

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE
ISI TRANSFERİNİN SAYISAL ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Ali YURDDAŞ

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Termodinamik

MANİSA 2013

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TERMODİNAMİK BİLİM DALI**

**NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE
ISI TRANSFERİNİN SAYISAL ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Ali YURDDAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.09.2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 08.10.2013

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yunus ÇERÇİ

Tez İzleme Komitesi: Prof. Dr. Erdoğan ÖZKAYA

: Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet PAKDEMİRLİ

: Prof. Dr. Hakan BOYACI

MANİSA 2013

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
SEMBOLLER LİSTESİ.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	XII
TEŞEKKÜR.....	XIII
ÖZET.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Güneş Enerjisi ve Düzlemsel Güneş Kollektörleri.....	7
1.2 Nanoakışkanlarda Isı Transferi.....	10
1.3 Sonlu Hacimler Metodu.....	15
1.4 Çalışmanın Amacı ve İçeriği.....	17
2. MODELİN TANIMLANMASI, SINIR ŞARTLARI VE AĞ ANALİZİ.....	18
2.1 Modelin Oluşturulması.....	18
2.2 Sınır Şartları.....	19
2.3 Ağ Analizi.....	21
3. ÇALIŞMANIN DOĞRULANMASI.....	23
4. NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE KARIŞIK TAŞINIM ANALİZİ.....	25
4.1 Karışık Taşınım Analizi.....	25
4.2 Karışık Taşınım Analiz Sonuçları.....	30
4.3 Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Kullanılan Nanoakışkanların Isı Transferine Katkısı	61
5. NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ZORLANMIŞ TAŞINIM ANALİZİ.....	63
5.1 Zorlanmış Taşınım Analizi.....	63
5.2 Zorlanmış Taşınım Analiz Sonuçları ile Karışık Taşınım Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109

6.1	Karışık Taşınım Analizinin Sonuçları	109
6.2	Zorlanmış Taşınım Analizi ile Karışık Taşınım Analizinin Karşılaştırma Sonuçları...	111
6.3	Öneriler.....	116
7.	KAYNAKLAR	117

SEMBOLLER LİSTESİ

q	Isı Akısı (W/m^2)
Nu	Nusselt Sayısı
Re	Reynolds Sayısı
μ	Dinamik Viskozite (kg/ms)
ν	Kinematik Viskozite (m^2/s)
ϕ	Hacimsel Oran
C_f	Sürtünme Katsayısı ($C_f = \frac{2\tau_w}{\rho u^2}$)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
τ	Kayma Gerilmesi (Pa)
u, v, w	Hız (m/s)
g	Yerçekimi İvmesi (m/s^2)
h	Taşınım Isı Transfer Katsayısı (W/m^2K)
k	Isıl İletkenlik katsayısı (W/mK)
c_p	Özgül Isı (J/kgK)
p	Basınç (Pa)
T	Sıcaklık (K)
β	Isıl Genleşme Katsayısı ($1/K$)
θ, r, z	Silindirik Koordinatlar
α	Kollektör Eğim Açısı ($0^\circ - 30^\circ - 45^\circ - 60^\circ$)

ALT İNDİSLER

a	Akışkan
na	Nanoakışkan
k	Nanopartikül

KISALTMALAR

TEP	Ton Petrol Eşdeğeri
-----	---------------------

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: 2011 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]	2
Şekil 1.2: 2011 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Miktarı [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]	2
Şekil 1.3: 1990-2011 Yılları Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Miktarı [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]	3
Şekil 1.4: 1990-2011 Yıllarında Türkiye Toplam Birincil Enerji Üretimi ve Arzı [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]	4
Şekil 1.5: Türkiye Birincil Enerji Üretiminde Kaynakların Payı [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]	4
Şekil 1.6: Sıvılı Düzlemsel Güneş Kollektörünün Kesiti	8
Şekil 2.1: Analizi Yapılan Modelin Simetrik Gösterimi.....	18
Şekil 2.2: Isı Akısının Verildiği Yüzey	19
Şekil 2.3: Adyabatik Kabul Edilen Yüzeyler	20
Şekil 2.4: Simetrik Kabul Edilen Yüzeyler	20
Şekil 2.5: Eleman Kalitesinin Sınıflandırılması	22
Şekil 3.1: Deneysel Çalışma (Barozzi ve diğerleri, 1985) ile Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması	23
Şekil 3.2: Deneysel Çalışma (Petukhov B.S. ve Polyakov A.F., 1967) ve Sayısal Çalışma (Ouzzane M. ve Galanis N., 2011) ile Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması	24
Şekil 4.1: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$)	30
Şekil 4.2: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$)	31
Şekil 4.3: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=45^\circ$)	31
Şekil 4.4: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=60^\circ$)	32
Şekil 4.5: Suyun, Değişik Açı Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	32

Şekil 4.6: Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)	33
Şekil 4.7: Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)	34
Şekil 4.8: Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%1$)	34
Şekil 4.9: Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%5$)	35
Şekil 4.10: Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanının, Değişik Açık Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)	35
Şekil 4.11: Al ₂ O ₃ -Su Nanoakışkanının, Değişik Açık Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)	36
Şekil 4.12: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)	37
Şekil 4.13: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)	37
Şekil 4.14: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%1$)	38
Şekil 4.15: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%5$)	38
Şekil 4.16: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açık Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)	39
Şekil 4.17: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açık Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)	39
Şekil 4.18: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	40
Şekil 4.19: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	41
Şekil 4.20: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	41
Şekil 4.21: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	42
Şekil 4.22: Al ₂ O ₃ -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Aynı Hız ile Hareket Etmeleri Durumunda Isı Transferine Etkilerinin Karşılaştırılması	42
Şekil 4.23: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$)	43

Şekil 4.24: Suyun, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	44
Şekil 4.25: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)	44
Şekil 4.26: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)	45
Şekil 4.27: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)	45
Şekil 4.28: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)	46
Şekil 4.29: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)	46
Şekil 4.30: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)	47
Şekil 4.31: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)	47
Şekil 4.32: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)	48
Şekil 4.33: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	49
Şekil 4.34: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	49
Şekil 4.35: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	50
Şekil 4.36: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	50
Şekil 4.37: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)	51
Şekil 4.38: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)	52
Şekil 4.39: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)	52
Şekil 4.40: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)	53
Şekil 4.41: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)	53

Şekil 4.42: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	54
Şekil 4.43: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	55
Şekil 4.44: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	55
Şekil 4.45: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	56
Şekil 4.46: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde Basınç Değişimi (Pa) – Reynolds Sayısı Grafiği ($\alpha=0^\circ$)	57
Şekil 4.47: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Nanopartikül Hacimsel Oranlarında Basınç Değişimi (Pa) – Reynolds Sayısı Grafiği ($\alpha=0^\circ$)	57
Şekil 4.48: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Nanopartikül Hacimsel Oranlarında Basınç Değişimi (Pa) – Reynolds Sayısı Grafiği ($\alpha=0^\circ$)	58
Şekil 4.49: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	58
Şekil 4.50: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	59
Şekil 4.51: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	59
Şekil 4.52: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	60
Şekil 5.1: Suyun, Farklı Reynolds Sayılarında, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($q=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)	65
Şekil 5.2: Suyun, Farklı Reynolds Sayılarında, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)	66
Şekil 5.3: Suyun, Farklı Reynolds Sayılarında, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($q=800 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)	66
Şekil 5.4: Suyun, Farklı Isı Akıları ve Farklı Reynolds Sayılarında, Zorlanmış Taşınım Durumunda Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)	67
Şekil 5.5: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)	68
Şekil 5.6: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)	69

Şekil 5.7: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$).....	70
Şekil 5.8: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$).....	70
Şekil 5.9: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$).....	71
Şekil 5.10: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$).....	71
Şekil 5.11: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$).....	72
Şekil 5.12: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$).....	72
Şekil 5.13: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$).....	73
Şekil 5.14: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$).....	73
Şekil 5.15: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$).....	74
Şekil 5.16: Farklı Açılış Durumlarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)	75
Şekil 5.17: Farklı Açılış Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 1$)	75
Şekil 5.18: Farklı Açılış Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 5$)	76
Şekil 5.19: Farklı Açılış Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 1$)	76
Şekil 5.20: Farklı Açılış Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 5$)	77
Şekil 5.21: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)	78
Şekil 5.22: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)	78
Şekil 5.23: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)	79
Şekil 5.24: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)	79

Şekil 5.25: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$).....	80
Şekil 5.26: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$).....	81
Şekil 5.27: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=800 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$).....	81
Şekil 5.28: Farklı Isı Akıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Suyun Zorlanmış Taşınım Durumunda Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$).....	82
Şekil 5.29: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$).....	83
Şekil 5.30: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$).....	83
Şekil 5.31: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$).....	84
Şekil 5.32: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$).....	85
Şekil 5.33: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$).....	85
Şekil 5.34: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$).....	86
Şekil 5.35: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$).....	86
Şekil 5.36: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$).....	87
Şekil 5.37: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$).....	87
Şekil 5.38: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$).....	88
Şekil 5.39: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$).....	88
Şekil 5.40: Farklı Açılış Durumlarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$)	89
Şekil 5.41: Farklı Açılış Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\phi=\% 1$).....	90
Şekil 5.42: Farklı Açılış Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\phi=\% 5$).....	90

Şekil 5.43: Farklı Açı Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 1$).....	91
Şekil 5.44: Farklı Açı Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 5$).....	91
Şekil 5.45: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)	92
Şekil 5.46: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)	93
Şekil 5.47: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)	93
Şekil 5.48: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)	94
Şekil 5.49: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)	95
Şekil 5.50: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)	95
Şekil 5.51: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=800 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)	96
Şekil 5.52: Farklı Isı Akıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Suyun Zorlanmış Taşınım Durumunda Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)	97
Şekil 5.53: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$).....	98
Şekil 5.54: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$).....	98
Şekil 5.55: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$).....	99
Şekil 5.56: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$).....	100
Şekil 5.57: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$).....	100
Şekil 5.58: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$).....	101
Şekil 5.59: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$).....	101
Şekil 5.60: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$).....	102

Şekil 5.61: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$).....	102
Şekil 5.62: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$).....	103
Şekil 5.63: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$).....	103
Şekil 5.64: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)	104
Şekil 5.65: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)	105
Şekil 5.66: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)	105
Şekil 5.67: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)	106
Şekil 5.68: Farklı Isı Akılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Basınç Farkının Reynolds Sayısı ile Değişimi ($\alpha=0^\circ$).....	107

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Türkiye Toplam Birincil Enerji Arzı İçinde Kaynakların Miktarı ve Payı [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]	3
Tablo 1.2: Dünya Güneş Enerjisi Kapasitesi [Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012].....	6
Tablo 2.1: Ağ Analizi.....	21
Tablo 2.2: Ağ Kalitesi Sınıflandırması	22
Tablo 4.1: Su, Alüminyum-Oksit ve Bakırın Analizlerde Kullanılan Termofiziksel Özellikleri.....	29
Tablo 4.2: Kullanılan Nanopartiküllerin Hacimsel Oranına Göre Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	29
Tablo 4.3: Farklı Aç, Farklı Reynolds Sayısı ve Farklı Nanopartikül Oranlarındaki Nanoakışkanların Isı Transferinin Suya Göre Yüzdelik Artış Oranları ($q=700 \text{ W/m}^2$)	61
Tablo 4.4: Farklı Isı Akısı, Farklı Reynolds Sayısı ve Farklı Nanopartikül Oranlarındaki Nanoakışkanların Isı Transferinin Suya Göre Yüzdelik Artış Oranları ($\alpha=0^\circ$).....	62
Tablo 5.1: Farklı Aç Durumlarında Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Basınç Farklarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$) ..	108

TEŞEKKÜR

Sağlık, sıhhat ve hayatın tüm sıkıntılarına rağmen çalışma azmi veren Cenab-ı ALLAH'a şükrederim.

Dualarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Aileme;

Danışmanlığımı kabul ederek, Termodinamik Programı'nda doktora yapabilmeme vesile olan Prof. Dr. Yunus ÇERÇİ Hocam'a;

Adaleti, disiplini ve çalışma sistemiyle bizlere her zaman örnek olan Prof. Dr. Mehmet PAKDEMİRLİ Hocam'a;

Akademisyenliği bana sevdirecek akademisyen olmama vesile olan, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ve hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim Prof. Dr. Erdoğan ÖZKAYA Hocam'a, Prof. Dr. Hakan BOYACI Hocam'a ve Doç. Dr. N. Sinan KÖKSAL Hocam'a;

Hem hayatla ilgili hem de akademisyenlikle ilgili tecrübelerini her zaman samimiyetle aktaran Doç. Dr. Mehmet ÇEVİK Hocam'a;

Her zaman yanımda olan kıymetli arkadaşlarım Araş. Gör. Saim KURAL'a, Öğr. Gör. Mehmet Bahattin AKGÜL'e ve Araş. Gör. Mehmet AYVAZ'a;

teşekkür ederim.

ÖZET

**NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

Akışkan olarak su bazlı nanoakışkanların kullanıldığı tipik bir düzlemsel güneş kolektöründe ısı transferinin sayısal analizi yapılmıştır. % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında Al_2O_3 ile Cu nanopartiküllerini içeren su bazlı nanoakışkanların ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. Farklı ısı akıları, farklı Reynolds sayıları ve farklı kolektör açıları için analizler yapılmıştır. Düzlemsel güneş kolektörünün geometrisi basitleştirilmiştir ve akışkan taşıyan bir boru ile bir yutucu plakanın simetrisi matematiksel olarak modellenmiştir. Matematiksel modelimiz geçmişte yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Uygun ağ yapısını belirleyebilmek için ağ analizi yapılmıştır. Sayısal çözümler FLUENT programı aracılığıyla sonlu hacimler metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde akışkan ile çevresi arasındaki ısı transferi iki farklı taşınım durumu için incelenmiştir. Bunlardan birisi karışık taşınım diğeri de zorlanmış taşınımdır. Karışık taşınım da zorlanmış taşınım ve doğal taşınım etkileri birlikte görülmektedir. Nanoakışkanlar su ile karşılaştırıldığında ısı transferinde yaklaşık % 1 ile % 8 arasında değişen artışlar görülmüştür. Doğal taşınımın etkilerini görebilmek için karışık taşınım ile zorlanmış taşınım sonuçları karşılaştırılmıştır. Doğal taşınım etkilerinin ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Düzlemsel Güneş Kolektörü, Nanoakışkan, Sonlu Hacimler Metodu, Karışık Taşınım, Zorlanmış Taşınım, Doğal Taşınım Etkileri

ABSTRACT**NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR
WITH NANOFLUIDS**

Heat transfer aspects of a typical flat-plate solar collector utilizing water-based nanofluids as the working fluid were analyzed numerically. Water-based nanofluids of various compositions containing metallic Al_2O_3 and Cu nanoparticles with volume fractions ranging from 1% to 5% were examined, and the effects of the nanofluids on the heat transfer were quantified. Relevant parameters such as the heat flux, the Reynolds number, and the collector tilt angle were calculated and compared to each other at different boundary conditions. The flat-plate solar collector geometry was simplified, and only a fluid carrying pipe with an absorber surface was chosen as a numerical model with a particular attention to symmetry, instead of taking the entire collector geometry. The numerical model was controlled and confirmed by applying it to similar studies existing in the pertinent literature. All numerical solutions were carried out by using a commercial finite volume software package called ANSYS Fluent. Two schemes of the heat transfer taking place between the fluid and the surrounding surface were employed in the analysis. One is the mixed convection and the other is the forced convection. Both convection schemes were performed under the same boundary conditions to better understand the effects of the convection. The results show that the nanofluids increase the heat transfer rate ranging from 1% to 8%, when compared to water as a working fluid. The mixed convection was compared to the forced convection to understand the effects of the natural convection. It can be seen from the results that the natural convection effects are too important to be neglected.

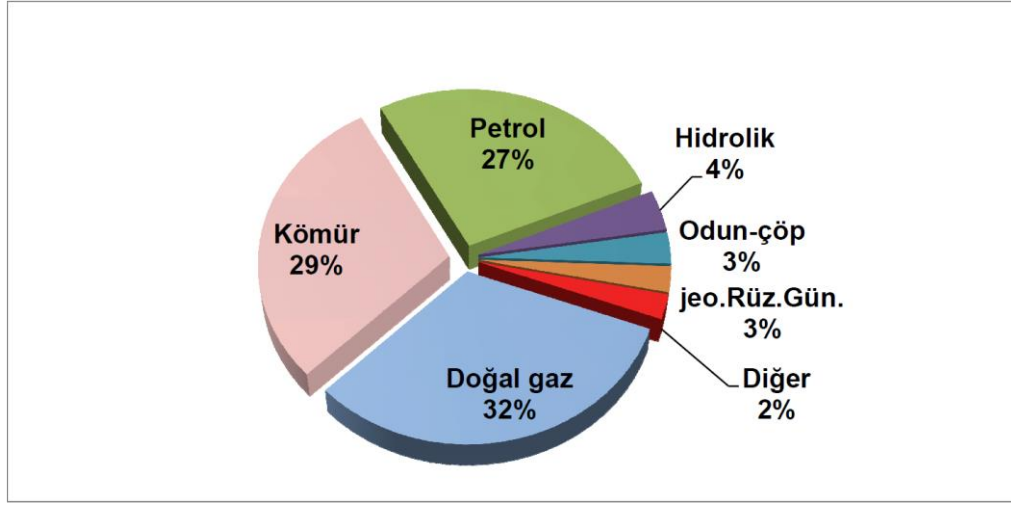
Keywords: Flat-Plate Solar Collector, Nanofluid, Finite Volume Method, Mixed Convection, Forced Convection, Natural Convection Effects

1. GİRİŞ

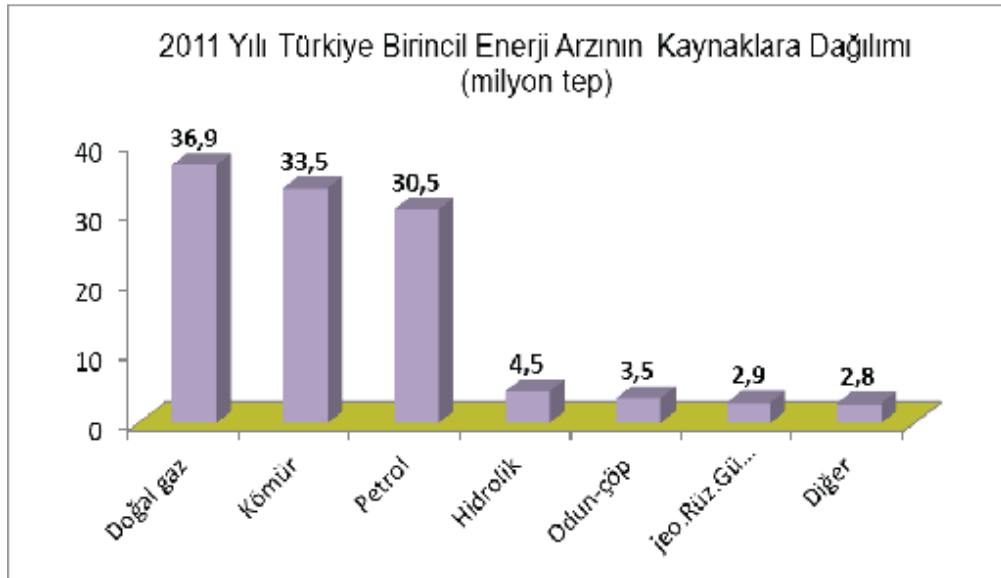
Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın en büyük etkenlerinden birisidir. Yaşam standartlarını yükseltebilmek için önemli bir etkisi vardır. Diğer bir ifadeyle yaşam standartları yükseldikçe enerjiye ihtiyaç artmakta ve enerji tüketimi de böylece artmaktadır. Kalkınma için yeterli enerjiye sahip olmak gerekmektedir. Sürdürülebilir kalkınma için de kendi enerji kaynaklarımıza sahip olmamız ve bu kaynaklardan kendi enerjimizi kendimiz kullanılabılır hale getirmeliyiz. Enerji de dışa bağımlılık arttıkça kalkınmadan ve bağımsızlıktan söz etmek anlamsızdır.

Enerjinin ne kadar önemli olduğunu bugün insanların katledilme sebeplerinden birisi olduğunu görerek daha iyi anlayabiliriz. Çatışmaların kaynağı dini ve siyasi olduğu kadar ekonomiktir. Çin Devleti tarafından katledilen Uygur Türklerinin devleti olan Doğu Türkistan, yeraltı kaynakları bakımından oldukça zengindir. Bu katliamların bir sebebi de Doğu Türkistan'ın bu kaynaklarıdır. Çin'in kullandığı madenlerin % 85'i Doğu Türkistan'daki maden ocaklarından çıkartılmaktadır. Sekiz milyar ton petrol rezervi olan Doğu Türkistan'dan her yıl on milyon ton petrol Çin'e taşınmaktadır. Çin'in kullandığı kömür rezervinin yarısı Doğu Türkistan'dadır. Doğal gaz, altın ve daha birçok kaynağa sahip olan Doğu Türkistanlılar katledilirken, petrol tesislerinde çalışanların % 99'unu, sanayi kuruluşlarında çalışanlarında % 90'ını Çinliler oluşturmaktadır. Irak'ta da Musul ve Kerküklü Türkmenler, Uygur Türklerinin yaşadıklarına benzer durumu yaşamaktadırlar. Dünya petrol rezervinin % 2'sine sahip olan Kerkük'te Türkmen varlığı istenilmemektedir. Doğu Türkistan'da, Musul'da, Kerkük'te ve daha birçok yerde ezilen, katledilen, zulüm gören insanların Türkiye'den beklentileri çok fazladır. Güçlü bir Türkiye için; kendi enerjisini, kendi kaynaklarından, kendisi üreten bir Türkiye olmalıdır.

Türkiye'nin 2011 yılındaki toplam birincil enerji arzı ise 114,5 milyon tep'dir. Bu arzın kaynaklara dağılımında ilk sırayı 36,9 milyon tep ve toplam arzın %32 oranı ile doğal gaz alır. Doğalgazı 33,5 milyon tep ve %29 ile kömür, 30,4 milyon tep ve %27 ile petrol, 4,5 milyon tep ve %4 ile hidrolik, 3,4 milyon tep ve %3 ile odun, hayvan ve bitki artıkları ve 2,9 milyon tep ve %3 oranı ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar izlemiştir. (Şekil1.1., Şekil 1.2.). [Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2012]

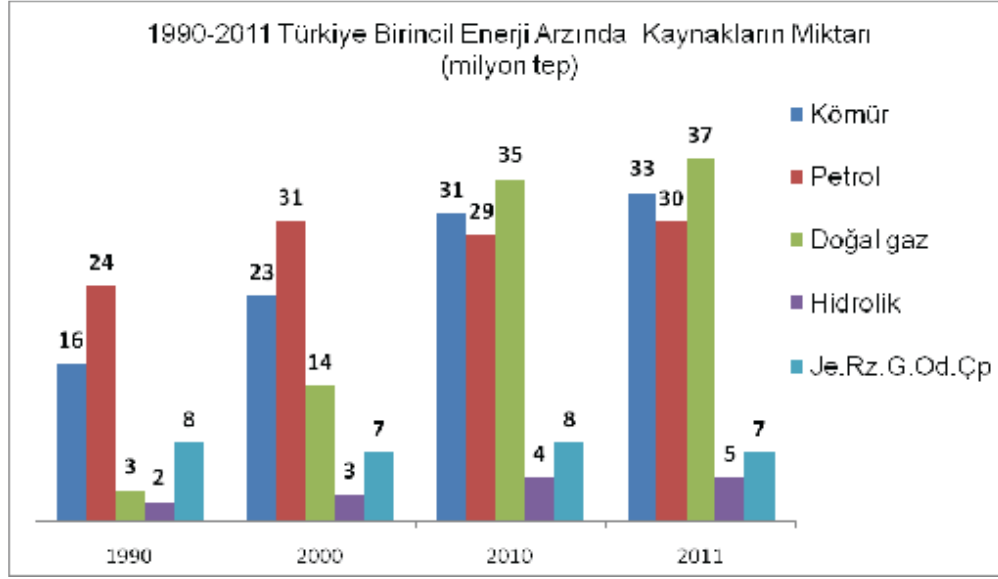


Şekil 1.1: 2011 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]



Şekil 1.2: 2011 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Miktarı
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]

Şekil 1.3 ve Tablo 1.1'den de görüleceği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının 1990 yılındaki oranı %1 iken, 2011 yılında %3'e yükselmiştir. Ancak bu oran, dünya ortalamasının altındadır.



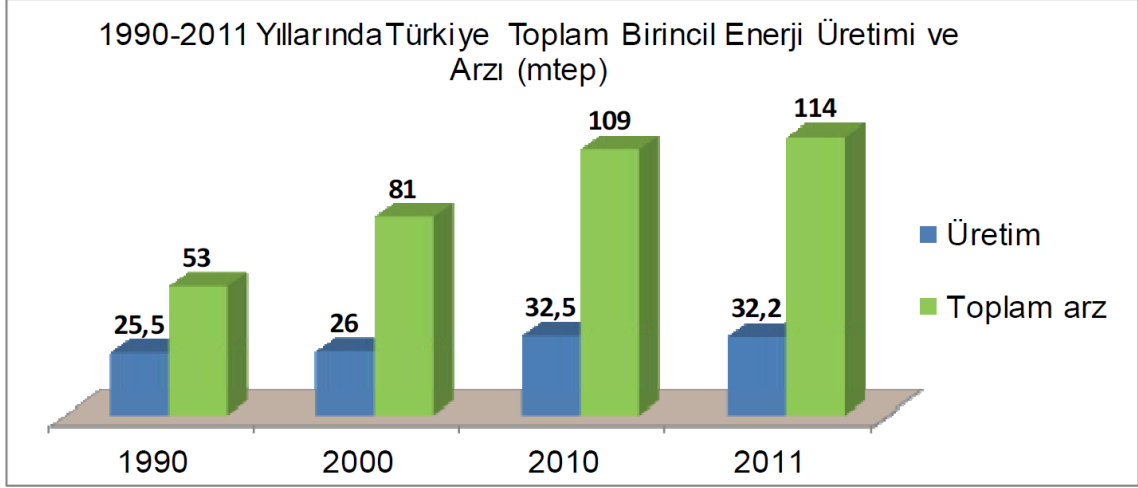
Şekil 1.3: 1990-2011 Yılları Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Miktarı
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]

Tablo 1.1: Türkiye Toplam Birincil Enerji Arzı İçinde Kaynakların Miktarı ve Payı
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]

Yıllar		1990	2000	2010	2011
Kömür	bintep	16110	22919	31324	33488
	%	30	28	29	29
Petrol	bintep	23901	30553	29211	30499
	%	45	38	27	27
Doğalgaz	bintep	3110	13729	34907	36909
	%	6	17	32	32
Hidrolik	bintep	1991	2656	4454	4501
	%	4	3	4	4
Odun,çöp,v.b.	mttep	7208	6457	4558	3537
	%	14	8	4	3
Jeotermal, Güneş,Rüzgar	bintep	461	978	2649	3096
	%	1	1	2	3
Diğer	bintep	278	3208	2163	2460
	%		4	2	2
TOPLAM BİRİNCİL ENERJİ	bintep	52987	80500	109266	114490
	%	100	100	100	100

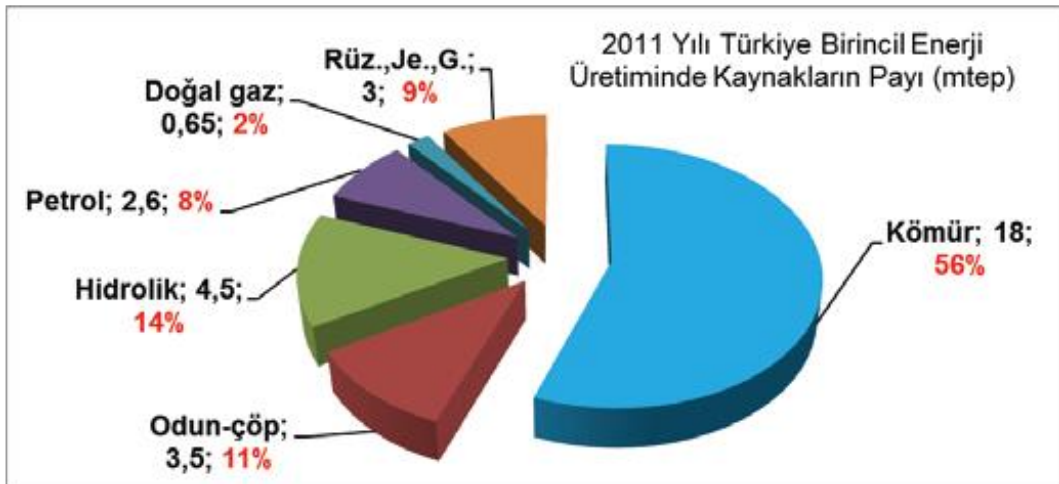
1990-2011 yılları arasındaki yirmi bir yılda toplam birincil enerji üretimi, %26 oranında artarak 25,5 mtep'ten 32,2 mtep düzeyine yükselmiştir. Bu dönemdeki toplam birincil enerji arzı ise %115 artmıştır. Üretimin toplam birincil enerji arzını karşılama oranı ise 1990 yılında %48

iken geçen yirmi bir yılda %28 oranına inmiştir (Şekil 1.4). [Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2012]



Şekil 1.4: 1990-2011 Yıllarında Türkiye Toplam Birincil Enerji Üretimi ve Arzı
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]

2011 yılı toplam Türkiye birincil enerji üretimi 32,2 milyon tep olurken, üretimin 18 milyon tep ve %56 ile yarıdan fazlasını kömür üretimi oluşturmuştur. Kömürü, 4,5milyon tep ve %14 oranı ile hidrolik, 3,5 mtep ve %11 ile odun, çöp, hayvan atıkları, 3 milyon tep ve %9 payı ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, 2,6 milyon tep ile petrol ve 0,6 milyon tep ile doğal gaz izlemiştir (Şekil 1.5). [Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2012]



Şekil 1.5: Türkiye Birincil Enerji Üretiminde Kaynakların Payı
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]

1990-2010 dönemindeki gelişmeler dikkate alınarak mevcut politikalara göre 2035 yılında 2010 yılına göre; Dünya'daki toplam birincil enerji arzı %47 oranında artacağı hesaplanırken Türkiye'de toplam birincil enerji arzının %117 artacağı hesaplanmıştır. Bu değerleri Dünya'nın ilk onunda olmayı hedefleyen bir ülke için son derece olumlu değerler olarak görmek gerekir. Ancak 1990-2011 yılları arasındaki 21 yıl incelendiğinde; enerjide dışa bağımlılık 1990'da %52, 2000 yılında %68 iken 2011 yılında %72 olmuştur. Enerjide dışa bağımlılık giderek artmaktadır, bu durum önemli bir risk oluşturmaktadır. Türkiye'nin son derece hassas bir coğrafyada bulunması enerjide dışa bağımlılığının, en kısa sürede mümkün olduğu kadar azaltılmasını gerektirmektedir. [Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2012 ve Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, TÜRKİYE Enerji Verileri, 2012]

Enerji de dışa bağımlılığı azaltabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla önem verilmelidir. Kömür madenimiz enerji açığımızı azaltmada çok önemli bir rol oynamaktadır, kendi madenimiz olan kömüre olan yatırımları arttırarak, enerjide dışa bağımlılığımız azaltılabilir. Ayrıca dışa bağımlılığı azaltmak ve daha güçlü bir devlet olabilmemiz için nükleer enerji santrallerimizin yapımını hızlı bir şekilde tamamlayıp, üretime geçirmeliyiz.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, elektrik üretiminde ve sıcak su üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemiz coğrafi konumu gereği güneş enerjisinden fazlasıyla yararlanabilecek durumdadır. Ancak; bizden daha az güneş alan ülkelerde dahi bizden çok daha yaygın olarak güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Tablo 1.2'de ülkelerin kullandıkları güneş enerjisi kapasiteleri sıralanmıştır ve maalesef Ülkemiz yirmi-dokuzuncu sırada yer almaktadır.

Tablo 1.2: Dünya Güneş Enerjisi Kapasitesi
[Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012]

ÜLKE	Miktar (Megawatt)	Dünya toplamındaki payı (%)	SIRA
Almanya	17320,0	43,5%	1
İspanya	3892,0	9,8%	2
Japonya	3617,2	9,1%	3
İtalya	3502,3	8,8%	4
ABD	2519,6	6,3%	5
Çek Cumhuriyeti	1953,0	4,9%	6
Fransa	1025,0	2,6%	7
Çin	893,0	2,2%	8
Belçika	803,0	2,0%	9
Güney Kore	572,9	1,4%	10
Avustralya	503,6	1,3%	11
Yunanistan	206,0	0,5%	12
Kanada	199,6	0,5%	13
Hindistan	189,0	0,5%	14
Slovakya	145,0	0,4%	15
Portekiz	130,8	0,3%	16
Avusturya	102,6	0,3%	17
İsviçre	100,0	0,3%	18
Hollanda	96,9	0,2%	19
Büyük Britanya	71,5	0,2%	20
İsrail	61,0	0,2%	21
Meksika	28,0	0,1%	22
Bulgaristan	17,7	0,0%	23
Malezya	14,6	0,0%	24
İsveç	10,1	0,0%	25
Norveç	9,2	0,0%	26
Danimarka	7,1	0,0%	27
Finlandiya	6,9	0,0%	28
Türkiye	6,0	0,0%	29

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde ısı transferini arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Geniş bir uygulama alanı olan düz toplayıcıların kullanıldığı güneş enerjisi sistemlerinin verimlerinin iyileştirilmesi için de birçok araştırma yapılmıştır. Sistem verimini en fazla güneş ışınımının ısı taşıyıcı akışkana aktarıldığı toplayıcıdaki ısı geçişi etkilemektedir. Bu ısı geçişi toplayıcıya bağlı olduğu kadar içerisindeki akışkana da bağlıdır. Bu çalışmada da taşıyıcı boruda nanoakışkan kullanılması durumunda bu ısı geçişinin nasıl etkilendiğinin sayısal analizi yapılmıştır.

1.1 Güneş Enerjisi ve Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Dünya'daki tüm enerji kaynakları doğrudan veya dolaylı olarak güneş kaynaklıdır. Fosil yakıtların yaşam döngüsü, su ve azot döngüsü, dalga ve rüzgâr enerjisi gibi tüm enerji kaynakları güneşe bağımlıdır. Güneş'in çekirdek sıcaklığı 15,6 milyon °C iken yüzey sıcaklığı 5500 °C derece civarındadır. Güneş yüzeyinde gerçekleşen çekirdek tepkimeleri sonucu ısı ve ışık olarak iki farklı enerji çeşidi güneşten yayılarak dünyamıza ulaşır. Dünya yüzeyine ulaşan enerji potansiyeli diğer enerji kaynaklarından kat kat fazladır. [Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2012.]

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de Güneş Enerjisidir. Güneş enerjisi; temiz olması, düşük CO₂ emisyonlarına sahip olması, kokusu ve gürültüsü olmadığı için enerjiye gereksinim duyulan her yerde kullanılabilmesi sebebiyle evsel ve ticari kullanımda önemli bir alternatif oluşturmaktadır. En temel ve yaygın kullanımı, evlerde sıcak su gereksinimini karşılama amaçlıdır. Güneş enerjisi toplayıcıları (kollektörleri) aracılığıyla güneş ışınım enerjisi faydalı ısı enerjisiye dönüştürülerek kullanılmaktadır. Güneş enerjisi toplayıcıları; düzlemsel ve vakum tüplü olmak üzere iki tip olarak üretilirler.

Düzlemsel güneş kollektörleri; akışkan sıcaklığının 100°C'nin altında olmasının istendiği durumlarda kullanılırlar.

Vakum tüplü güneş kollektörleri ise iç içe geçmiş iki adet silindirik cam tüpün ısı yolu ile birbirine bağlanması ve bu işlem sırasında arasındaki havanın alınması ile üretilir. Dış silindirik tüpün yüzeyine düşen güneş ışınları aradaki havasız ortamdan geçerek iç kısımdaki silindirik tüpün yüzeyinde yutulması ile çalışır. Arada madde olmadığından dolayı sadece ışıma ile ısınan sistem suyu, dış hava sıcaklığından bağımsızdır.

Bir kollektörde aranan özellikler;

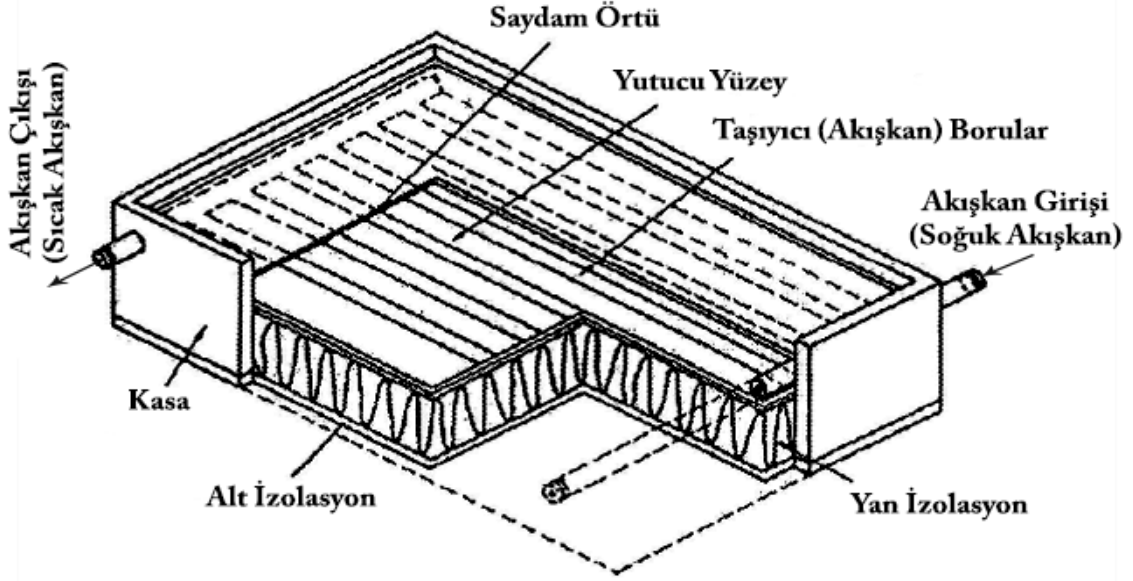
- Maksimum verime sahip olmalı,
- İyi izole edilmiş olup ısı kayıpları çok az olmalı,
- Hafif ve pratik olmalı,
- Ortam ve kullanım şartlarına dayanıklı olmalı,
- Montaj ve işletme işçiliği az olmalı,
- Montaj ve işletme masrafları az olmalıdır.

Su ve hava gibi akışkanların güneş enerjisinden yararlanarak ısıtılmasında kullanılan güneş enerjisi kollektörleri aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- Üst Örtü (Cam, plastik vs.)
- Yutucu Plaka (Bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, plastik vs.)

- Taşıma Kanalları (Akışkan Boruları) (Bakır, alüminyum vs.)
- Dış Kasa (Alüminyum, galvaniz sac, PVC vs.)
- İzolasyon Malzemesi (Cam yünü, strafor, poliüretan vs.)

Şekil 1.1'de sıvılı bir düzlemsel güneş kollektörünü oluşturan elemanlar gösterilmektedir.



Şekil 1.6: Sıvılı Düzlemsel Güneş Kollektörünün Kesiti

Güneş kollektörlerinin önemli parçalarından bir tanesi de yutucu plakalardır. Yutucu plakalar genellikle bakır, paslanmaz çelik, plastik ve alüminyumdan yapılırlar. Yüzeyleri, güneş ışınımını çok iyi yutan ve yayıcılığı çok az olan seçici yüzey olarak adlandırılan tabakalarla kaplıdır.

Yutucu plakalar; aldıkları enerjiyi, içlerindeki borulardan geçen akışkana vererek, akışkanın sıcaklığını artırırlar. Sıcaklığı artan akışkan ise, kullanım amacına uygun olarak ya depolanıp kullanılır ya da çevrime geri gönderilir. Akışkan boruları da (taşıma kanalları) yutucu plakanın üstünde, ortasında veya altında imal edilmektedir. Sistemin daha verimli çalışabilmesi için yutucu plakalar ile akışkan borularının aynı malzemeden yapılmasında fayda vardır. Husain (1990) yapmış olduğu çalışmada en yüksek verimin bakırdan yapılmış ve taşıma kanalları ortada bulunan yutucu plakada olduğunu öne sürmüştür.

Yutucu plakanın aldığı enerjinin büyük bir kısmını akışkan borularına aktarması sebebiyle borularda dolaşan akışkanın ısı taşınım katsayısının yüksek olması sistemin verimini arttıracaktır. Kollektör verimliliğini arttırmak için kullanılan geleneksel yöntemlerden farklı

olarak, normal akışkandan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olan nanoakışkanlar, güneş kolektörlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Yousefi ve diğerleri (2012) yaptıkları deneysel çalışmada Al_2O_3 -Su nanoakışkanının, düzlemsel güneş kolektörün de kullanımını ve verim üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ağırlıkça oranı % 0,2 olarak hazırlanan Al_2O_3 -Su nanoakışkanı ısı verimi suya göre % 28,2 oranında arttırdığını belirtmişlerdir. Yousefi ve diğerleri (2012) düzlemsel güneş kolektörlerinde, ÇKKNT (çok katlı karbon nanotüp)-Su nanoakışkanının verimliliğe etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Ağırlıkça oranın % 0,2'den % 0,4'e arttırıldığında sistemin verimliliğinin arttığı gösterilmiştir. Yousefi ve diğerleri (2012) yapmış oldukları başka bir çalışmada; düzlemsel güneş kolektörlerinde ÇKKNT-Su nanoakışkanının pH değişiminin verime etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler ağırlıkça % 0,2 oranında farklı pH değerleri için gerçekleştirilmiştir. Deneyde, pH değeri arttırılmak ve azaltılmak suretiyle nanoakışkanının olumlu etkisi gösterilmiştir. Lu ve diğerleri (2011) vakumlu boru tipi güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı performans üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada CuO-Su nanoakışkanı kullanılmış ve ısı performansında su kullanımına göre iyileşme sağlanmıştır. En uygun sonuç, nanopartiküllerin % 1,2 kütle oranında elde edilmiştir. Liu ve diğerleri (2013) vakumlu boru tipi havalı güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada CuO-Su nanoakışkanı kullanılmıştır.

1.2 Nanoakışkanlarda Isı Transferi

Endüstriyel gelişmeler ile birlikte enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır, bu sebeple ısı transferini iyileştirmek amaçlı çalışmalar hızla devam etmektedir. Isı transferini iyileştirme yöntemlerini aktif, pasif ve karma olmak üzere üç ana başlık altında toplayabiliriz. Aktif yöntemler; dışarıdan bir güç kaynağı kullanılarak ısı transferinde artış sağlamaya çalışılan yöntemlerdir. Bu yöntemlere örnek olarak; akışkan ve yüzey titreşimi, enjeksiyon ve emme, akışkanın karıştırılması, jet akışı, elektrostatik alan oluşturma ve yüzeyin döndürülmesi verilebilir. Pasif yöntemler ise dışarıdan herhangi bir ilave enerji vermeden ısı transferinde iyileşme sağlayan yöntemlerdir. Pürüzlü, işlenmiş ve genişletilmiş yüzeyler ile akışkan içine yapılan ilave katkılar ısı transferini pasif yöntemler ile iyileştirmeye yönelik çalışmalardır. Karma yöntemler ise aktif ve pasif yöntemlerin birlikte kullanılarak ısı transferinde iyileşme sağlayan yöntemlerdir.

Isı transferi akışkanları olarak; su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılmaktadır. Bilindiği gibi katı metallerin ısı iletkenlikleri temel akışkanın ısı iletkenliğinden daha iyidir. Bu yüzden temel akışkanın ısı iletkenliğini iyileştirmek için pasif iyileştirme yöntemi olan temel akışkan içine katı partiküller katılır. Temel akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarında katı metal parçacıkların katılması fikrini ilk olarak Maxwell (1873, 1904) önermiştir. Milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerinin katılmasıyla oluşturulan akışkanın ısı iletkenliğinde artış meydana gelir. Ancak; bu tür karışımlar daha az kararlı yapıda olduklarından çökmeye ve mikro kanalların tıkanmasına sebep olduğundan dolayı aşınmaya ve basınç kaybına sebep olur. Bu sebeple bu tür akışkanlar tercih edilmemiştir.

Ayrıca; iki fazlı karışımlar için ısı iletkenlik katsayıları için değişik modeller kullanılmıştır. Bu modellerden bazıları Bruggeman (1935), Hamilton ve Crosser (1962), Wasp (1977) ve Wang ve diğerleri (2003) tarafından geliştirilen modellerdir. Bu modeller klasik modeller olarak adlandırılmaktadır. Bu modeller tarafından belirlenen ısı iletkenlik katsayıları genellikle deneysel sonuçlardan daha düşük bulunmuştur.

Malzeme bilimindeki ve modern üretim tekniklerindeki gelişmeler sayesinde nanometre boyutlarında partiküller üretilmiş ve temel akışkan içine partikül katılmaya tekrar başlanmıştır. Bu nanometre ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) boyutlarındaki partiküller nanopartikül olarak adlandırılmaktadır. Nanopartikül olarak genellikle bakır, gümüş, alüminyum oksit, bakır oksit ve titanyum oksit kullanılmaktadır. Lee ve diğerleri (1999) nanopartiküllerin; mekanik aşındırma, gaz yoğunlaştırma ve kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemlerinden birisiyle üretilebileceğini belirtmişlerdir. Choi (1995) tarafından Argonne National Laboratory'de nanopartiküller temel akışkan içerisine karıştırılarak üretilen bu yeni akışkana nanoakışkan denilmiştir. Üretilen bu nanoakışkanlar ısı özelliklerinde iyileşme meydana getirmiştir. Ayrıca; nanoakışkanlar da milimetre ve mikrometre

boyutlardaki partiküllerin katılmasıyla oluşturulan akışkanlardaki gibi çökelme meydana gelmemekte ve basınç kaybı olmamaktadır. Ortalama çapı 10 nm'den daha küçük ve yaklaşık olarak % 30 civarında Cu nanopartiküllerinden oluşan Cu-Etilen Glikol nanoakışkanının etkin ısı iletkenliği % 40'a kadar artış göstermektedir.

Wang ve Mujumdar (2007) temel akışkana karıştırılan nanopartiküllerin akışkanın ısı transferi karakteristiğini ve taşınım özelliğini önemli bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir.

Xuan ve Li (2000), temel akışkan içerisine katılan nanopartiküllerin akışkanın ısı transferi kabiliyetinin iyileşmesine sebep olan fiziksel olayları şu şekilde sıralamışlardır:

- Temel akışkan içerisine katılan nanopartiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırır.
- Nanopartiküller, akışkanın etkin ısı kapasitesini artırır.
- Nanopartiküller arasında ki çarpışmalar ve etkileşimler akışkanın ve akış geçidinin yüzey alanının artmasına sebep olur.
- Akışkanın çalkantıları ile türbülans şiddeti artar.
- Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine sebep olur.

Nanopartiküllerin üretilmesinden sonraki en önemli aşama nanoakışkanların hazırlanması aşamasıdır. Nanoakışkanların hazırlanma aşaması akışkanın ısı transferi kabiliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Nanoakışkanların hazırlanmasına yönelik en kapsamlı çalışma Xuan ve Li (2000) tarafından yapılmıştır. Bu durumda nanoakışkan hazırlanırken kullanılan üç çeşit yöntem vardır;

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

Bu yöntemlerin amacı; ilave edilen partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmek ve kararlı bir karışım elde etmek için partikül kümelenmesini engellemektir.

Lee ve diğerleri (1999) CuO ve Al₂O₃ nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanların su veya etilen glikolün ısı iletkenliğini arttırdığını göstermişlerdir. Ortalama 40 nm çapa sahip nanopartiküllerin oluşturduğu nanoakışkanın temel akışkana göre ısı iletkenliğinde artışın % 10'dan daha az olduğunu belirtmişlerdir. Masuda ve diğerleri (1993) çalışmalarında % 4,3 oranında, ortalama 13 nm çapa sahip Al₂O₃ nanopartikülü kullanarak oluşturulan nanoakışkanın ısı iletkenliği suya göre % 30 civarında artış göstermiştir. Koblinski ve diğerleri (2002) çalışmalarında nanoakışkan ısı transferi artışını etkileyen dört durum tespit etmişlerdir. Bunlar; parçacıkların Brownian hareketi, sıvı-partikül ara yüzeyindeki moleküler seviyede tabakalaşma, nanopartiküllerin ısı aktarımı ve nanopartiküllerin kümelenmesidir. Xuan ve Li

(2003) nanoakışkanların etkin ısı iletkenlikleri üzerindeki; Brownian hareketinin ve nanopartiküllerin kendi aralarında toplanıp, kümelenmesinin etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmalar sonucunda; Maxwell denkleminde iyileştirme yapmışlar ve ısı iletkenlik için yeni bir ifade geliştirmişlerdir. Koo ve Kleinstreuer (2005) yaptıkları çalışmada; nanoakışkanların ısı iletkenliği için partikül boyutu, nanopartiküllerin hacimsel oranı, Brownian hareketi ve sıcaklığın etkilerini içeren yeni bir ifade bulmuşlardır. Wang ve diğerleri (1999) yaptıkları çalışmada; nanopartikül kümeleri ile sıvı molekülleri ara yüzeyinde ki tabakalaşma etkisinin, ısı transferini olumlu yönde etkileyeceğini belirtmişlerdir. Choi ve diğerleri (2001), nanotüp-yağ karışımlarında ısı iletkenliğin çok büyük ölçüde arttığını ve bu artışı ifade etmekte klasik denklemlerin başarısız kaldığını belirtmişlerdir. Xuan ve diğerleri (2004) ile Xue (2003), etkin ısı iletkenlik değerini tahmin etmek için teorik modeller oluşturmuşlardır. Ancak; deneysel sonuçları karşılama da bu teorik modeller yetersiz kalmıştır. Deneysel çalışmalara göre klasik teorik modellerin (Maxwell ve Hamilton-Crosser) nanoakışkanların ısı iletkenliklerini ifade etmede yetersiz kalmasının nedeni; nanometre boyutlarında partikül ve temel akışkan arasındaki etkileşim oldukça önemli olmasına rağmen bu etkinin dikkate alınmamasıdır. Bu durumu açıklamak için örnekleri çoğaltabiliriz. Murshed ve diğerleri (2005) TiO_2 -Su nanoakışkanın ısı iletkenliğini deneysel olarak belirleyip, buldukları sonuçları da Hamilton-Crosser denkleminde elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında ısı iletkenlik değerinde suya göre %30'luk bir artış sağlamışlardır. Deneysel sonuçlardan elde ettikleri bu artış, Hamilton-Crosser denkleminde elde ettikleri artıştan çok daha yüksektir. Murshed ve diğerleri (2008) nanoakışkanların etkin ısı iletkenliğinin ve viskozitesinin artışının, nanopartikül hacimsel oranına önemli ölçüde bağlı olduğunu ve sıcaklıkla nanoakışkanların etkin ısı iletkenliği arasında doğrusal bir artış olduğunu da belirtmişlerdir. Ancak; buldukları deneysel sonuçlardaki artış, Maxwell ve Hamilton-Crosser denklemlerinin ifade etmekte yetersiz kaldıkları sonucuna varmışlardır. Murshed ve diğerleri (2009), nanoakışkanların etkin ısı iletkenliklerini belirlemek için kombine bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin deneysel sonuçlar ile oldukça iyi bir uyum sağladığı belirtilmektedir. Aynı zaman da klasik ve yeni geliştirilen teorik modellere göre çok daha iyi sonuç verdiği de ifade edilmektedir. Klasik modellere alternatif olarak Yu ve Choi (2003) tarafından birçok deneysel sonuçlar ile karşılaştırarak başarılı oldukları bir model önerilmiştir. Bu model de; nanopartiküller ile temel akışkan ara yüzeyindeki moleküler tabakalaşma kavramını kullanarak, Maxwell denkleminde iyileştirme yapmışlardır. Böylece; etkin ısı iletkenlik katsayısını başarılı bir şekilde elde ettikleri yeni bir ifade bulmuşlardır. Chon ve diğerleri (2005) yaptıkları deneysel çalışma sonuçlarına Buckingham-Pi teoremini uygulamışlardır ve Al_2O_3 nanopartikülleri ile oluşturulmuş nanoakışkanların, etkin ısı iletkenliği için ampirik bir bağıntı elde etmişlerdir.

İki fazlı karışımlara önerilmiş olan modeller kullanılarak, nanoakışkanların etkin mutlak viskozitesi belirlenebilmektedir. Katı küresel partiküller içeren süspansiyonların etkin

viskozitesini veren ilk ifade Einstein (1906) tarafından geliştirilmiştir. % 2'den daha küçük hacimsel oranlar için geçerli olan bu model de, viskozite partikül hacimsel oranı ile doğrusal bir şekilde değişmektedir. Brinkman (1952) yüksek hacimsel oranlar için de kullanılabilecek olan yeni bir model geliştirmiştir. Lundgren (1972) yapmış olduğu çalışmada karışımın viskozitesini hacimsel oranın bir fonksiyonu olarak ele almış ve Taylor serisine açarak, yeni bir model oluşturmuştur. Tseng ve Lin (2003) TiO_2 -Su nanoakışkanını kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmanın verilerini kullanarak, viskozite için yeni bir ifade türetmişlerdir. Maiga ve diğerleri (2005) ise geçmişte yapılmış olan deneysel çalışmaların verilerine eğri uydurma yöntemini uygulamış ve Al_2O_3 -Su nanoakışkanına özel bir viskozite ifadesi oluşturmuşlardır. Chen ve diğerleri (2007) TiO_2 -Etilen Glikol nanoakışkanını kullanarak yaptıkları deneysel çalışmanın verilerinden faydalananarak yeni bir ifade önermişlerdir.

Nanoakışkanın viskozitesi; nanopartikülün hacimsel oranı arttıkça ve nanopartikülün boyutu azaldıkça artmaktadır (Murshed ve diğerleri, 2008, Nguyen ve diğerleri, 2008, Lu ve Fan, 2008, Das ve diğerleri, 2003, ve Putra ve diğerleri, 2003).

