uzunluğu, boru adımı ayarlanabilir. İstenilen şekilde tasarlanabildiği için endüstriyel uygulamalarda yoğun olarak kullanılırlar. Çift borulu, gövde borulu, spiral borulu, kanatlı borulu çeşitleri vardır. En sık kullanılan iç içe eş eksenli iki boru veya çift boru içinde sıcak ve soğuk akışkanın birbirine paralel veya zıt yönde hareket ettiği ısı eşanjörleridir [27].

Çift borulu ısı eşanjörleri, en basit ısı eşanjörü tipidir. Farklı çaplardaki eş merkezli iki borudan oluşurlar. İçteki boru kanatçıklı veya düz olabilir, bir akışkan içteki boruda diğeri akışkan ise dıştaki boru içinde hareket eder. Akışkanların ikisi de aynı yöne paralel hareket edebilir veya birbirlerine zıt yönde hareket edebilir. Toplam ısı transfer alanının 50 m^2 ya da daha az olduğu küçük kapasiteli uygulamalar için kullanılırlar. Maliyetleri yüksek, imatları kolaydır [28]. Isıl kapasiteyi ve ısı geçiş yüzey alanını artırmak için seri montajları yapılabilir. Bakım, tamir ve temizlenmeleri kolaydır, yüksek basınca dayanabilirler. Farklı malzemelerden imal edilebildikleri için, akışkan sınırlaması çok azdır. Şekil 2.1' de iç boruda soğuk, dış boruda sıcak akışkanın hareket ettiği çift borulu ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çift borulu ısı eşanjörü [29]

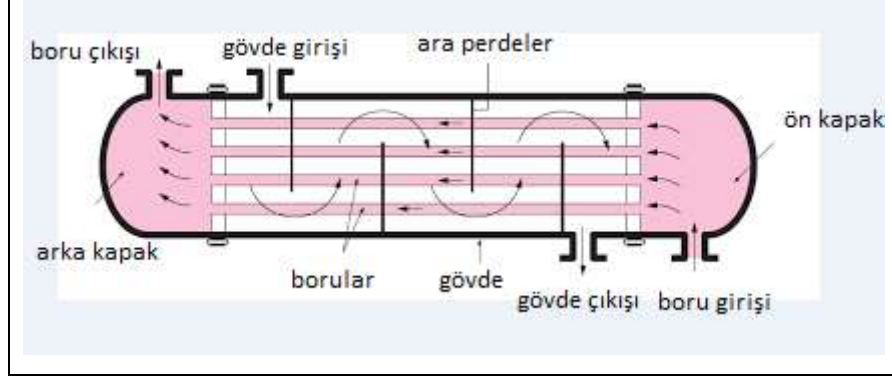
Spiral borulu ısı eşanjörleri , bir gövde içinde, bobin gibi sarılmış bir ya da birden fazla spiral boru bulundurlar. Basit ve ucuz şekilde elde edilebilirler. Bakım ve tamirleri kolaydır. Isıl genleşmenin sebep olduğu gerilme problemleri yoktur. Dış yüzeyleri kolay temizlenir, ancak içteki boru spiralli olduğu için kolayca temizlenemez. Şekil 2.2.'de spiral borulu ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Spiral borulu ısı eşanjörü [29]

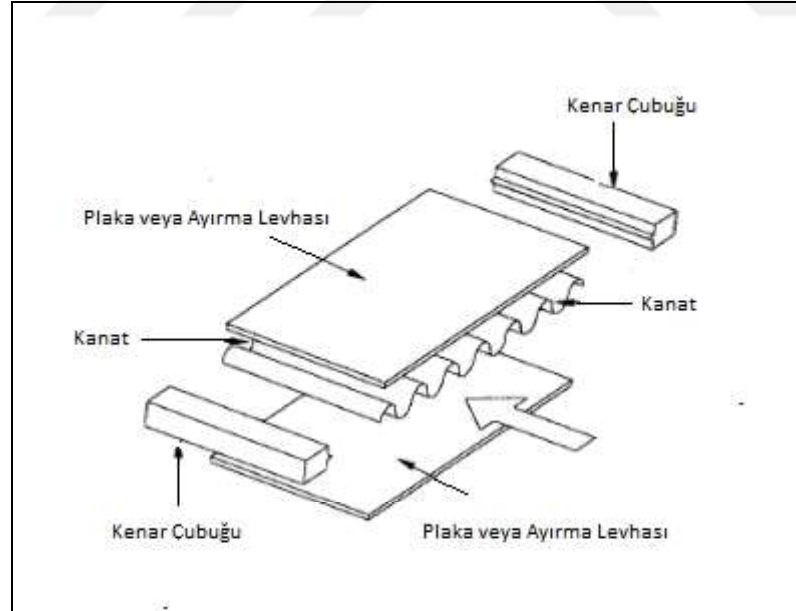
Gövde borulu ısı eşanjörleri, endüstride yaygın olarak kullanılırlar. Gövde eksenine paralel olarak yerleştirilmiş boru veya boru demetlerinden oluşurlar. Akışkanlardan biri boru demetinin içinde akarken diğeri gövde kısmında boruya paralel veya çapraz olarak hareket eder. Hemen hemen tüm uygulamalar için kullanılabilirler.

Örneğin; petrol rafineleri, termik santraller, kimya endüstrisi gibi. Şekil 2.3’de gövde borulu ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Gövde borulu ısı eşanjörü [30]

Kanatlı borulu ısı eşanjörleri, kanatçıklı dairesel veya düz-yassı borulardan üretilirler. Yüzey alanını arttırmak için levha bükülerek çıkıntılar oluşturulur. Endüstride, gaz türbinleri, ısı pompaları, soğutma sistemleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Araç radyatörleri de bu tip ısı eşanjörlerine örnektir. Şekil 2.4 ‘de kanatlı borulu ısı eşanjörü gösterilmiştir.

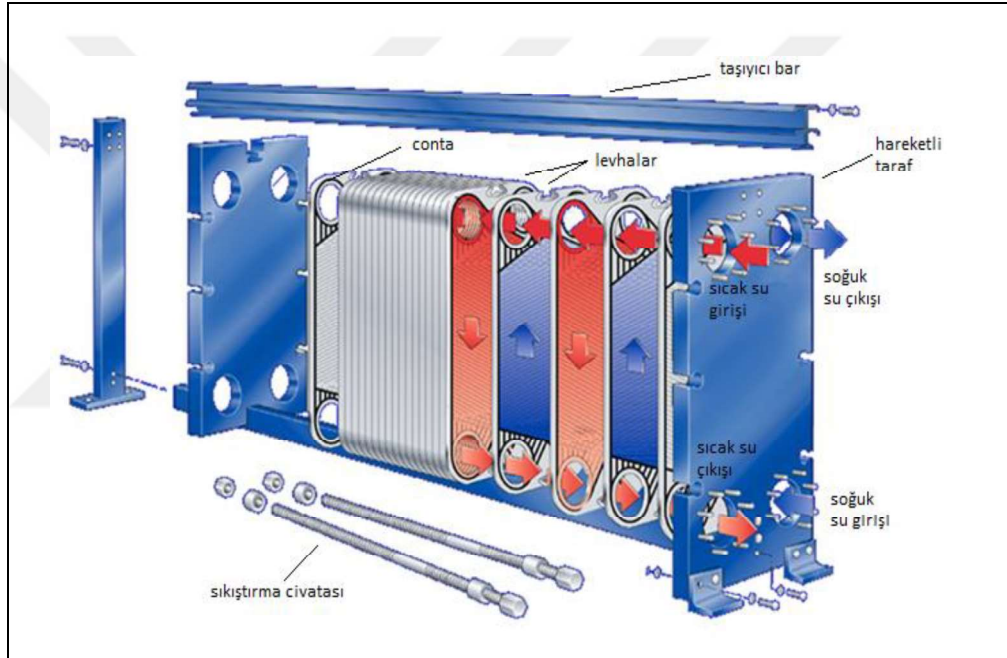


Şekil 2.4. Kanatlı borulu ısı eşanjörü [31]

2.1.3.2. Levha tipi ısı eşanjörleri

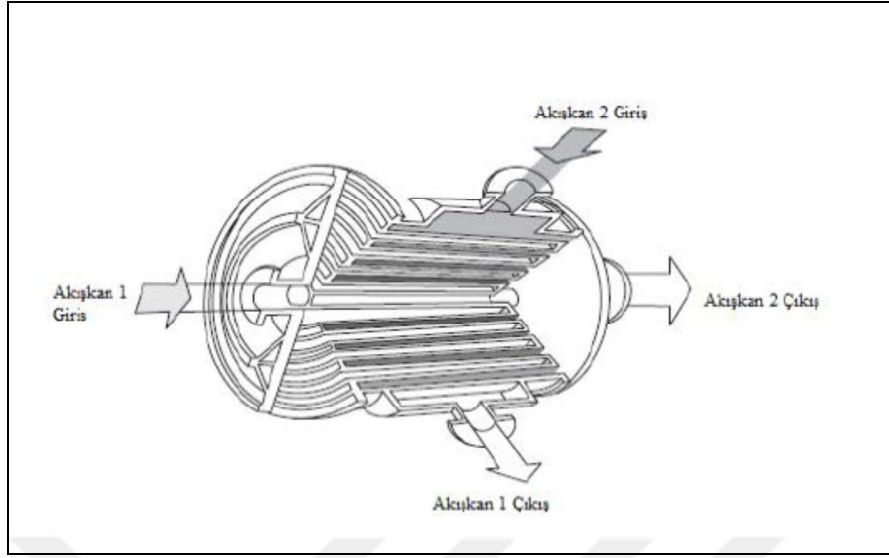
Farklı alanlarda yoğun olarak kullanılan levha tipi ısı eşanjörleri , farklı şekillerde biçimlendirilmiş düz veya kıvrımlı bir dizi ince levha ve bunları desteklemek için bir çerçeve içerir. Contalı, spiral levhali, lamelli olarak üçe ayrılırlar.

Contalı levhali ısı eşanjörleri, ince metal levhalardan bir paket yapılarak elde edilir. Uygun contalarla akışkanlar yönlendirilir ve birbirlerine karışmaları engellenir. Sıkıştırma çubukları ile sıkıştırılır ve istenildiğinde sisteme levha eklenip çıkarılarak, ısı kapasiteleri değiştirilebilir. Şekil 2.5.'de contalı levhali ısı eşanjörü gösterilmiştir.



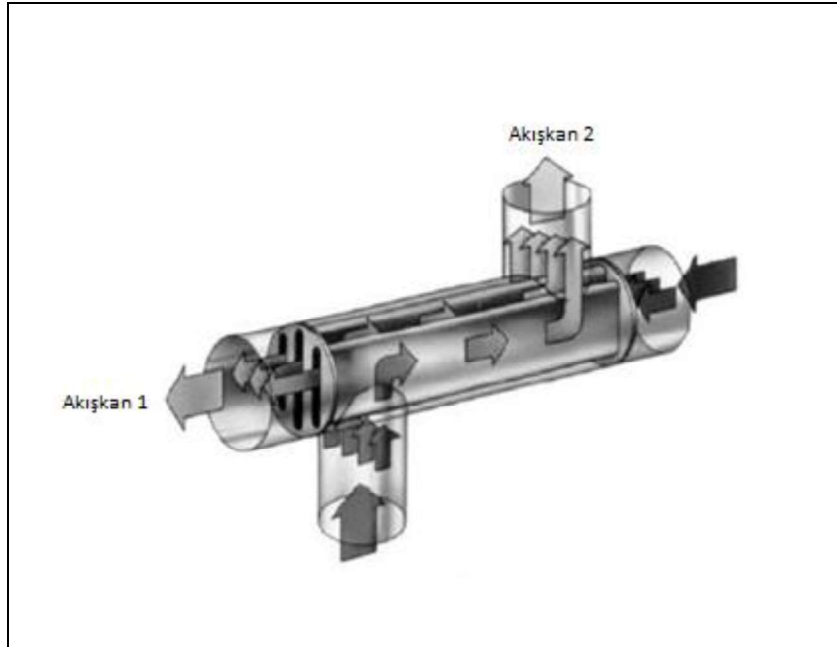
Şekil 2.5. Contalı levhali ısı eşanjörü [32]

Spiral levhali ısı eşanjörlerinde ise; iki uzun metal şerit levha helisel sarılarak, iki akışkan için spiral akış yolu oluşturulur. Spiral dönüşlerden dolayı spiral plakalı ısı eşanjörlerinin çapı çok fazladır. Sistemin ısı transfer katsayıları; gövde borulu tip ısı eşanjörlerinden fazla, levhali ısı eşanjörlerinden ise azdır. Yüksek verime sahip olup; bakımları kolay, montaj maliyetleri düşüktür. Şekil 2.6 'da spiral levhali ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Spiral levhalı ısı eşanjörü [33]

Lamelli ısı eşanjörleri; bir grup boruyu saran bir levha gövdeden oluşur, fakat bu borular düzleştirilmiş ince borulardır. Tam zıt akış sağladıklarından dolayı verimleri yüksek, hidrolik çapları küçük olduğu için büyük ısı taşınım katsayıları elde edilir. Gövde borulu tip ısı eşanjörlerine göre daha kompakttır. Şekil 2.7’de lamelli plakalı ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Lamelli levhalı ısı eşanjörü [34]

2.1.3.3. Rejeneratif ısı eşanjörleri

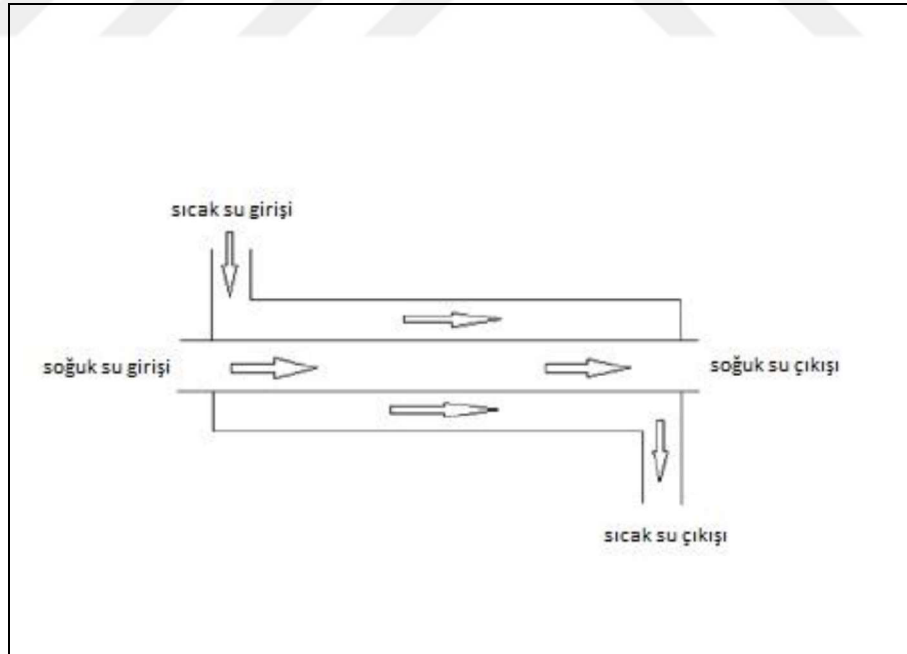
Rejeneratif ısı eşanjörleri, değişik sıcak ve soğuk akışkan akım geçişlerine sahiptirler. Rejeneratör içinde ısının depolandığı gözenekli bölgeden önce sıcak akışkan geçirilerek, bu bölgenin ısınması sağlanır. Daha sonra soğuk akışkan geçirilerek gözenekli bölgede depolanan enerji, soğuk akışkana aktarılarak soğuk akışkanın ısınması sağlanır.

2.1.4. Akışkanların akış şekline göre ısı eşanjörleri

Isı eşanjörleri kullanılan akışkanların akış şekline göre paralel akış, zıt akış, çapraz akış ve çok geçişli akış olarak sınıflandırılırlar.

2.1.4.1. Paralel akışlı ısı eşanjörleri

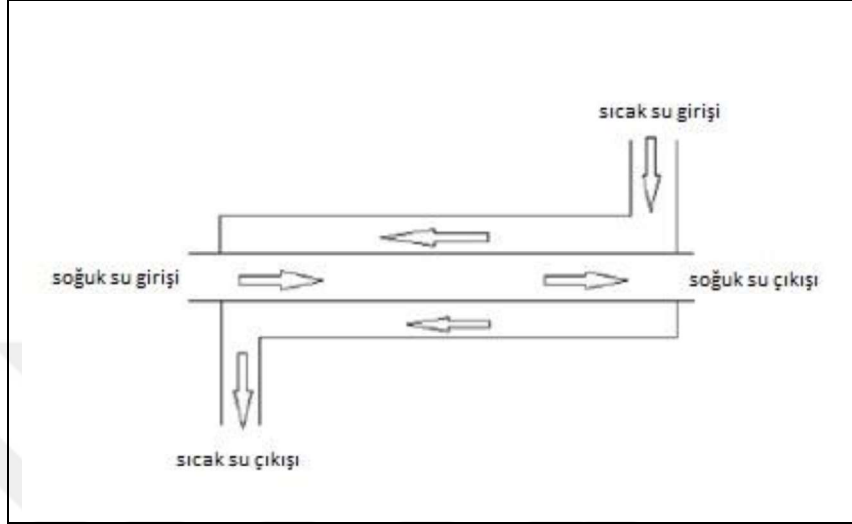
Aralarında bir ısı transfer yüzeyi olan, sıcaklıkları farklı akışkanlar, ısı eşanjörüne aynı uçtan girerler, birbirlerine paralel akarlar ve ısı eşanjörünün diğer ucundan çıkarlar. Şekil 2.8 'de paralel akışlı ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Paralel akışlı ısı eşanjörü [31]

2.1.4.2. Zıt akışlı ısı eşanjörleri

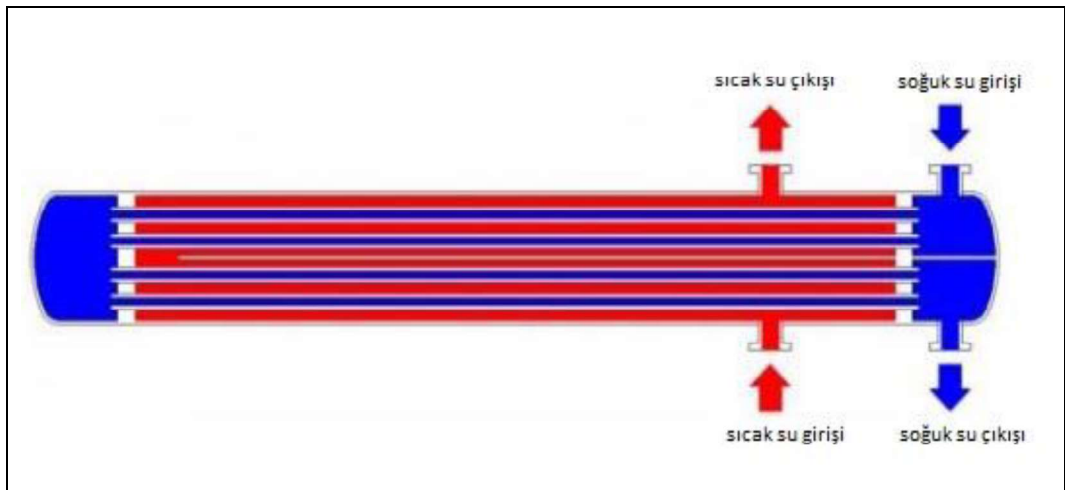
Sıcak ve soğuk akışkanlar ısı eşanjörünün karşıt uçlarından girerler, ters yönlerde akarlar ve karşıt uçlarından çıkarlar. Şekil 2.9’da zıt akışlı ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Zıt akışlı ısı eşanjörü [31]

2.1.4.3. Çapraz akışlı ısı eşanjörü

Çapraz akışlı ısı eşanjörlerinde , sıcak ve soğuk akışkanların akışları birbirine dik olup, akış “karışmaz” veya “karışır” olarak ayrılır. Şekil 2.10 ‘da çapraz akışlı ısı eşanjörü gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Çapraz akışlı ısı eşanjörü [33]

2.1.4.4. Çok geçişli ısı eşanjörü

Bir gövde ve içlerinde U- dönüşü yapan en az iki borudan oluşan ısı eşanjörleridir [35]. Boruların sayısı artabildiği gibi gövdelerin sayısı da artırılarak seri ve paralel bağlanabilir.

2.1.5. Isı transferi mekanizmasına göre ısı eşanjörleri

Isı eşanjörünün bir tarafındaki akışkandan ısı transfer yüzeyine ısı enerjisi aktarmak için kullanılan ısı transfer mekanizmaları; tek faz konveksiyon (zorlanmış ya da doğal), iki faz konveksiyon (zorlanmış ya da doğal konveksiyon aracılığıyla yoğuşma veya buharlaşma) ve birleşik konveksiyon ve radyasyon ısı transfer mekanizmalarıdır [36].

3. ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Endüstrinin her alanında enerji verimliliğini artırmak amacıyla bir takım çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda, mühendislik uygulamalarının her alanında kullanılan ısı eşanjörlerinde ısı transferini iyileştirmek için araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarda esas alınan, ihtiyacı karşılayacak belli bir kapasite için daha kompakt ısı eşanjörü tasarlanmasıdır. Isı transferini iyileştirmek için kullanılan ısı transfer iyileştirme teknikleri aktif, pasif ve karma olarak sınıflandırılır. Aktif yöntemlerde, ek bir dış güç gerekir. Buna örnek olarak, mekanik karıştırıcılar, yüzey ve akışkan titreşimi verilebilir. Pasif yöntemlerde, özel yüzey geometrileri veya akışkan ilavesi yapılır. Örnek olarak, dönmeli akış cihazları, pürüzlü yüzeyler, baz akışkan içerisine katı partiküllerin eklenmesi verilebilir. Karma yöntemde ise, aktif ve pasif yöntemler birlikte kullanılır [37].

Bahsedilen bu yöntemlerde ısı transferinin nasıl gerçekleştiği termodinamik çözümlerle bulunabilir, ancak ısı transfer hızı da bilinmelidir. Ayrıca bu yöntemlerde kullanılan uygulamalar ek bir maliyet getirecektir. Kimyasal uygulamalarda kullanılan akışkana bağlı olarak kirlenme, çökeltme gibi durumlarla uygulamalarda karşılaşılmış ve bu da ısı transferini olumsuz etkilemiştir.

Isı eşanjörlerinde kullanılan geleneksel akışkanlar su, etilen glikol, yağ gibi akışkanlardır. Isı eşanjörlerinde amaçlanan, daha küçük ve daha az yer kaplaması baz alındığında geleneksel akışkanların performansı yeterli olmamaktadır. Bu durumda pasif yöntemlerden olan ısı iletkenliği geleneksel akışkandan yüksek olan milimetre veya mikrometre boyutlarında katı parçacıkların eklenmesiyle performansı artmış, ancak ısı eşanjörü kanallarında tıkanma, çökeltme, korozyon ve kirlenme olduğu yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür. Araştırmaların devam etmesi ve ilerleyen teknoloji ile milimetre boyutlarındaki katı parçacıklar nanometre boyutlarına indirgenmiştir [38, 39].

4. NANOAKIŞKANLAR

Günümüz teknolojisinin hızla ilerlemesi nanoteknolojinin ivme kazanmasını sağlamıştır. Özellikle katı parçacıkların 100 nm den daha çok küçük nano parçacıkların elde edilmesini kolaylaştırmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda çok küçük nanoparçacık konsantrasyonlarında bile nanoakışkanların ısı iletkenlik katsayılarının yükseldiği ortaya koyulmuştur [40, 41].

Yapılan ilk çalışmalardan sonra nanoakışkanlar ile ilgili birçok deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bazı belirsizlikler hala daha bulunsa da çalışmalar, nanoakışkanların milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı parçacıklarda görülen kanal içi tıkanma, çökme korozyon gibi ısı transferini etkileyen sebeplerin olmadığı görülmüştür [41]. Bu noktada önemli olan nanoparçacıkların baz akışkan içerisine homojen olarak süspansiyon edilebilmesi, kimyasal reaksiyonların olmaması ve elde edilen nanoparçacık ve baz akışkan karışımının uygun dağıtıcı maddeler kullanılarak kararlı yapıda olmasının sağlanabilmesidir.

Nanoakışkanların ısı transferi performansının iyileşmesini sağlayan temel etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Katı bir metalin ısı iletkenliği baz akışkanın ısı iletkenliğinden daha yüksek olduğu için, baz akışkan içerisine nanoparçacık olarak süspansiyon edildiğinde elde edilen akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır. Bu da ısı eşanjörlerinde sistemin etkinliğinin artmasını sağlar.
- Nanoparçacıklar baz akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
- Nanoparçacıklar arasındaki etkileşim ve çarpışmalar Brownian hareketinin etkisiyle baz akışkanın ve akış geçişinin yüzeyini artırır.
- Akışkanın çalkantısı dolayısıyla türbülans şiddeti artar.
- Nanoakışkanlar anyon ve katyon tipi yüzey aktifleştirici eklendiğinde uzun sürecek kararlı bir halde kalabilir.
- Düşük konsantrasyon ve parçacık boyutlarında ısı iyileşmede artış gözlemlenir [41].

Nanoakışkanların dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uzun dönemde karışımın durağanlığı zayıflar.
- Van der Waals bağları parçacıkların birbirini çekmesine neden olur. Kümelenmeyi artırır ve kullanıldığı sistemlerde kanal tıkanıklığına sebep olarak, performansı kötüleştirir.
- Pompalama gücünü artırır.
- Üretim yöntemleri pahalı ve komplikedir.

4.1. Baz Akışkan ve Nanoparçacık Türü

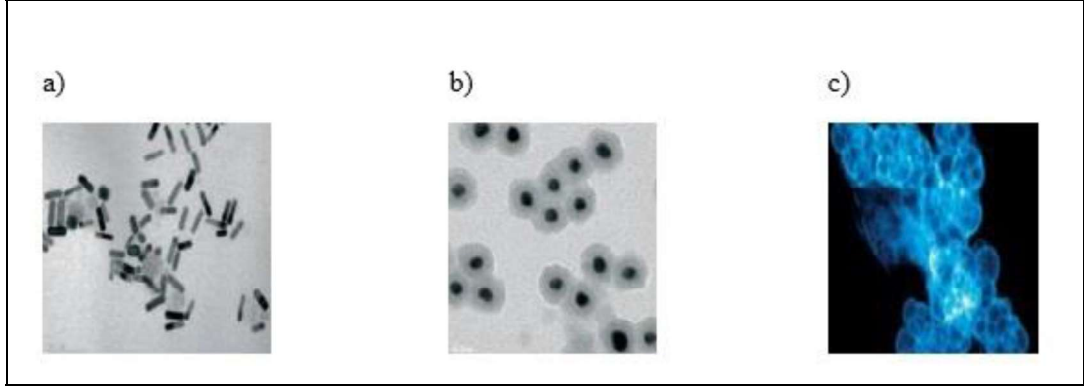
Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalarda, ısı iletkenliği yüksek bakır, alüminyum, gümüş gibi metal elementler ve Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , TiO_2 gibi metal oksit bileşikler kullanılmaktadır. Baz akışkan olarak ısı transferi uygulamaları geleneksel akışkanları olan; su, etilen glikol, motoryağı, civa kullanılmaktadır. Böylece, baz akışkana belirli katı hacim konsantrasyonunda ve boyutlarında katı parçacık eklenerek nanoakışkan elde edilir. Akışkanın kararlılığını sağlamak için, katkı maddeleri karışıma ilave edilmektedir.

4.2. Nanoparçacık Büyüklüğü

Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan nanoparçacıkların çapları 100 nm'nin altında olup, bu boyut 10 nm'ye kadar düşmektedir. Parçacıkların şekli boru veya çubuk şeklinde ve uzunlukları mikrometre mertebesinde olmaktadır [41].

