

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MİKRO VE MİNİ KANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE
NANOAKIŞKAN KULLANILMASININ ISI TRANSFERİ VE
BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET HAKAN TÜZÜN

DENİZLİ, EKİM - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MİKRO VE MİNİ KANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE
NANOAKIŞKAN KULLANILMASININ ISI TRANSFERİ VE
BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET HAKAN TÜZÜN

DENİZLİ, EKİM - 2019

Bu tez alışması PAU BAP tarafından 2015FBE058 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



AHMET HAKAN TÜZÜN

ÖZET

MİKRO VE MİNİ KANALLI ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE NANOAKIŞKAN KULLANILMASININ ISI TRANSFERİ VE BASINÇ KAYBINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
AHMET HAKAN TÜZÜN

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. FETHİ HALICI)

DENİZLİ, EKİM - 2019

Dairesel kesit içeren kanallarda kullanılan Al_2O_3 – su nanoakışkanı değişik konsantrasyonlardaki ısı transferi ve basınç düşüşü sayısal olarak incelenmiştir. Sabit ısı akısı uygulanan kanal çapları 1 mm ve 0,1 mm olarak verilmiştir. Çalışmadaki nanoakışkan konsantrasyonları %1, %2, %5 ve %8 olup, ısı transferi ve basınç düşüşü değerleri, sonlu hacim yöntemi kullanarak sayısal olarak bulunmuştur. %8 hacim konsantrasyonundaki Al_2O_3 – su nanoakışkanı 1mm çapa sahip kanalda ısı performansını en iyi tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Nanoakışkan, Nümerik Metod, Isıl ve Hidrolik Analiz

ABSTRACT

**NUMERICAL METHOD OF THERMAL – HYDRAULIC
PERFORMANCE NANOFLUIDS IN DIFFERENT CONCENTRATIONS
MSC THESIS
AHMET HAKAN TÜZÜN
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF. DR. FETHİ HALICI)

DENİZLİ, OCTOBER 2019

In this study, heat transfer and pressure drop at different concentrations of Al_2O_3 – water nanofluid in circular cross sections with constant heat flux were investigated. The study has been carried out on two different circular cross sectional ducts of different diameter but with the same surface area, the corresponding channel diameters are 1 mm and 100 μm respectively called minichannel and microchannel. In this study, the heat transfer and pressure drop values of the Al_2O_3 – water nanofluid with different concentrations, such as 1%, 2%, 5% and 8% for both channels, has been numerically analyzed using the finite volume method. In this study, taking into account the effect of channel diameter, it has been found that Al_2O_3 – water nanofluid increases heat transfer with respect to water.

KEYWORDS: Nanofluid, Numerical Method, Thermal and Hydraulic Analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Nanoakışkanlar	3
1.1.1 Nanoakışkan Kavramı.....	3
1.1.2 Nanoakışkanların Hazırlanması	4
1.1.3 Nanoakışkan Türleri	4
1.1.4 Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	5
1.1.4.1 Isıl İletkenlik	5
1.1.4.2 Nanoakışkanların Isıl İletkenliğini Etkileyen Parametreler	5
1.1.4.3 Viskozite	6
1.1.4.4 Yoğunluk.....	7
1.1.4.5 Özgül Isı	7
1.1.4.6 Yüzey Gerilimi.....	7
1.1.4.7 Nanoakışkanların Isı İletimi Artışını Açıklayan Potansiyel Mekanizmalar.....	8
1.1.5 Nanoakışkanların Uygulama Alanları	8
1.2 Isı Değiştiricileri.....	9
1.2.1 Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması	9
1.2.1.1 Konstrüksiyon Geometrisi	9
1.2.1.1.1 Borulu Isı Değiştiriciler	9
1.2.1.1.2 Levhalı Isı Değiştiricileri	10
1.2.1.1.3 Kompakt Isı Değiştiricileri	11
1.2.2 Isı Değiştiricilerinde Kirlilik.....	11
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	12
3. TEORİK ANALİZ	19
3.1 Nanoakışkanların Isıl İletkenliği Hesaplamasında Maxwell Eşitliği ..	19
3.2 Nanoakışkanların Isıl İletkenliği Hesaplamasında Hamilton ve Crosser Eşitliği	20
3.3 Nanoparçacık – Sıvı Arayüz Tabakası	20
3.4 Nanoparçacık Brown Hareketinin Etkisi.....	21
3.5 Nanoparçacık Kümelenmesinin Etkisi	22
3.6 Taşınımın Isı Geçişi.....	23
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN ANALİZLERİ.....	25

5. SAYISAL ANALİZ	28
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	35
7. KAYNAKLAR.....	38
8. ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Mikrokanallı Isı Değiştirici	1
Şekil 1.2 Al ₂ O ₃ – Su Nanoakışkanı.....	3
Şekil 4.1 Al ₂ O ₃ – su nanoakışkanının çeşitli araştırmalarda ısı iletkenliklerin kıyaslanması.....	25
Şekil 4.2 Al ₂ O ₃ – su nanoakışkanının çeşitli araştırmalarda dinamik Viskozitelerin kıyaslanması.....	26
Şekil 4.3 Al ₂ O ₃ – su nanoakışkanın Reynolds sayıları ile Nusselt sayılarının karşılaştırılması.....	26
Şekil 4.4 Isı taşınım katsayısı ile Reynolds sayılarının kıyaslanması.....	27
Şekil 5.1 Mikrokanalın mesh yapısı.....	28
Şekil 5.2 Minikanalda Al ₂ O ₃ nanopartikül konsantrasyonu basınç düşüşü arasındaki ilişki.....	29
Şekil 5.3 Mikrokanalda Al ₂ O ₃ nanopartikül konsantrasyonu basınç düşüşü arasındaki ilişki.....	29
Şekil 6.1 Al ₂ O ₃ – Su nanoakışkanın Nusselt Sayısı – Nanopartikül Konsantrasyon İlişkisi.....	36
Şekil 6.2 Al ₂ O ₃ – Su Nanoakışkanın Sürtünme Faktörü – Nanopartikül Konsantrasyon İlişkisi.....	36
Şekil 6.3 Al ₂ O ₃ – Su Nanoakışkanın Termal Performans Faktörü Nanopartikül-Konsantrasyon İlişkisi.....	36

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1 Kanalların Sınıflandırılması.....	2
Tablo1.2 Nanoakışkan Türleri.....	4
Tablo 5.1 Sınır koşulları.....	30
Tablo 5.2 Kanallarla ilgili boyutlar.....	31
Tablo 5.3 Al ₂ O ₃ – su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri.....	31

SEMBOL LİSTESİ

- D_h** : Hidrolik boru çapı
 μ_e : Efektif viskozite
 μ_f : Sıvının viskozitesi
 μ_{nf} : Nanoakışkanın viskozitesi
 \emptyset : Hacim konsantrasyonu
 ρ_{nf} : Nanoakışkan yoğunluğu
 ρ_f : Ana akışkan yoğunluğu
 ρ_p : Parçacık yoğunluğu
 c_p : Özgül ısı
 k_{nf} : Nanoakışkanın ısı iletkenliği
 k_f : Ana akışkanın ısı iletkenliği
 k_p : Parçacığın ısı iletkenliği
 n : Ampirik şekil faktörü
 ψ : Küresellik
 η : Sıvı tabaka kalınlığının orijinal parçacık yarıçapına oranı
 k_{pe} : Eşdeğer nanoparçacık ısı iletkenliği
 γ : Sıvı tabaka ısı iletkenliğinin orijinal parçacık yarıçapına oranı
 k_{pe} : Eşdeğer nanoparçacık ısı iletkenliği
 k_l : Sıvı tabaka ısı iletkenliği
 T : Sıcaklık
 c : Orantı sabiti
 β : Deneysel verilerden elde edilen sabit
 r_f : Ana akışkan yarıçapı
 r_p : Parçacık yarıçapı
 Pr_f : Ana akışkan Prandtl sayısı
 k_B : Boltzman sabiti
 Γ_f : Ana akışkan moleküllerinin ortalama serbest yolu
 ν_f : Ana akışkan kinematik viskozitesi
 D_{ff} : Fraktal boyutu
 r_{cl} : Nanoparçacık küme yarıçapı
 k_{cl} : Küme ısı iletkenliği

d_f : Ana akışkan molekülleri çapı

Nu: Nusselt sayısı

Re: Reynolds sayısı

Pr: Prandtl sayısı

h : Isı taşınım katsayısı

ΔP : Basınç farkı

V : Hız

f : Sürtünme faktörü

η : Isıl performans faktörü

ÖNSÖZ

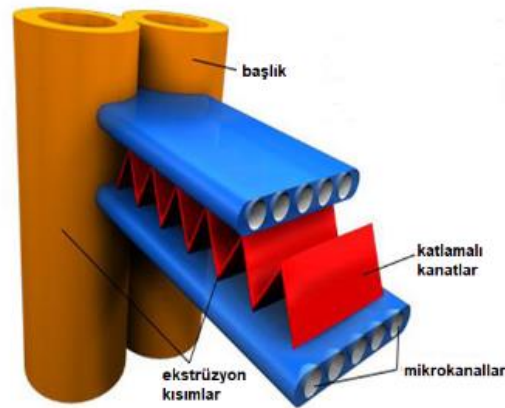
Yüksek lisansa başladığım ilk günden beri bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan; yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında ilgi ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Fethi HALICI'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Bugünlere gelebilmem için tüm imkanlarını seferber eden ve haklarını asla ödeyemeyeceğim aileme teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Günümüzde enerjiye olan talep sürekli olarak artmaktadır. Enerji tüketiminin artmasıyla birlikte enerji kaynakları da hızla azalmaktadır. Hızla azalan enerji kaynaklarından ötürü, konvansiyonel enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiye de ihtiyaç duyulur.

Enerjiyi tasarruflu kullanarak enerji kaynaklarının azalması önlenir. Enerji tasarrufu, enerji üretiminin azaltılması olarak görülmemelidir. Enerji tasarrufu, kullandığımız enerjinin gereksiz kullanımının önleyici tedbiridir. Enerjiyi verimli ve akılcı kullanmak için sürekli olarak yeni metotlar geliştirilmesidir. Fabrika bacalarından çıkan dumanın ısını kullanmak, güneş ışınlarını değerlendirmek, akan su kaynaklarını değerlendirmek ve ısı transferi gerçekleştiren sistemlerde iyileştirmeler yapmak gibi enerji tasarrufuna birçok örnek verilebilir.

İmalat teknolojisi son zamanlarda hızla gelişmekte ve mevcut cihazlar küçülmektedir. Cihazlar, içerisinde akışkan dolaşan ve farklı birimleri birbirine bağlayan mikro kanallar veya mini kanallardan meydana gelmektedir. Mikro kanallar veya mini kanallardaki akış bilgisayar, uzay, tıp, elektronik ve haberleşme gibi sektörlerde kullanılmaktadır.



Şekil 1.1 Mikrokanallı Isı Değiştirici (Bulgurcu 2019)

Bilgisayar, elektronik ve haberleşme teknolojilerindeki ilerlemelere paralel olarak cihazların minyatürleşmesi, işletim oranındaki artış ve verilerin depolanması ısı problemlere sebep olmuştur. Cihazların küçülmesiyle artan ısı güçleri, yeni bir soğutma teknolojisi meydana getirmiştir (Gedik 2009).

Enerji verimliliği günümüzde alternatif bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Enerji verimliliği dediğimizde ilk aklımıza gelen tasarruf biçimi olarak ısı transferini iyileştirmek örnek olarak verilebilir.

