



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇ İÇE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE SU-  
hBN NANOAKIŞKANLARI KULLANILARAK  
ISIL PERFORMANSA VE BASINÇ  
DÜŞÜMÜNE ETKİLERİNİN DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**Süleyman PERÇİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2019**

**BATMAN**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Süleyman PERÇİN tarafından hazırlanan "İÇ İÇE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE SU-İBN NANAOKIŐKANLARI KULLANILARAK ISIL PERFORMANSA VE BASINÇ DÜŞÜMÜNE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ" adlı tez çalışması 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstit si Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri  yeleri

### İmza

#### Başkan

Prof.Dr.Hüseyin AYDIN

#### Danışman

Dr. gr. Üyesi Neğe Budak ZİYADANO  ULLARI

####  ye

Doc.Dr.Ahilla GENCER DEVECİO  LU

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Salma T GREK

FBE M dd r 

Bu  alışma, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi,  
Proje No:18.011 kapsamında desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I here by declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Süleyman PERÇİN

İmza:

Tarih:22/07/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# İÇ İÇE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE SU-hBN NANOAKIŞKANLARI KULLANILARAK ISIL PERFORMANSA VE BASINÇ DÜŞÜMÜNE ETKİLERİNİN DENEYSELİNCELENMESİ

SÜLEYMAN PERÇİN

Batman Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI

Yıl 2019, 97 Sayfa

## Jüri

**Dr.Öğr. Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI**

**Prof .Dr.Hüseyin AYDIN**

**Doc.Dr.Atilla GENCER DEVECİOĞLU**

Bu çalışmada, hekzagonal bor nitrür (hBN) nanoparçacıkları ile hazırlanmış olan nanoakışkanların iç içe borulu bir ısı değiştiricisinde kullanarak ısı performansına ve basınç düşümüne etkileri incelenmiştir. Deneyler, kararlı ve süspanse %0.01,%0.1ve %1 hacimsel konsantrasyonlardaki Su- hBN nanoakışkanları ile farklı debi değerlerinde ve Reynolds sayılarında, paralel ve karşıt akışlı olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Su-hBN nanoakışkanı kullanılan zıt akışlı ısı değiştiricisinde saf suya oranla toplam ısı transfer katsayısı bakımından %16.7 iyileşme sağladığını göstermiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde, hekzagonal bor nitrür nanoakışkanının soğuk akışkan olarak tercih edilmesi, saf suya göre ısı transferindeki artış bakımından karşıt akışlı ısı değiştiricisinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Nanoakışkan konsantrasyonlarının basınç düşüşüne etkisini araştırmak üzere aynı ve zıt yönlü paralel akış şartlarında deneyler yapılmıştır. Ayrıca farklı konsantrasyonlarda ve farklı Reynold sayılarında sistemin ekserji analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:**Hekzagonal bor nitrür (hBN)-su nanoakışkanı, İç içe borulu ısı değiştirici, Isı transferi, Basınç düşüşü

## **ABSTRACT**

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF WATER-hBN NANOFLUIDS ON THE THERMAL PERFORMANCE AND PRESSURE DROP OF CONCENTRIC TUBE HEAT EXCHANGER**

**Süleyman PERÇİN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI**

**Year 2019, 97 Pages**

**Jury**

**Asst. Prof. Dr. Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI**

**Prof .Dr.Hüseyin AYDIN**

**Doc.Dr.Atilla GENCER DEVECİOĞLU**

In this study, the effects of nanofluids prepared with hexagonal boron nitride (hBN) nanoparticles on thermal performance and pressure drop by using a nested pipe heat exchanger were investigated. The experiments were carried out in parallel and counter flow with different flow rates and Reynolds numbers with stable and suspended 0.01%, 0.1% and 1% volumetric concentrations of water-hBN nanofluids. The results showed that the counter-flow heat exchanger using water-hBN nanofluid improved 16.7% of total heat transfer coefficient compared to pure water. In the parallel flow heat exchanger, when the results were examined, the preference of hexagonal boron nitride nanofluid as cold fluid was higher than the counter current heat exchanger in terms of increase in heat transfer compared to pure water. The change in the total heat transfer coefficient calculated for the counter-flow heat exchanger according to the different nanofluid flow rate reached the highest value in the 1.5 lt / min flow rate compared to the pure water and the improvement was 16.7%. In addition, exergy analysis of the system at different concentrations and different Reynold numbers was performed.

**Keywords:**Pressure Loss,Concentric Tube Heat Exchanger, Heat Transfer, hexagonal boron nitride-water nanofluids

## ÖNSÖZ

Çalışma hayatım boyunca bana her zaman destek olan, bilgilerini, deneysel tecrübelerini esirgemeyen, ailemden biri gibi hissettiğim değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr.Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez jürimin diğer üyelerine katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların yapılmasında bilgisine başvurduğum Sayın Prof. Dr.Zeki ARGUNHAN'a teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışma, Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No:18.011 kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birim Yönetimi'ne teşekkür ederim. Her zaman yaşamımı kolaylaştıran ve hayatıma anlam katan aileme, sonsuz teşekkür ederim.