4.3. Nanoparçacık Şekli

Nanoparçacıkların şekilleri, küresel, çubuk, boru veya disk şeklinde olmaktadır [41]. Ancak çekirdek-kabuk, katkılı, sandviç, boşluklu, çok yüzlü gibi farklı yapılarla sahip metal, metal alaşımı, seramik ve polimer esaslı veya bunların karışımından istenilen özelliklere sahip nanoparçacıklar hazırlanabilmektedir. Nanoparçacık kümelenmeleri de fraktal benzeri şekillerde olmaktadır [42]. Şekil 4.1'de nanoparçacıklara ait farklı şekillerin elektron mikroskobu (SEM,TEM) altındaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri (a) Altın nanoçubuklar, (b) Altın çekirdek-silika nanoparçacıklar, (c) içi boşluklu platin nanoparçacıklar [43]

4.4. Nanoparçacıkların Üretimi

Nanoparçacıklar, yukarıdan aşağıya (top down) ve aşağıdan yukarıya (bottom up) olmak üzere iki farklı şekilde üretilirler [44].

Yukarıdan aşağıya yönteminde, hacimsel katı malzemeye dışarıdan mekaniksel veya kimyasal enerji verilmesi sonucunda nano boyutta küçük parçalara ayrılır. Bu yöntemde örnek olarak; mekanik öğütme, aşındırma, katı maddenin buharlaşması verilebilir [45]. Bu yöntemde fazla enerji tüketimi gerekir bu sebeple yüksek enerjili öğütme olarak da adlandırılmaktadır.

Aşağıdan yukarıya yönteminde ise, atomik veya moleküler boyuttaki katı maddeler kimyasal reaksiyonlar ile büyütülerek partikül üretimi gerçekleşir. Bu yöntemde örnek olarak; gaz yoğunlaştırma tekniği, kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprej piroliz yöntemleri verilebilir [46, 47].

4.5. Nanoakışkanların Üretimi

Nanoakışkanların üretiminde ısı iletkenliklerinin yüksek olmasına dayanarak, çoğunlukla Al_2O_3 , SiO_2 , Cu, CuO, TiO_2 , Ag gibi metal ve metal oksit nanoparçacıklar kullanılmaktadır. Hazırlanan nanoakışkanın kararlı, uzun ömürlü bir süspansiyon olması, parçacıkların çok az seviyede topaklanması ve kimyasal değişimin olmaması gerekmektedir [2]. Bu özellikleri sağlayabilmek için özel teknikler geliştirilmiştir. Bunlar tek aşamalı (two step) ve iki aşamalı (one step) yöntemlerdir.

İki aşamalı yöntemde, nanoparçacıklar , nano tüpler veya diğer nano malzemeler öncelikle kimyasal veya fiziksel yöntemler kullanılarak elde edilir. Daha sonra manyetik karıştırma yada homojenizasyon ile baz akışkan içerisine dağıtılır. Daha çok oksit nanoparçacıklar için kullanılan ve en ekonomik yöntemdir.

Tek aşamalı yöntemde ise, nanoparçacık elde edilmesi ve baz akışkana karıştırılması aynı anda yapılır. Daha çok metal nanoparçacıkların üretimi için uygundur.



5. NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Nanoakışkanların ısı transferi analizinde, termofiziksel özelliklerinin doğru tespit edilmesi kilit konudur. Yoğunluk ve özgül ısılarının hesaplanması nispeten kolaydır ancak viskozite ve ısı iletkenlik söz konusu olduğunda, literatürde mevcut olan hem deneysel hem de teorik modellerde önemli farklılıklar vardır.

5.1. Yoğunluk

Nanoakışkanların yoğunlukları, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen Denklem (5.1) ile hesaplanır [21] ;

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (5.1)$$

ϕ katı parçacıkların hacimsel oranları olup, nf, bf ve p alt indisleri ise sırasıyla nanoakışkan, sıvı ve katı partikülleri temsil etmektedir.

5.2. Özgül Isı

Nanoakışkanların özgül ısıları, çalışmalar sonucunda elde edilen Denklem (5.2) ile hesaplanır [48] ;

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_{bf} + \phi(\rho C_p)_p \quad (5.2)$$

5.3. Viskozite

Nanoakışkan viskozitesi, basınç düşümünü doğrudan etkilediği için uygulamalarda önemli bir parametredir. Bu nedenle, nanoakışkanların kullanımını mümkün kılmak için, nanoakışkanların baz akışkanlara göre viskozite artışının kapsamı incelenmelidir. Nanoakışkanların ısı iletkenliği ile ilgili araştırmalarla karşılaştırıldığında, literatürde viskozite araştırması sınırlıdır. Aşağıdaki iki bölümde ,nanoakışkanların deneysel araştırmaları özetlenmiş ve bazı nanoakışkanların viskozite teorik modelleri ele alınmıştır.

5.3.1. Viskozite için deneysel çalışmalar

Nanoakışkanların viskozitesi ile ilgili deneysel çalışmalar arasında farklılıklar vardır. Ancak elde edilen ortak sonuç, baz akışkana nanoparçacık eklenmesiyle viskozitesinin artmasıdır.

Oda sıcaklığında Al_2O_3 -EG nanoakışkanın viskozitesi incelenmiştir. Elde edilen sonuca göre, % 3,5 katı hacim konsantrasyonu için viskozitede % 40 artış gözlemlenmiştir [9].

% 4 hacim konsantrasyonu için , Al_2O_3 - su nanoakışkanının viskozitesini ölçülmüş ve oda sıcaklığında ve 60 °C' de viskozitedeki artışın sırasıyla % 60 ve% 50 artış bildirilmiştir [49].

Karbon nanotüpler kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için, viskozitedeki artış daha da yüksektir. Oda sıcaklığında % 1 katı hacim konsantrasyonu için CNT-su nanoakışkanının viskozitesini göz önüne alınmış ve viskozite % 34 artış gösterdiği görülmüştür [50].

Nanoakışkan viskozitesinin, birçok parametreye bağlı olduğu bilinmektedir; nanoparçacık hacim konsantrasyonu, parçacık çapı, sıcaklık ve kümelenme derecesi sayılabilir. Nanoparçacık hacminin artması, viskoziteyi artırır ve bu da birçok çalışma tarafından doğrulanmıştır [49, 51-53]. Katı parçacık çapının etkisi söz konusu olduğunda literatürde farklı sonuçlar mevcuttur. Nanoakışkan viskozitesinin, parçacık çapı ile önemli ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir [54]. Yapılan başka bir çalışma da ise partikül çapı arttıkça viskozitenin azaldığı bildirilmiştir [55].

Deneysel verilerdeki genel sonuç, nanoparçacıkların baz akışkana eklenmesiyle viskozitedeki artışın, teorik modeller kullanılarak elde edilen teorik tahminlerden daha büyük olmasıdır. Bu teorik modellerden bazıları, nanoakışkanların viskozitesinin belirlenmesi için önerilen son ifadelerle birlikte, bir sonraki bölümde kısaca verilmiştir.

5.3.2. Viskozite için teorik modeller

Küresel şekle sahip nanoparçacıklar içeren süspansiyonların dinamik viskozitesini belirlemek için bir ifade önerilmiştir [56]. Parçacıklar arasındaki etkileşimin ihmal edildiği bu model Denklem (5.3)' de verilmiştir;

$$\mu_{nf} = (1 + 2,5\phi)\mu_{bf} \quad (5.3)$$

Daha sonra yapılan araştırmalarda parçacık hacim konsantrasyonunun artmasıyla, viskozitenin de sınırsız artması gerektiği düşüncesi doğmuştur. Bu bağlamda Denklem (5.4)' de verilen denklem önerilmiştir [57] ;

$$\mu_{nf} = \frac{1}{(1 - \phi)^{2,5}} \mu_{bf} \quad (5.4)$$

Bazı çalışmalarda, parçacıklar arasındaki etkileşimler dikkate alınmıştır. Bu çalışmalar, modellerin uygulanabilirlik aralığını parçacık hacminin konsantrasyonu bakımından genişletmiştir. Böyle bir gelişmeye örnek Batchelor'un çalışmasıdır [58]. Denklem (5.5) 'de verilmiştir;

$$\mu_{nf} = (1 + 2,5\phi + 6,2\phi^2)\mu_{bf} \quad (5.5)$$

Nanoakışkanlar için geliştirilen bazı teorik formülasyonlar Yu ve Choi tarafından yapılan literatür araştırması sonucunda, uygulanabilir nanoakışkan tipleriyle birlikte Tablo (5.1)'de verilmektedir [59].

Tablo 5.1. Nanoakışkanlar için viskozite modelleri

Literatür Çalışması	Viskozite Modeli
TiO ₂ - su nanoakışkanı [60]	$\mu_{nf} = 13,47e^{35,98\phi}\mu_{bf}$
Al ₂ O ₃ - su nanoakışkanı [61]	$\mu_{nf} = (1 + 7,3\phi + 123\phi^2)\mu_{bf}$

Tablo 5.1. (Devam) Nanoakışkanlar için viskozite modelleri

Literatür Çalışması	Viskozite Modeli
Al ₂ O ₃ - EG nanoakışkanı [61]	$\mu_{nf} = (1 - 0,19\phi + 306\phi^2)\mu_{bf}$
CuO - su nanoakışkanı [62]	$\mu_{nf} = \mu_{bf} + 5 \times 10^{-5} \beta \rho \phi \sqrt{\frac{\kappa T}{2\rho r}} [(-134,63 + 1722\phi) + (0,4705 - 6,04\phi)T]$
CuO - su nanoakışkanı [62]	$\beta = \begin{cases} 0,0011(100\phi)^{-0,7272}, & \phi > 0,01 \\ 0,0137(100\phi)^{-0,8229}, & \phi < 0,01 \end{cases}$
CuO - su nanoakışkanı [63]	$\mu_{nf} = \exp \left[-(2,8751 + 53,548\phi - 107,12\phi^2) + (1078,3 + 15857\phi + 20587\phi^2)(1/T) \right]$

5.4. Isıl İletkenlik

Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin, katı parçacık hacim konsantrasyonu, parçacık materyali, parçacık büyüklüğü, parçacık şekli, baz akışkan ve sıcaklık gibi birçok faktöre bağımlı olduğu, yapılan deneysel ve teorik çalışmalar göstermektedir [64].

Aşağıdaki iki bölümde nanoakışkanların ısı iletkenliklerini etkileyen parametreler incelenerek yapılan bazı deneysel ve teorik çalışmalar verilmiştir.

5.4.1. Isıl iletkenlik için deneysel çalışmalar

Baz akışkan olarak suyun kullanıldığı ve Al₂O₃ (13 nm), SiO₂ (12 nm) ve TiO₂ (27 nm) nanoparçacıklarını içeren nanoakışkanların ısı iletkenliklerini ölçülmüştür [65]. Bu, nanoakışkanların ısı iletkenliği ile ilgili ilk deneysel çalışmadır. 31,85 °C ' de % 4,3 hacim Al₂O₃ – su nanoakışkanının etkin ısı iletkenliği için % 32,4 kadar bir artış gözlenmiştir. Isıl iletkenlik artışının, parçacık hacim konsantrasyonu ile doğrusal olarak arttığı bulunmuştur.

Al₂O₃ ve CuO nanoparçacıkları için, nanoakışkanların ısı iletkenliğini araştırılmıştır [10]. Al₂O₃ ile hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliğinin CuO ile hazırlanan nanoakışkana kıyasla daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğunu bildirilmiştir.

Al₂Cu ve Ag₂Al nanopartiküllerini su ve etilen glikol baz akışkanları içerisine eklenerek elde edilen nanoakışkanlar için, ısı iletkenliği daha yüksek olan Ag₂Al ile hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin Al₂Cu ile hazırlanan nanoakışkanlara kıyasla daha yüksek olduğunu bulunmuştur [66].

Su, etilen glikol ve motor yağı baz akışkanlarını kullanarak Al₂O₃ nanoparçacıkları ile hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlikleri incelenmiştir [9]. Al₂O₃ - etilen glikol nanoakışkanı ile en yüksek ısı iletkenlik değeri elde edilmiş ve sırasıyla motor yağı ve su ile hazırlanan nanoakışkanların daha düşük değerlerde ısı iletkenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada ise, 36 nm ve 47 nm çapında Al₂O₃ metal oksit nanoparçacıklarını baz akışkan su ile karıştırarak bir nanoakışkan hazırlanmıştır. Hacim konsantrasyonu %0-%18 arasında, sıcaklık ise 20-50 °C aralığında değişmektedir. Oda sıcaklığında iki farklı parçacık çapı için yapılan deneylerde birbirine yakın ısı iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Ancak daha yüksek sıcaklıkta ve daha küçük parçacık çapında yüksek ısı iletkenlik değeri ölçülmüştür [67]. Deneysel yapılan birçok çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu, parçacık çapı küçüldükçe ısı iletkenliğinin arttığını göstermektedir.

5.4.2. Isıl iletkenlik için teorik modeller

Küresel parçacıkların eklendiği katı-sıvı karışımının ısı etkinliğini belirlemek için asırlar öncesinde bir denklem elde edilmiştir [68]. Denklem (5.6)'da verilmiştir;

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_p + 2k_{bf} - 2\phi(k_{bf} - k_p)}{k_p + 2k_{bf} + \phi(k_{bf} - k_p)} \quad (5.6)$$

Teorik modellerde; ϕ katı parçacıkların hacimsel oranları olup, nf, bf ve p alt indisleri ise sırasıyla nanoakışkan, baz akışkan ve katı parçacıkları temsil etmektedir.

Katı-sıvı karışımlarının ısı iletkenlikleri üzerinde parçacık hacminin ve parçacık şeklinin etkisini incelemek amacıyla Maxwell modelini geliştirilmiştir [69]. Elde edilen model Denklem (5.7)'de ve Denklem (5.8)'de verilmiştir. ψ boyut, n şekil faktörüdür;

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_p + (n-1)k_{bf} - (n-1)\phi(k_{bf} - k_p)}{k_p + (n-1)k_{bf} + \phi(k_{bf} - k_p)} \quad (5.7)$$

$$n = \frac{3}{\psi} \quad (5.8)$$

Verilen modeller başlangıçta milimetre veya mikrometre çapında olan ve nanometre boyutundaki parçacıklara kıyasla daha büyük katı parçacıklar için türetilmiştir. Bu nedenle, bu modellerin nanoakışkanların etkili ısı iletkenliğini tahmin edip edemediği açık kalan bir konudur. Ancak, teorik ve deneysel bulgular arasında bir karşılaştırma yapmak ve nanoakışkanlar çalışmasındaki basitliği nedeniyle sıkça kullanılmaktadır [64].

Yapılan başka bir çalışmada, katı-sıvı yüzeyinde oluşan sıvı tabakanın, sıvı ile katı arasında bir ısı köprü olduğu ve ısı iletimindeki artışın bu etkiden dolayı meydana geldiği bildirilmiştir. Çalışmaların sonucunda elde edilen model, birçok deneysel sonuçla karşılaştırılmış ve ısı iletimini tahmin etmede başarılı olduğunu görülmüştür [70]. Model Denklem (5.9)'da verilmiştir;

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_{bf})(1 + \eta)^3 \phi}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_{bf})(1 + \eta)^3 \phi} \quad (5.9)$$

η sıvı tabakanın kalınlığının, parçacık yarıçapına oranıdır. Çalışmada küresel parçacıklar için $\eta = 0,1$ değeri alınmıştır.

Bruggemann modeli, Denklem (5.10) ve (5.11)' de verilmiştir [71] ;

$$k_{nf} = \frac{1}{4} \left[(3\phi - 1)k_p + (2 - 3\phi)k_{bf} \right] + \frac{k_{bf}}{4} \sqrt{\Delta} \quad (5.10)$$

$$\Delta = \left[(3\phi - 1)^2 \left(\frac{k_p}{k_{bf}} \right)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2) \left(\frac{k_p}{k_{bf}} \right) \right] \quad (5.11)$$

Koo ve Kleinstreuer nanoakışkanların ısı iletkenliklerini statik ve Brownian hareketinden kaynaklanan iki ayrı ısı iletkenlik değeri için çalışmışlardır. Geliştirilen model Denklem (5.12), (5.13), (5.14) ve (5.15)' de verilmiştir [62] ;

$$k_{nf} = k_{statik} + k_{Brownian} \quad (5.12)$$

$$k_{\text{statik}} = k_{\text{bf}} \left[\frac{k_p + 2k_{\text{bf}} + 2(k_p - k_{\text{bf}})\phi}{k_p + 2k_{\text{bf}} - (k_p - k_{\text{bf}})\phi} \right] \quad (5.13)$$

$$k_{\text{Brownian}} = 5 \times 10^4 \beta \phi \rho_{\text{bf}} C_{\text{pf}} \sqrt{\frac{\kappa T}{2 \rho_p R_p}} f(T, \phi) \quad (5.14)$$

$\kappa = 1,381 \times 10^{-23}$ (Boltzmann sabiti)

Koo ve Kleinstreuer, bu terimin artan hacim konsantrasyonu ile daha etkili olduğunu belirtmiştir. Sıcaklığın nanoakışkanlar üzerindeki etkisini inceleyebilmek için modele, Denklem (5.15)' de verilen, CuO nanoakışkanları için elde ettikleri deneysel bir parametre olan f sıcaklık fonksiyonunu eklemiştirler [72] ;

$$f(T, \phi) = (-134,63 + 1722,3\phi) + (0,4705 - 6,04\phi)T \quad (5.15)$$

β deneysel veriler sonucunda belirlenen ısı genleşme katsayısıdır, Tablo (5.2)'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Farklı nanoakışkanlar için ısı genleşme katsayıları [62]

Parçacık	β	Hacim Konsantrasyonu
Au sitrat, Ag-sitrat ve CuO	$0,0137(100 \phi)^{-0,8229}$	$\phi < \%1$
CuO	$0,0011(100 \phi)^{-0,7272}$	$\phi > \%1$
Al_2O_3	$0,0017(100 \phi)^{-0,0841}$	$\phi > \%1$

Denklem (5.16)'da verilen küresel nanoparçacıklar için geçerli olan parçacıkların en-boy oranını dikkate alan bir model önerilmiştir [73] ;

$$k_{\text{nf}} = k_{\text{bf}} \left[1 + \frac{3(\alpha - 1)\phi}{(\alpha + 2) - (\alpha - 1)\phi} \left(\phi + f(\alpha)\phi^2 + 0(\phi^3) \right) \right] \quad (5.16)$$

α nanoparçacık en-boy oranını göstermektedir.

Efektif Ortam Teorisi (Effective Medium Theory, EMT) EMT yaklaşımıyla, düşük hacim konsantrasyonları için geliştirilen model Denklem (5.17)'de verilmiştir, [74] ;

$$k_{nf} = k_{bf} \left[1 + 3\phi \frac{\gamma - 1}{\gamma + 2} \right] \quad (5.17)$$

γ termal iletkenlik oranını göstermektedir.

Taşınım ile ısı transferinin geliştirilmesinin esasen akışkan içerisindeki parçacıkların dağılımına bağlı olduğu varsayımıyla, bir ısı iletkenlik modeli önerilmiştir. Denklem (5.18)'de verilmiştir [21] ;

$$k_{nf} = k_{bf} [1 + 7,47\phi] \quad (5.18)$$

Silindir ve küresel şekilli parçacıklar için, parçacık ile nano tabaka arasındaki taşınım etkisini dikkate alarak Denklem (5.19) modelini geliştirmişlerdir [75] ;

$$k_{nf} = k_{bf} \left[\left(1 + A\phi \text{Re}^m \text{Pr}^{0,333} \right) \frac{(1 + 2\alpha) + 2\phi(1 - \alpha)}{(1 + 2\alpha) - \phi(1 - \alpha)} \right] \quad (5.19)$$

A bir sabittir. Re Reynolds sayısını, Pr Prandtl sayısını, α nanoparçacık en-boy oranını, m parçacık şekline göre değişen sabit değeri göstermektedir.

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini belirlemek amacıyla iki model önerilmiştir. Bu modeller, Al₂O₃-su, CuO-su, TiO₂-etilen glikol nanoakışkanları için literatürden alınan deneysel sonuçlar ile doğrulanmıştır. Denklem (5.20)'de verilen ilk model, klasik modellere dayanmaktadır ve sıcaklığa bağlı Brownian hareketinin etkisi dikkate alınmıştır [76, 77]. Sonuçların, çeşitli parçacık boyutları, hacim konsantrasyonları, farklı parçacık ve akışkan malzemeleri için deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu bildirilmiştir;

$$k_{nf} = k_{bf} \left[\frac{k_p + (n-1)k_{bf} + (n-1)(1+\beta)^3 \phi (k_p - k_{bf})}{k_p + (n-1)k_{bf} - (1+\beta)^3 \phi (k_p - k_{bf})} + \frac{C_p \phi (T - T_O)}{\mu k \alpha^4} \right] \quad (5.20)$$

Denklem (5.21)'de verilen ikinci modelde ise parçacıkların ve akışkanların moleküler ağırlığının nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerindeki etkisini dikkate alınmıştır [77] ;

$$k_{nf} = k_{nf} \left[\frac{C_{p,nf}}{C_p} \right]^{-0,023} \left[\frac{\rho_{nf}}{\rho} \right]^{1,358} \left[\frac{M}{M_{nf}} \right]^{0,126} \quad (5.21)$$

M moleküler ağırlıkları göstermektedir.

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini belirlemek için geliştirilen modellerden en yaygın kullanılanlar özetlenmiştir. Daha birçok model literatürde mevcuttur. Modellerin spesifik kullanımları ve sonuçları değerlendirildiğinde, ısı iletkenliği etkileyen birçok parametre vardır; Brownian hareketi, nanoparçacıkların kümelenmesi, sıcaklık, parçacık şekli, nanoakışkanların elde edilmesinde uygulanan prosesler, yüzey aktif maddelerin etkinliği, parçacık çapı, baz akışkan, nanoparçacık malzemesi bunlardan sadece bir kısmıdır. Nanoakışkanların uygulama alanlarının genişletilmesi için bu parametrelerin etkisi daha detaylı incelenmelidir ve henüz açık olan konular hakkında belirleyici çalışmalar yapılmalıdır.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, sıcak akışkan olarak su , soğuk akışkan olarak % 0:100, % 40:60, % 60:40 ve % 100:0 olmak üzere farklı oranlarda etilen glikol-su karışımı baz akışkanın, % 0, % 2, % 4, % 6 farklı hacim konsantrasyonlarında Al₂O₃ ve SiO₂ nanoparçacıklarının eklenmesiyle elde edilen nanoakışkanların kullanıldığı, borulu bir ısı eşanjöründe paralel ve zıt akış için ısı transferi karakteristiklerini ve ısı transferinin iyileştirilmesini hedefleyen bir çalışmadır.

Çalışma, sayısal tabanlı parametrik bir çözümlerdir. ANSYS 16.0 paket programı kullanılarak, Design Modeler arayüzünde üç boyutlu geometri oluşturulmuş ve sayısal analizler ANSYS Fluent programında gerçekleştirilmiştir. Momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden Upwind yaklaşımı ile, basınç-hız denklemi ise SIMPLE algoritmasıyla çözülmüştür. Realizable k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

6.1. ANSYS Yönetici Denklemler

Sayısal analizlerde akış koşulları ve ısı transferi için; kararlı hal, sıkıştırılmaz ve Newton tipi, türbülanslı akış, viskoz ısıtmanın ihmal kabulleri yapılarak tek fazlı model yaklaşımı ile yönetici denklemler, Denklem (6.1), Denklem (6.2) ve Denklem (6.3) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [78] ;

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6.1)$$

Momentum denklemi;

$$\frac{\partial u_i u_j}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((v + v_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad (6.2)$$

Enerji denklemi;

$$\frac{\partial u_i \Gamma}{\partial x_i} = \rho \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial \Gamma}{\partial x_i} \right) \quad (6.3)$$

u ortalama hızı, ρ yoğunluğu, Pr Prandtl sayısını, Pr_t türbülanslı Prandtl sayısını (0.85) ve v kinematik viskoziteyi temsil etmektedir.

Analizlerde türbülanslı akış için kullanılan realizable k - ε modelindeki taşınım denklemleri aşağıda verilmiştir. Boru cidarı yakınındaki hesaplamaların doğru yapılabilmesi için iyileştirilmiş duvar fonksiyonu kullanılmıştır.

Türbülanslı kinetik enerji k denklemi Denklem (6.4) 'de verilmiştir ;

$$\frac{\partial u_i k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \Gamma - \varepsilon \quad (6.4)$$

Türbülanslı enerji dağılımı ε denklemi Denklem (6.5) 'de verilmiştir ;

$$\frac{\partial u_i \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_1 \Gamma \varepsilon - c_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} \quad (6.5)$$

Γ ortalama hız gradyanına bağlı türbülanslı kinetik enerji üretimini temsil etmektedir. Denklem (6.6) 'da verilmiştir:

$$\Gamma = -u_i u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (6.6)$$

Türbülanslı kinematik viskozite denklemi Denklem (6.7) 'de verilmiştir ;

$$v_t = c \frac{k^2}{\mu \varepsilon} \quad (6.7)$$

k-ε modeli için ampirik sabitler ;

$$c_1 = \max[0, 43\mu/(\mu_t + 5)]; c_2 = 1,9; \sigma_k = 1,0; \sigma_\varepsilon = 1,2$$

μ dinamik viskoziteyi, σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε için Prandtl sayısını temsil etmektedir. Çalışmada, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini belirlemek için literatürde yer alan korelasyonlar kullanılmıştır. Viskozite tarafından küresel parçacıklar için önerilen model Denklem (6.8) 'de verilmiştir [57] ;

$$\mu_{nf} = \frac{1}{(1 - \phi)^{2,5}} \mu_{bf} \quad (6.8)$$

Nanoakışkanın yoğunluğu, ısı kapasitesi, ısı genleşme katsayısı ve ısı difüzyon katsayısı Denklem (6.9), Denklem (6.10), Denklem (6.11) ve Denklem (6.12) 'de verilmiştir ;

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (6.9)$$

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_{bf} + \phi(\rho C_p)_p \quad (6.10)$$

$$(\rho\beta)_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf}\beta_{bf} + \phi\rho_p\beta_p \quad (6.11)$$

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \quad (6.12)$$

Bu denklemlerde ϕ katı hacim konsantrasyonunu, nf, bf ve p alt indisleri sırasıyla nanoakışkanı, baz akışkanı ve katı parçacığı ifade eder.

Çalışmada nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayısı için ise Denklem (6.13) 'de verilen Yu ve Choi modeli kullanılmıştır [59] ;

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_{bf})(1 + \eta)^3 \phi}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_{bf})(1 + \eta)^3 \phi} \quad (6.13)$$

6.2. Isı Transferi Hesaplamaları

Isı eşanjörlerinin ısı transferi hesaplarının ve analizlerinin yapılabilmesi için bazı kabuller yapılmıştır;

- Isı değişiminin sürekli rejimde olduğu,
- Isı eşanjörü boyunca toplam ısı geçiş katsayısının sabit olduğu,
- Isı eşanjörünün ortama karşı yalıtılmış olduğu,
- Isı eşanjörü içinde bir ısı üretimi olmadığı,
- Akışkanların özgül ısıları ve fiziksel özelliklerinin sabit olduğu,
- Isı eşanjörü içinde belirli bir kesit boyunca akışkan sıcaklığının aynı olduğu,
- Isı eşanjörü yüzey malzemesinde akışkanların hareketi doğrultusunda iletimle bir ısı geçişi olmadığıdır.