Isı transferini iyileştirmek için geleneksel akışkan içerisine katı partiküllerin katılması fikri, ilk olarak Maxwell tarafından yapılmıştır. Maxwell bu konuda teorik olarak çalışmıştır (Maxwell 1881). Günümüz malzeme teknolojisinde nanometre boyutunda partiküller üretiliyor. Argonne National Laboratory'de 1995 senesinde Choi tarafından nano boyutlu partiküllerin geleneksel ısı transfer akışkanına ilave edildiğinde ısı transfer özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir. Nano boyuttaki katı partiküllerin geleneksel ısı transfer akışkanına ilave edildiğinde oluşan yeni nesil ısı transfer akışkanına nanoakışkan denilmektedir (Choi ve Eastman 1995).

Farklı sıcaklıktaki iki akışkanın arasındaki ısı transferini gerçekleştiren cihaza ısı değiştirici denir. Isı değiştiriciler iklimlendirme sistemlerinde, enerji üretim tesislerinde, atık ısı dönüşümünde ve kimyasal tesislerde kullanılmaktadır (Bergman ve diğ. 2011).

Kanal boyutları için, hidrolik çapa dayanan sınıflandırma Tablo 1.1' de verilmiştir (Kandlikar ve Grande 2003).

Tablo 1.1 Kanalların Sınıflandırılması

Geleneksel kanallar	$D_h > 3\text{mm}$
Mini kanallar	$200\mu\text{m} < D_h \leq 3\text{mm}$
Mikro kanallar	$10\mu\text{m} < D_h \leq 200\mu\text{m}$

Isı değiştiricilerinin sanayide kullanımı oldukça yaygındır. Isı değiştiricilerinin verimliliği yani ısı değiştiricisinin etkinlik katsayısının yüksek olması istenir.

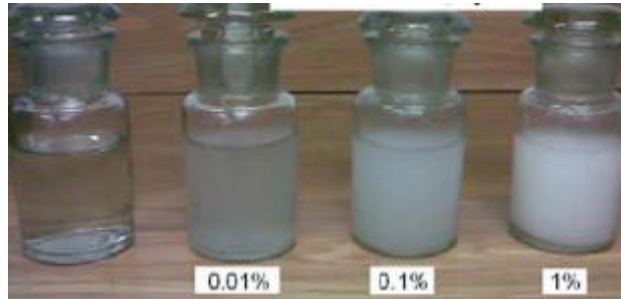
Tablo 1.1’de ki bu sınıflandırmayı dikkate alarak mini kanalların kullanıldığı kompakt ısı değiştiriciler mini kanallı ısı değiştiriciler ve mikro kanalların kullanıldığı kompakt ısı değiştiriciler mikro kanallı ısı değiştiriciler olarak adlandırılır.

1.1 Nanoakışkanlar

1.1.1 Nanoakışkan Kavramı

Nanoakışkan kavramı ilk kez 1995 yılında Choi tarafından kullanılmıştır (Choi ve Eastman 1995). Nanoakışkanların tek fazlı akışkan gibi davrandığı yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur.

Günümüzdeki teknolojiyle 100 nm'den küçük partiküller üretilebiliyor. Geleneksel ısı transfer akışkanı olan su, etilen glikol veya motor yağı gibi ısı iletkenliğı daha az olan akışkanlara ısı iletkenliğı yüksek olan nano boyutlu metal partiküller eklenerek, nanoakışkanın ısı iletkenliğı arttırılmaya çalışılmıştır.



şekil 1.2 Al₂O₃ – Su Nanoakışkanı (Cieslinski ve diğ. 2011)

1.1.2 Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanların hazırlanması için iki yöntem vardır. Bunlardan biri tek adım yöntemi, ikincisi iki adım yöntemidir.

Tek adım yönteminde parçacıkların elde edilmesi ve akışkana dâhil edilmesi aynı anda gerçekleşmektedir. Tek adım yönteminde homojen bir karışım hazırlanabilir (Yu ve diğ.2007).

Nanopartiküller iki adım yönteminde kuru toz halinde üretilir. Nano tozlar kolaylıkla temin edilebilir. Nanoakışkan hazırlanmasında en çok kullanılan yöntemdir. Üretilen nano tozlar ısı transfer akışkanına eklenerek nanoakışkan elde edilir (Yu ve diğ.2007).

1.1.3 Nanoakışkan Türleri

Nanopartikül çeşitliliğine göre nanoakışkanlar seramik nanoakışkanlar, saf metaller, alaşımlar ve karbon esaslı malzemeler olmak üzere 4 gruba ayrılır. Nanoakışkan grupları Tablo 1.2’de verilmiştir (Goharshadi ve diğ. 2013).

Tablo1.2 Nanoakışkan Türleri

Seramik Nanoakışkanlar	SiC , Al ₂ O ₃ , CeO ₂ , CuO Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , SiO ₂ , TiO ₂ ZnO , WO ₃
Saf metaller	Ag, Au, Cu, Fe, Ni
Alaşımlar	Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu
Karbon Esaslı Malzemeler	Karbon Nano Tüp, Elmas Grafit

1.1.4 Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

1.1.4.1 Isıl İletkenlik

Nanoakışkanların ısı iletkenliği, karıştırılan nanopartikülün ısı iletkenliğine bağlıdır. Isıl iletim katsayısı yüksek nanopartikül içeren nanoakışkanların ısı iletim katsayısı da yüksek olmaktadır. Ayrıca nanopartiküllerin konsantrasyonu ısı iletim katsayısına büyük etki yapmaktadır. Nanoakışkanların ısı iletim katsayısının tespiti farklı araştırmacılar tarafından önerilen modeller yardımıyla yapılmıştır. Bu modellerden en çok bilineni Maxwell modelidir. Maxwell modeli parçacıkların küresel olduğunu kabul eder(Yu ve diğ.2007).

Nanoakışkanların ısı iletkenliği temel akışkanın ve nanoparçacıkların ısı iletkenliğine, parçacıkların hacimsel oranına, parçacıkların yüzey alanına ve parçacıkların şekline bağlı olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir

1.1.4.2 Nanoakışkanların Isıl İletkenliğini Etkileyen Parametreler

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen parametreler (Yu ve diğ.2007):

- **Temel Akışkanın Isıl İletkenliği:** Yapılan çalışmalarda temel akışkanın iletkenliğindeki artışla beraber ısı iletkenlik oranında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- **Nanopartiküllerin Isıl İletkenliği:** Nanopartiküllerin ısı iletkenliğinin büyük olması nanoakışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır. Metal nanopartiküllerden meydana gelen nanoakışkanların, oksit içeren nanoakışkanlara göre ısı iletkenlikleri fazladır.
- **Hacimsel Oran:** Nanopartiküllerin hacimsel oranının artmasıyla nanoakışkanların ısı iletkenlikleri artar.
- **Nanopartikülün Boyutu:** Nanopartiküllerin boyutunun küçülmesiyle nanoakışkanların ısı iletkenliğinin arttığı tespit edilmiştir.
- **Nanopartiküllerin Şekli:** İki tür partikül şekli genel olarak kullanılmaktadır. Bunlar küresel ve silindirik nanopartiküllerdir. Dairesel partiküller silindirik

partiküllere göre ısı iletkenlikte daha az artış gösterdiği yapılan çalışmalarda görülmüştür.

- **Sıcaklık:** Sıcaklığın ısı iletkenlik üzerine etkisi bir hayli fazladır. Isı iletkenliğinin sıcaklığın artmasıyla arttığı yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

1.1.4.3 Viskozite

Nanoakışkanların sanayide kullanımı için bir parametre de viskozitedir. Viskozite akışkan viskozitesine bağlı olup, akışın basınç düşümüne, pompalama gücüne ve kanaldaki aşınmalara bağlıdır.

Nanoakışkanların viskozitesini etkileyen parametreler sıcaklık, partikül boyutu ve şekli, partikül boyut dağılımı, yüzey gerilimi, yüzey aktif madde ve partikül hacimsel oranıdır.

Parçacık - sıvı karışımları üzerine ısı iletkenlik için birçok araştırma yapılmıştır. Nanoakışkanların viskozitesi, zorlanmış taşınımında basınç düşüşünü etkileyen önemli bir parametredir. Einstein viskoziteyle yaptığı çalışmada viskoz akışkan ile parçacıkların seyreltik bir konsantrasyonun efektif viskozitesini çalışmış denklem (1.1) ile ifade etmiştir(Yu ve diğ.2007).

$$\mu_e = (1 + 2,5 \phi) \mu_f \quad (1.1)$$

Einstein'den sonra birçok araştırmacı Einstein'ın teorisini baz alarak çalışmışlardır. Bunlarda Brnkmann tarafından geliştirilen denklem nanoakışkanlar için en çok kullanılan denklem olup denklem (1.2) ile gösterilmiştir (Yu ve diğ.2007).

$$\mu_{nf} = \mu_f \frac{1}{(1 - \phi)^{2,5}} \quad (1.2)$$

1.1.4.4 Yoğunluk

Nanoakışkanların yoğunluğu, ρ , nanopartikül ve temel akışkanın yoğunluklarının ağırlıklı ortalamasıdır ve denklem (1.3) eşitliğinden hesaplanır (Yu ve diğ.2007).

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_l + \phi \rho_p \quad (1.3)$$

ρ_{nf} : nanoakışkan yoğunluğu

ρ_f : anaakışkan yoğunluğu

ρ_p : parçacık yoğunluğu

ϕ : hacim konsantrasyonu

1.1.4.5 Özgül Isı

Nanoakışkanın özgül ısısı için denklem (1.4) eşitliğinden hesaplanır (Yu ve diğ.2007).

$$c_p = (1-\phi)c_{p,l} + \phi c_{p,p} \quad (1.4)$$

c_{pl} : akışkanın özgül ısısı

c_{pp} : nanopartikülün özgül ısısı

ϕ : hacim konsantrasyonu

1.1.4.6 Yüzey Gerilimi

Nanoakışkanların ısı transferi ile, basınç düşüşüne ait birçok çalışma yapılmıştır, ancak yüzey gerilimi ile yapılmış çalışma onlara göre daha azdır.

1.1.4.7 Nanoakışkanların Isı İletimi Artışını Açıklayan Potansiyel Mekanizmalar

Nanoakışkanların ısı transferindeki artışını açıklayan değişik mekanizmalar aşağıdadır(Yu ve diğ.2007).

- **Nanopartiküllerin Hareketi:** Nanoakışkan içerisindeki partiküllerin birbirine çarpışmasından kaynaklanan enerji değişimi ısı iletkenlikteki artışa sebep olabilir.
- **Nanopartikül Kümelenmesinin Etkisi:** Partiküller kümeleştiğinde ısı iletkenlik üzerine etkisi vardır. Kümelenme genişlediğinde akışkanda çökelmeler meydana gelir bu yüzden kümelenme ısı iletkenlikte dezavantaj sağlar.

1.1.5 Nanoakışkanların Uygulama Alanları

Nanoakışkanların kullanım alanları oldukça geniştir. Elektronik uygulamalar, ulaşım, nükleer reaktörlerin soğutulması, tıbbi uygulamalar, uzay, savunma ve enerji sektörlerinde kullanılmaktadır.