Maiga ve diğerleri (2004) düzgün olarak ısıtılmış bir boruda nanoakışkanların ısı transferini incelemişlerdir. Bu çalışmada nanoakışkan olarak; Al_2O_3 -Su ve Al_2O_3 -Etilen Glikol nanoakışkanları kullanılmıştır. Nanopartiküllerin hacimsel oranı arttıkça, laminar ve türbülanslı akış bölgelerinin her ikisinde de ısı transferinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte sürtünme katsayısının da önemli ölçüde arttığını not etmişlerdir. Wen ve Ding (2004) yapmış oldukları deneysel çalışmada; Reynolds sayısı ve nanopartikül hacimsel oranının artması ile taşınım ısı transferinin önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir. Heris ve diğerleri (2006) yaptıkları çalışmada; sabit duvar sıcaklığında ki bir boruda laminar akış gösteren Al_2O_3 nanoakışkanlarının taşınım ısı transferini incelemişlerdir. Nanopartikül hacimsel oranı arttıkça ısı transferinde önemli bir artışın meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Bulunan sonuçların klasik ısı transfer katsayısı ifadelerinden elde edilen değerlerden daha iyi olduğunu da belirtmişlerdir. Akbari ve diğerleri (2008) sabit ısı akısı altındaki yatay ve eğimli borularda nanoakışkanın tam gelişmiş bölgede ki karışık taşınım analizini nümerik olarak yapmışlardır. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; nanopartikül hacimsel oranının hidrokinamik akış parametrelerinin üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. % 4 nanopartikül hacimsel oranı için ısı transfer katsayısının % 15 arttığını bildirmişlerdir. Sürtünme katsayısının boru eğimi arttıkça arttığını, ancak ısı transfer katsayısının 45° eğim açısında en fazla olduğunu açıklamışlardır. Hwang ve diğerleri (2009) Al_2O_3 nanoakışkanlarının tam gelişmiş laminar akış bölgesinde taşınım ısı transferini incelemişlerdir. Nanopartikül hacimsel oranı % 0,3 olması durumunda ısı transfer katsayısında % 8'e kadar bir artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Mansour ve diğerleri (2011) sabit ısı akısına maruz eğimli bir borudaki Al_2O_3 -Su nanoakışkanının karışık taşınım durumunu

deneysel olarak incelemişlerdir. Nanopartikül hacimsel oranının % 0'dan % 4'e artmasıyla ısı transferinde küçük bir azalmanın gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Nanoakışkanlarda taşınım ile ısı transferi; tek ve iki fazlı yaklaşım kullanılarak modellenenir. Tek fazlı yaklaşımda; temel akışkanın ve nanopartiküllerin ısı ve hidrodynamic dengede oldukları varsayılır. Bu yaklaşım basit ve çözüm için daha az hesaplama zamanı gerektirir. Ayrıca bu yaklaşım sayesinde nanoakışkan homojen kabul edilerek, klasik ısı transferi denklemleri uygulanabilir duruma gelmektedir. Tek fazlı yaklaşım bu özelliklerinden dolayı birçok çalışmada kullanılmıştır (Khanafer ve diğerleri, 2003, Maiga ve diğerleri, 2005), Palm ve diğerleri, 2006, Akbari ve Behzadmehr, 2007, Öztıp ve Abu-Nada, 2008, Öğüt, 2009, Bianco, 2011). İki fazlı yaklaşımda ise temel akışkan ile nanopartiküller iki ayrı faz olarak değerlendirilmekte ve böylece bu iki faz arasındaki kayma hızı da denklemlerde dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır ve tek fazlı yaklaşıma göre deneysel sonuçlar ile daha uygun bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir (Behzadmehr ve diğerleri, 2007, Mirmasoumi ve Behzadmehr, 2008, Akbarinia ve Laur, 2009, Fard ve diğerleri, 2010, Lotfi ve diğerleri, 2010). Allahyari ve diğerleri (2011) üst tarafından ısı akısına maruz, alt tarafı ise adyabatik olan yatay bir boruda ki Al_2O_3 -Su nanoakışkanının laminar akış koşullarında karışık taşınım analizini nümerik olarak yapmışlardır. İki fazlı karışım modelini nanoakışkanların hidrodynamic ve ısı karakteristiklerini belirlemek için kullanmışlardır. Nanopartikül oranının artmasıyla ısı transferinin önemli bir biçimde arttığını belirtmişlerdir.

Yapılmış çalışmalarda; nanoakışkanları ifade etmede kullanılan ısı iletkenlik ve viskozite terimleri için geliştirilmiş genel teoriler bulunmamaktadır. Bu sebeple araştırmalarda genellikle bu terimleri ifade etmek için mikrometre veya milimetre boyutunda katı parçacıklar içeren akışkanlar için geliştirilmiş olan ısı iletkenlik ve viskozite ifadeleri kullanılmaktadır.

1.3 Sonlu Hacimler Metodu

Her türlü akışkan ve akışkan hareketlerini incelemek üzere birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin hepsini hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) başlığı altında toplayabiliriz. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin deneysel çalışmalara göre genellikle büyük avantajları vardır. Öncelikle maliyeti düşüktür. Herhangi bir problem gerçek boyutlarında ele alınabilir, ölçekleme problemi daha azdır. Daha kısa sürede sonuca ulaşılır. İstenilen herhangi bir noktadaki veriler, bilgiler alınabilir. Deneysel çalışmadaki gibi sadece ölçülen noktalara bağlı kalmayız. Tekrar gerektiği durumda analizi tekrar ettirmek daha kolaydır. Daha tehlikesiz ve daha sağlıklıdır. Ancak; hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinden birisi ile yapılmış olan bir çalışmanın, daha önce yapılmış olan aynı ya da benzer bir deneysel çalışma ile doğrulanması faydalı olur.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği genellikle; uçak ve taşıtların tasarımı, havalandırma sistemleri, denizcilik, biyomedikal alanlar, kimyasal ürünler, güç üretim sistemleri, elektrik ve elektronik, çevresel etkenlerin incelenmesi, spor faaliyetleri gibi benzer birçok durumun analizi için kullanılabilmektedir.

Akış ve ısı transferi problemlerini çözebilmek için sayısal yöntemleri dört başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; Sonlu Farklar Metodu, Sonlu Elemanlar Metodu, Sınır Eleman Metodu ve Sonlu Hacimler Metodudur.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde en çok kullanılan metot olan sonlu hacimler metodu; akışkan hareketine ait fiziksel değişkenlerin değerlerini yüzeyde veya düğüm noktalarında tanımlamamaktadır, sadece küçük hacim elemanlarında tanımlamaktadır. Tanımlanmış bu küçük hacim elemanlarına çözüm ağı denilmektedir. Navier-Stokes denklemleri, oluşturulmuş tüm sonlu hacimlere uygulanmakta ve bu küçük hacimlerin sınırlarından geçen akılar hesaplanmaktadır. Bir hacme giren akı miktarı ona komşu olan hacimden çıkan akı miktarına eşit olması gerektiğinden dolayı yöntem korunumlu bir yöntemdir.

Sonlu hacimler yönteminde kısmi diferansiyel denklemler kontrol hacmi üzerinden integre edilir. Bu hacim integrasyonundaki diverjans içeren terimler diverjans teoremi yardımı ile yüzey integrallerine dönüştürülür.

Genel bir ϕ özelliğinin değişimi sonlu hacim yöntemi (Versteeg ve Malalasekera, 1995) ile incelemek için genel haliyle taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla(\rho\phi U) = \nabla(\Gamma \nabla \phi) + S_\phi \quad (1.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada Γ difüzyon katsayısı, S_ϕ 'de kaynak terimi olarak adlandırılmaktadır.

Zamandan bağımsız (sürekli) ve taşınım (konveksiyon) içermeyen problemler yayılım (difüzyon) problemi olarak nitelendirilir ve yukarıdaki 1.1 nolu denklem;

$$\nabla(\Gamma \nabla \phi) + S_\phi = 0 \quad (1.2)$$

şekline gelir. Sonlu hacimler yöntemi için bu denklem bir kontrol hacmi içinde integre edilerek;

$$\iiint_{\Delta V} \nabla(\Gamma \nabla \phi) dV + \iiint_{\Delta V} S_\phi dV = 0 \quad (1.3)$$

elde edilir.

Öte yandan diverjans teoremi, herhangi bir $\vec{a}$ vektörel büyüklüğü için yazılmış hacim integrali ile alan integrali arasında;

$$\iiint_{\Delta V} \nabla \vec{a} dV = \iint_A \vec{a} \cdot \vec{n} dA \quad (1.4)$$

şeklinde bir ilişki olduğunu belirtir. Diverjans teoremi uygulanarak (1.3) denklemi

$$\iint_A (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} dA + \iiint_{\Delta V} S_\phi dV = 0 \quad (1.5)$$

şeklinde elde edilir.

Çözümlerde yukarıda kabaca açıklanan sonlu hacimler metodu kullanılmıştır. Ayrıca momentum denklemlerinde basınç-hız çiftini çözmek için; bir basınç alanı tahmin edilir, bu tahmin edilen basınç alanı ile ayrıklaştırılmış momentum denklemleri çözülür ve buna karşılık gelen hızlar bulunur. Daha sonra bir düzeltme basınç alanı tanımlanır. Düzeltme basınç alanı; doğru basınç alanıyla tahmini basınç alanı arasındaki farkı ifade etmektedir. Böylece doğru hız alanı da; tahmini hız alanı ile düzeltme basınç alanına bağlı fonksiyonunun toplamı haline gelir. Bütün bu adımlar sadece bir iterasyon döngüsünü ifade eder ve yakınsama sağlanana kadar bu döngü devam eder. Bu döngüye SIMPLE (Patankar, 1980) iteratif çözüm algoritması denir.

1.4 Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Yapılmış olan önceki çalışmalarda, nanoakışkanlı düzlemsel güneş kolektörlerinin sayısal analizi üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalarda bir boru içinde akan nanoakışkanın analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada; su bazlı nanoakışkanlar kullanıldığında düzlemsel güneş kolektörlerinin ısı transferi kabiliyetinde ve hidrodinamik davranışında ne gibi bir değişim olabileceği incelenmiştir.

Geniş bir uygulama alanı olan düz toplayıcıların kullanıldığı güneş enerjisi sistemlerinin verimlerinin iyileştirilmesi, süregelen araştırmaların konusu olmuştur. Sistem verimini en fazla güneş ışınımının ısı taşıyıcı akışkana aktarıldığı toplayıcıdaki ısı geçişi etkilemektedir. Bu ısı geçişi toplayıcıya bağlı olduğu kadar içerisindeki akışkana da bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanların ısı geçişini nasıl etkilediğinin sayısal analizi yapılmıştır.

Kolektörün yutucu yüzeyi ile akışkan taşıyan boru birlikte modellenmiştir. Taşıyıcı boru içinden farklı hacim oranlarında nanopartikül içeren farklı tip nanoakışkanların aktığı varsayılmıştır. Bu akışkanların öncelikle karışık taşınım analizi yapılmıştır. Analizde parametrelerde değişiklikler yapılarak, bu parametrelerdeki değişimin sistemin ısı transferi durumunu nasıl etkilediği araştırılmıştır.

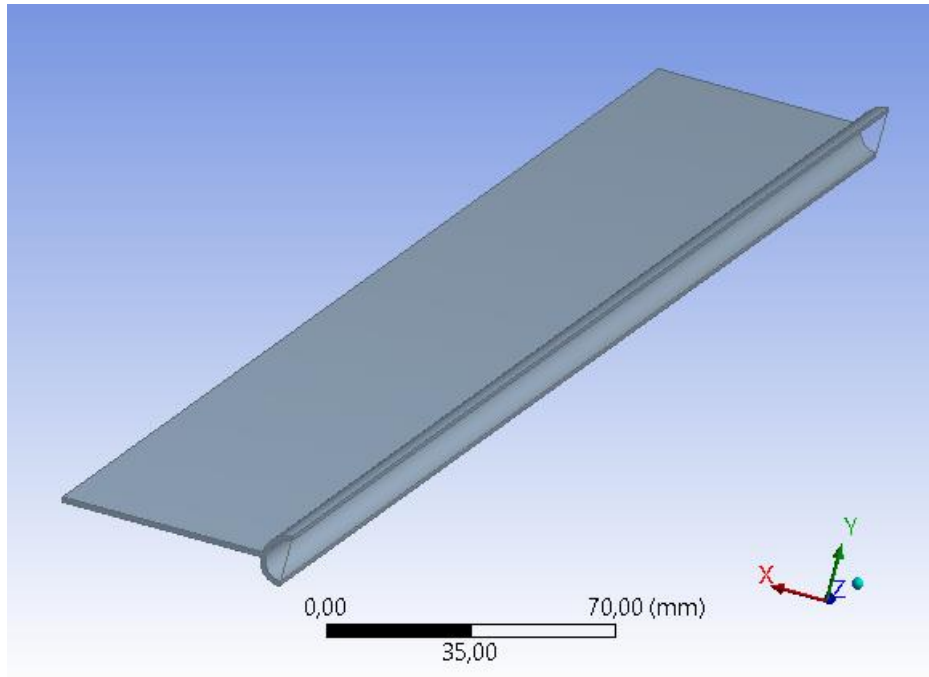
Son olarak da; karışık taşınım analizindeki doğal taşınım etkilerini tespit edebilmek için zorlanmış taşınım analizi yapılmıştır. Aynı parametrelerin değişiminin etkileri zorlanmış taşınım durumunda da incelenerek, karışık taşınım ile karşılaştırılmıştır.

2. MODELİN TANIMLANMASI, SINIR ŞARTLARI VE AĞ ANALİZİ

2.1 Modelin Oluşturulması

Düzlemsel güneş kolektörünün tamamının bilgisayar ortamında analizini yapmak çok zordur ve analiz zamanını da gereksiz artırır. Ayrıca; bunun için oldukça iyi bir bilgisayar gerekmektedir. Çalışmamızda önemli olan kolektörün taşıyıcı boruları içindeki akışkan çeşitlerinin ısı transferine olan etkileridir. Taşıyıcı borulara ısıнын daha fazla aktarılmasını sağlayan yutucu yüzey de kolektör sisteminde çok önemlidir. Bu sebeple modelimizde yutucu yüzeyde taşıyıcı boru ile birlikte modellenmiştir. Sayısal analizin daha hızlı olabilmesi ve sonucu değiştirmeyeceği için taşıyıcı boru ile yutucu yüzeyin simetrisi alınarak analizler yapılmıştır. Böylece daha az çözüm ağı ile çözüm süresi kısaltılmıştır.

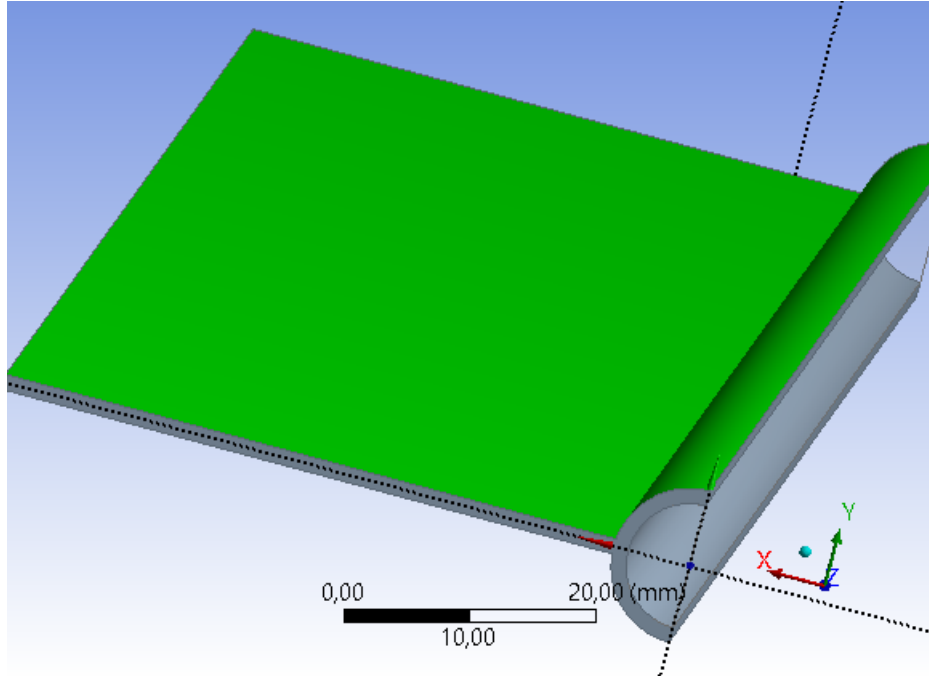
Şekil 2.1’de simetrisi alınmış modelimiz ile koordinat sistemi gösterilmektedir. Modelde kullanılan taşıyıcı borunun iç çapı 10 mm, dış çapı 12,4 mm ve taşıyıcı borunun her iki tarafında 50 cm’lik kanatçık (yutucu yüzey) vardır. Kanatçığın et kalınlığı 1,2 mm’dir. Boru ve kanatçığın uzunlukları 1800 mm’dir. Taşıyıcı boru ve yutucu yüzeyin malzemeleri bakırdır.



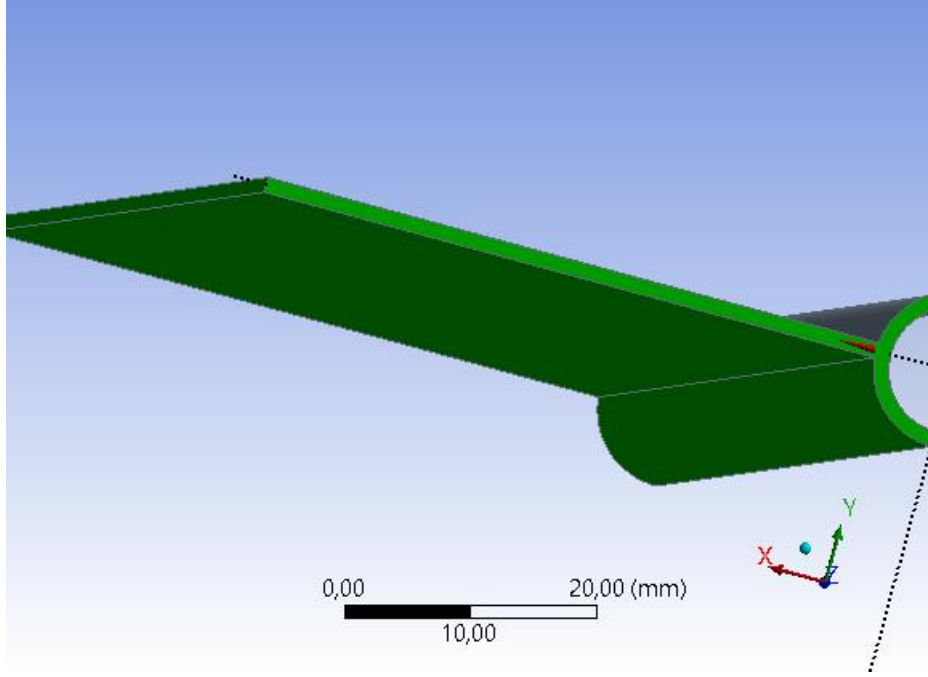
Şekil 2.1: Analizi Yapılan Modelin Simetrik Gösterimi

2.2 Sınır Şartları

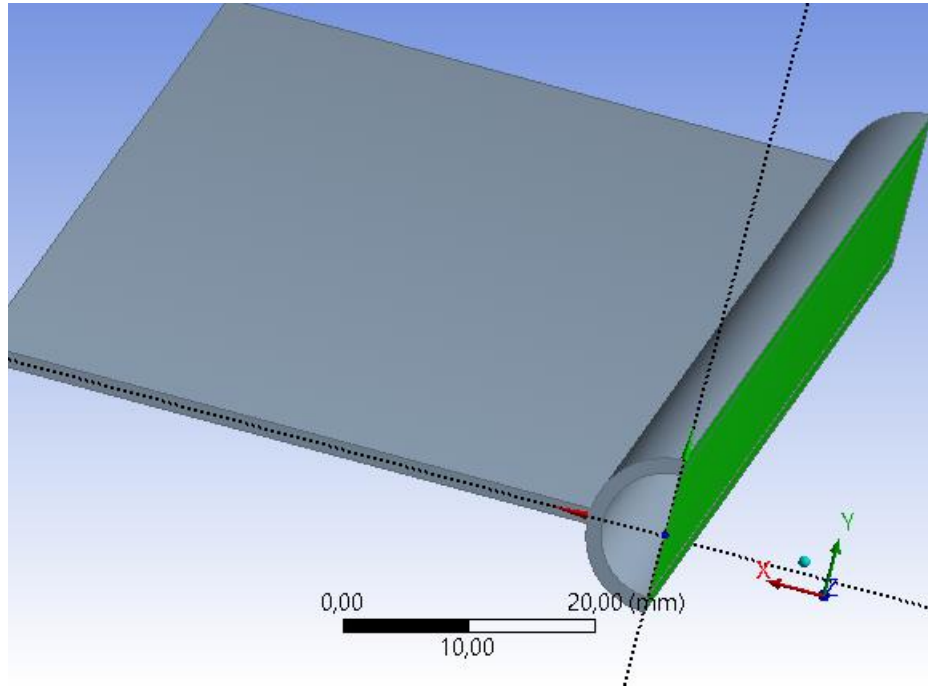
Modelde üst yüzeyden (Şekil 2.2) sabit ısı akısı verilmiştir. Alt yüzey, ön ve arka yüzeyler ile kanatçığın yan yüzeyi (Şekil 2.3) adyabatik kabul edilmiştir. Simetrisi alınmış olan yüzeyde (Şekil 2.4) simetri şartı tanımlanmıştır. Analizlerde; akışkana girişte sabit hız ve sıcaklık değeri verilmiş olup, çıkışı sabit basınçta serbest bırakılmıştır. Yerçekimi kuvvetinin negatif y yönünde etkilediği kabul edilmiştir.



Şekil 2.2: Isı Akısının Verildiği Yüzey



Şekil 2.3: Adyabatik Kabul Edilen Yüzeyler



Şekil 2.4: Simetrik Kabul Edilen Yüzeyler

2.3 Ağ Analizi

Analizde doğru sonucun elde edilebilmesi için mutlaka ağ analizi yapılması gerekmektedir. Ağ sayısını arttırmak daha doğru sonuca götürecektir diye bir durum söz konusu değildir. Ayrıca gerektiğinden fazla ağ ile çözüm yapmak, doğru sonucu verecek olsa da gereksiz yere çözüm süresini uzatır. Bu sebeple Tablo 2.1'de ağ analizi; düğüm noktalarının sayısına ve eleman sayısına karşılık gelen, ortalama Nusselt Sayısı ve ortalama sıcaklık değeri karşılaştırılarak yapılmıştır.

Tablo 2.1: Ağ Analizi

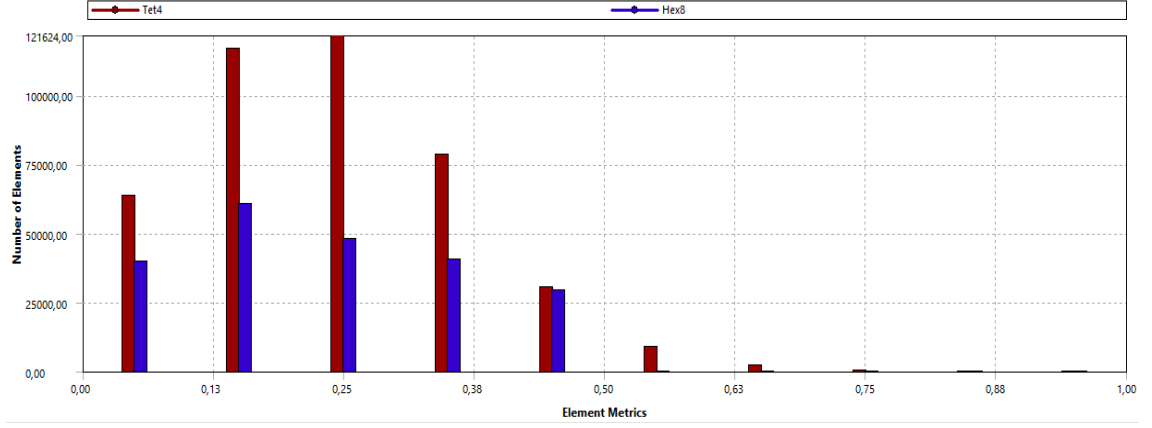
Düğüm Noktası Sayısı	Eleman Sayısı	Nu_m	T_m
147761	364961	6,094550	305,158158
159159	389600	6,100224	305,173861
187383	447426	6,191058	305,141445
259630	506385	5,698289	305,033757
352078	588120	5,705633	305,074594
409882	641029	5,709898	305,085476
1097489	1309055	5,720126	305,098770
1754207	1965214	5,713703	305,096772
2790446	3015380	5,711416	305,156790

Ağ analizi için yapılan hesaplamalar sonucunda Tablo 2.1'den de görüleceği üzere en uygun ağ yapısı; 409882 adet düğüm noktası ve 641029 adet eleman sayısı olan durumdur. Karşılaştırmalar daha doğru yapılabilmesi için bütün analizler bu ağ yapısı ile çözdürülmüştür.

Şekil 2.5'de modelin ağ yapısını oluşturan elemanların kalitesi gösterilmiştir. Elemanın kalitesi ne oranda çarpık ya da düzgün olduğuna göre belirlenir. Çarpıklık oranı da; optimum hücre boyutundan, hücre boyutunun çıkartılmasıyla oluşan farkın, optimum hücre boyutuna bölünmesiyle bulunur. Ağ kalitesini ölçmek için en önemli ölçümdür. Bu oran Şekil 2.5'de yatay ekseninde gösterilmektedir. Bu oran 1'e yaklaştıkça ağ kalitesi kötüleşir, 0'a yaklaştıkça ağ kalitesi artar. Ağ kalitesi sınıflandırması da Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Ağ Kalitesi Sınıflandırması

ÇARPIKLIK ORANI	KALİTESİ
0 – 0,25	Mükemmel
0,25 – 0,5	Çok İyi
0,5 – 0,8	İyi
0,8 – 0,95	Kabul Edilebilir
0,95 – 0,98	Kötü
0,98 – 1,00	Kabul Edilemez

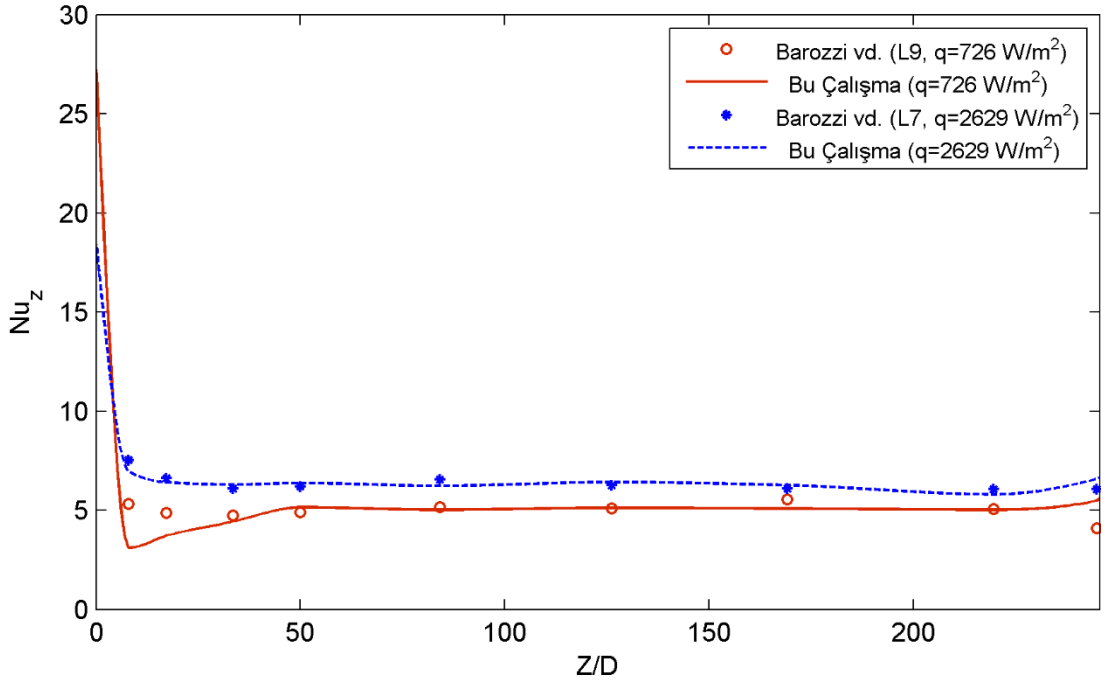


Şekil 2.5: Eleman Kalitesinin Sınıflandırılması

3. ÇALIŞMANIN DOĞRULANMASI

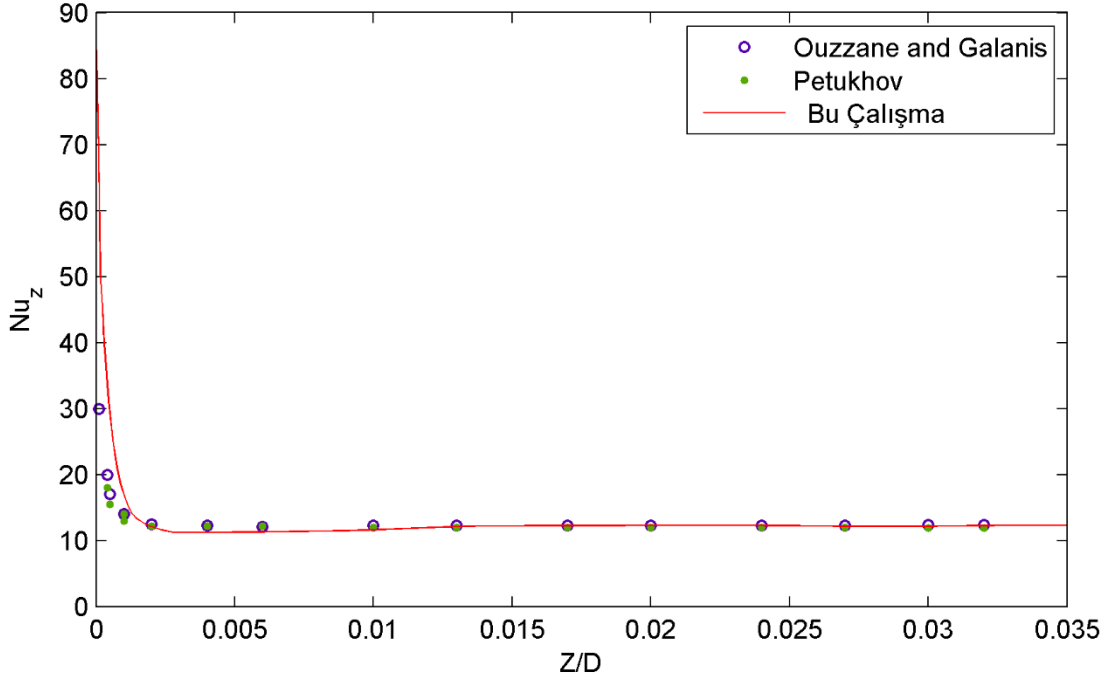
Nümerik olarak yapılan analizlerde mutlaka bir sonuca ulaşılır. Deneysel çalışma yapmayarak, çalışmanın maliyeti düşürülür ve istenilen herhangi bir noktada herhangi bir parametrenin değeri ölçülüp, karşılaştırmalar yapılabilir. Bunlar nümerik analizin bizlere sunmuş olduğu çok büyük bir kolaylıktır. Ancak; burada en önemli nokta bulunan sonucun doğru olup olmadığı ve ne ifade ettiğidir. Bu sebeple yaptığımız analizlerin doğru olduğunu göstermek ve çalışmanın sağlıklı olduğunu ispatlamak amacıyla analizlerin doğrulanması yapılmıştır. Çalışmada sayısal analiz için kullanılan çözüm algoritması; daha önceden yapılmış olan deneysel çalışmalar ve nümerik bir çalışma ile doğrulanmıştır.

Bu tez çalışmasında doğrulama amaçlı karşılaştırılan deneysel çalışmalar ile doğrulama işlemini birçok sayısal çalışmada yapmışlardır. Özellikle Barozzi ve diğerlerinin (1985) yapmış olduğu deneysel çalışma, birçok nümerik çalışmanın doğrulanmasına referans olmuştur. Kollektörün belli bir kesitinin alındığı deneysel çalışma (Barozzi ve diğerleri, 1985) ile çalışmanın doğrulanması yapılmıştır. Bu kısımda 726 W/m^2 ve 2629 W/m^2 değerleri için karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.1 üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere yüzeye gelen ısı akısı değeri arttıkça doğal taşınım etkilerinden dolayı ısı transferinde artış olmaktadır.



Şekil 3.1: Deneysel Çalışma (Barozzi ve diğerleri, 1985) ile Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması

Çalışmanın diğer doğrulaması da Petukhov B.S. ve Polyakov A.F. (1967) tarafından yapılan deneysel çalışma ile Ouzzane M. ve Galanis N. (2011) tarafından yapılan sayısal çalışmalar üzerinde yapılmıştır. Her iki çalışmada da yatay bir boruya gelen sabit ısı akısının etkisi gösterilmiştir. Bu iki çalışmayla yapılan doğrulama işleminde elde edilen sonuçlar, tam gelişmiş bölgede Şekil 3.2’de görüldüğü üzere her iki çalışmaya da çok yakın çıkmıştır.



Şekil 3.2: Deneysel Çalışma (Petukhov B.S. ve Polyakov A.F., 1967) ve Sayısal Çalışma (Ouzzane M. ve Galanis N., 2011) ile Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması

Çözümler FLUENT programı aracılığıyla sonlu hacimler metodu ile yapılmıştır. Sonlu hacimler metodu ile birlikte momentum denklemlerinde ki basınç-hız çiftini çözmek için SIMPLE iteratif çözüm algoritması kullanılmıştır. Momentum ve enerji denklemlerinin çözümü için ‘second order upwind’ yapısı seçilmiştir. Süreklilik denklemi için yakınsama değeri 10^{-4} , Momentum denklemleri için yakınsama değeri 10^{-5} ve Enerji denklemi için de yakınsama değeri 10^{-8} seçilmiştir.

4. NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE KARIŞIK TAŞINIM ANALİZİ

Karışık taşınım; bir sistemde zorlanmış taşınım ve doğal taşınım etkilerinin birlikte görüldüğü taşınım türüdür. Karışık taşınım da; akışkan hareketine dıştan gelen bir etki (pompa, fan) ile birlikte sıcaklık farkından dolayı yoğunlukta oluşan etkiyle akışkan hareketinin meydana gelmesidir.

4.1 Karışık Taşınım Analizi

Analizler de; su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanları kullanılmıştır. Modelimizin üst yüzeyinden üç farklı ısı akısı ($600 \text{ W/m}^2 - 700 \text{ W/m}^2 - 800 \text{ W/m}^2$) değeri verilmiştir ve üç farklı Re sayısı (200 – 400 - 600) değeri alınmıştır. Ayrıca kollektörün farklı açı durumlarının (0° , 30° , 45° ve 60°) etkileri de incelenmiştir.

Al_2O_3 ve Cu nanopartikülleri akışkan içerisinde süspanse edilmiştir. Boyutları çok küçük olduğundan dolayı su içerisinde homojen dağıldıkları varsayılmıştır ve böylece tek fazlı akışkan gibi düşünülmüştür. Bu sebeple karışık taşınımın olduğu modelimizde tek fazlı yaklaşım kullanılmıştır. Tek fazlı yaklaşımda; su ile nanopartiküllerin ısı dengede olduğu ve aynı hız ile hareket ettikleri kabul edilir. Bu durumda su için kullandığımız temel denklemler nanoakışkanlar içinde kullanılabilir. Nanopartiküllerin etkileri bazı termodinamik özelliklerinin değişimiyle belirlenir.

Akış; sürekli, laminar ve sıkıştırılmaz olarak ele alınmıştır. Bu şartlar altında ilgili denklemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} r v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} w) = 0 \quad (4.1)$$

Momentum Denklemleri:

θ -Bileşeni

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} uu) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} rvu) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} wu) + \frac{1}{r} (\rho_{na} uv) \\
 &= -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\mu_{na} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mu_{na}}{r} \frac{\partial (ru)}{\partial r} \right) + \frac{2\mu_{na}}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} \\
 & -\rho_{na} g \beta_{na} (T_w - T) \sin \theta \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

r -Bileşeni

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} uv) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} rvv) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} wv) - \frac{1}{r} (\rho_{na} u^2) \\
 &= -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\mu_{na} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mu_{na}}{r} \frac{\partial (rv)}{\partial r} \right) - \frac{2\mu_{na}}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} \\
 & -\rho_{na} g \beta_{na} (T_w - T) \cos \theta \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

z -Bileşeni

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} uw) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} rvw) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} ww) \\
 &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\mu_{na} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_{na} \frac{\partial w}{\partial r} \right) \\
 & -\rho_{na} g \sin \alpha
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Enerji Denklemi:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} u T) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} r v T) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} w T) \\ &= \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{K_{na}}{(C_p)_{na}} \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{r \partial r} \left(r \frac{K_{na}}{(C_p)_{na}} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \end{aligned} \quad (4.5)$$

denklemlerinde g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Momentum denklemlerinin en sonundaki ifade yoğunluk farkından dolayı oluşan kaldırma kuvvetini göstermektedir. Yoğunluktaki değişim Boussinesq's Yaklaşımı kullanılarak ifade edilmiştir ve bu yaklaşım;

$$\rho = \rho_0 \{1 - \beta (T - T_0)\} \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade de; ρ_0 akışkanın sisteme girişindeki yoğunluğunu, β ısı genleşme katsayısını ve T_0 ise akışkanın sisteme giriş sıcaklığını göstermektedir.

Nanopartiküllerin akışkan içerisinde homojen olarak dağıldığı kabul edilerek analizleri yapılmış olan nanoakışkanın termodinamik özelliklerinin belirlendiği denklemler aşağıda gösterilmiştir.

Nanoakışkanın yoğunluğunun belirlendiği ifade;

$$\rho_{na} = (1 - \phi) \rho_a + \phi \rho_k \quad (4.7)$$

nanoakışkanın ısı kapasitesinin belirlendiği ifade;

$$(\rho c_p)_{na} = (1 - \phi) (\rho c_p)_a + \phi (\rho c_p)_k \quad (4.8)$$

nanoakışkanın viskozitesini belirlemek için Brinkman (1952) tarafından belirlenmiş ifade;

$$\mu_{na} = \frac{\mu_a}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad (4.9)$$

nanoakışkanın ısı iletkenliği de Maxwell (1873) tarafından küresel nanopartiküller için belirlenmiş olan ifade;

$$\frac{k_{na}}{k_a} = \frac{k_k + 2k_a - 2\varphi(k_a - k_k)}{k_k + 2k_a + \varphi(k_a - k_k)} \quad (4.10)$$

nanoakışkanın ısı ıl genişleme katsayısını da Khanafer (2003) tarafından belirlenmiş olan ifade;

$$\beta_{na} = \left[\frac{1}{1 + \frac{(1-\varphi)\rho_a}{\varphi\rho_k}} \frac{\beta_k}{\beta_a} + \frac{1}{1 + \frac{\varphi\rho_k}{(1-\varphi)\rho_a}} \right] \beta_a \quad (4.11)$$

ile nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yukarıda kullanılan ifadelerden ‘ φ ’ nanopartiküllerin akışkan içerisindeki hacimsel oranını, ‘na’ alt indisi nanoakışkanı, ‘a’ alt indisi temel akışkanı (su) ve ‘k’ alt indisi de nanopartikülü temsil etmektedir.

Tablo 4.1’de; Alümina, Bakır ile Suyun bu çalışmada kullanılan termofiziksel özelliklerinin değerleri verilmiştir. Yukarıdaki denklemler kullanılarak, Tablo 4.2’deki nanoakışkanlara ait termofiziksel özellikler elde edilmiştir. Tablo 4.2’de görüleceği üzere; nanopartiküllerin hacimsel oranı arttıkça; yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve viskozite artmakta, özgül ısı ile ısı genleşme katsayısı azalmaktadır. Al_2O_3 nanopartikülleri akışkanın özgül ısını ve ısı genleşme katsayısı Cu nanopartiküllerine göre daha fazla arttırmasına karşılık; Cu nanopartikülleri de yoğunluğu ve ısı iletim katsayısını Al_2O_3 nanopartiküllerine göre daha fazla arttırmaktadır. Viskozitedeki değişim; kullanılan denklemden dolayı nanopartikülün çeşidine göre değil, nanoakışkan içerisindeki nanopartiküllerin hacimsel oranına göre değişmektedir.

Tablo 4.1: Su, Alüminyum-Oksit ve Bakırın Analizlerde Kullanılan Termofiziksel Özellikleri

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	β (1/K)
Su (20 °C)	997.78	4076.4	0.60475	0.0009772	0.0034112
Al_2O_3	3970	765	40	-	0.0000085
Cu	8933	385	401	-	0.0000167

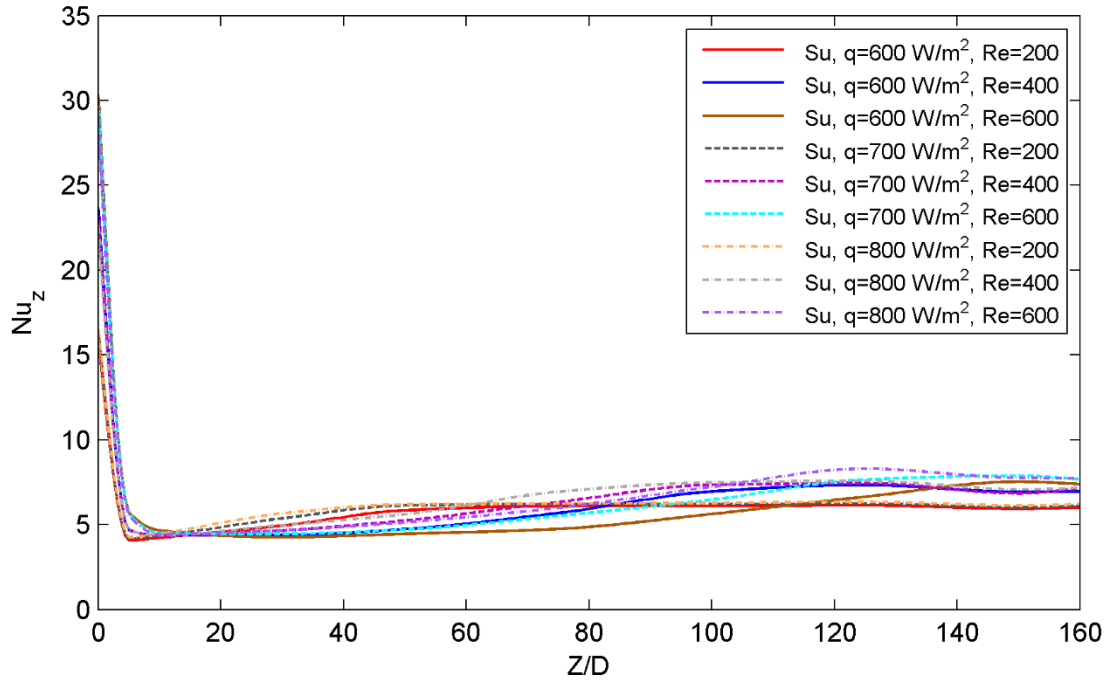
Tablo 4.2: Kullanılan Nanopartiküllerin Hacimsel Oranına Göre Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

ϕ (%)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	β (1/K)
% 1 Al_2O_3	1027.50220	3948.45616	0.62226	0.0010021	0.00328
% 1 Cu	1077.13220	3770.26045	0.62299	0.0010021	0.00313
% 5 Al_2O_3	1146.39100	3503.02416	0.69582	0.0011109	0.00282
% 5 Cu	1394.54100	2894.10144	0.69978	0,0011109	0.00232

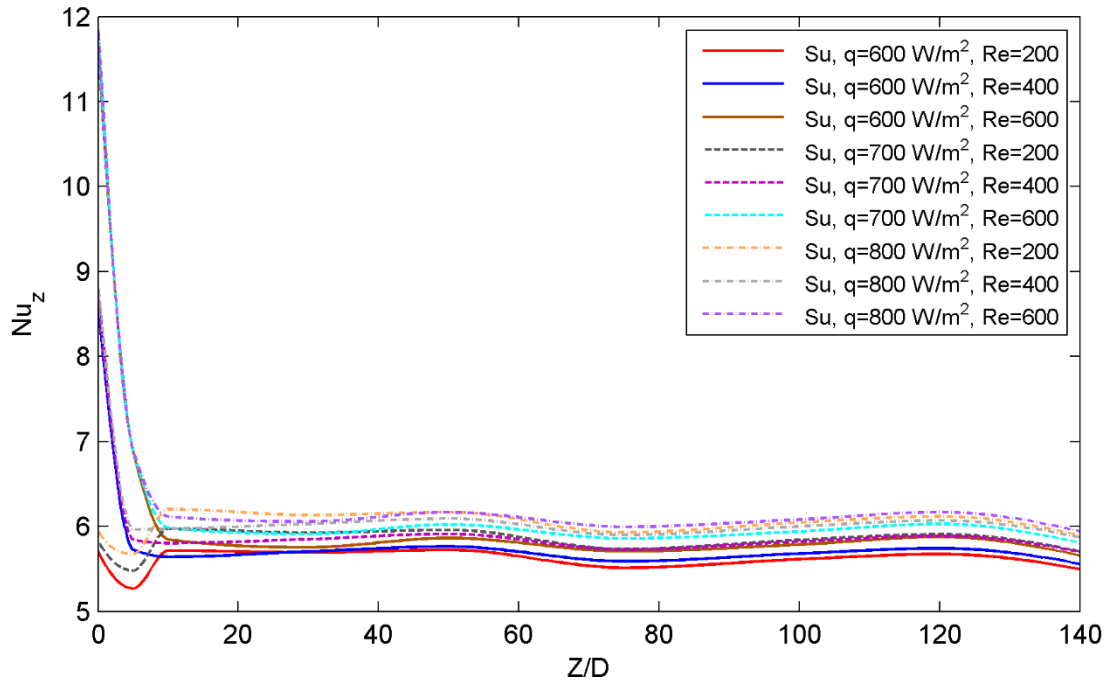
4.2 Karışık Taşınım Analiz Sonuçları

Yapılan karışık taşınım analizinin değerlendirilebilmesi için aşağıdaki grafikler çizdirilmiştir. Grafikler; farklı Reynolds sayıları (200 – 400 – 600), farklı ısı akıları (600 W/m^2 – 700 W/m^2 – 800 W/m^2), farklı açılar (0° – 30° – 45° – 60°), farklı nanopartikül oranlarında (% 1 ve % 5) ve farklı nanoakışkanlar için hesaplanıp, çizdirilmiştir. Böylece nanopartikülün hacimsel oranının, Reynolds sayısının, ısı akısının, kollektör açısının ve nanoakışkan türünün ısı transferine etkileri incelenmiştir.

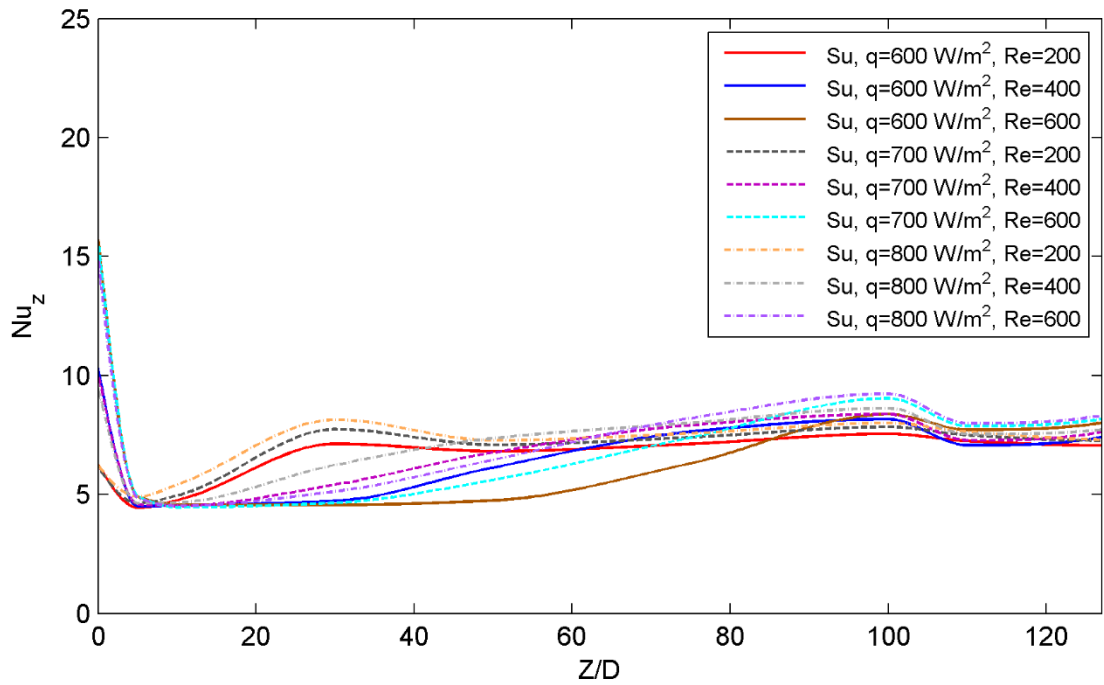
Şekil (4.1 - 4.4) incelendiğinde ısı akısı ve Reynolds sayısı arttıkça meydana gelen ısı transferi artmaktadır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.3'de Reynolds sayısındaki artış, ısı akısındaki artıştan daha fazla ısı transferini etkilemektedir. Şekil 4.2'de ise ısı akısındaki artış, Reynolds sayısındaki artışa göre ısı transferinin artışında daha etkindir. Ancak Şekil 4.4'de ısı akısı ve Reynolds sayısının ısı transferine etkisi birbirine yakındır. Sistemin açısı değiştiğinde ısı transferindeki artış durumu da farklılık göstermektedir. Karışık taşınım olması sebebiyle yerçekiminin etkisi ve yoğunluktaki değişim bu farklılığı meydana getirmektedir. Akışkanın su olması durumunda en iyi ısı taşınımı kollektörün 30° açı ile durduğu durumdadır, arkasından 45° , 60° ve son olarak yatay olduğu durum gelmektedir (Şekil 4.5).



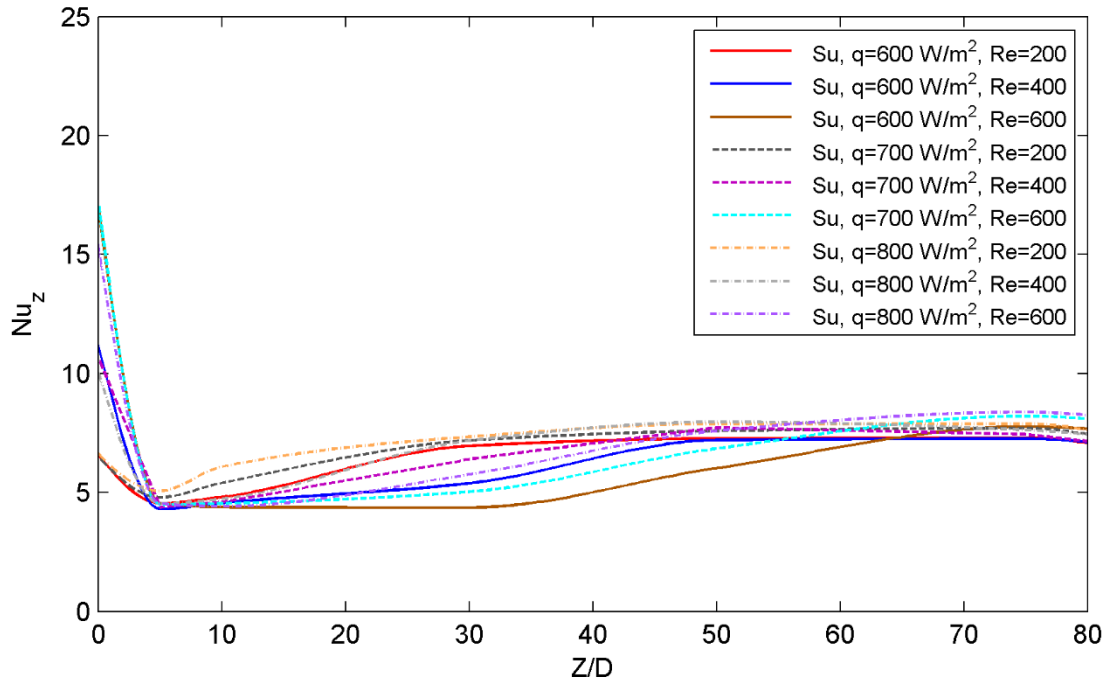
Şekil 4.1: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$)



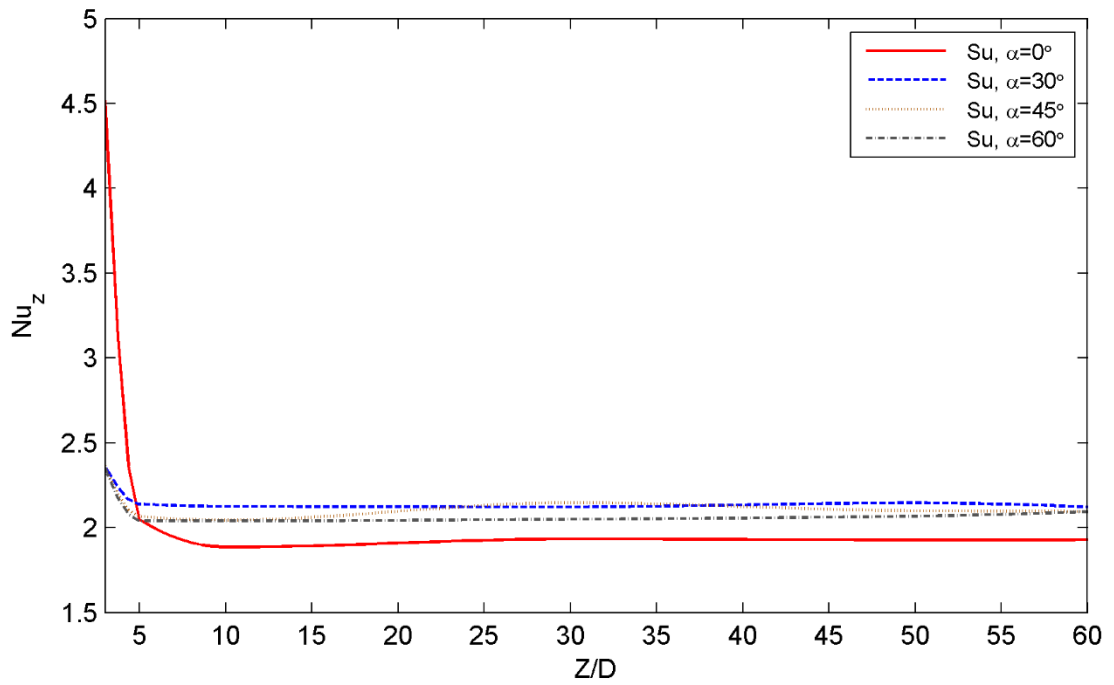
Şekil 4.2: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$)



Şekil 4.3: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=45^\circ$)

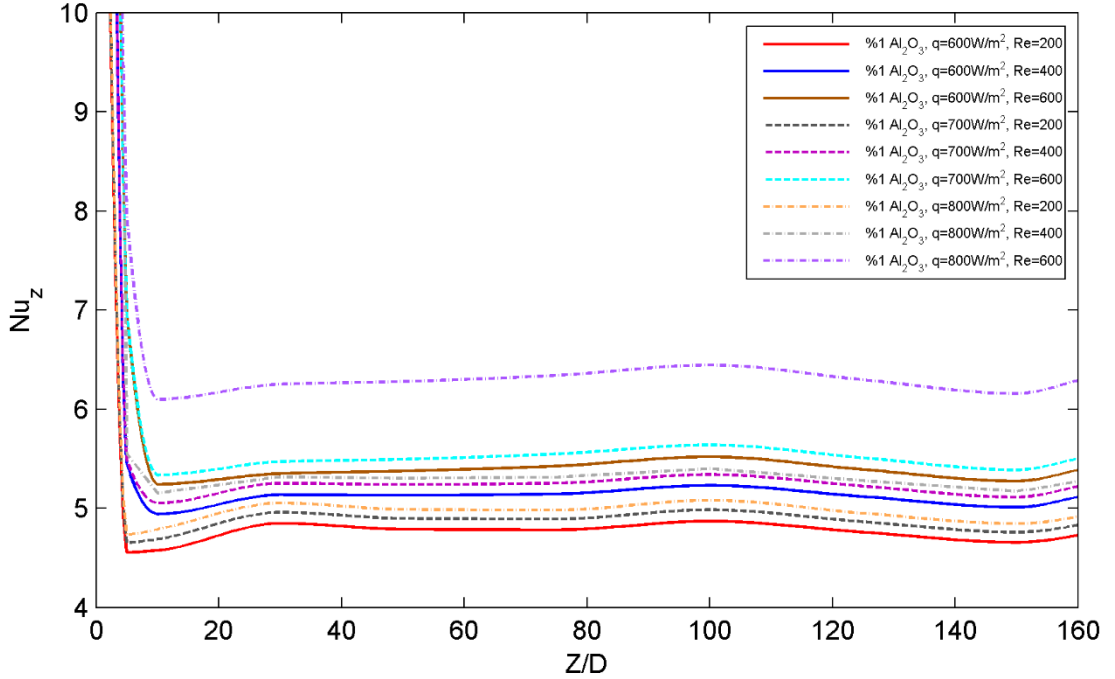


Şekil 4.4: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=60^\circ$)

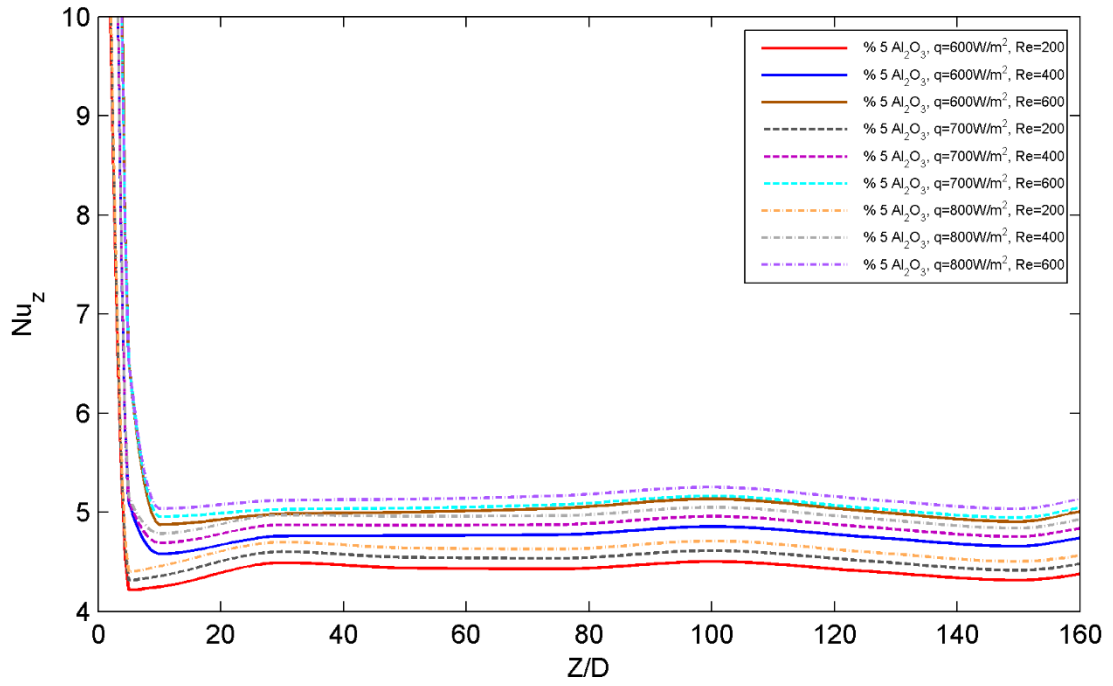


Şekil 4.5: Suyun, Değişik Açı Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2, Re=400$)

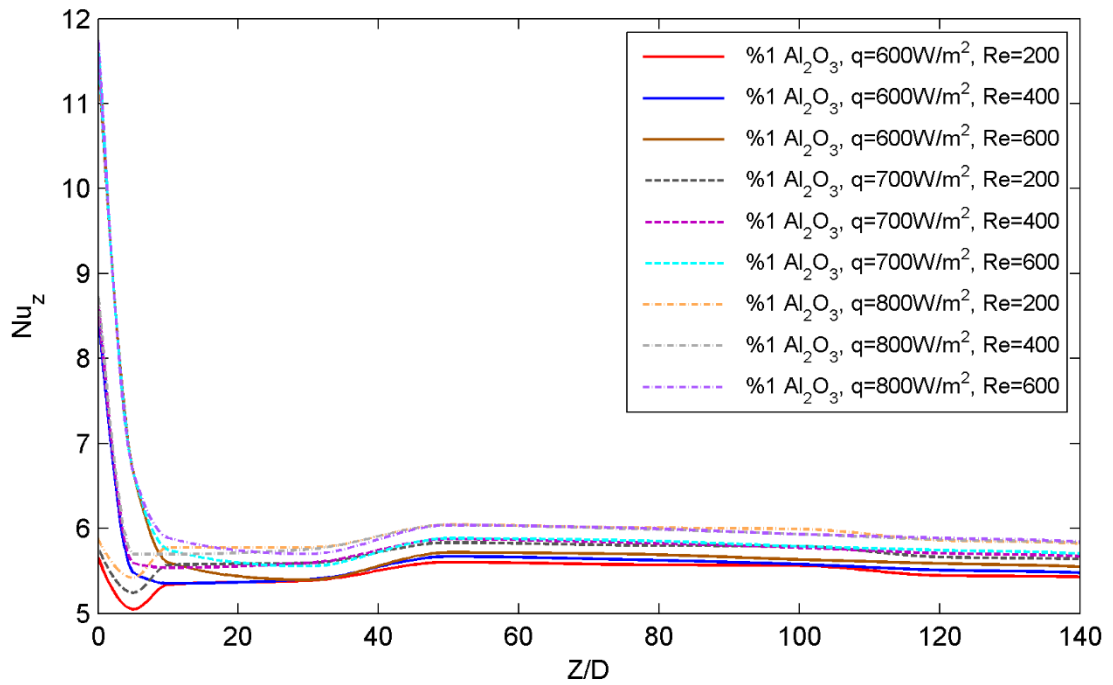
Şekil (4.6 – 4.11)'de Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ısı transferi durumu farklı parametreler için incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi sisteme gelen ısı akısının ve Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısında artış meydana gelmektedir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki gibi sistemin yatay olması durumunda; Reynolds sayısındaki artış, ısı akısındaki artıştan daha fazla ısı transferini etkilemektedir. Sistemin 30° açılı olması durumunda ise (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9) ısı akısındaki değişim Reynolds sayısındaki değişime göre ısı taşınımını daha fazla etkilemektedir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de; ısı akısının 700 W/m^2 , Reynolds sayısının 400 olduğu durumda, % 1 ve % 5 nanopartikül hacimsel oranları için sistemin açısının ısı transferine etkisi karşılaştırılmıştır. Sistem 30° açıyla durduğu durumda en iyi ısı taşınımına sahiptir. Ardından sırasıyla 60° , 45° ve yatay olduğu durumlar gelmektedir.