6.2.1. İç boru akışkanı

Termodinamiğin birinci kanunu sıcak akışkandan (su) olan ısı transfer miktarının, soğuk akışkana (nanoakışkan) olan ısı transfer miktarına eşit olmasını gerektirir. Buna göre sıcak akışkan ile soğuk akışkan arasındaki ısı transferi miktarı hesaplamalar eşitlikleri Denklem (6.14), Denklem (6.15), Denklem (6.16), Denklem (6.17) 'de verilmiştir;

$$\dot{Q}_{soğ} = \dot{m}_{soğ} C_{p,soğ} (T_{soğ,çıkan} - T_{soğ,giren}) \quad (6.14)$$

$$\dot{Q}_{sic} = \dot{m}_{sic} C_{p,sic} (T_{sic,giren} - T_{sic,çıkan}) \quad (6.15)$$

$$\dot{m}_{soğ} = \rho_{soğ} A_{içboru} V_{soğ} \quad (6.16)$$

$$\dot{m}_{sic} = \rho_{sic} A_{dışboru} V_{sic} \quad (6.17)$$

Hacimsel debi genel denklemini Denklem (6.18) 'de verilmiştir;

$$\dot{V} = A_{boru} V_{akışkan} \quad (6.18)$$

İç ve dış borunun alan hesaplamaları Denklem (6.19) ve Denklem (6.20) 'de verilmiştir;

$$A_{i\text{çboru}} = \frac{\pi(D_{i,o}^2)}{4} \quad (6.19)$$

$$A_{dışboru} = \frac{\pi(D_{o,i}^2 - D_{i,o}^2)}{4} \quad (6.20)$$

Isı transfer miktarı Newton soğutma kanununa benzer şekilde de ifade edilebilir. İlgili eşitlikler Denklem (6.21), Denklem (6.22), Denklem (6.23) 'de verilmiştir;

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_m \quad (6.21)$$

$$A_s = \pi D_i L \quad (6.22)$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \quad (6.23)$$

Parelel akış için, logaritmik sıcaklık farkı eşitlikleri Denklem (6.24) ve Denklem (6.25) 'de verilmiştir;

$$\Delta T_1 = T_{sıc,giren} - T_{soğ,giren} \quad (6.24)$$

$$\Delta T_2 = T_{sıc,çıkan} - T_{soğ,çıkan} \quad (6.25)$$

Zıt akış için, logaritmik sıcaklık farkı eşitlikleri Denklem (6.26) ve Denklem (6.27) 'de verilmiştir;

$$\Delta T_1 = T_{sıc,giren} - T_{soğ,çıkan} \quad (6.26)$$

$$\Delta T_2 = T_{sıc,çıkan} - T_{soğ,giren} \quad (6.27)$$

$T_{sıc,giren}$ sıcak akışkan olan suyun giriş sıcaklığını, $T_{sıc,çıkan}$ sıcak akışkan olan suyun çıkış sıcaklığını, $T_{soğ,giren}$ soğuk akışkan olan nanoakışkanın giriş sıcaklığını, $T_{soğ,çıkan}$ soğuk akışkan olan nanoakışkanın çıkış sıcaklığını ifade etmektedir.

6.2.2. Dış boru akışkanı

Hidrolik çap iç boru için kendi iç çapına, dış boru için ise dış borunun iç çapı ile iç borunun dış çapının farkına eşittir. Buna göre, iç ve dış hidrolik çap Denklem (6.28) ve Denklem (6.29) 'da verilmiştir;

$$D_{i,h}=D_{i,o} \quad (6.28)$$

$$D_{o,h}=D_{o,i}-D_{i,o} \quad (6.29)$$

$D_{i,h}$ iç borunun hidrolik çapını, $D_{o,h}$ dış borunun hidrolik çapını temsil etmektedir.

Dış boru tarafındaki sıcak suyun Nusselt sayısı Denklem (6.30)'daki Petukhov modeli esas alınarak hesaplanmıştır [79]. Isı taşınım katsayısı h_o , Denklem (6.31)'deki eşitlik ile elde edilmiştir. Bu modelin parametresi olan Denklem (6.32)'de verilen, pürüzsüz borular için türbülanslı akışta sürtünme faktörü eşitliği kullanılmıştır. Daha sonra Denklem (6.33) 'den iç boru tarafındaki nanoakışkanın ısı taşınım katsayısı h_i hesaplanmış ve nanoakışkanın Nusselt sayısı Denklem (6.34) ile elde edilmiştir;

$$Nu_{bf} = \frac{(f/8)RePr}{1,07 + 12,7(f/8)^{0,5}(Pr^{2/3}-1)} \quad \begin{matrix} 0,5 \leq Pr \leq 2000 \\ 10^4 < Re < 5 \times 10^6 \end{matrix} \quad (6.30)$$

$$h_o = \frac{Nu_{bf}k_{bf}}{D_{o,h}} \quad (6.31)$$

$$f = (0,790 \ln Re - 1,64)^{-2} \quad 3000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (6.32)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (6.33)$$

$$Nu_{nf} = \frac{h_i D_{i,h}}{k_{nf}} \quad (6.34)$$

Boyutsuz Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı genel denklemleri Denklem (6.35) ve Denklem (6.36)'da sunulmuştur;

$$Re = \frac{\rho V_{ort} D_h}{\mu} \quad (6.35)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (6.36)$$

6.3. Basınç Düşümü

Boru içi akışlarda akışkan sürtünmesi basınç düşümüne neden olur. Akışkanın μ viskozitesi, borunun pürüzlü veya pürüzsüz olması, kirlilik gibi etkenler basınç düşümü ile doğru orantılıdır. Basınç düşümü hesaplamalarında kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir;

Sürtünme katsayısı (Fanning sürtünme faktörü) genel denklemi Denklem (6.37) 'de verilmiştir;

$$C_f = 2\tau_w \left(\frac{\rho}{V_{ort}^2} \right) \quad (6.37)$$

Basınç düşümü genel denklemi Denklem (6.38) 'de verilmiştir;

$$\Delta P = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho V_{ort}^2}{2} \quad (6.38)$$

f sürtünme katsayısını ($f=4C_f$), L borunun uzunluğunu, D_h hidrolik çapı, ρ akışkanın yoğunluğunu, V_{ort} akışkanın ortalama hızını ifade etmektedir.

6.4. Isı Eşanjörünün Etkinliği

Isı eşanjörlerinin ısıl performanslarının bir ölçütü olan ϵ boyutsuz ısı eşanjörünün etkinliği yani verimliliği olarak ifade edilir. 0 ile 1 arasında değişir, geçiş birimi sayısına (NTU), ısıl kapasite oranlarına (c), akışın düzenine ve geometriye bağlıdır. ϵ ısı eşanjörlerinin ısıl performanslarının bir ölçütü olarak ifade edilmekte ve sıcak akışkandan soğuk akışana geçen ısı transferi miktarının, olası maksimum ısı transferine oranı olarak gösterilmektedir. Buna göre ısı eşanjörünün etkinliği Denklem (6.39) 'da verilmiştir;

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{Q_{\max}} \quad (6.39)$$

c ısı kapasite oranı, ısı kapasitesi küçük olan akışkanın C_{\min} değerinin, ısı kapasitesi büyük olan akışkanın C_{\max} değerine oranıdır. 1 veya 1'den küçük bir değere sahiptir. Denklem (6.40) 'da verilmiştir;

$$c = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{(\dot{m}C_p)_{\min}}{(\dot{m}C_p)_{\max}} \quad (6.40)$$

Geçiş birimi sayısı NTU, Denklem (6.41)'de verilmiştir;

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{\min}} \quad (6.41)$$

Çalışmadaki borulu ısı eşanjörü için, paralel ve zıt akış düzenine bağlı, geliştirilmiş ε ısı eşanjörü etkinliği ve NTU geçiş birim sayısı bağıntıları Tablo 6.1'de verilmiştir

Tablo 6.1. Isı eşanjörü etkinliği ve NTU bağıntıları

Isı eşanjörü akış düzeni	Isı eşanjörü etkinlik bağıntısı	NTU bağıntısı
Paralel akış	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+c)]}{1+c}$	$NTU = -\frac{\ln[1-\varepsilon(1+c)]}{1+c}$
Zıt akış	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1-c \exp[-NTU(1-c)]}$	$NTU = \frac{1}{c-1} \ln\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon c-1}\right)$

7. SAYISAL ANALİZ

Bu çalışmada; iç boruda farklı katı hacim konsantrasyonlarında % 0:100, % 40:60, % 60:40 ve % 100:0 olmak üzere farklı oranlarda etilen glikol-su karışımı baz akışkanın, % 0, % 2, % 4, % 6 farklı hacim konsantrasyonlarında ve 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerlerindeki nanoakışkanların, dış boruda ise 1 l/dk ve 3 l/dk farklı debilerde sıcak suyun olduğu adyabatik bir ısı eşanjöründeki ısı transferini iyileştirmek için farklı parametrelerin uygulandığı türbülanslı akış ve zorlanmış taşınım, paralel ve zıt akış düzeninde ısı transferi iyileşmesinin en iyi olduğu şartlar için nanoakışkanların ısıl performansları araştırılmıştır. Nanoparçacık etkilerinin incelenmesi için, Al_2O_3 ve SiO_2 nanoparçacıkları seçilmiştir. Analizler için ANSYS Fluent 16.0 paket programı kullanılmış olup, üç boyutlu geometri Design Modeler ara yüzünde, sayısal analizler ise Fluent ara yüzünde yapılmıştır. Momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden Upwind yaklaşımı, basınç-hız denklemi ise SIMPLE algoritmasıyla çözülmüş olup, türbülanslı realizable k- ϵ modeli kullanılmıştır. Tüm değişkenler için yakınsama aralığı 10^{-6} 'ya ulaştığında çözümlerin yakınsadığı kabul edilmiş ve üniform grid sistemi kullanılmıştır.

Isıl iletkenlik modeli olarak Denklem (6.13)' de verilen Yu ve Choi [59] , viskozite modeli olarak Denklem (6.8) 'de verilen Brinkman modelinden yararlanılmıştır [57].

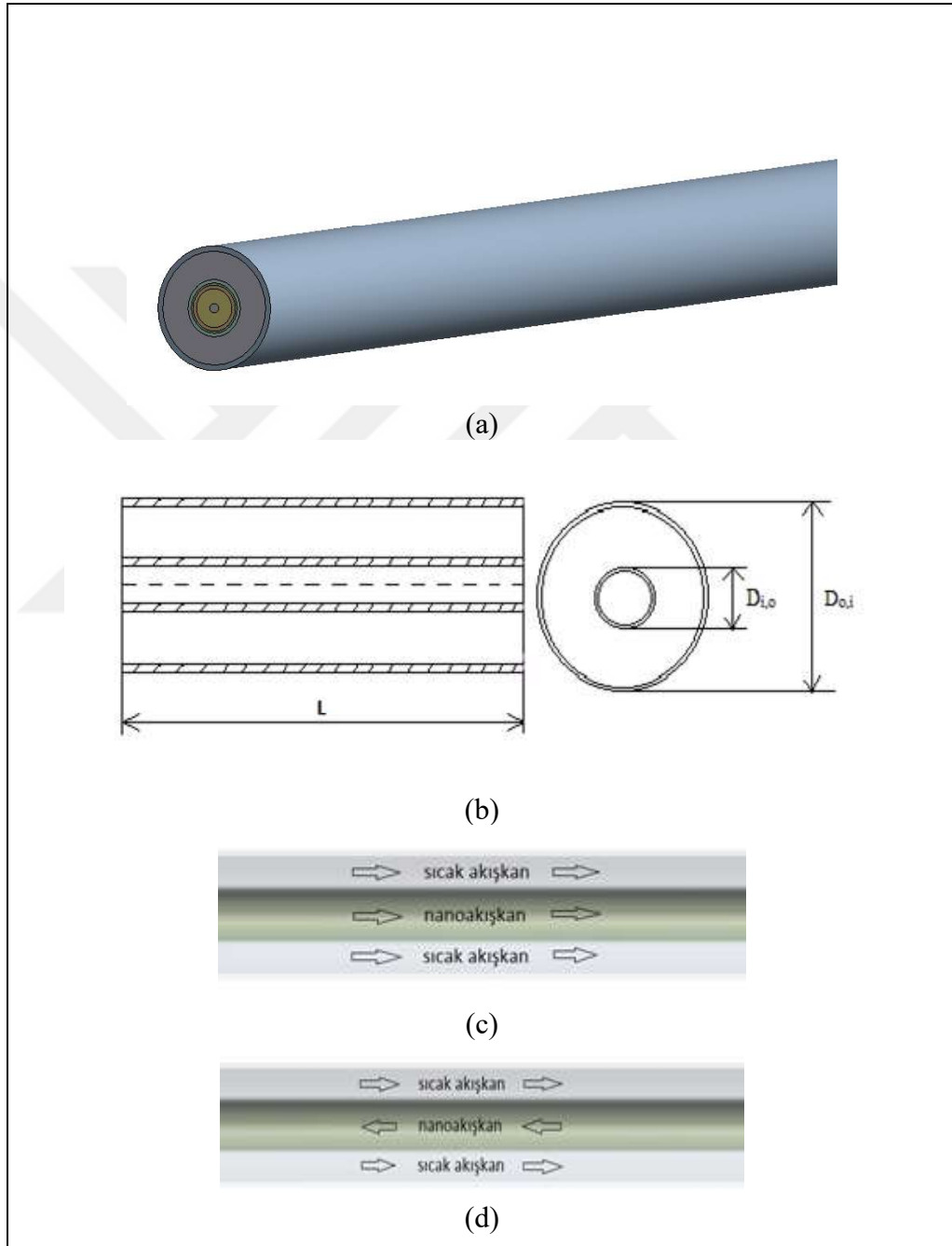
Analizlerde baz akışkan olarak kullanılan farklı oranlardaki etilen glikol - su karışımı ile Al_2O_3 , SiO_2 nanopartiküllerinin termofiziksel özellikleri Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Termofiziksel özellikler (25°C)

Özellik	% 0:100 EG/su	% 40:60 EG/su	% 60:40 EG/su	% 100:0 EG/su	SiO_2	Al_2O_3
ρ (kg/m ³)	997,1	1057,6	1083,8	1132	2220	3970
C_p (J/kgK)	4180	3485	3106	2349	745	765
k (W/mK)	0,613	0,408	0,336	0,258	1,4	40
μ (kg/m.s)	0,000891	0,0025	0,0045	0,0151	-	-
β (1/K)	0,00021	0,0003	0,0004	0,00057	1,4594	0,000024

7.1. Geometrinin Oluşturulması

Borulu ısı eşanjörü gerçek boyutlarıyla çizilerek analiz öncesi modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.1’de geometri verilmiştir.



Şekil 7.1. Sayısal modelin; (a) genel görünümü, (b) radyal görünümü, (c) paralel akış aksenal kesiti, (d) zıt akış aksenal kesiti

Analizi yapılan borulu ısı eşanjörünün geometrik ölçü ve malzeme bilgileri Tablo 7.2’de detaylı olarak verilmiştir.

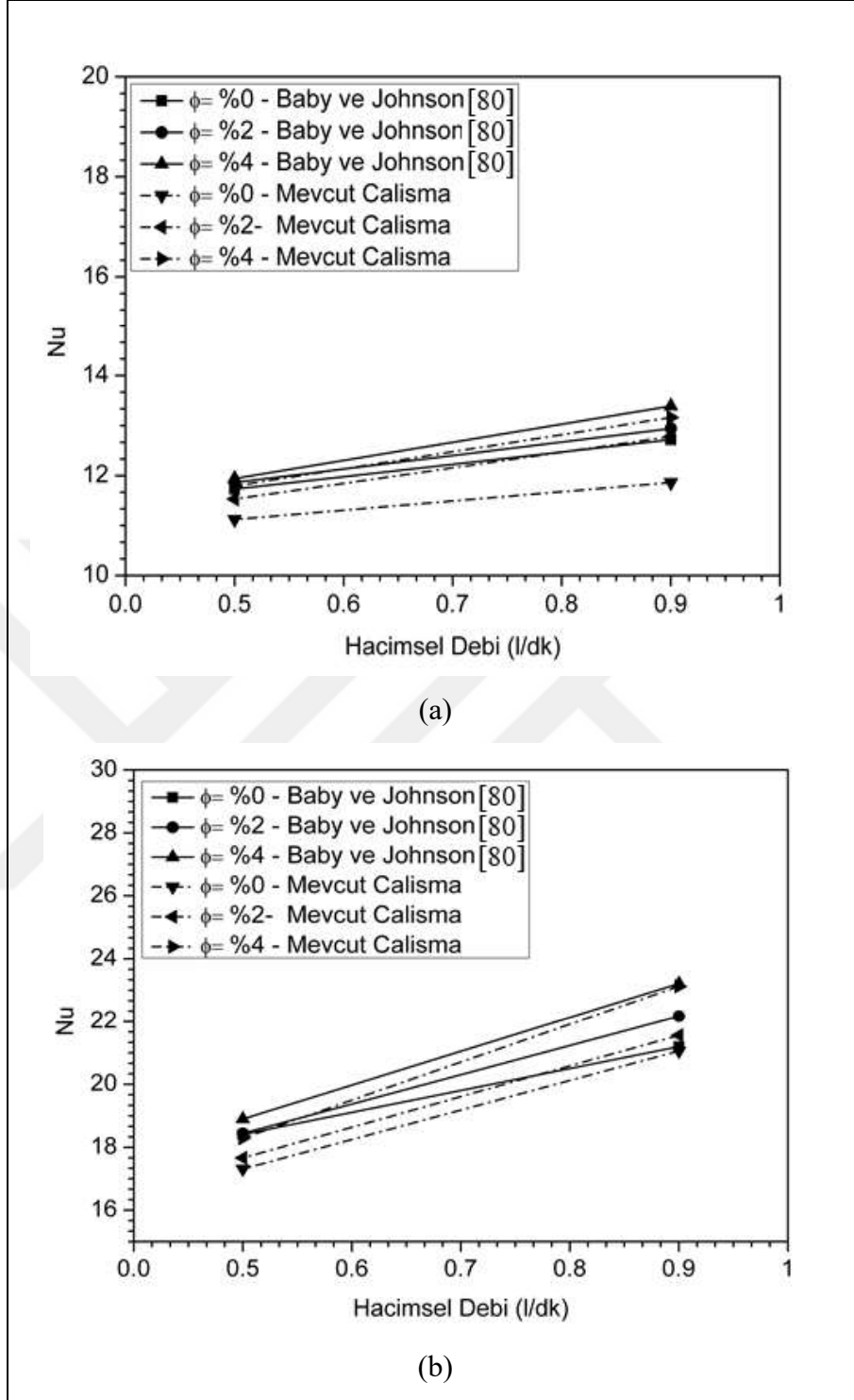
Tablo 7.2 Borulu ısı eşanjörünün geometrik özellikleri

Genel özellikler	İç Boru	Dış Boru
Boru dış çapı (mm)	6,05	16,05
Boru iç çapı (mm)	6	16
Boru uzunluğu (mm)	1000	1000
Boru et kalınlığı (mm)	0,5	0,5
D_h hidrolik çap (mm)	6	10
A_c kesit alanı (mm ²)	0,02826	0,0785
A_s Isı transfer yüzey alanı (mm ²)	18,84	50,24
Boru malzemesi	Paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik
İçinden akan akışkan	Nanoakışkanlar	Sıcak su

7.2. Sayısal Çalışmanın Doğrulanması

ANSYS Fluent 16.0 paket programında yapılan analizlerden elde edilen verilerin doğruluğunu ispatlamak amacıyla daha önce yayınlanmış ve kabul görmüş çalışmanın sonuçlarıyla kıyaslama yapılmıştır.

Çalışmanın doğruluğunu test etmek için sayısal bir çalışma seçilmiştir [80]. Çalışmada, zıt akış altında borulu bir ısı eşanjöründe, dış boruda sıcak su, iç boruda Al_2O_3 -su nanoakışkanının olduğu, farklı hacim konsantrasyonlarındaki ısı transferi artışının zorlanmış taşınım üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bahsedilen sayısal çalışma ile mevcut çalışmanın sonuçlarının doğrulanması amacıyla, 0,5 l/dk ve 0,9 l/dk farklı hacimsel debilerdeki, % 0, % 2 ve % 4 nanoparçacık katı hacim konsantrasyonlarında nanoakışkanın Nusselt değerleri, hacimsel debisi 1 l/dk ve 3 l/dk olan sıcak su kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 7.2’de sunulmuştur. % 0,4 ila % 7,5 aralığında hata yüzdesi ile sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.



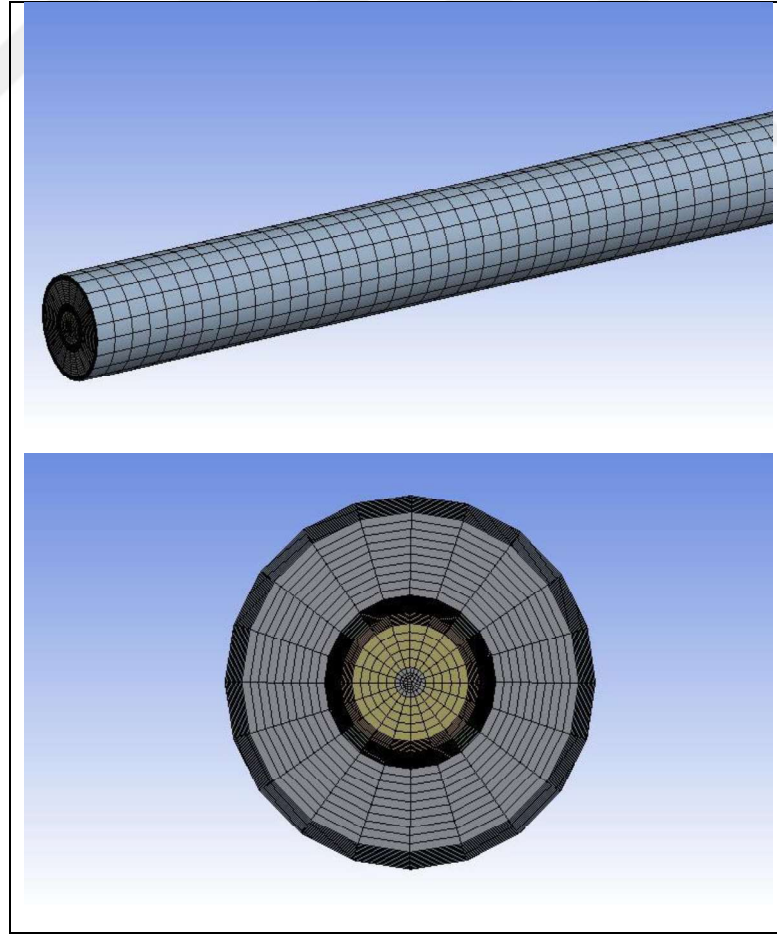
Şekil 7.2. Mevcut çalışma ile literatür çalışmasının sabit 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) sıcak su hacimsel debi değerleri için Nu değerlerinin karşılaştırılması

7.3. Çözüm Ağı Bağımsızlığının İncelenmesi

Bu çalışmada modelin akış alanına ait uygun ağ yapısının seçilmesi amacıyla beş farklı ağ göz önünde bulundurulmuştur. Nanoakışkanın sınır şartı 0,5 l/dk giriş hacimsel debi altında her durumda nanoakışkanın çıkış sıcaklığı için birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Tablo 7.3’de verilen sonuçlardan M4 için ağ yapısının bağımsızlığının elde edildiği sonucuna varılmıştır. Şekil 7.3’de çalışılan üç boyutlu geometrinin mesh yapısı verilmiştir.

Tablo 7.3. Ağ bağımsızlığı için nanoakışkan çıkış sıcaklığının ve Nusselt sayısının karşılaştırılması

Ağ yapısı	Çıkış Sıcaklıkları (K)
M1- 328800	332,55
M2-560320	330,43
M3-752630	325,87
M4-875638	324,45
M5-1250678	324,33



Şekil 7.3. Modelin çözüm ağı yapısı

7.4. Problemin ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi

Analizlerin çözümünde kullanılan sınır koşulları Tablo 7.4' de verilmiştir.

Tablo 7.4. Sınır koşulları

Sıcak akışkan	Su
Soğuk akışkan	Nanoakışkan
Baz akışkan	Su, etilen glikol (EG)
Nanopartikül	Al_2O_3 ve SiO_2
Sıcak su giriş sıcaklığı (K)	353 K
Nanoakışkan giriş sıcaklığı (K)	301 K
Sıcak su hacimsel debi (l/dk)	1, 3
Nanoakışkan hacimsel debi (l/dk)	0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9
Nanoakışkan katı hacim konsantrasyonu	%0, %2, %4, %6

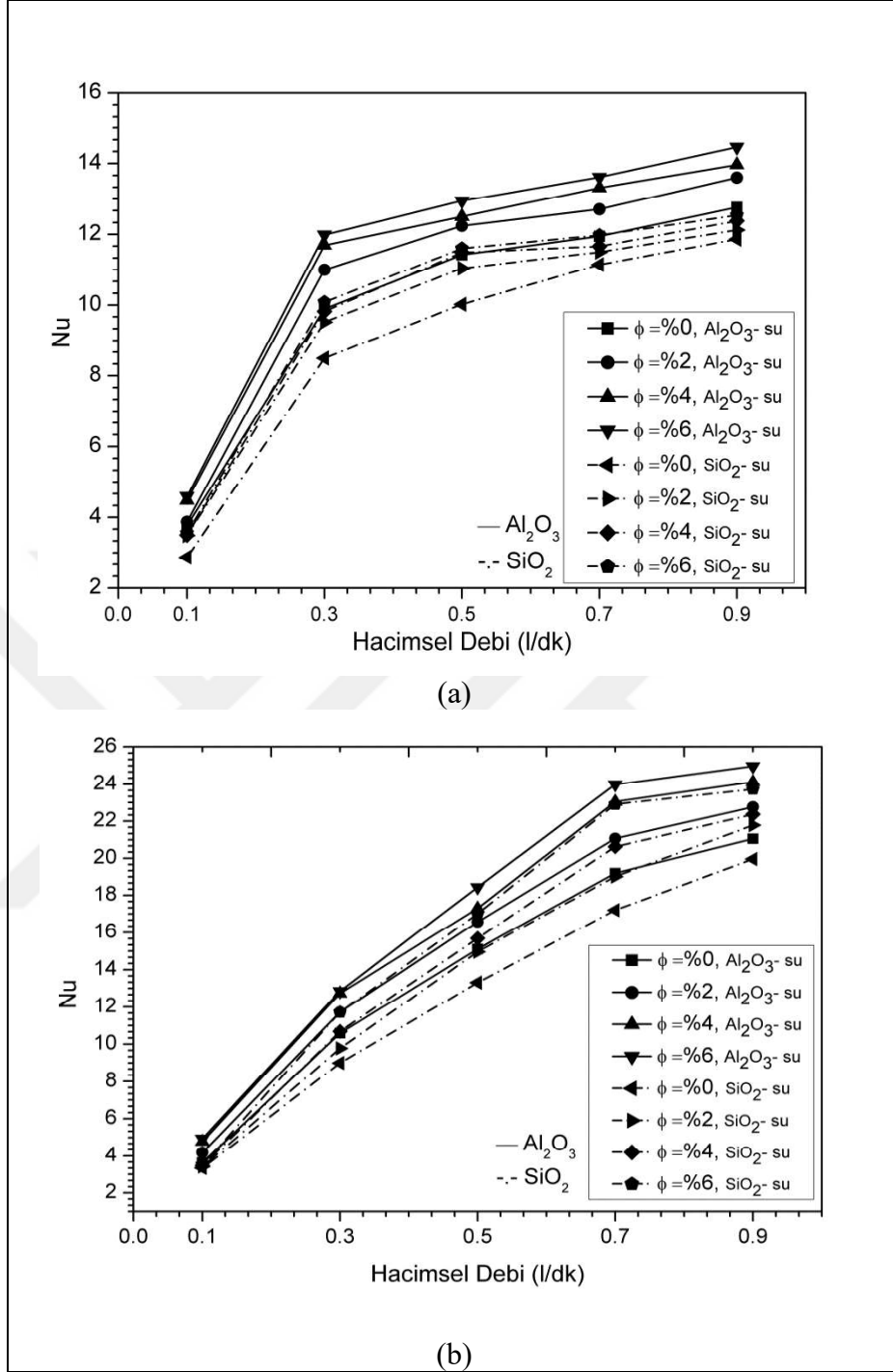
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular grafikler oluşturularak sunulmuştur. Oluşturulan grafiklerden zıt akışın paralel akışa, Al_2O_3 -%100:0 EG/su nanoakışkanının, SiO_2 -%100:0 EG/su nanoakışkanına göre ısı transferini iyileştirmede daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Hem sıcak akışkan hem de nanoakışkan için hacimsel debi değeri arttıkça verimliliğin arttığı sonucuna varılmıştır. Buna göre etilen glikolün karışım içindeki oranı arttıkça ısı transferinin iyileştiği ve suya göre ısı transferini iyileştirmede daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak etilen glikolün yüksek yoğunluğu ve viskozitesinden dolayı basınç düşüşünü arzu edilmeyen derecede artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak bu sonuç ısı transferinden elde edilen kazanım ile değerlendirildiğinde ihmal edilebilir düzeydedir.