Yüksek performanslı elektronik ekipmanlarda sıcaklık önemli bir problemdir. Nanoakışkanlı mikrokanal kullanarak ısı transferi artmakta ve yüzey alanı daha da küçük olarak soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Taşıtlarda nanoakışkan kullanarak taşıtlardaki soğutma sistemlerinin küçülmesine ve taşıt ağırlığında düşüğe sebep olmaktadır. Nanoakışkanlar nükleer reaktörlerin soğutulmasında da kullanılmaktadır. Nanopartiküller tıp alanından kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Yüksek ısı gücü üreten savunma sistemlerinin soğutulmasında nanoakışkan kullanılmaktadır (Gedik 2009).

1.2 Isı Değiştiricileri

1.2.1 Isı Değiştiricilerinin Sınıflandırılması

Sıcaklıkları farklı İki akışkan arasındaki ısı transferi birçok mühendislik uygulamasında karşılaşılmaktadır. Isı transferi gerçekleştiren cihazlara ısı değiştiriciler denir. Isı değiştiriciler farklı sektörlerde kullanılmaktadır örneğin termik santrallerde, atık ısı geri kazanımında ve elektronik bileşenlerin soğutulmasında kullanılır (Genceli 1983).

Isı değiştiricileri sınıflandırmaları řu şekilde olur; akış düzenlemelerine, ısı transferi mekanizmasına, , ısı transferi, konstrüksiyon geometrilerine işleme göre sınıflandırılır (Genceli 1983).

1.2.1.1 Konstrüksiyon Geometrisi

Isı değiştiriciler konstrüksiyon geometrilerine göre; borulu, plakalı ve kompakt olmak üzere üçe ayrılır.

1.2.1.1.1 Borulu Isı Değiştiriciler

Borulu ısı değiştiricilerinde akan maddelerden biri içteki borudan, diğeri dıştaki borudan akar. Boruların sayısı, çapı ve uzunluğu tasarım esnasında esneklik sağlanmaktadır. Bu tip ısı değiştiricileri genellikle dairesel kesitlidir. Borulu ısı değiştiricileri yüksek basınca dayanıklıdır. Eliptik veya dikdörtgen şeklinde de bulunabilir (Genceli 1983).

Gövde Boru Tipi Isı Değiştiricileri: Bu tip ısı değiştiriciler basınç düşüşüne, maliyete ve taşıdıkları ısı yüküne göre uygulamaları vardır. Saptırıcılar kullanılmaktadır. Saptırıcılar ısı transferini arttırmak için kullanılır. Gövde boru tipi ısı değiştiricilerin borular, ön ayna, arka ayna, şaşırtma levhası ve boru destekleridir (Genceli 1983).

Çift Borulu Isı Değişiricileri: Temel ısı değiştiricilerden biriidir. Farklı çaplardaki eş merkezli iki boruludan oluşmaktadır. Akışkanlar iç ve dış borudan akar akışlar birbirine paralel olacağı gibi ters de olabilir (Genceli 1983).

Spiral Borulu Isı Değiştiricileri: Soğutma sistemlerinde kullanılan kondenser ve evaporatörler için kullanılır. Temizlenmeleri zordur. Isı transferi düz boruya göre daha iyidir (Genceli 1983).

1.2.1.1.2 Levhalı Isı Değiştiricileri

Levhalı ısı değiştiricileri ince levhalardan meydana gelmektedir. Levhalar, düz veya çıkıntılıdır. Yüksek basınca veya yüksek sıcaklık farklarına dayanıksızdır. Contalı, spiral levhalı ve lamelli olarak üçe ayrılır (Genceli 2005).

Contalı - Levhalı Isı Değiştiricileri: Isı değiştiricilerden biri olan contalı levhalı ısı değiştiricileri, ince metal levhalardan oluşur. Levhalardaki deliklerden akışkan geçmekte ve uygun contayla akışkanlar yönlendirilir. Akışkanların birbirine karışmasını engelleyen elemanlar contalardır. Sıkıştırma sıkıştırma çubukları ile yapılır. Isıl kapasite sisteme dahil edilen levhalarla değişebilir. Kompakt olması avantajıdır (Genceli 2005).

Spiral Levhalı Isı Değiştiricileri: İki uzun, paralel plakanın spiral şeklinde sarılmasıyla elde edilir. Spiral levhalı ısı değiştiriciler diğerlerine göre daha zor kirlenir. Kolaylıkla temizlenebilir ve kimyasal temizleme etkin bir şekilde yapılabilir. Levhalar üzerinde oluklar açılarak ısı transfer arttırılabilir. Levhalı ısı değiştiricilere göre ısı transferi kötü olmakla beraber gövde ısı değiştiricilere göre ısı transferleri iyidir (Genceli 2005).

Lamelli Levhalı Isı Değiştiricileri: Lamelli ısı değiştiricileri kompaktır. Bir gövde içerisine yerleştirilmiş paralel lamellerden meydana gelir. Lamel olarak adlandırılan borular nokta kaynağı veya dikiş kaynağı birleştirilmesinde meydana gelir. Gövdede saptırıcı yoktur. Lameller kolay kolay kirlenmezler. Bakımları kolaydır. Kimyasal temizleme rahatlıkla yapılabilir (Genceli 2005).

1.2.1.1.3 Kompakt Isı Değiştiricileri

Isı transferi miktarını arttırmak için borular olan ısı değiştiricilerine kompakt ısı değiştiriciler denir. Kompakt ısı değiştiriciler iki akışkan arasında dūřuk bir hacimde yūksək ısı transferi sağlayan cihazlardır. Mikro kanallı ısı değiştiricilerde kompakt ısı değiştiriciler grubuna girer. Kompakt ısı değiştiricilerden beklenen yūksək enerji verimidir. Kompakt ısı değiştiricilerde ısı transferinin artmasının yanında ağırlık, boyut ve akışkanın azaltılmasında avantajlıdır (Genceli 2005).

1.2.2 Isı Değiştiricilerinde Kirlilik

Isı deęiřiminin meydana geldięi yūzeyde kristaller, polimerler gibi maddelerin birikmesi sonucu meydana gelen olaya kirlilik denir. Isı transfer yūzeyindeki mekanik bozulmalara korozyon denir.

Isı değiştiricilerde kirlilik ısı transfer performansını azaltır, basınç kaybı artar, korozyonu arttırır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Roy ve diğ. 2004), su - Al_2O_3 nanoakışkanının laminar akış şartlarında hidrodinamik ve ısı etkisini nümerik olarak çalışmışlardır. Sonuçlarda önemli bir miktarda ısı transfer iyileşmesi gözükmiştir. %10 nanopartikül konsantrasyonlarında ısı transfer performansının iki kat iyileştiği elde edilmiştir.

(Ho ve Chen 2013), mini kanal ısı değiştiricisinde soğutucu akışkan olarak su yerine Al_2O_3 – su'dan oluşan nanoakışkanı kullanarak, zorlanmış taşınım ısı transfer performansını araştırmak için deneysel çalışma yapmışlardır. Reynolds sayısının 133 ile 1515 değerleri arasında ortam sıcaklığı ile giriş sıcaklığı farkına dayanarak, ortalama ısı transfer katsayısını ve pompalama gücü için elde edilen sonuçlara göre mini kanallı ısı değiştiricisinin hidrolik ve ısı performansını değerlendirmişlerdir.

(Azari ve diğ. 2014), sabit ısı akısı altındaki dairesel tüp içerisinde Al_2O_3 - su nanoakışkanın laminar şartlarda ısı taşınım katsayısını elde etmek için deneysel ve sayısal araştırmalar yapmışlardır. Üç farklı model geliştirmişlerdir; bunlar sabit fiziksel özellikli tek fazlı model (CP-SP), değişken fiziksel özellikli tek fazlı model (VP-SP) ve dağılık partiküllü çift fazlı modeldir. Deneysel ve simülasyon sonuçlarından ısı performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca VP-SP model ve çift fazlı modelde yüksek ısı taşınım katsayıları elde edilmiştir. İki fazlı modelden elde edilen tahmin ile deneysel veriler önemli ölçüde eşleştiğinden, bu modelin her nanoakışkan tahmini için güvenle kullanılabilir olduğunu bulmuşlardır.

(Nimmagadda ve Venkatasubbaiah 2015), mikro kanalda nanoakışkanların laminar şartta zorlanmış taşınım akışını nümerik olarak çalışmışlardır. Al_2O_3 , gümüş ve (Al_2O_3 +gümüş) hibrid nanoakışkanlarının akış ve ısı transferi karakteristiklerini çalışmışlardır. Sonuçlarda, nanopartiküllerin konsantrasyonu ve Reynold sayısı arttıkça ortalama ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür. Hibrid (Al_2O_3 +Ag), Al_2O_3 ve Ag nanopartiküllerin süspanse olduğu nanoakışkanların suya göre ortalama ısı taşınım katsayısının önemli derecede artmış olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada hibrid nanoakışkanların yüksek hacim

konsantrasyonlarında çalışma akışkanının maliyetini düşürdüğü ve metalik nanoakışkanlarla karşılaştırıldığında ısı transfer özelliklerin daha iyi olduğunu çıkarmışlardır.

(Kim ve diğ. 2009), nanoakışkanların, taşınım ile ısı transferi etkisini araştırmak için laminer ve türbülanslı akış rejiminde ve sabit ısı akısında dairesel bir tüp içerisinde deneysel çalışma yapmışlardır. Farklı akış rejimleri altında nanoakışkanların, taşınım ile ısı transferine, ısı iletkenliğine ve sıvı yüzeyinde yüzen nanoparçacıkların etkisini araştırmışlardır. Sonuçlara göre, %3 hacimle Al_2O_3 partikül içeren nanoakışkanın ısı iletkenliğini %8 ve ısı taşınım katsayısını %20 arttırmıştır. Karbon nanoakışkanın ısı iletkenliği suya benzer, ısı taşınım katsayısı laminer akışta sadece %8 artmıştır. Nanoakışkanın ısı iletkenliği ve ısı taşınım katsayısı karşılaştırıldığında nanoakışkanın ısı taşınım katsayısındaki artış ısı iletkenliğindeki artışından daha fazladır .

(Baheta ve Woldeyohannes 2013), nanopartiküllerin boyut, hacim konsantrasyonu ve nanopartikül çeşidinin etkilerini araştırmışlardır. Nanopartiküllerin boyut etkisini Hamilton ve Crosser modelini modife ederek çalışmışlardır. Deneysel sonucunda, Al_2O_3 , Cu, TiO_2 gibi nanopartiküller geleneksel ısı değiştiricilerinin çalışma akışkanına eklendiğinde akışkanın ısı özelliklerinin değiştiği görülmüştür. Deneysel verilerden elde edilen efektif ısı iletkenliğini tahmin etmek için farklı deneysel modeller önermişlerdir. Efektif ısı iletkenlik; nanopartikülün boyutu, şekli, hacim konsantrasyonu, partikül ve ana akışkanın ısı iletkenliğine göre değişiklik gösterir. Sonuçlara baktığımızda nanopartiküllerin boyutu arttıkça ısı iletkenliğinin azaldığını ve Cu - su nanoakışkanın ısı iletkenliğinin, Al_2O_3 - su nanoakışkanın ısı iletkenliğinden daha iyi olduğu görülmüştür.