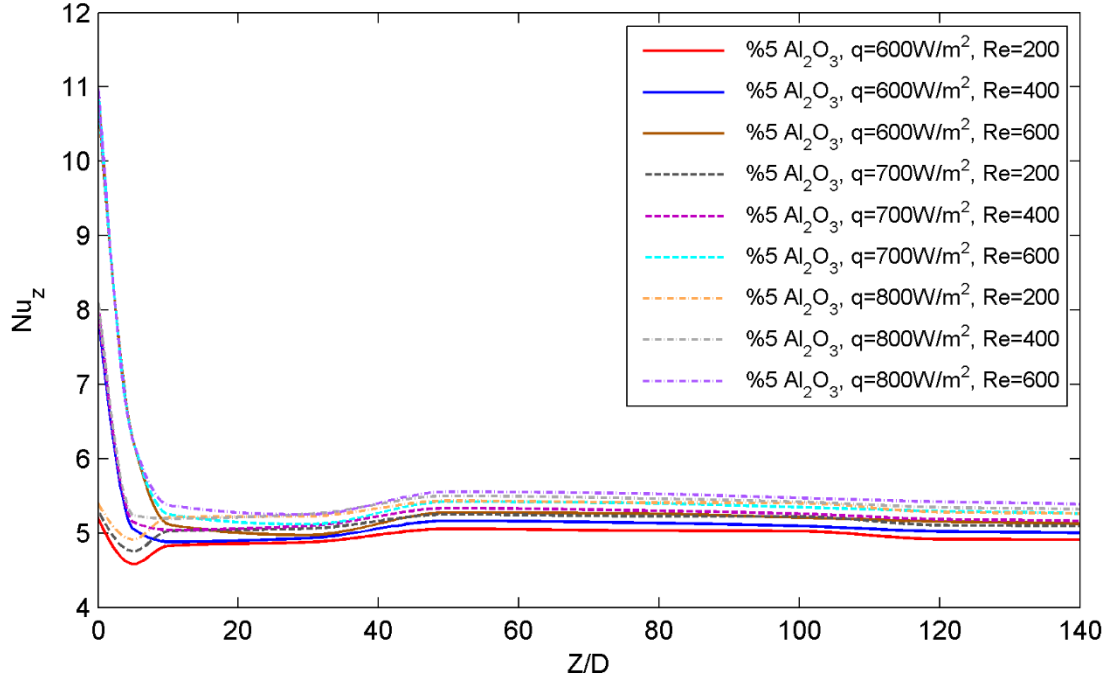
Şekil 4.6: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)



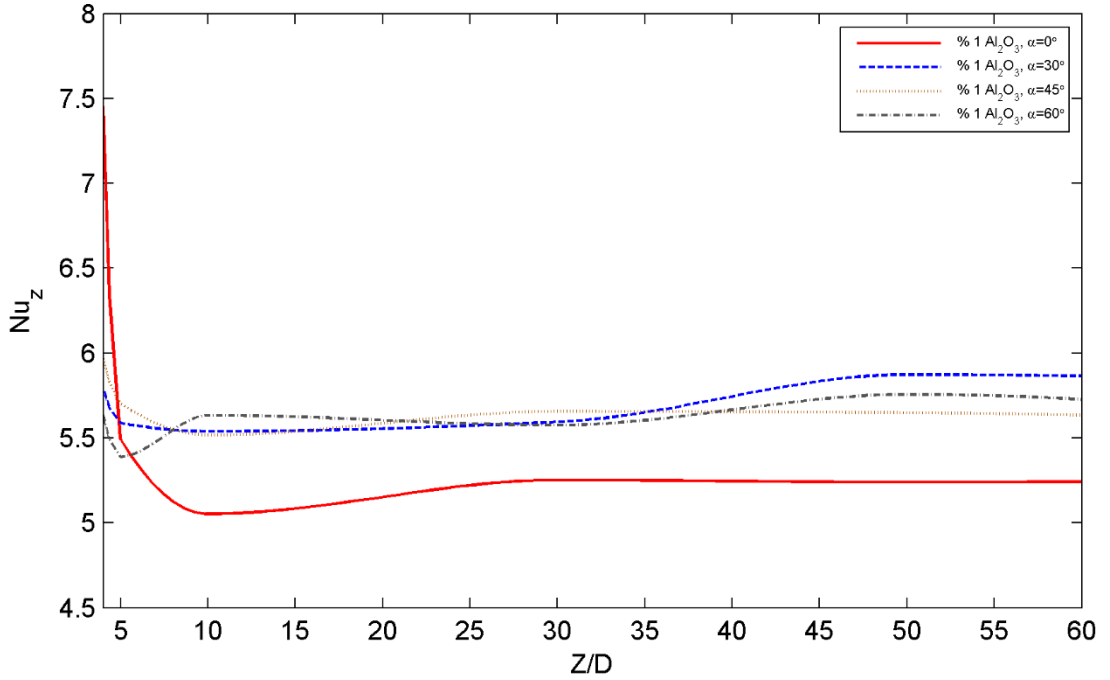
Şekil 4.7: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=5\%$)



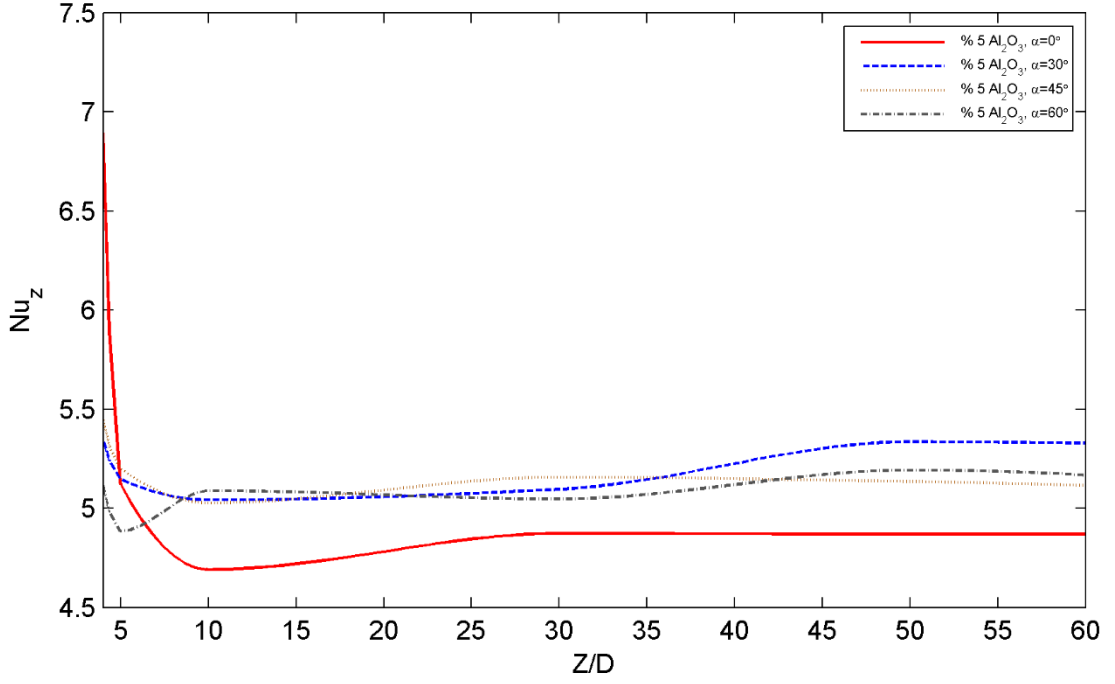
Şekil 4.8: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=1\%$)



Şekil 4.9: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%5$)

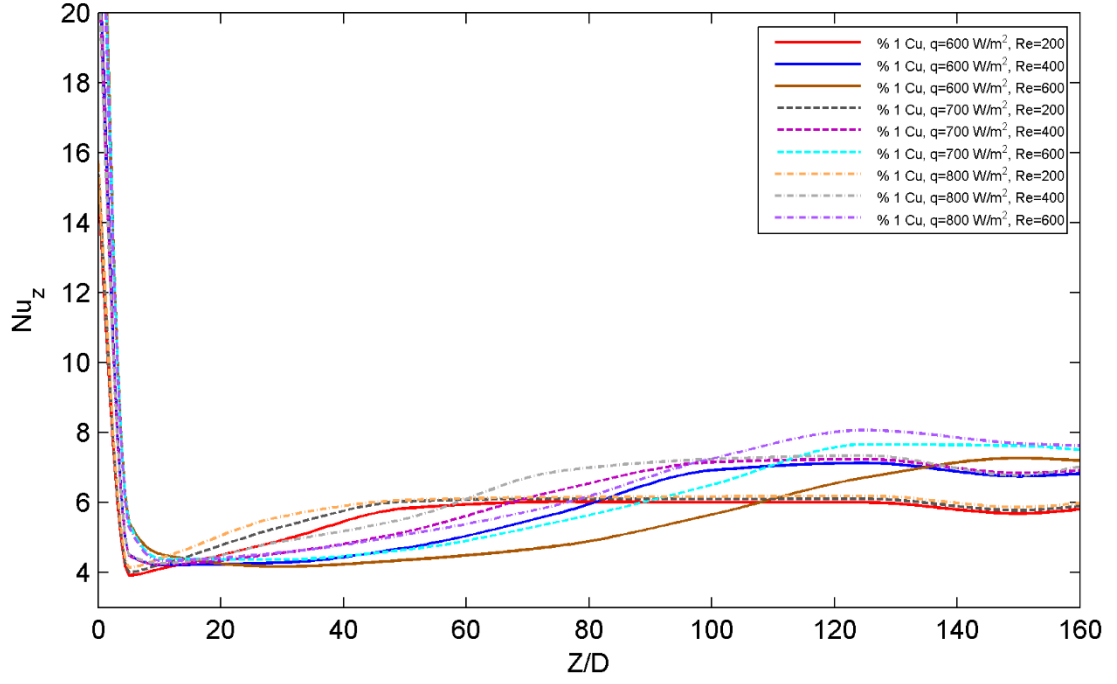


Şekil 4.10: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)

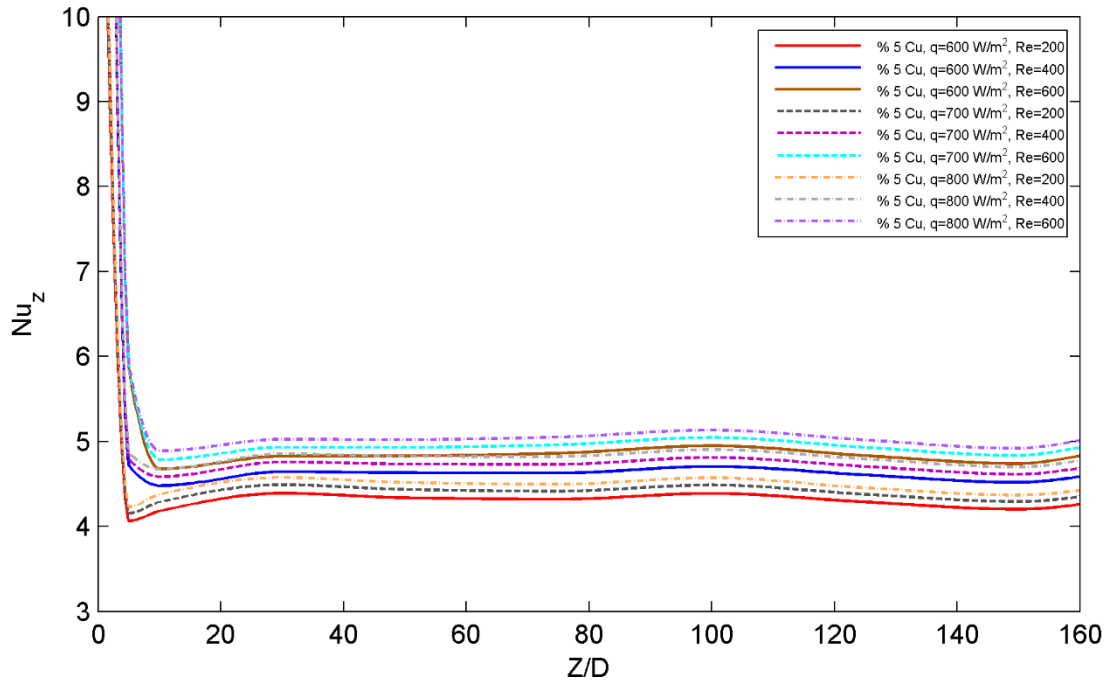


Şekil 4.11: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)

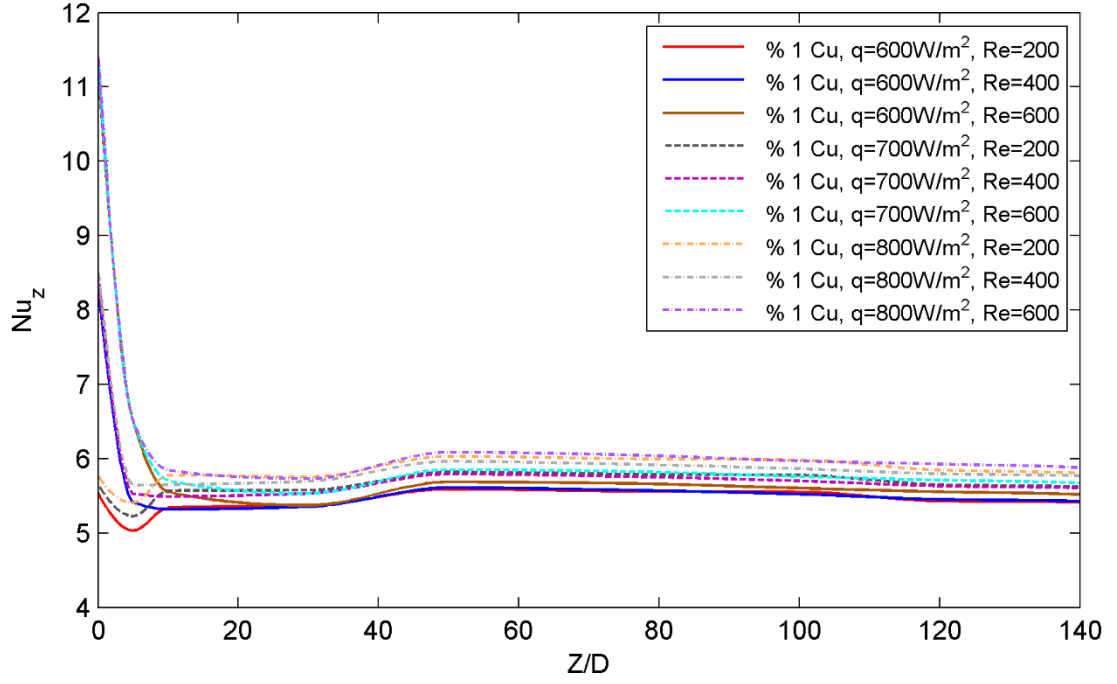
Şekil (4.12 – 4.17)'de Cu-Su nanoakışkanının, Nusselt sayısının taşıyıcı boru boyunca değişimini gösteren grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de sistemin yatay olması durumunda; Reynolds sayısındaki artış, ısı akısındaki artıştan daha fazla ısı transferini etkilemektedir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de sistemin 30° açılı olması durumunda ise ısı akısındaki değişim Reynolds sayısındaki değişime göre ısı taşınımını daha fazla etkilemektedir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de; nanopartiküllerin % 1 ve % 5 hacimsel oranları için ısı akısının 700 W/m^2 , Reynolds sayısının 400 olduğu durumda, sistemin açısının ısı transferine etkisi karşılaştırılmıştır. Sistem 30° açıyla durduğu durumda en iyi ısı taşınımına sahiptir. Ardından sırasıyla 60°, 45° ve yatay olduğu durumlar gelmektedir.



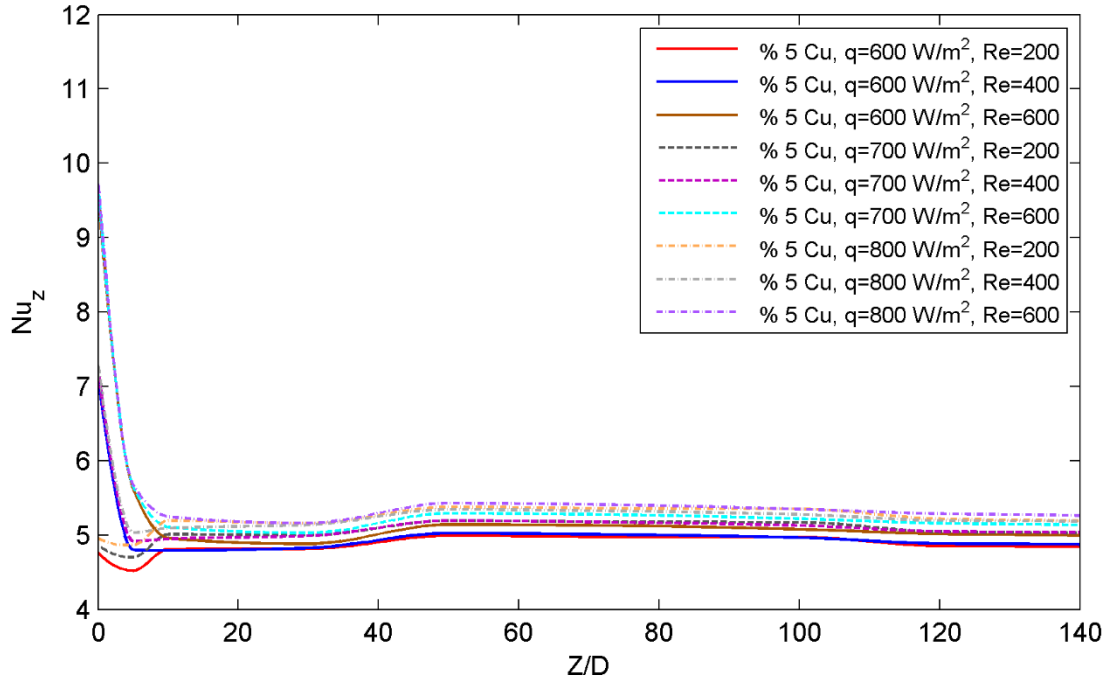
Şekil 4.12: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)



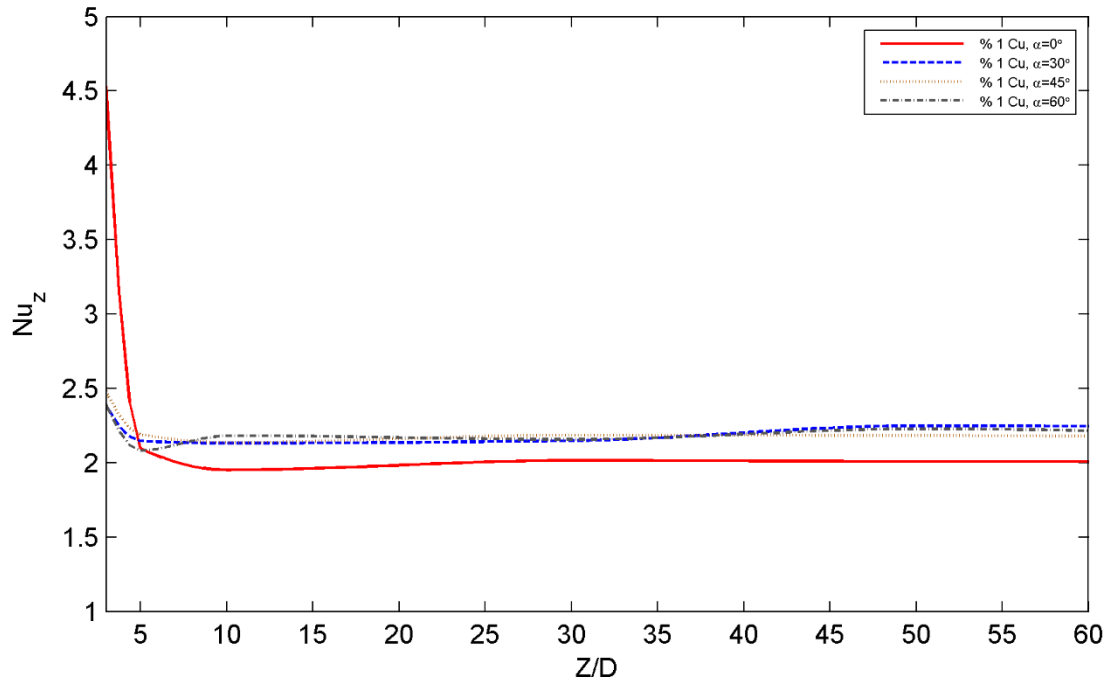
Şekil 4.13: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)



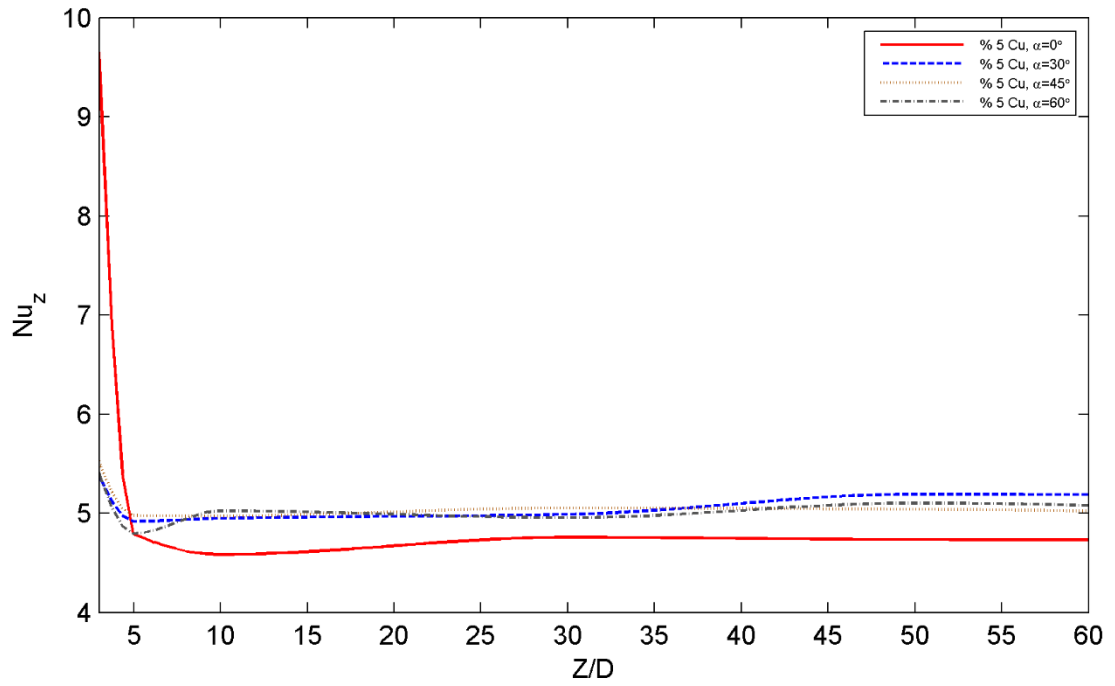
Şekil 4.14: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%1$)



Şekil 4.15: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=30^\circ$, $\phi=\%5$)

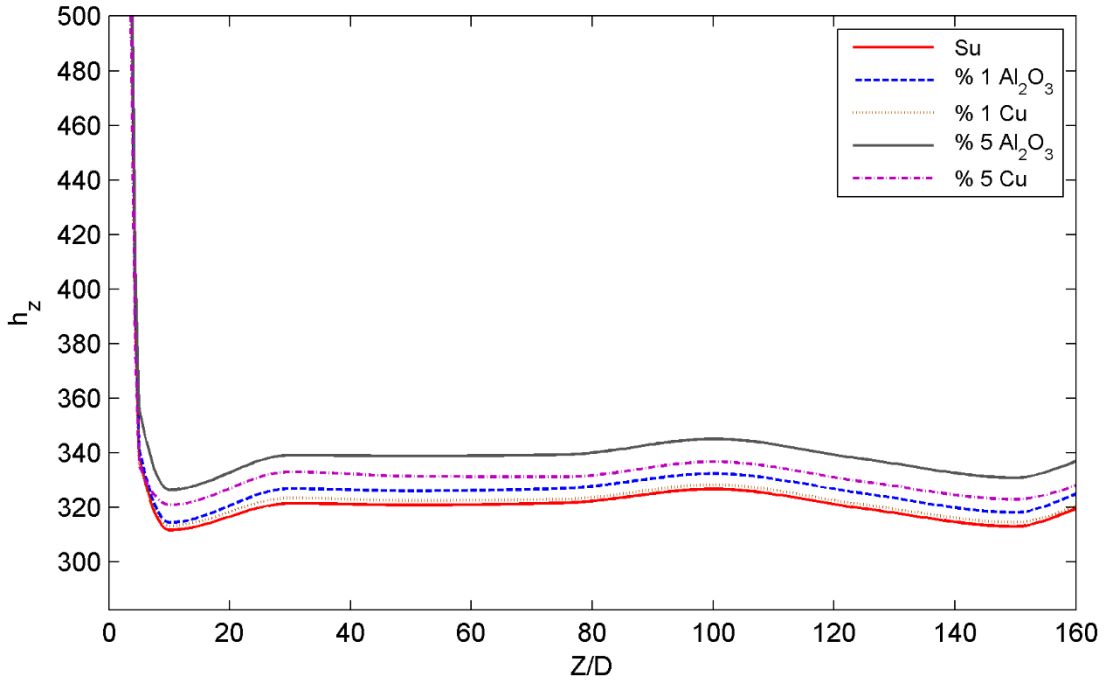


Şekil 4.16: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)

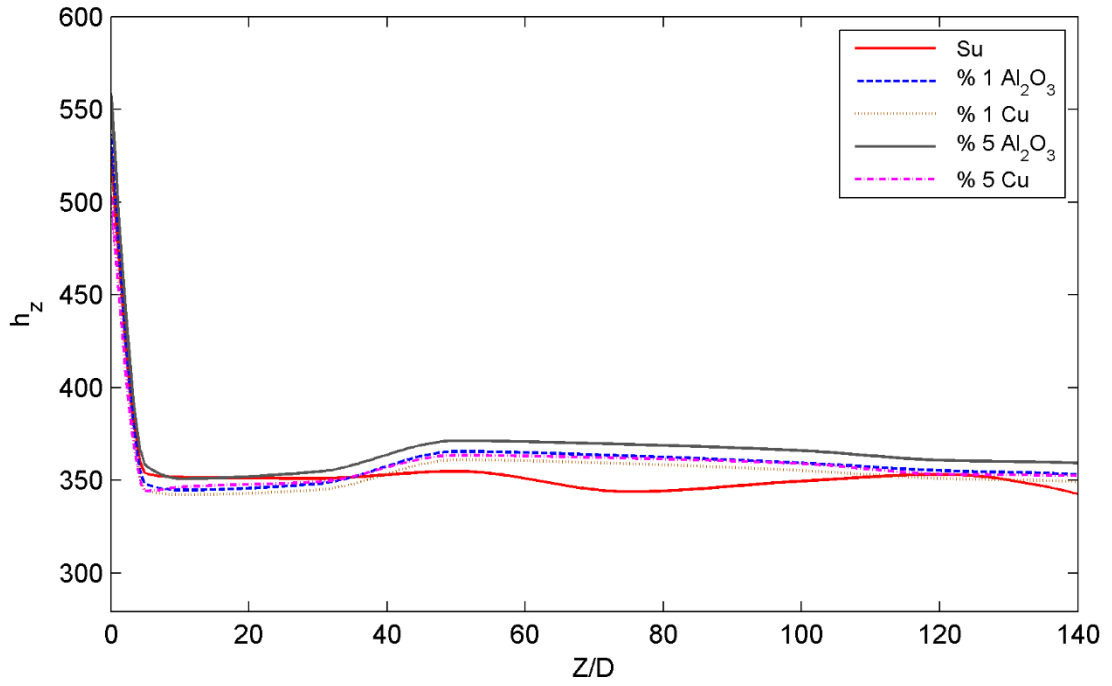


Şekil 4.17: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Nusselt Sayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)

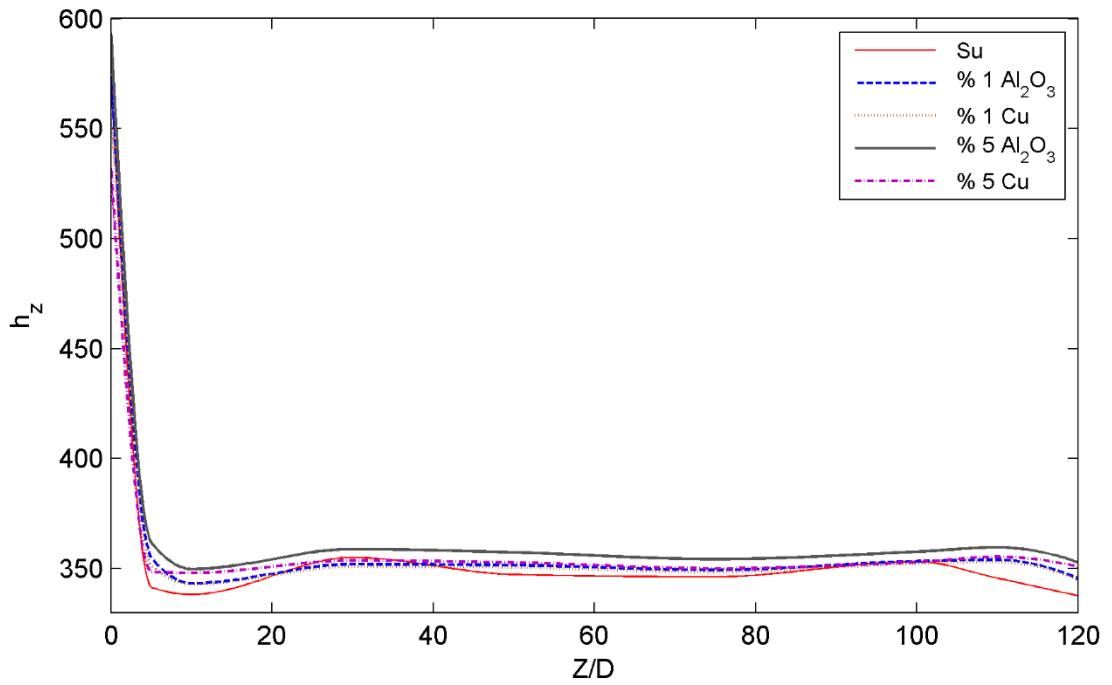
Şekil (4.18 – 4.21)'de farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren farklı nanoakışkanlar ile suyun, 700 W/m^2 ısı akısında ve $Re=400$ olduğu durum için ısı taşınımı karşılaştırılması yapılmıştır. Görüldüğü üzere tüm açı değerlerinde en yüksek değere % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı sahiptir. Daha sonra sırasıyla % 5 Cu, % 1 Al_2O_3 ve % 1 Cu hacimsel oranlarında nanopartikül içeren nanoakışkanlar gelmektedir. Aynı hacimsel oranda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarını incelediğimizde; Cu-Su nanoakışkanının ısı iletim katsayısı daha yüksektir. Buna rağmen artışın Al_2O_3 -Su nanoakışkanında daha fazla olmasının sebebi; Al_2O_3 -Su nanoakışkanı aynı Reynolds sayısı ve ısı akısı değerinde Cu-Su nanoakışkanından daha hızlı hareket etmesidir. Çünkü Cu-Su nanoakışkanının yoğunluğu daha yüksektir. Bu durumu göstermek için Şekil 4.22'de Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının hızları eşit varsayıldı. Bu durumda Cu-Su nanoakışkanı beklenildiği gibi daha iyi bir ısı taşınımına sahip çıktı.



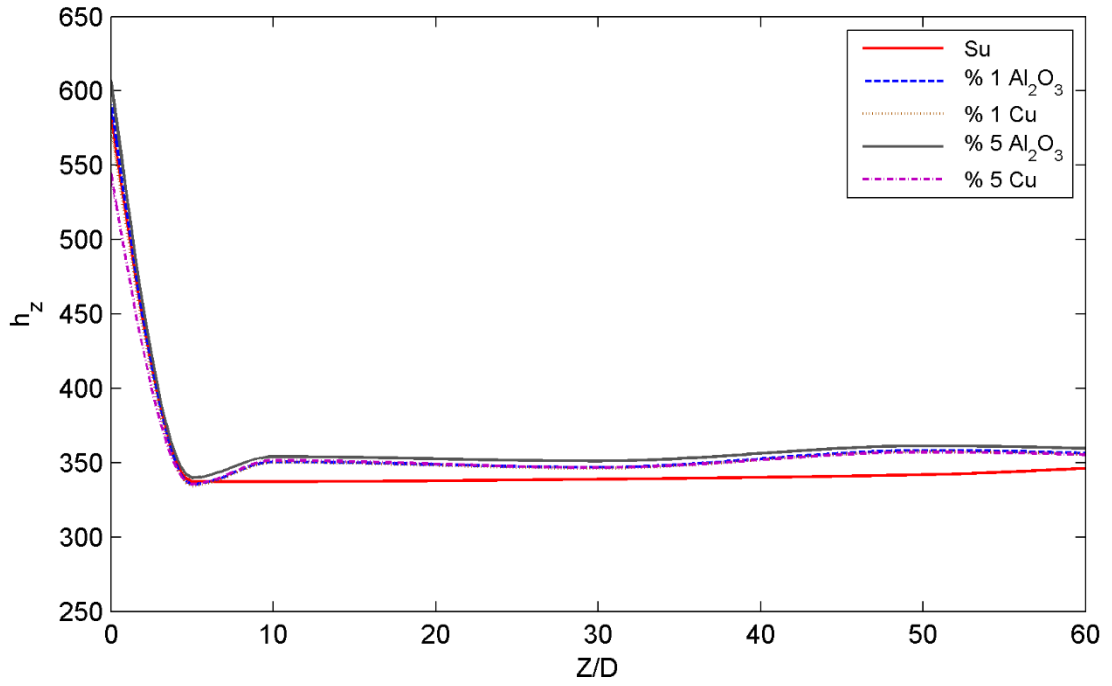
Şekil 4.18: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



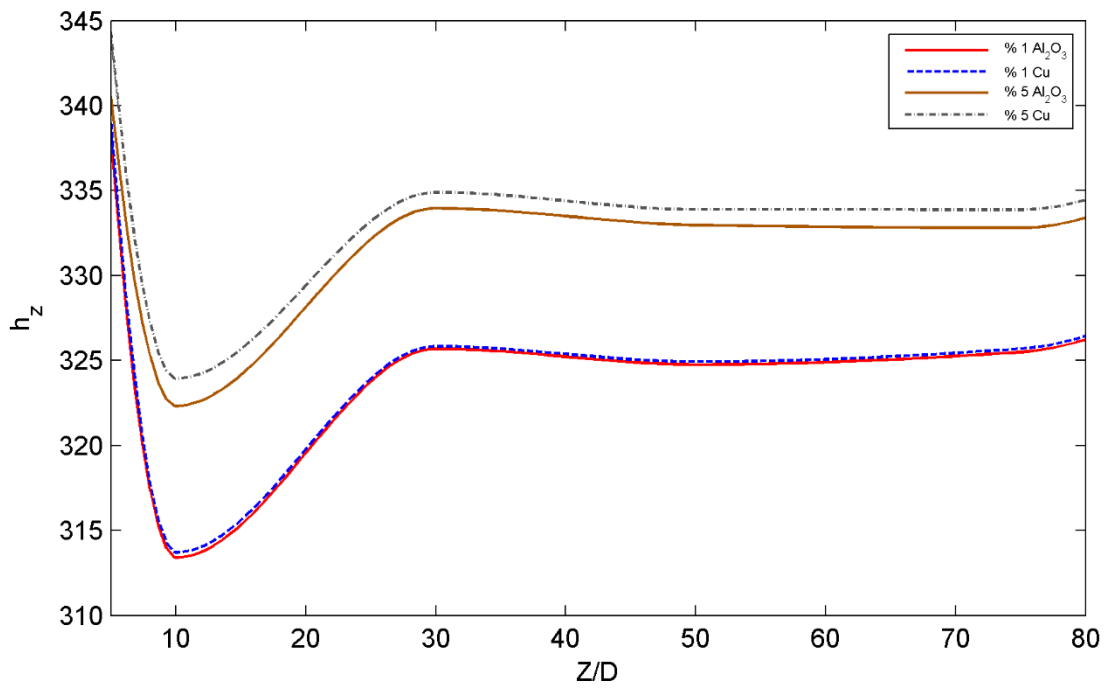
Şekil 4.19: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



Şekil 4.20: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



Şekil 4.21: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Isı Transferine Etkilerinin Su ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

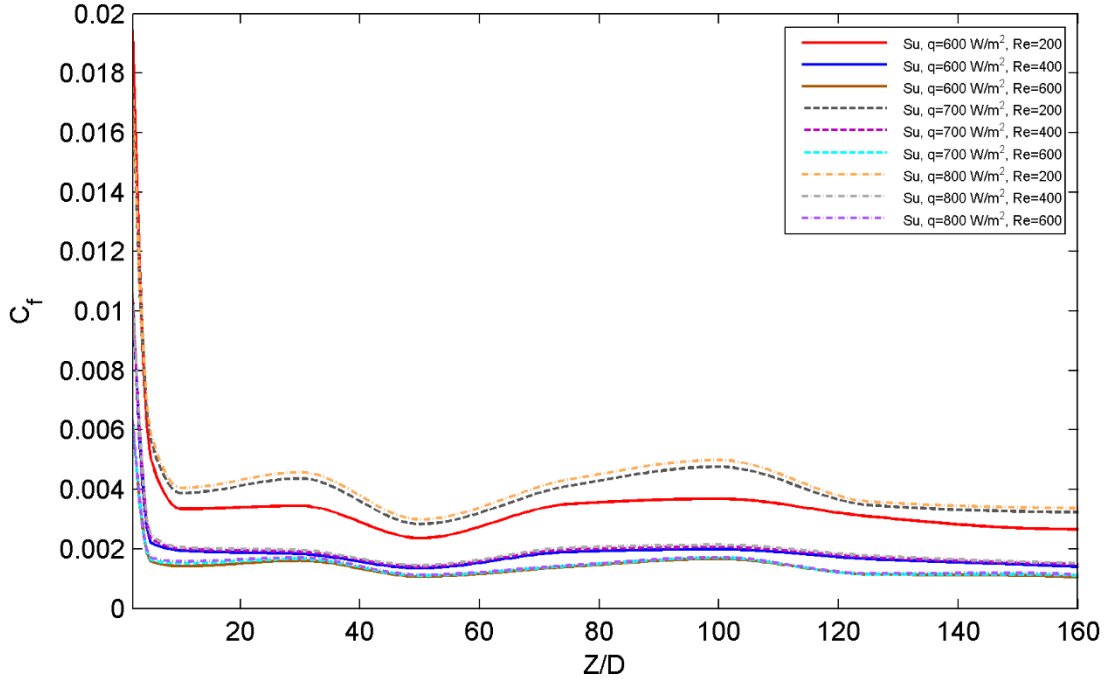


Şekil 4.22: Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Aynı Hız ile Hareket Etmeleri Durumunda Isı Transferine Etkilerinin Karşılaştırılması

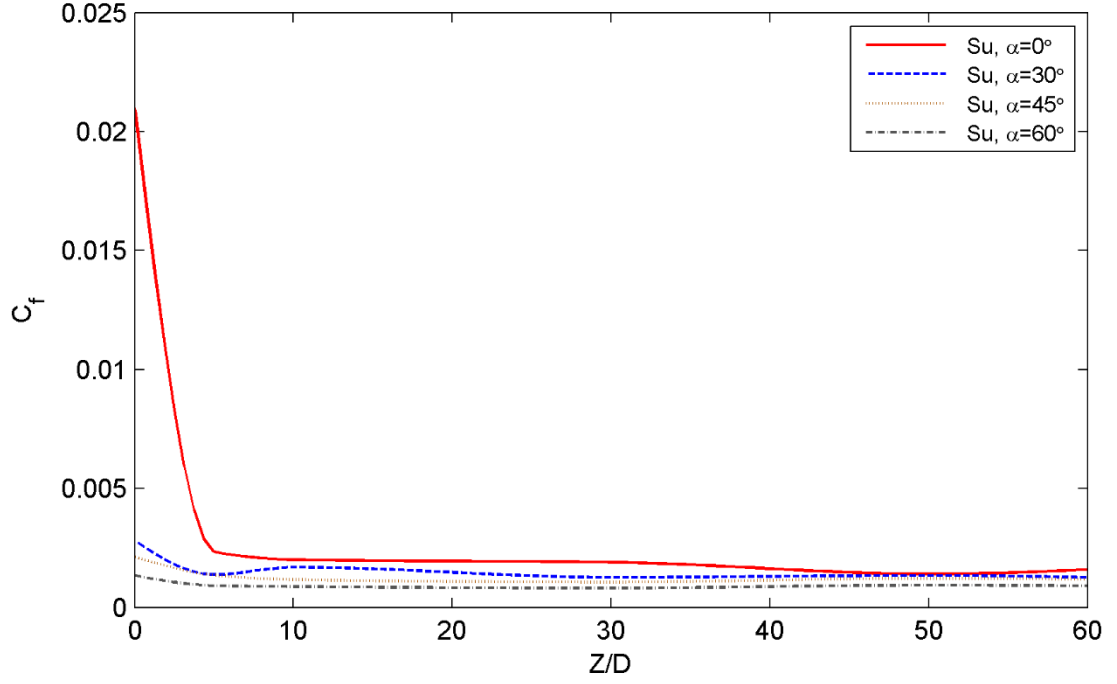
Şekil (4.23 – 4.32)'de yerel sürtünme katsayısının taşıyıcı boru boyunca değişimi; farklı ısı akıları, farklı Reynolds sayıları, farklı açılar, farklı nanopartikül hacimsel oranları ve farklı nanoakışkanlar için gösterilmiştir.

Şekil 4.23, Şekil 4.25, Şekil 4.27, Şekil 4.29 ve Şekil 4.31'de farklı ısı akıları ve farklı Reynolds sayılarının yerel sürtünme katsayısına etkisi gösterilmiştir. Bu şekillerden görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça yerel sürtünme katsayısının değeri azalmaktadır. Isı akısı değerinin artmasıyla yerel sürtünme katsayısı değeri artmaktadır.

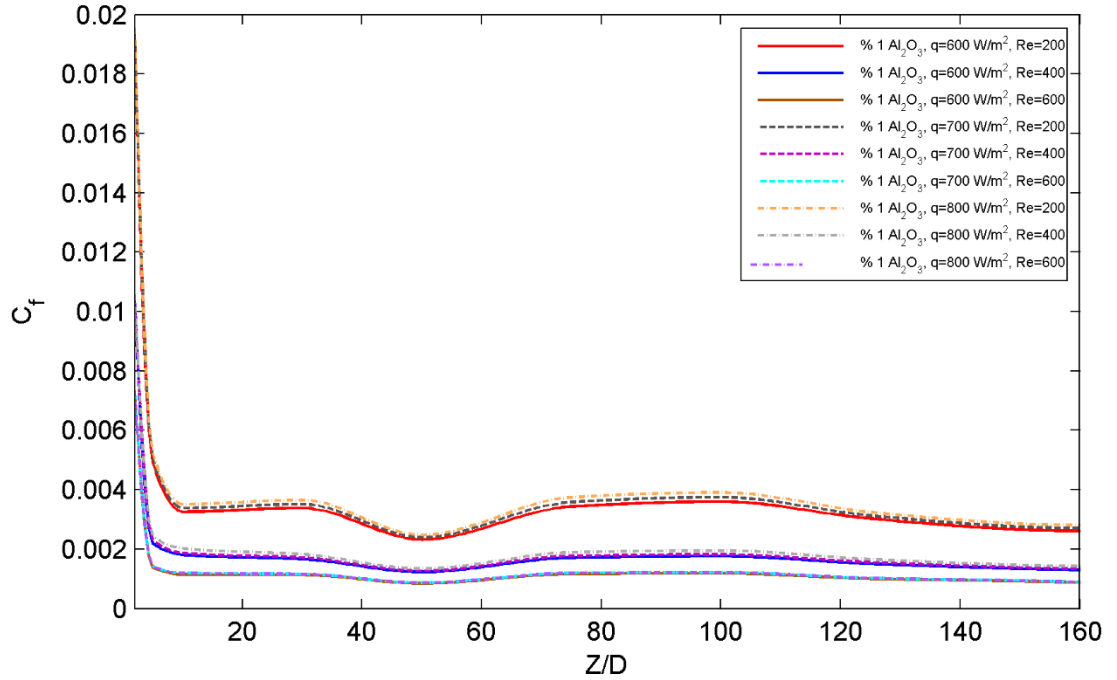
Şekil 4.24, Şekil 4.26, Şekil 4.28, Şekil 4.30 ve Şekil 4.32'de farklı açı durumlarının yerel sürtünme katsayısına etkisi incelenmiştir. Sistemin açı değeri arttıkça sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir.