8.1. Zıt Akış

8.1.1. Al_2O_3 - su ve SiO_2 -su

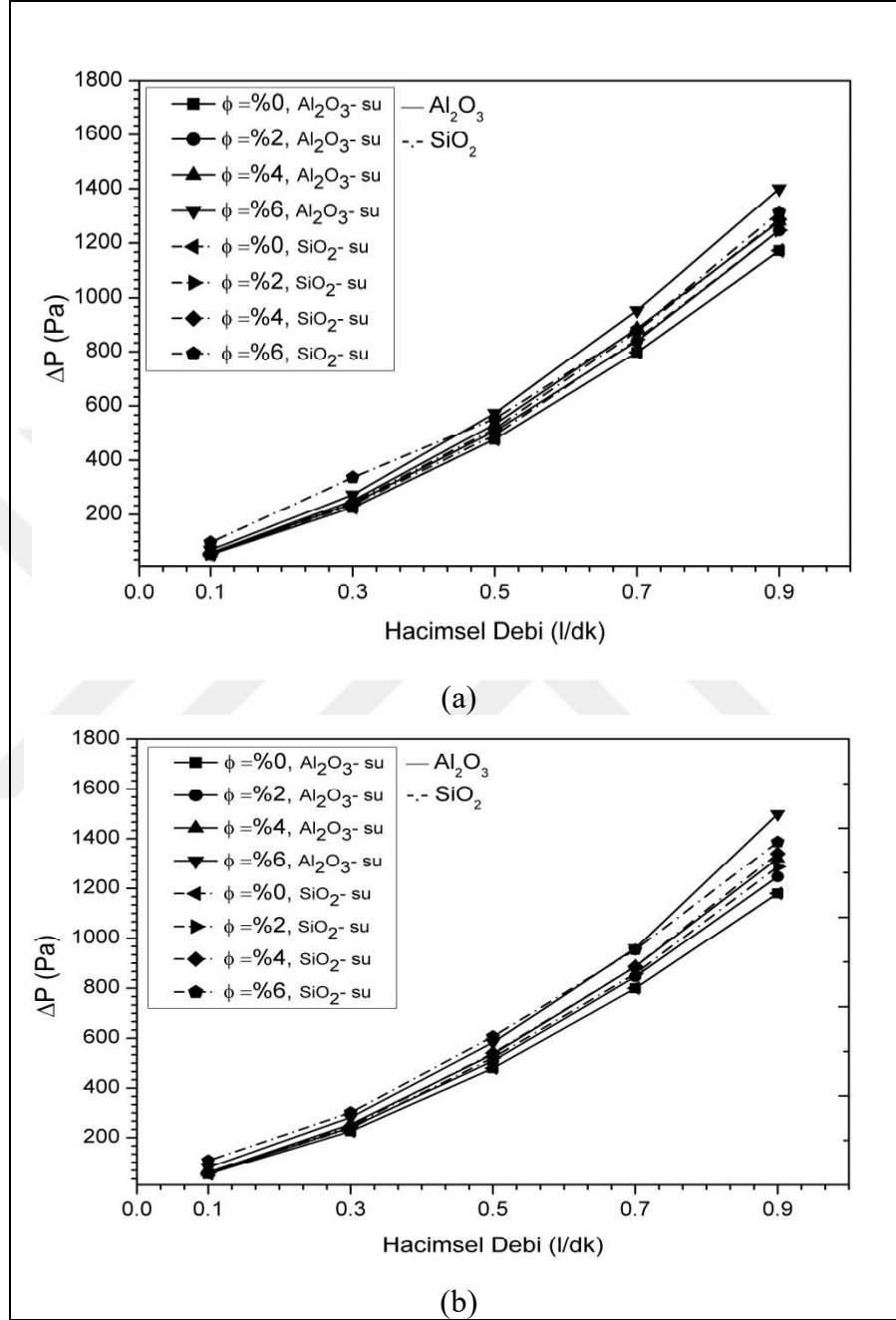
Zıt akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için, %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.1 'de sunulmuştur. Sonuçlar, nanoakışkanlardan k iletkenlik ve h taşınım katsayısı yüksek olanın, iletkenlik ve taşınım katsayıları arttıkça nanoakışkanların, Nu değerlerinin de arttığını göstermektedir. Buna bağlı olarak, Nu değerleri Al_2O_3 -su nanoakışkanı için SiO_2 -su nanoakışkanından daha yüksektir. Ancak bu sonuç sadece iletkenlik ve taşınım katsayılarına bağlı değildir. Katı hacim konsantrasyonu, hacimsel debinin artışı, Brownian hareketi ve nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini artıran yüksek Reynolds sayısındaki gelişmiş türbülans gibi diğer faktörler de Nu değerlerinin artışında etkilidir.



Şekil 8.1. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.2’de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Katı hacim konsantrasyonunun ve hacimsel debinin artışıyla sürtünme katsayısı azalmaktadır. Al_2O_3 -su nanoakışkanı

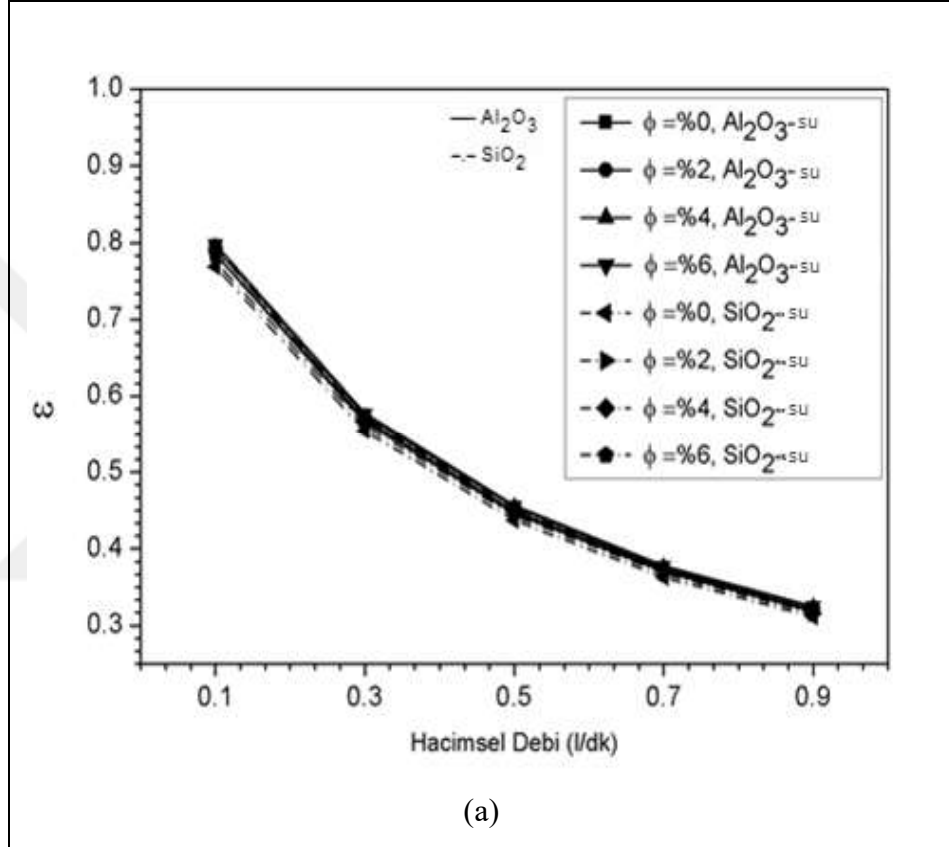
için yoğunluk değerleri SiO_2 -su nanoakışkanından daha yüksektir. Yoğunluk ve hızla bağlı gelişen türbülansdan dolayı basınç düşümü değerleri artmaktadır.



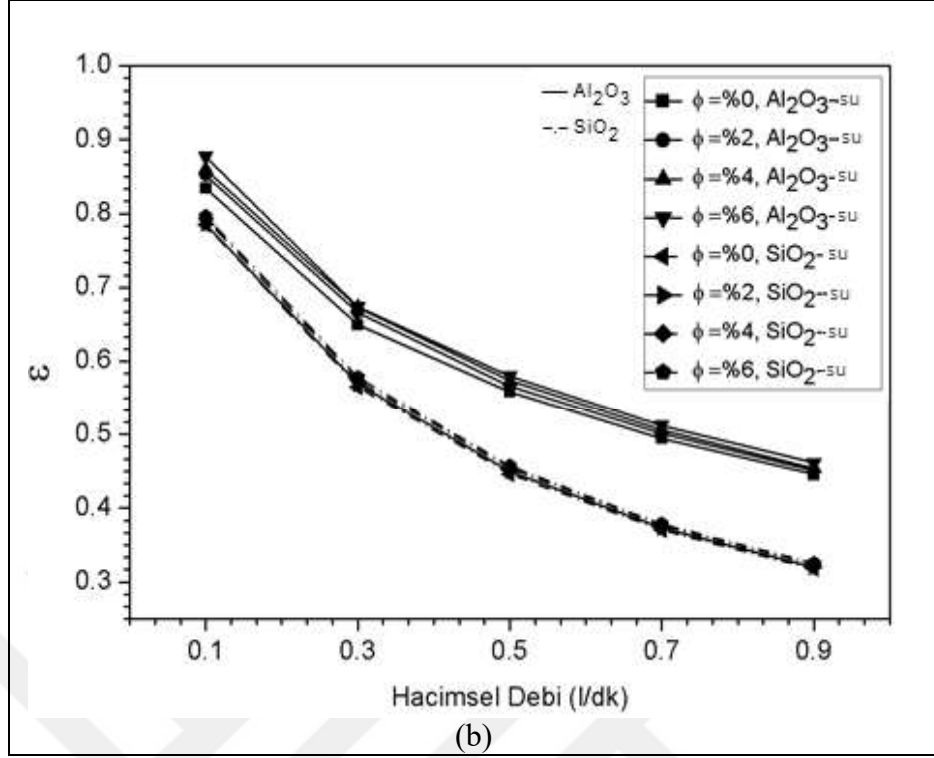
Şekil 8.2. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.3'de ϵ etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ϵ etkinliği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu ve sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır. Bunun

nedeni nanoakışkanın içindeki nanoparçacıkların hızın etkisiyle sıcak su ile aralarındaki ısı transferinin azalması ve soğutmanın amaçlandığı çıkış sıcaklığının arzu edilenden daha az olmasıdır. Al_2O_3 -su nanoakışkanı kullanıldığında ısıl iletkenliğin ve h taşınım katsayısının yüksek olması sebebiyle, nanoakışkan sıcak akışkandan daha yüksek değerlerde ısı transfer edebilmekte ancak hacimsel debisi dolayısıyla hızı arttıkça ısı transferi miktarının azaldığına dikkat edilmelidir.



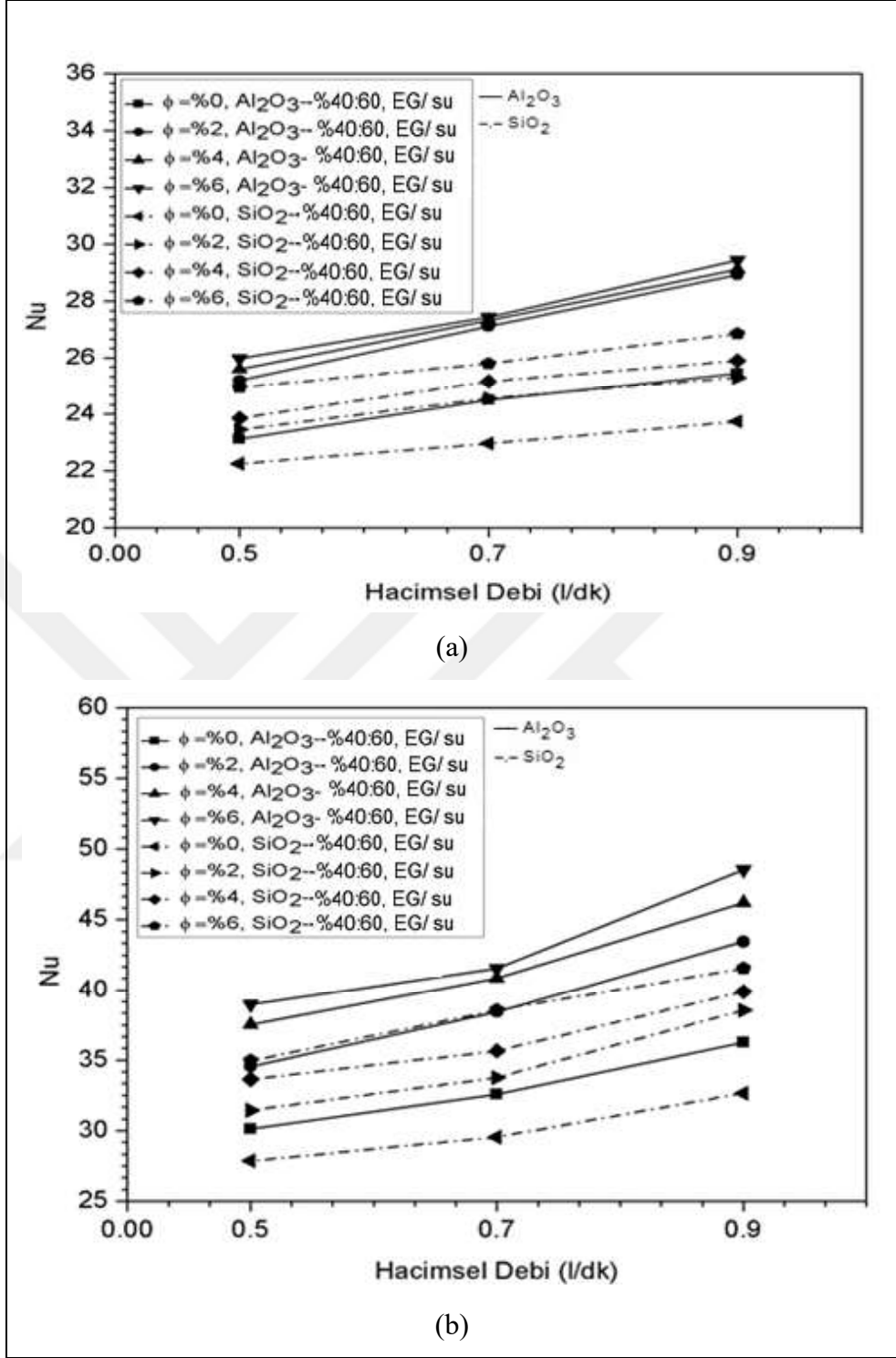
Şekil 8.3. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde etkinlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.3. (Devam) Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-su ve SiO₂-su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

8.1.2. Al₂O₃-%40:60 EG/su ve SiO₂-%40:60 EG/su

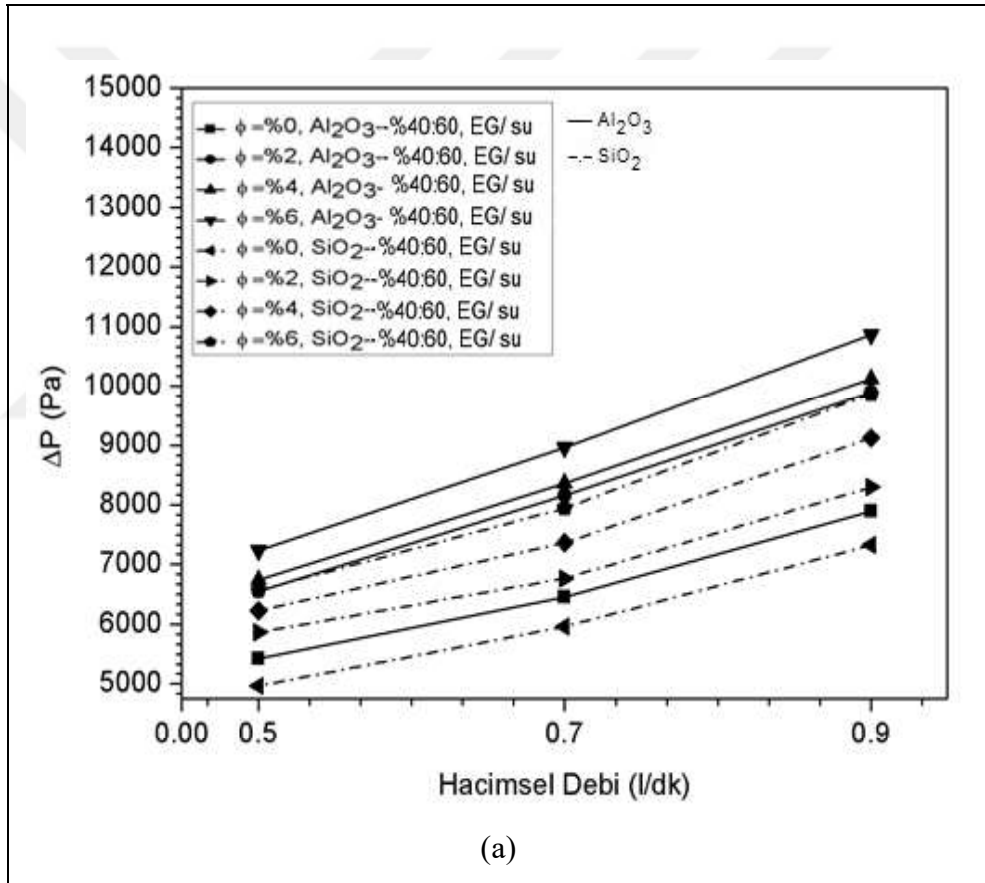
Zıt akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al₂O₃ - %40:60 EG/su ve SiO₂ - %40:60 EG/su nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.4'de sunulmuştur. %40:60 EG/su oranında elde edilen etilen glikol-su karışımı su bazlı nanoakışkanlara kıyasla Nu değerleri artmaktadır. Etilen glikolün k ısıl iletkenlik katsayısı ve yoğunluğu suya nazaran daha yüksektir. Bu sebeple baz akışkan olarak etilen glikol-su karışımı ile ısı transferi iyileşmektedir. Al₂O₃ nanoparçacıklarının k iletkenlik katsayısının SiO₂ nanoparçacıklarından yüksek olması sonucunda elde edilen nanoakışkanın daha yüksek değerlerde Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



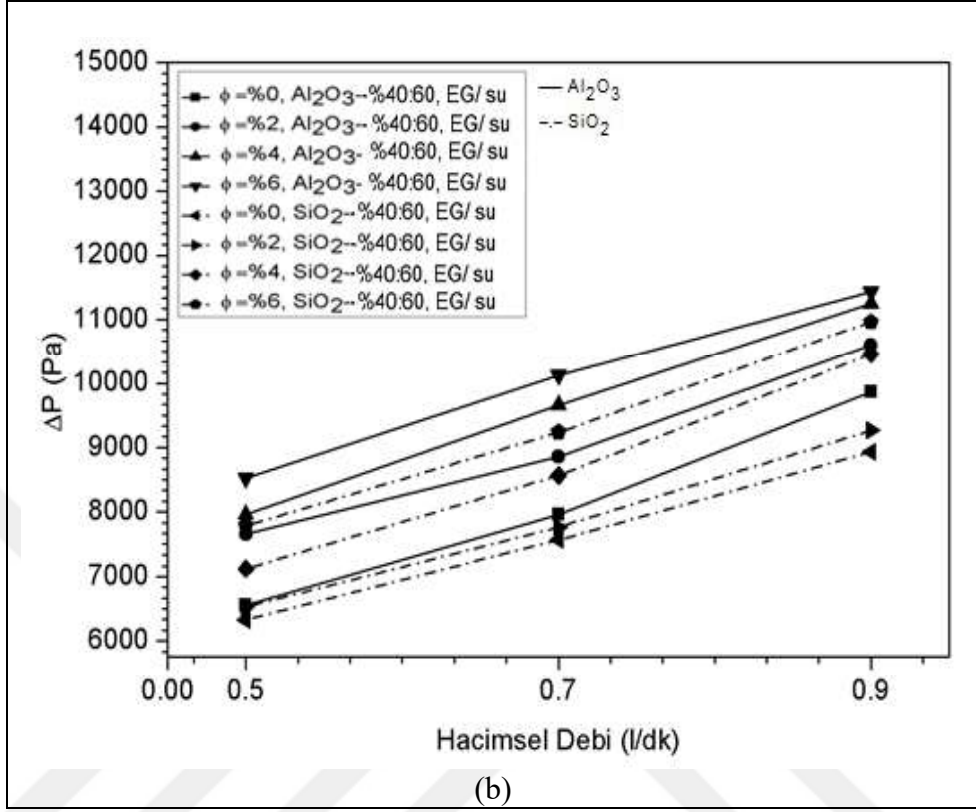
Şekil 8.4. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.5 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Etilen-glikol eklenmesine bağlı olarak yoğunluk artışıyla beraber basınç düşümü artmaktadır. Al_2O_3 -%40:60 EG/su

nanoakışkanına kıyasla SiO₂-%40:60 EG/su nanoakışkanının basınç düşümünün daha az olduğu gözlemlenmiştir. Al₂O₃ nanoparçacıklarının yoğunluğu, SiO₂ nanoparçacıklarına nazaran daha yüksektir. Buna bağlı olarak hız arttıkça iç borudaki türbülans artmakta ve boru içi sürtünme katsayısı azalmaktadır. Bu titreşime , gürültüye ve basınç düşümünün artışına sebep olup basınç düşümü değerlerini artırmaktadır. Basınç düşümü sadece kullanılan nanoparçacığa bağlı değildir. Katı hacim konsantrasyonun ve hacimsel debinin artışıyla sürtünme katsayısı azalmaktadır ve tüm bu faktörlere bağlı olarak gelişen türbülansla birlikte basınç düşümü değerleri artmaktadır.



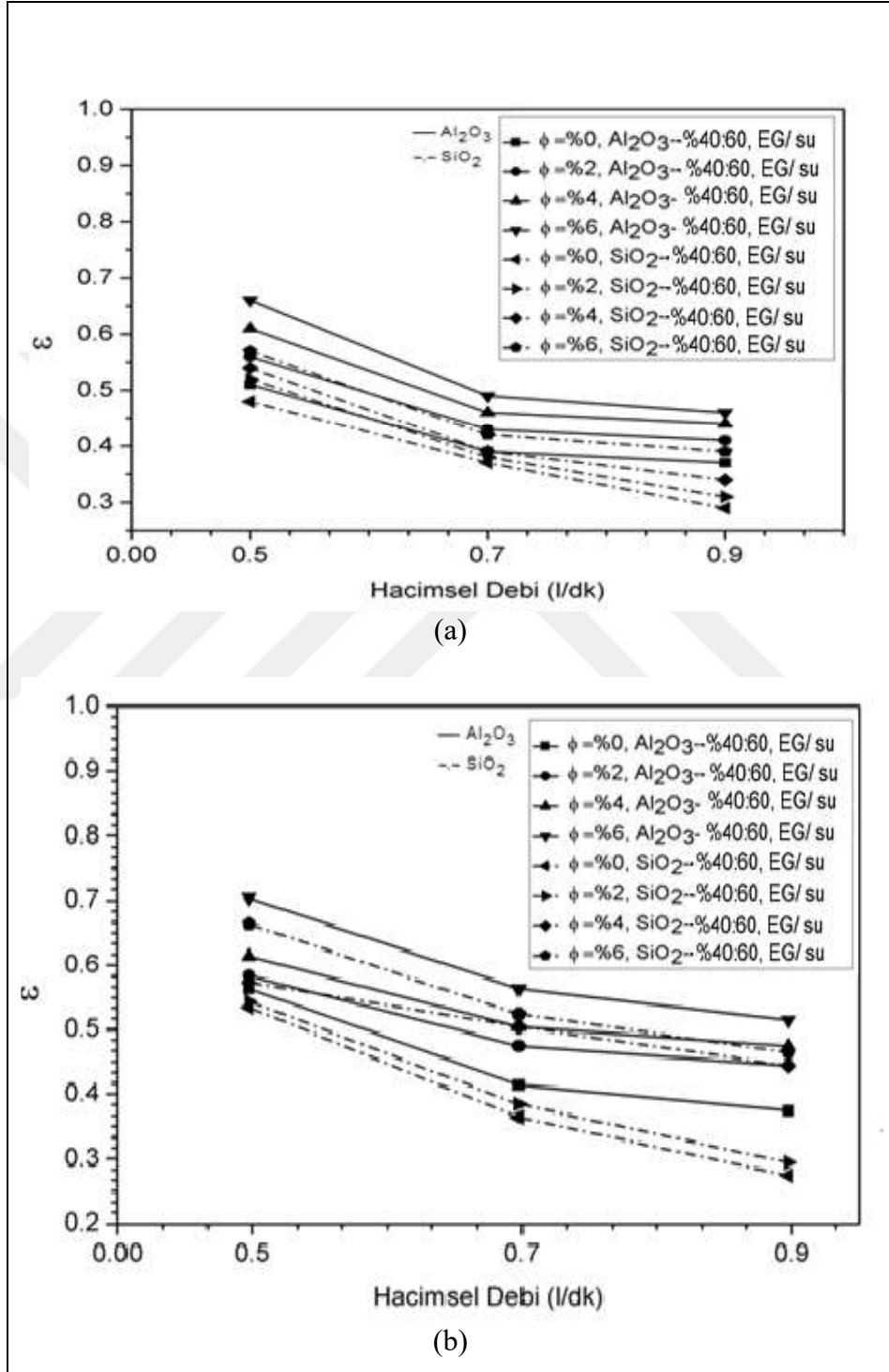
Şekil 8.5. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%40:60 EG/su ve SiO₂-%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.5. (Devam) Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%40:60 EG/su ve SiO₂-%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.6' da ϵ etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ϵ etkinliği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu, kullanılan nanoparçacık, baz akışkan etilen glikol-su karışım oranına ve dış borudaki sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır. Al₂O₃-%40:60 EG/su ve SiO₂-%40:60 EG/su kullanıldığında, Al₂O₃-su ve SiO₂-su nanoakışkanlarına kıyasla etkinlik artmaktadır. Bunun nedeni su bazlı baz akışkana etilen glikol eklendiğinde nanoakışkanın ısıl iletkenlik katsayısının artması ve ısı transferinin nanoakışkan çıkış sıcaklığına bağlı olarak soğutmanın iyileşmesidir. Ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça etkinlik miktarı azalmaktadır çünkü hız artışıyla beraber, nanoakışkanın içindeki nanoparçacıklar boru içindeki dağılımlarını ve sahip oldukları ısıl iletkenlik kabiliyetini etilen glikol-su karışımı ile homojenlik sağlayıp akışkan molekülleri arasındaki ısı transferini yüksek seviyede sağlayamamakta ve nanoakışkanın

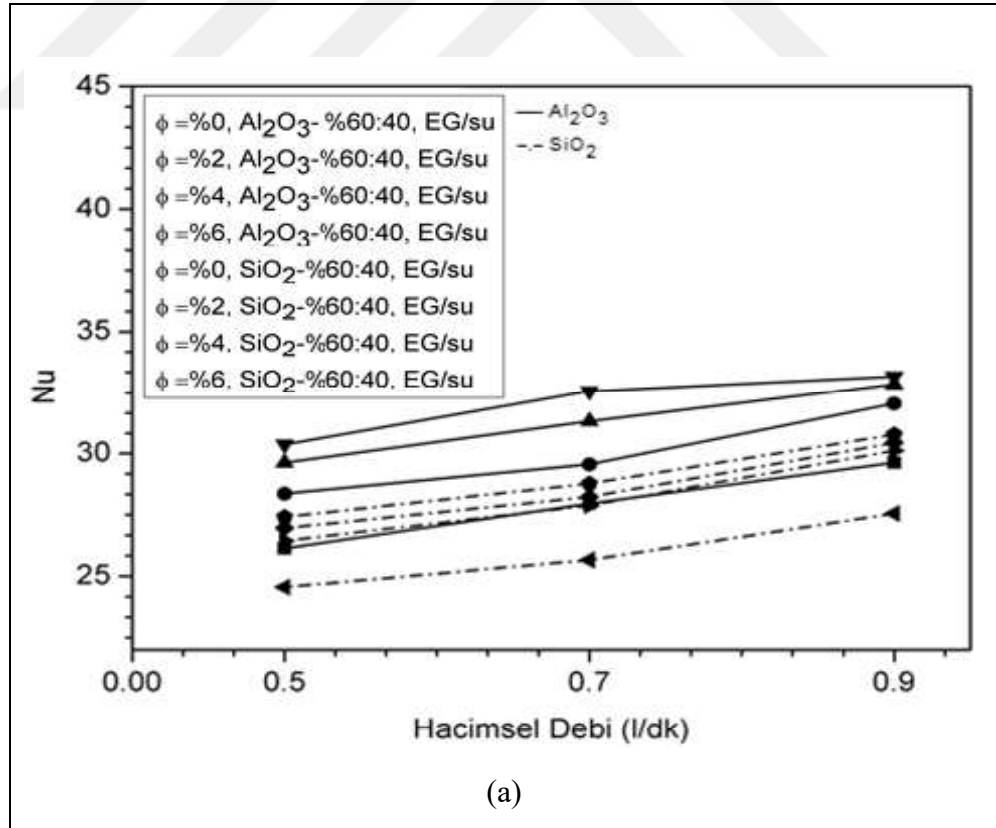
bulunduğu iç boru ile, sıcak suyun bulunduğu dış borudaki ısı transferi miktarı azalmaktadır. Böylece nanoakışkan çıkış sıcaklığı daha yüksek olmaktadır. Ve soğutma etkinliği azalmaktadır.