(Anoop ve diğ. 2009), Al_2O_3 - su nanoakışkanının sabit ısı akısında taşınım ile ısı transfer özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Temel amaçları laminer gelişmekte olan bölgede, partikül büyüklüğünün taşınım ile ısı transferine etkisini belirlemektir. Çalışmalarında iki farklı partikül kullanıldı, bunlardan birisinin boyutu 45 nm ve diğeri 150 nm büyüklüğündedir. Sonuçlarda iki partikülünde ana akışkandan daha iyi ısı transfer özellikleri gösterdiği görülmüştür. 45nm'lik partikülün 150nm'lik partikülden daha iyi ısı transfer katsayısı olduğu

gözlemlenmiştir. Ayrıca gelişmekte olan bölgede ısı transfer katsayısı gelişmiş olan bölgede daha iyidir.

(Ray ve diğ. 2014), alüminyum oksit, bakır oksit ve silikon dioksit nanopartiküllerini içeren etilen glikol ve su karışımı nanoakışkanların kompakt mini kanallı ısı değiştiricilerdeki performanslarını teorik olarak karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada çalışılan her nanoakışkanın %1 seyreltilmiş partikül hacim konsantrasyonu ile ana akışkan performansında iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Karşılaştırmalar üç önemli parametreler temelinde yapılmıştır bunlar eşit kütle akış oranı, eşit ısı transfer ve eşit pompalama gücüdür. Isı değiştiricilerdeki aynı ısı transferi miktarı için hacimsel akış oranını ve gerekli pompa gücünü azaltmıştır. % 0.5 alüminyum oksit içeren nanoakışkan ilgili deneylerden kompakt ısı değiştiricide kullanılan nanoakışkan için Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü elde edilmiştir

(Glazar ve diğ. 2015), kompakt ısı değiştiricisinin ısı transferi ve akış analizini deneysel ve nümerik olarak çalışmışlardır. Mikro kanallı ısı değiştiricinin kütle akış oranını başarıyla ölçmüşlerdir. Farklı mikro kanal şekillerinin ısı transfer etkinliği ve basınç düşüşünü sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel ölçümler ve sayısal hesaplamalar sonucu uyum sağlanmıştır

(Heris ve diğ. 2007), sabit duvar sıcaklığında, zorlanmış akışta dairesel bir boru içerisinde Al_2O_3 - su nanoakışkanının laminer şartlarda ısı transfer performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı nanopartikül konsantrasyonların yanı sıra değişik Peclet ve Reynolds sayıları için nanoakışkanların Nusselt sayılarını elde etmişlerdir. Çalışmalarında nanoparçacık konsantrasyonu artması ile ısı transfer katsayısının da arttığını gözlemlerler. Nanoakışkan özellikleri kullanarak tek fazlı ısı transfer denklemlerinden elde edilen ısı transfer katsayısının, nanopartiküllerin varlığıyla elde edilen ısı transfer katsayısından daha az olduğu sonucuna vardılar.

(Zhang ve diğ. 2014), 1,65 mm hidrolik çapa sahip bir mini kanalda TiO_2 - su nanoakışkanının tek fazlı akışını ve ısı transfer özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Nanoparçacıkların ısı iletkenliğini, viskozitesini ve kaotik hareketlerinin ısı transferine etkisini çalışmışlardır. Suyun içine %0,005 ila %1 hacim konsantrasyonları arasında 10, 30 ve 50 nm büyüklüğündeki TiO_2

nanoparçacıkları dağıtılmıştır. 100 ila 6100 arasında değişen Reynolds sayılarına göre nanoakışkanın sürtünme faktörü ve Nusselt sayısı ana akışkana göre test edilmiştir. Sonuçlar nanoakışkanın, sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının sudan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Nanoakışkan yoğunluğu ve parçacık hareketi sürtünme faktörünü önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Nusselt sayısı, hacim konsantrasyonun artması ile artmamış ve parçacık çapının artmasıyla azalmıştır.

(Hwang ve diğ. 2009), eşit olarak ısıtılan dairesel bir tüp içerisinde tam gelişmiş laminer akış rejiminde Al_2O_3 - su nanoakışkanın ısı taşınım katsayısı ve basınç düşüşünün ölçülmesini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlardan elde edilen nanoakışkanın sürtünme faktörü tek fazlı akış için kullanılan Darcy denklemlerinden elde edilen analitik sonuçlarla uyumlu olduğu açığa çıkmıştır. Isı taşınım katsayısının suya göre %0.3 konsantrasyonlu nanoakışkanla karşılaştırıldığında %8 arttığı bulunmuştur ama bu Shah denklemiyle tahmin edilemez. Deneysel sonuçlarda ısı taşınım katsayısının, ısı iletkenliğe göre daha çok arttığı gözlemlenmiştir.

(Jung ve diğ. 2009), nanoakışkanların ısı taşınım katsayısı ve sürtünme faktörünü, dikdörtgen kesitli mikrokanallarda ölçmüşlerdir. 170 nm çapında Al_2O_3 içeren farklı konsantrasyonlardaki nanoakışkanların taşınım ile ısı transferini ve akışkan akışını deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuçlarda, laminer akış rejiminde Al_2O_3 nanoakışkanın ısı taşınım katsayısının suya göre büyük bir sürtünme kaybı olmadan %1,8 konsantrasyonda nanoakışkanın %32 arttığı gözlemlenmiştir. Laminer akış rejiminde Reynolds sayısının artmasıyla Nusselt sayısındaki artış miktarını da hesaplamışlardır.

(Li ve diğ. 2014), kompakt ısı değiştiriciler ve mikrokanallı ısı alıcıların verimini arttırmak için girintili ve çıkıntılı yüzeye sahip mikrokanalda ısı transfer ve akış karakteri üzerine araştırma yapmışlardır. Üç mikrokanal yapısı üzerine çalışma yapmışlardır. Bunlar pürüzsüz, girintili ve hem girintili hem çıkıntılı yüzeylerdir. Boru içindeki hız arttıkça Nusselt sayısı, ısı performans ve sürtünme faktörü arttığı sonuçlarda bulmuşlardır.

(Maiga ve diğ. 2004), Su - Al_2O_3 ve etilen glikol - Al_2O_3 nanoakışkanların, düzgün ısıtılmış bir tüp içerisinde zorlanmış taşınım ile akışını incelemişlerdir. Hem laminer hem de türbülanslı rejimde ısı transfer performansının nanopartiküllerin

etkisiyle arttığını gözlemişlerdir. Partikül konsantrasyonların artmasıyla ısı transferi artmıştır. Sonuçlarda etilen glikol - su nanoakışkanının ısı transfer performansı alüminyum oksit - su nanoakışkanına göre daha iyi olduğu çıkmıştır.

(Nguyen ve diğ. 2007), Al_2O_3 – su nanoakışkanının ısı transfer performansını ve davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Türbülanslı akış rejiminde elde edilen deneysel veriler soğutma bloğunun ısı transfer katsayısını önemli derecede iyileştirmiştir. % 6,8 hacim konsantrasyonundaki nanoakışkanın ısı transfer katsayısı ana akışkana göre % 40 artmıştır. 36 nm çapındaki nanopartiküllerin 47 nm çapındaki nanopartiküllerden ısı transfer katsayısının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

(Das ve diğ. 2006), Nanoakışkanların termal özelliklerini iyileştirmesiyle ilgili gelecekteki çalışmalara yön vermek amacıyla kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Isı transferi, malzeme bilimi, fizik, kimya mühendisliği ve sentetik kimya gibi birçok disiplinden faydalanarak nanoakışkanların ısı transfer özellikleri iyileştirdiğine dair araştırma yapmışlardır.

(Mohammed ve diğ. 2010), mikrokanallı ısı alıcılar üzerine Reynolds sayısı 100 - 1000 aralığında olacak şekilde nanoakışkan kullanıldığında ısı transfer ve akış karakteristiklerini nümerik olarak incelemişlerdir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 - su nanoakışkanını %1 - %5 konsantrasyonları arasında kullanmışlardır. Mikrokanallı ısı alıcısının performansını sıcaklık profili, ısı transfer katsayısı, basınç düşüşü, sürtünme faktörü, duvar kayma gerilmesi ve ısı direnci açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçlarda aşırı ısı akısı altında nanopartiküllerin hacim konsantrasyonu arttığında ısı transfer ve duvar kayma gerilmesinin arttığını bulmuşlardır.

(Mohammed ve diğ. 2011), kare kesitli mikrokanallı ısı değiştiricilerde nanoakışkanların ısı transferi ve akışkan akışına etkilerini nümerik olarak araştırmışlardır. Al_2O_3 , SiO_2 , Ag ve TiO_2 nanoakışkanlarını kullanmışlardır. %2, %5 ve %10 hacim konsantrasyonlarını kapsamlı bir şekilde analiz etmişlerdir. Sonuçlarda basınç düşüşü az bir miktarda artarken, ısı değiştiricinin performansının ve ısı özelliklerinin arttığını bulmuşlardır ve ayrıca Reynolds sayısının artmasıyla pompalama gücünün arttığını bulmuşlardır.

(Prasher ve diğ. 2006), nanoparçacık yığınlarının ısı iletkenliğe etkisini göstermek için nano ölçek kümelenmelerin toplam kinetiği ve ısı iletiminin fiziğini birleştiren çalışma yapmışlardır. Sonuçta kollodial kimyanın ısı iletkenlikte önemli bir rol oynadığına karar vermişlerdir.

(Pak ve Cho 1998), türbülanslı ortamda, dairesel bir boru içerisinde çok küçük parçacıkların su içindeki konstrasyonunun ısı transfer ve sürtünmeye etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. 13 ve 27 nm boyutundaki Al_2O_3 ve TiO_2 metalik oksit partiküller kullanılmıştır. Al_2O_3 ve TiO_2 partikülleri içeren sıvıların vizkoziteleri sırasıyla sudan 100 ve 3 kat daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Tam gelişmiş türbülanslı akışın Nusselt sayısının, Reynolds sayısı ve hacim konsantrasyonun artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir.

(Lee ve diğ. 1999), deneysel sonuçlarda nanoakışkanların nanopartikülsüz sıvılardan daha iyi ısı iletkenlikleri olduğunu görmüşlerdir. Deneyle ve Hamilton Crosser modelini karşılaştırdıklarında modelin büyük Al_2O_3 partikülleri içeren nanoakışkanlarda daha iyi tahmin ettiğinden bahsediyorlar. Ancak CuO içeren nanoakışkanlar için bu model yetersizdir.

(Ijam ve Saidur 2012), bir minikanallı ısı alıcıda türbülanslı akış rejiminde SiC - su ve TiO_2 - su nanoakışkanlarını analiz etmişlerdir. %4 hacim konsantrasyonunda SiC için %12.44 ve TiO_2 için %9.99 ısı iletkenliğinin arttığını bulmuşlardır.

(Tiwari ve diğ. 2013), plakalı ısı değıştiricilerin ısı transfer performansını farklı nanoakışkanlar ve farklı konsantrasyonlarda araştırmışlardır. CeO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2 nanoakışkanları kullanmışlardır. Çalışmalar sonucunda CeO_2 - su nanoakışkanı en iyi performansı göstermiştir.

(Teng ve diğ. 2011), hava soğutmalı ısı değıştiriciler için Al_2O_3 - su nanoakışkanının özelliklerini analiz etmişlerdir. Üç farklı konsantrasyonda (%0,5, %1, %1,5) çalışmışlardır. Deneysel sonuçlarda nanoakışkanların ısı değışim kapasitelerinin sudan daha iyi olduğunu ve nanopartikül konsantrasyonların yüksek olduğu durumlarda ısı değışim oranının daha iyi olduğunu gözlemişlerdir.

Çalışmalarında ısı değişim oranının %39 basınç düşüşünün %5,6 oranında arttığını bulmuşlardır.