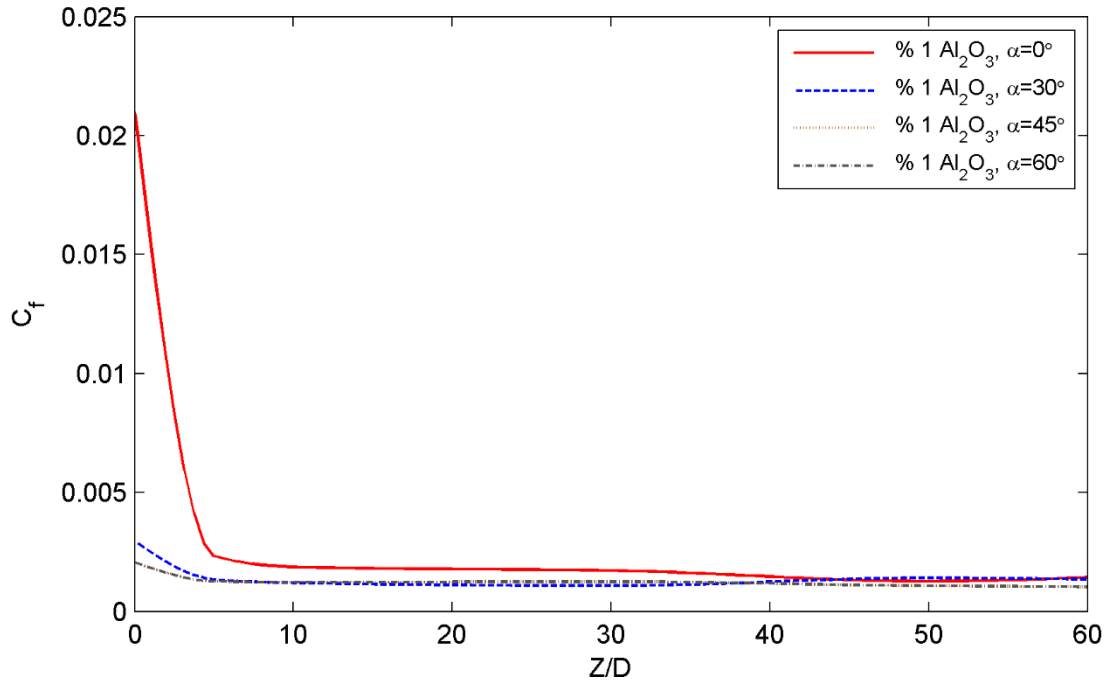
Şekil 4.23: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$)



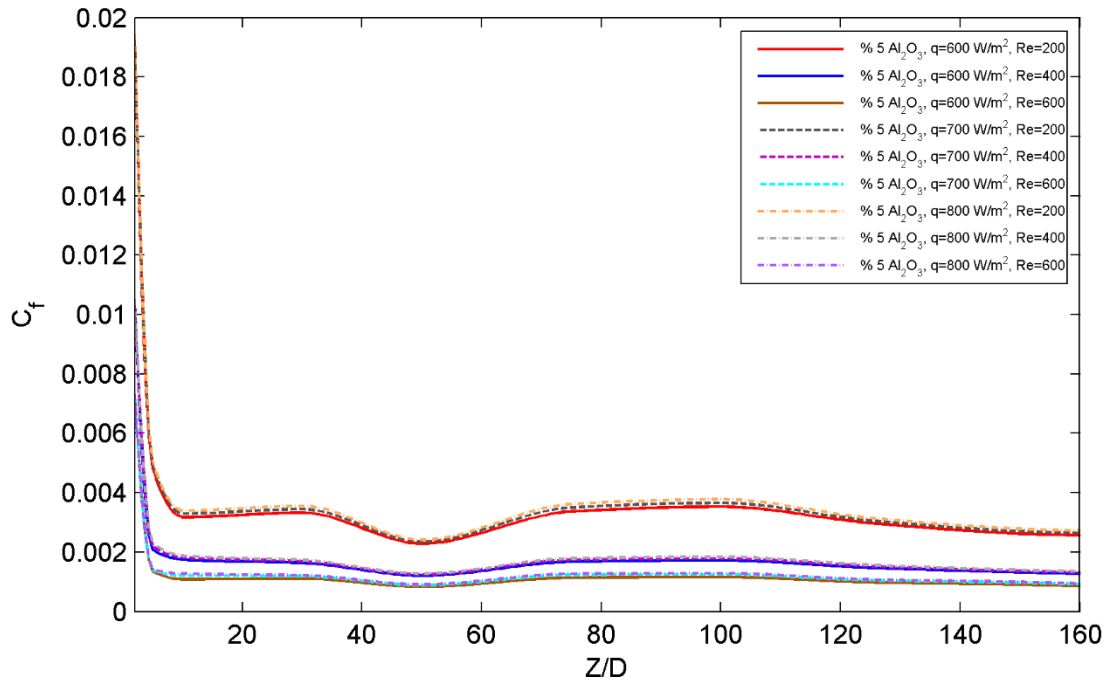
Şekil 4.24: Suyun, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



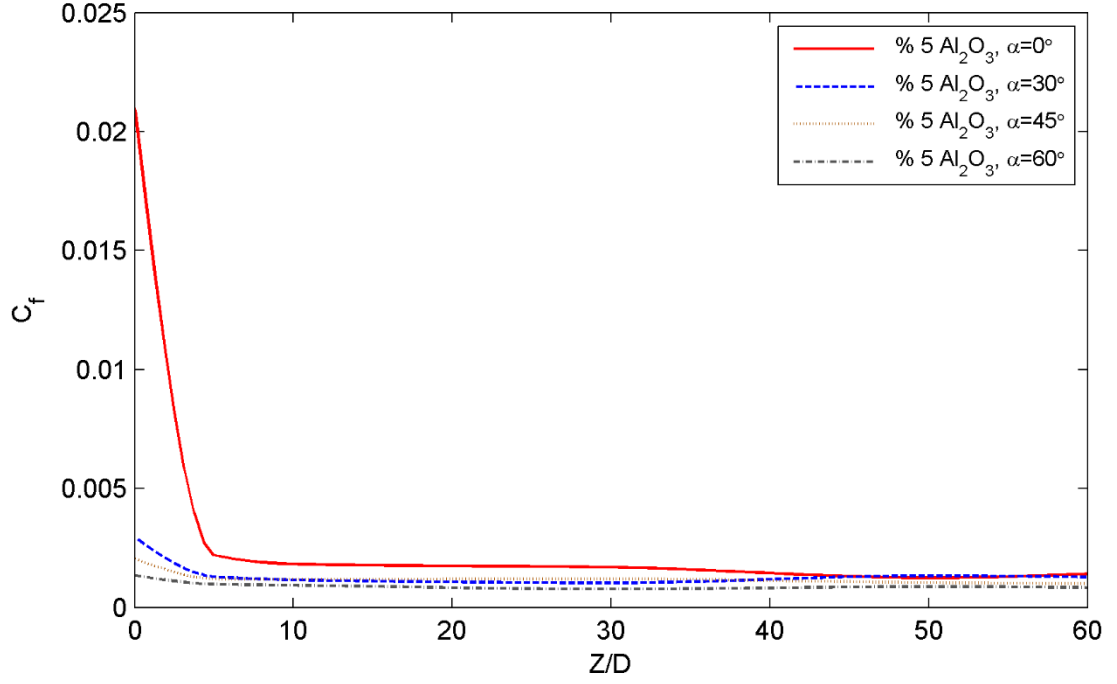
Şekil 4.25: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)



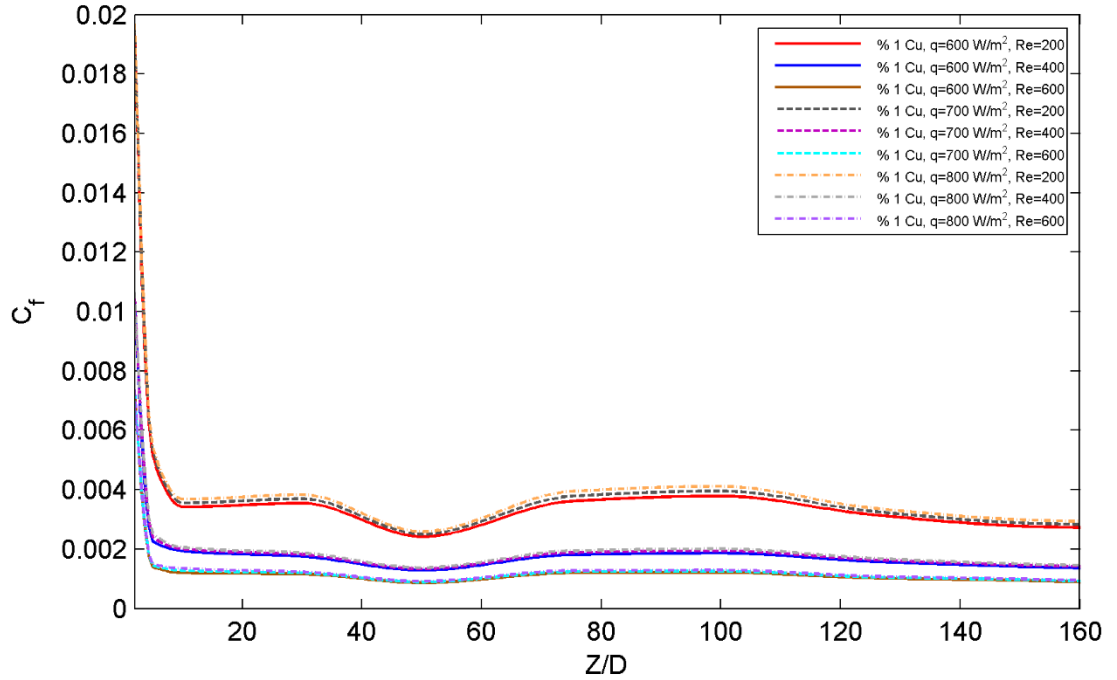
Şekil 4.26: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)



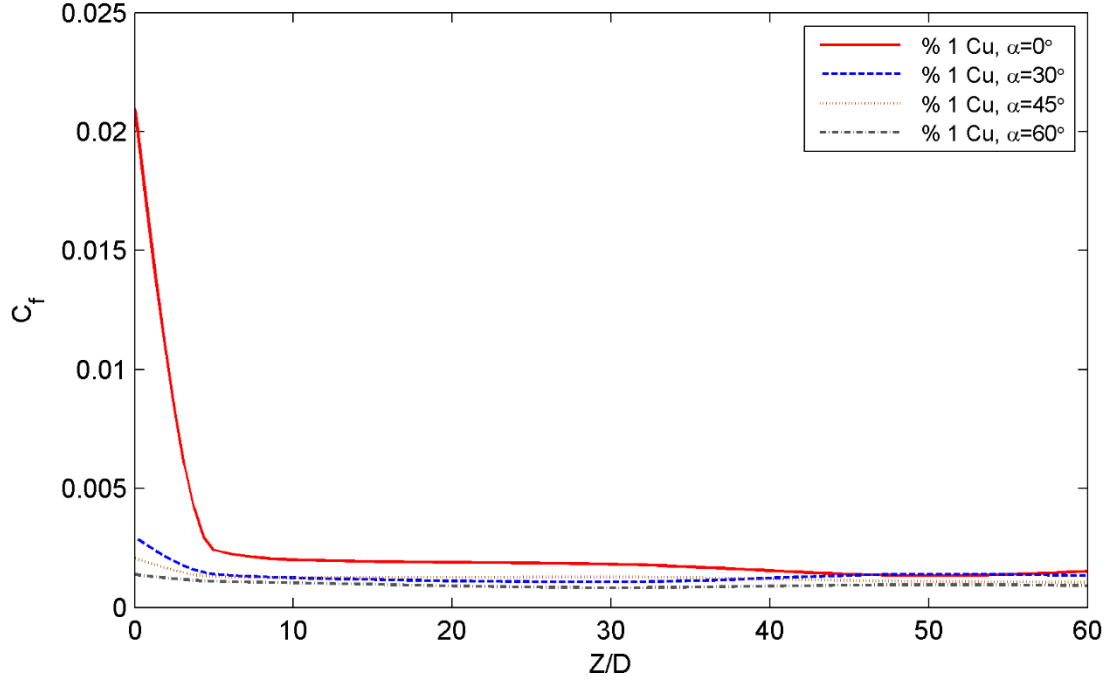
Şekil 4.27: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)



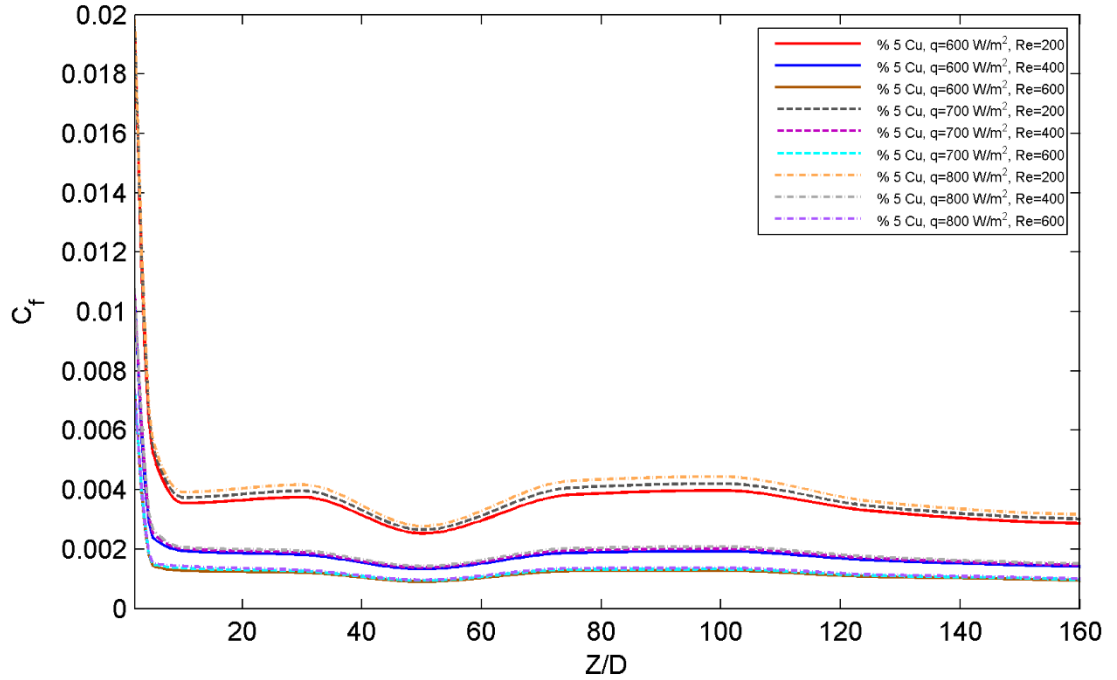
Şekil 4.28: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\phi=\%5$)



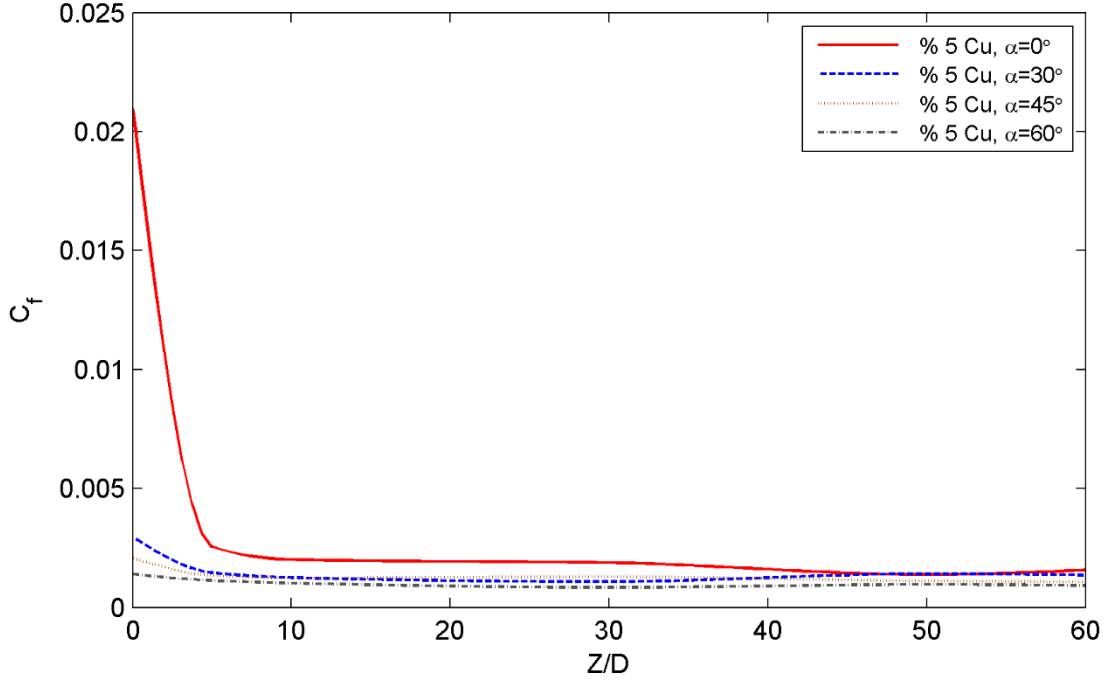
Şekil 4.29: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)



Şekil 4.30: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%1$)



Şekil 4.31: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)



Şekil 4.32: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Açı Değerlerinde Yerel Sürtünme Katsayısının Taşıyıcı Boru Boyunca Değişimi ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\%5$)

Şekil (4.33 – 4.36)'da sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° açılı durumları için, % 1 ve % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 ve Cu nanopartikülü içeren nanoakışkanların, su ve birbirleriyle sürtünme katsayısı değerlerinin değişimi karşılaştırılmıştır.

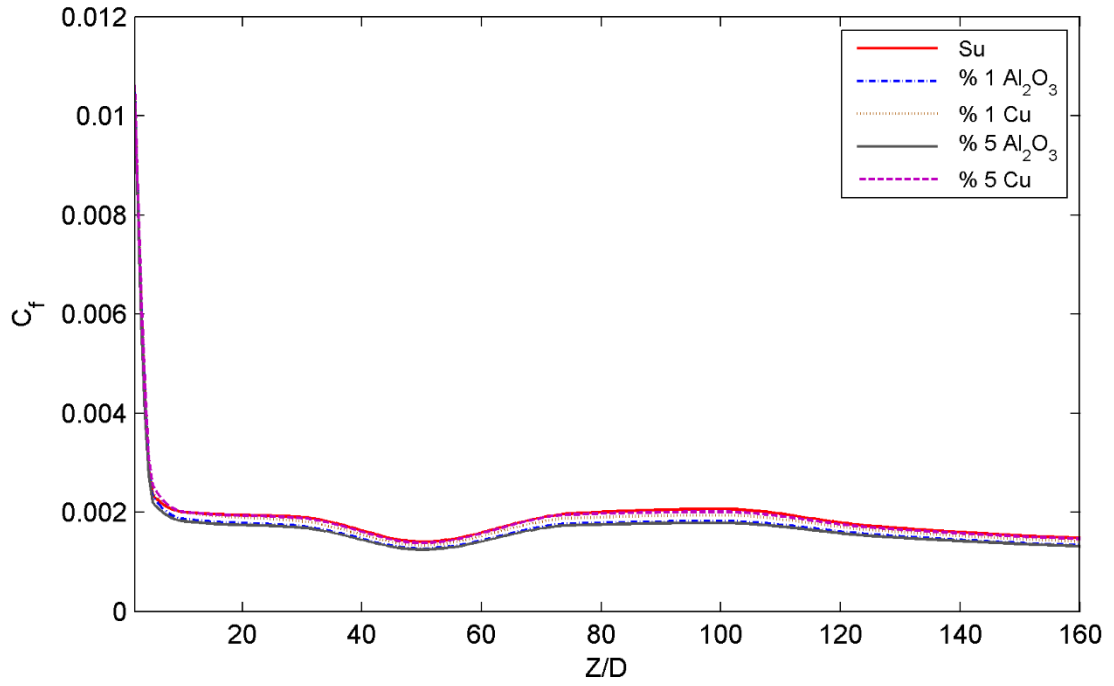
Sistemin yatay olması durumunda (Şekil 4.33) su en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahiptir. Ardından sırasıyla; % 5 Cu, % 1 Cu, % 1 Al_2O_3 ve % 5 Al_2O_3 gelmektedir.

Sistemin 30° olması durumunda (Şekil 4.34) sürtünme katsayısının değeri sırasıyla % 1 Cu, % 5 Cu, % 1 Al_2O_3 , % 5 Al_2O_3 ve su şeklinde azalır.

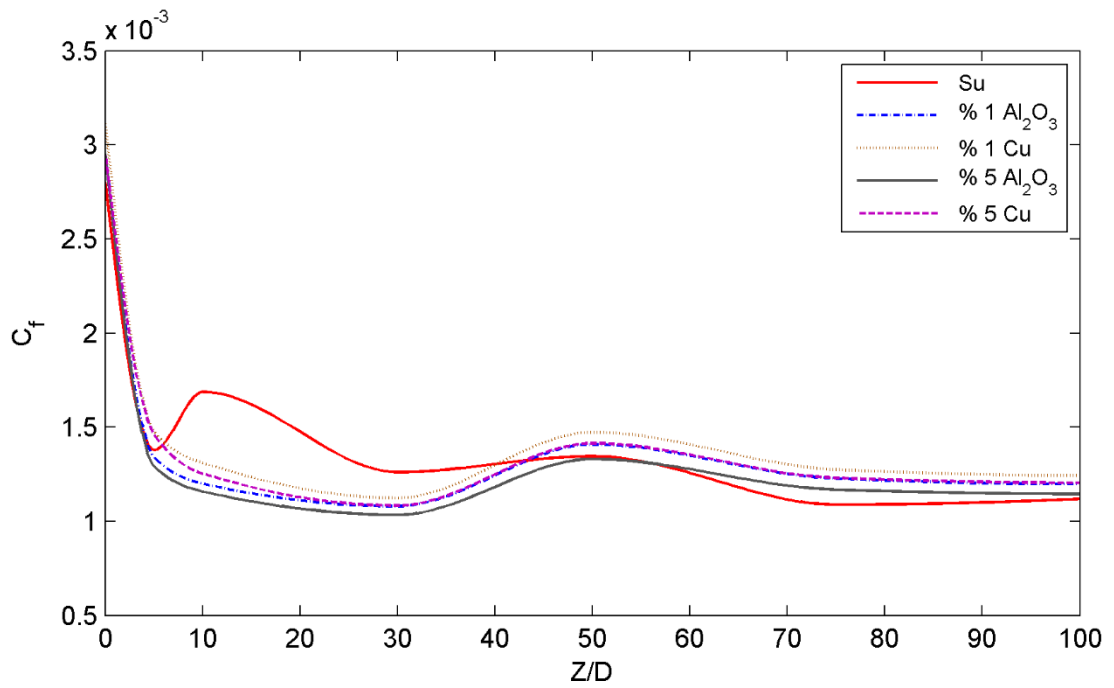
Sistem 45° olduğunda (Şekil 4.35) su, % 1 Cu, % 5 Cu, % 1 Al_2O_3 ve % 5 Al_2O_3 şeklinde sürtünme katsayısı azalarak sıralanır.

Son olarak sistem 60° açıyla durduğu (Şekil 4.36) durumda sürtünme katsayısı; % 1 Al_2O_3 , % 1 Cu, % 5 Cu, su ve % 5 Al_2O_3 şeklinde azalarak sıralanır.

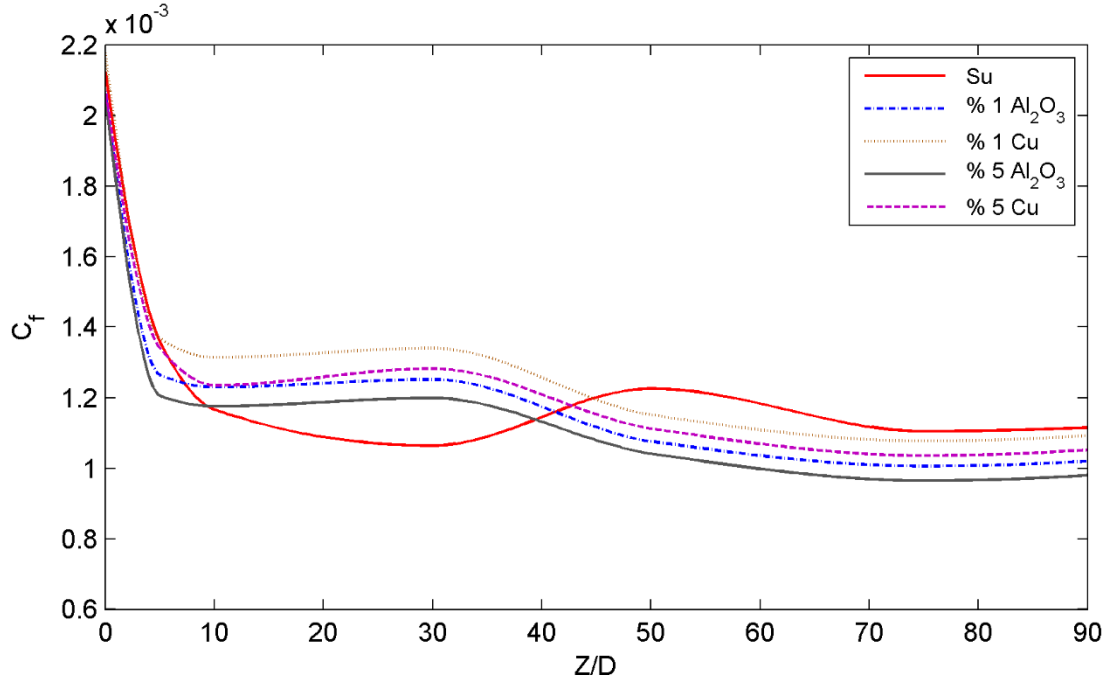
Şekil (4.33 – 4.36) incelendiğinde nanoakışkanların yerel sürtünme katsayısı değerleri suyun değerlerinden çok farklı değildir. Birbirlerine ve suya oldukça yakın sürtünme katsayısı değerlerine sahiptir.



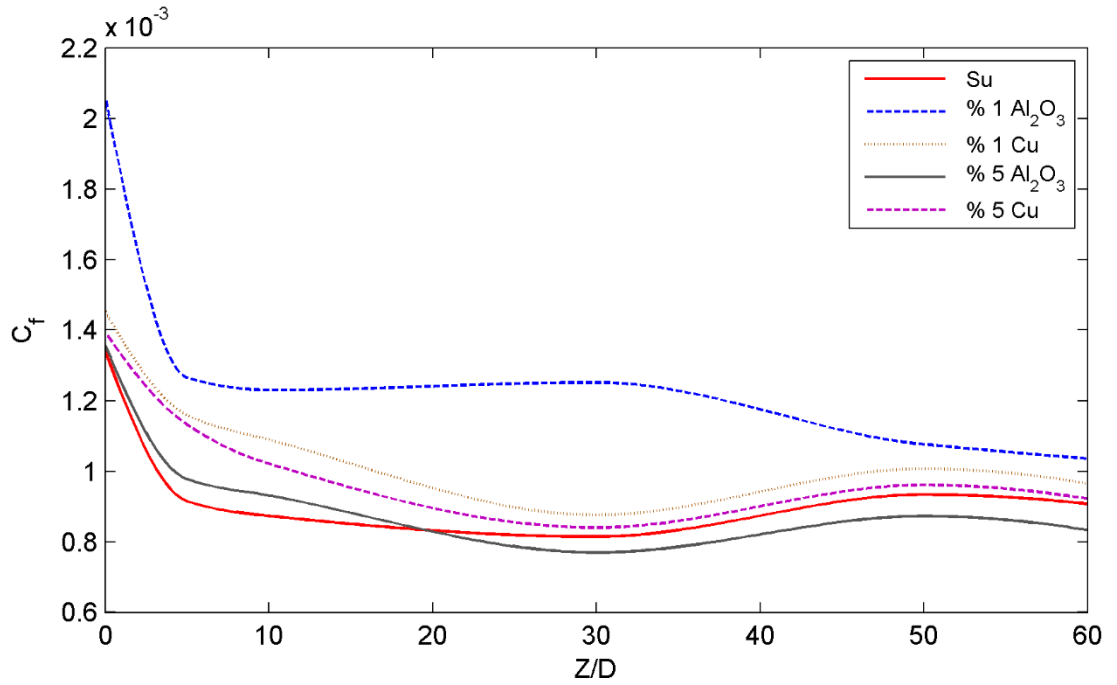
Şekil 4.33: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



Şekil 4.34: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

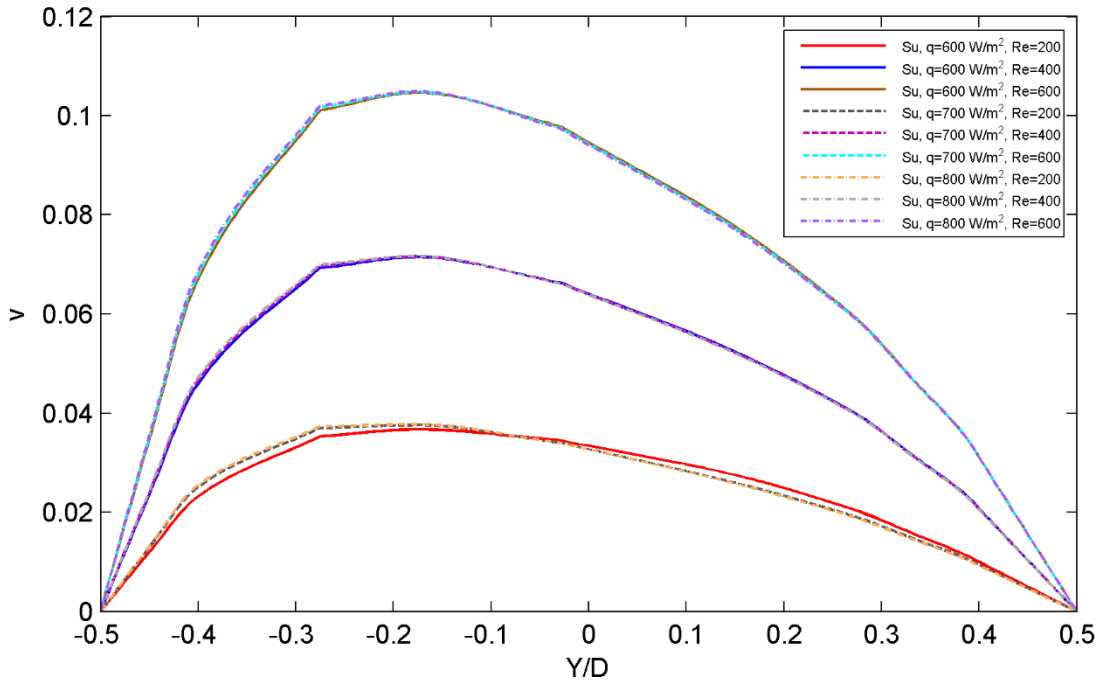


Şekil 4.35: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

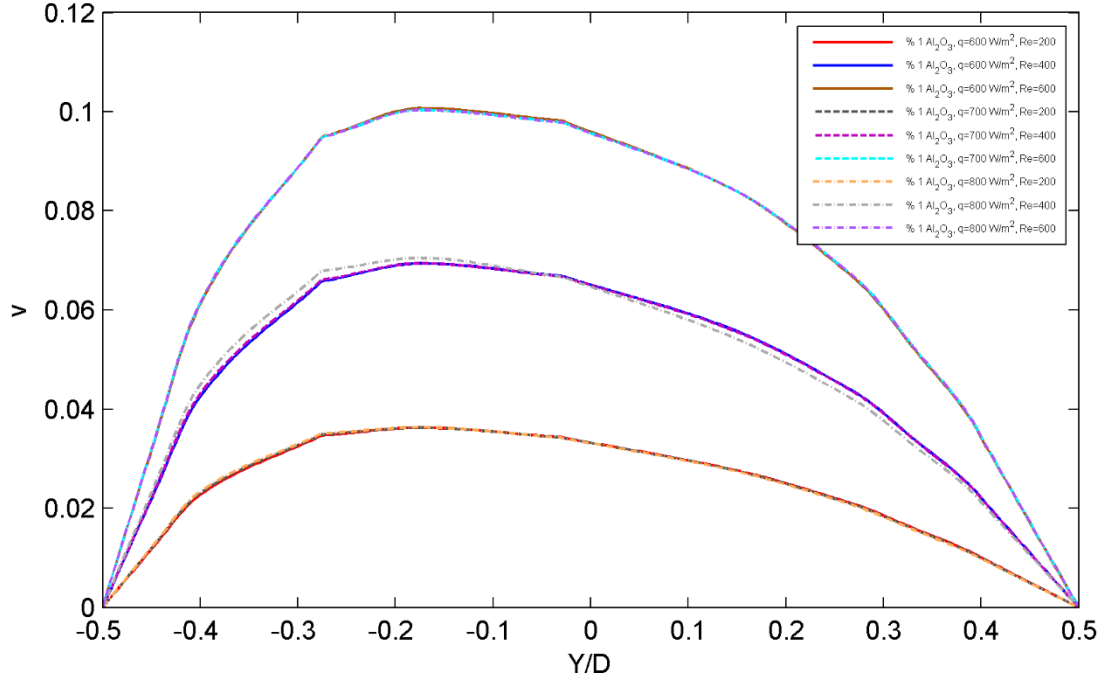


Şekil 4.36: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül İçeren Farklı Nanoakışkanların, Yerel Sürtünme Katsayılarının Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

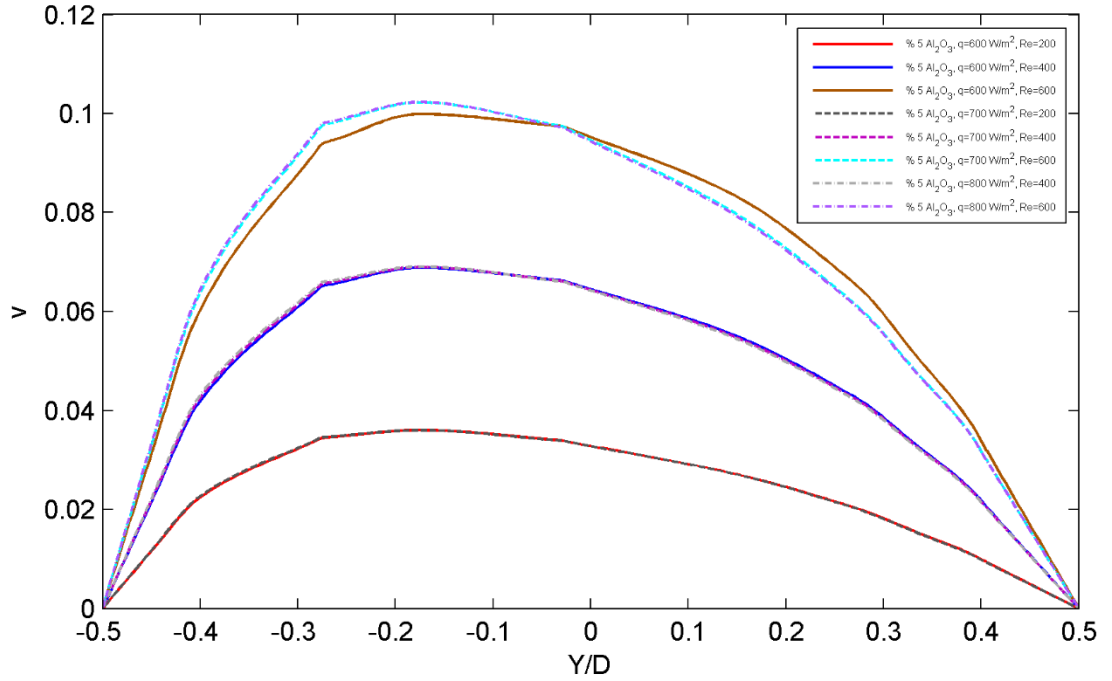
Şekil (4.37 – 4.41)'de görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça beklenildiği gibi hız değerleri artmaktadır. Isı akısındaki artış, hızı fazla etkilememektedir. Isı akısının fazla olmasa da hızı etkilemesinin sebebi, karışık taşınım olduğundan dolayı doğal taşınım etkilerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca; doğal taşınımın etkilerinden dolayı en yüksek hız değeri ısı akısının geldiği yüzeye doğru yönelmektedir.



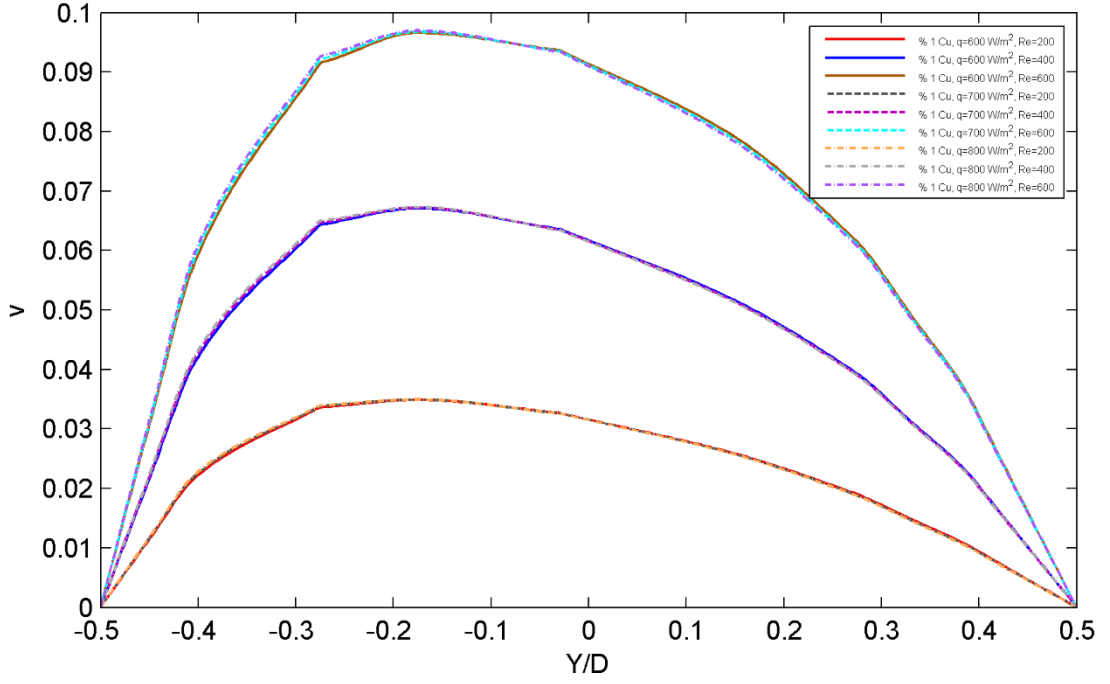
Şekil 4.37: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)



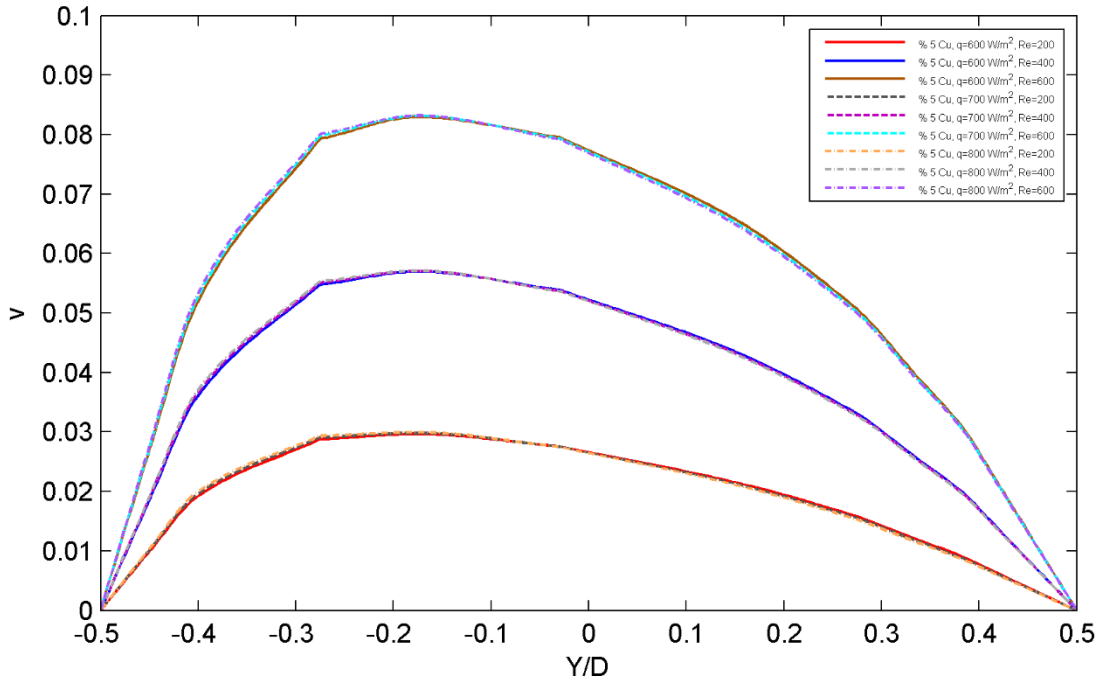
Şekil 4.38: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%1$)



Şekil 4.39: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=\%5$)

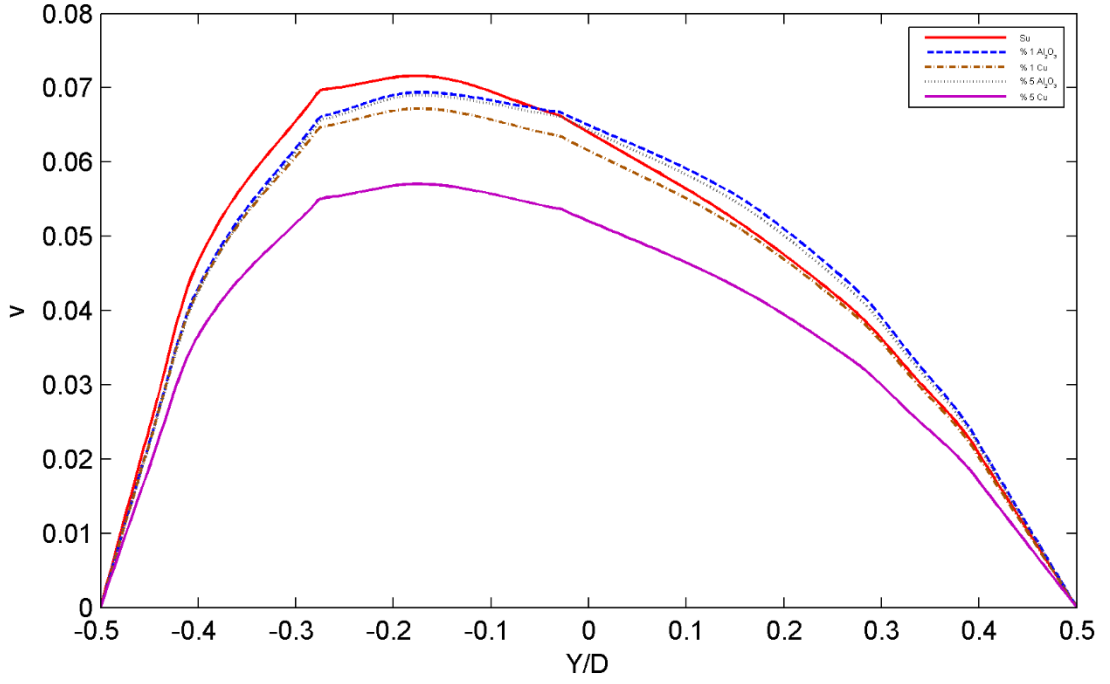


Şekil 4.40: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=1\%$)

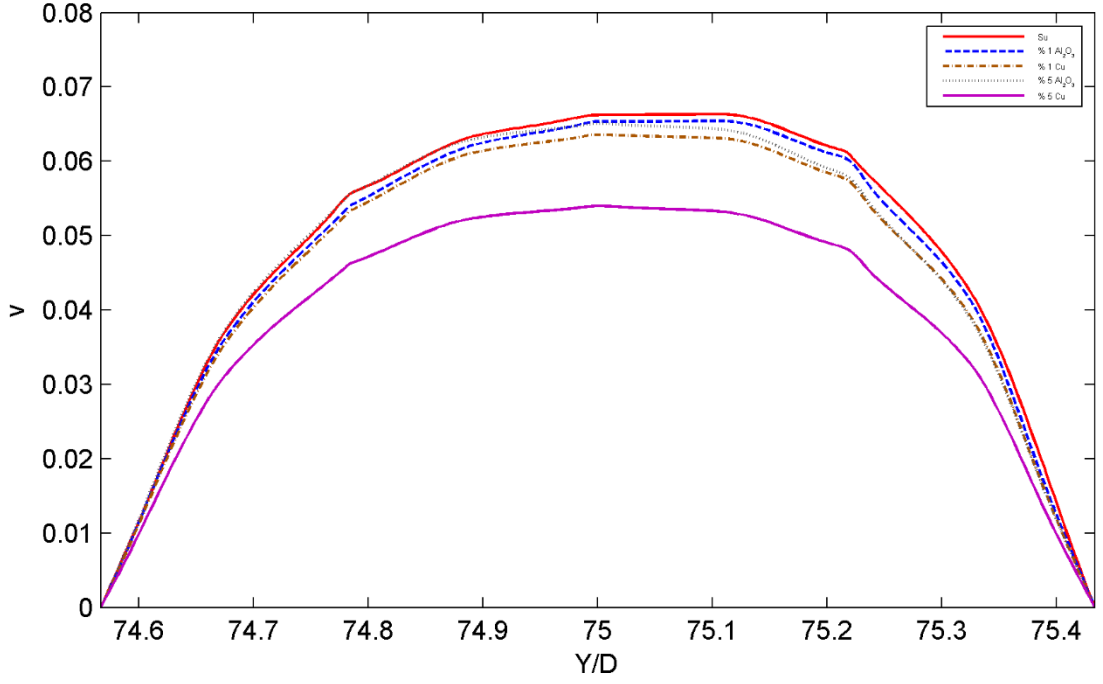


Şekil 4.41: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Re Sayılarında Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $\phi=5\%$)

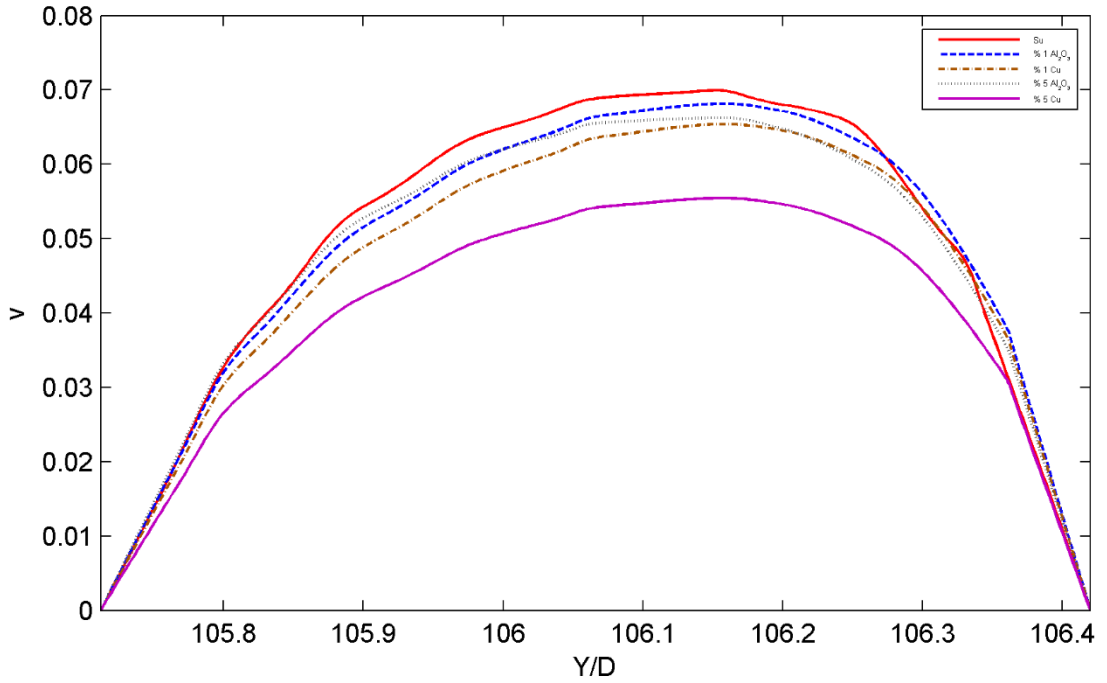
Şekil (4.42 – 4.45)'deki farklı açı durumlarında (0° , 30° , 45° ve 60°) suyun ve nanoakışkanların tam gelişmiş hız profilleri incelendiğinde suyun hızı en fazladır. Ardından sırasıyla; % 1 Al_2O_3 , % 5 Al_2O_3 , % 1 Cu ve % 5 Cu gelmektedir. Yoğunluğu en yüksek olan % 5 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanının hızı en düşüktür. Doğal taşınımın etkilerinden dolayı hız profilinin sıcak olan yüzeye doğru yöneldiğini bu grafiklerde de görmekteyiz.



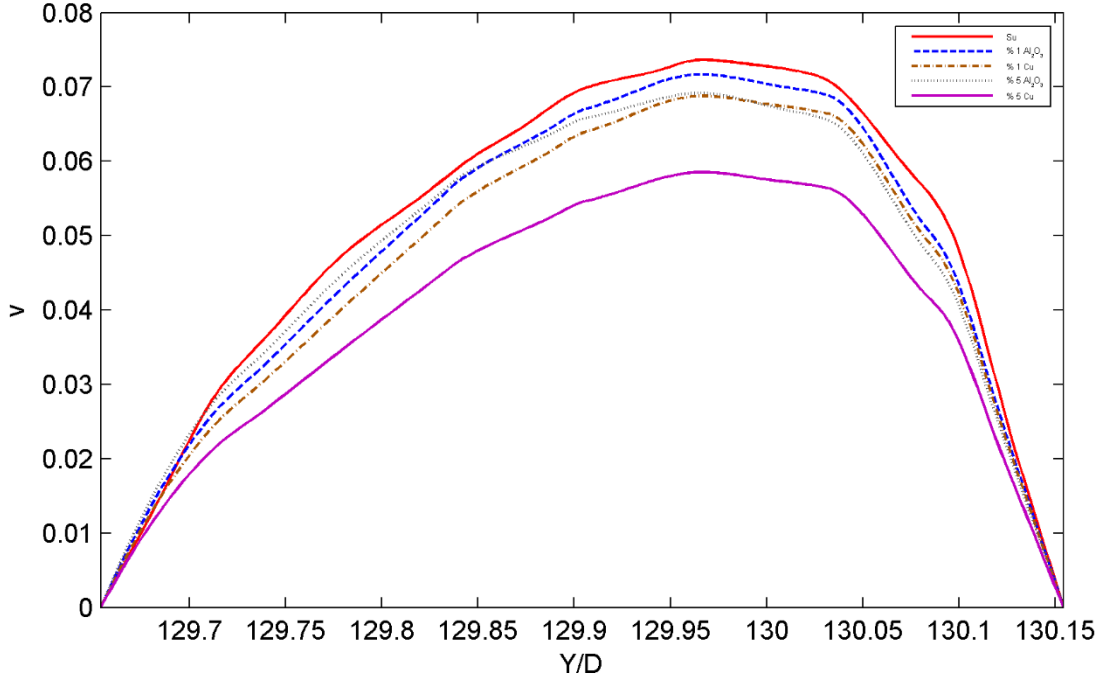
Şekil 4.42: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$)



Şekil 4.43: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

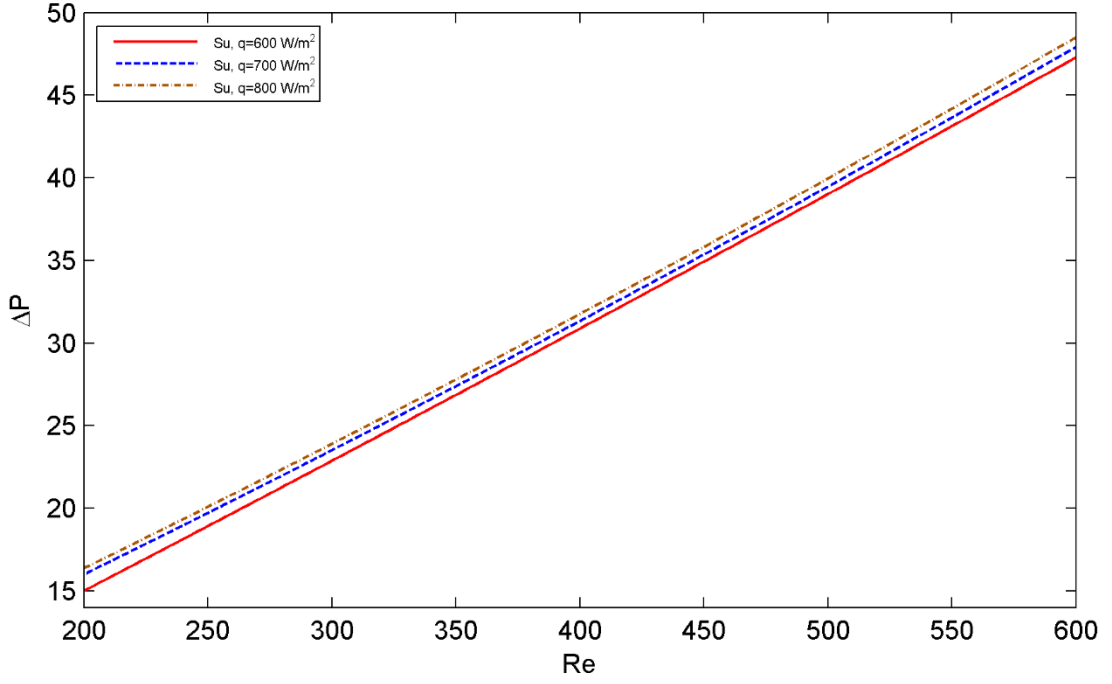


Şekil 4.44: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

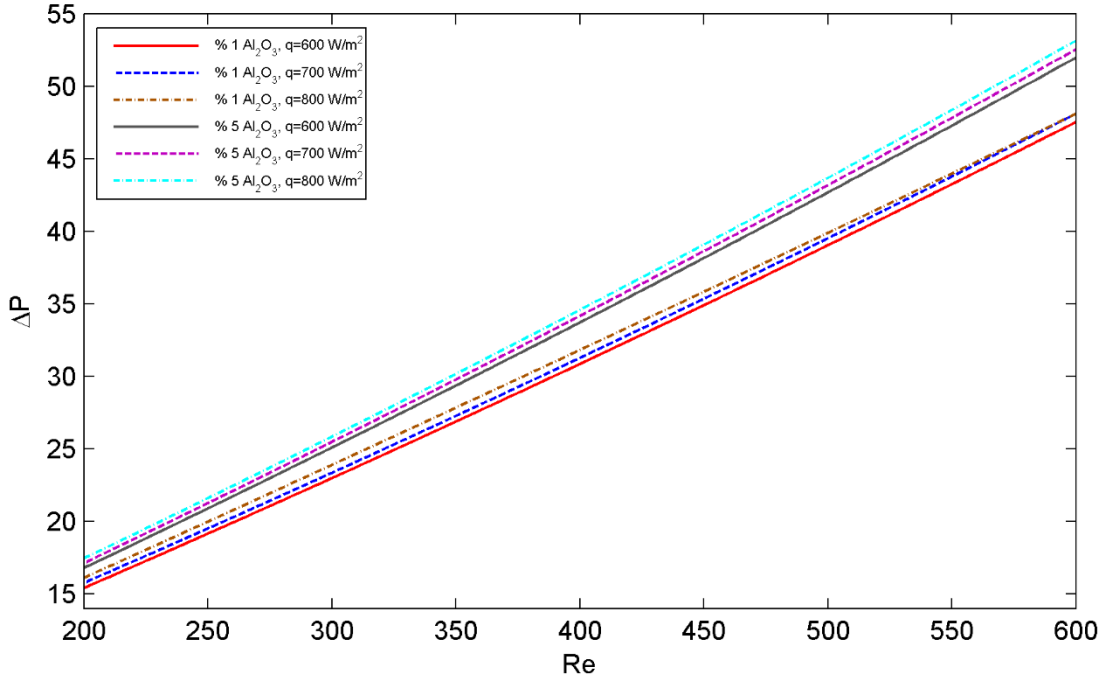


Şekil 4.45: Farklı Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

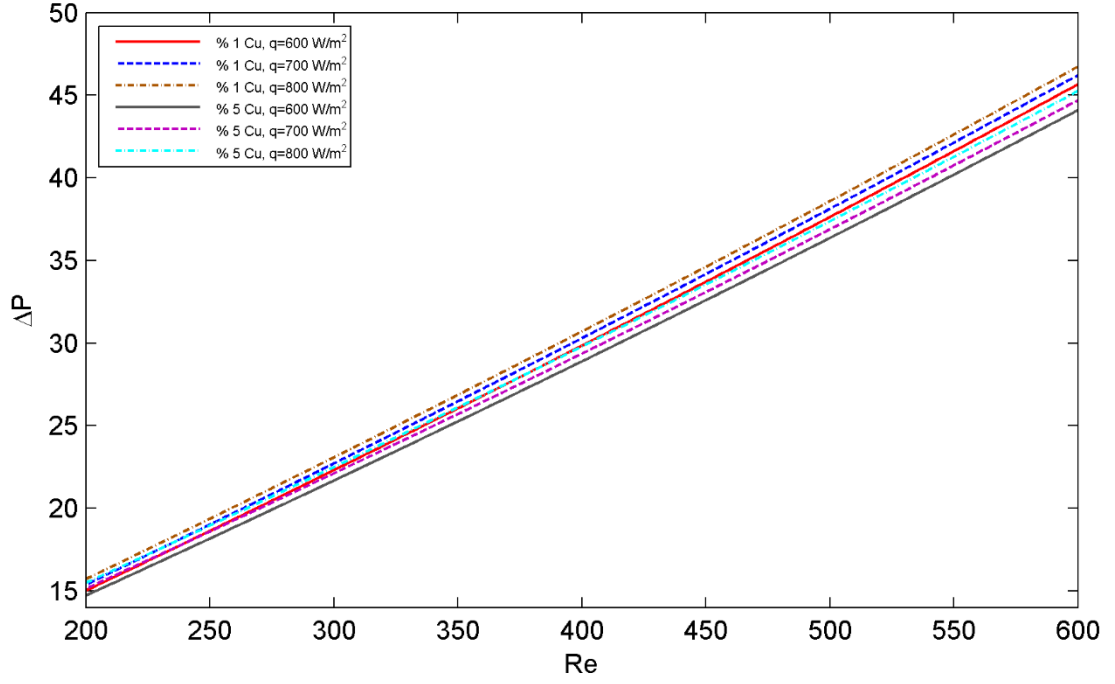
Şekil (4.46 – 4.52)'de farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının, farklı ısı akıları ve farklı açı durumları için basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Reynolds sayısı ve ısı akısı değeri arttıkça basınç farkı da artmaktadır. Al_2O_3 -Su nanoakışkanında nanopartikül hacimsel oranı arttıkça basınç farkı artmakta, Cu-Su nanoakışkanında ise nanopartikül hacimsel oranı arttıkça basınç farkı azalmaktadır. Ayrıca yatay durumda basınç farkı pozitif olmakta, ancak sistemin eğimli olduğu durumlarda doğal taşınımın etkilerinden dolayı basınç değişimi negatif olmaktadır. Doğal taşınım etkileri eğimli durumda çıkış basıncını arttırmaktadır. Yatay ve eğimli durumlarda akışkanlar karşılaştırıldığında; en yüksek basınç farkı % 5 hacimsel oranında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanındadır.