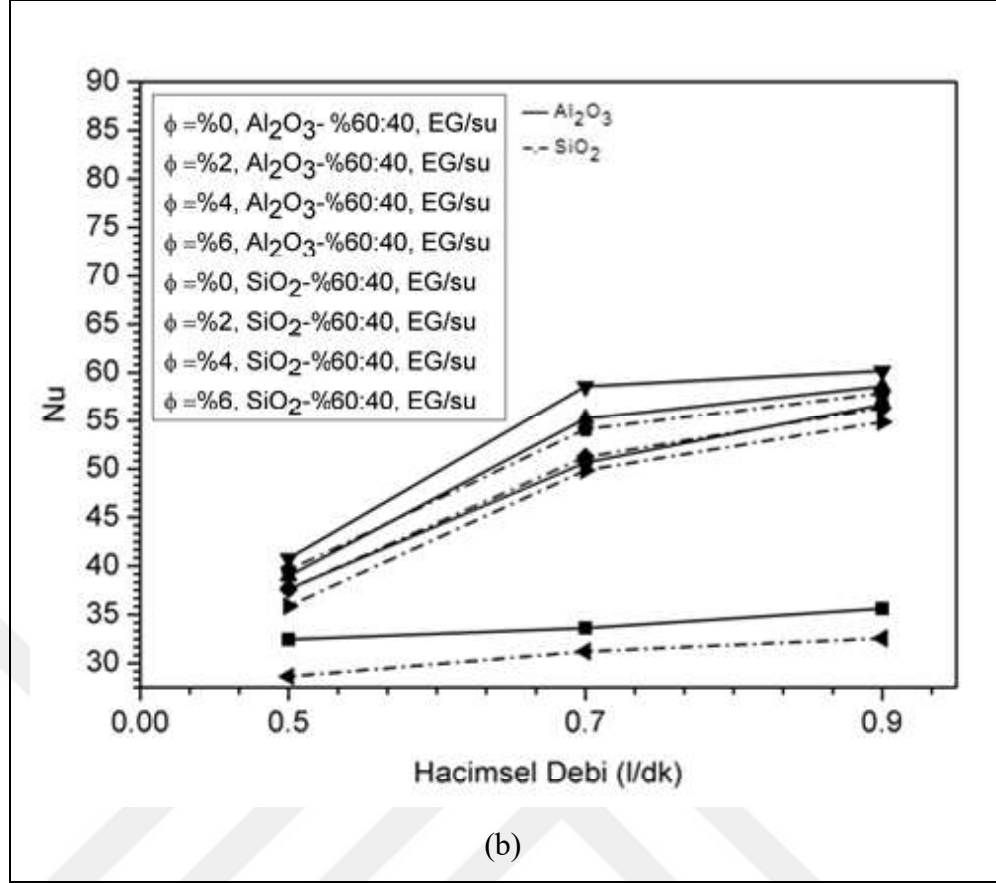
Şekil 8.6. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

8.1.3. Al₂O₃- % 60:40 EG/su ve SiO₂-% 60:40 EG/su

Zıt akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.7 'de sunulmuştur. Baz akışkan etilen glikol-su karışımı içindeki etilen glikolün oranı artırıldığında %40:60 EG/su oranında elde edilen etilen glikol-su karışımına kıyasla nanoakışkanların Nu değerleri artmaktadır. Hem etilen glikol miktarının artışı hem de nanoparçacık katı hacim konsantrasyonunun artması Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının ısıl iletkenlik ve taşınım katsayılarının artışı sağlayarak ısı transferi miktarını artırmaktadır. Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanları kıyaslandığında, Al₂O₃-%60:40 EG/su nanoakışkanın Nu değerlerinin SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanından daha yüksek Nu değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

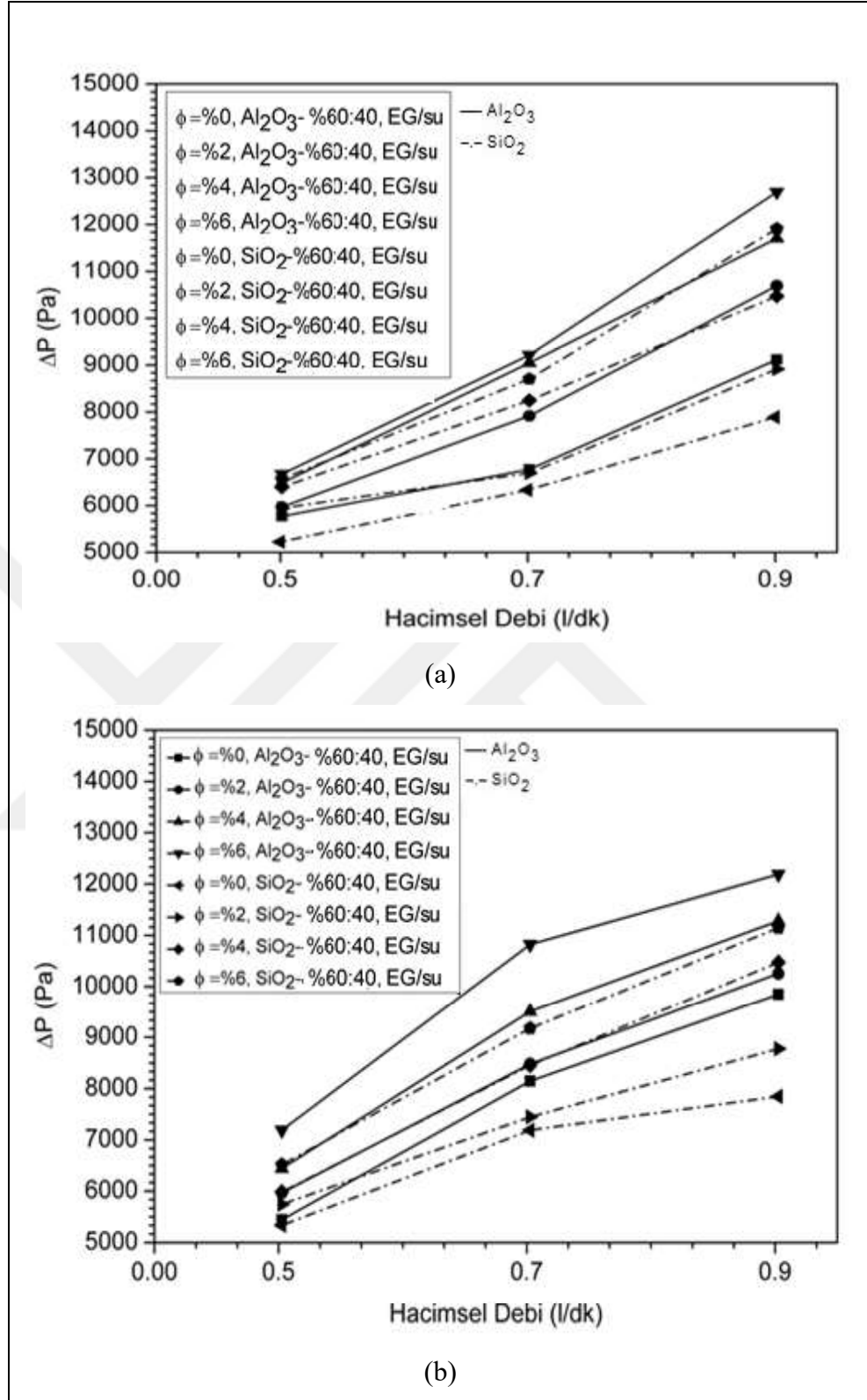


Şekil 8.7. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması



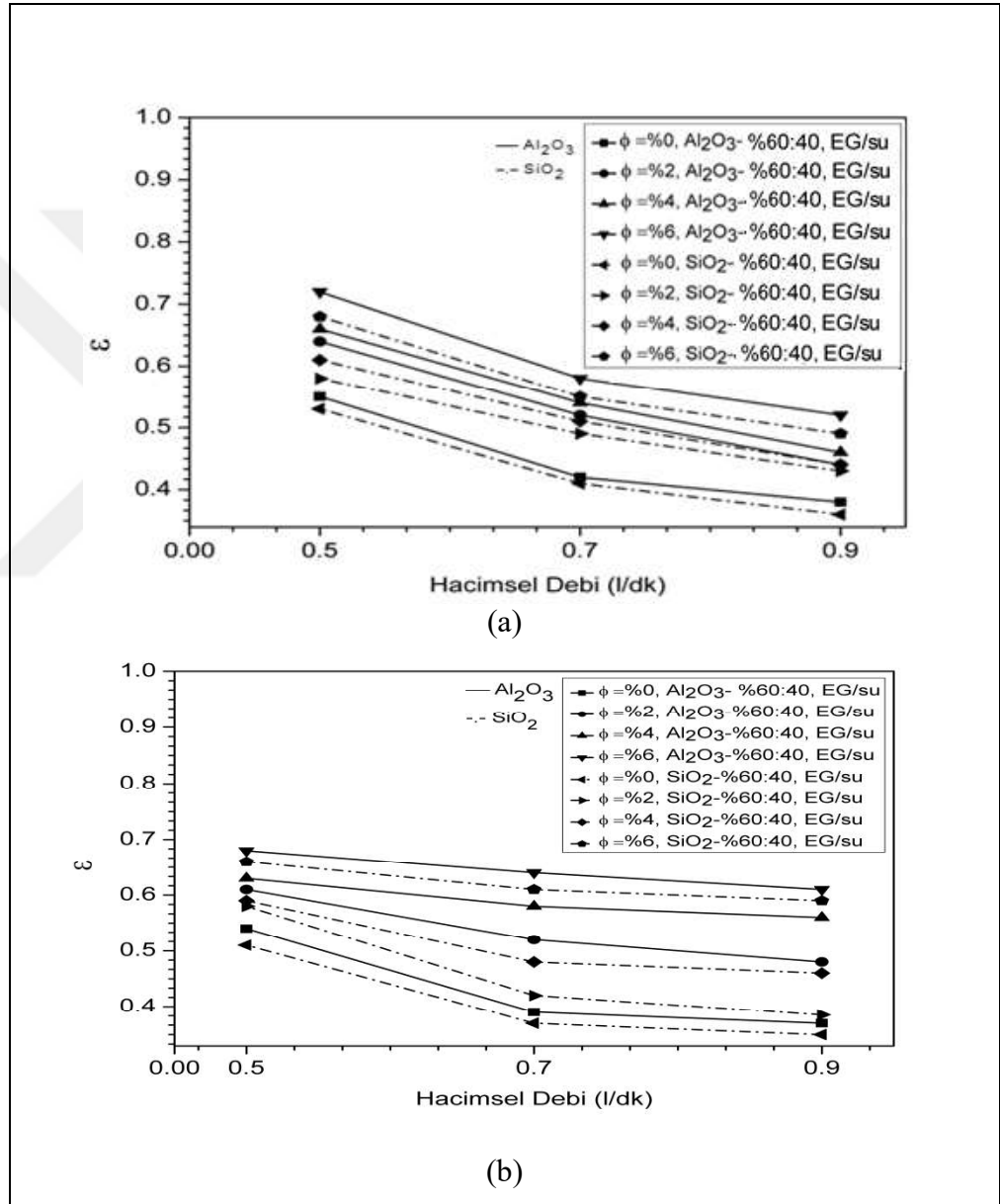
Şekil 8.7. (Devam) Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.8 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Etilen-glikolün baz akışkan içindeki oranının artışına bağlı olarak yoğunluk artışıyla beraber basınç düşümü artmaktadır. Al₂O₃-%60:40 EG/su nanoakışkanına kıyasla SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanının basınç düşümünün daha az olduğu gözlemlenmiştir. Al₂O₃ nanoparçacıklarının yoğunluğu, SiO₂ nanoparçacıklarına nazaran daha yüksektir. Buna bağlı olarak hız arttıkça iç borudaki türbülans artmakta ve boru içi sürtünme katsayısı azalmaktadır. Katı hacim konsantrasyonun ve hacimsel debinin artışıyla sürtünme katsayısı azalmaktadır ve tüm bu faktörlere bağlı olarak gelişen türbülansla birlikte basınç düşümü değerleri artmaktadır.



Şekil 8.8. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

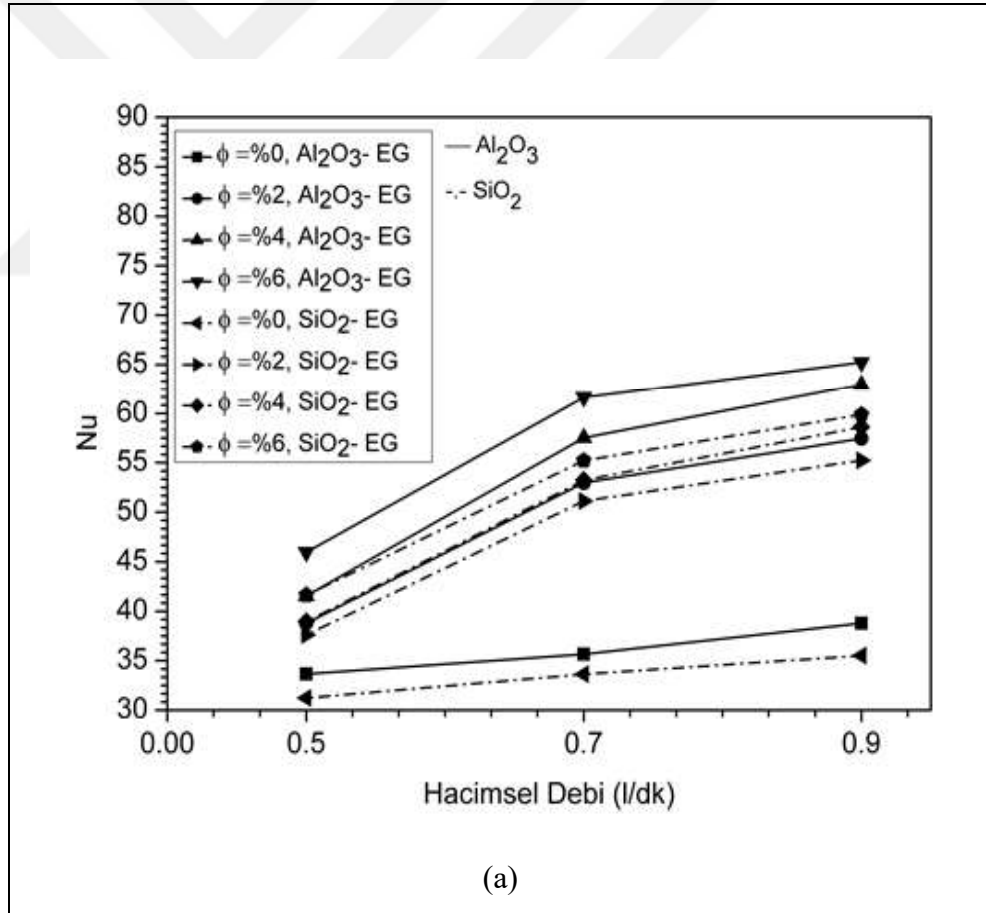
Şekil 8.9’ da ϵ etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ϵ etkinliği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu, kullanılan nanoparçacık, baz akışkan etilen glikol-su karışım oranına ve dış borudaki sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır. Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%60:40 EG/su kullanıldığında, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarına kıyasla etkinlik artmaktadır.



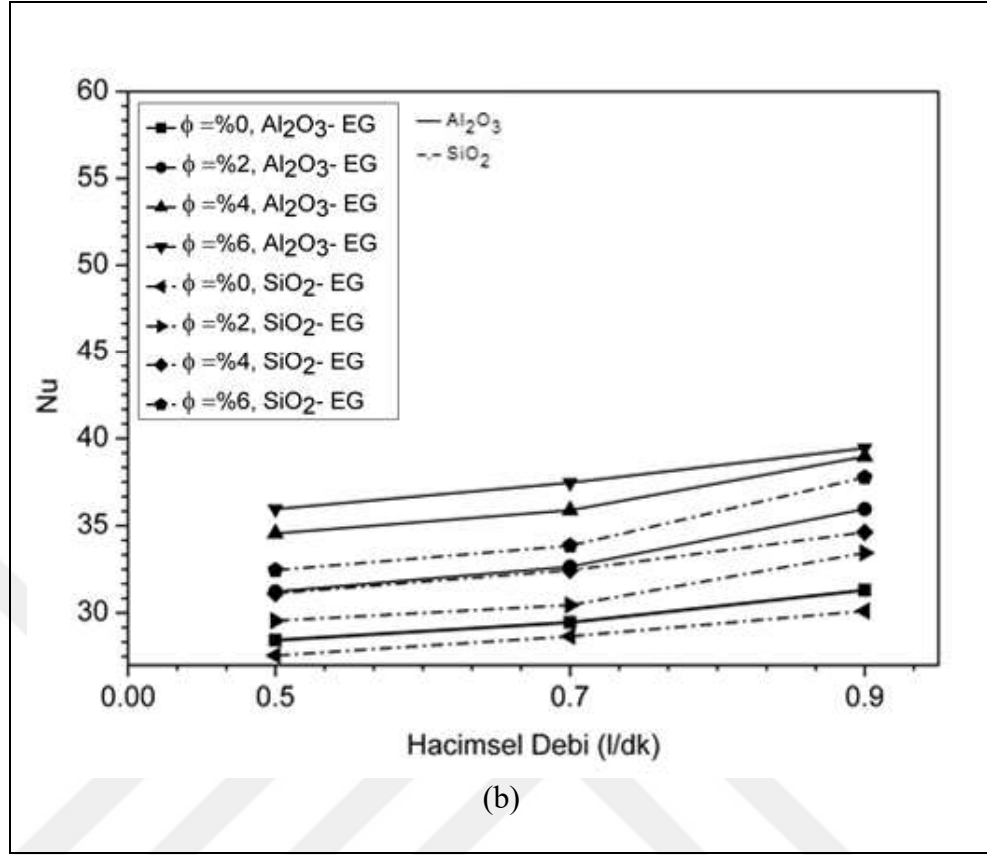
Şekil 8.9. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk değerleri için, Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

8.1.4. Al₂O₃- EG ve SiO₂- EG

Zıt akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için , %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.10 'da sunulmuştur. Baz akışkan etilen glikol olduğunda Nu değerleri , diğer etikol glikol-su karışımı oranlarına kıyasla daha yüksektir. Çünkü nanoakışkan , yüksek ısıl iletkenlik katsayısına sahip etilen glikol ve SiO₂ nanoparçacıklarına kıyasla daha yüksek ısıl iletkenliği olan Al₂O₃ nanoparçacıklarından oluşmaktadır. Hem dış boruda akan sıcak suyun hem de iç borudaki nanoakışkanın hacimsel debisinin artışı, ısı transfer miktarını artırmaktadır.

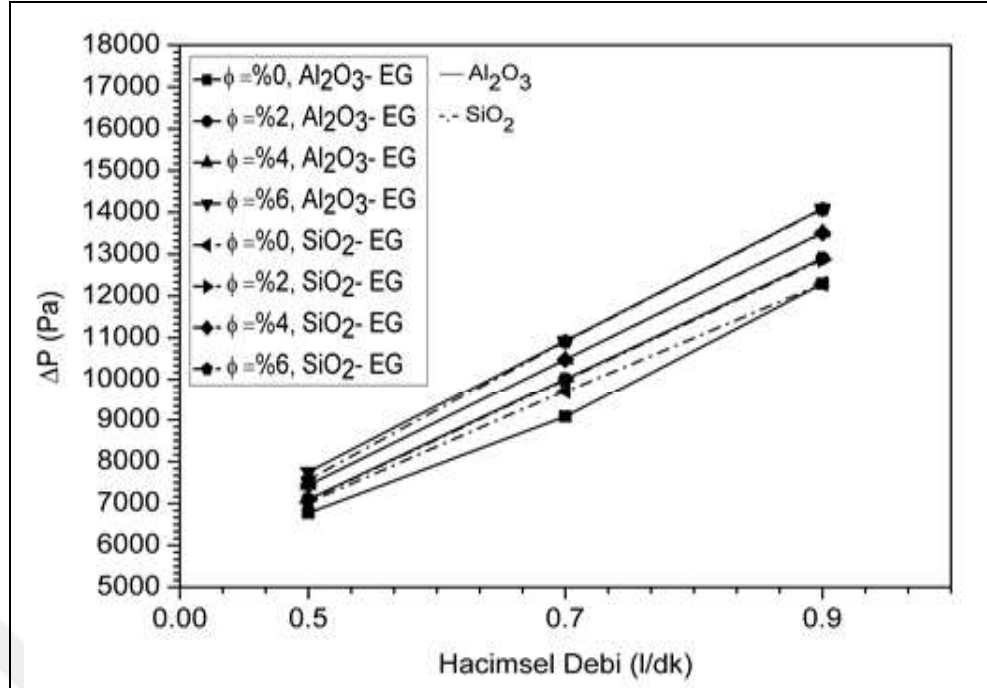


Şekil 8.10. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

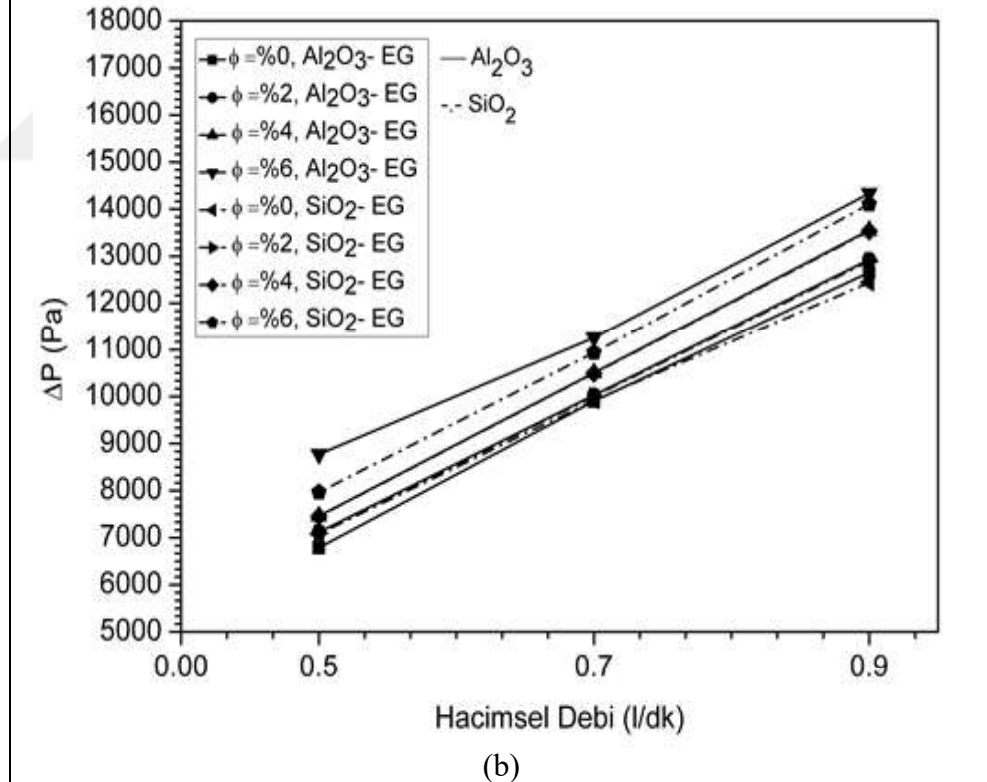


Şekil 8.10. (Devam) Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.11 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Baz akışkan içindeki katı hacim konsantrasyonunun ve yoğunluğunun artışıyla beraber basınç düşümü artmaktadır. Al₂O₃-EG nanoakışkanına kıyasla SiO₂-EG nanoakışkanının basınç düşümünün daha az olduğu gözlemlenmiştir. Al₂O₃ nanoparçacıklarının yoğunluğu, SiO₂ nanoparçacıklarına nazaran daha yüksektir. Buna bağlı olarak hız arttıkça iç borudaki türbülans artmakta, boru içi sürtünme katsayısı azalmakta ve basınç düşümü artmaktadır.



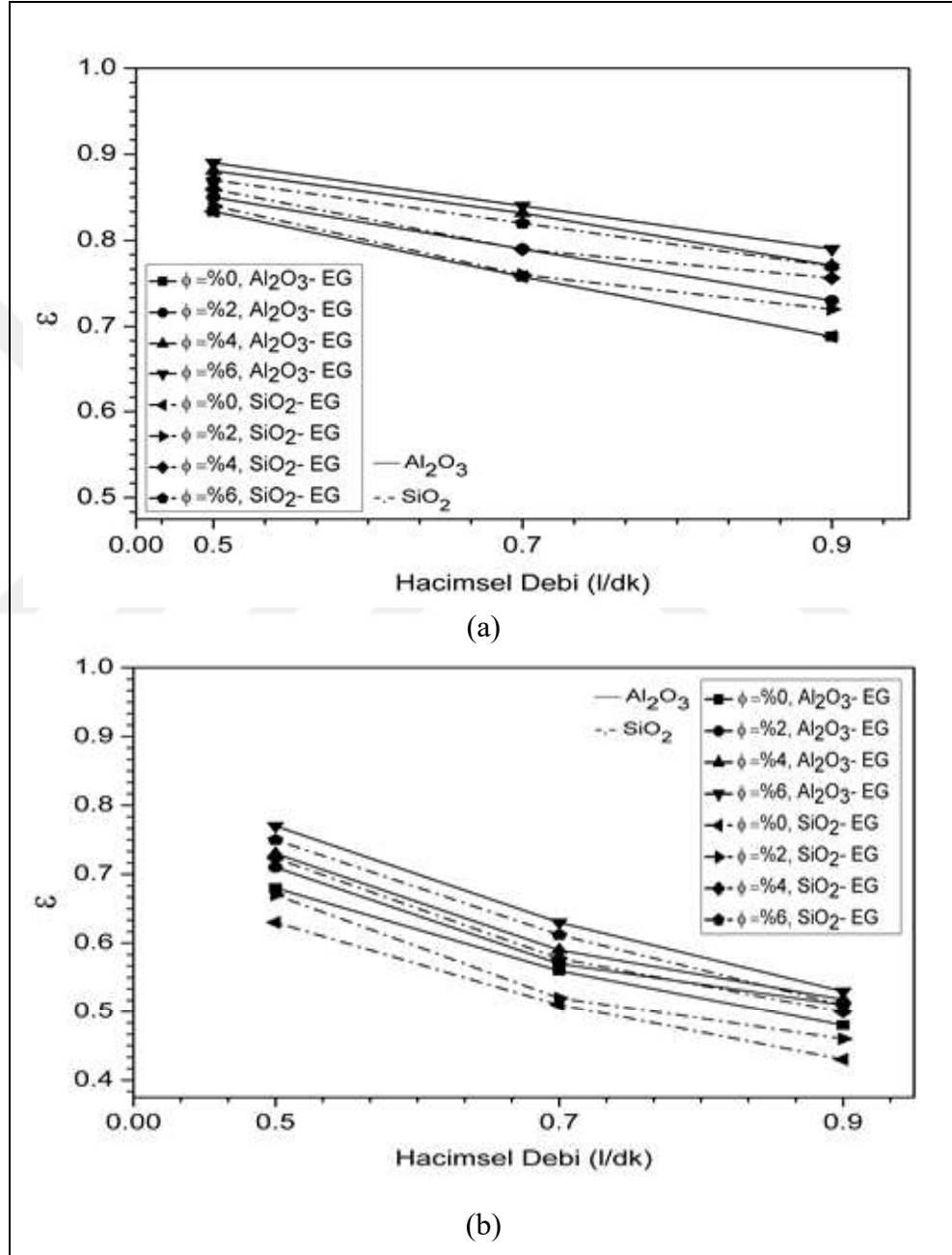
(a)



(b)

Şekil 8.11. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.12' de ε etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ε etkinliği , sadece etilen glikol kullanıldığında diğer etilen glikol-su karışımı oranlarına kıyasla artmaktadır. Nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu, kullanılan nanoparçacık, baz akışkan etilen glikol-su karışım oranına ve dış borudaki sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır.