(Jang ve Choi 2004), moleküler ve nano ölçekli düzeyde nanopartiküllerin Brown hareketi nanoakışkanların ısı davranışını düzenleyen önemli bir mekanizmayı buldular. Nanoakışkanlardaki dinamik nanopartiküllerin temel rolünü hesaplayan teorik model geliştirdiler.

(Gupta ve Kumar 2007), gerçek nanoakışkanlı sistemde Brownian dinamik simülasyonunu çalışmışlardır. Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin Brownian hareketi nedeniyle %6 arttığını göstermişlerdir.

(Hasan ve diğ. 2014), laminar, sıkıştırılmaz, tek fazlı ve kararlı akış şartlarında mikrokanailli ısı değiştiricinin aksel ısı iletimini nümerik olarak incelemişlerdir. Farklı şartlar altında aksel ısı iletim davranışını çalışmışlardır. Sonuçlarda hidrolik çap ve kanal hacmi aksel ısı iletiminde azalmaya sebep olurken Reynolds sayısı, ısı iletim oranı ve ayırma duvar kalınlığı aksel ısı iletiminde artmaya sebep olduğunu bulmuşlardır.

(Das ve diğ. 2003), Al_2O_3 veya Cu nanopartikülleri kullanıldığında sıcaklığın ısı iletkenliği üzerine etkisini detaylı olarak çalışmışlardır. Sıcaklıkla nanoakışkanların özelliklerin gelişmesindeki artış yüksek enerji yoğunluğu içeren uygulamalarda kullanımının daha cazip olduğunu bulmuşlardır.

(Anoop ve diğ. 2013), Sanayi tipi ısı değiştiricilerin nanoakışkan kullanıldığında ısı performanslarını araştırmışlardır. 20 nm büyüklüğündeki nanopartiküller %2, %4 ve %6 kütlece oranlarda SiO_2 - su nanoakışkanı kullanmışlardır. Plakalı, kabuk ve dairesel ısı değiştiricilerin nanoakışkan kullanıldığında ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşünü karşılaştırmak için deneyler yaptılar. Nanoakışkan kullanımından dolayı basınç düşüşünde sadece su kullanımına göre bir artış görülmüştür.

3. TEORİK ANALİZ

Nanoakışkanı teorik olarak modellersek, sürekli olan temel akışkan bileşeniyle, parçacık gibi sürekli olmayan bir katı bileşenden meydana gelen bir karışım olur.

3.1 Nanoakışkanların Isıl İletkenliği Hesaplamasında Maxwell Eşitliği

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini teorik olarak hesaplamak için ilk olarak (Maxwell 1881),akışkan içerisinde parçacıkları asılı konumda kabul ederek ısı iletkenliğini analitik olarak incelemiştir.

Maxwell, katı - sıvı karışımların ısı iletkenliğini hesaplamak için parçacıkları küresel kabul edip ve parçacıklar arasındaki etkileşimi göz ardı edip denklem (3.1) ile verilen eşitliği geliştirmiştir.

$$k_{nf} = \frac{2k_f + k_p + 2\phi(k_p - k_f)}{2k_f + k_p - \phi(k_p - k_f)} k_f \quad (3.1)$$

k_{nf} :Nanoakışkanın ısı iletkenliği

k_f :Ana akışkanın ısı iletkenliği

k_p :Parçacığın ısı iletkenliği

Φ :Hacim konsantrasyonu

Denklem (3.1)' de parçacık şekli ve boyutu hesaba katılmamıştır.

3.2 Nanoakışkanların Isıl İletkenliği Hesaplamasında Hamilton ve Crosser Eşitliği

Maxwell eşitliği birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Hamilton ve Crosser Maxwell modeline katı parçacık şeklini de ilave ederek Maxwell modelini geliştirmiştir. Denklem (3.2) ile bu eşitlik verilmiştir (Hamilton ve Crosser 1962).

$$k_{nf} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\phi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \phi(k_f - k_p)} k_f \quad (3.2)$$

n: Ampirik şekil faktörü

$$n = \frac{3}{\psi} \quad (3.3)$$

Ψ : Küresellik

Küresellik değeri 3 ise bu durumda Hamilton-Crosser modeli, Maxwell modeli ile aynı olmaktadır.

3.3 Nanoparçacık – Sıvı Arayüz Tabakası

Sıvı moleküllerinin katı bir yüzeye yakın olduklarında tabakalı yapılar oluştururlar. Nanoakışkan katı nanoparçacıklar, katımsı sıvı tabakalar ve sıvıdan meydana gelir. Katı çevresindeki akışkanın sınır tabakada ısı iletkenliği sıvının ısı iletkenliğinden daha yüksek olmalıdır. Katımsı tabakanın katı parçacık ile sıvı arasında ısı bir köprü görevi görmekte olduğu düşünülmektedir. İlgili denklem (3.4)'de verilmiştir (Yu ve Choi 2003).

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_{pe} + 2k_f + 2(k_{pe} - k_f)(1 + \eta)^3 \phi}{k_{pe} + 2k_f - (k_{pe} - k_f)(1 + \eta)^3 \phi} \quad (3.4)$$

$$\eta = \frac{t}{r_p} \quad (3.5)$$

η : Sıvı tabaka kalınlığının orijinal parçacık yarıçapına oranı

k_{pe} :Eşdeğer nanoparçacık ısıl iletkenliği

$$k_{pe} = \frac{2(1-\gamma) + (1+\eta)^3(1+2\gamma)\gamma}{-(1-\gamma) + (1+\eta)^3(1+2\gamma)} k_p \quad (3.6)$$

$$\gamma = \frac{k_l}{k_p} \quad (3.7)$$

γ :sıvı tabaka ısıl iletkenliğinin parçacık ısıl iletkenliğine oranı

k_l :sıvı tabaka ısıl iletkenliği

3.4 Nanoparçacık Brown Hareketinin Etkisi

Nanoakışkanların ısıl iletkenlik artışında etkili bir faktör Brown hareketidir. Brown hareketi yüzen veya asılı parçacıkların rastlantısal hareketidir. Nanoparçacıkların Brown etkisini denklem (3.8) ile hesaplanır(Xuan ve diğ. 2003).

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{2k_f + k_\pi + 2\phi(k_\pi - k_f)}{2k_f + k_\pi - \phi(k_\pi - k_f)} + \frac{1}{2} \frac{\rho_p c_{p,p} \phi}{k_f} \sqrt{\frac{k_B T}{3\pi\mu_f r_{cl}}} \quad (3.8)$$

k_B : ifadesi Boltzmann sabiti

μ_f : Ana akışkan dinamik viskozitesi

ρ_p : Parçacık yoğunluğu

$C_{p,p}$: Parçacık özgül ısısı

T : Sıcaklık

Tek bir parçacığın Brown hareketinin etkisini incelediği denklem (3.9) ile verilmiştir (Jang ve Choi 2004).

$$k_{nf} = (1-\phi)k_f + \beta\phi k_p + 3c\left(\frac{r_f}{r_p}\right)\phi\left(\frac{k_B T}{3\pi\mu_f \nu_f I_f}\right)^2 Pr_f k_f \quad (3.9)$$

c: orantı sabiti

β : deneysel verilerden elde edilen sabit

r_f : ana akışkan yarıçapı

r_p : parçacık yarıçapı

Pr_f : ana akışkan Prandtl sayısı

k_B : Boltzmann sabiti

Boltzmann sabiti enerji ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi veren fiziksel bir katsayıdır.

T: Sıcaklık

I_f : ana akışkan moleküllerinin ortalama serbest yolu

ν_f : ana akışkan kinematik viskozitesi

μ_f : ana akışkan dinamik viskozitesi

3.5 Nanoparçacık Kümelenmesinin Etkisi

Nanoparçacıkların nanoakışkanlarda meydana getirdiği kümelenmeler nanoakışkanların ısı iletkenliklerinde artışa sebep oldukları düşünülmektedir. Denklem (3.10) ile eşitlik verilmiştir (Wang ve diğ. 2003).

$$k_{nf} = \frac{(1 - \phi) + 3\phi \int_0^{\infty} \frac{k_{cl}(r)n(r)}{2k_f k_{cl}(r)} dr}{(1 - \phi) + 3\phi \int_0^{\infty} \frac{k_f}{2k_f k_{cl}(r)} n(r) dr} k_f \quad (3.10)$$

$n(r)$: küme yarıçapı dağılım fonksiyonu

$k_{cl}(r)$: küme eşdeğer ısı iletkenliği

$$k_{cl}(r) = (3\theta^* - 1)k_p + [3(1 - \theta^*) - 1]k_f + \sqrt{\Delta} \quad (3.11)$$

Buradaki Δ ifadesi denklem (3.12) ile verilmiştir.

$$\Delta = (3\phi^* - 1)^2 k_p^2 + [3(1 - \phi^*) - 1]^2 k_f^2 + 2[2 + 9\phi^*(1 - \phi^*)]k_p k_f \quad (3.12)$$

ϕ^* ifadesi denklem (3.13) ile verilmiştir.

$$\phi^* = (r_{cl} / r_p)^{D_{fl} - 3} \quad (3.13)$$

r_{cl} : nanoparçacık kümelerinin yarıçapı

r_p : parçacıkların yarıçapı

D_{fl} : fraktal boyutu

D_{fl} değeri %6,5 hacim konsantrasyonundaki SiO₂ - Etanol nanoakışkanı için 1,66'dır.

Küme yarıçapı $n(r)$, denklem (3.14) ile verilmiştir.

$$n(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\ln \sigma)r_{cl}} e^{-[\ln(r_{cl}/\bar{r}_{cl})/\sqrt{2\pi} \ln \sigma]^2} \quad (3.14)$$

\bar{r}_{cl} nanoparçacık kümelerinin geometrik ortalama yarıçapı

σ , standart sapma 1.5 olarak alınabilir.

3.6 Taşınım İle Isı Geçişi

Taşınım ile ısı geçişi Reynolds, Nusselt, Prandtl, Rayleigh sayılarına bağlıdır. Nanoakışkanların ısı taşınım katsayısı temel akışkanın ısı iletkenlik katsayısına, nanoparçacıkların ısı iletim katsayısına, akış modeline, Reynolds sayısına, Prandtl sayısına veya Rayleigh sayısına, parçacıkların hacim konsantrasyonlarına, parçacıkların boyutuna ve parçacıkların şekilleri gibi birçok parametrelere bağlıdır.

Nusselt Sayısı için verilen genel fonksiyon denklem (3.15) ile verilmiştir (Xuan ve Roetzel 2000).

$$Nu_{nf} = f[\text{Re}, \text{Pr}, \frac{K_p (\rho c_p)_p}{K_f (\rho c_p)_f}, \emptyset, \text{parçacık şekli, akış geometrisi}] \quad (3.15)$$

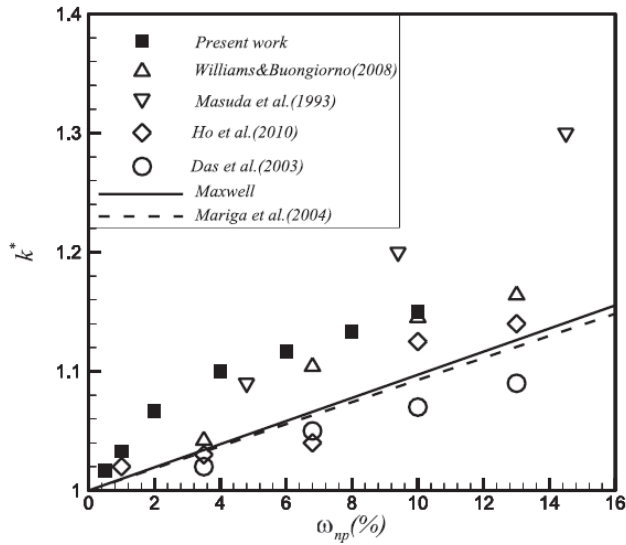
f ve p alt indisleri sırasıyla ana akışkan ve nanoparçacığı temsil etmektedir.