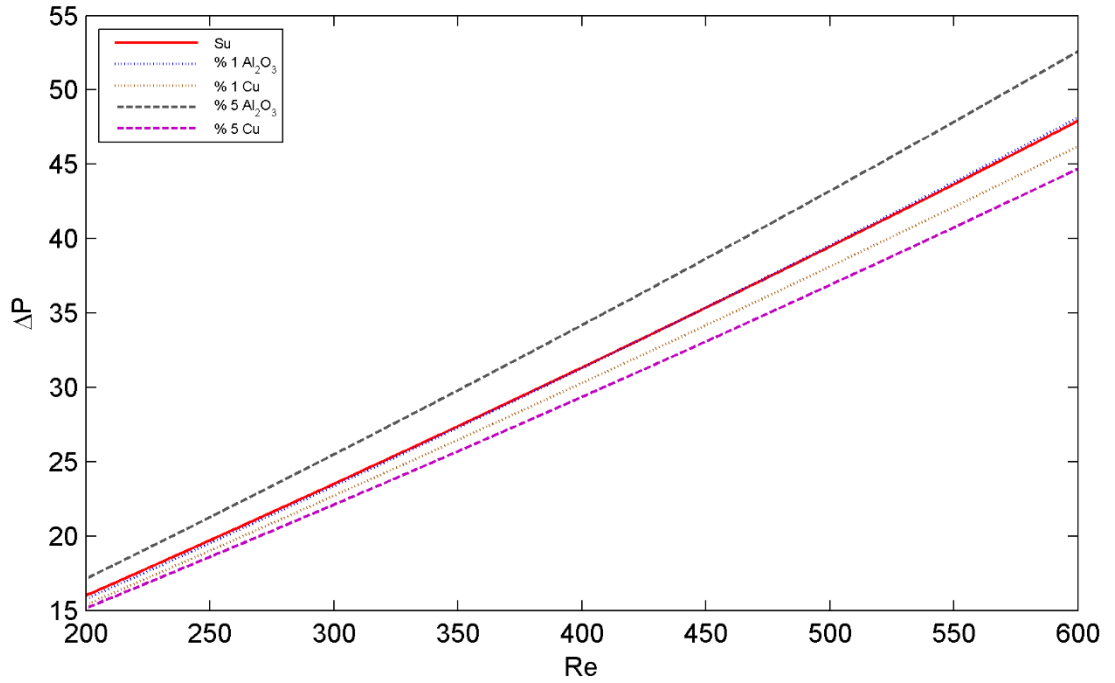
Şekil 4.46: Suyun, Değişik Isı Akısı Değerlerinde Basınç Değişimi (Pa) – Reynolds Sayısı Grafiği ($\alpha=0^\circ$)



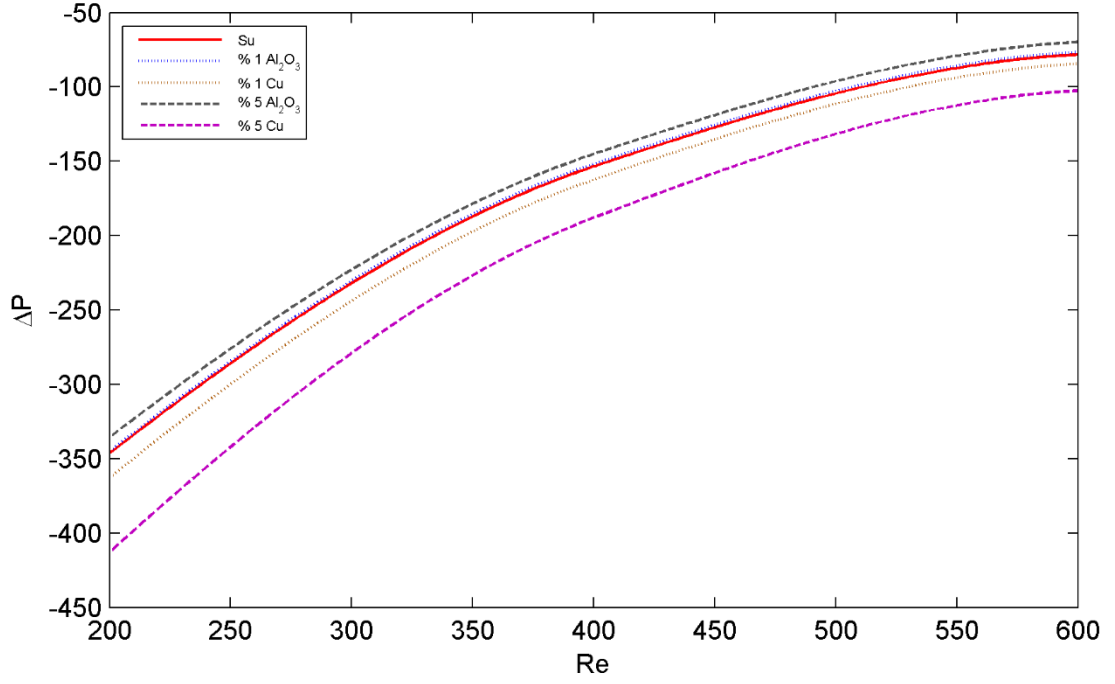
Şekil 4.47: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Nanopartikül Hacimsel Oranlarında Basınç Değişimi (Pa) – Reynolds Sayısı Grafiği ($\alpha=0^\circ$)



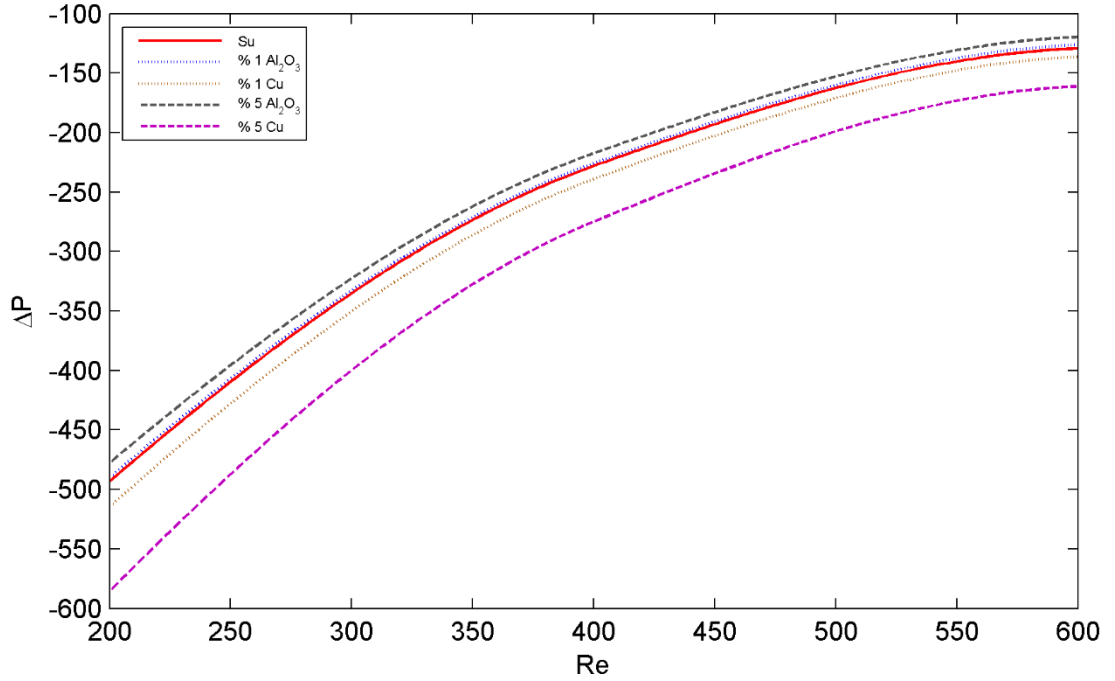
Şekil 4.48: Cu-Su Nanoakışkanının, Değişik Isı Akısı Değerlerinde ve Değişik Nanopartikül Hacimsel Oranlarında Basınç Değişimi (Pa) – Reynolds Sayısı Grafiği ($\alpha=0^\circ$)



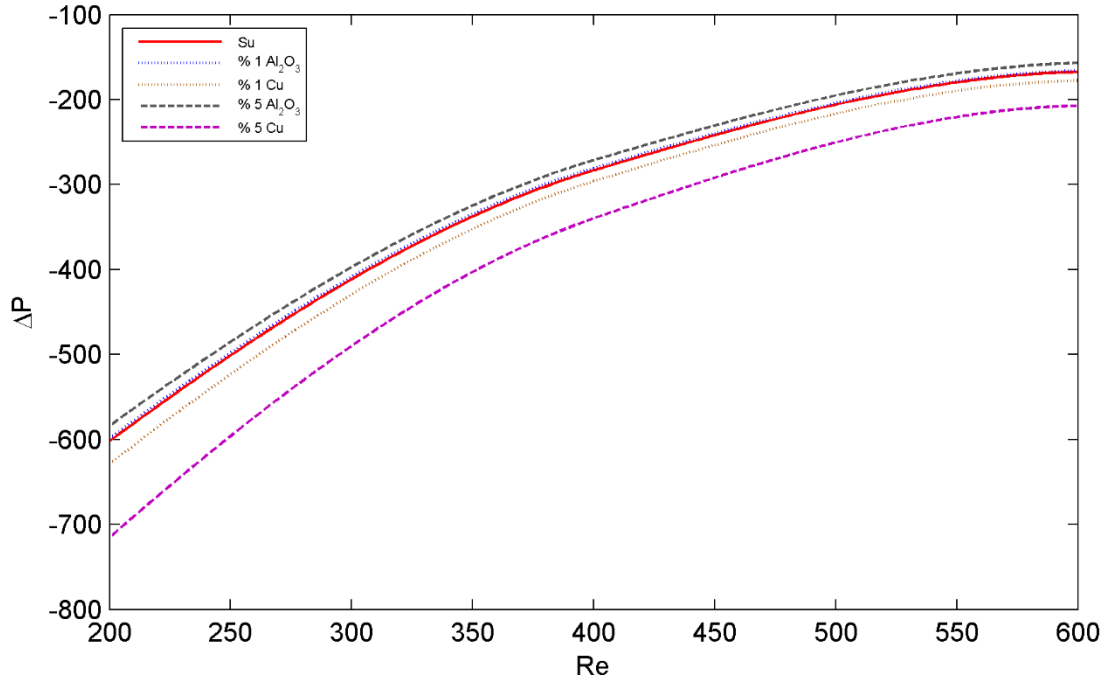
Şekil 4.49: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



Şekil 4.50: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



Şekil 4.51: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



Şekil 4.52: Farklı Hacimsel Oranlarda Nanopartikül Bulunduran Farklı Nanoakışkanların, Basınç Değişiminin (Pa) Su ve Birbirleri ile Karşılaştırılması ($\alpha=60^\circ$, $q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)

4.3 Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Kullanılan Nanoakışkanların Isı Transferine Katkısı

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de; farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; sistemin açısal durumunun, sisteme gelen ısı akısının ve Reynolds sayısındaki değişimin, sistemdeki ısı transferini suya göre nasıl artırdığının karşılaştırmaları yapılmıştır. Isı transferindeki artışın yaklaşık olarak % 1 ile % 8 arasında değiştiğini görmekteyiz. Daha önceden incelediğimiz şekillerde de gördüğümüz üzere; % 5 hacimsel oranında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ısı transferinde meydana getirmiş olduğu yüzdelik artış daha fazladır.

Tablo 4.3: Farklı Açı, Farklı Reynolds Sayısı ve Farklı Nanopartikül Oranlarındaki Nanoakışkanların Isı Transferinin Suyu Göre Yüzdelik Artış Oranları ($q=700 \text{ W/m}^2$)

ϕ (%)	Re	0° (%)	30° (%)	45° (%)	60° (%)
1 (Al_2O_3)	200	2,098338	2,357091	1,700169	3,434336
	400	2,425401	2,998987	0,905999	3,572602
	600	3,713885	1,711830	1,659921	2,826935
1 (Cu)	200	1,256054	2,250522	1,520515	3,245995
	400	1,295546	1,815088	0,720769	3,362765
	600	2,425937	1,286350	1,167869	2,684694
5 (Al_2O_3)	200	5,832571	3,235532	2,766228	3,467976
	400	6,391533	4,770099	2,768250	4,650457
	600	7,757365	4,935956	2,813399	5,099574
5 (Cu)	200	3,476944	2,671967	3,084592	2,557278
	400	3,819851	2,697000	2,021451	3,387617
	600	4,434785	2,918524	2,445321	3,345232

Tablo 4.4: Farklı Isı Akısı, Farklı Reynolds Sayısı ve Farklı Nanopartikül Oranlarındaki Nanoakışkanların Isı Transferinin Suyu Göre Yüzdelik Artış Oranları ($\alpha=0^\circ$)

ϕ (%)	Re	$q=600 \text{ W/m}^2$	$q=700 \text{ W/m}^2$	$q=800 \text{ W/m}^2$
1 (Al_2O_3)	200	1,213761	2,098338	2,179781
	400	2,392523	2,425401	2,621023
	600	3,473217	3,713885	4,132771
1 (Cu)	200	0,409591	1,256054	1,373096
	400	1,179760	1,295546	1,523402
	600	2,197706	2,425937	2,674470
5 (Al_2O_3)	200	4,775881	5,832571	6,129219
	400	6,330064	6,391533	6,442666
	600	7,584142	7,757365	7,857769
5 (Cu)	200	2,668588	3,476944	3,530054
	400	3,672482	3,819851	3,941365
	600	4,377374	4,434785	4,853090

5. NANOAKIŞKANLI DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ZORLANMIŞ TAŞINIM ANALİZİ

Zorlanmış taşınım, akışkan hareketinin akışkana etki ettirilen dış etkenler ile sağlandığı durumdur. Zorlanmış taşınım da; doğal taşınım etkileri, dış etkenlerden kaynaklanan etkilerden çok daha az olduğu durumlarda yok kabul edilir.

5.1 Zorlanmış Taşınım Analizi

Zorlanmış taşınım analizinde de karışık taşınım analizindeki aynı kabuller yapılmıştır ve aynı model kullanılmıştır. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri karışık taşınım analizindeki gibi alınmıştır. Zorlanmış taşınım analizi, karışık taşınım analizindeki doğal taşınım etkilerini görmek amacıyla yapılmıştır.

Zorlanmış taşınım analizinde kullanılan temel denklemler aşağıdaki gibidir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} r v) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} w) = 0 \quad (5.1)$$

Momentum Denklemleri:

θ -Bileşeni

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} u u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} r v u) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} w u) + \frac{1}{r} (\rho_{na} u v) \\ &= -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\mu_{na} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mu_{na}}{r} \frac{\partial (r u)}{\partial r} \right) + \frac{2 \mu_{na}}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} \end{aligned} \quad (5.2)$$

r-Bileşeni

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} uv) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} rvv) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} wv) - \frac{1}{r} (\rho_{na} u^2) \\
 &= -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\mu_{na} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mu_{na}}{r} \frac{\partial (rv)}{\partial r} \right) - \frac{2\mu_{na}}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta}
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

z-Bileşeni

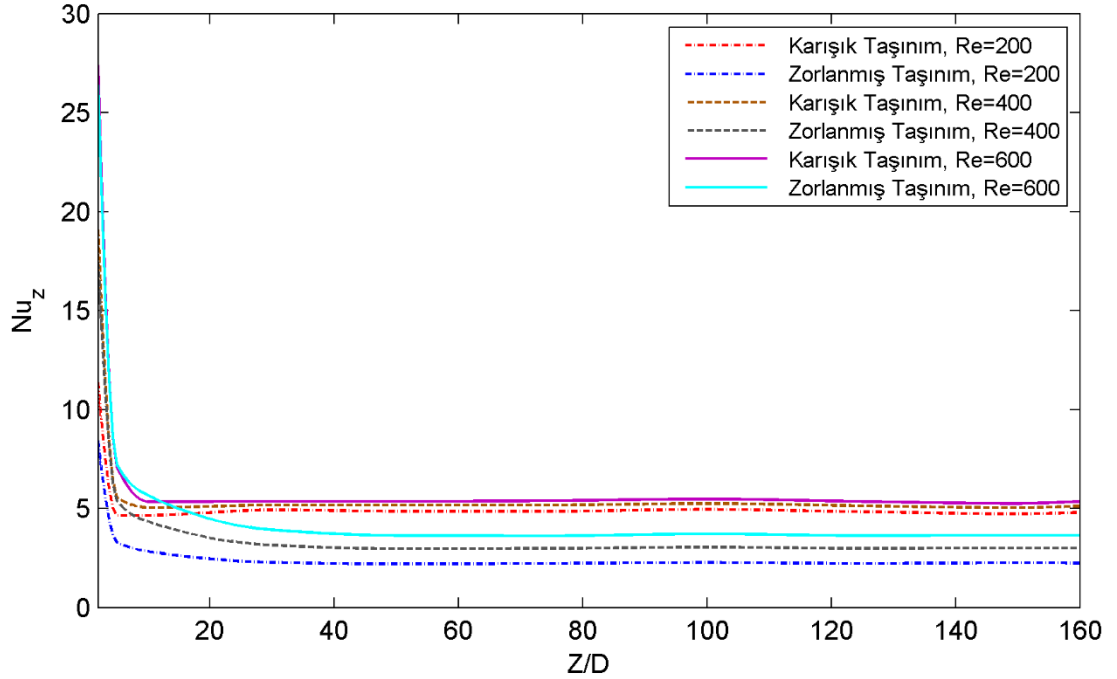
$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} uw) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} rvw) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} ww) \\
 &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\mu_{na} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_{na} \frac{\partial w}{\partial r} \right)
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

Enerji Denklemi:

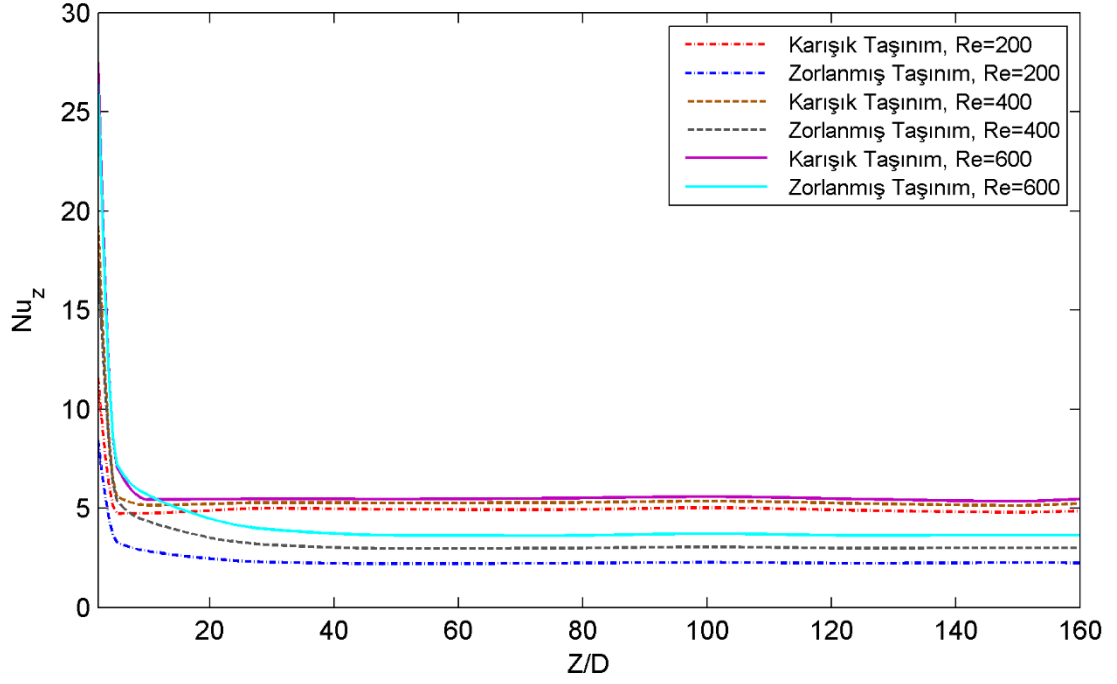
$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\rho_{na} uT) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho_{na} rvT) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{na} wT) \\
 &= \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{K_{na}}{(C_p)_{na}} \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{K_{na}}{(C_p)_{na}} \frac{\partial T}{\partial r} \right)
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

5.2 Zorlanmış Taşınım Analiz Sonuçları ile Karışık Taşınım Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

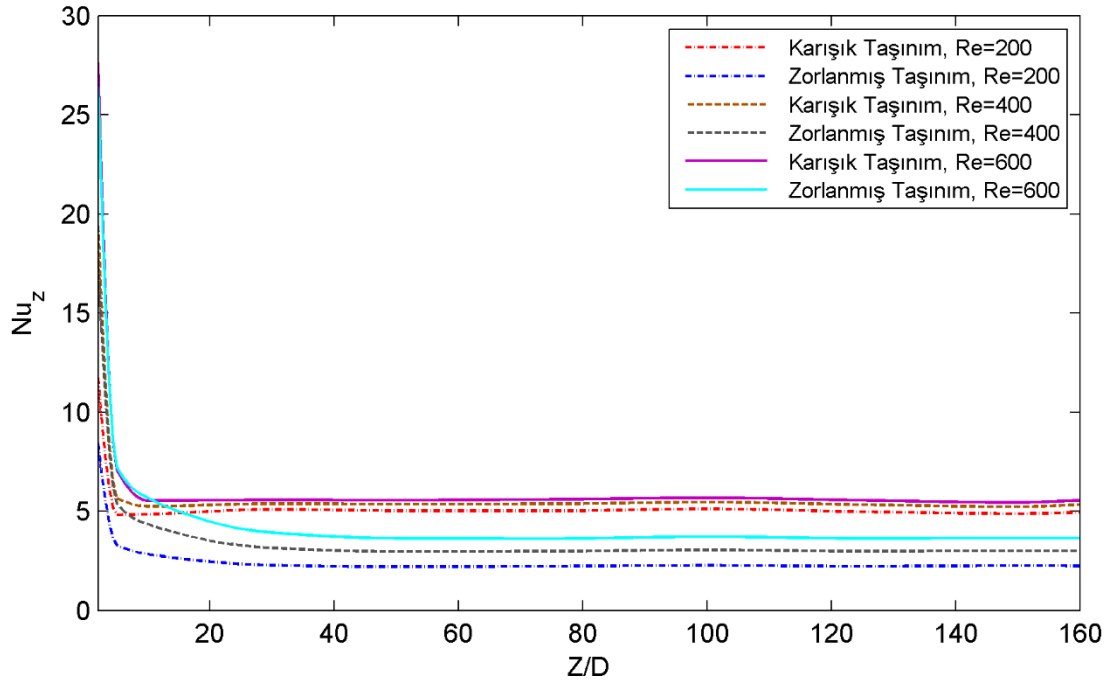
Şekil (5.1 – 5.3)'de farklı Reynolds sayılarında ve farklı ısı akılarında karışık taşınım ve zorlanmış taşınım Nusselt sayılarının yatay durum için taşıyıcı boru boyunca değişimi verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere; Reynolds sayısının artmasıyla ısı transferi gelişmekte ve Nusselt sayısı artmaktadır. Taşıyıcı borunun giriş bölgesinde Nusselt sayısı maksimum değerindedir. Taşıyıcı boru boyunca ilerledikçe bu değer hızlı bir şekilde tam gelişmiş akış durumundaki değere inmektedir. Isı akısının artmasıyla taşıyıcı boru içindeki doğal taşınım etkileri artmakta ve bu sebeple karışık taşınım da zorlanmış taşınımına göre daha yüksek Nusselt sayılarına ulaşılmaktadır. Şekillerden de görüleceği üzere yüksek ısı akısı değerlerinde doğal taşınım etkileri ihmal edilemeyecek boyutlardadır. Şekil 5.4'de de farklı Reynolds sayılarında ve farklı ısı akılarında zorlanmış taşınım Nusselt sayılarının yatay durum için taşıyıcı boru boyunca değişimi verilmiştir. Zorlanmış taşınım durumunda ısı akısındaki değişim Nusselt sayısında herhangi bir değişim meydana getirmemektedir. Reynolds sayısı arttıkça Nusselt sayısı da artmaktadır.



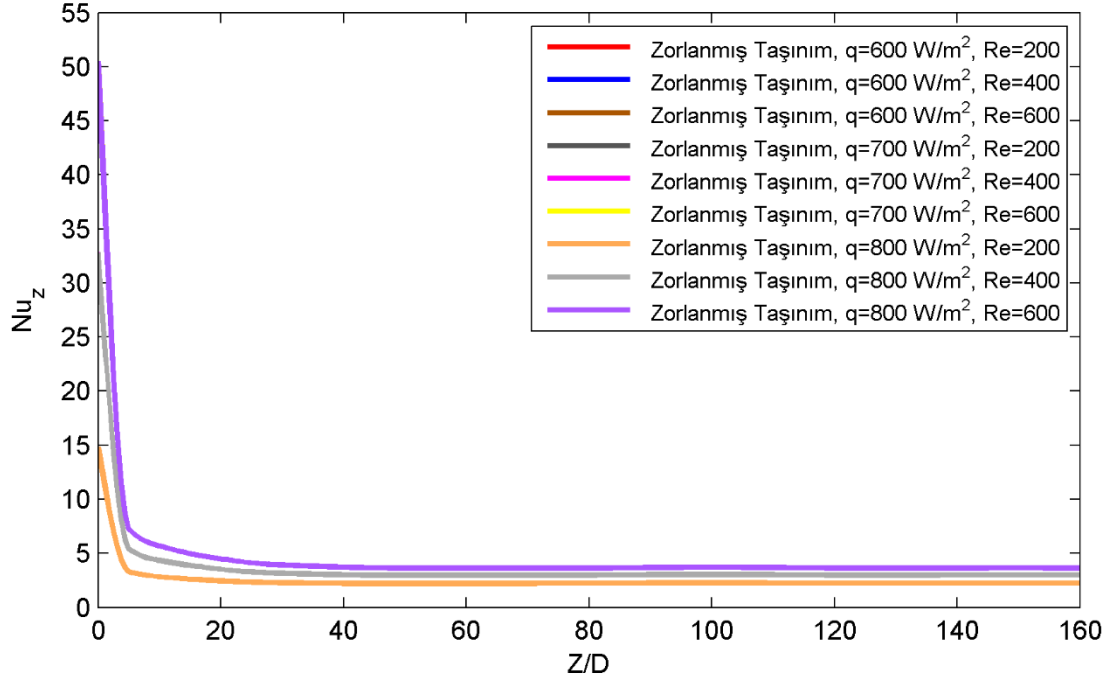
Şekil 5.1: Suyun, Farklı Reynolds Sayılarında, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($q=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)



Şekil 5.2: Suyun, Farklı Reynolds Sayılarında, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)

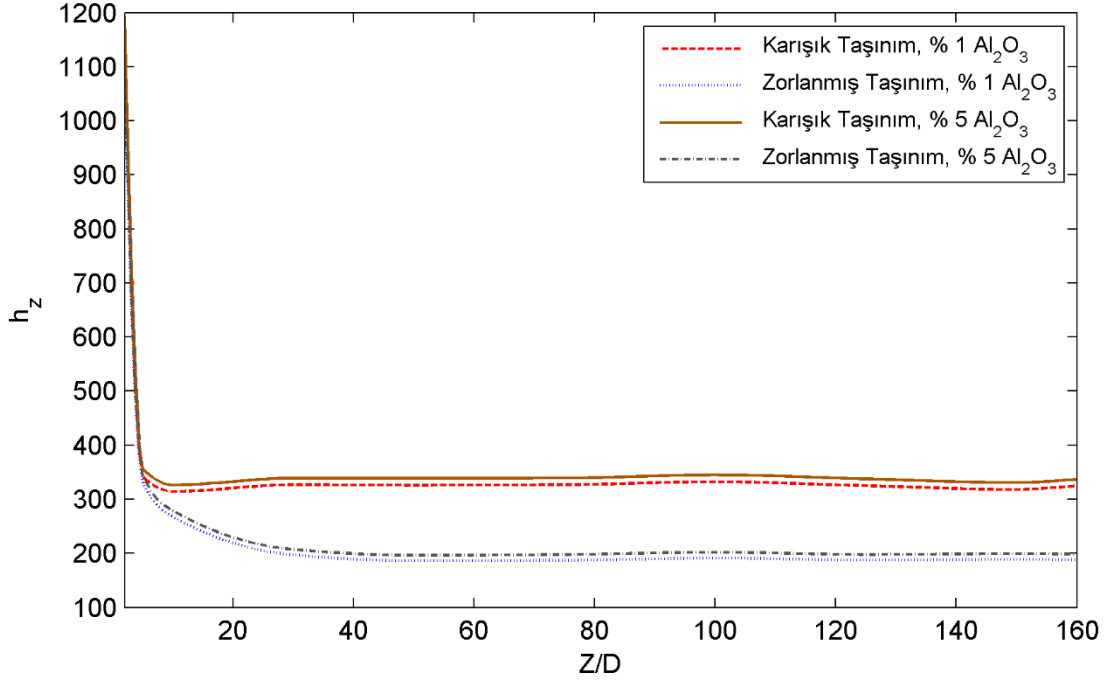


Şekil 5.3: Suyun, Farklı Reynolds Sayılarında, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($q=800 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)



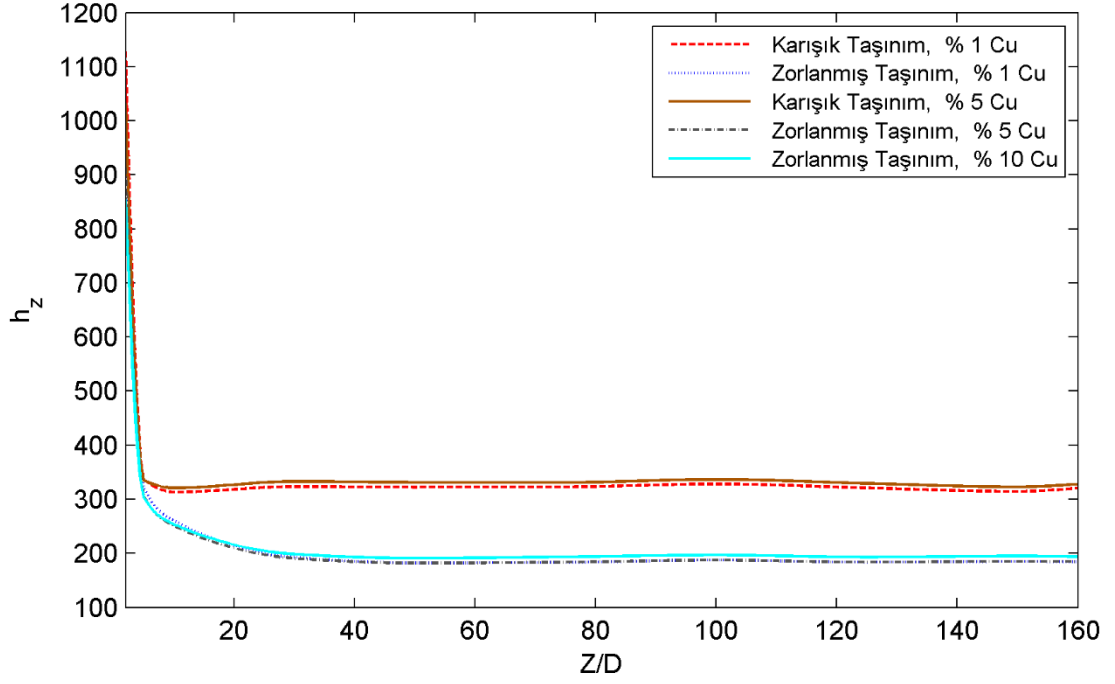
Şekil 5.4: Suyun, Farklı Isı Akıları ve Farklı Reynolds Sayılarında, Zorlanmış Taşınım Durumunda Nusselt Sayılarının Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)

Sistemin yatay ve açılı olması durumları için taşıyıcı boru boyunca taşınım ısı transfer kabiliyetinin gösterildiği Şekil (5.5, 5.8, 5.11 ve 5.14)'de görüleceği üzere; Al_2O_3 -Su nanoakışkanının karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı zorlanmış taşınım göre taşınım ısı transfer katsayısı daha yüksektir. Nanopartikül hacimsel oranı arttıkça ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Doğal taşınımın ısı transferi üzerindeki olumlu etkisi nanoakışkan içerisindeki nanopartikül oranını arttırmaktan daha fazladır.



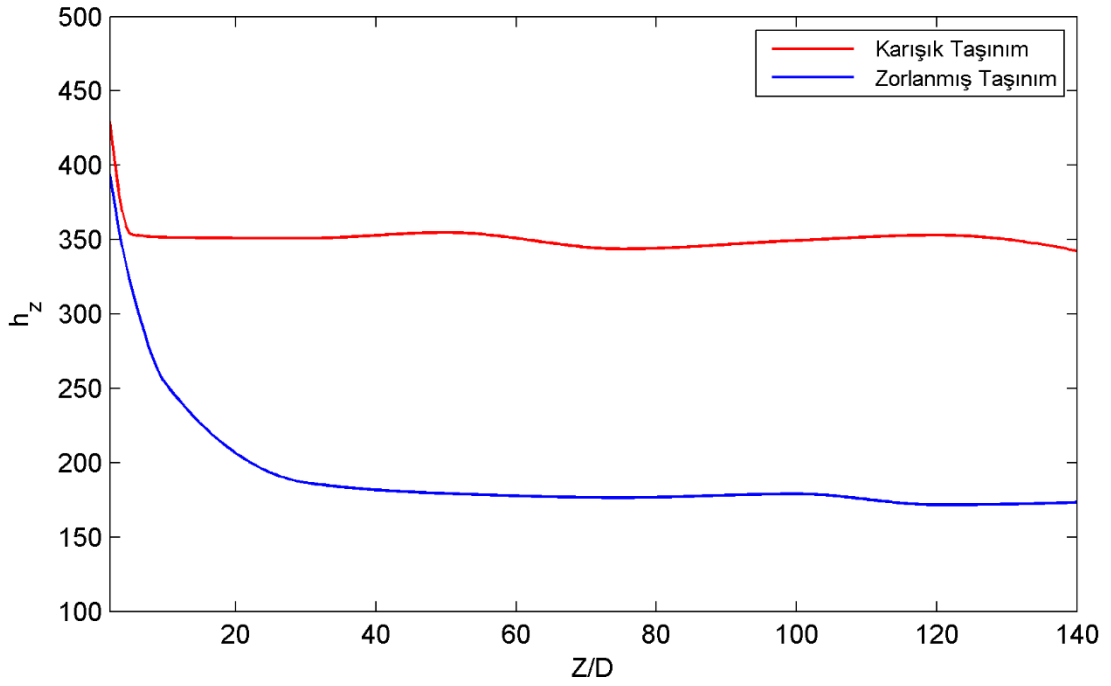
Şekil 5.5: Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)

Şekil (5.6, 5.9, 5.12 ve 5.15)'de sistemin yatay ve açılı olması durumları için taşıyıcı boru boyunca, Cu-Su nanoakışkanının karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı zorlanmış taşınımına göre taşınım ısı transfer katsayısı daha yüksektir. Nanopartikül hacimsel oranı arttıkça karışık taşınım da ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Ancak; zorlanmış taşınım durumunda, nanopartikül hacimsel oranı % 1 ve % 5 olması durumunda Cu-Su nanoakışkanında taşınım ile ısı transferinde herhangi bir değişim görülmemektedir. Ancak; Cu nanopartikül oranı % 10'a yükseldiğinde ısı transferinde artış meydana gelmektedir.

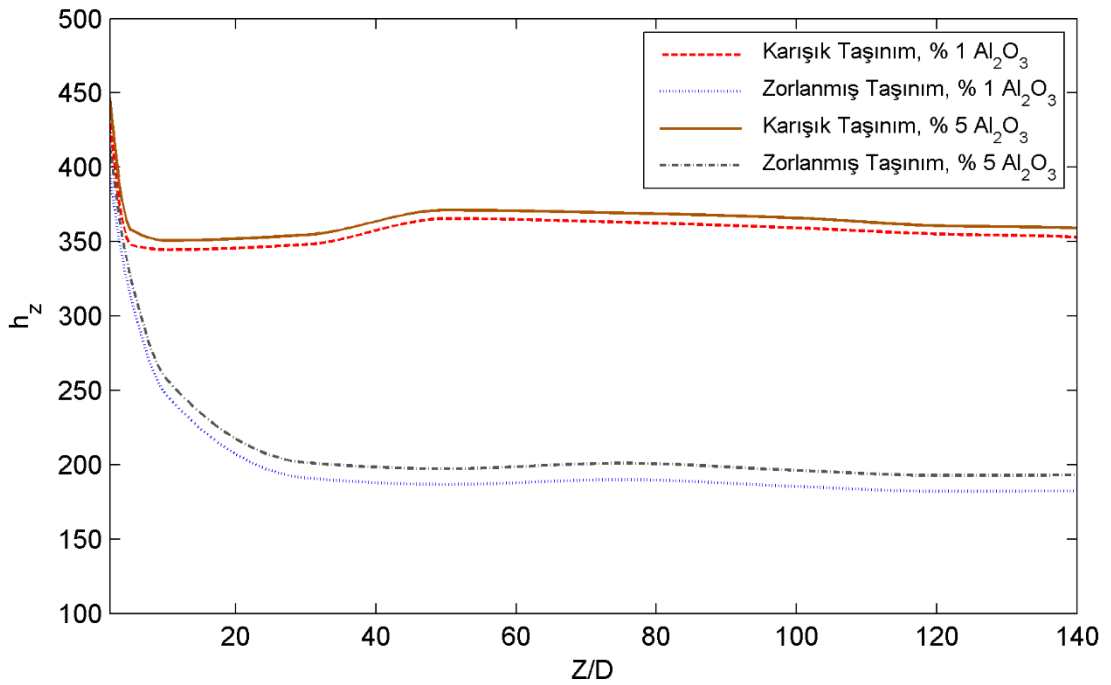


Şekil 5.6: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)

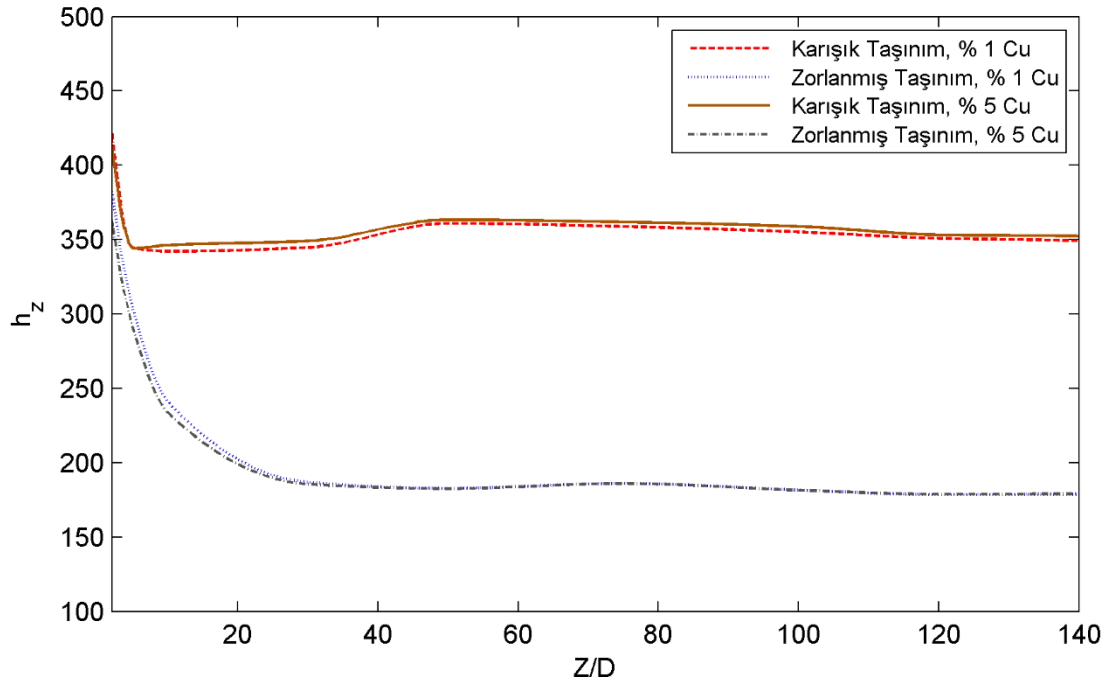
Şekil (5.7, 5.10 ve 5.13)'de sırasıyla sistemin 30° , 45° ve 60° olması durumları için suyun taşıyıcı boru boyunca ısı taşınım katsayısının gelişimi, karışık ve zorlanmış taşınım durumları için karşılaştırılmıştır. Doğal taşınım etkilerinden dolayı karışık taşınım durumunda ısı taşınım katsayısı zorlanmış taşınım durumuna göre daha iyidir.



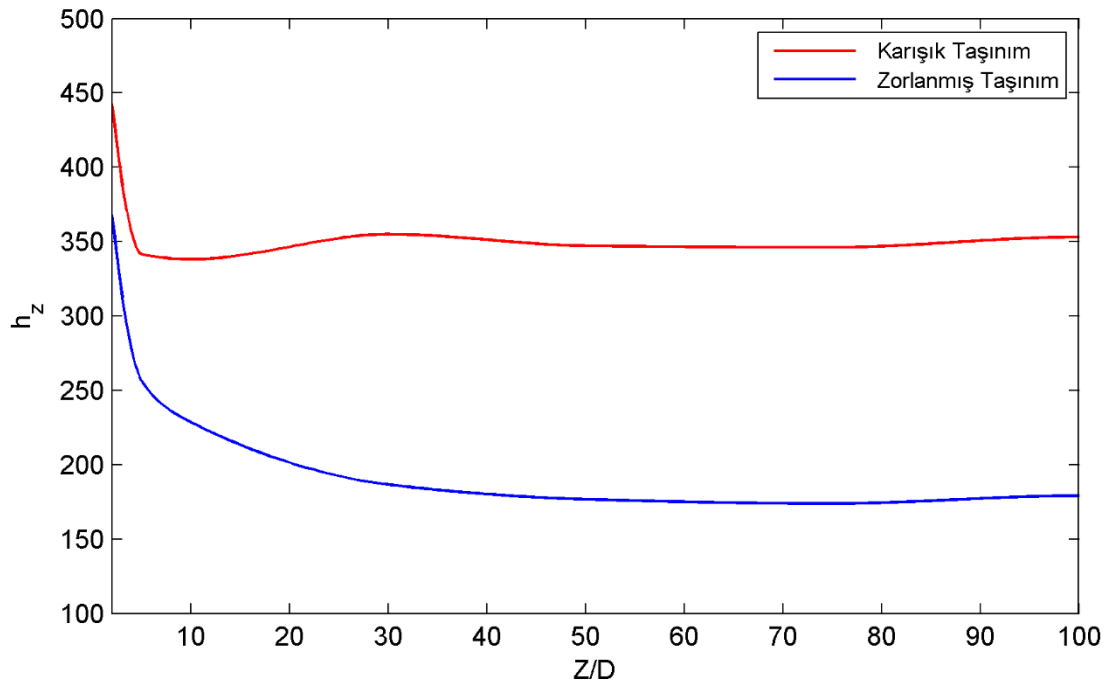
Şekil 5.7: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)



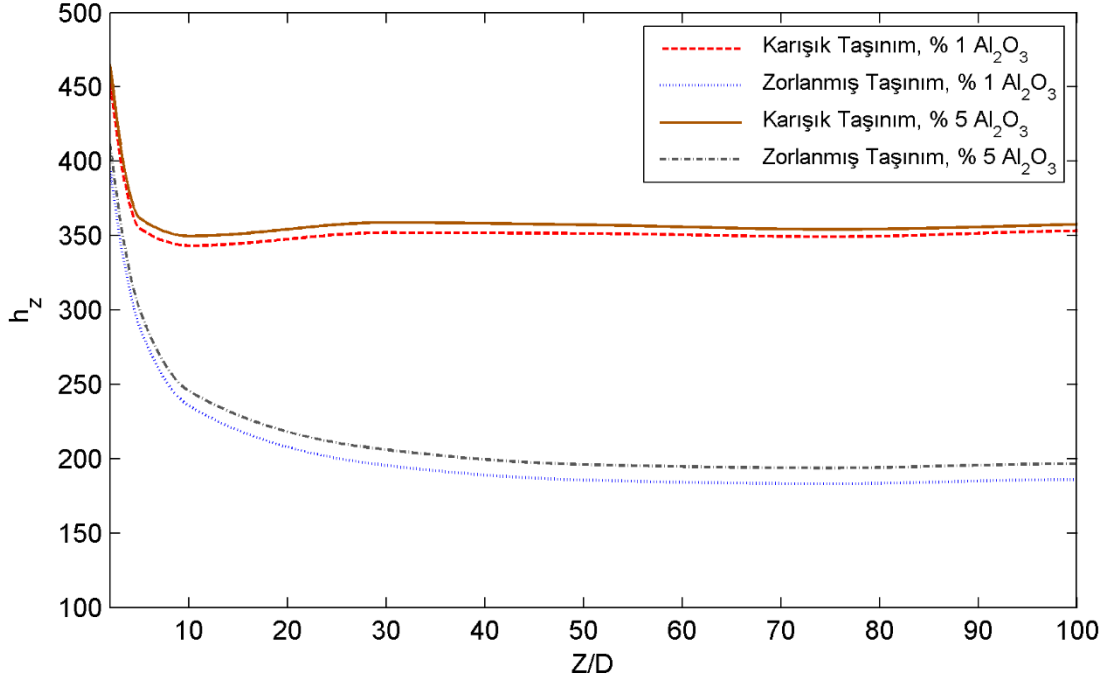
Şekil 5.8: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)



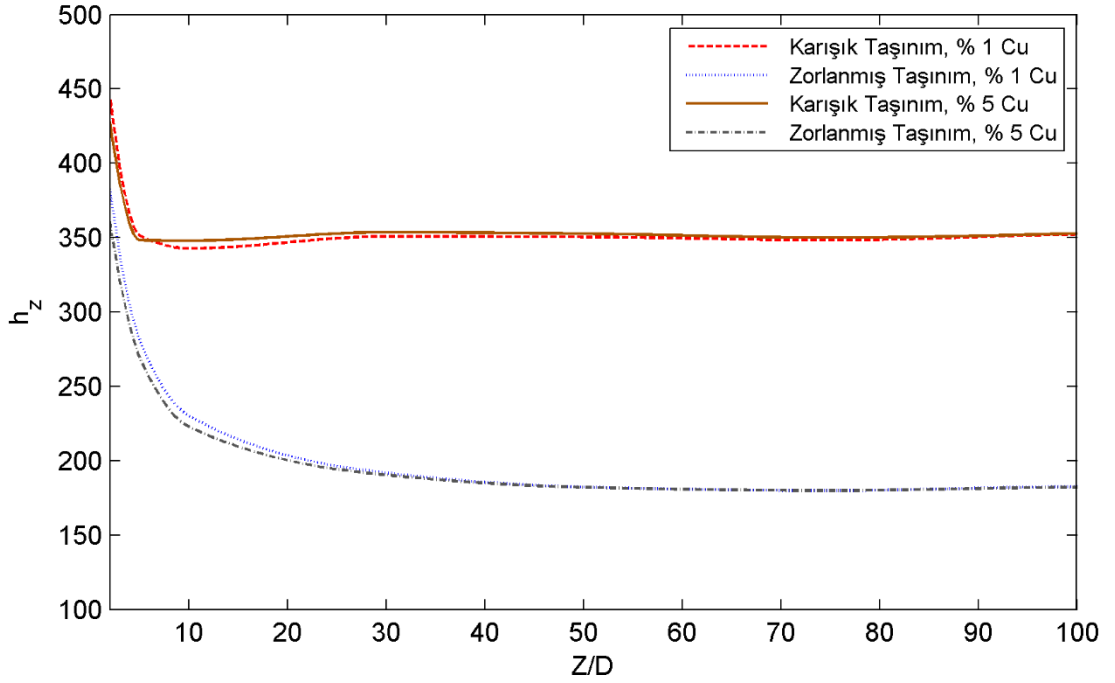
Şekil 5.9: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)



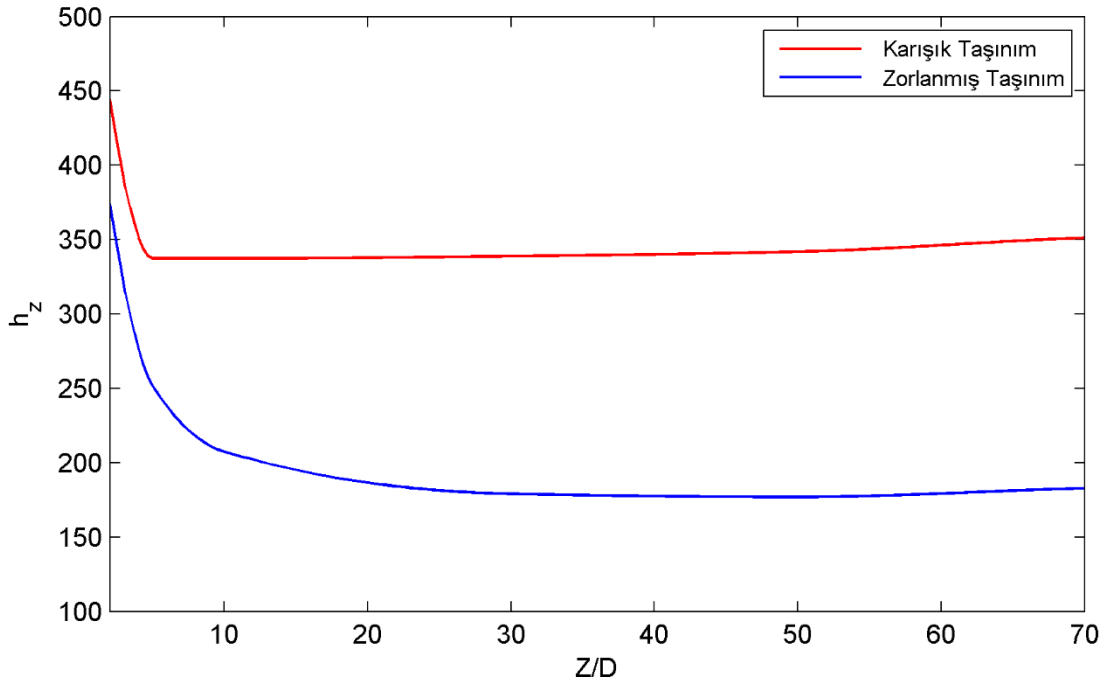
Şekil 5.10: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



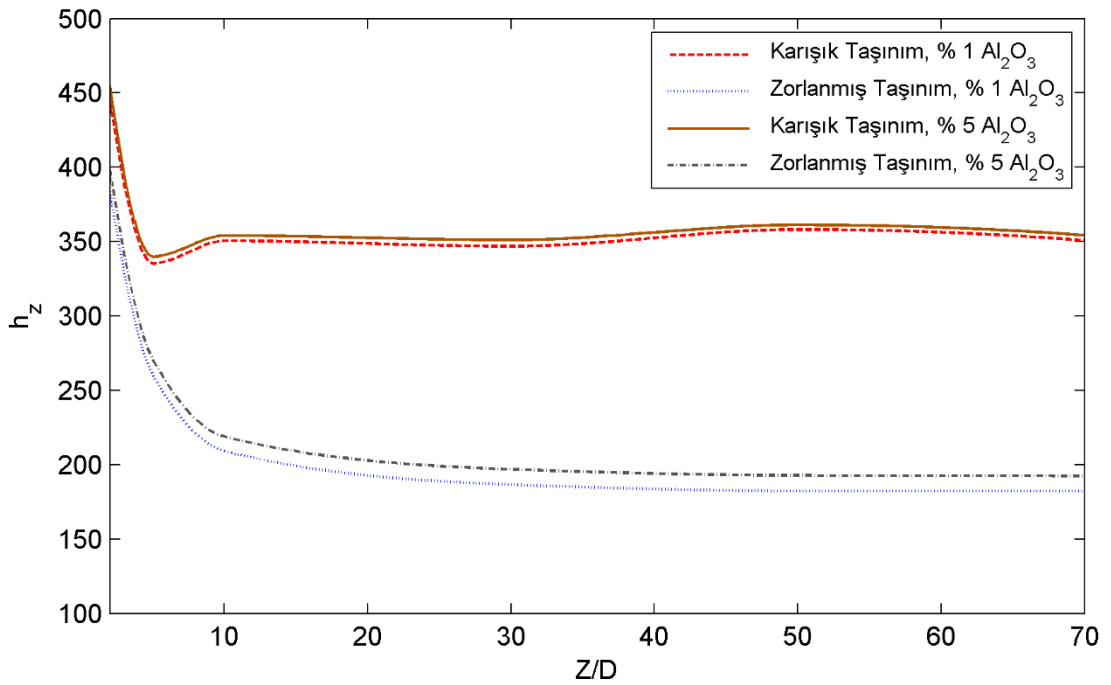
Şekil 5.11: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$)



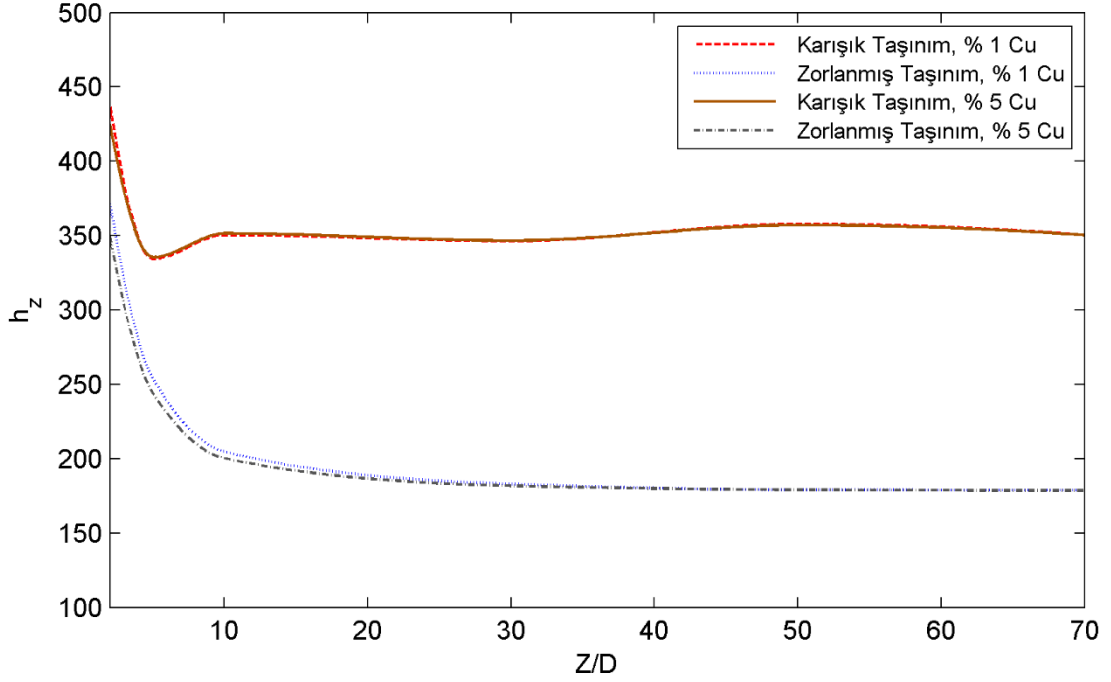
Şekil 5.12: Cu -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$)



Şekil 5.13: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)

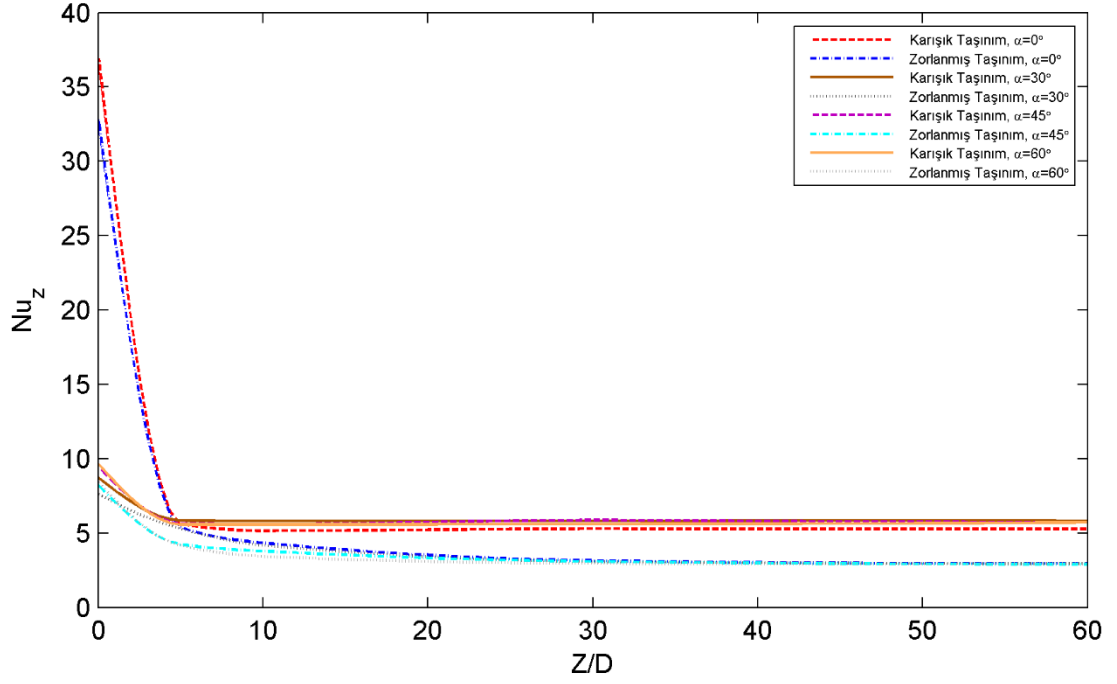


Şekil 5.14: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)

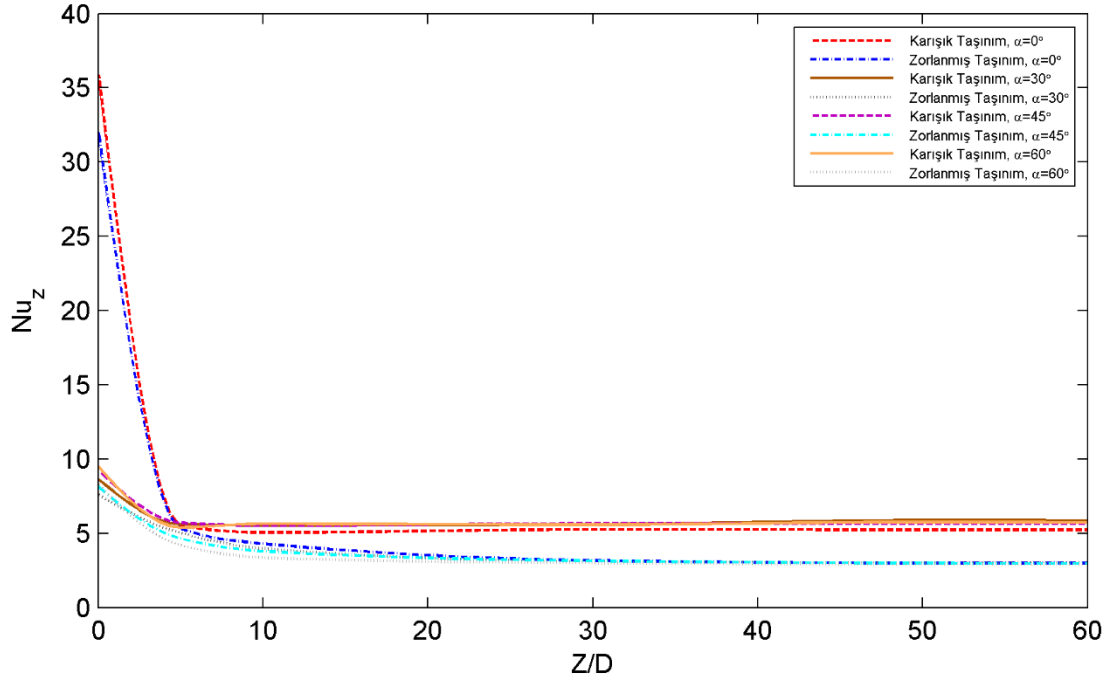


Şekil 5.15: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)

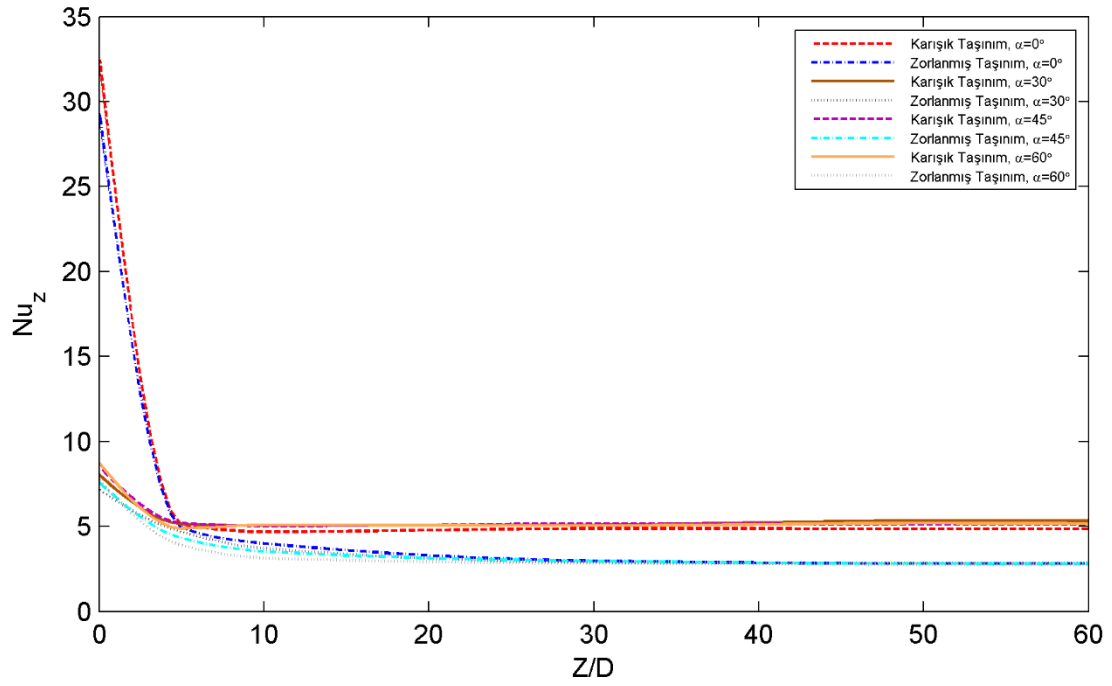
Şekil (5.16 – 5.20)'de sistemin açısal değişiminin, karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarında Nusselt sayısında nasıl bir değişime sebep olduğu gösterilmiştir. Doğal taşınım etkilerinden dolayı karışık taşınım durumlarında ısı transferi kabiliyeti daha yüksektir. Şekillerden de görüleceği üzere zorlanmış taşınım da taşıyıcı borunun giriş bölgesinde küçük açı değerlerinde ısı transferi daha yüksektir, ancak tam gelişmiş bölgeye gelindiğinde açısal değişimin ısı transferine herhangi bir katkısının olmadığı görülmektedir. Karışık taşınım durumunda ise açısal değişimin etkisi bir önceki bölümde açıklandığı gibi; akışkan su olduğu zaman ısı transferi 30° 'de en fazladır, daha sonra sırasıyla 45° , 60° ve 0° durumları gelmektedir. Akışkanın; Al_2O_3 -Su ya da Cu-Su nanoakışkanları olması durumunda da en yüksek ısı transferi 30° 'dedir. Daha sonra sırasıyla 60° , 45° ve 0° durumları gelmektedir.