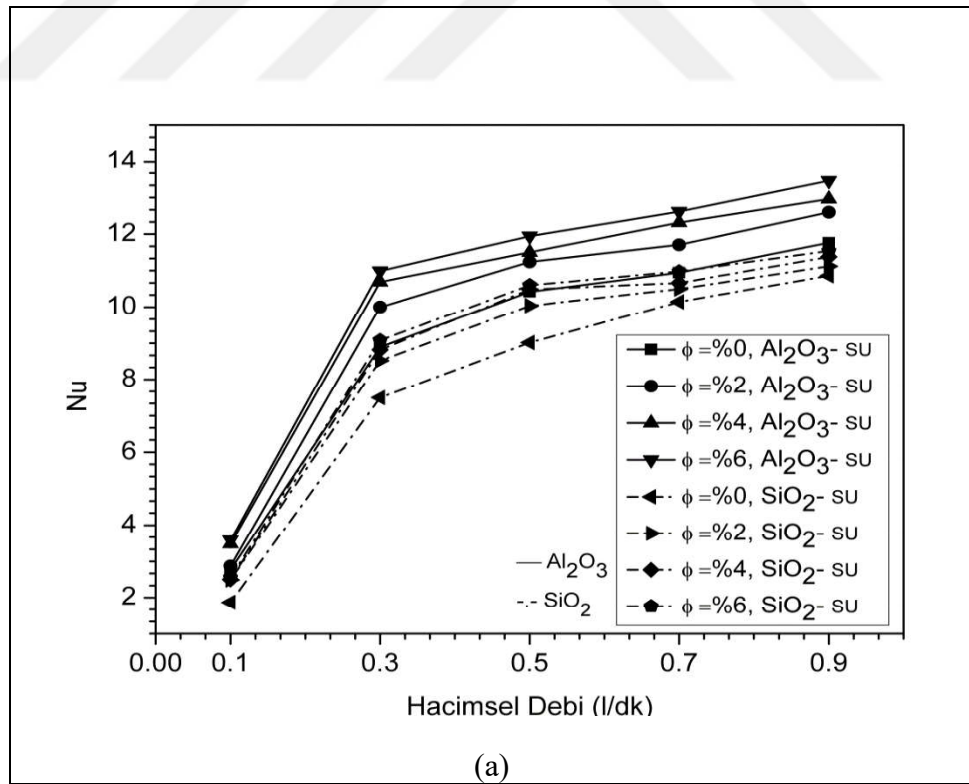


Şekil 8.12. Zıt akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

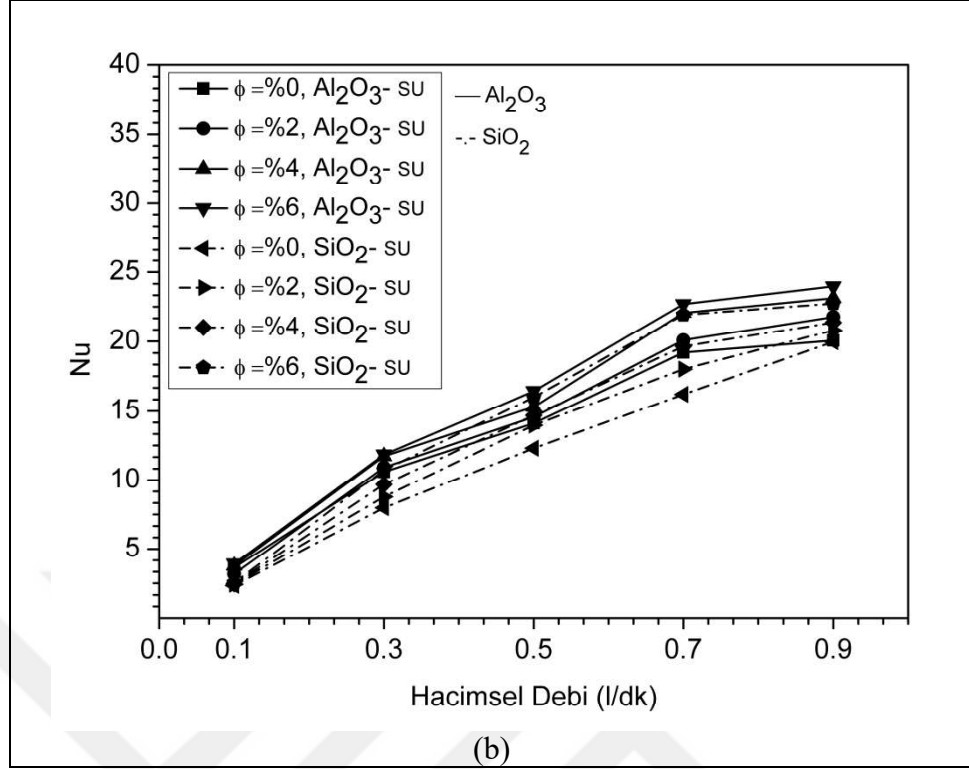
8.2. Paralel Akış

8.2.1. Al₂O₃- su ve SiO₂- su

Paralel akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al₂O₃-su ve SiO₂-su nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için , %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.13 'de sunulmuştur. Sonuçlar, nanoakışkanlardan k iletkenlik ve h taşınım katsayısı yüksek olanın, iletkenlik ve taşınım katsayıları arttıkça nanoakışkanların, Nu değerlerinin de arttığını göstermektedir. Buna bağlı olarak, Nu değerleri Al₂O₃-su nanoakışkanı için SiO₂-su nanoakışkanından daha yüksektir. Ancak sadece iletkenlik ve taşınım katsayılarına bağlı değildir. Katı hacim konsantrasyonu, hacimsel debinin artışı, Brownian hareketi ve nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini artıran yüksek Reynolds sayısındaki gelişmiş türbülans gibi diğer faktörler de Nu değerlerinin artışında etkilidir.

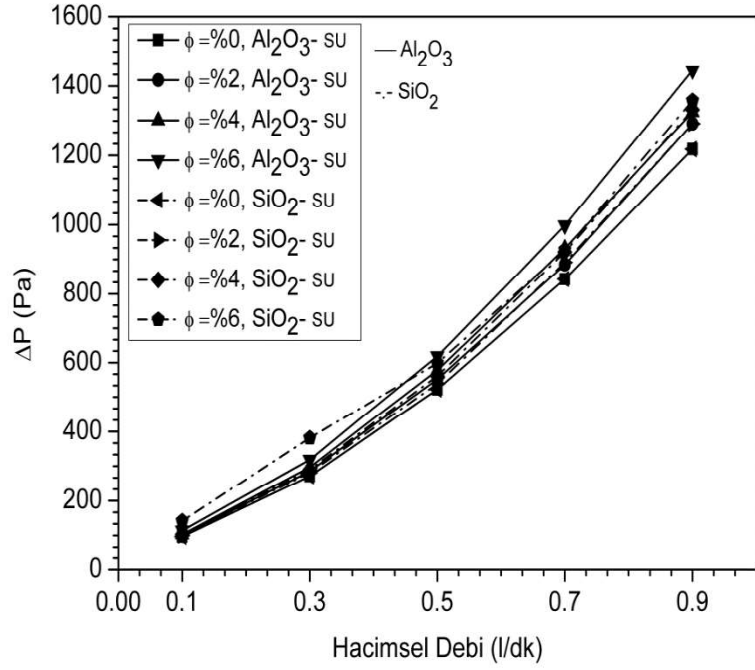


Şekil 8.13. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-su ve SiO₂-su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması

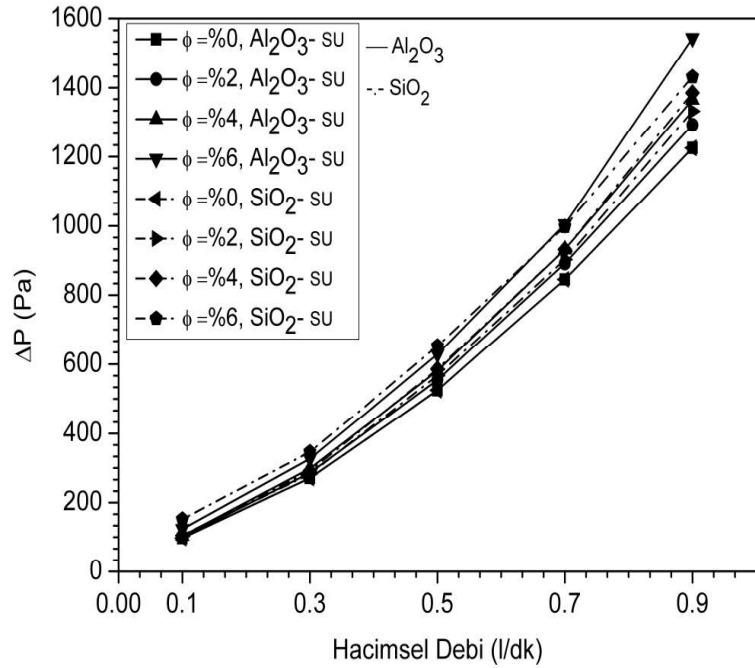


Şekil 8.13.(Devam) Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-su ve SiO₂-su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.14 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Katı hacim konsantrasyonun ve hacimsel debinin artışıyla sürtünme katsayısı azalmaktadır. Al₂O₃-su nanoakışkanı için yoğunluk değerleri SiO₂-su nanoakışkanından daha yüksektir. Yoğunluk ve hıza bağlı gelişen türbülansdan dolayı basınç düşümü değerleri artmaktadır. Paralel akışta zıt akışa kıyasla daha yüksek değerlerde basınç düşümü meydana gelir. Paralel akışta zıt akışa kıyasla basınç düşümü değerleri daha yüksektir. Akışkan boru içine yüksek basınçla girer ve diğer uçtan çıktığında dış boru ve iç borudaki akışkanların arasındaki basınç farkı artmıştır. Zıt akışta girişte yüksek basınç ile girse dahi boru içinde zamanda tam gelişmiş türbülanslı bölgede akış hızı dengelenir.



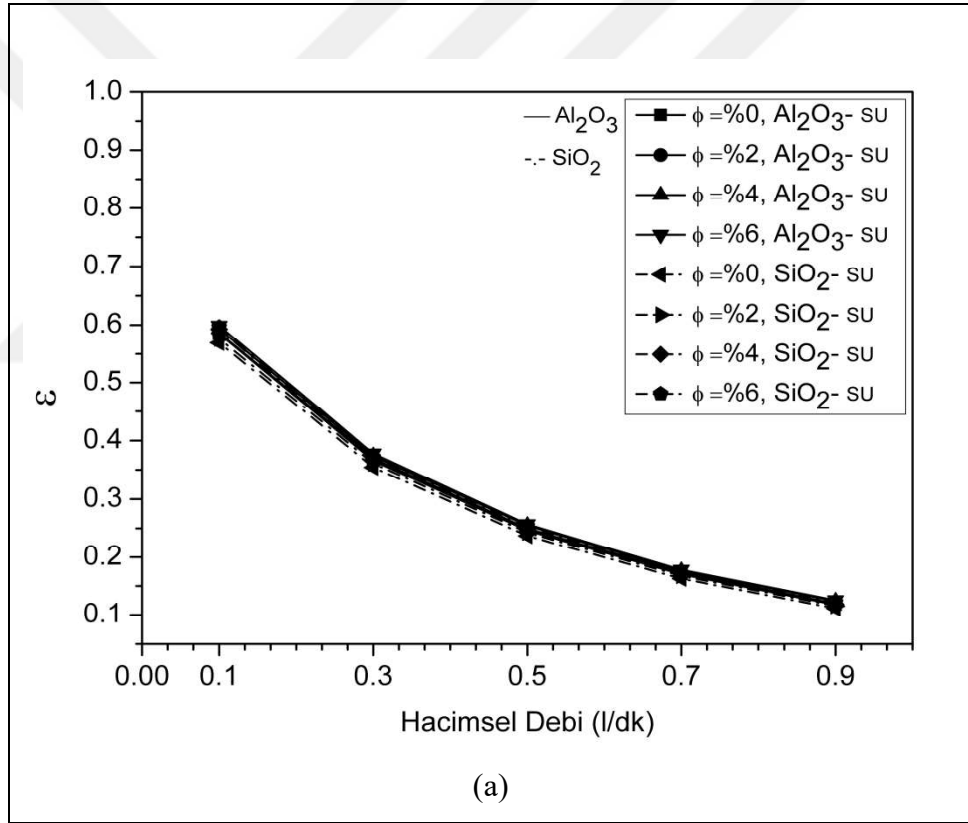
(a)



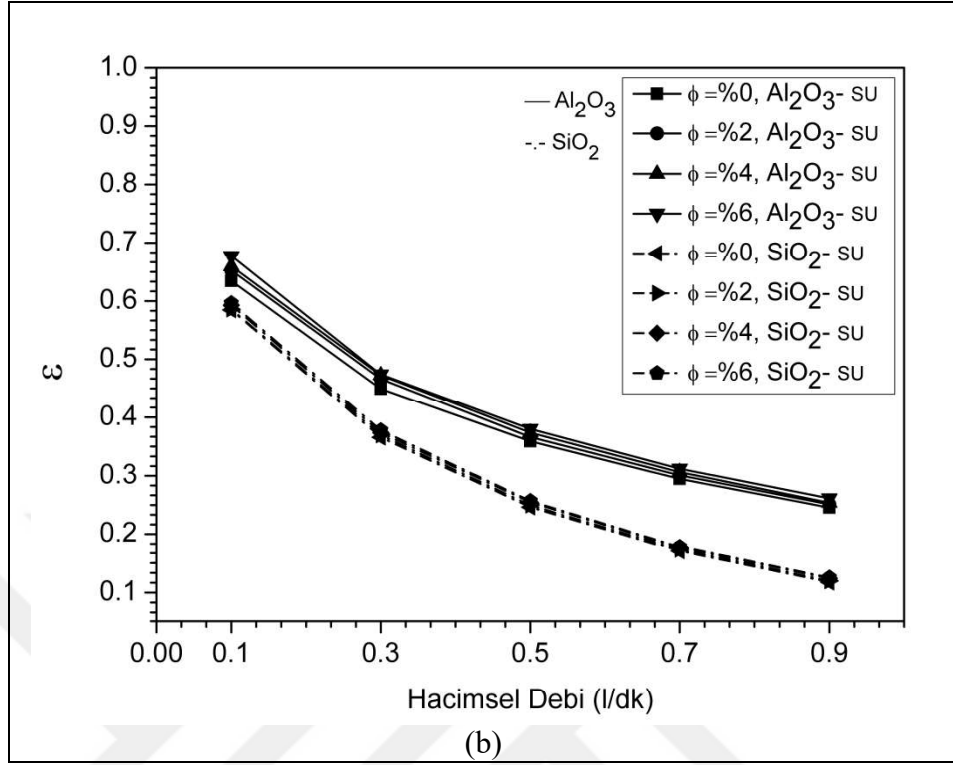
(b)

Şekil 8.14. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.15’de ε etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ε etkinliği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu ve sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni nanoakışkanın içindeki nanoparçacıkların hızın etkisiyle sıcak su ile aralarındaki ısı transferinin azalması ve soğutmanın amaçlandığı çıkış sıcaklığının daha az olmasıdır. Al_2O_3 -su nanoakışkanı kullanıldığında ısı iletkenliğinin ve h taşınım katsayısının yüksek olması sebebiyle, nanoakışkan sıcak akışkandan daha yüksek değerlerde ısı transfer edebilmekte ancak hacimsel debisi dolayısıyla hızı arttıkça ısı transferi miktarının azaldığına dikkat edilmelidir. Ancak etkinlik paralel akışta zıt akışa göre daha düşüktür.



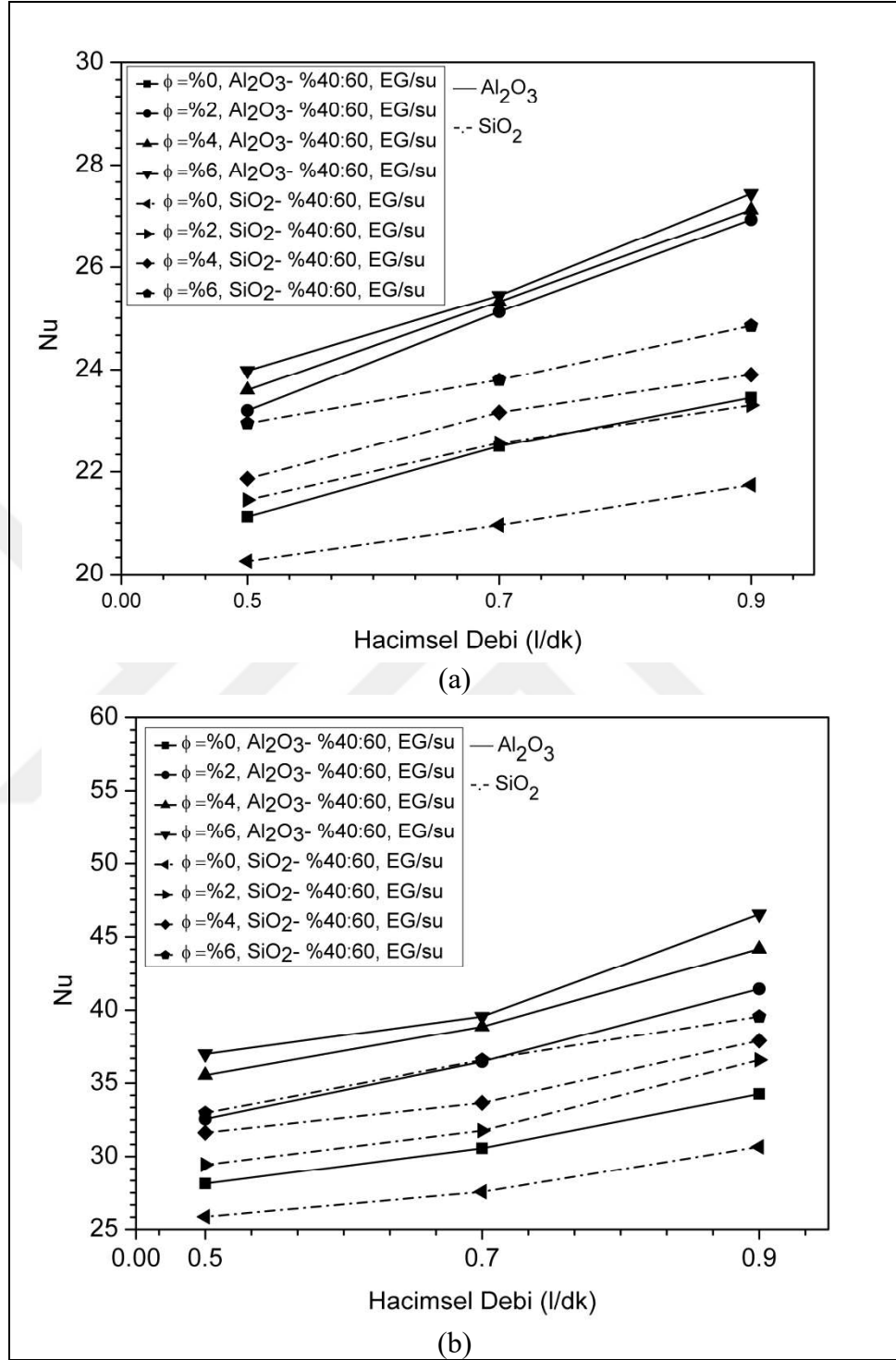
Şekil 8.15. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde etkinlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.15. (Devam) Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının farklı katı hacim konsantrasyonlarında ve hacimsel debilerde etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

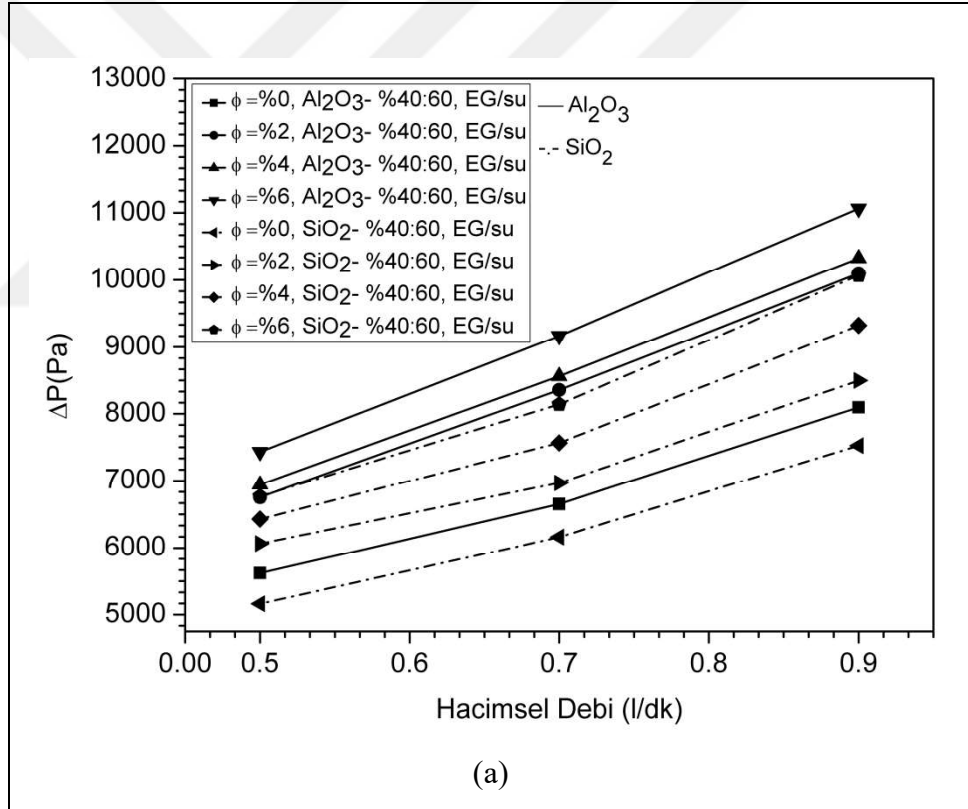
8.2.2. Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su

Paralel akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0.5, 0.7 ve 0.9 l/dk için , %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.16 'da sunulmuştur. %40:60 EG/su oranında elde edilen etilen glikol-su karışımı ile sadece su kullanımına kıyasla nanoakışkanların Nu değerleri artmaktadır. Etilen glikolün k ısıt iletkenlik katsayısı ve yoğunluğu suya nazaran daha yüksektir. Bu sebeple baz akışkan olarak etilen glikol-su karışımı ile ısı transferi iyileşmektedir. Paralel akışta zıt akışa kıyasla etilen glikol-su karışımı oranı değiştiğinde daha düşük Nu değerleri elde edilir. Paralel akışta nanoakışkanın içinde bulunan nanoparçacıkların Brownian hareketine bağlı akışkan molekülleri ile aralarındaki ısı transferi miktarı zıt akışta olduğu gibi sirkülasyon ve girdaplar ısı transferi alışverişini aksenel ve radyal yönde iletimi yüksek seviyede sağlamaz.

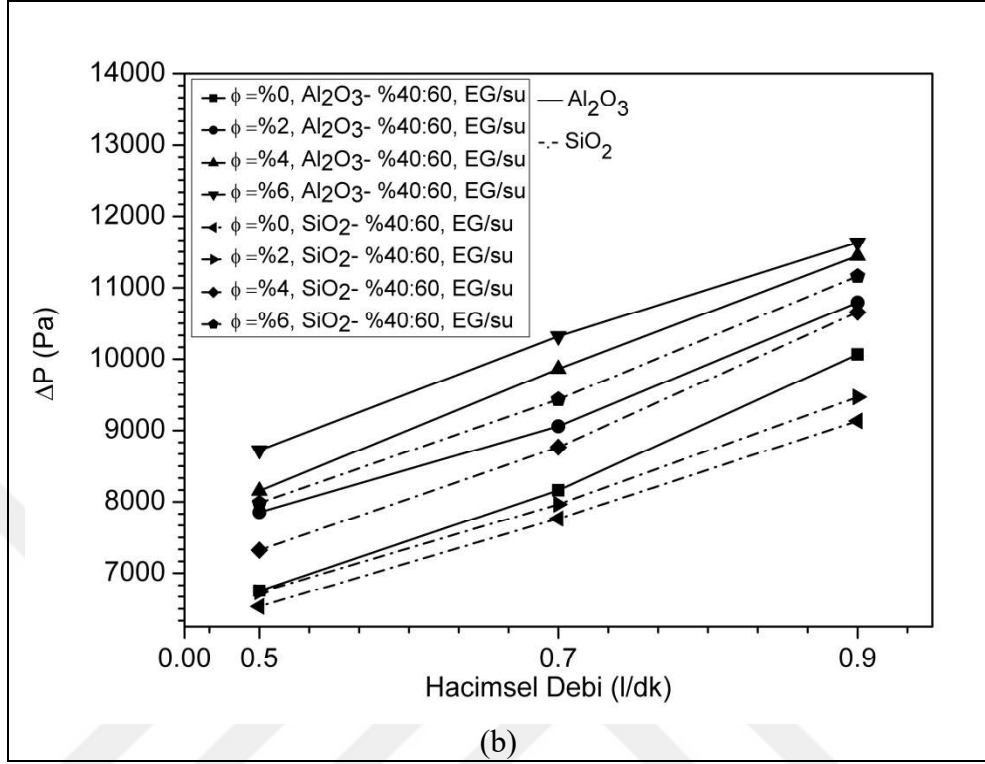


Şekil 8.16. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.17 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Etilen-glikol eklenmesine bağlı olarak yoğunluk artışıyla beraber basınç düşümü artmaktadır. Al_2O_3 -%40:60 EG/su nanoakışkanına kıyasla SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanının basınç düşümünün daha az olduğu gözlemlenmiştir. Al_2O_3 nanoparçacıklarının yoğunluğu, SiO_2 nanoparçacıklarına nazaran daha yüksektir. Buna bağlı olarak hız arttıkça iç borudaki türbülans artmakta ve boru içi sürtünme katsayısı azalmaktadır. Bu titreşime, gürültüye ve basınç düşümünün artışına sebep olup basınç düşümü değerlerini artırmaktadır. Basınç düşümü sadece kullanılan nanoparçacığa bağlı değildir. Katı hacim konsantrasyonun ve hacimsel debinin artışıyla sürtünme katsayısı azalmaktadır ve tüm bu faktörlere bağlı olarak gelişen türbülansla birlikte basınç düşümü değerleri artmaktadır.