Isıl iletkenlik katsayıları ile orantılı ısı taşınım katsayısı oranıdır. Denklem (3.16) ile verilmiştir (Xuan ve Roetzel 2000).

$$h_{nf} \approx h_f \left(\frac{K_{nf}}{K_f} \right)^m \quad (3.16)$$

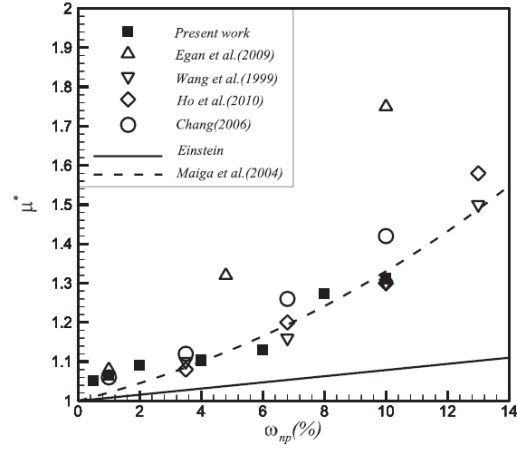
4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARIN ANALİZLERİ

Şekil 4.1'de verilen grafik Al_2O_3 – su nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda çeşitli araştırmacıların bulduğu ısı iletkenliklerin kıyaslanmasını gösteriyor. Grafikte gösterilen mevcut çalışmadaki farklı konsantrasyonlarda bulunan ısı iletkenlik ile diğer araştırmacıların yapmış oldukları çalışmada ısı iletkenlikler benzerlik göstermektedir. Nanoakışkanda nanopartikül konsantrasyonu arttıkça ısı iletkenliğinde arttığı gözlenmektedir (Ho ve Chen 2013).



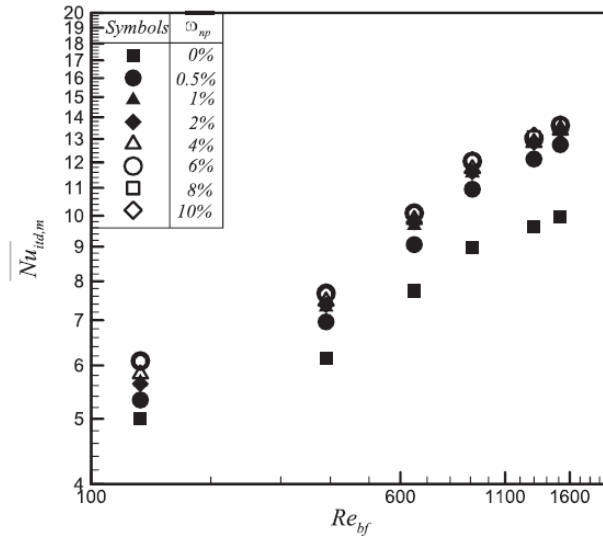
Şekil 4.1 Al_2O_3 – su nanoakışkanının çeşitli araştırmalarda ısı iletkenliklerin kıyaslanması

Şekil 4.2'de verilen grafik Al_2O_3 – su nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarda çeşitli araştırmacıların bulduğu dinamik viskozitelerin kıyaslanmasını gösteriyor. Farklı araştırmacıların değişik yıllarda yapmış oldukları çalışmalar ve Einstein'in teorik denkleminde çıkarılan dinamik viskozite sonuçları karşılaştırılmıştır. Nanoakışkandaki nanopartikül oranı arttıkça dinamik viskozite oranında artmakta olup yapılan çalışma diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Ho ve Chen 2013).



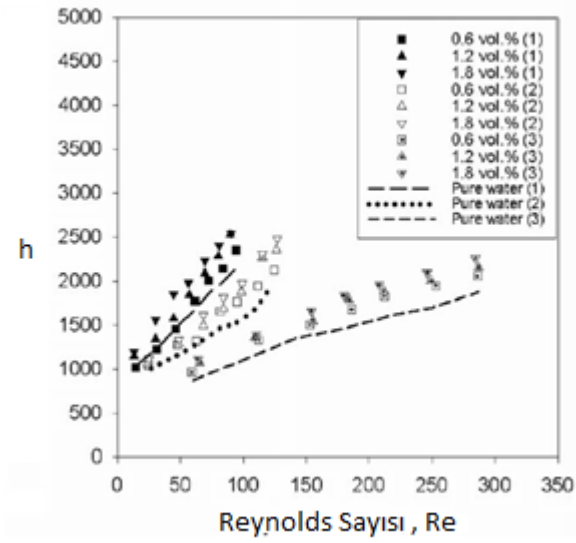
Şekil 4.2 Al₂O₃ – su nanoakışkanının çeşitli araştırmalarda dinamik viskozitelerin kıyaslanması

Şekil 4.3'de verilen grafikte Al₂O₃ – su nanoakışkanının farklı Reynolds sayılarındaki Nusselt sayıları kıyaslanmıştır. Nanopartikülün farklı konsantrasyonlardaki Nusselt sayısı Reynolds sayısı arttıkça artmaktadır. Düşük Reynolds sayılarında Nusselt sayısının da daha az olduğu şekilde görülmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla ısı transferinde iyileşme meydana gelmektedir (Ho ve Chen 2013).



Şekil 4.3 Al₂O₃ – su nanoakışkanın Reynolds sayıları ile Nusselt sayılarının karşılaştırılması

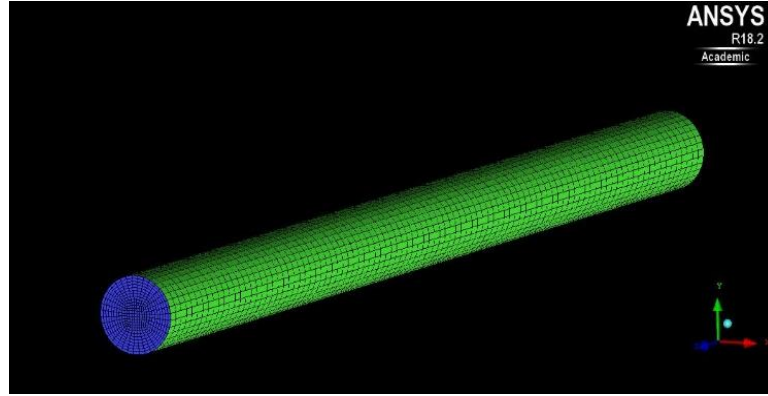
Şekil 4.4' de verilen grafikte farklı mikrokanallarda ve farklı nanopartikül oranlarında nanoakışkanların ve suyun ısı taşınım katsayısı ile Reynold sayısı arasındaki ilişki verilmektedir. Mikrokanal kesitleri (50*50), (50*100) ve (100*100) olarak verilmiştir. Küçük kesitli mikrokanalda (50*50) hem su hem de nanoakışkanlar Reynolds sayısı düşükken ısı taşınım katsayıları diğer mikrokanallara göre daha yüksektir (Jung ve diğ. 2009).



Şekil 4.4 Isı taşınım katsayısı ile Reynolds sayılarının kıyaslanması

5. SAYISAL ANALİZ

Şekildeki model ICEM CFD programı yardımıyla tüm hacim unstructured hybrid mesh kullanılarak modellenmiştir. Duvar kenarlarına sınır tabakada ki akışı yakalamak amacıyla duvar kenarlarına daha yoğun mesh atılmıştır. Çözücü olarak Ansys Fluent 18.2 kullanılmıştır. Sınır koşulları tablo 5.1’de verilmiştir.

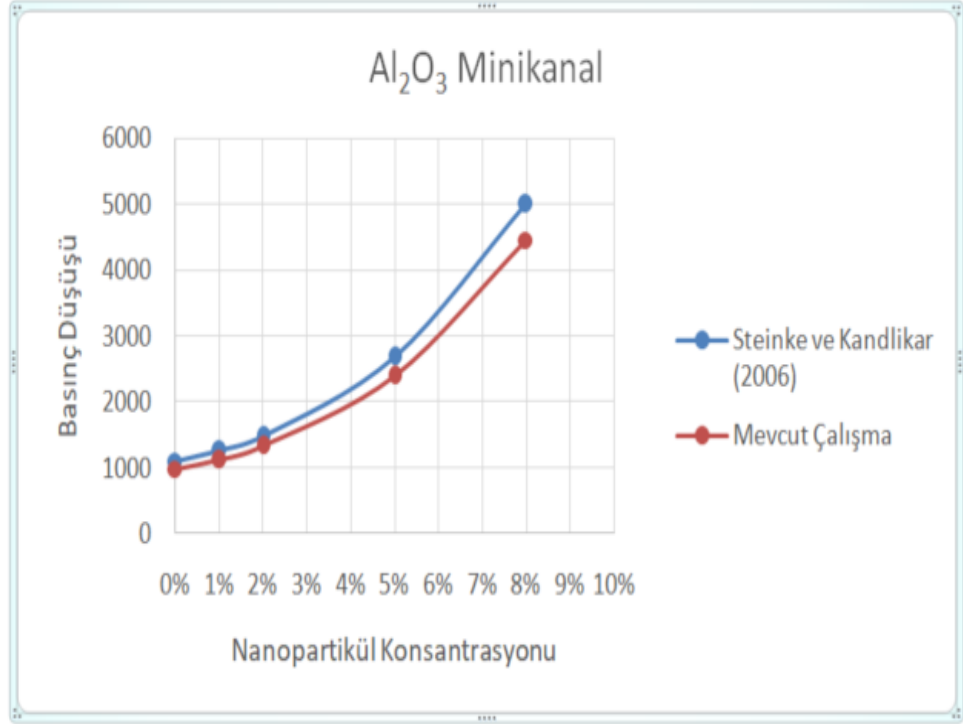


Şekil 5.1 Mikrokanalın mesh yapısı

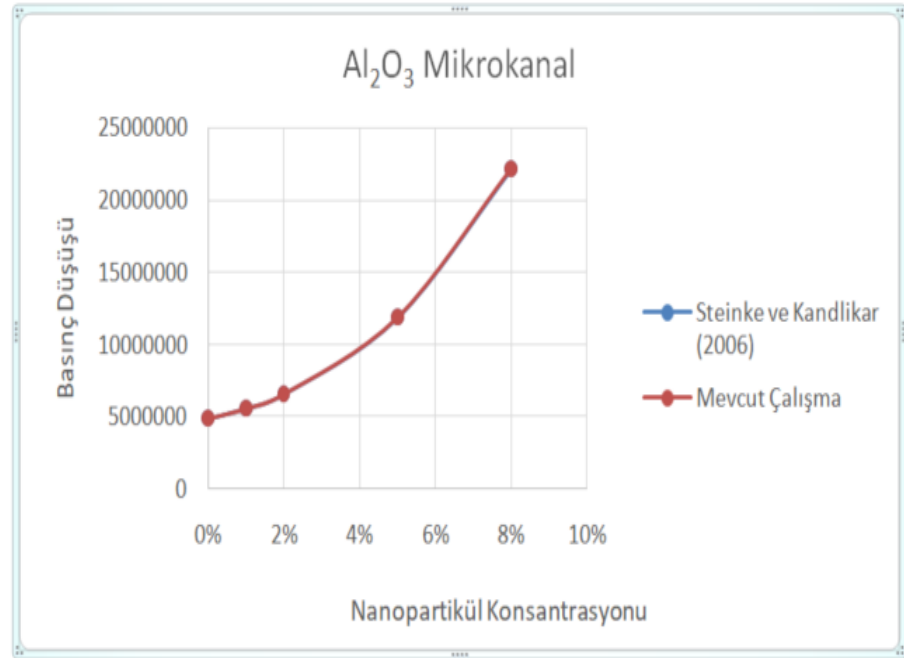
Nümerik sonucun doğruluğunu kontrol etmek amacıyla basınç kaybı Steinke ve Kandlikar (2006) çalışmasında kullanılan denklem 5.1 kullanılarak kontrol edilmiş ve analitik sonuçla nümerik sonuç arasındaki fark şekil 5.2 ve şekil 5.3’de verilen grafikte gösterilmiştir. Şekil 5.2’de verilen grafikte minikanallar için basınç düşüşündeki fark %10’a kadar farklı konsantrasyonlarda değişiklik göstermiştir. Şekil 5.3’te verilen grafikte mikrokanallar için basınç düşüşünde denklem ile mevcut çalışma arasında uyum olduğu tespit edilmiştir. Steinke ve Kandlikar (2006)’den alınan denklem dairesel kesitli mikrokanallar için denklemler (5.1) ve (5.2) verilmiştir.