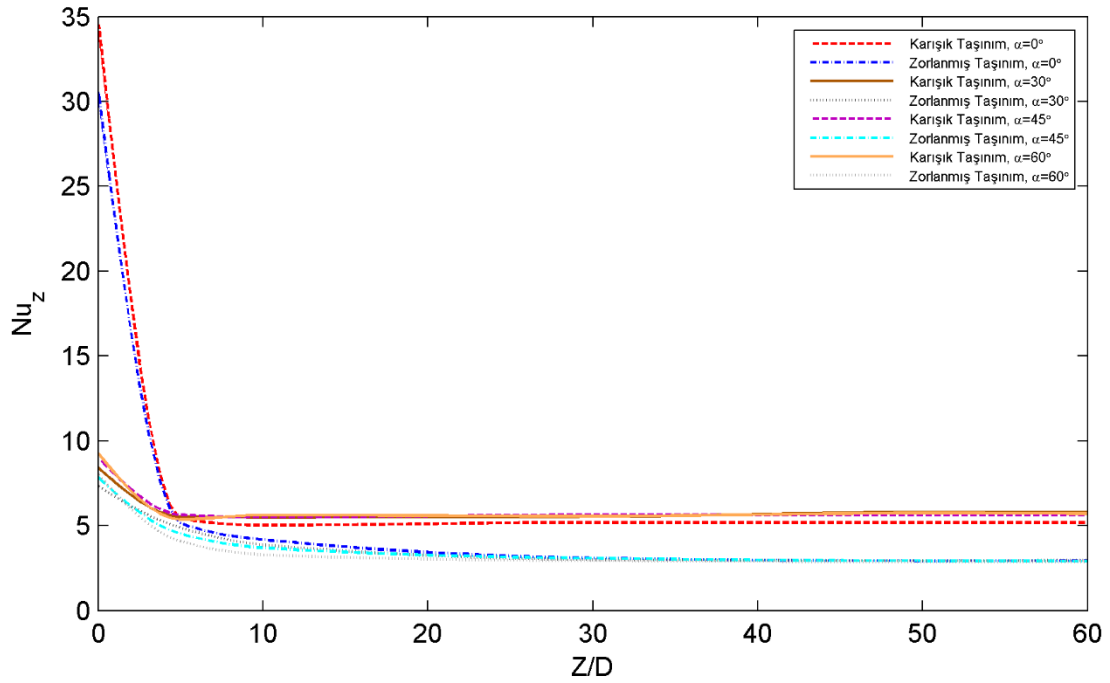
Şekil 5.16: Farklı Açı Durumlarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



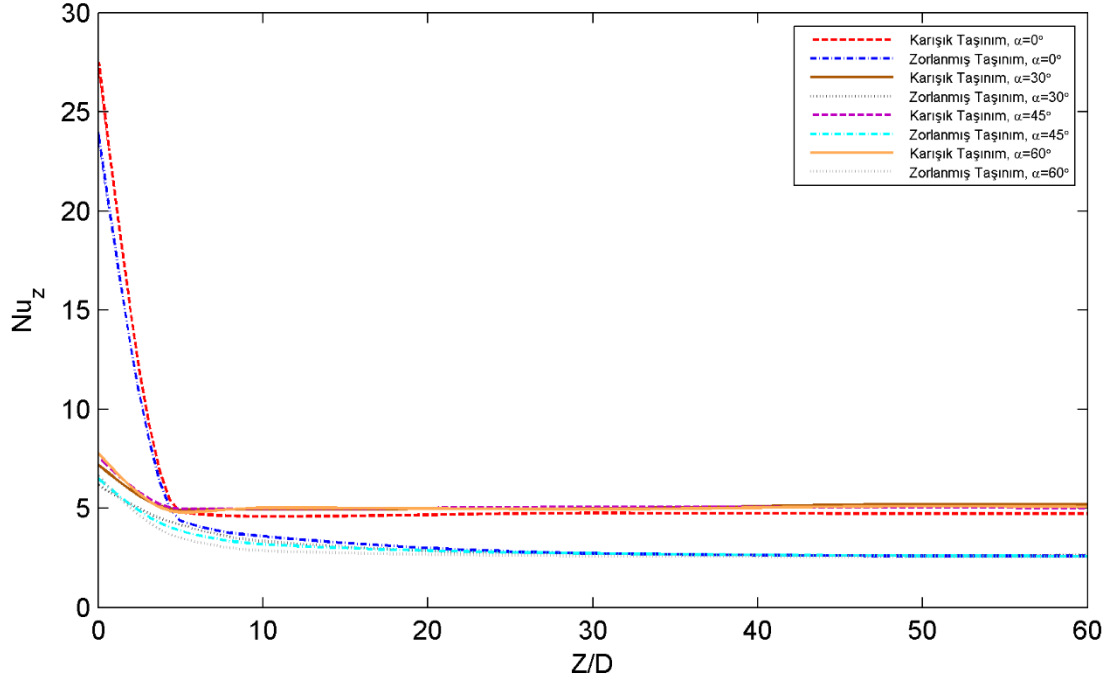
Şekil 5.17: Farklı Açı Durumlarında Al₂O₃-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 1$)



Şekil 5.18: Farklı Açı Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 5$)

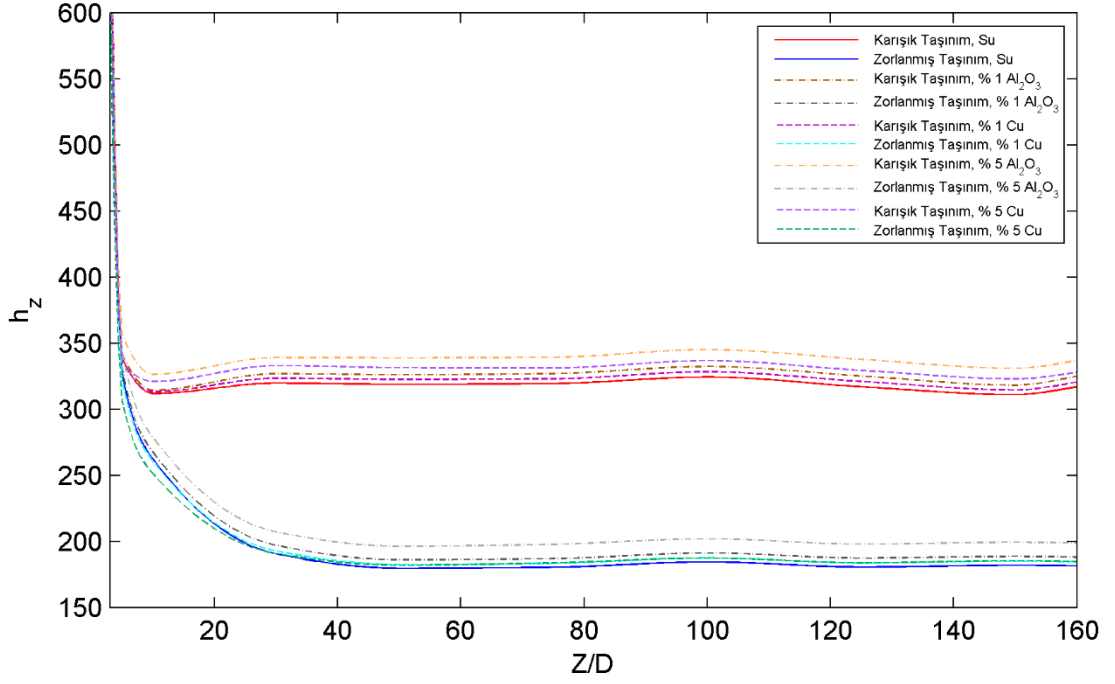


Şekil 5.19: Farklı Açı Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 1$)

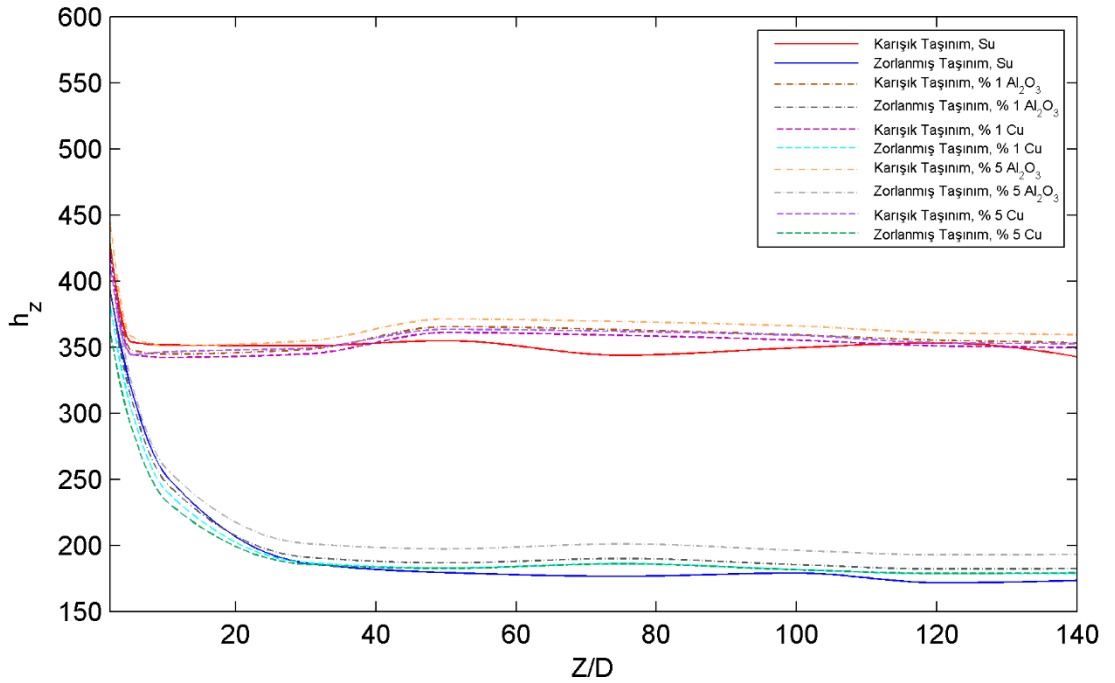


Şekil 5.20: Farklı Açı Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Nusselt Sayısının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 5$)

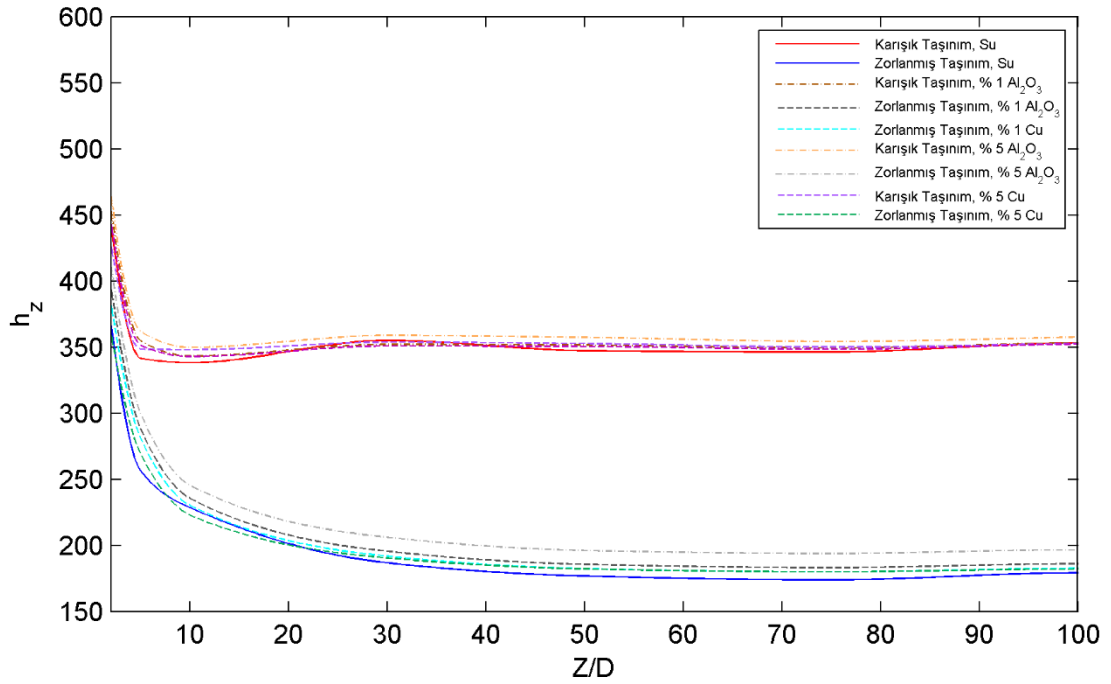
Şekil (5.21 – 5.24)'de farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ile Cu-Su nanoakışkanlarının, karışık ve zorlanmış taşınım durumları için taşıyıcı boru boyunca ısı taşınım katsayısının değişimi su ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde de doğal taşınımın etkilerinden dolayı karışık taşınım durumundaki ısı taşınım katsayısının zorlanmış taşınım durumundaki ısı taşınım katsayısından yüksek olduğu görülmektedir. Karışık taşınım durumunda en yüksek ısı transferi % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanında görülmektedir. Daha sonra sırasıyla; % 5 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı, % 1 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, % 1 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı ve son olarak Su gelmektedir. Zorlanmış taşınım durumunda da en yüksek ısı taşınım katsayısına sahip olan % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanıdır. Zorlanmış taşınım durumunda daha önceden de belirtildiği üzere Cu-Su nanoakışkanında ki Cu nanopartiküllerinin hacimsel oranındaki değişimin ısı transferine herhangi bir katkısı görülmemektedir.



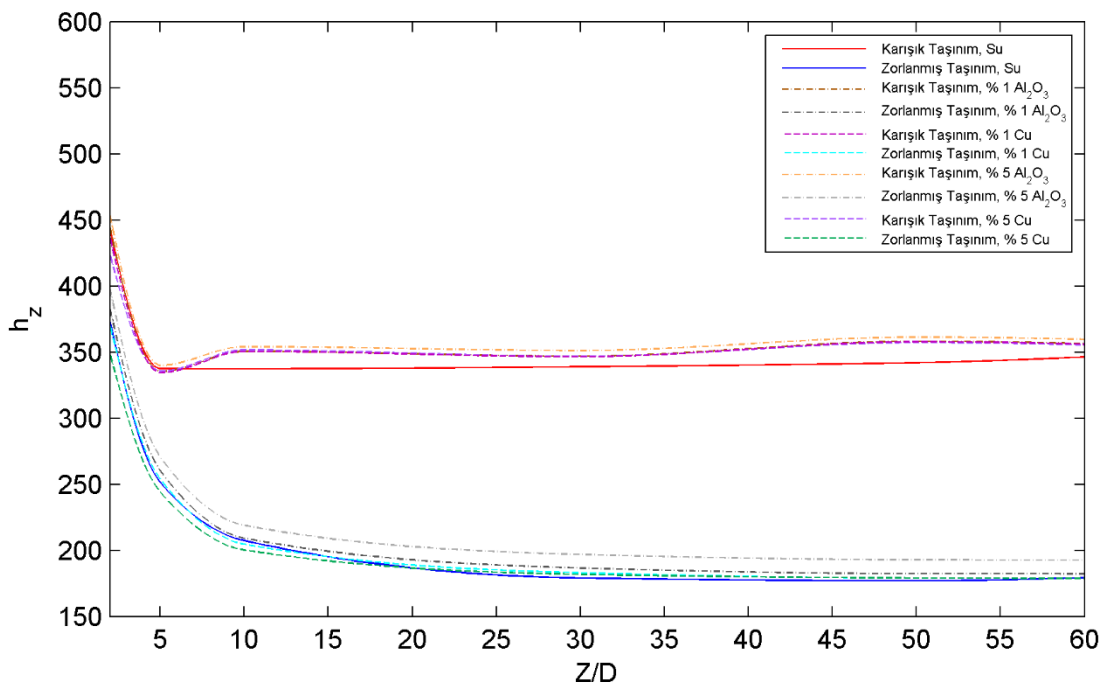
Şekil 5.21: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)



Şekil 5.22: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)

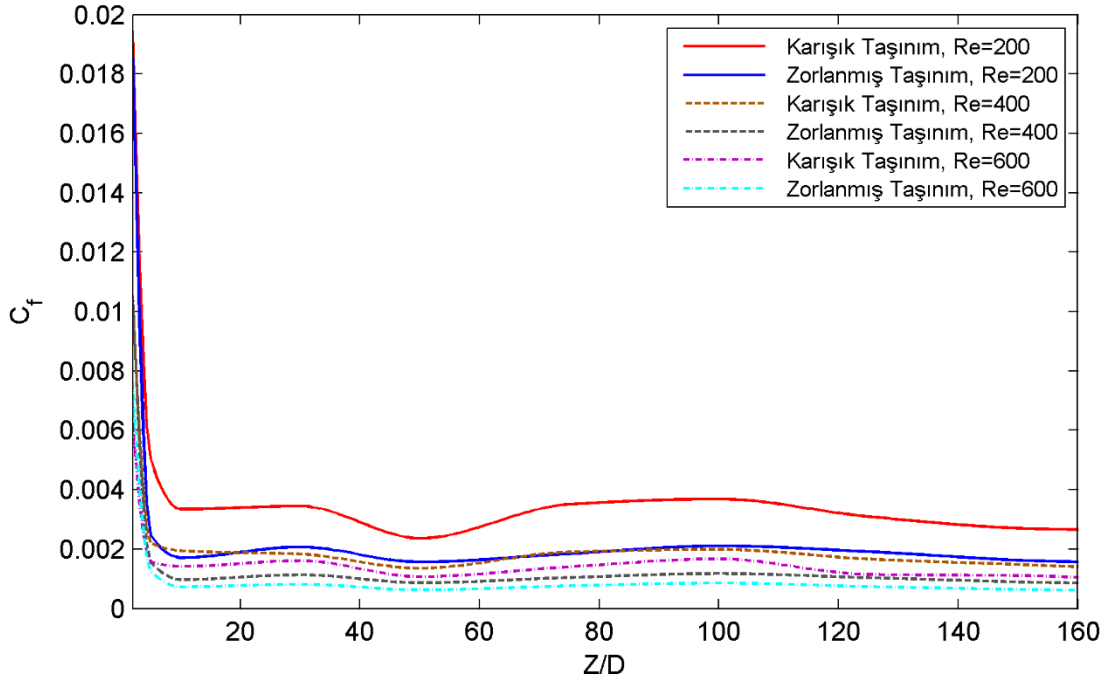


Şekil 5.23: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$)

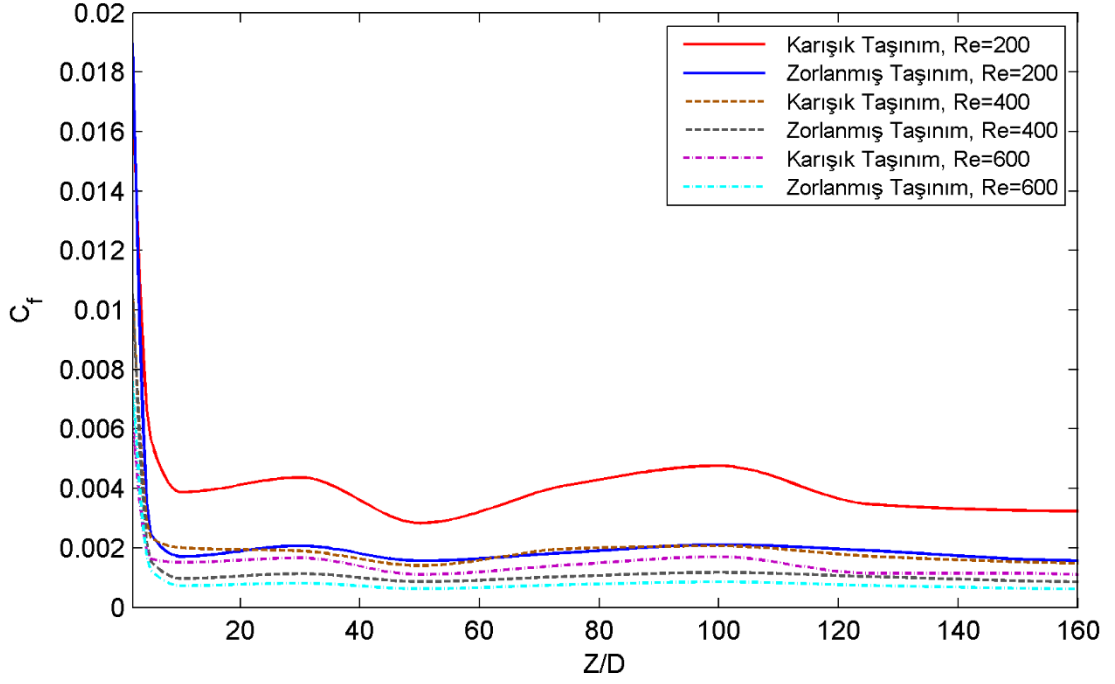


Şekil 5.24: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Isı Taşınım Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

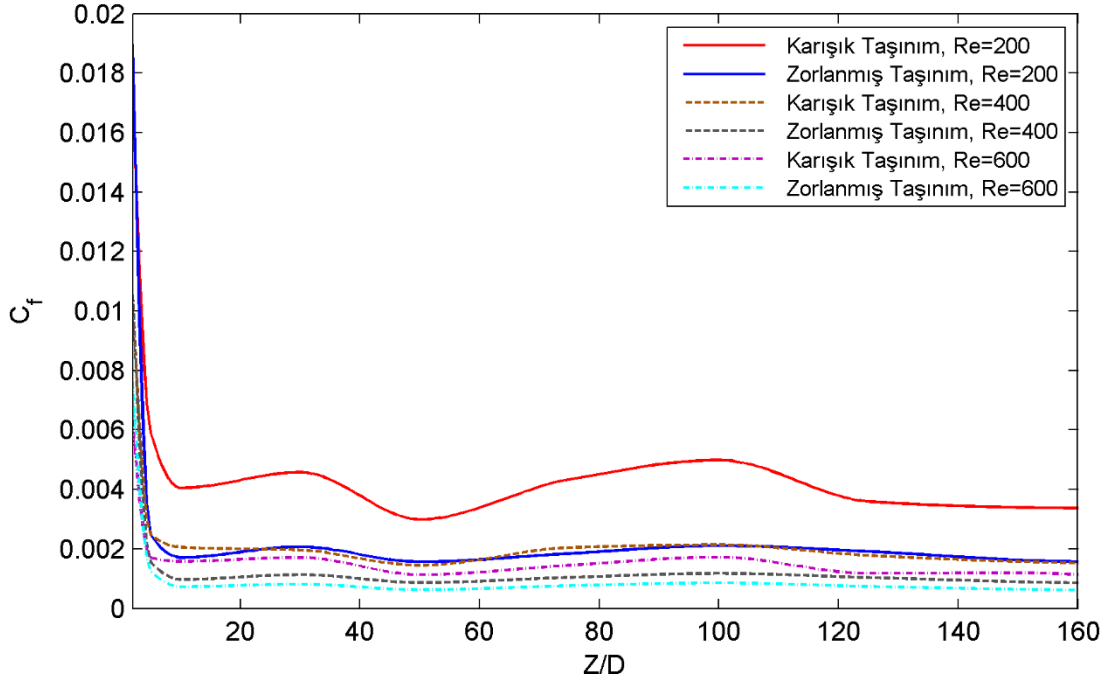
Şekil (5.25 – 5.28)'de sistem yatay durumdayken; suyun farklı ısı akıları için farklı Reynolds sayılarındaki yerel sürtünme katsayısı değerleri karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumları için karşılaştırılmıştır. Karışık taşınım da ki doğal taşınımın etkilerinden dolayı; karışık taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerleri, zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısının değeri azalmaktadır. Şekil 5.28'den de görüleceği üzere; ısı akısındaki değişimin zorlanmış taşınım durumunda sürtünme katsayısındaki değişime herhangi bir katkısı bulunmamaktadır.



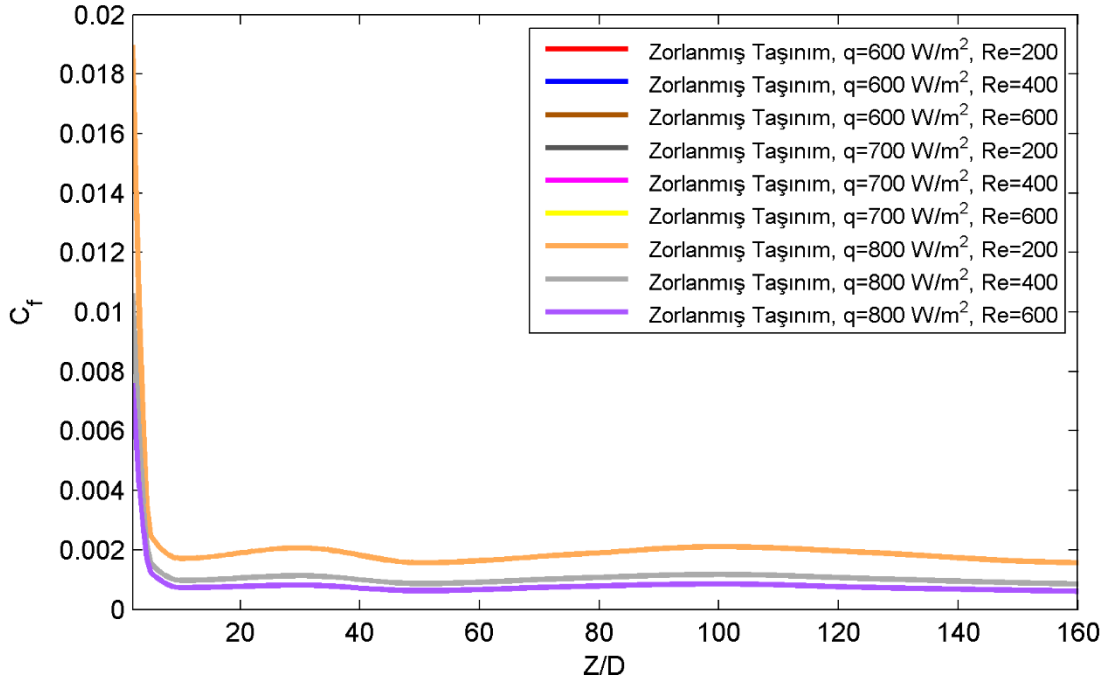
Şekil 5.25: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)



Şekil 5.26: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)

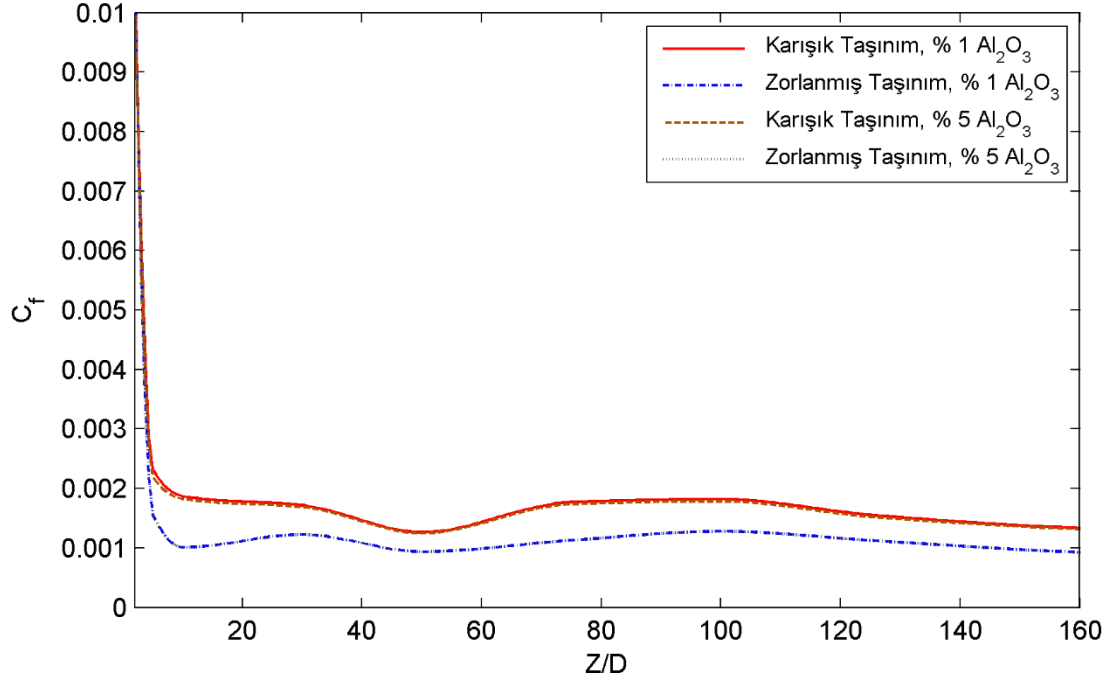


Şekil 5.27: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=800 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)

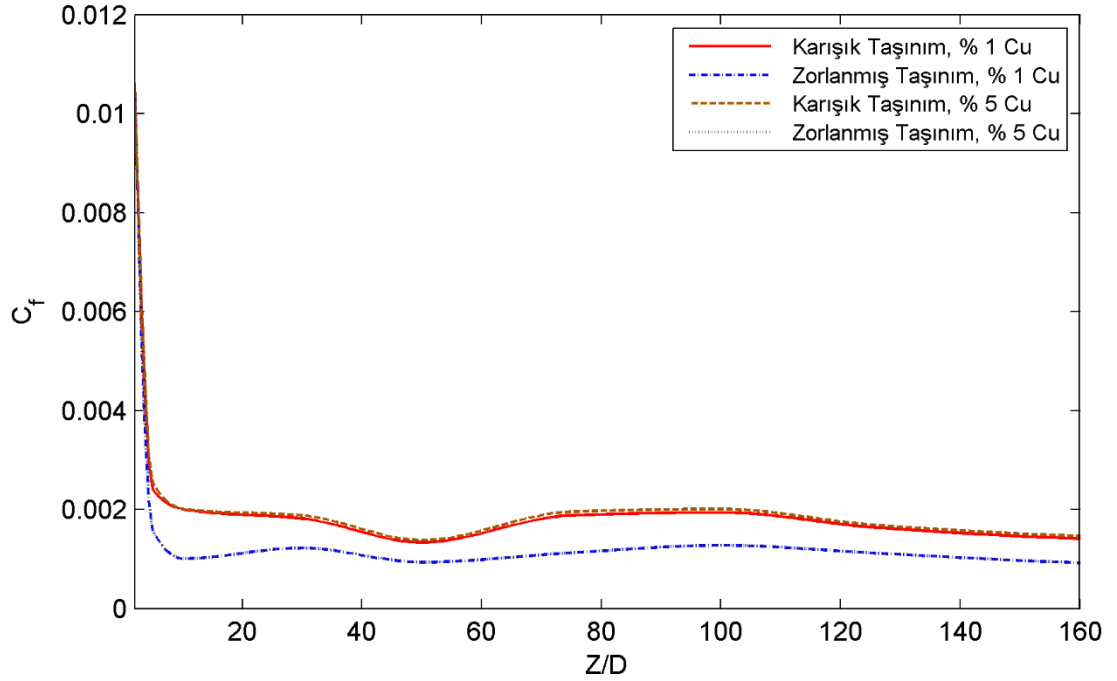


Şekil 5.28: Farklı Isı Akıları ve Farklı Reynolds Sayılarında Suyun Zorlanmış Taşınım Durumunda Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)

Şekil 5.29 ve şekil 5.30'da sistemin yatay durumda olması halinde % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumları için sürtünme katsayısı değerleri taşıyıcı boru boyunca karşılaştırılmıştır. Her iki nanoakışkanda da zorlanmış taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerleri karışık taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşüktür. Ayrıca; her iki nanoakışkanda da zorlanmış taşınım durumunda nanopartiküllerin hacimsel oranındaki değişimin sürtünme katsayısına herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

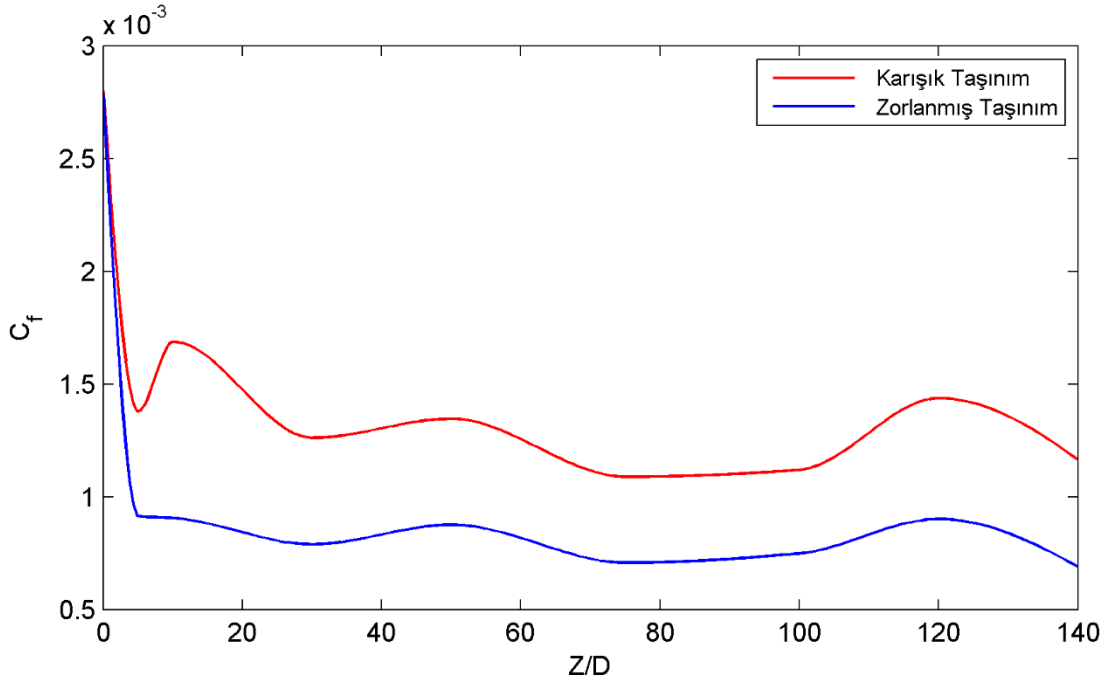


Şekil 5.29: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$)

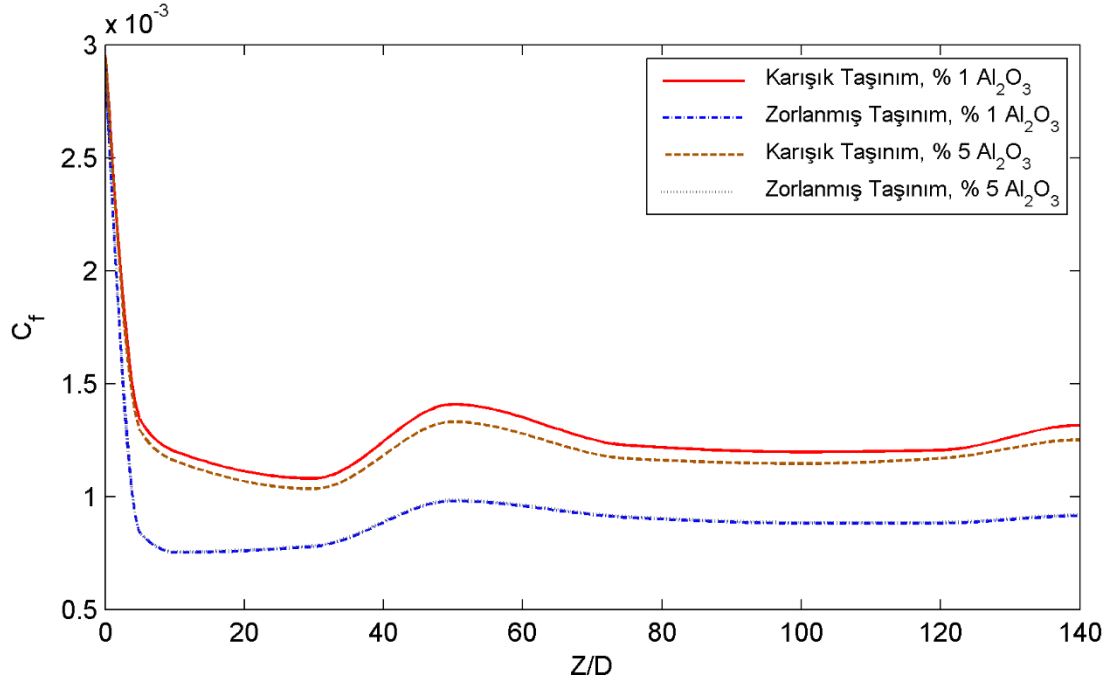


Şekil 5.30: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$)

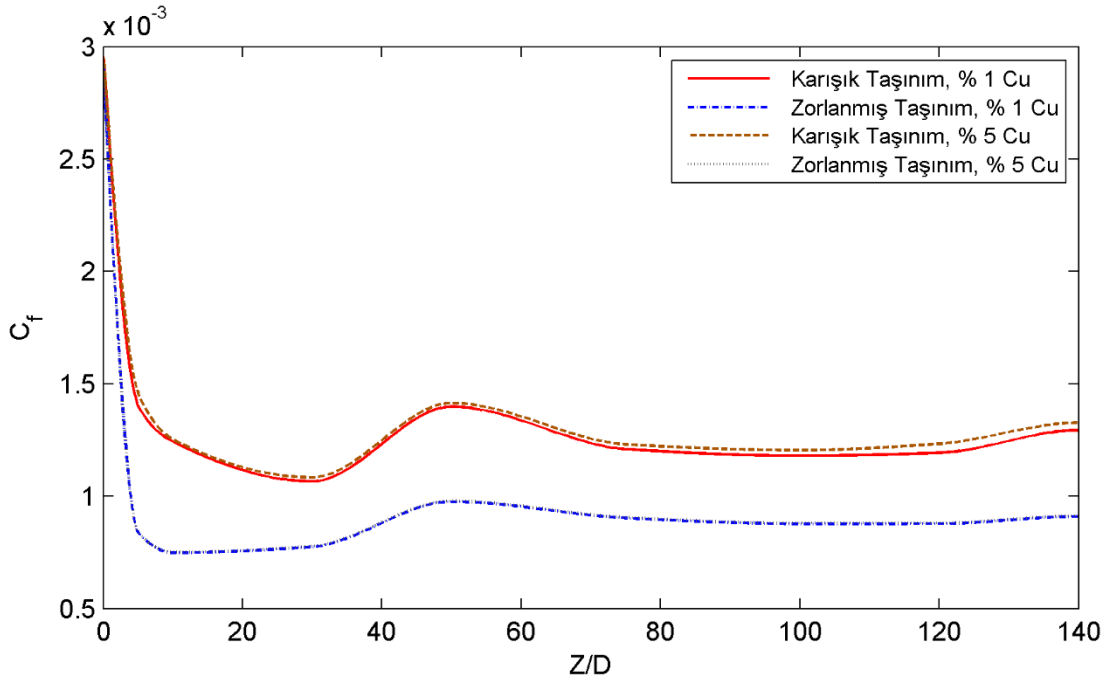
Şekil (5.31 – 5.39)'da su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; sistemin 30° , 45° ve 60° açı değerleri için karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. Karışık taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerleri sistemin eğimli olduğu durumlarda da zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Zorlanmış taşınım durumunda; Al_2O_3 ve Cu nanopartiküllerinin hacimsel oranındaki değişim, sistemin eğimli olduğu durumlarda da nanoakışkanların taşıyıcı boru boyunca sürtünme katsayısında herhangi bir değişime sebep olmamaktadır.



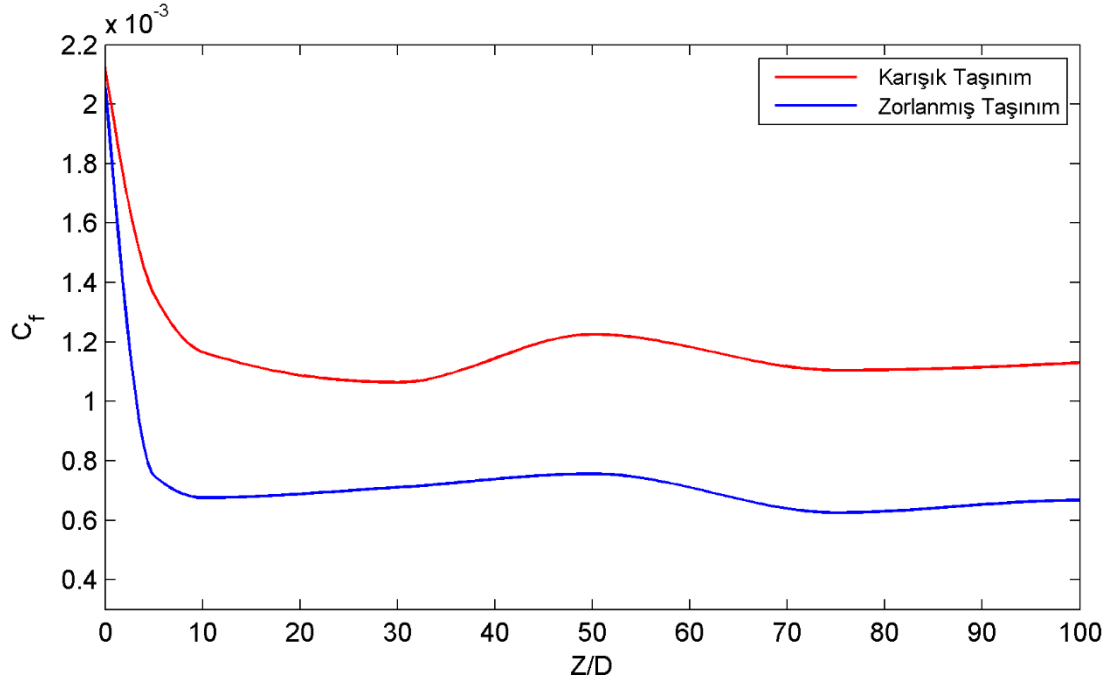
Şekil 5.31: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)



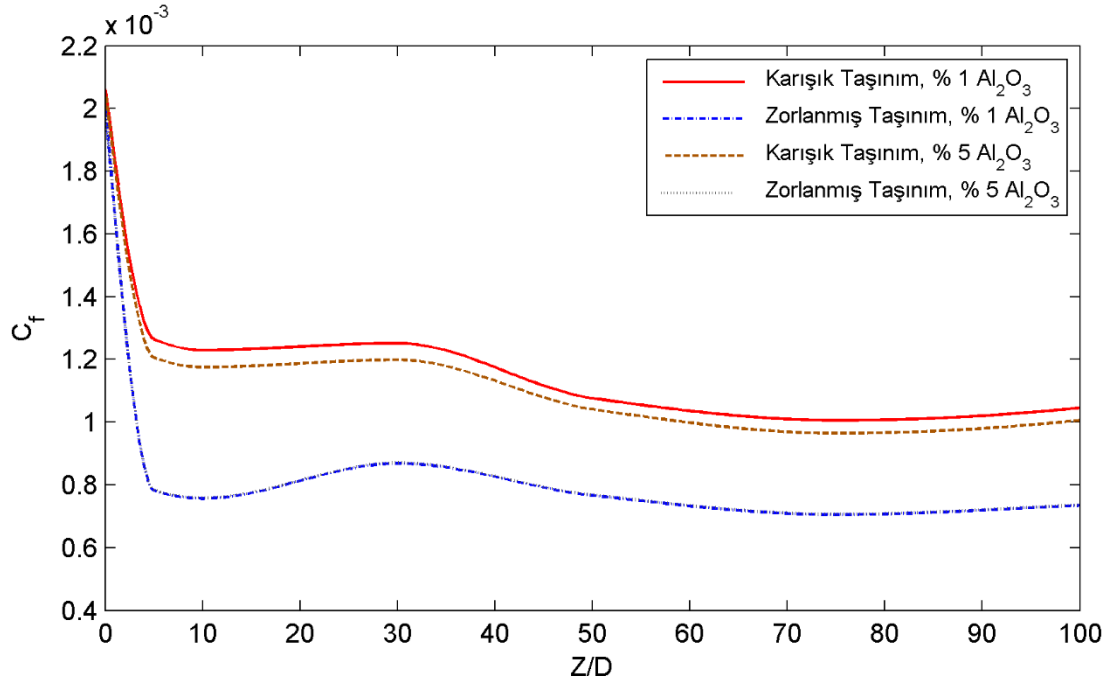
Şekil 5.32: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$)



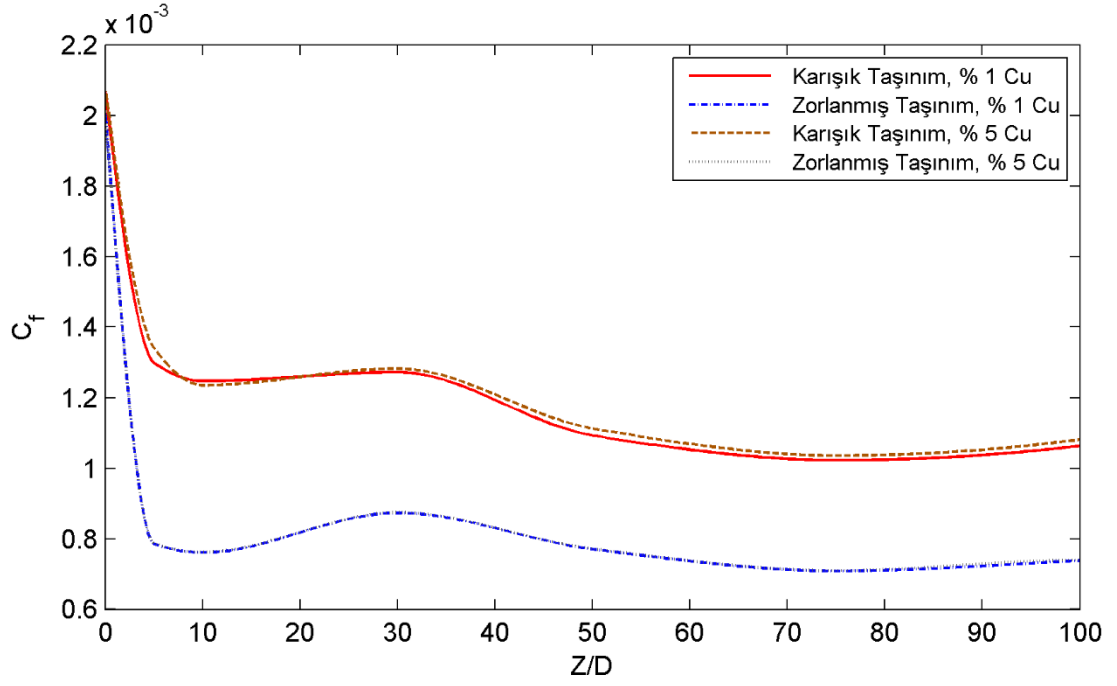
Şekil 5.33: Cu -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$)



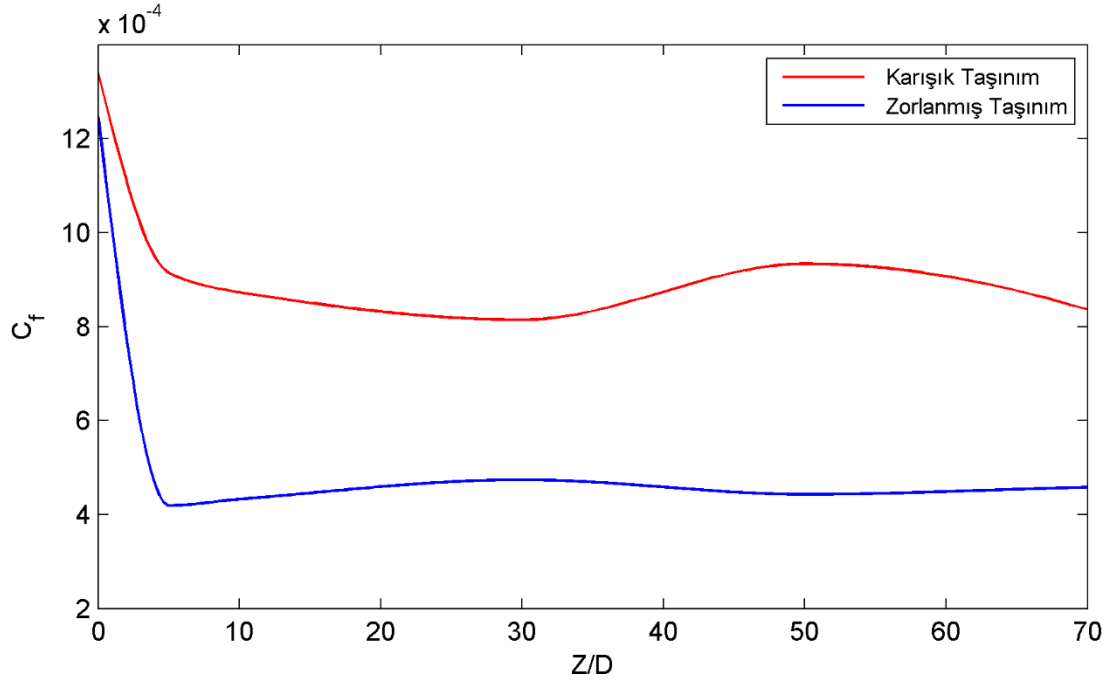
Şekil 5.34: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



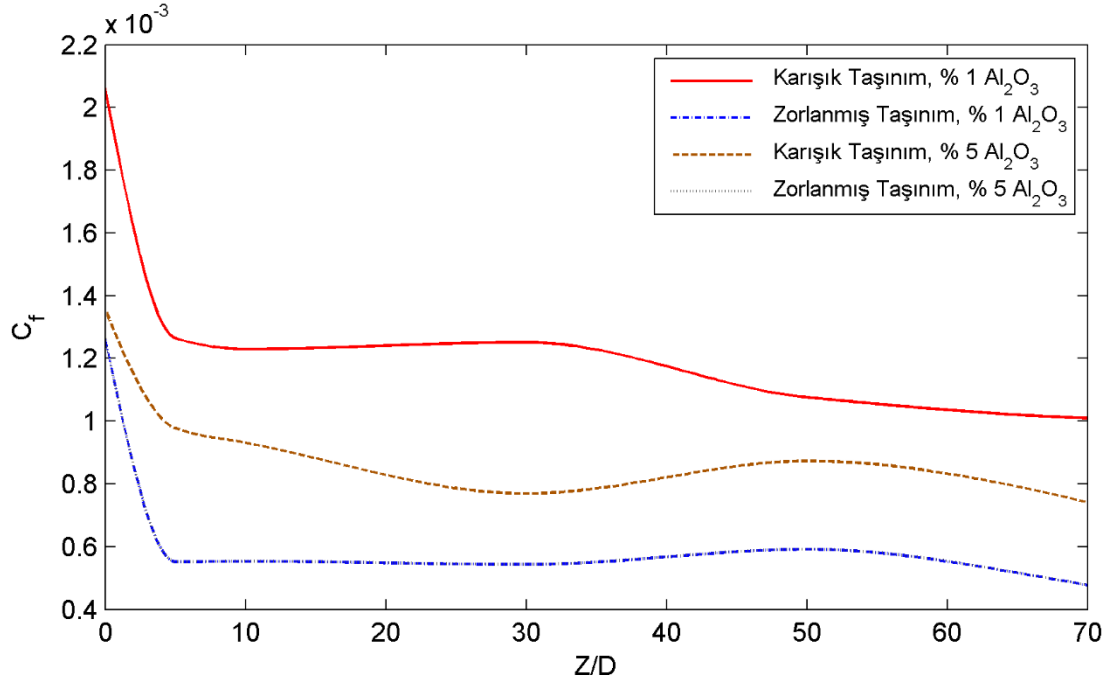
Şekil 5.35: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