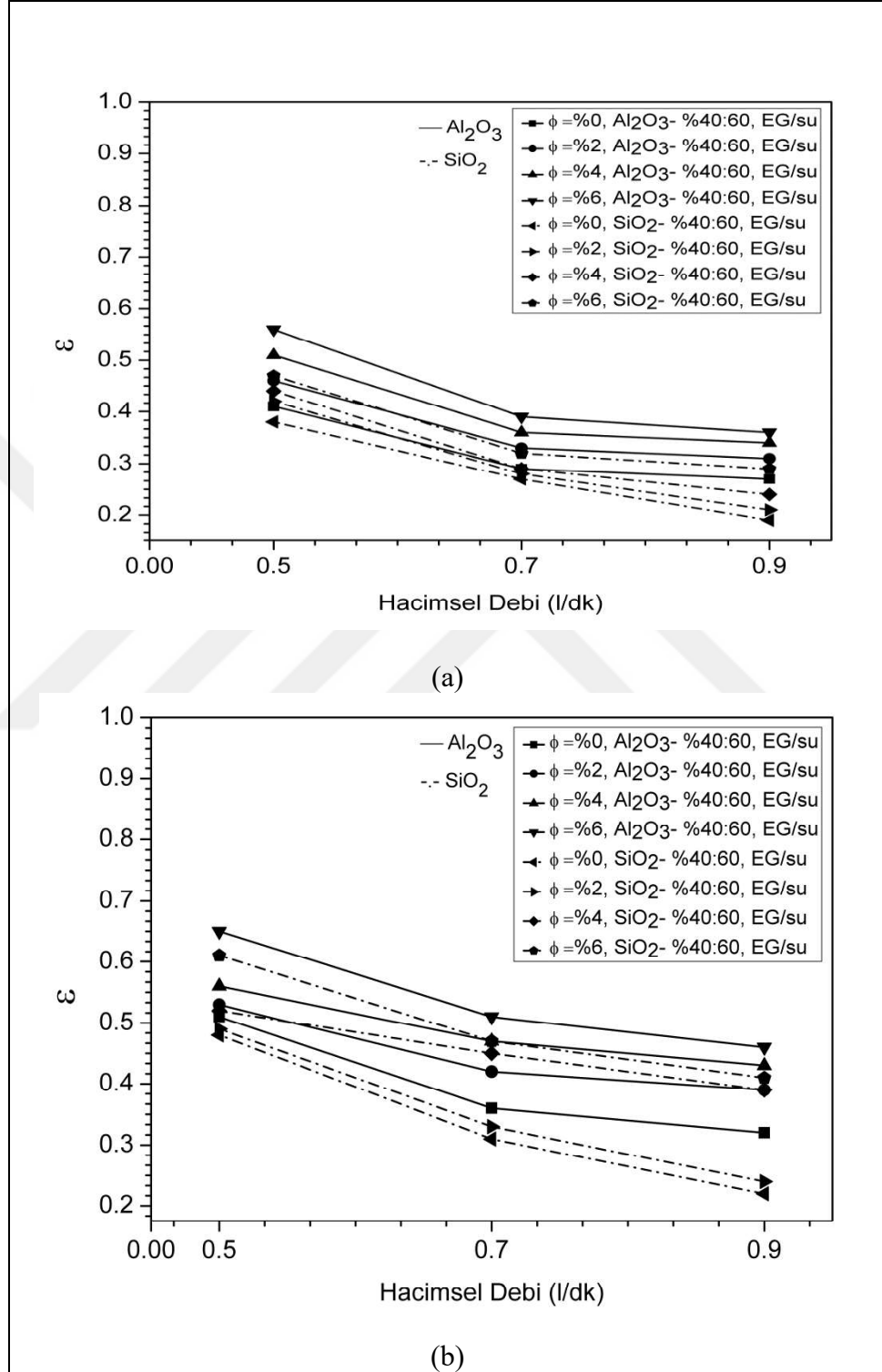
Şekil 8.17. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8.17. (Devam) Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%40:60 EG/su ve SiO₂-%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.18’de ϵ etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ϵ etkinliği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu, kullanılan nanoparçacık, baz akışkan etilen glikol-su karışım oranına ve dış borudaki sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır. Al₂O₃-%40:60 EG/su ve SiO₂-%40:60 EG/su kullanıldığında, Al₂O₃-su ve SiO₂-su nanoakışkanlarına kıyasla etkinlik artmaktadır. Bunun nedeni baz akışkana etilen glikol eklendiğinde nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayısının artması ve ısı transferinin nanoakışkan çıkış sıcaklığına bağlı olarak ısı transferinin iyileşmesidir. Ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça etkinlik miktarı azalmaktadır çünkü hız artışıyla beraber, nanoakışkanın içindeki nanoparçacıklar boru içindeki dağılımlarını ve sahip oldukları ısı iletkenlik kabiliyetini etilen glikol-su karışımı ile homojenlik sağlayıp akışkan molekülleri arasındaki ısı transferini yüksek seviyede sağlayamamakta ve nanoakışkanın bulunduğu iç boru ile, sıcak suyun bulunduğu dış borudaki ısı transferi miktarı

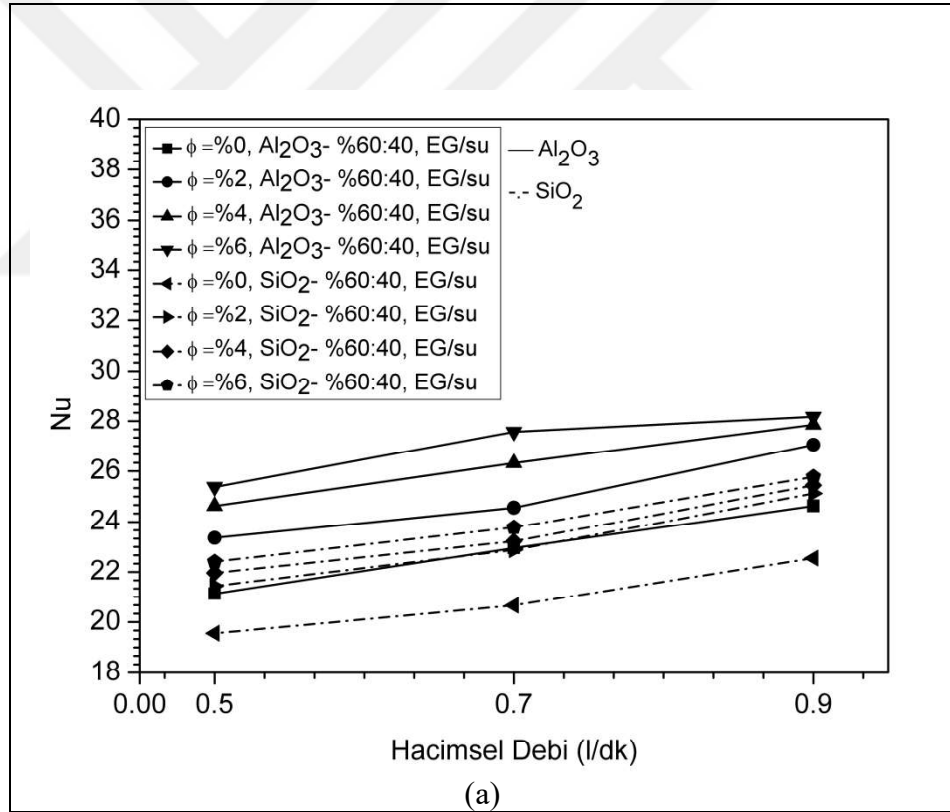
azalmaktadır. Böylece nanoakışkan çıkış sıcaklığı daha yüksek olmaktadır. Ve soğutma etkinliği azalmaktadır.



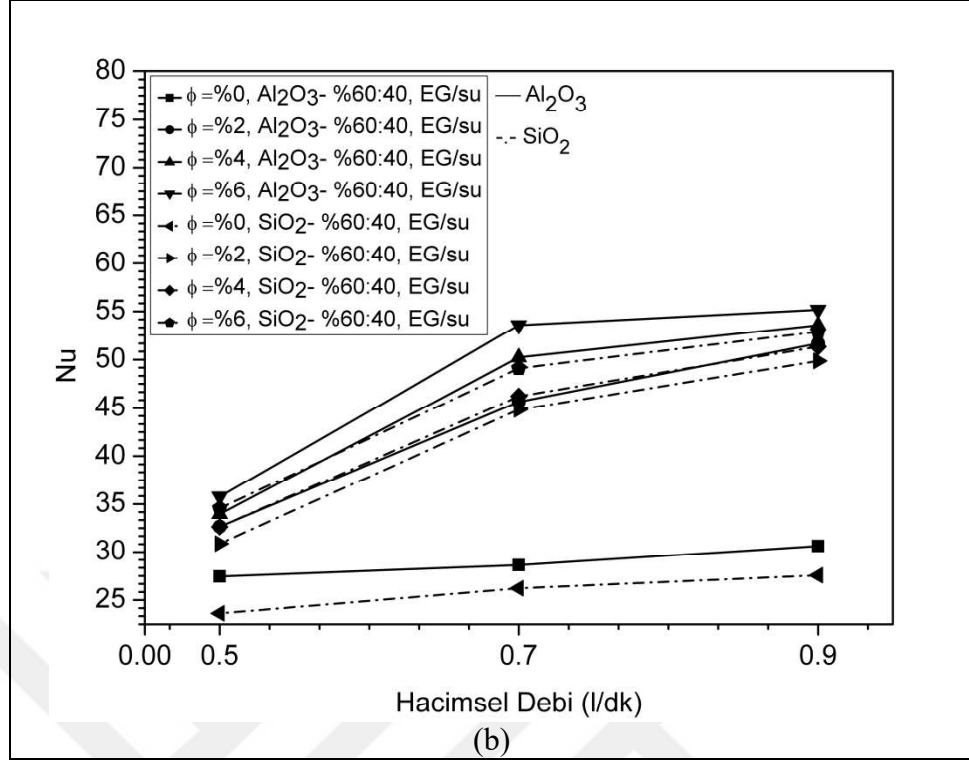
Şekil 8.18. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%40:60 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

8.2.3. Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su

Paralel akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için , %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.19'da sunulmuştur. Baz akışkan etilen glikol-su karışımı içindeki etilen glikolün oranı artırıldığında %40:60 EG/su oranında elde edilen etilen glikol-su karışımına kıyasla nanoakışkanların Nu değerleri artmaktadır. Hem etilen glikol miktarının artışı hem de nanoparçacık katı hacim konsantrasyonunun artması Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının ısıl iltkenlik ve taşınım katsayılarının artışı sağlayarak ısı transferi miktarını artırmaktadır.

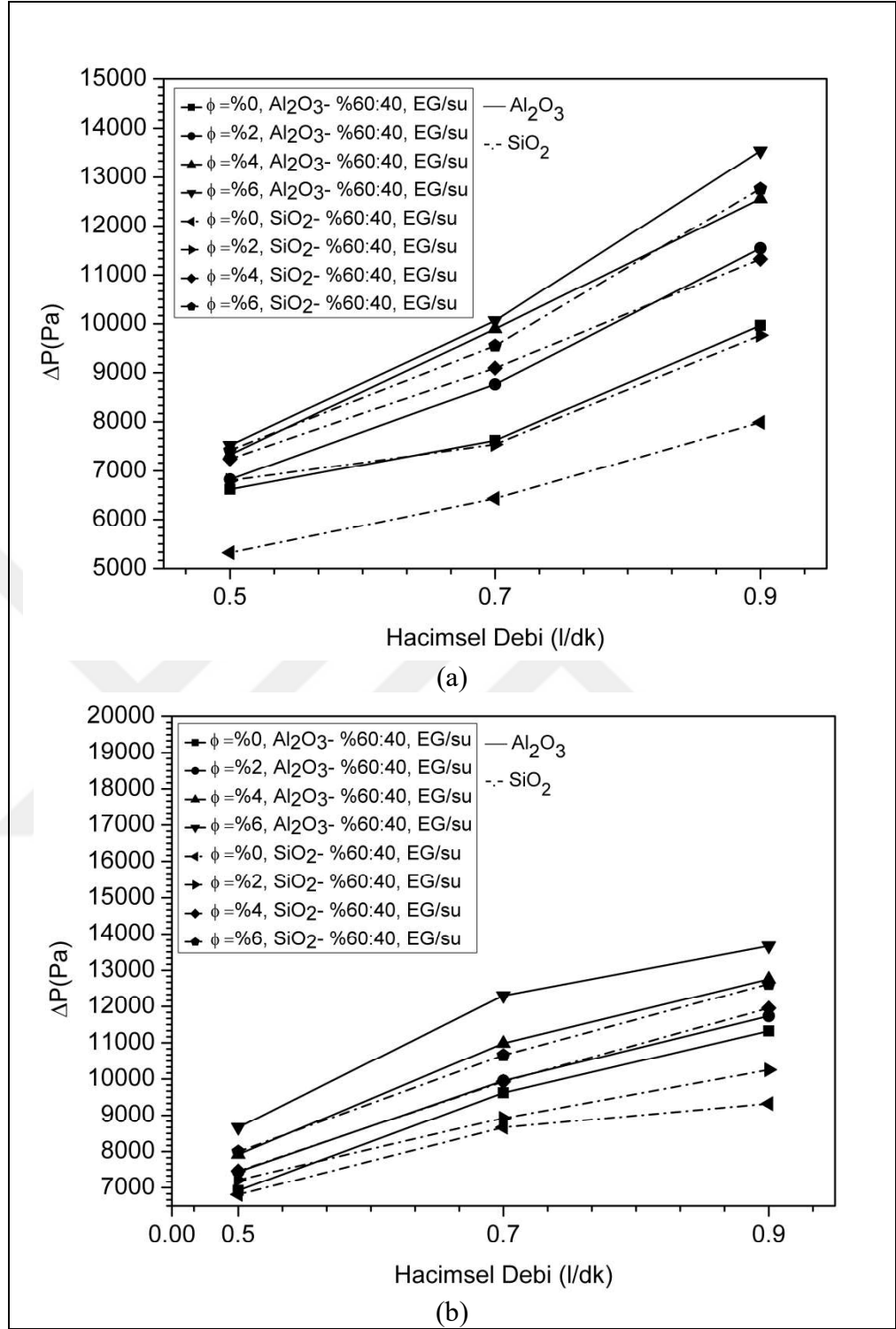


Şekil 8.19. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması



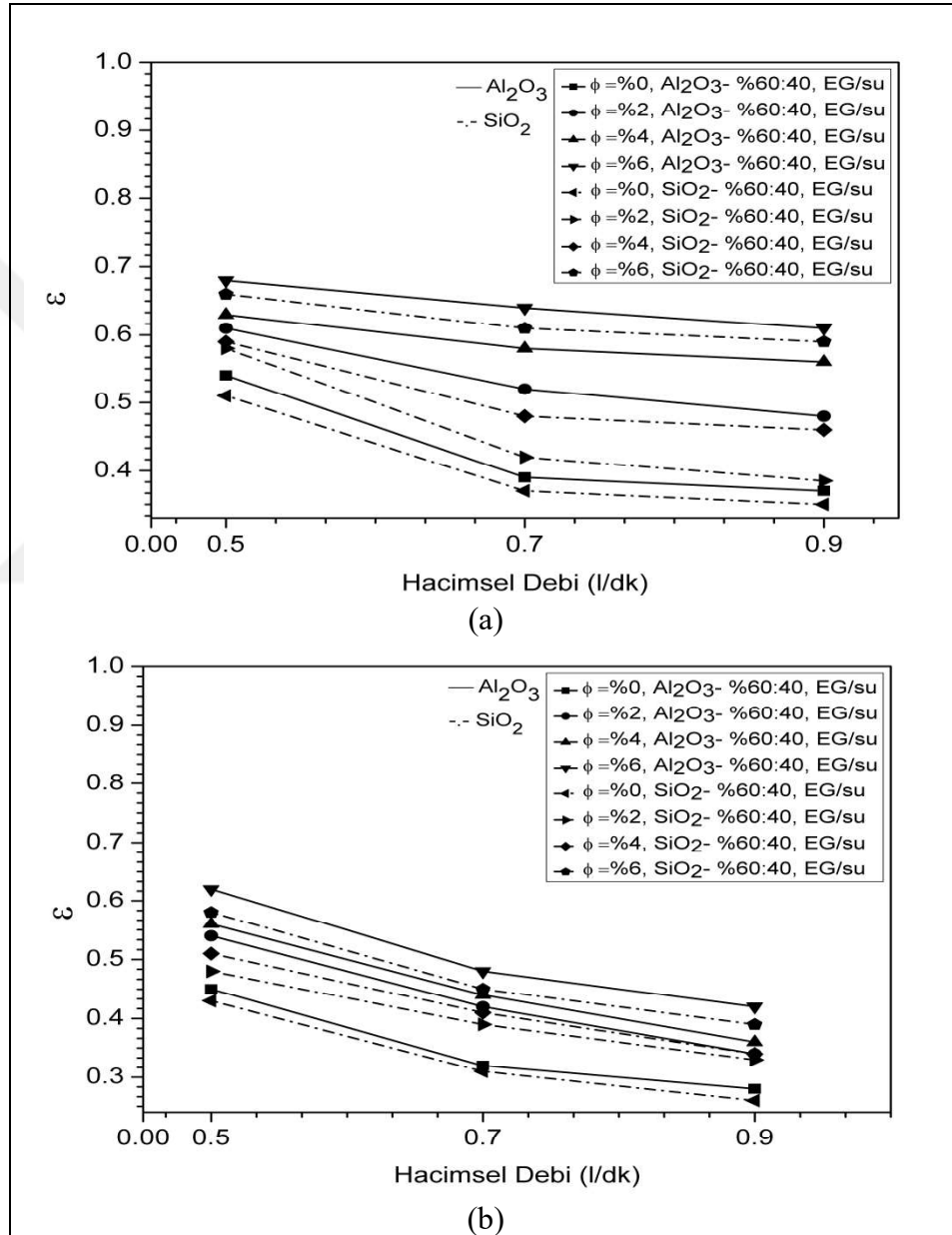
Şekil 8.19. (Devam) Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.20 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Etilen-glikolün baz akışkan içindeki oranının artışına bağlı olarak yoğunluk artışıyla beraber basınç düşümü artmaktadır. Al₂O₃-%60:40 EG/su nanoakışkanına kıyasla SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanının basınç düşümünün daha az olduğu gözlemlenmiştir. Al₂O₃ nanoparçacıklarının yoğunluğu, SiO₂ nanoparçacıklarına nazaran daha yüksektir. Buna bağlı olarak hız arttıkça iç borudaki türbülans artmakta ve boru içi sürtünme katsayısı azalmaktadır. Katı hacim konsantrasyonun ve hacimsel debinin artışıyla sürtünme katsayısı azalmaktadır ve tüm bu faktörlere bağlı olarak gelişen türbülansla birlikte basınç düşümü değerleri artmaktadır.



Şekil 8.20. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-%60:40 EG/su ve SiO₂-%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

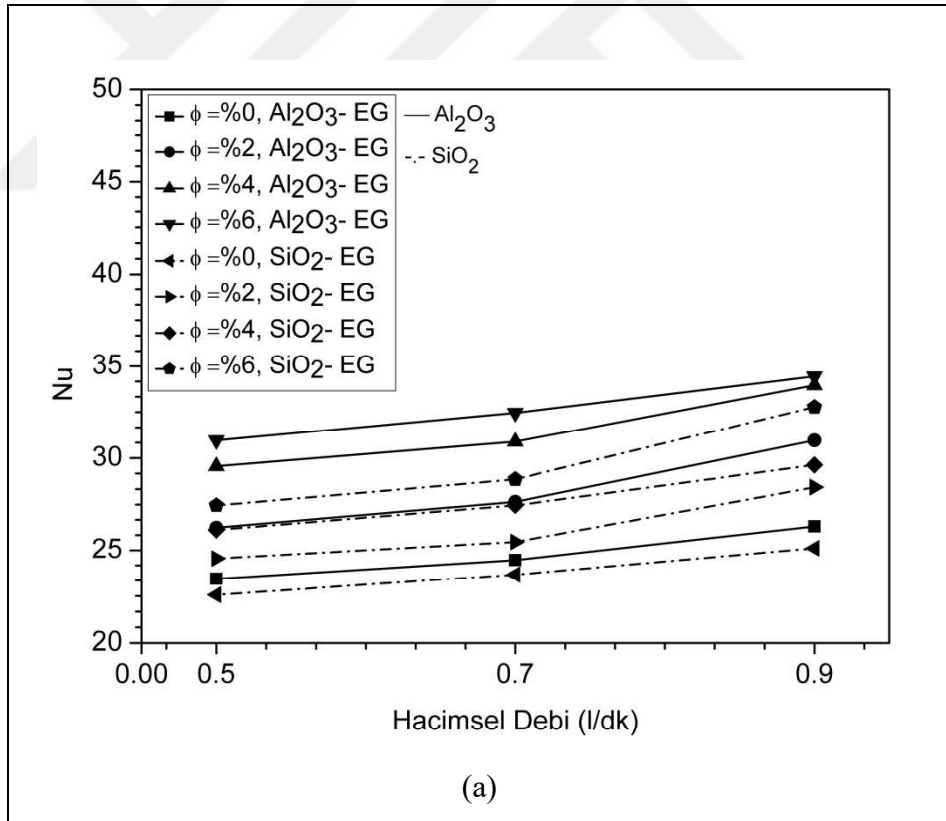
Şekil 8.21’de ε etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ε etkinliği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu, kullanılan nanoparçacık, baz akışkan etilen glikol-su karışım oranına ve dış borudaki sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır. Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%60:40 EG/su kullanıldığında, Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%60:40 EG/su nanoakışkanlarına kıyasla etkinlik artmaktadır.



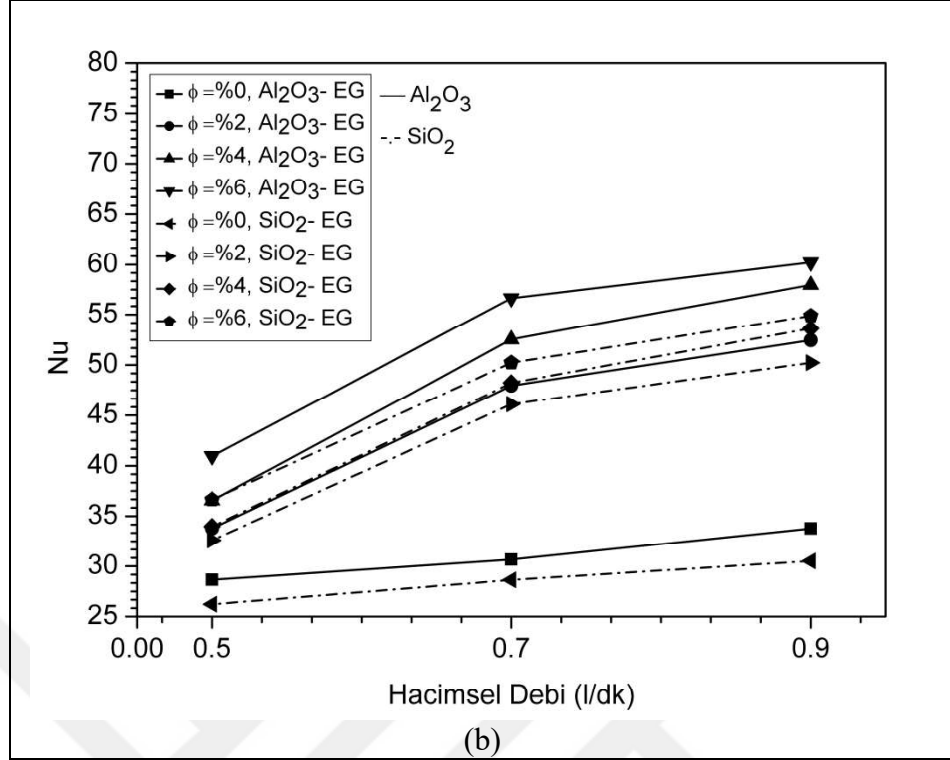
Şekil 8.21. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%60:40 EG/su nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

8.2.4. Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG

Paralel akış altında, dış boru tarafında akan sıcak suyun hacimsel debisi önce 1 l/dk daha sonra 3 l/dk değerinde sabit tutularak, iç borudaki Al₂O₃-EG, ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının hacimsel debi değerleri 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk için , %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarında elde edilen Nu değerleri Şekil 8.22 'de sunulmuştur. %100:0 EG/su baz akışkan etilen glikol olduğunda Nu değerleri , diğer etikol glikol-su karışımı oranlarına kıyasla daha yüksektir. Çünkü nanoakışkan, yüksek ısıl iletkenlik katsayısına sahip etilen glikol ve SiO₂ nanoparçacıklarına kıyasla daha yüksek ısıl iletkenliği olan Al₂O₃ nanoparçacıklarından oluşmaktadır. Hem dış boruda akan sıcak suyun hem de iç borudaki nanoakışkanın hacimsel debisinin artışı ısı transfer miktarını artırmaktadır.