$$\Delta P = \frac{2(f Re)\mu VL}{D_h^2} + \frac{\kappa(x)\rho \bar{V}^2}{2} \quad (5.1)$$

$$\kappa(x) = 1,20 + \frac{38}{Re} \quad (5.2)$$



Şekil 5.2 Minikanalda Al₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu basınç düşüşü arasındaki ilişki



Şekil 5.3 Mikrokanalda Al₂O₃ nanopartikül konsantrasyonu basınç düşüşü arasındaki ilişki

Sayısal sonuçtan elde edilen basınç düşüşünün denklem (5.1)'de verilen Steinke ve Kandlikar (2006) denkleminden gelen analitik sonuçla uyum

göstermektedir. Şekil 5.2 ve şekil 5.3’de hem minikanalda hem de mikrokanalda nümerik sonuç ve analitik sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Sonuçları incelediğimizde mikrokanalda analitik ve nümerik çalışma sonucu daha uyumludur.

Tablo 5.1 Sınır koşulları

Kanal Tipi	Sabit Isı Akısı	T_{giriş}	Reynolds Sayısı
Minikanal	5000 W/m ²	293,15 K	1000
Mikrokanal	5000 W/m ²	293,15 K	1000

Bu kısımda aynı yüzey alanına sahip mikrokanallı ve minikanallı ısı değiştiricilerinde Al₂O₃ – su nanoakışkanın akışının sayısal olarak çözülmesi için enerji, kütle ve momentum denklemleri kullanılmıştır. Ayrıca akışın sınır şartları ve kullanılan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri verilmiştir. Kullandığımız nanoakışkanın termofiziksel özellikleri denklem (5.6),(5.7),(5.8), ve (5.9)’dan elde edilmiştir (Kakaç 2013). Analizi yapılan kanalların geometrik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Süreklilik Denklemi

$$\nabla \cdot \vec{g} = 0 \quad (5.3)$$

Momentum Denklemi:

$$\rho(\vec{g} \cdot \nabla \vec{g}) = -\nabla P + \mu \cdot \nabla^2 \cdot \vec{g} \quad (5.4)$$

Enerji Denklemi:

$$\rho c_p (\vec{g} \cdot \nabla T) = k \nabla^2 T \quad (5.5)$$

Denklem (5.3), (5.4) ve (5.5)’te kullanılan $\vec{g}, \rho, \mu, c_p, k, T$ semboller sırasıyla soğutucu akışkanın hızı, yoğunluğu, viskozitesi, özgül ısısı, ısı iletkenliği ve sıcaklığıdır.

Tablo 5.2 Kanallarla ilgili boyutlar

Kanal Türü	Kanal Çapı [m]	Uzunluk [m]	Yüzey Alanı [m ²]
Minikanal	0.001	0.015	0.00004714
Mikrokanal	0.0001	0.15	0.00004714

Sonlu hacimler yöntemi kullanarak yapılan sayısal analizde sınır koşulları sabit ısı akısı 5000 W/m², Reynolds sayısı 1000 ve giriş sıcaklığını 293.15 K olarak alındı. Aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanarak bulunan Al₂O₃-su nanoakışkanın farklı konsantrasyonlardaki termofiziksel özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 Al₂O₃ – su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri

Partikül Konsantrasyonu	Yoğunluk [kg/m ³]	Özgül Isı [J/kg.K]	Viskozite [Pa.s]	Isıl İletkenlik [W/m.K]
%0	998.2	4181.9	0.0010020	0.598
%1	1028.2	4047.1	0.0010875	0.615
%2	1058.2	3920.0	0.0011976	0.633
%5	1148.3	3578.6	0.0016758	0.688
%8	1238.3	3286.8	0.0023759	0.747

Nanoakışkanın Yoğunluğu:

Nanoakışkanın yoğunluğu denklem 5.6 ‘ya göre hesaplanmıştır.

$$\rho_{nf} = \phi\rho_p + (1-\phi)\rho_f \quad (5.6)$$

ρ_{nf} : nanoakışkanın yoğunluğu

ρ_p :partikülün yoğunluğu

ρ_f :ana akışkan yoğunluğu

ϕ :hacim konsantrasyonu

Nanoakışkanın Özgül Isısı:

Nanoakışkanın özgül ısısı denklem 5.7 'ye göre hesaplanmıştır.

$$(\rho c_p)_{nf} = \phi(\rho c_p)_p + (1-\phi)(\rho c_p)_f \quad (5.7)$$

c_p, c_{nf}, c_p sırasıyla nanoakışkanın özgül ısısı, nanopartikülün özgül ısısı ve sıvının özgül ısısı

Nanoakışkanın Isıl İletkenliği:

Nanoakışkanın ısı iletkenliği denklem 5.8 'e göre hesaplanmıştır.

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_f + 2(k_p - k_f)\phi}{k_p + 2k_f - (k_p - k_f)\phi} k_f \quad (5.8)$$

k_{nf}, k_p, k_f sembolleri sırasıyla nanoakışkanın ısı iletkenliği, partikülün ısı iletkenliği ve sıvının ısı iletkenliği

Nanoakışkanın Viskozitesi:

Nanoakışkanın viskozitesi denklem 5.9 'a göre hesaplanmıştır

$$\mu_{nf} = (1 + 7.3\phi + 123\phi^2)\mu_f \quad (5.9)$$

μ_{nf} ve μ_f sırasıyla nanoakışkanın viskozitesi ve sıvının viskozitesi

BULGULAR

Denklem (5.10),(5.11),(5.12) ve (5.13) denklemlerin yardımıyla analiz sonucundaki değerler kullanılarak ısı taşınım katsayısı, Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve termal performans faktörü elde edilmiştir (Bianco ve diğ. 2015), (Kakaç 2013).

Isı taşınım katsayısı denklem (5.10)'e göre hesaplanmıştır.

$$h = \frac{\dot{q}}{T_w - T_{bulk}} \quad (5.10)$$

\dot{q} , T_w ve T_{bulk} sembolleri sırasıyla ısı akısı, duvar sıcaklığı ve bulk sıcaklığıdır.

Nusselt sayısı denklem (5.11)'e göre hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (5.11)$$

Nu , h , D_h , k sembolleri sırasıyla Nusselt sayısı, ısı taşınım katsayısı, dairesel kanal çapı ve ısı iletkenliğidir.

Sürtünme faktörü denklem (5.12)'e göre hesaplanmıştır.

$$f = \frac{\Delta P D_h^2}{L \rho V^2} \quad (5.12)$$

f , L , V , D_h , ΔP , ρ sembolleri sırasıyla sürtünme faktörü, kanal uzunluğu, hız, kanal çapı, basınç farkı ve yoğunluktur.

Termal performans faktörü denklem (5.13)'e göre hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{(Nu_{nf} / Nu_{bf})}{(f_{nf} / f_{bf})^{1/3}} \quad (5.13)$$

η , Nu_{nf} , Nu_{bf} , f_{nf} , f_{bf} sembolleri sırasıyla ısı performans faktörü, nanoakışkanın Nusselt sayısı, temel akışkanın Nusselt sayısı, nanoakışkanın sürtünme faktörü, temel akışkanın sürtünme faktörüdür.

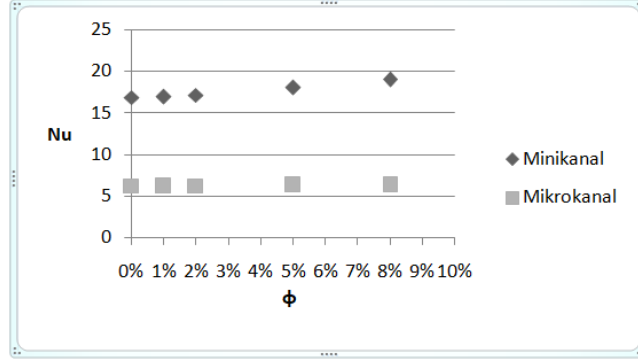
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nanoakışkanlar, ısı transferinin iyileştirilmesinde son 30 yıldır yapılan akademik çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada çapları 1mm ve 100µm'lik mini ve mikro kanallarda farklı konsantrasyonlarda Al₂O₃ – su nanoakışkanı akıtılarak analitik ve sayısal inceleme yapılmıştır. Konsantrasyon oranı %0 olarak saf su ele alınmıştır. Minikanalda ve mikrokanalda ısı transferinde suya göre ısıl iletkenlik katsayısı ve ısı taşınım katsayısında önemli bir artışın olduğu görülmüştür. Nusselt sayısında suya göre önemli bir değişim olmamıştır. Bunun sebebi olarak laminer akış şartlarında olmasıdır. Basınç düşüşünde minikanalda ve mikrokanalda suya göre ciddi bir artış gözlenmemektedir. Ama hem basınç düşüşünü hem de ısı transfer etkisini beraber aldığımız termal performansta minikanalda konsantrasyon miktarı artıkça termal performansta iyileşme olduğu gözlenmektedir.

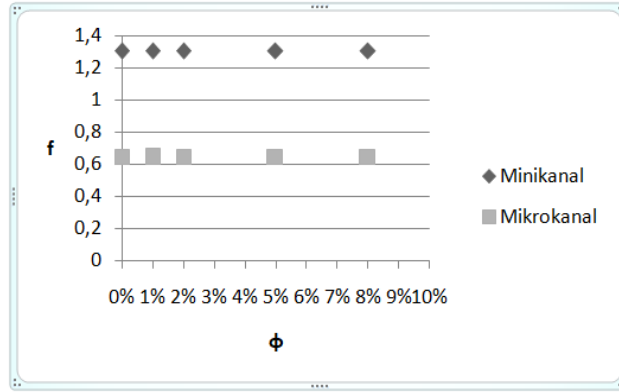
Isı taşınım katsayısı minikanalda %8 konsantrasyona sahip Al₂O₃ – su nanoakışkanında saf suya göre %40 daha fazladır. Mikrokanalda ise %8 konsantrasyona sahip Al₂O₃- su nanoakışkanında saf suya göre %25 daha fazladır.