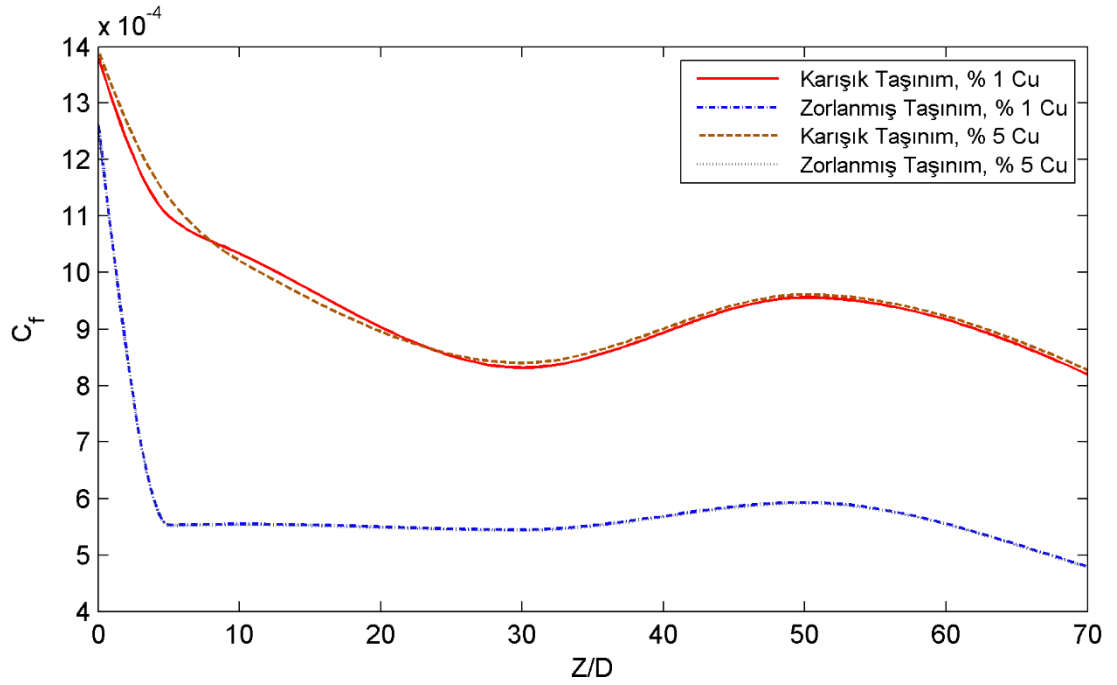
Şekil 5.36: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



Şekil 5.37: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)

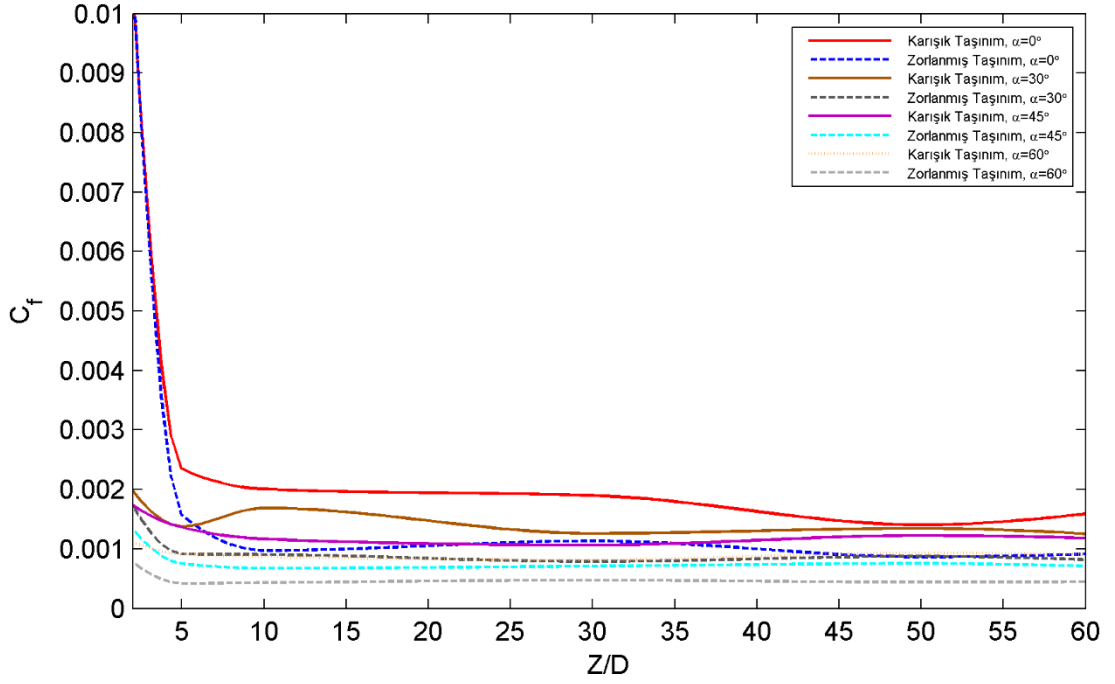


Şekil 5.38: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

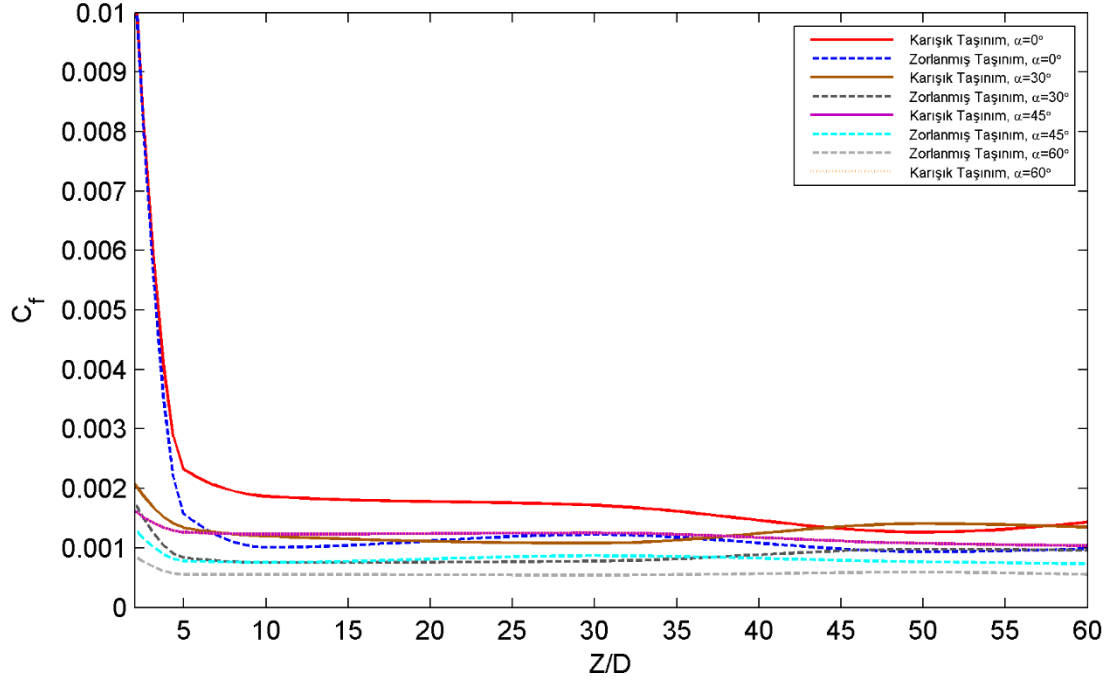


Şekil 5.39: Cu -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

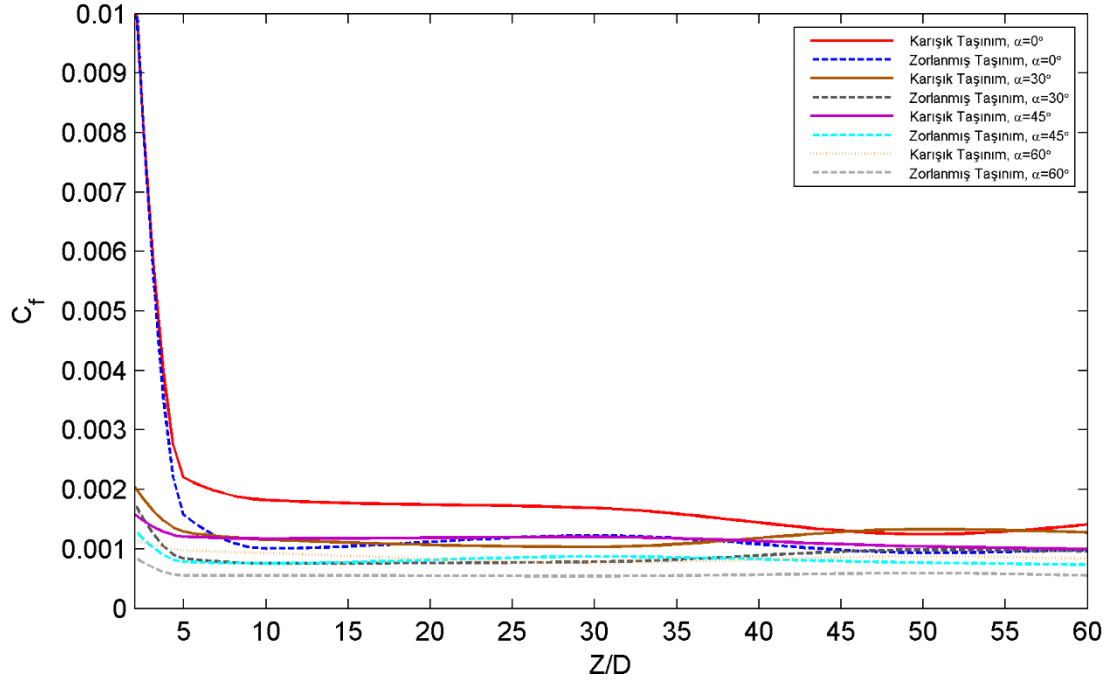
Şekil (5.40 – 5.44)'de; su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının, karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki yerel sürtünme katsayıları farklı açı durumları için karşılaştırılmıştır. Daha önceki şekillerde de olduğu gibi karışık taşınım durumlarındaki sürtünme katsayısı değerleri zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Şekillerden de görüleceği üzere sistemin eğimi arttıkça sürtünme katsayısı azalmaktadır.



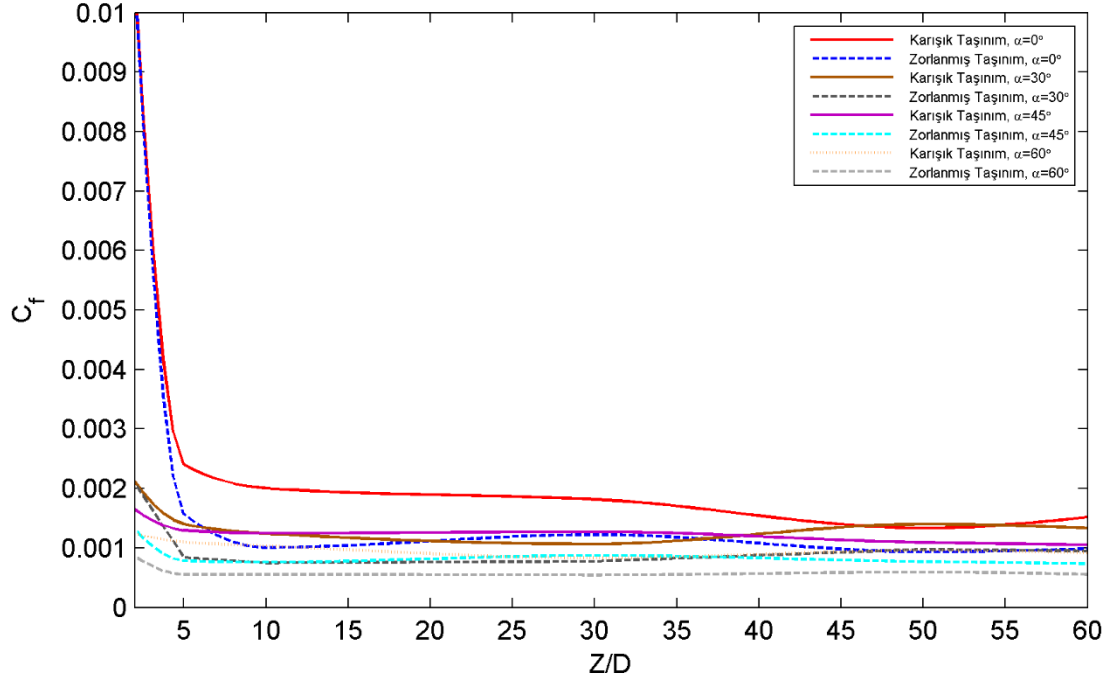
Şekil 5.40: Farklı Açı Durumlarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$)



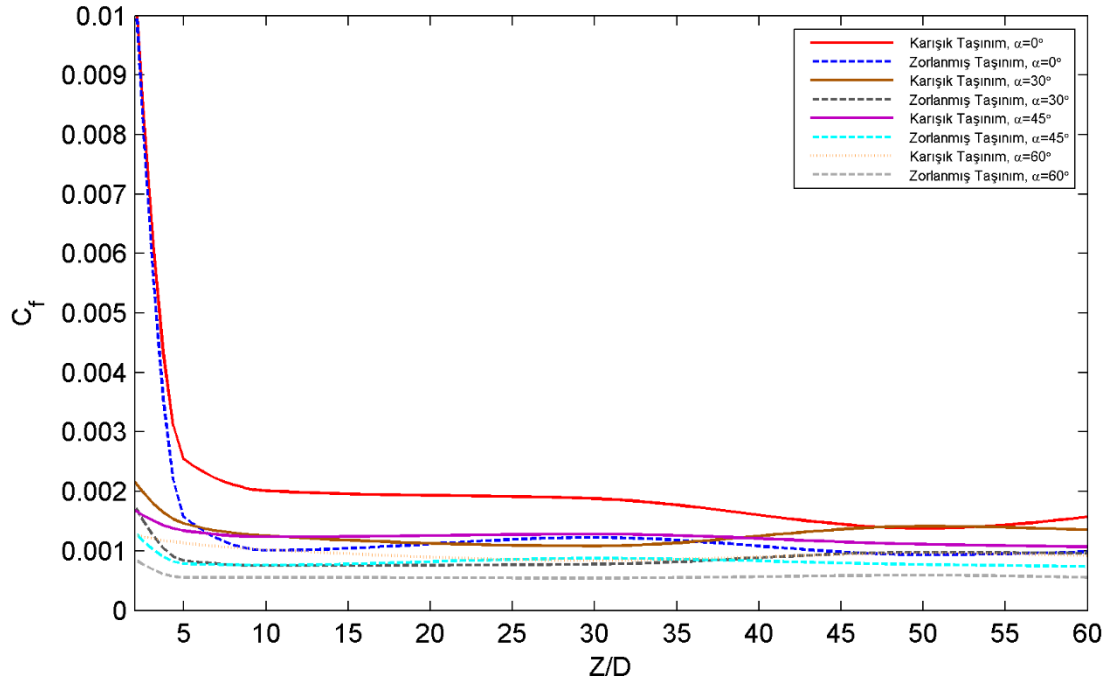
Şekil 5.41: Farklı Açı Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=1\%$)



Şekil 5.42: Farklı Açı Durumlarında Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=5\%$)

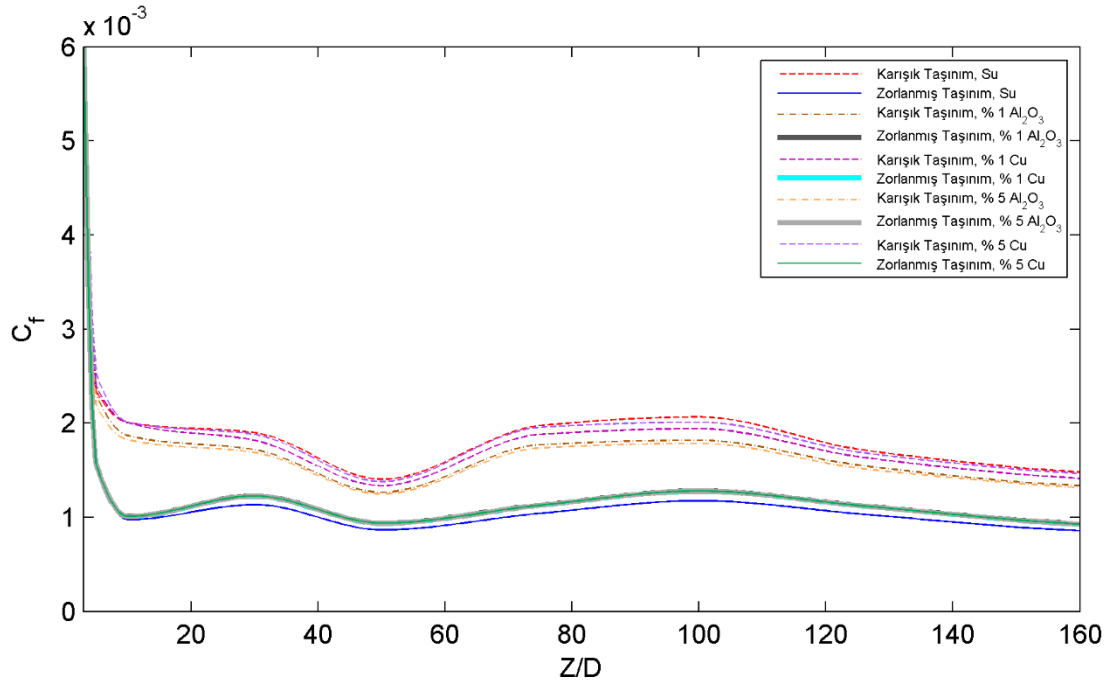


Şekil 5.43: Farklı Açı Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 1$)

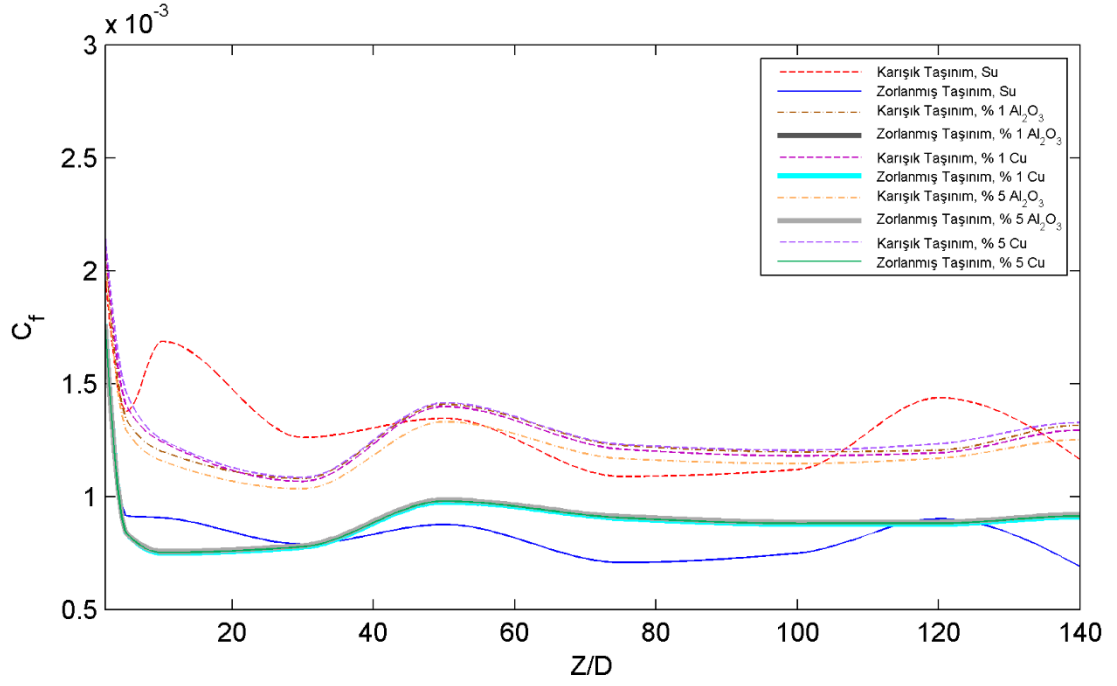


Şekil 5.44: Farklı Açı Durumlarında Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\phi=\% 5$)

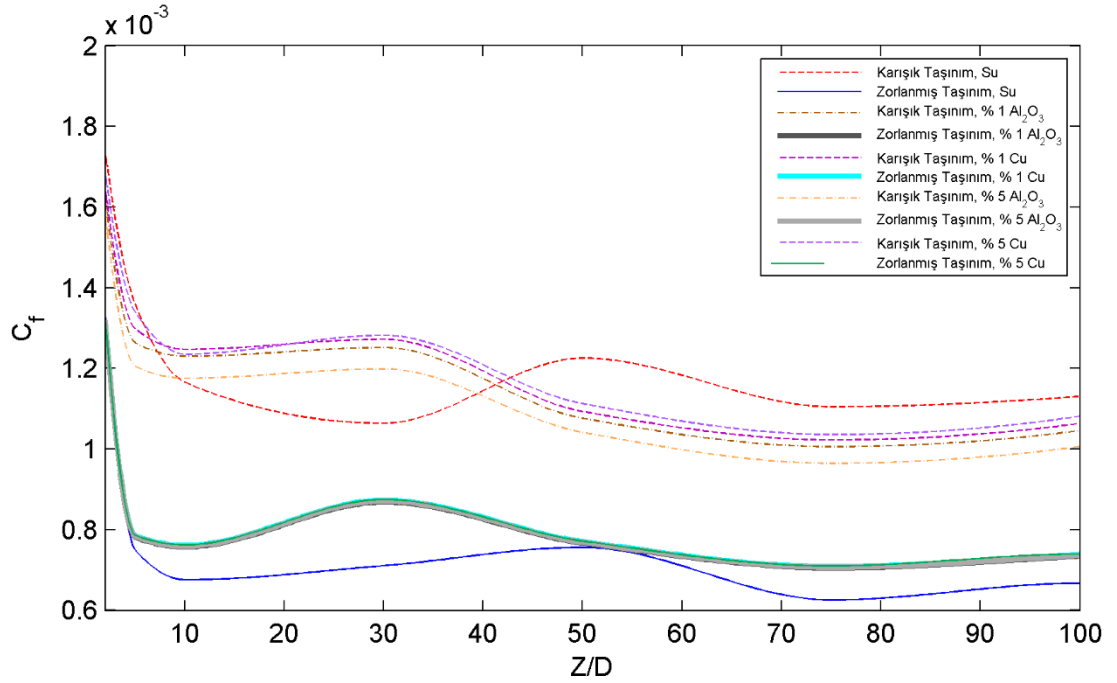
Şekil (5.45 – 5.48)'de sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° olması durumları için, farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının, karışık ve zorlanmış taşınım durumlarındaki yerel sürtünme katsayısı değerleri su ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda görüldüğü üzere; karışık taşınım sürtünme katsayısı değerleri zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden yüksektir. Zorlanmış taşınım durumunda; nanopartiküllerin hacimsel oranındaki değişimin sürtünme katsayısı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığından dolayı nanoakışkanların sürtünme katsayıları taşıyıcı boru boyunca aynı kalmaktadır. Ancak; suyun zorlanmış taşınım durumunda sürtünme katsayısı değeri nanoakışkanların sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşüktür.



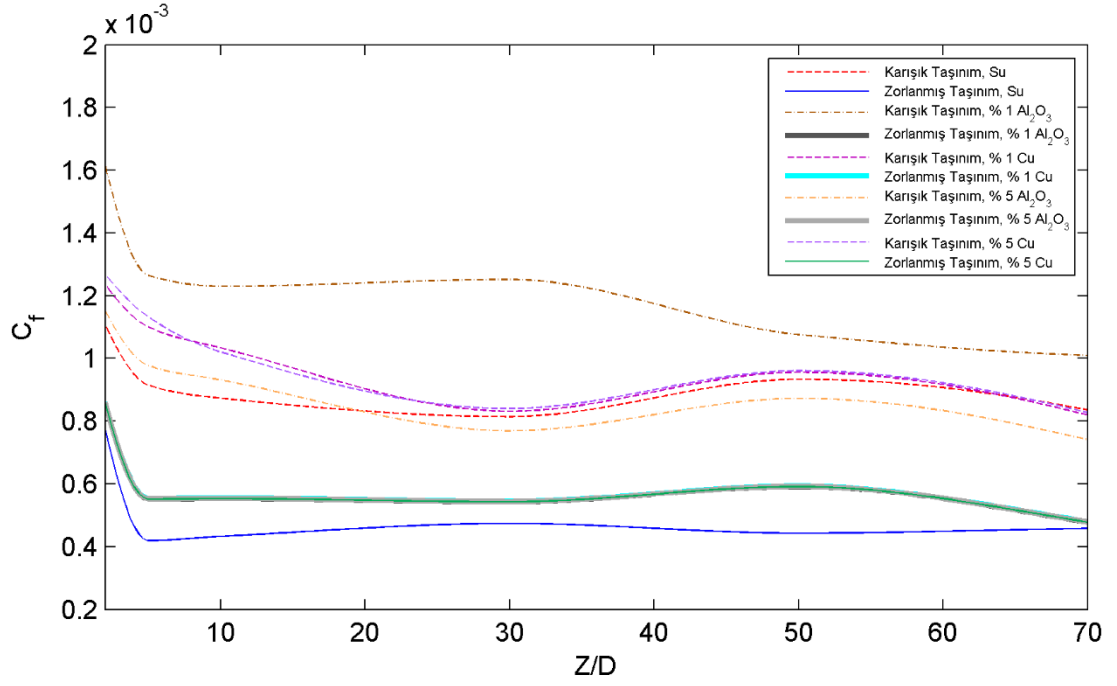
Şekil 5.45: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$)



Şekil 5.46: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$)

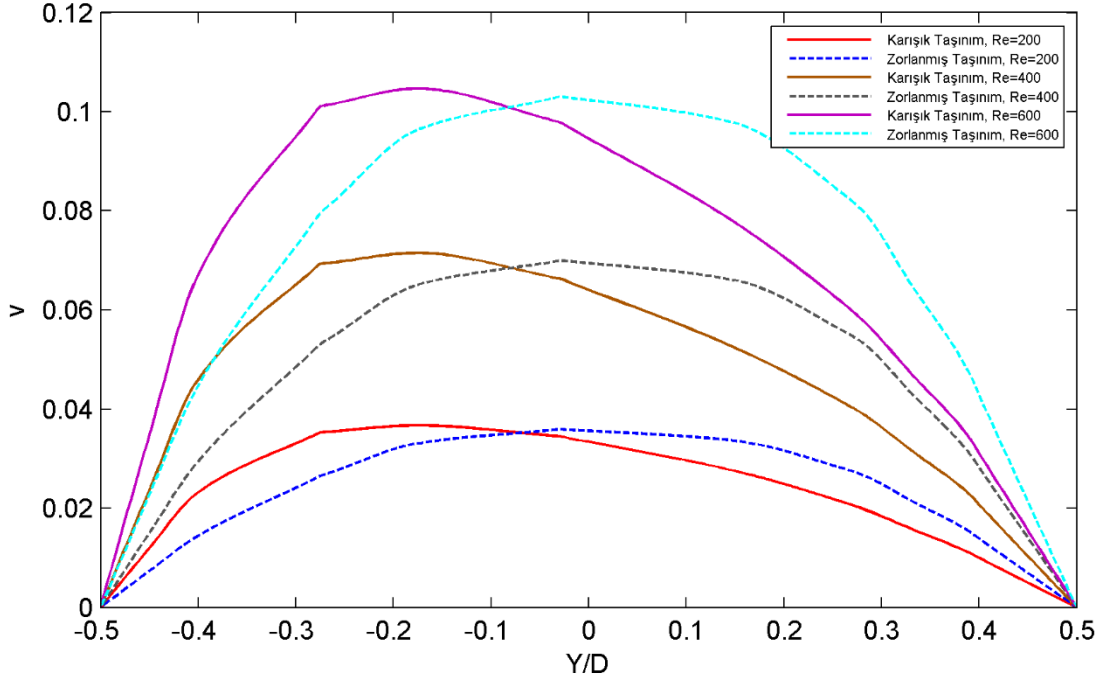


Şekil 5.47: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$)

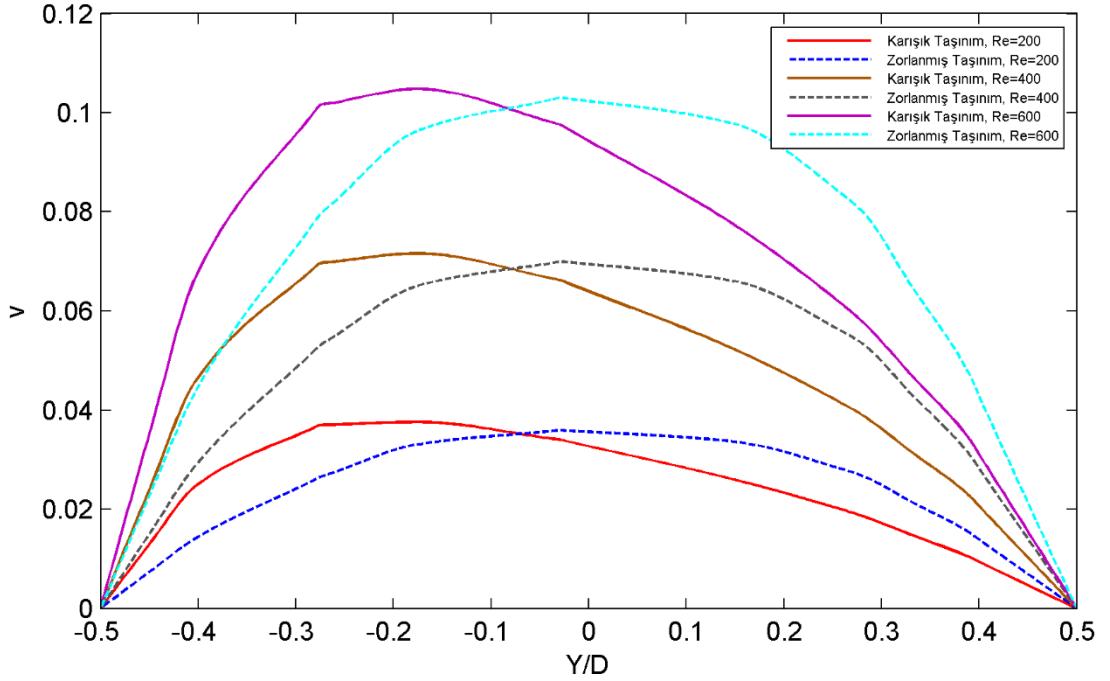


Şekil 5.48: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Durumlarında ki Sürtünme Katsayılarının Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

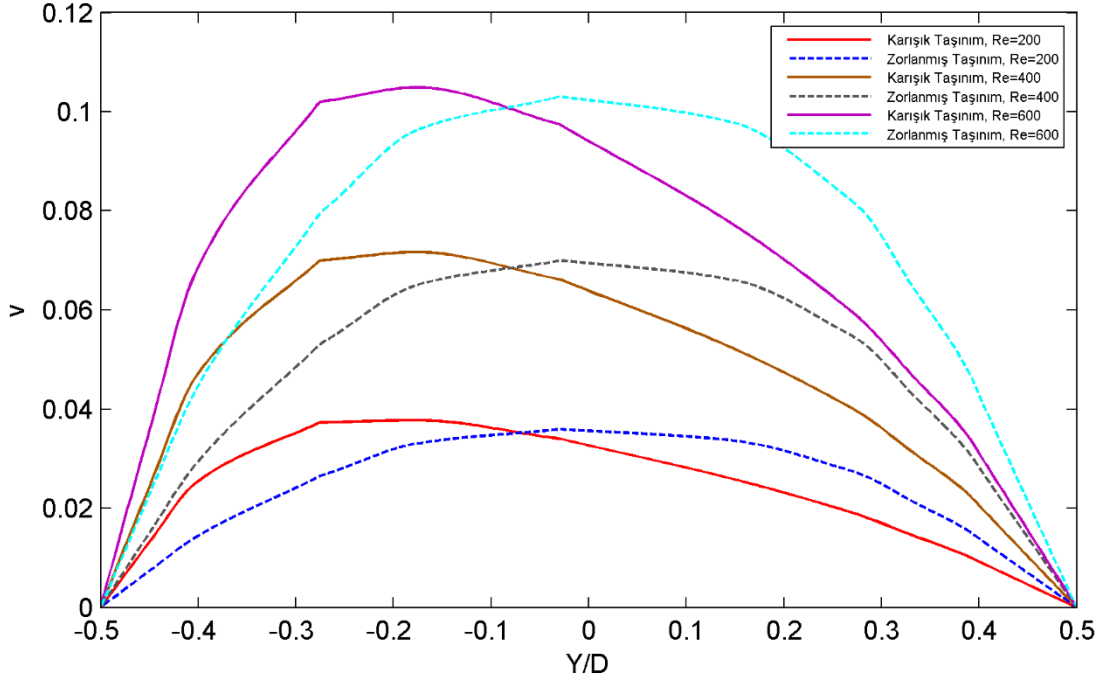
Şekil (5.49 – 5.51)'de sistemin yatay olması durumunda; farklı ısı akılarındaki (600 W/m^2 - 700 W/m^2 - 800 W/m^2) suyun karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki hız değerleri farklı Reynolds sayılarında karşılaştırılmıştır. Doğal taşınımın etkilerinden dolayı karışık taşınım durumundaki hız profili ısı akısının geldiği sıcak yüzey tarafına doğru kaymaktadır. Reynolds sayısı arttıkça karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarının her ikisinde de hız değeri artmaktadır.



Şekil 5.49: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=600 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)

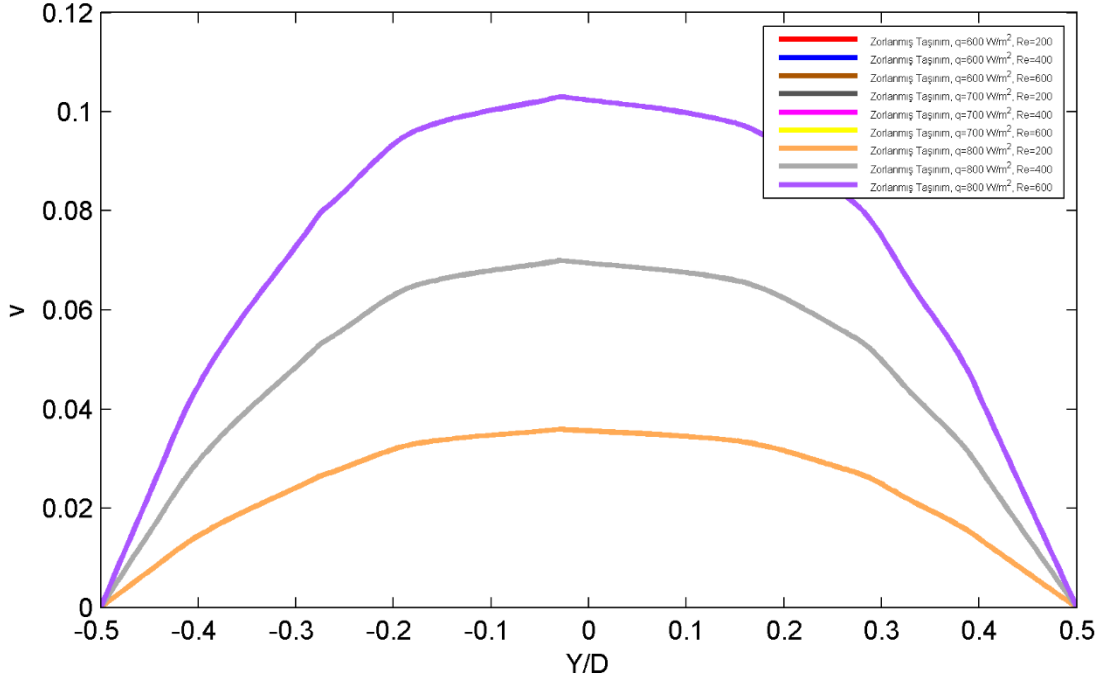


Şekil 5.50: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)



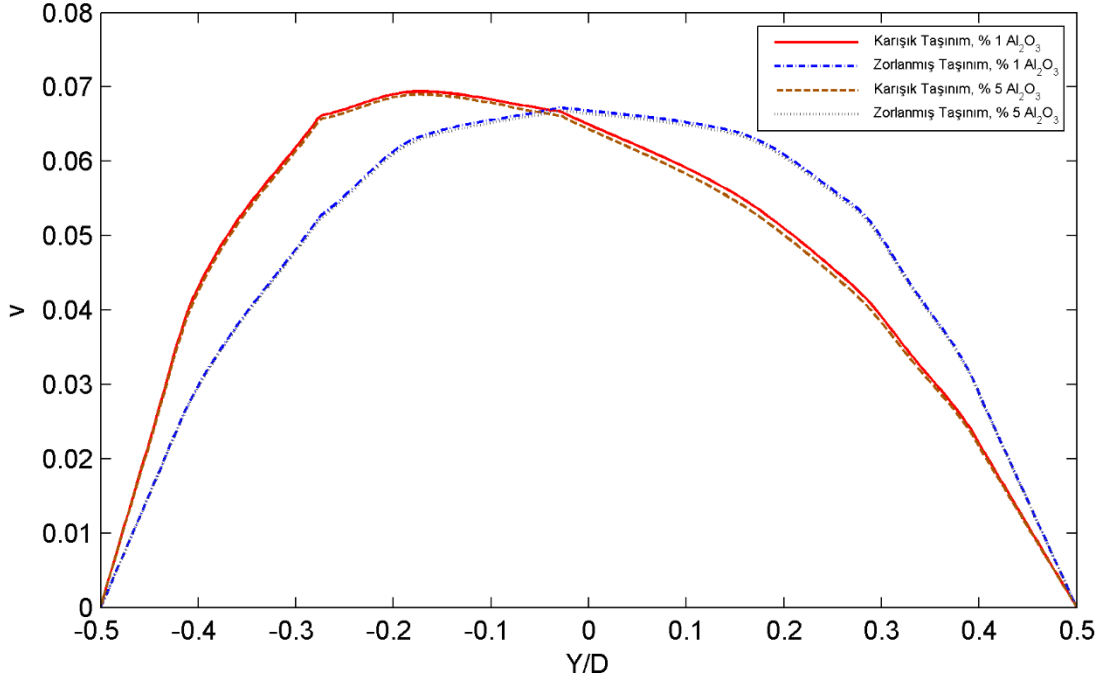
Şekil 5.51: Farklı Reynolds Sayılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=800 \text{ W/m}^2$, $\alpha=0^\circ$)

Şekil 5.52'de; suyun farklı ısı akıları ve farklı Reynolds sayılarındaki hızların karşılaştırılması yatay durumda zorlanmış taşınım için yapılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere ısı akılarındaki değişimin hız üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Reynolds sayısı arttıkça hız da artmaktadır.

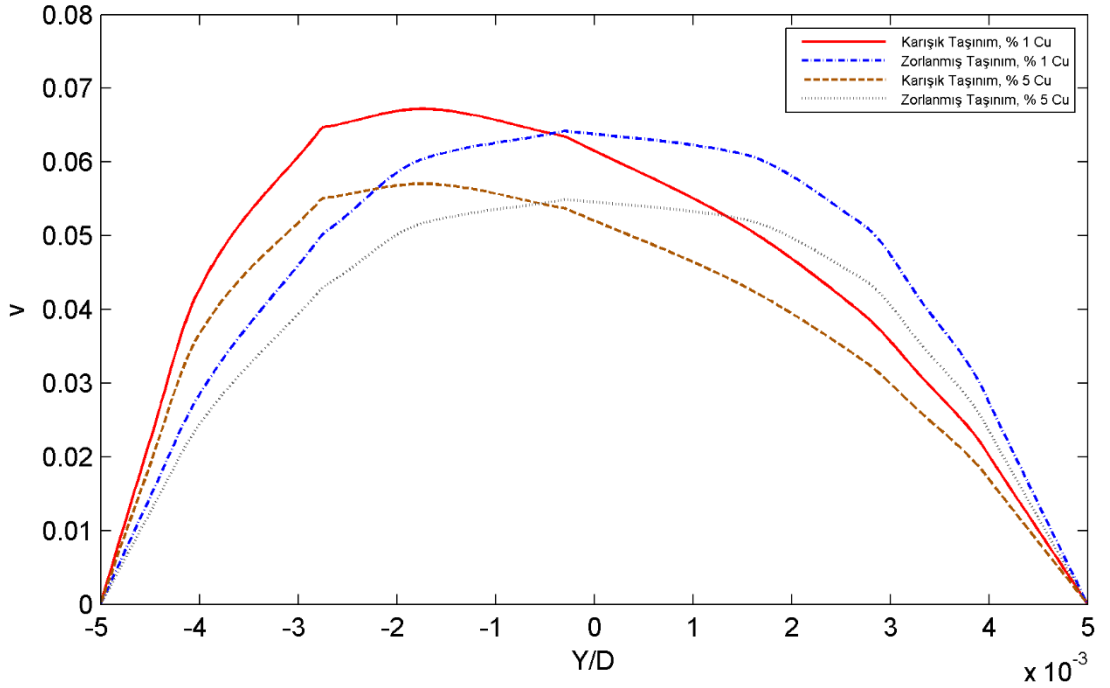


Şekil 5.52: Farklı ısı akıları ve farklı Reynolds Sayılarında Suyun Zorlanmış Taşınım Durumunda Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($\alpha=0^\circ$)

Şekil 5.53 ve Şekil 5.54'de % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının sistemin yatay olması durumu için karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki hız profilleri karşılaştırılmıştır. Nanoakışkanlarda da doğal taşınımın etkilerinden dolayı karışık taşınım durumunda hız profili, ısı akısının geldiği yüzeye doğru kaymaktadır.

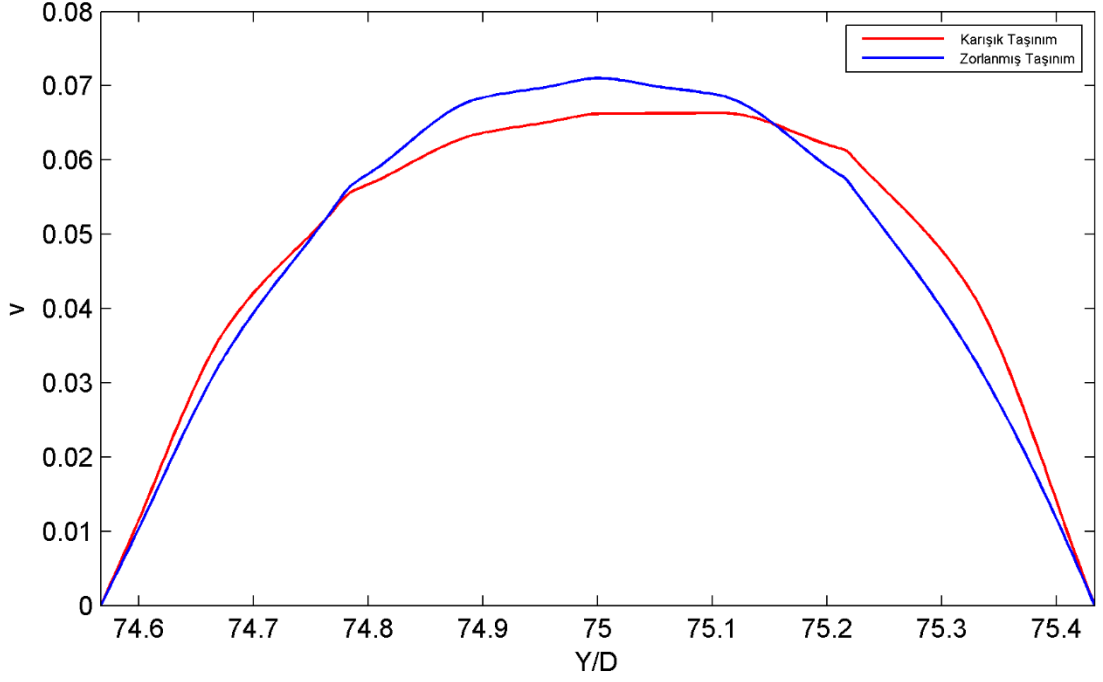


Şekil 5.53: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$)

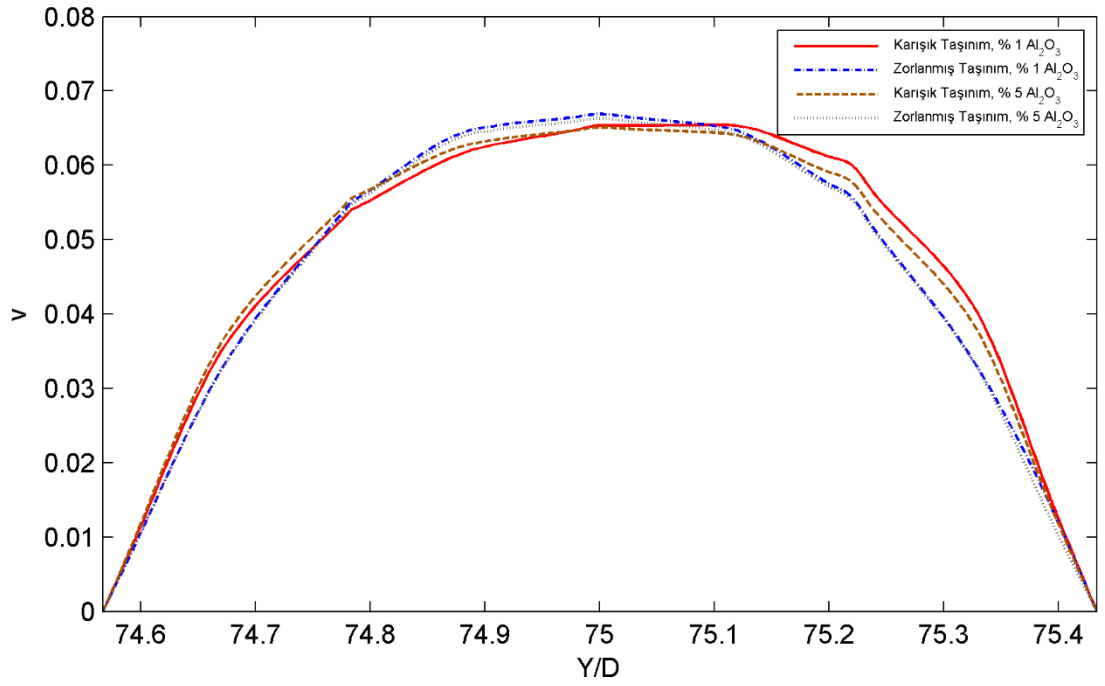


Şekil 5.54: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=0^\circ$)

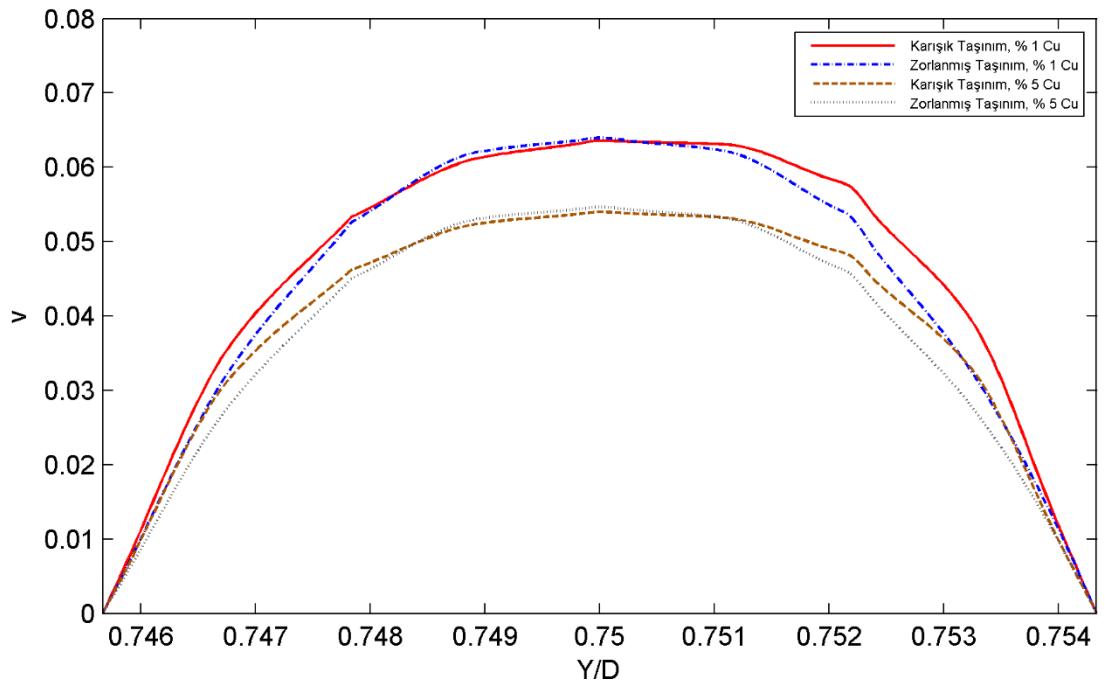
Şekil (5.55 – 5.63)'de sistemin farklı açı ve farklı akışkan durumlarındaki hız değerleri, karışık taşınım ve zorlanmış taşınım şeklinde karşılaştırılmıştır. Şekillerden de görüleceği üzere karışık taşınım durumunda hız profili ısı akısının geldiği yüzeye doğru yükselmektedir. Nanopartikül oranı arttıkça hız değeri azalmaktadır.