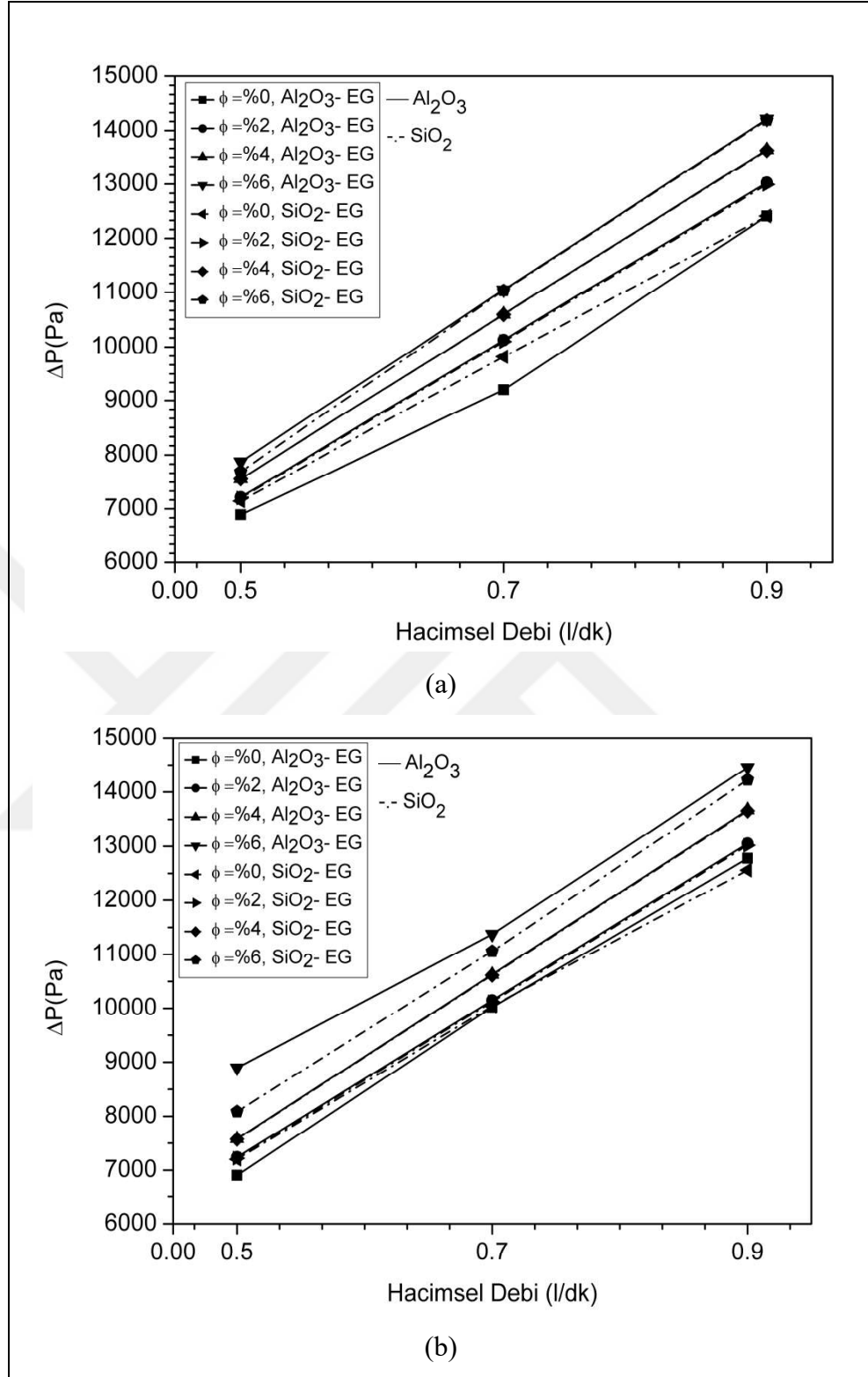


Şekil 8.22. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması



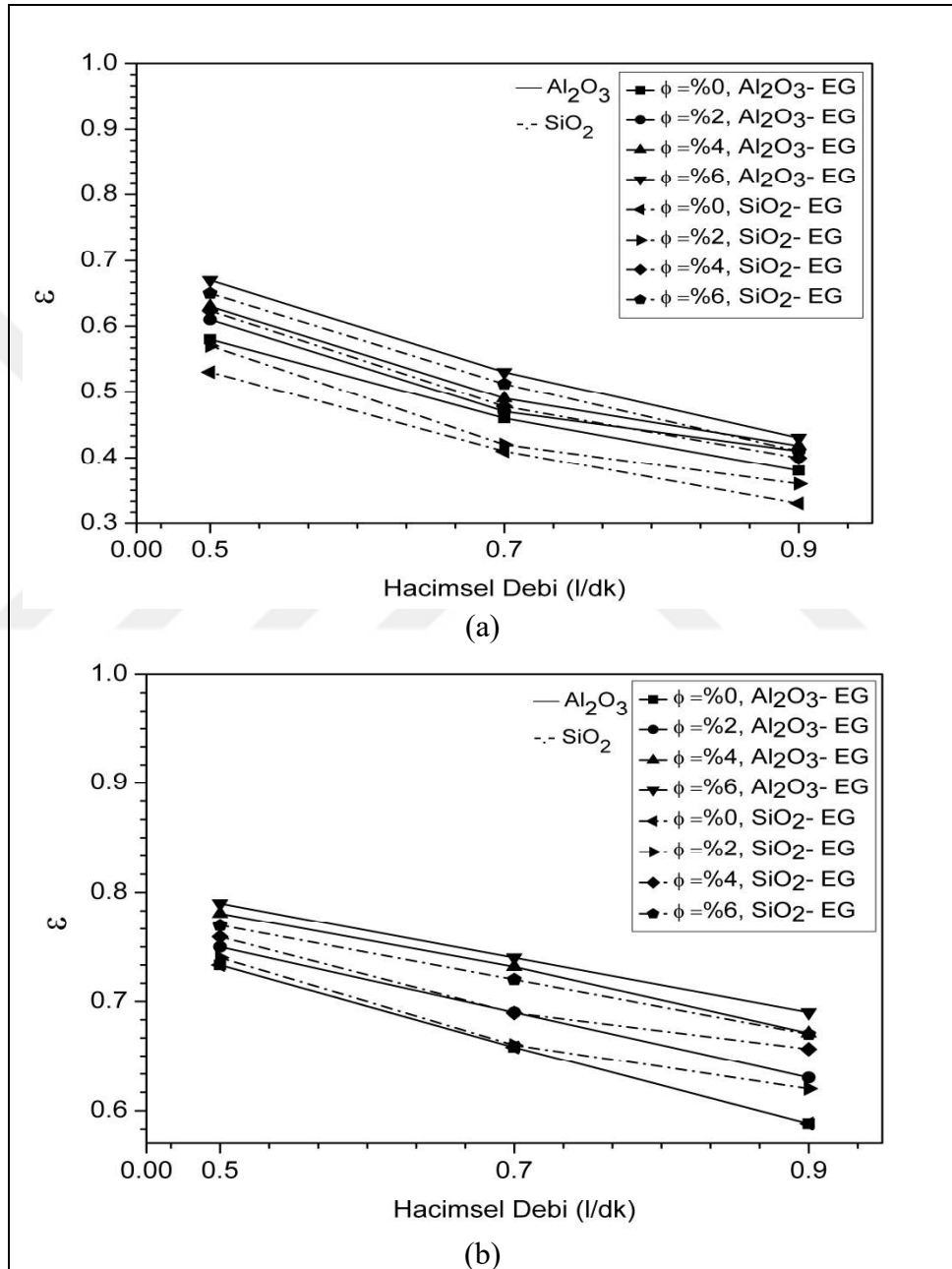
Şekil 8.22. (Devam) Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında Nu değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.23 'de basınç düşümü değerleri verilmiştir. Baz akışkan içindeki katı hacim konsantrasyonunun ve yoğunluğun artışıyla beraber basınç düşümü artmaktadır. Al₂O₃- EG nanoakışkanına kıyasla SiO₂- EG nanoakışkanının basınç düşümünün daha az olduğu gözlemlenmiştir. Al₂O₃ nanoparçacıklarının yoğunluğu, SiO₂ nanoparçacıklarına nazaran daha yüksektir. Buna bağlı olarak hız arttıkça iç borudaki türbülans artmakta, boru içi sürtünme katsayısı azalmakta ve basınç düşümü artmaktadır.



Şekil 8.23. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında basınç düşümü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 8.24' de ϵ etkinlik değerleri sunulmuştur. Isı eşanjörünün ϵ etkinliği sadece etilen glikol kullanıldığında diğer etilen glikol-su karışımı oranlarına kıyasla artmaktadır. Nanoparçacık katı hacim konsantrasyonu, kullanılan nanoparçacık, baz akışkan etilen glikol-su karışım oranına ve dış borudaki sıcak suyun hacimsel debisine bağlı olarak artmakta ancak nanoakışkanın hacimsel debisi arttıkça azalmaktadır.



Şekil 8.24. Paralel akış için sıcak akışkan suyun farklı hacimsel debi 1 l/dk (a) ve 3 l/dk (b) değerleri için, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının 0,5, 0,7 ve 0,9 l/dk hacimsel debi değerleri ve farklı katı hacim konsantrasyonlarında etkinlik değerlerinin karşılaştırılması

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, borulu ısı eşanjöründe baz akışkan olarak %0:100, %60:40, %40:60 ve %100:0 oranlarındaki EG-su karışımı baz akışkan ile Al_2O_3 ve SiO_2 nanoparçacıklarının %0, %2, %4, %6 katı hacim konsantrasyonlarındaki nanoakışkanlar kullanılarak sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma türbülanslı akış koşullarında yapılmıştır. Sayısal çalışmalar sonucunda ısı eşanjörünün Nusselt sayısı, basınç düşümü, sürtünme faktörü, etkinlik değerleri, zıt ve paralel akış düzeni, sıcak akışkan ve nanoakışkanın hacimsel debileri, nanoakışkan türü ve nanoparçacık katı hacim konsantrasyon oranı ile değişimleri irdelenmiştir. Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. En yüksek ısı eşanjörü etkinlik değeri, Al_2O_3 -EG kullanılan çalışmalarda elde edilmiştir. Ancak ısı transferi artarken, basınç düşümünün çok yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu ısı eşanjörünün kompakt olmayan ve yüksek pompa gücüne ihtiyaç duyan bir tasarım olması gerektiğini göstermektedir. Ekonomik açıdan uygun olmadığı söylenebilir. Su bazlı nanoakışkanlar karşılaştırıldığında, SiO_2 nanoparçacıklarının kullanıldığı nanoakışkanının ısı transferinin iyileştirilmesinde, Al_2O_3 nanoparçacık içeren nanoakışkana göre daha az etkin olduğu sonuca varılarak, en uygun akışkanın Al_2O_3 nanoparçacıklarını içeren nanoakışkan olduğu tespit edilmiştir.
2. Isı eşanjörü, zıt akış düzeninde tasarlandığında, paralel akışa göre daha iyi ısı performans göstermiştir.
3. Nanoparçacıkların katı hacim konsantrasyon etkisi incelendiğinde, baz akışkana nanoparçacık eklenmesiyle ve nanoparçacıkların katı hacim konsantrasyonunun artırılmasıyla, ısı transferinin arttığı görülmüştür.

4. Zıt akışta, sıcak suyun sabit hacimsel debi değeri 1 l/dk ve nanoakışkanın hacimsel debi değeri 0,5 l/dk alındığında, %2 katı hacim konsantrasyonu için Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının Nu değerlerinde, su yerine nanoakışkan kullanılmasıyla sırasıyla %8,2 ve %6,1 oranında artış olduğu görülmüştür.

Aynı parametreler altında, etilen glikol-su karışım oranı değiştirilerek elde edilen Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve Al_2O_3 -%40:60 EG/su nanoakışkanları için, Al_2O_3 -%60:40 EG/su nanoakışkanın Nusselt değerinde, Al_2O_3 -%40:60 EG/su nanoakışkanına kıyasla %12,1 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Aynı parametreler altında, etilen glikol-su karışım oranı değiştirilerek elde edilen SiO_2 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanları için, SiO_2 -%60:40 EG/su nanoakışkanının Nusselt değerinde, SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanına kıyasla %9,3 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Sıcak su ve nanoakışkanların sabit hacimsel debi değerleri ve nanoakışkanların katı hacim konsantrasyonları artırıldığında ise, sıcak akışkan su için sabit hacimsel debi değeri 3 l/dk ve nanoakışkanların sabit hacimsel debi değeri 0,9 l/dk ve %6 katı hacim konsantrasyon değeri alındığında, Al_2O_3 -EG ve SiO_2 -EG nanoakışkanlarının Nu değerlerinde, su kullanımına kıyasla sırasıyla, %15,4 ve %9,1 oranında artış olmuştur.

5. Paralel akışta ise, zıt akış için alınan aynı parametreler için, sıcak suyun sabit hacimsel debi değeri 1 l/dk ve nanoakışkanın hacimsel debi değeri 0,5 l/dk alındığında, %2 katı hacim konsantrasyonu için Al_2O_3 -su ve SiO_2 -su nanoakışkanlarının Nu değerlerinde, su kullanımına kıyasla % 7,2 ve % 5,6 artış olmuştur.

Aynı parametreler altında, etilen glikol-su karışım oranı değiştirilerek elde edilen Al_2O_3 -%60:40 EG/su ve Al_2O_3 -%40:60 EG/su nanoakışkanları için, Al_2O_3 -%60:40 EG/su nanoakışkanın Nusselt değerinde, Al_2O_3 -%40:60 EG/su nanoakışkanına kıyasla %11,3 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Aynı parametreler altında, etilen glikol-su karışım oranı değiştirilerek elde edilen SiO_2 -%60:40 EG/su ve SiO_2 -%40:60 EG/su nanoakışkanları için, SiO_2 -%60:40 EG/su

nanoakışkanının Nusselt değerinde, SiO₂-%40:60 EG/su nanoakışkanına kıyasla %7,6 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Etilen Glikol- Su karışımı nanoakışkanalarda Etilen Glikol oranı arttıkça, Nusselt sayısının değeride artmaktadır.

Sıcak su ve nanoakışkanların sabit hacimsel debi değerleri ve nanoakışkanların katı hacim konsantrasyonları artırıldığında ise, sıcak akışkan su için sabit hacimsel debi değeri 3 l/dk ve nanoakışkanların sabit hacimsel debi değeri 0,9 l/dk ve %6 katı hacim konsantrasyon değeri alındığında, Al₂O₃-EG ve SiO₂-EG nanoakışkanlarının Nu değerlerinde, su kullanılmasına kıyasla sırasıyla, % 12,3 ve % 8,52 oranında artış olduğu görülmüştür.

Sonuçlar, nanoakışkanın içerdiği nanoparçacık katı hacim konsantrasyonun artmasının, Nusselt sayısını artırdığını ve baz akışkan olarak etilen glikol kullanıldığında, nanoakışkanların suya kıyasla, ısı eşanjörünün ısı performansını artırmada daha etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, zıt akışın ısı eşanjörünün ısı performansını artırmada, paralel akışa göre daha iyi olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi ise, ısı eşanjörünün ısı performansını etkileyen çıkış sıcaklığıdır. Zıt akışlı bir ısı eşanjöründe borularda akan akışkanların çıkış sıcaklıkları arasındaki fark, paralel akışa göre daha yüksektir ve çıkış sıcaklığının daha düşük olması iyi bir soğutma olduğunun göstergesidir.

Nu değerlerinin artışının yanında, arzu edilmeyen basınç düşümlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Ancak ısı transferinin iyileştirilmesinin yanında, basınç düşümünde etkisini gözönünde bulundurmak gerekir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, borulu ısı eşanjörlerinde çalışma akışkanı olarak nanoakışkanların kullanımının artırılması, termofiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan korelasyonların irdelenmesi ve deneysel çalışmaların sayısı artırılarak belirsizliklerin ortadan kaldırılması ile özgün çalışmalar sonucunda, nanoakışkanların avantajlarının tespit edilmesi ve olası dezavantajların ise minimize edilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Turan B., Dağdaş S., Güneş Enerjisi ve Artan Kullanım İmkanları, *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, Türkiye, 20-22 Mayıs 2010.
- [2] Eyüphan M., Şahin B., Akyürek E.F., Çomaklı Ö., Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 2012, **53**(627), 38-42.
- [3] Choi S.U.S., Eastman J.A., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *Argonne National Lab.*, ANL/MSD/CP-84938, 1995.
- [4] Chein R., Chuang J., Experimental Microchannel Heat Sink Performance Studies using Nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2006.03.009.
- [5] Lee J., Mudawar I., Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2007, **50.3-4**, 452-463.
- [6] Trisaksri V., Wongwises S., Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, **11.3**, 512-523.
- [7] Wang X., Mujumdar A.S., Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *International Journal of Thermal Sciences*, DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2006.06.010.
- [8] Daungthongsuk W., Wongwises S., A critical review of convective heat transfer of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, **11**, 797-817.
- [9] Choi S.U.S., Wang X., Xu X., Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture, *Journals of Thermophysics and Heat Transfer*, 1999, **13**(4), 474-480.
- [10] Lee S., Choi S.U.S., Li S., Eastman J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *Journal of Heat Transfer*, DOI: 10.1115/1.2825978.
- [11] Wen D., Ding Y., Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, **47**(24), 5181-5188.
- [12] Farajollahi B., Etemad S.G., Hojjat M., Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.10.019.
- [13] Zamzamian S., Oskouie N., Doosthoseini A., Joneidi A., Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2011, **35**(3), 495–502.

- [14] Pantzalia M.N., Kanarisa A.G., Antoniadisb K.D., Mouza A.A., Paras S.V., Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface, *International Journal Heat and Fluid Flow*, 2009, **30**, 691-699.
- [15] Abed A.M., Alghoul M.A., Sopian K., Mohammed H.A., Majdi H., Design characteristics of corrugated trapezoidal plate heat exchangers using nanofluids, *Chemical Engineering and Processing*, 2015, **87**, 88–103.
- [16] Tiwari A. K., Ghosh P., Sarkar J., Performance comparison of the Plate Heat Exchanger using Different Nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2013, **49**, 141-151.
- [17] Aghabozorg M.H., Rashidi A., Mohammadi S., *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2016, **72**, 182–189.
- [18] Kim, D., et al., Convective heat transfer characteristics of nanofluids under laminar and turbulent flow conditions., *Current Applied Physics*, 2009, **9**(2), 119-123.
- [19] Liu Z.H., Li Y.Y., Bao R., Thermal performance of inclined grooved heat pipes using nanofluid, *International Journal of Thermal Sciences*, 2010, **49**(9), 1680–1687.
- [20] Heris S.Z., Esfahany M.N., Etemad S.G., Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in a circular tube, *International Journal Heat and Fluid Flow*, 2007, **28**, 203–210.
- [21] Pak B.C., Cho Y.I., Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 1998, **11**(2), 151-170.
- [22] Huminic G., Huminic A., Morjan I., Dumitrache F., Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2011, **54**(1-3), 656-661.
- [23] Alasadi M., Albadr J., Tayal S., Heat Transfer Through Heat Exchanger Using Al₂O₃ Nanofluid at Different Concentrations, *Case Studies in Thermal Engineering*, 2013, **1**, 38-44.
- [24] Thulukkanam K., *Heat Exchanger Design Handbook*, 2nd ed, CRC, New York, USA, 2013.
- [25] Bergles A.E., Kakaç S., Mayinger F., *Heat Exchangers: Thermal –Hydraulic Fundamentals and Design*, Hemisphere Pub. Corp., Washington, USA, 1981.
- [26] Sekulic D.P., Shah R.K., *Fundamentals of Heat Exchanger Design*, John Wiley & Sons Inc., USA, 2003.
- [27] Incropera F.P., DeWitt D.P., *Fundamentals of Heat Transfer*, 5th ed, John Wiley&Sons, New York, USA, 2002.
- [28] Yüncü H., Kakaç S., *Temel Isı Transferi*, Türkiye Bilim Yayıncılık, Türkiye, 1999

- [29] <https://www.gea.com/tr/insideaseptic/thermal-treatment-product.jsp>, 2019.
- [30] Isı Değiştirici, Kimya Mühendisliği Bölümü Deney Föyü , Bursa Teknik Üniversitesi, 2017.
- [31] Aytaç İ., Eş Merkezli İç İç Borulu Paralel ve Karşıt Akışlı Isı Değiştiricilerde Alümina (Al₂O₃) Nano Akışkan Kullanılarak Isıl Performansın Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 371637.
- [32] <https://www.jeotes.com/borulu-ve-plakali-isi-esanjorleri> , 30 Kasım 2019.
- [33] Kumareswaran S., Shell and tube heat exchanger design for sulfuric acid manufacturing plant, *Design of a Shell and Tube Heat Exchanger*, DOI: 10.13140/RG.2.1.2721.6720/1.
- [34] Ulu Y., Gövde Borulu Bir Isı Değiştiricisinin Sonlu Elemanlar Metodyla Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011, 283800.
- [35] Çengel Y., Ghajar A.J., *Isı ve Kütle Transferi Esaslar ve Uygulamaları*, 4.Basım, Palme Yayıncılık, ISBN: 9789339223199, Ankara, Türkiye, 2015.
- [36] Kaçar E.N., Erbay L.B., Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış, *Mühendis ve Makina*, 2013, **54**(644), 14-43.
- [37] Murugesan C., Tamilkalundu S., Mechanism of Forced Convective Heat Transfer in Al₂O₃/Water Nanofluid Under Laminar and Turbulent Flow, *2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences*, Singapore, 28-29 April 2012.
- [38] Peng X., Wang B., Zhou L., A Fractal Model for Predicting the Effective Thermal Conductivity of Liquid with Suspension of Nanoparticles, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 2003, **46**(14), 2665-2672.
- [39] Choi S.U.S., Eastman J.A., Keblinski P., Phillpot S.R., Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-Sized Particles(Nanofluids), *International urnal of Heat Mass Transfer*, 2002, **45**(4), 855-863.
- [40] Siginer D.A., Wang H.P., Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, *Proceedings of a Conference*, San Francisco, USA, November 1995.
- [41] Choi S.U.S., Eastman J.A., Li S., Thompson L.J., Yu W., Anomalously Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, DOI: 10.1063/1.1341218.
- [42] Liveri V.T., *Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems*, Springer Science+Business Media Inc., ISBN 978-0-387-26427-1, New York, USA, 2006.
- [43] Ebin B., Gürmen S., Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, [http:// www.metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150_3138.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150_3138.pdf) (Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2019).

- [44] Chen L., Xie H., Discussion on the Thermal Conductivity Enhancement of Nanofluids, *Nanoscale Research Letters*, DOI: 10.1186/1556-276X-6-124.
- [45] Barron H., Estrada R., Jose M., Mayoral A., Vazquez A, Nanoparticle Stability from the Nano to the Meso Interval, *Nanoscale*, DOI: 10.1039/B9NR00287A.
- [46] Luther W., International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology, *VDI Technologiezentrum for Risoe National Laboratory*, Düsseldorf, 2006.
- [47] Zaki A., Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Nanomaterials, Mechanical Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals, <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1710> (Ziyaret Tarihi: 23 Kasım 2019).
- [48] Xuan Y.M., Roetzel W., Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, DOI: 10.1016/S0017-9310(99)00369-5.
- [49] Nguyen C., Desgranges F., Roy G., Galanis N., Maré T., Boucher S., Temperature and Particle-Size Dependent Viscosity Data for Water-Based Nanofluids - Hysteresis Phenomenon, *International Journal Heat and Fluid Flow*, 2007, **28**(6), 1492-1506.
- [50] Chen L., Xie H., Li Y., Yu W., Nanofluids Containing Carbon Nanotubes Treated by Mechanochemical Reaction, *Thermochimica Acta*, 2008, **477**(1-2), 21-24.
- [51] Murshed S., Leong K., Yang C., Investigations of Thermal Conductivity and Viscosity of Nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 2008, **47**(5), 560- 568.
- [52] Kulkarni D.P., Das D.K., Chukwu G.A., Temperature Dependent Rheological Property of Copper Oxide Nanoparticles Suspension (Nanofluid), *J.Nanosci Nanotechno*, DOI: 10.1166/jnn.2006.187.
- [53] Chen H., Ding Y., Lapkin A., Rheological Behaviour of Nanofluids Containing Tube / Rod-Like Nanoparticles, *Powder Technology*, 2009, **194**(1-2), 132-141.
- [54] Prasher R., Song D., Wang J., Phelan P., Measurements of Nanofluid Viscosity and Its Implications for Thermal Applications, *Applied Physics Letters*, DOI: 10.1063/1.2356113.
- [55] Pastoriza-Gallego M. J., Casanova C., Paramo R., Barbes B., Legido, J.L., Pineiro M., A Study on Stability and Thermophysical Properties (Density and Viscosity) of Al₂O₃ in Water Nanofluid, *Journal of Applied Physics*, DOI: 10.1063/1.3187732.
- [56] Einstein, A., Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen (Doctoral dissertation, ETH Zurich), 1905.
- [57] Brinkman H.C., The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions, *Journal of Chemical Physics*, DOI: 10.1063/1.1700493.

- [58] Batchelor G.K., The Effect of Brownian Motion on the Bulk Stress in a Suspension of Spherical Particles, *Journal of Fluid Mechanics*, DOI: 10.1017/S0022112077001062.
- [59] Yu W., France D.M., Choi, S.U.S., Routbort J.L., Systems E., Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications, *Argonne National Lab*, ANL/ESD/07-9, 2007.
- [60] Tseng W.J., Lin K., Rheology and Colloidal Structure of Aqueous TiO₂ Nanoparticle Suspensions, *Materials Science and Engineering A*, DOI:10.1016/S0921-5093(03)00063-7.
- [61] Maïga S.E.B., Nguyen C.T., Galanis N., Roy G., Heat Transfer Behaviours of Nanofluids in a Uniformly Heated Tube, *Superlattices and Microstructures*, DOI: 10.1016/j.spmi.2003.09.012.
- [62] Koo J.,Kleinstreuer C., A New Thermal Conductivity Model for Nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, DOI: 10.1007/s11051-004-3170-5.
- [63] Kulkarni D. P., Das D. K., Chukwu G. A., Temperature Dependent Rheological Property of Copper Oxide Nanoparticles Suspension (Nanofluid), *J.Nanosci Nanotechno*, DOI: 10.1166/jnn.2006.187.
- [64] Özerinç S., Kakaç S., Yazıcıoğlu A.G., Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A State-of-the-Art Review, *Microfluidics and Nanofluidics*, DOI:10.1007/s10404-009-0524-4.
- [65] Masuda H., Ebata A., Teramae K., Hishinuma N., Alteration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-Fine Particles, *Netsu Bussei*, DOI: 10.2963/jjtp.7.227.
- [66] Chopkar M., Sudarshan S., Das P., Manna, I., Effect of Particle Size on Thermal Conductivity of Nanofluid, *Metallurgical and Materials Transactions A*, DOI: 10.1007/s11661-007-9444-7.
- [67] Mintsu H.A., Roy G., Nguyen C.T., Doucet, D., New Temperature Dependent Thermal Conductivity Data for Water-Based Nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2008.03.009.
- [68] Maxwell J.C., A Treatise on Electricity and Magnetism, *Clarendon Press*, Oxford, 1873.
- [69] Hamilton R.L., Crosser O.K., Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems, *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, DOI: 10.1021/i160003a005.
- [70] Choi S.U.S., W Yu, The role of Interfacial Layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: A Renovated Maxwell Model, *Journal of Nanoparticle Research*, DOI: 10.1023/A:1024438603801.
- [71] Bruggeman D.A.G., Berechnung Verschiedener Physikalischer Konstanten von Heterogenen Substanzen, I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus Isotropen Substanzen, *Annalen der Physik*, DOI: 10.1002/andp.19354160705.

- [72] Das S.K., Putra N., Thiesen P., Roetzel W., Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, DOI: 10.1115/1.1571080.
- [73] Davis R.H., The effective thermal conductivity of a composite material with spherical inclusions, *International Journal of Thermophysics*, DOI: 10.1007/BF00502394.
- [74] Evans W., Fish J., Keblinski P., Role of Brownian motion hydrodynamics on nanofluids thermal conductivity, *Applied Physics Letters*, DOI: 10.1063/1.2179118.
- [75] Prasher R., Bhattacharya P., Phelan P.E., Thermal conductivity of nanoscale colloidal solutions nanofluids, *Physics Review Letter*, DOI: 10.1103/PhysRevLett.94.025901.
- [76] Chandrasekar M., Suresh S., Srinivasan R., Bose A.C., New Analytical Models to Investigate Thermal Conductivity of Nanofluids, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, DOI: 10.1166/jnn.2009.J025.
- [77] Chandrasekar M., Suresh S., Bose A.C., Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid, *Experimental Thermal and Fluid Science*, DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2009.10.022.
- [78] ANSYS Fluent User's Guide Canonsburg, Fluent Inc., 2013.
- [79] Pethukov B.S., Heat Transfer and Friction in Turbulent Pipe Flow with Variable Physical Properties, *Advances in Heat Transfer*, 1970, **6**(503), 565.
- [80] Baby S., Jonhson J., Numerical Investigation on the Heat Transfer Characteristics of Alumina-Water Nanofluid in a Double Pipe Heat Exchanger, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, ISSN: 2395-00565, 2018.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Ögüt E., **Dilki S.**, Dalgalı Trapez Plakalı Isı Eşanjörü İçindeki Nanoakışkanların Akış ve Isı Transfer Karakteristiklerinin İncelenmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2019, **10** (3), 933-943.
- [2] Ögüt E., **Dilki S.**, Effect of Prandtl Number On Turbulent Heat Transfer of Corrugated Trapezoidal Plate Heat Exchangers Using Nanofluids, *The Online Journal of Science and Technology*, 2018, **9** (2), 144-155.
- [3] Ögüt E., **Dilki S.**, Investigation of Thermophysical Properties of Nanofluids And Effects of MHD, *Journal of Energy Technologies and Policy (IISTE)*, **9** (4), 17-26.
- [4] **Dilki S.**, Ögüt E., Isı Değiştiricilerinde Kullanılan Nanoakışkanların Enerji Verimliliğine Etkisi, *V. Enerji Verimliliği Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 18-19 Ekim 2019.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı.2008 yılında Selçuk Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Makine önlisans bölümünden mezun oldu. 2014 yılında İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı.2014-2018 yılları arasında özel sektörde Üretim Planlama mühendisi olarak çalıştı.2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 Mart ayında başladığı, çalışma alanı savunma sanayi olan Pavotek Tasarım ve Üretim A.Ş.'de Proje Yöneticisi olarak çalışmakta ve yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