Nusselt sayısı minikanalda %8 konsantrasyona sahip Al₂O₃ – su nanoakışkanında saf suya göre %13 daha fazladır. Mikrokanalda ise %8 konsantrasyona sahip Al₂O₃- su nanoakışkanında saf suya göre %1 fazladır.

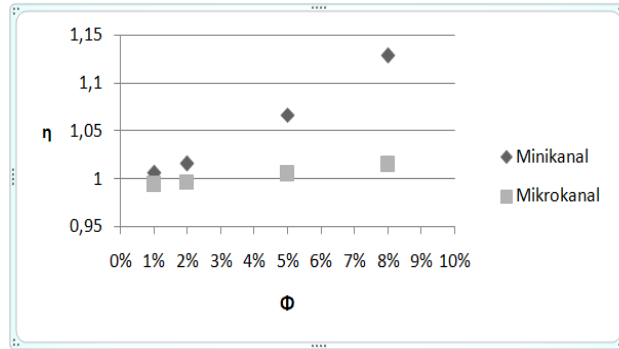
Şekil 6.1'de verilen Al₂O₃ – su nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarındaki Nusselt sayısı hem mikrokanalda hem de minikanalda verilmiştir. Aynı sınır şartlarına göre minikanalda Nusselt sayısı mikrokanala göre 3 kat daha fazladır. Şekil 6.2'de verilen Al₂O₃ – su nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarındaki sürtünme faktörü minikanalda mikrokanala göre 2-2,5 kat daha fazladır. Mikrokanallarda basınç kaybı daha fazladır. Şekil 6.3'de verilen Al₂O₃ – su nanoakışkanının farklı konsantrasyonlarındaki termal performansı minikanalın mikrokanala göre daha iyidir. %8 konsantrasyona sahip Al₂O₃ – su nanoakışkanın minikanaldaki termal performansı diğerlerine göre en iyisidir.



Şekil 6.1 Al_2O_3 – Su nanoakışkanın Nusselt Sayısı – Nanopartikül Konsantrasyon İlişkisi



Şekil 6.2 Al_2O_3 – Su Nanoakışkanın Sürtünme Faktörü – Nanopartikül Konsantrasyon İlişkisi



Şekil 6.3 Al_2O_3 – Su Nanoakışkanın Termal Performans Faktörü – Nanopartikül Konsantrasyon İlişkisi

ÖNERİLER

Bu çalışmada Ansys Fluent 18.2’de tasarladığımız mikro ve minikanalda kullandığımız nanoakışkanın ısı iletkenliğini doğrudan etkileyen parçacık boyutu, parçacık şekli, parçacık dağılımı, parçacık hareketi ve sıvı – parçacık arayüzü dikkate alınmadı. Bunlar dikkate alınarak ileride daha kapsamlı bir çalışma yapılabilir.

7. KAYNAKLAR

Anoop, K. B., Sundararajan, T. and Das, S. K., “Effect of particle size on the convective heat transfer in nanofluid in the developing region”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(9-10), 2189-2195, (2009).

Anoop, K., Cox, J. and Sadr, R., “Thermal evaluation of nanofluids in heat exchangers”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 49, 5-9, (2013).

Azari, A., Kalbasi, M. and Rahimi, M., “CFD and experimental investigation on the heat transfer characteristics of alumina nanofluids under the laminar flow regime”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2), 469-481, (2014).

Baheta, A. T. and Woldeyohannes, A. D., “Effect of particle size on effective thermal conductivity of nanofluids”, *Asian Journal Scientific Research*, 6(2), 339-345, (2013).

Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*”, USA: John Wiley & Sons, 706, (2011).

Bianco, V., Manca, O., Nardini, S. and Vafai, K. (Eds.), “Heat transfer enhancement with nanofluids”, CRC Press, (2015).

Bulgurcu, H., “İklimlendirme ve Soğutmada Mikro-Mini Kanal Serpantinlerin Kullanımı”, (10 Temmuz 2019), <https://www.iskteknik.com/iklimlendirme-ve-sogutmada-mikro-mini-kanal-serpantinlerin-kullanimi>, (2019).

Cieslinski, Janusz T., and Tomasz Z. Kaczmarczyk. "Pool boiling of water-Al₂O₃ and water-Cu nanofluids on horizontal smooth tubes", *Nanoscale research letters* 220, 6.1, (2011).

Choi, S.U.S. and Eastman, J.A., “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”, *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, San Francisco, (1995).

Das, S. K., Choi, S. U. and Patel, H. E., “Heat transfer in nanofluids—a review”, *Heat transfer engineering*, 27(10), 3-19, (2006).

Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P. and Roetzel, W., “Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids”, *Journal of heat transfer*, 125(4), 567-574, (2003).

Genceli, O., F., Isı Eşanjörleri Ders Notları, İTÜ. Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, (1983).

Genceli, O.F., “Isı Değiştiricileri”, Birsen Yayınevi, İstanbul, (2005).

Gül, G., “Nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşüşünün belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2009).

Glazar, V., Frankovic, B. and Trp, A., “Experimental and numerical study of the compact heat exchanger with different microchannel shapes”, *International Journal of Refrigeration*, 51, 144-153, (2015).

Goharshadi, E.K. Ahmadzadeh, H. Samiee S. and Hadadian, M., “Nanofluids for heat transfer enhancement-a review”, *Phys. Chem. Res.*, 1 (1), 1-33(2013).

Gupta, A. and Kumar, R., “Role of Brownian motion on the thermal conductivity enhancement of nanofluids”, *Applied Physics Letters*, 91(22), 223102, (2007).

Hasan, M. I., Hasan, H. M. and Abid, G. A., “Study of the axial heat conduction in parallel flow microchannel heat exchanger”, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 26(2), 122-131, (2014).

Hamilton, R. L. and Crosser, O. K., “Thermal conductivity of heterogeneous two component systems”, *I&EC Fundam*, 1, 182–191, (1962).

Heris, S. Z., Esfahany, M. N. and Etemad, S. G., “Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(2), 203-210, (2007).

Ho, C. J. and Chen W. C., "An experimental study on thermal performance of Al₂O₃/water nanofluid in a minichannel heat sink ", *Applied Thermal Engineering*, 50(1), 516-522, (2013).

Hwang, K. S., Jang, S. P. and Choi, S. U., "Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al₂O₃ nanofluids in fully developed laminar flow regime", *International journal of heat and mass transfer*, 52(1-2), 193-199, (2009).

Ijam, A. and Saidur, R., "Nanofluid as a coolant for electronic devices (cooling of electronic devices)", *Applied Thermal Engineering*, 32, 76-82, (2012).

Jang, S. P. and Choi, S. U., "Role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids", *Applied physics letters*, 84(21), 4316-4318, (2004).

Jung, J. Y., Oh, H. S. and Kwak, H. Y., "Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(1-2), 466-472, (2009).

Kakac, S., Yener, Y. and Pramuanjaroenkij, A., "Convective heat transfer", CRC press, (2013).

Kandlikar, S. G. and Grande, W. J., "Evolution of microchannel flow passages--thermohydraulic performance and fabrication technology", *Heat transfer engineering*, 24(1), 3-17, (2003).

Kim, D., Kwon, Y., Cho, Y., Li, C., Cheong, S., Hwang, Y., Lee, J., Hong, D. and Moon, S., "Convective heat transfer characteristics of nanofluids under laminar and turbulent flow conditions", *Current Applied Physics*, 9(2), e119-e123, (2009).

Lee, S., Choi, S. S., Li, S. A. and Eastman, J. A., "Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles", *Journal of Heat transfer*, 121(2), 280-289, (1999).

Li, P., Zhang, D. and Xie, Y., "Heat transfer and flow analysis of Al₂O₃-water nanofluids in microchannel with dimple and protrusion", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 73, 456-467, (2014).

Maïga, S. E. B., Nguyen, C. T., Galanis, N. and Roy, G., “Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube”, *Superlattices and Microstructures*, 35(3-6), 543-557, (2004).

Maxwell, J.C., “A *Treatise on Electricity and Magnetism*”, 1, Oxford: Clarendon Press, 403, (1881).

Mohammed, H. A., Gunnasegaran, P. and Shuaib, N. H., “Heat transfer in rectangular microchannels heat sink using nanofluids”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(10), 1496-1503, (2010).

Mohammed, H. A., Bhaskaran, G., Shuaib, N. H. and Abu-Mulaweh, H. I., “Influence of nanofluids on parallel flow square microchannel heat exchanger performance”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(1), 1-9, (2011).

Nguyen, C. T., Roy, G., Gauthier, C. and Galanis, N., “Heat transfer enhancement using Al₂O₃–water nanofluid for an electronic liquid cooling system”, *Applied Thermal Engineering*, 27(8-9), 1501-1506, (2007).

Nimmagadda, R. and Venkatasubbaiah, K., “Conjugate heat transfer analysis of micro-channel using novel hybrid nanofluids (Al₂O₃+Ag/Water)”, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 52, 19-27, (2015).

Pak, B. C. and Cho, Y. I., “Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles”, *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151-170, (1998).

Prasher, R., Phelan, P. E. and Bhattacharya, P., “Effect of aggregation kinetics on the thermal conductivity of nanoscale colloidal solutions (nanofluid)”, *Nano letters*, 6(7), 1529-1534, (2006).

Roy, G., Nguyen C.T. and Lajoie P.R., "Numerical investigation of laminar flow and heat transfer in a radial flow cooling system with the use of nanofluids", *Superlattices and Microstructures*, 35(3-6), 497-511, (2004).

Ray, D. R., Das, D. K. and Vajjha, R. S., “Experimental and numerical investigations of nanofluids performance in a compact minichannel plate heat exchanger”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 732-746, (2014).

Steinke, M. E. and Kandlikar, S. G., “Single-phase liquid friction factors in microchannels”, *International Journal of Thermal Sciences*, 45(11), 1073-1083, (2006).

Tiwari, A. K., Ghosh, P. and Sarkar, J., “Performance comparison of the plate heat exchanger using different nanofluids”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49, 141-151, (2013).

Teng, T. P., Hung, Y. H., Teng, T. C. and Chen, J. H., “Performance evaluation on an air-cooled heat exchanger for alumina nanofluid under laminar flow”, *Nanoscale research letters*, 6(1), 488, (2011).

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”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 2665-2672, (2003).

Xuan, Y. and Roetzel, W., “Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 3701-3707, (2000).

Xuan, Y., Li, Q. and Hu, W., “Aggregation structure and thermal conductivity of nanofluids”, *Aiche Journal*, 49, 1038–1043, (2003).

Yu, W., France, D. M., Choi, S. U. S. and Routbort, J. L., “Review and Assesment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications”, *Argonne National Laboratory*, 1-78,(2007).

Yu, W. and Choi, S. U. S., “The Role of Interfacial Layer in the Enhanced Thermal Conductivity of Nanofluids: A Renovated Maxwell Model”, *Journal of Nanoparticles Research*, 5, 167–171, (2003).

Zhang, J., Diao, Y., Zhao, Y. and Zhang, Y., “Experimental study of TiO₂–water nanofluid flow and heat transfer characteristics in a multiport minichannel flat tube”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 79, 628-638, (2014).

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Hakan TÜZÜN

Doğum Yeri ve Tarihi : Dinar - 1983

Lisans Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektronik posta : ahtuzun@gmail.com

İletişim Adresi :Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
ALTSO MYO Kestel/Alanya