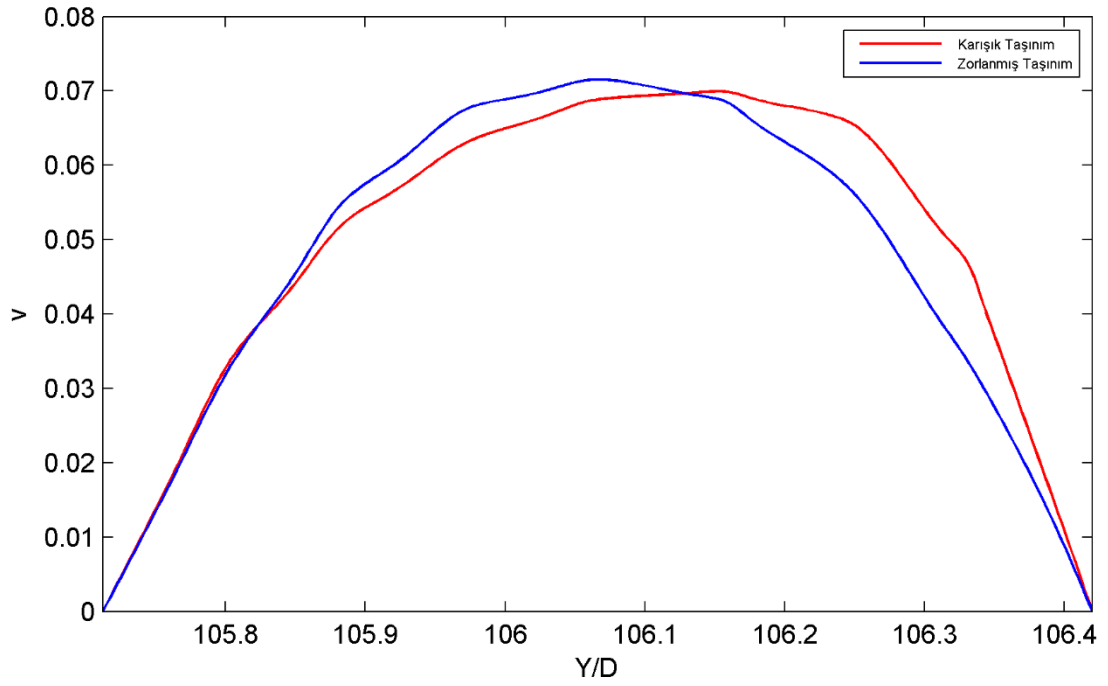
Şekil 5.55: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=30^\circ$)



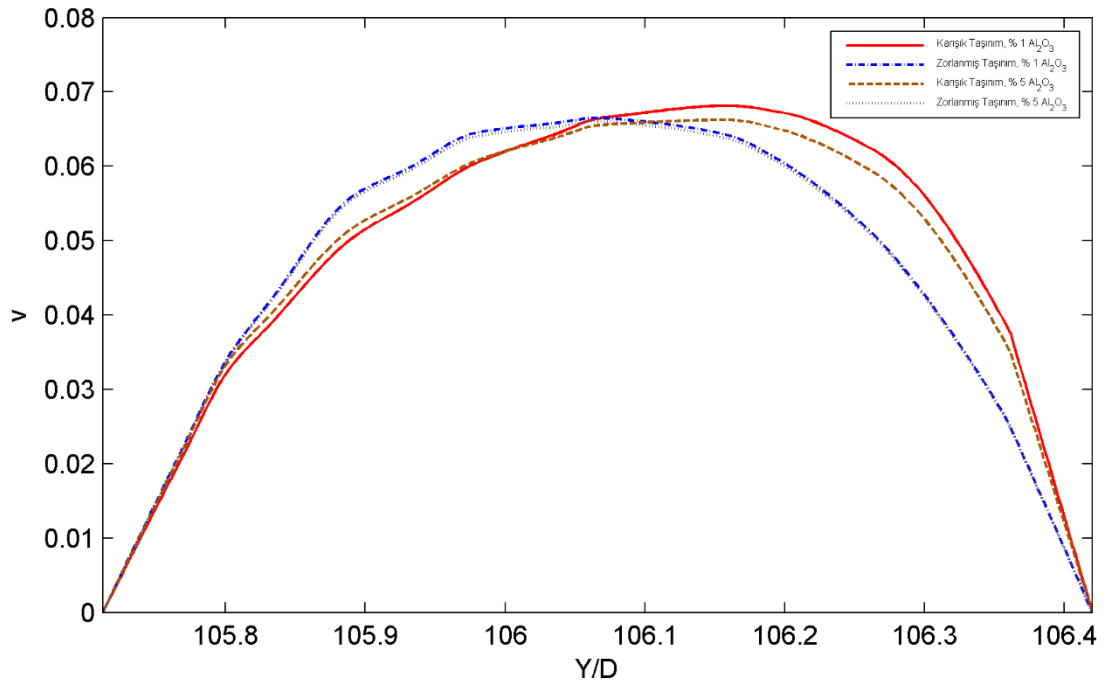
Şekil 5.56: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$)



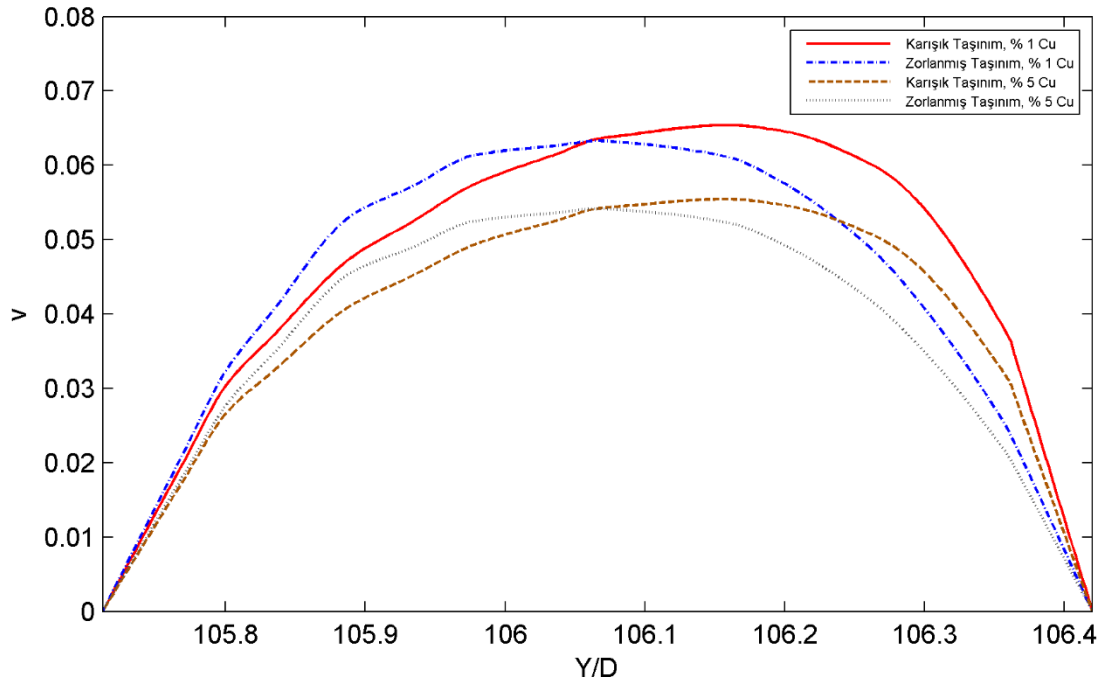
Şekil 5.57: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$)



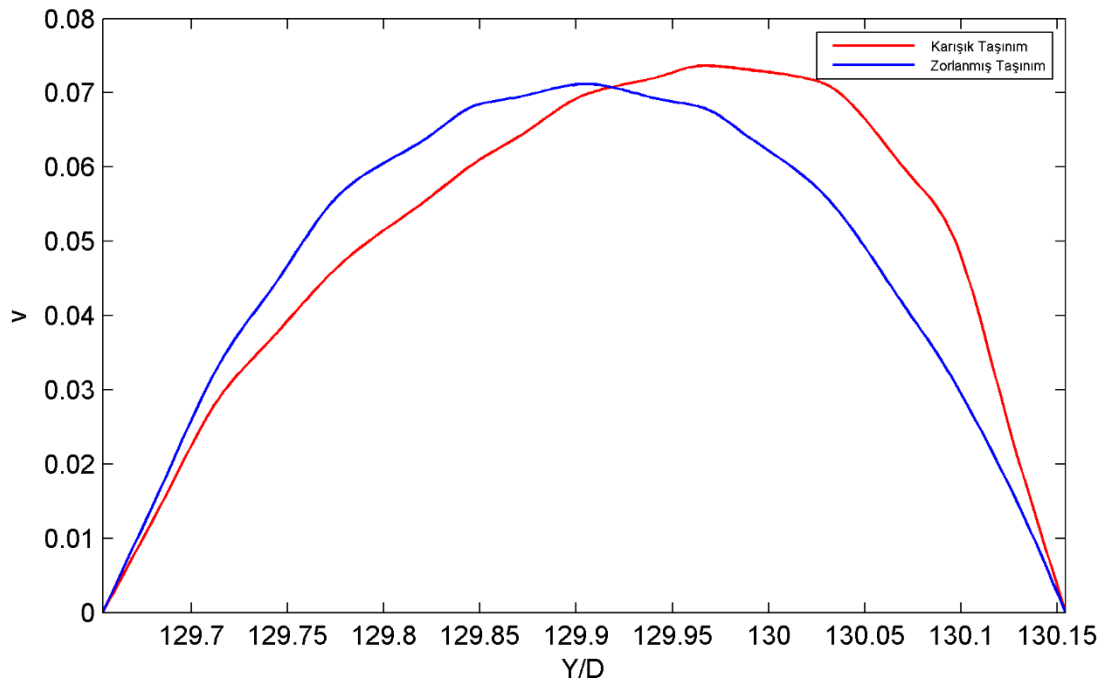
Şekil 5.58: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



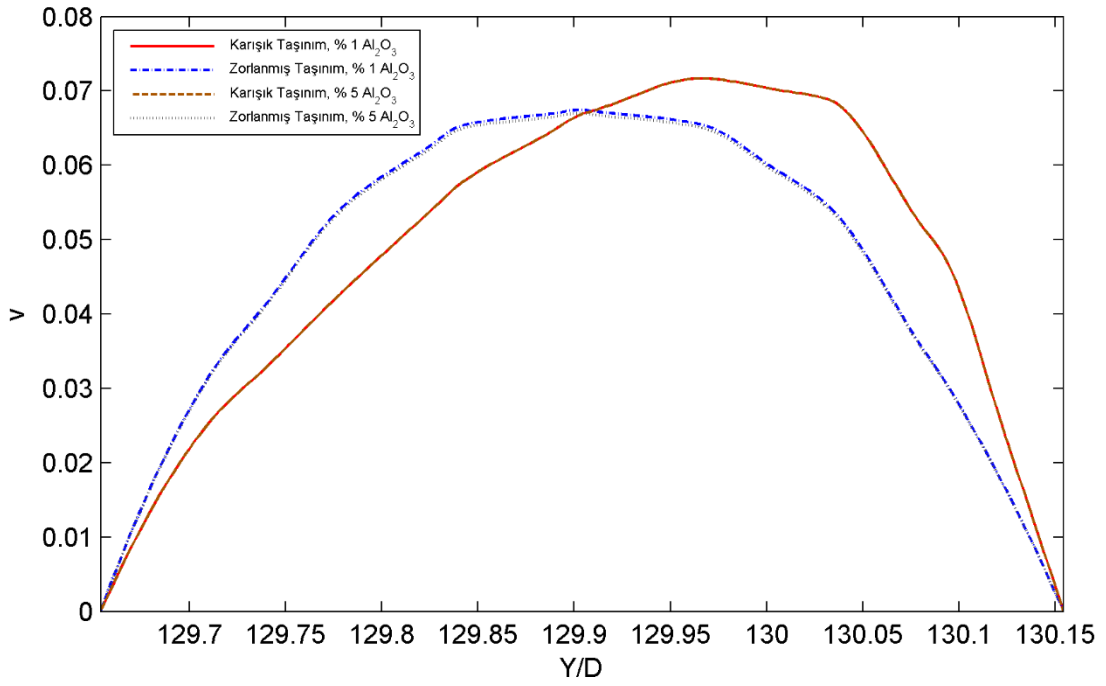
Şekil 5.59: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



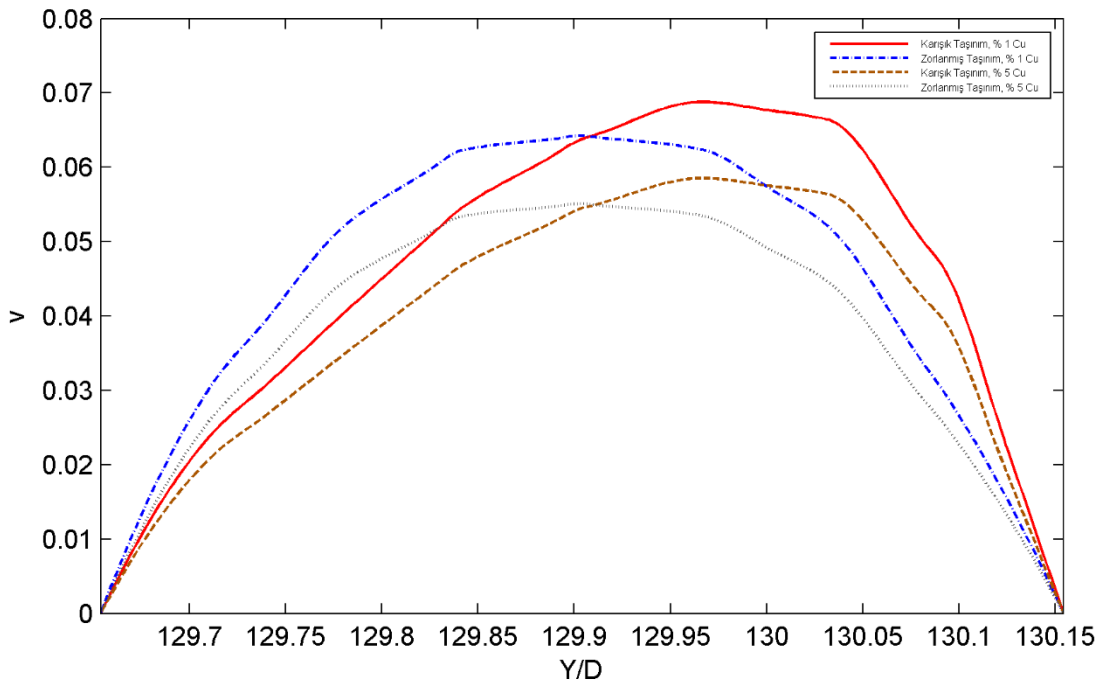
Şekil 5.60: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=45^\circ$)



Şekil 5.61: Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=60^\circ$)

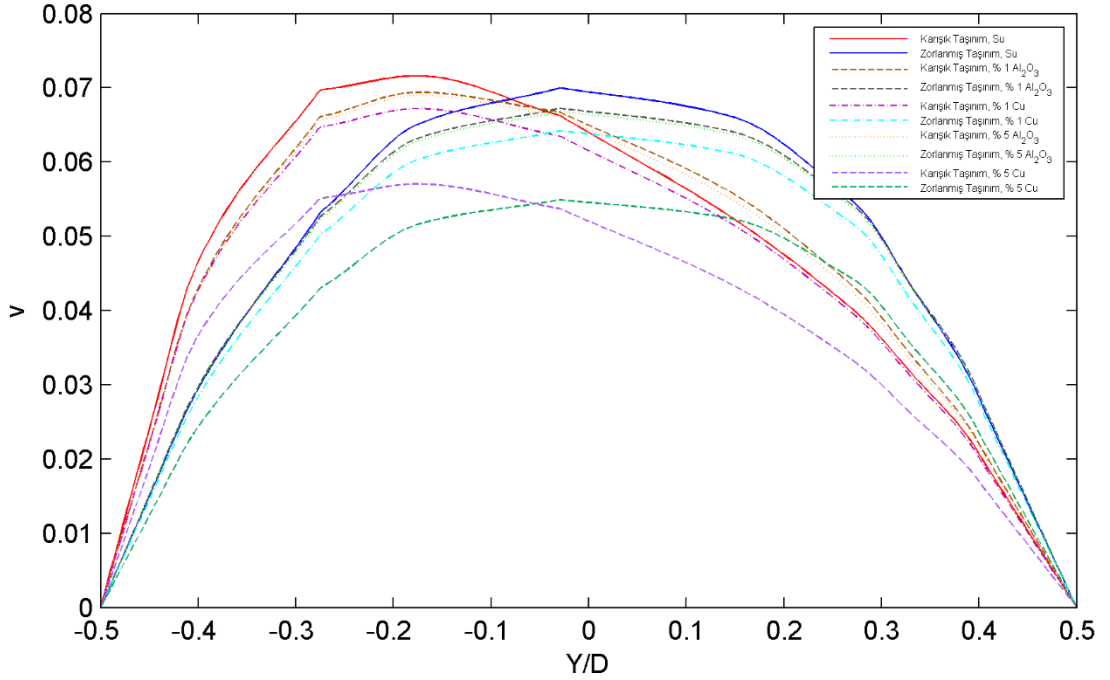


Şekil 5.62: Al_2O_3 -Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

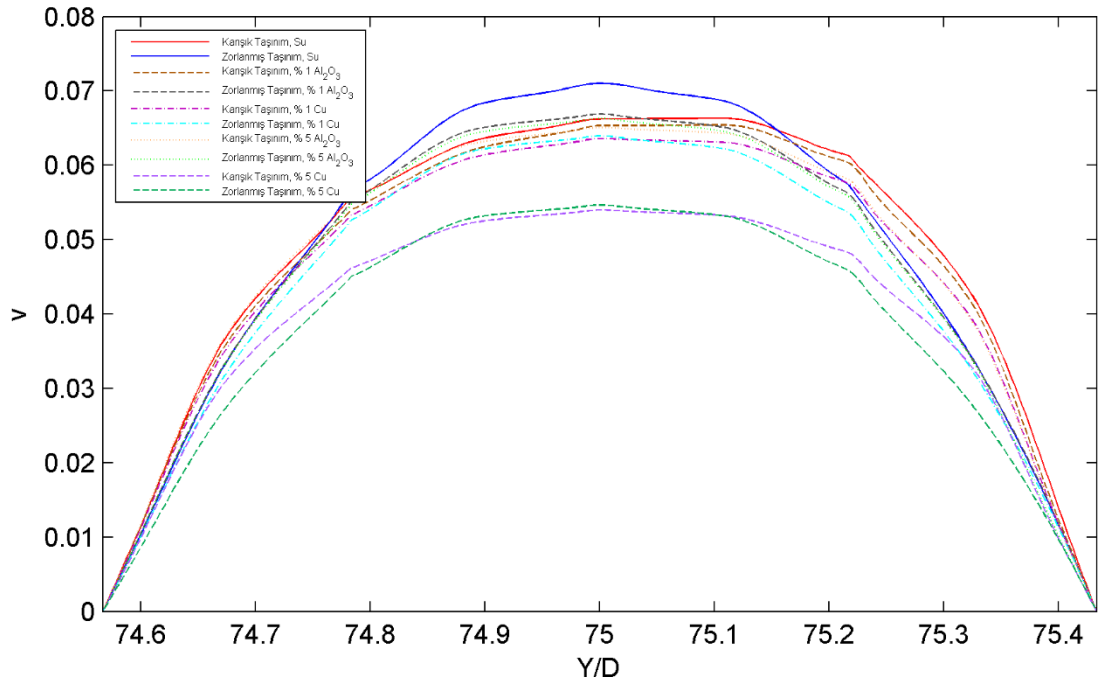


Şekil 5.63: Cu-Su Nanoakışkanının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

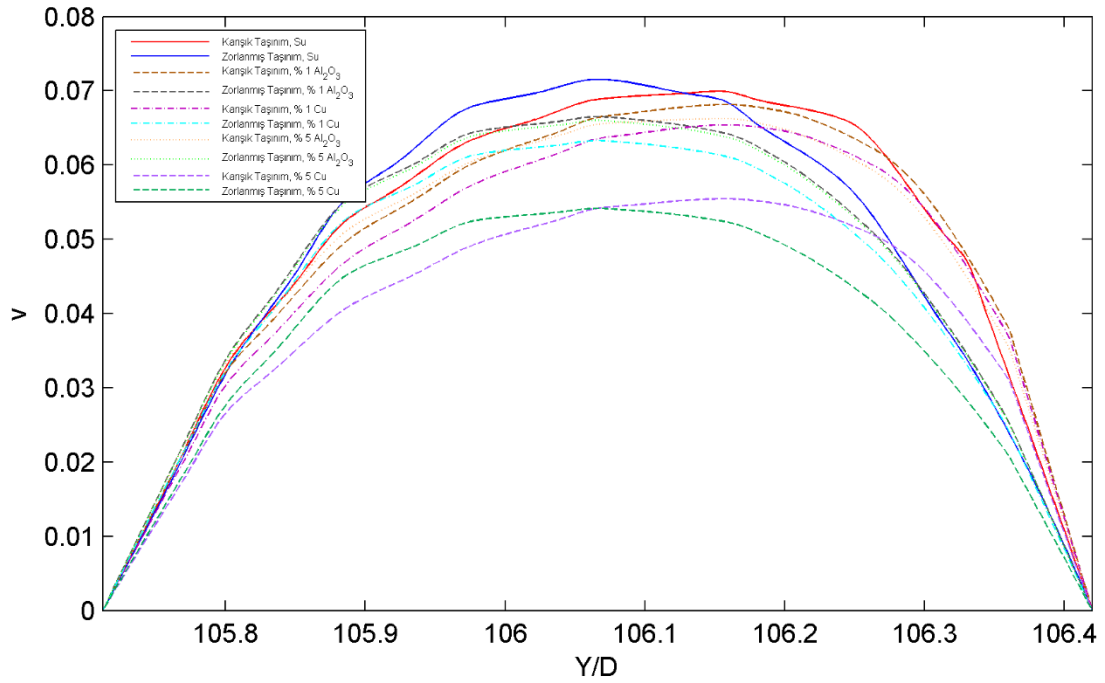
Şekil (5.64 – 5.67)'de sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° açı durumlarında; % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının hız yapıları karışık taşınım ve zorlanmış taşınım için su ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı hız değerleri ısı akısının geldiği yüzeye doğru yönelmektedir. Her iki taşınım durumunda da su en yüksek hız değerine sahiptir. Ardından % 1 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanın gelmektedir. Daha sonra sırasıyla; % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, % 1 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı ve son olarak % 5 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı gelmektedir.



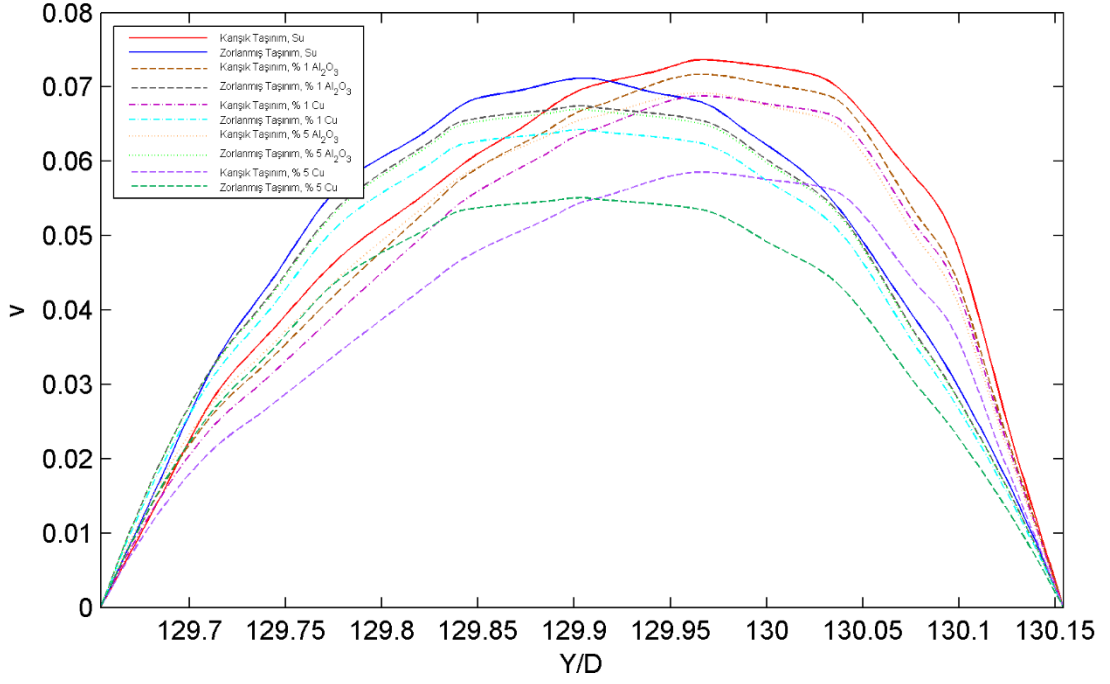
Şekil 5.64: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $Re=400$, $\alpha=0^\circ$)



Şekil 5.65: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=30^\circ$)

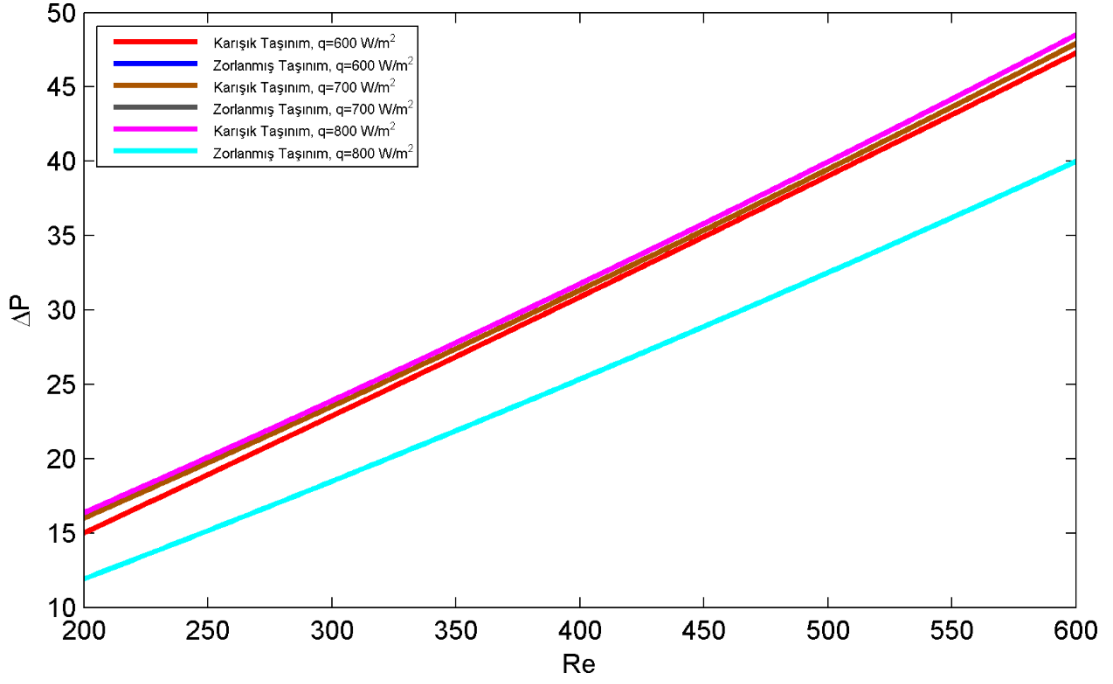


Şekil 5.66: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=45^\circ$)



Şekil 5.67: Su ile Al_2O_3 -Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Tam Gelişmiş Hız Profillerinin Karşılaştırılması ($q=700 \text{ W/m}^2$, $\text{Re}=400$, $\alpha=60^\circ$)

Şekil 5.68’de basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi; farklı ısı akılarında karışık ve zorlanmış taşınım için karşılaştırılmıştır. Karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı ısı akısının değişimi basınç değişimini etkilemektedir. Isı akısı arttıkça basınç farkı da artmaktadır. Zorlanmış taşınım da ise ısı akısının basınç değişimine herhangi bir etkisi yoktur. Reynolds sayısı arttıkça; her iki taşınım durumunda da görüldüğü gibi basınç farkı artmaktadır.



Şekil 5.68: Farklı Isı Akılarında Suyun, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Basınç Farkının Reynolds Sayısı ile Değişimi ($\alpha=0^\circ$)

Tablo 5.1’de sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° açı değerlerindeki su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; karışık taşınım ve zorlanmış taşınım için basınç değişimlerinin değerleri verilmiştir. Sistemin eğimli olduğu durumlarda karışık taşınım durumunda değerlerin negatif olduğu görülmektedir. Bu durum karışık taşınım içerisindeki doğal taşınımın etkilerinden kaynaklanmaktadır. Zorlanmış taşınım durumunda doğal taşınımın etkileri ihmal edildiğinden dolayı; sistemin tüm durumlarında basınç değişimi pozitifdir.

Tablo 5.1: Farklı Açı Durumlarında Su ile Al₂O₃-Su ve Cu-Su Nanoakışkanlarının, Karışık Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Basınç Farklarının Karşılaştırılması (q=700 W/m², Re=400)

ϕ (%)	Taşınım	0° ΔP (Pa)	30° ΔP (Pa)	45° ΔP (Pa)	60° ΔP (Pa)
0 (Su)	Karışık Taşınım	31.3319	-153.5119	-228.1011	-283.3999
	Zorlanmış Taşınım	25.3386	25.3139	25.2929	25.3346
1 (Al ₂ O ₃)	Karışık Taşınım	31.2863	-151.7430	-225.8120	-280.6520
	Zorlanmış Taşınım	27.2428	27.8777	28.0610	27.7253
1 (Cu)	Karışık Taşınım	30.2925	-162.3755	-239.0367	-296.2497
	Zorlanmış Taşınım	25.9525	26.5169	26.8566	26.4915
5 (Al ₂ O ₃)	Karışık Taşınım	34.1815	-145.1233	-217.4582	-271.4422
	Zorlanmış Taşınım	29.9886	30.7990	30.9546	30.5557
5 (Cu)	Karışık Taşınım	29.3576	-187.8888	-274.8275	-339.8692
	Zorlanmış Taşınım	24.6778	25.2323	25.5195	25.1025

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılmış olan önceki çalışmalarda, nanoakışkanlı düzlemsel güneş kolektörlerinin sayısal analizi üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalarda bir boru içinde akan nanoakışkanın analizi yapılmıştır. Bu sebeple bu çalışmada; su bazlı nanoakışkanlar kullanıldığında düzlemsel güneş kolektörlerinin ısı transferi kabiliyetinde ve hidrodinamik davranışında ne gibi bir değişim olabileceği incelendi.

Geniş bir uygulama alanı olan düz toplayıcıların kullanıldığı güneş enerjisi sistemlerinin verimlerinin iyileştirilmesi, süregelen araştırmaların konusu olmuştur. Sistem verimini en fazla güneş ışınımının ısı taşıyıcı akışkana aktarıldığı toplayıcıdaki ısı geçişi etkilemektedir. Isı geçişi toplayıcıya bağlı olduğu kadar içerisindeki akışkana da bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanın bu ısı geçişini nasıl etkilediğinin sayısal analizi yapıldı.

Yapılan bu tez çalışmasında kolektörün yutucu yüzeyi ile akışkan taşıyan boru birlikte modellendi. Taşıyıcı boru içinden farklı hacim oranlarında nanopartikül içeren farklı tip nanoakışkanların aktığı varsayıldı. Bu akışkanların öncelikle karışık taşınım analizi yapıldı. Analizde parametrelerde değişiklikler yapılarak, bu parametrelerdeki değişimin sistemin ısı transferi durumunu nasıl etkilediği araştırıldı.

Son olarak da; karışık taşınım analizindeki doğal taşınım etkilerini tespit edebilmek için zorlanmış taşınım analizi de yapıldı. Aynı parametrelerin değişiminin etkileri zorlanmış taşınım durumunda da incelendi.

Zorlanmış taşınım ile karışık taşınımın etkileri karşılaştırıldığında; doğal taşınım etkilerinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğu belirlendi.

Nanoakışkanların ısı transferi kabiliyetini % 1'den yaklaşık % 8'e kadar arttırdığı görüldü. Tek fazlı yaklaşımın deneysel çalışmalara göre nanoakışkanların verimini daha düşük gösterdiği düşünüldüğünde, tek fazlı yaklaşım modeli kullanılarak yapılmış olan bu çalışmada % 8'lere yaklaşan artışın görülmüş olması, nanoakışkanın düzlemsel güneş kolektörlerinde kullanılabilir olacağını gösterdi.

6.1 Karışık Taşınım Analizinin Sonuçları

Karışık taşınım analizlerinde; su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarından nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanları kullanılmıştır. Modelimizin üst yüzeyinden üç farklı ısı akısı ($600 \text{ W/m}^2 - 700 \text{ W/m}^2 - 800 \text{ W/m}^2$) değeri verilmiştir ve üç farklı Reynolds sayısı ($200 - 400 - 600$) değeri alınmıştır. Ayrıca sistemin değişik açılarının ($0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 60°) etkileri de incelenmiştir.

Al_2O_3 ve Cu nanopartikülleri akışkan içerisinde süspanse edilmiştir. Boyutları çok küçük olduğundan dolayı su içerisinde homojen dağıldıkları varsayılmıştır ve böylece tek fazlı akışkan gibi düşünülmüştür. Bu sebeple karışık taşınımın olduğu modelimizde tek fazlı yaklaşım kullanılmıştır. Tek fazlı yaklaşım da; su ile nanopartiküllerin ısı dengede olduğu ve aynı hız ile hareket ettikleri kabul edilmiştir. Bu durumda su için kullandığımız temel denklemleri nanoakışkanlar içinde kullandık. Nanopartiküllerin etkilerini de bazı termofiziksel özelliklerinin değişimiyle belirledik.

Yapılan karışık taşınım analizlerinin sonucunda;

Isı transferindeki durum karşılaştırmalarını yapmak için; Nusselt sayısındaki ve ısı taşınım katsayısındaki değişim grafikleri çizdirilmiştir. Isı akısı ve Reynolds sayısı arttıkça meydana gelen ısı transferi artmaktadır.

Su için en iyi ısı taşınımı kollektörün 30° açısı ile durduğu durumdadır, arkasından 45° , 60° ve son olarak yatay olduğu durum gelir.

Taşıyıcı boruda nanoakışkan kullanıldığı durumlarda; sistem 30° açıyla durduğu durumda en iyi ısı taşınımına sahiptir. Ardından sırasıyla 60° , 45° ve yatay olduğu durumlar gelmektedir.

Farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının, 700 W/m^2 ısı akısında ve $\text{Re}=400$ olduğu durum için ısı taşınımı karşılaştırılması yapılmıştır. Tüm açı değerlerinde en yüksek değere % 5 oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı sahiptir. Daha sonra sırasıyla % 5 Cu, % 1 Al_2O_3 ve % 1 Cu oranlarında nanopartikül içeren nanoakışkanlar gelmektedir. Aynı hacimsel oranda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarını incelediğimizde; Cu-Su nanoakışkanının ısı iletim katsayısı daha yüksektir. Buna rağmen artışın Al_2O_3 -Su nanoakışkanında daha fazla olmasının sebebi; Al_2O_3 -Su nanoakışkanı aynı Reynolds sayısı ve ısı akısı değerinde Cu-Su nanoakışkanından daha hızlı hareket etmesidir. Çünkü Cu-Su nanoakışkanının yoğunluğu daha yüksektir.

Yerel sürtünme katsayısının taşıyıcı boru boyunca değişimi; farklı ısı akısı, farklı Reynolds sayısı, farklı açı, farklı nanopartikül hacimsel oranı ve farklı nanoakışkanlar için gösterilmiştir.

Akışkanın su olması durumunda; Reynolds sayısı arttıkça yerel sürtünme katsayısının değeri azalmaktadır. Isı akısı değerinin artmasıyla yerel sürtünme katsayısı değeri artmaktadır. Sistemin açı değeri arttıkça sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir.

Sistemin yatay olması durumunda su en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahiptir. Ardından sırasıyla; % 5 Cu, % 1 Cu, % 1 Al_2O_3 ve % 5 Al_2O_3 gelmektedir. Sistemin 30° olması durumunda sürtünme katsayısının değeri sırasıyla % 1 Cu, % 5 Cu, % 1 Al_2O_3 , % 5 Al_2O_3 ve su şeklinde azalır. Sistem 45° olduğunda su, % 1 Cu, % 5 Cu, % 1 Al_2O_3 ve % 5 Al_2O_3 şeklinde sürtünme katsayısı azalarak sıralanır. Son olarak sistem 60° açıyla durduğu durumda

sürtünme katsayısı; % 1 Al_2O_3 , % 1 Cu, % 5 Cu, su ve % 5 Al_2O_3 şeklinde azalarak sıralanır. Nanoakışkanların yerel sürtünme katsayısı değerleri suyun değerlerinden çok farklı değildir. Birbirlerine ve suya oldukça yakın sürtünme katsayısı değerlerine sahiptirler.

Nanoakışkanların su ve birbirleri ile hidrodinamik davranışlarını karşılaştırmak amacıyla hız grafikleri çizdirilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça beklenildiği gibi hız değerleri artmaktadır. Isı akısındaki artış, hızı fazla etkilememektedir. Isı akısının fazla olmasa da hızı etkilemesinin sebebi, karışık taşınım olduğundan dolayı doğal taşınım etkilerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca; doğal taşınımın etkilerinden dolayı en yüksek hız değeri ısı akısının geldiği yüzeye doğru yönelmektedir. Farklı açı durumlarında (0° , 30° , 45° ve 60°) suyun ve nanoakışkanların tam gelişmiş hız profilleri incelendiğinde suyun hızı en fazladır. Ardından sırasıyla; % 1 Al_2O_3 , % 5 Al_2O_3 , % 1 Cu ve % 5 Cu gelmektedir. Yoğunluğu en yüksek olan % 5 oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanının hızı en düşüktür.

Karışık taşınım durumunda nanoakışkanların su ve birbirleri ile basınç değişimini karşılaştırmak amacıyla basınç değişiminin grafikleri de çizdirilmiştir. Reynolds sayısı arttıkça basınç farkı artmaktadır. Isı akısı değeri arttıkça, basınç farkı da artmaktadır. Al_2O_3 -Su nanoakışkanında nanopartikül hacimsel oranı arttıkça basınç farkı artmakta, Cu-Su nanoakışkanında ise nanopartikül hacimsel oranı arttıkça basınç farkı azalmaktadır. Ayrıca karışık taşınım olması sebebiyle yatay durumda basınç farkı pozitif olmaktadır. Ancak; sistemin eğimli olduğu durumlarda doğal taşınımın etkilerinden dolayı basınç değişimi negatif olmaktadır. Doğal taşınım etkileri eğimli durumda çıkış basıncını arttırmaktadır. Yatay ve eğimli durumlarda akışkanlar karşılaştırıldığında; en yüksek basınç farkı % 5 hacimsel oranında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanındadır.

Farklı hacimsel oranlarda nanoakışkan içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; sistemin açısal durumunun, sisteme gelen ısı akısının ve Reynolds sayısındaki değişimin, sistemdeki ısı transferini suya göre nasıl arttırdığının karşılaştırmaları tablolar halinde verildi. % 5 hacimsel oranında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ısı transferinde meydana getirmiş olduğu yüzdelik artış daha fazladır.

6.2 Zorlanmış Taşınım Analizi ile Karışık Taşınım Analizinin Karşılaştırma Sonuçları

Zorlanmış taşınım analizinde de karışık taşınım analizindeki aynı kabuller yapıldı ve aynı model kullanıldı. Zorlanmış taşınım analizi, karışık taşınım analizindeki doğal taşınım etkilerini görmek amacıyla yapıldı.

Yapılan zorlanmış taşınım ve karışık taşınım analizlerinin karşılaştırılması sonucunda;

Farklı Reynolds sayılarında ve farklı ısı akılarında karışık taşınım ve zorlanmış taşınım Nusselt sayılarının yatay durum için değişimi gösterildi. Reynolds sayısının artmasıyla ısı transferi gelişmekte ve Nusselt sayısı artmaktadır. Taşıyıcı borunun giriş bölgesinde Nusselt sayısı maksimum değerindedir. Taşıyıcı boru boyunca ilerledikçe bu değer hızlı bir şekilde tam gelişmiş akış durumundaki değere inmektedir. Isı akısının artmasıyla taşıyıcı boru içindeki doğal taşınım etkileri artmakta ve bu sebeple karışık taşınım da zorlanmış taşınımına göre daha yüksek Nusselt sayılarına ulaşılmaktadır. Yüksek ısı akısı değerlerinde doğal taşınım etkileri ihmal edilemeyecek boyutlardadır.

Al_2O_3 -Su nanoakışkanının karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı zorlanmış taşınımına göre taşınım ısı transfer katsayısı daha yüksektir. Nanopartikül hacimsel oranı arttıkça ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Doğal taşınımın olumlu etkisi, nanoakışkan içerisindeki nanopartikül oranını arttırmaktan daha fazladır.

Cu-Su nanoakışkanının da karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı zorlanmış taşınımına göre taşınım ısı transfer katsayısı daha yüksektir. Nanopartikül hacimsel oranı arttıkça, karışık taşınım da ısı taşınım katsayısı artmaktadır. Ancak; zorlanmış taşınım durumunda, Cu nanopartikül oranındaki artış % 1 ile % 5 olduğunda ısı transferinde herhangi bir değişim görülmemektedir. Cu nanopartikül oranı % 10'a yükseldiğinde ise ısı transferinde artış meydana gelmektedir.

Sistemin 30° , 45° ve 60° olması durumları için suyun taşıyıcı boru boyunca ısı taşınım katsayısının gelişimi, karışık ve zorlanmış taşınım durumları için karşılaştırıldı. Doğal taşınım etkilerinden dolayı karışık taşınım durumunda ısı taşınım katsayısı zorlanmış taşınım durumuna göre daha iyidir.

Sistemin açısal değişiminin karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarında Nusselt sayısında nasıl bir değişime sebep olduğu gösterildi. Doğal taşınım etkilerinden dolayı karışık taşınım durumlarında ısı transferi kabiliyeti daha yüksektir. Zorlanmış taşınım da taşıyıcı borunun giriş bölgesinde küçük açı değerlerinde ısı transferi daha yüksektir, ancak tam gelişmiş bölgeye gelindiğinde açısal değişimin ısı transferine herhangi bir katkısının olmadığı görülmektedir. Karışık taşınım durumunda ise açısal değişimin etkisi akışkan su olduğu zaman ısı transferi 30° 'de en fazladır, daha sonra sırasıyla 45° , 60° ve 0° durumları gelmektedir. Akışkanın; Al_2O_3 -Su ya da Cu-Su nanoakışkanları olması durumunda ise en yüksek ısı transferi yine 30° 'dedir. Daha sonra sırasıyla 60° , 45° ve 0° durumları gelmektedir.

Farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ile Cu-Su nanoakışkanlarının, karışık ve zorlanmış taşınım durumları için taşıyıcı boru boyunca ısı taşınım katsayısının değişimi su ve birbirleri ile karşılaştırıldı. Doğal taşınımın etkilerinden dolayı karışık taşınım durumundaki ısı taşınım katsayısının zorlanmış taşınım durumundaki ısı taşınım katsayısından yüksek olduğu görüldü. Karışık taşınım durumunda en yüksek ısı transferi % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanında görüldü. Daha sonra sırasıyla;

% 5 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı, % 1 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, % 1 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı ve son olarak su geldi. Zorlanmış taşınım durumunda da en yüksek ısı taşınım katsayısına sahip olan % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanıdır. Zorlanmış taşınım durumunda daha önceden de belirtildiği üzere Cu-Su nanoakışkanında ki Cu nanopartiküllerinin % 1 ve % 5 hacimsel oranındaki değişimin ısı transferine herhangi bir katkısının olmadığı, % 10 hacimsel oranında Cu nanopartikülü bulunduğunda ise artış görüldü.

Sistem yatay durumdayken; suyun farklı ısı akıları için farklı Reynolds sayılarındaki yerel sürtünme katsayısı değerleri karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumları için karşılaştırıldı. Karışık taşınım da ki doğal taşınımın etkilerinden dolayı; karışık taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerleri, zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısının değeri azalmaktadır. Isı akısındaki değişimin zorlanmış taşınım durumunda sürtünme katsayısındaki değişime herhangi bir katkısı bulunmamıştır.

Sistemin yatay durumda olması halinde % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumları için sürtünme katsayısı değerleri taşıyıcı boru boyunca karşılaştırıldı. Her iki nanoakışkanda da zorlanmış taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerlerinin karışık taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşük olduğu belirlendi. Ayrıca; her iki nanoakışkanda da zorlanmış taşınım durumunda nanopartiküllerin hacimsel oranındaki değişimin sürtünme katsayısına herhangi bir etkisinin bulunmadığı gösterildi.

Su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; sistemin 30° , 45° ve 60° açı değerlerindeki durumları için karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki sürtünme katsayıları karşılaştırıldı. Karışık taşınım durumundaki sürtünme katsayısı değerleri sistem eğimli olduğu durumlarda da zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Zorlanmış taşınım durumunda; Al_2O_3 ve Cu nanopartiküllerinin hacimsel oranındaki değişim, sistemin eğimli olduğu durumlarda da nanoakışkanların taşıyıcı boru boyunca sürtünme katsayısında herhangi bir değişime sebep olmamaktadır.

Suyun, % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının, karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki yerel sürtünme katsayıları farklı açı durumları için karşılaştırıldı. Karışık taşınım durumlarındaki sürtünme katsayısı değerleri zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden daha yüksektir. Sistemin eğimi arttıkça sürtünme katsayısı azalmaktadır.

Sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° olması durumları için, farklı hacimsel oranlarda nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının, karışık ve zorlanmış taşınım durumlarındaki yerel

sürtünme katsayısı değerleri su ve birbirleri ile karşılaştırıldı. Bu karşılaştırmalar sonucunda; karışık taşınım sürtünme katsayısı değerleri zorlanmış taşınım sürtünme katsayısı değerlerinden yüksek olduğu görüldü. Zorlanmış taşınım durumunda; nanopartiküllerin hacimsel oranındaki değişimin sürtünme katsayısı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığından dolayı nanoakışkanların sürtünme katsayıları taşıyıcı boru boyunca aynı kalmaktadır. Ancak; suyun zorlanmış taşınım durumunda sürtünme katsayısı değeri nanoakışkanların sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşüktür.

Sistemin yatay olması durumunda; farklı ısı akılarındaki (600 W/m^2 - 700 W/m^2 - 800 W/m^2) suyun karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki hız değerleri farklı Reynolds sayılarında karşılaştırıldı. Doğal taşınımın etkilerinden dolayı karışık taşınım durumundaki en yüksek hız, ısı akısının geldiği sıcak yüzey tarafına doğru kaymaktadır. Reynolds sayısı arttıkça karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarının her ikisinde de hız değeri artmaktadır.

Suyun farklı ısı akıları ve farklı Reynolds sayılarındaki hızların karşılaştırılması yatay durumda zorlanmış taşınım için yapıldı. Isı akılarındaki değişimin hız üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görüldü. Reynolds sayısı arttıkça hızda artmaktadır.

% 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının sistemin yatay olması durumu için karışık taşınım ve zorlanmış taşınım durumlarındaki hız profilleri karşılaştırıldı. Nanoakışkanlarda da doğal taşınımın etkilerinden dolayı karışık taşınım durumunda hız profili, ısı akısının geldiği yüzeye doğru kaymaktadır.

Sistemin farklı aç ve akışkan durumlarındaki hız değerleri, karışık taşınım ve zorlanmış taşınım şeklinde karşılaştırıldı. Karışık taşınım durumunda hız profili ısı akısının geldiği yüzeye doğru yükselmektedir. Nanopartikül oranı arttıkça hız değeri azalmaktadır.

Sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° aç durumlarında; % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının hız profilleri karışık taşınım ve zorlanmış taşınım için su ve birbirleriyle karşılaştırıldı. Karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı hız değerleri ısı akısının geldiği yüzeye doğru yönelmektedir. Her iki taşınım durumunda da su en yüksek hız değerine sahiptir. Ardından % 1 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanının gelmektedir. Daha sonra sırasıyla; % 5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, % 1 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı ve son olarak % 5 hacimsel oranında Cu nanopartikülü içeren Cu-Su nanoakışkanı gelmektedir.

Basınç farkının Reynolds sayısı ile değişimi; farklı ısı akılarında karışık ve zorlanmış taşınım için karşılaştırıldı. Karışık taşınım durumunda doğal taşınım etkilerinden dolayı ısı akısının değişimi basınç değişimini etkilemektedir. Isı akısı arttıkça basınç farkı da artmaktadır. Zorlanmış taşınım da ise ısı akısının basınç değişimine herhangi bir etkisi yoktur. Reynolds sayısı arttıkça; her iki taşınım durumunda da basınç farkı artmaktadır.

Sistemin 0° , 30° , 45° ve 60° açı değerlerindeki su ile % 1 ve % 5 hacimsel oranlarında nanopartikül içeren Al_2O_3 -Su ve Cu-Su nanoakışkanlarının; karışık taşınım ve zorlanmış taşınım için basınç değişimlerinin değerleri tablo halinde karşılaştırmalı olarak verildi. Sistemin eğimli olması halinde karışık taşınım durumunda değerlerin negatif olduğu görülmektedir. Bu durum karışık taşınım içerisindeki doğal taşınımın etkilerinden kaynaklanmaktadır. Zorlanmış taşınım durumunda doğal taşınımın etkileri ihmal edildiğinden dolayı sistemin tüm durumlarında basınç değişimi pozitifdir.

6.3 Öneriler

Nanoakışkanların ısı transferi kabiliyetini yaklaşık % 1'den % 8'e kadar arttırdığı görüldü. Tek fazlı yaklaşımın deneysel çalışmalara göre nanoakışkanların verimini daha düşük gösterdiği düşünüldüğünde, tek fazlı yaklaşım modeli kullanılarak yapılmış olan bu çalışmada % 8'lere yaklaşan artışın görülmüş olması, nanoakışkanın düzlemsel güneş kolektörlerinde kullanılabilir olacağını gösterdi. Ancak; bu sonucu daha da gerçekçi ve kabul edilebilir hale getirmek için deneysel bir çalışma yapmanın gerekliliği ön plana çıkmıştır.

Çok fazla parametrenin karşılaştırıldığı bu tez çalışmasında; analizlerin daha hızlı yapılması gerektiğinden dolayı tek fazlı yaklaşım olan homojen model kullanılmıştır. Daha az parametre karşılaştırılarak, iki fazlı yaklaşım kullanılabilir. İki fazlı yaklaşım kullanılarak, aynı modelin analizleri yaptırılıp, nanoakışkanların hidrodinamik ve ısı davranışları incelenebilir.

Ayrıca; taşıyıcı boru çapı ile malzemesinin ısı transferine etkileri nanoakışkanlı bir sistem de incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Akbari M., Behzadmehr A., Developing Laminar Mixed Convection of A Nanofluid in a Horizontal Tube with Uniform Heat Flux, *Int. J. Heat Fluid Flow* 29, 566-586, 2007.
2. Akbari M., Behzadmehr A., Shahraki F., Fully Developed Mixed Convection in Horizontal and Inclined Tubes with Uniform Heat Flux Using Nanofluid, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 29, 545–556, 2008.
3. Akbarinia A., Laur R., Investigating the Diameter of Solid Particles Effects on a Laminar Nanofluid Flow in a Curved Tube Using a Two Phase Approach, *Int. J. Heat and Fluid Flow* 30, 706-713, 2009.
4. Allahyari Sh., Behzadmehr A., Hosseini Sarvari S.M., Conjugate Heat Transfer of Laminar Mixed Convection of a Nanofluid Through a Horizontal Tube with Circumferentially Non-Uniform Heating, *International Journal of Thermal Sciences* 50 1963-1972, 2011.
5. Barozzi, G.S., Zanchini, E., Mariotti, M., Experimental Investigation of Combined Forced and Free Convection in Horizontal and Inclined Tubes. *Meccanica* 20, 18–27, 1985.
6. Behzadmehr A., Saffar-Avval M., Galanis N., Prediction of Turbulent Forced Convection of a Nanofluid in a Tube with Uniform Heat Flux Using a Two-Phase Approach, *Int. J. Heat Fluid Flow* 28, 211-219, 2007.
7. Bianco V., Manca O., Nardini S., Numerical Investigation on Nanofluids Turbulent Convection Heat Transfer Inside a Circular Tube, *Int. J. Therm. Sci.* 50, 341-349, 2011.
8. Brinkman H.C., The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions, *J. Chem. Phys.* 20, 571–581, 1952.
9. Bruggeman, D.A.G., Berechnung Verschiedener Physikalischer Konstanten von Heterogenen Substanzen, I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus Isotropen Substanzen, *Annalen der Physik. Leipzig* 24, 636–679, 1935.
10. Chen H., Ding Y., Tan C., Rheological Behaviour of Nanofluids, *New Journal of Physics*, 9 (10), 367, 2007.
11. Choi, S.U.S. Enhancing Thermal Conductivity Of Fluids With Nanoparticles, *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, ASME, FED 231/MD 66, 99–105, 1995.
12. Choi, S.U.S., Zhang, Z.G., Yu, W., Lockwood, F.E., Grulke, E.A., Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspensions. *Appl. Phys. Lett.* 79 (14), 2252–2254, 2001.

13. Das S.K., Putra N., Thiesen P., Roetzel W., Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids, *ASME J. Heat Transf.* 125(4), 567–574, 2003.
14. Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2012
15. Dünya Enerji Konseyi – TÜRK Milli Komitesi, TÜRKİYE Enerji Verileri, 2012
16. Einstein A., A New Determination of the Molecular Dimensions, *Ann. Phys.* 19(2), 289–306, 1906.
17. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
18. Fard M. H., Esfahany M.N., Talaie M.R., Numerical Study of Convective Heat Transfer of Nanofluids in a Circular Tube Two-Phase Model Versus Single-Phase Model. *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 37, 91–97, 2010.
19. Hamilton, R.L. and Crosser, O.K., Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems, *I & EC Fundamentals*, 1, 182–191, 1962.
20. Heris S.Z., Etemad S.Gh., Esfahany M.N., Experimental Investigation of Oxide Nanofluids Laminar Flow Convective Heat Transfer, *Int. Comm. Heat Mass Transfer* 33, 529–535, 2006.
21. Husain, Md.S., Bondings for tubular solar collectors, 1 st. World Renewable Energy Congress 2, 1062-1066, Pergamon Press, England, 1990.
22. Hwang K.S., Jang S.P., Choi S.U.S., Flow and Convective Heat Transfer Characteristics of Water-Based Al_2O_3 Nanofluids in Fully Developed Laminar Flow Regime, *Int. J. Heat Mass Transfer* 52, 193–199, 2009.
23. Koblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S., Eastman, J.A., Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-Sized Particles (Nanofluid), *Int. J. Heat Mass Transf.* 45, 855–863, 2002.
24. Khanafer K., Vafai K., Lightstone M., Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer* 46, 3639-3653, 2003.
25. Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., Measuring Thermal Conductivity Of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer* 121, 280–289, 1999.
26. Liu Z., Hu R., Lu L., Zhao F., Xiao H., Thermal Performance of An Open Thermosyphon Using Nanofluid for Evacuated Tubular High Temperature Air Solar Collector, *Energy Conversion and Management* 73, 135-143, 2013.
27. Lotfi R., Saboohi Y., Rashidi A.M., Numerical Study of Forced Convective Heat Transfer of Nanofluids: Comparison of Different Approaches, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 37, 74-78, 2010.

28. Lu L., Liu Z., Xiao H., Thermal Performance of An Open Thermosyphon Using Nanofluids for High-Temperature Evacuated Tubular Solar Collectors, part 1: Indoor Experiment, *Solar Energy* 85, 379–387, 2011.
29. Lu W., Fan Q., Study for the Particle's Scale Effect on Some Thermophysical Properties of Nanofluids by a Simplified Molecular Dynamics Method, *Eng. Anal. Boundary Elem.* 32 (4), 282–289, 2008.
30. Lundgren T.S., Slow Flow Through Stationary Random Beds and Suspensions of Spheres, *J. Fluid Mech.* 51 (2), 273–299, 1972.
31. Maiga S.E.B., Nguyen C.T., Galanis N., Roy G., Heat Transfer Behaviours of Nanofluids in a Uniformly Heated Tube, *Superlattices and Microstructures* 35, 543–557, 2004.
32. Maiga S.E.B., Palm S.J., Nguyen C.T., Roy G., Galanis N., Heat Transfer Enhancement by Using Nanofluids in Forced Convection Flows, *Int. J. Heat and Fluid Flow* 26, 530–546, 2005.
33. Mansour R.B., Galanis N., Nguyen C.T., Experimental Study of Mixed Convection with Water- Al_2O_3 Nanofluid in Inclined Tube with Uniform Wall Heat Flux, *International Journal of Thermal Sciences* 50, 403–410, 2011.
34. Masuda, H., Ebata, A., Teramae K., Hishinuma, N., Alteration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid By Dispersing Ultra-Fine Particles (Dispersions of $\text{-Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , and TiO_2 Ultra-Fine Particles), *Netsu Bussei (Japanese)* 4, 227–233, 1993.
35. Maxwell, J.C., *Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1873.
36. Maxwell-Garnett, J.C., Colours in Metal Glasses and in Metallic Films, *Philos. Trans. Roy. Soc. A* 203, 385–420, 1904.
37. Mirmasoumi A., Behzadmehr A., Numerical Study of Laminar Mixed Convection of a Nanofluid in a Horizontal Tube Using Two-Phase Mixture Model, *Appl. Thermal Eng.* 77, 717–727, 2008.
38. Murshed S.M.S., Leong K.C., Yang C., A Combined Model for the Effective Thermal Conductivity of Nanofluids, *Applied Thermal Engineering* 29, 2477–2483, 2009.
39. Murshed S.M.S., Leong K.C., Yang C., Enhanced Thermal Conductivity of TiO_2 -Water Based Nanofluids, *Int. J. Therm. Sci.* 44, 367–373, 2005.
40. Murshed S.M.S., Leong K.C., Yang C., Investigations of Thermal Conductivity and Viscosity of Nanofluids, *Int. J. Therm. Sci.* 47(5), 560–568, 2008.
41. Nguyen C.T., Desgranges F., Galanis N., Roy G., Mare T., Boucher S., Mintsa H.A., Viscosity Data for Al_2O_3 -Water Nanofluid Hysteresis: Is Heat Transfer Enhancement Using Nanofluids Reliable?, *Int. J. Therm. Sci.* 47, 103–111, 2008.
42. Ogut, E.B., Natural Convection of Water-Based Nanofluids in an Inclined Enclosure with a Heat Source, *Int. J. Therm. Sci.* 48, 2063–2073, 2009.

43. Ouzzane M. and Galanis N., Numerical Analysis of Mixed Convection in Inclined Tubes with External Longitudinal Fins, *Solar Energy* Vol. 71, No. 3, pp. 199–211, 2001.
44. Oztop H.F., Abu-Nada E., Numerical Study of Natural Convection in Partially Heated Rectangular Enclosure Filled with Nanofluids, *Int. J. Heat Fluid Flow* 29, 1326–1336, 2008.
45. Palm S.J., Roy G., Nguyen C.T., Heat Transfer Enhancement with The Use of Nanofluids in Radial Flow Cooling Systems Considering Temperature-Dependent Properties, *Applied Thermal Engineering* 26, 2209–2218, 2006.
46. Patankar, S.V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Taylor & Francis. ISBN 978-0-89116-522-4, 1980.
47. Petukhov B. S. and Polyakov A. F., Experimental Investigation of Viscogravitational Fluid Flow in a Horizontal Tube, *Scientific Research Institute of High Temperatures* 5(1), 87–95, Translated from *Teplofizika Vysokikh Temperatur*, 1967.
48. Putra N., Roetzel W., Das S.K., Natural Convection of Nano-Fuids, *Heat Mass Transfer* 39, 775–784, 2003.
49. Tseng W.J., Lin C.L., Effect of Dispersants on Rheological Behavior of BaTiO₃ Powders in Ethanol–Isopropanol Mixtures, *Mater. Chem. Phys.* 80 (1), 232–238, 2003.
50. Versteeg H.K. and Malalasekera W., *An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method*, Longman, 1995.
51. Wang X., Mujumdar A.S., Heat Transfer Characteristics Of Nanofluids: A Review, *International Journal of Thermal Sciences* 46, 1–19, 2007.
52. Wang, B.X., Zhou L.P. and Peng, X.F., A Fractal Model For Predicting The Effective Thermal Conductivity Of Liquid With Suspension Of Nanoparticles, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46, 2665–2672, 2003.
53. Wang, X., Xu, X., Choi, S.U.S., Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture. *J. Thermophys. Heat Transf.* 13 (4), 474–480, 1999.
54. Wasp, F.J., *Solid–Liquid Flow Slurry Pipeline Transportation*, Trans. Tech. Publ., Berlin, 1977.
55. Wen D. and Ding Y., Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region under Laminar Flow Conditions, *Int. J. Heat Mass Transfer* 47, 5181–5188, 2004.
56. Xuan Y., Li Q., Heat Transfer Enhancement of Nanofluids, *International Journal Of Heat And Fluid Flow*, 21/1, 58–64, 2000.
57. Xuan Y., Li Q., Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids, *Journal of Heat Transfer* 125, 151–155, 2003.
58. Xuan, Y.M., Li, Q., Hu, W., Aggregation Structure and Thermal Conducting of Nanofluids, *AIChE J.* 49 (4), 1038–1043, 2004.

59. Xue, Q.Z., Model for Effective Thermal Conductivity of Nanofluids, *Phys. Lett. A* 307 (5–6), 313–317, 2003.
60. Yousefi T., Shojaeizadeh E., Veysi F., Zinadini S., An Experimental Investigation on the Effect of pH Variation of MWCNT–H₂O Nanofluid on the Efficiency of a Flat-Plate Solar Collector, *Solar Energy* 86, 771–779, 2012.
61. Yousefi T., Veysi F., Shojaeizadeh E., Zinadini S., An Experimental Investigation on the Effect of Al₂O₃–H₂O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors, *Renewable Energy* 39, 293–298, 2012.
62. Yousefi T., Veysi F., Shojaeizadeh E., Zinadini S., An Experimental Investigation on the Effect of MWCNT–H₂O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors, *Experimental Thermal and Fluid Science* 39, 207–212, 2012.
63. Yu, W. and Choi, S.U.S., The Role of Interfacial Layer in the Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A Renovated Maxwell Model, *J. Nanoparticles Res.*, 5, 167–171, 2003.