Eşanjör tasarımında bilgi ve terübelerine başvurduğum Ekin Endüstriyel mühendisi Ferhat KURALA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Süleyman PERÇİN  
BATMAN-2019

## İÇİNDEKİLER

|                                                                |      |
|----------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                     | iv   |
| ABSTRACT.....                                                  | v    |
| ÖNSÖZ .....                                                    | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....                                              | vii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                  | ix   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                           | xi   |
| ÇİZELGELER LİSTESİ .....                                       | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                 | 1    |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....                                    | 3    |
| 3. ISI DEĞİŞTİRİCİLER .....                                    | 14   |
| 3.1. Isı Geçiş Şekline Göre Sınıflandırma .....                | 15   |
| 3.2. Isı Geçiş Yüzeyine Göre Sınıflandırma .....               | 15   |
| 3.3. Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflandırma .....          | 15   |
| 3.4. Akış Düzenlemesine Göre Sınıflandırma .....               | 15   |
| 3.4.1. Tek geçişli ısı değiştiriciler .....                    | 16   |
| 3.4.1.1 Paralel akış düzenlemesi .....                         | 16   |
| 3.4.1.2. Karşıt akış düzenlemesi .....                         | 16   |
| 3.4.1.3. Çapraz akış düzenlemesi.....                          | 17   |
| 3.4.2. Çok geçişli ısı değiştiriciler .....                    | 17   |
| 3.5. Isı Değiştirici Konstrüksiyonuna Göre Sınıflandırma ..... | 18   |
| 3.5.1. Borulu ısı değiştiriciler .....                         | 18   |
| 3.5.2. Plakalı ısı değiştiriciler .....                        | 19   |
| 3.5.3. Genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiriciler .....          | 20   |
| 3.5.4. Dolgu maddeli ısı değiştiriciler.....                   | 20   |
| 3.5.5. Isı transferini iyileştirme yöntemleri.....             | 20   |
| 4. NANOAKIŞKANLAR.....                                         | 22   |
| 4.1. Partikül Madde ve Taban Sıvı .....                        | 24   |
| 4.2. Partikül Büyüklüğü .....                                  | 24   |
| 4.3. Partikül Şekli.....                                       | 24   |
| 4.4. Nanopartiküllerin Üretimi.....                            | 24   |
| 4.4.1. Nanoakışkanların üretimi.....                           | 25   |
| 4.5. Nanoakışkanların Tipleri .....                            | 26   |
| 4.5.1. CuO ve $Cu_2O$ bazlı nanoakışkanlar.....                | 27   |
| 4.5.2. Al ve $Al_2O_3$ bazlı nanoakışkanlar .....              | 27   |
| 4.5.3. $TiO_2$ bazlı nanoakışkanlar.....                       | 27   |
| 4.5.4. Nitrür seramikler.....                                  | 27   |
| 4.6. Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi .....   | 29   |
| 4.7. Nanoakışkanların Endüstriyel Uygulamaları.....            | 30   |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                           | <b>32</b> |
| 5.1. Deneysel Çalışma .....                                 | 32        |
| 5.1.1 Deney düzeneğinde kullanılan cihaz ve ekipmanlar..... | 34        |
| 5.1.1.1. Eş merkezli, İç İç Borulu Isı Değiştirici .....    | 36        |
| 5.1.1.2. Dijital sıcaklık göstergesi.....                   | 37        |
| 5.1.1.3. Su debimetresi.....                                | 38        |
| 5.1.1.4. Isıl çiftler.....                                  | 38        |
| 5.1.1.5. Sirkülasyon pompası.....                           | 39        |
| 5.1.1.6. Manometre .....                                    | 39        |
| 5.1.1.7. Elektromanyetik debimetre.....                     | 39        |
| 5.1.1.8. Termal kamera .....                                | 40        |
| 5.2. Ölçümler .....                                         | 41        |
| 5.2.1. Sıcaklık ölçümü .....                                | 41        |
| 5.2.2. Debi ölçümü.....                                     | 41        |
| 5.2.3. Basınç düşüşünün ölçümü .....                        | 42        |
| 5.2.4. Deneylerin yapılışı.....                             | 42        |
| 5.3. Nanoakışkanların Hazırlanması .....                    | 43        |
| 5.4. Isı Transferi ve Basınç Düşümü Analizi.....            | 43        |
| 5.4.1. İç Taraf Akışkanı İçin .....                         | 44        |
| 5.4.2. Halka Taraf Akışkanı İçin.....                       | 45        |
| 5.4.3. Basınç Düşümü Analizi .....                          | 46        |
| 5.5. Ekserji Analizi .....                                  | 41        |
| <b>6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA .....</b>             | <b>48</b> |
| 6.1. Nusselt Sayısı Grafikleri.....                         | 48        |
| 6.1.1. Paralel Akış.....                                    | 48        |
| 6.1.2. Zıt Akış .....                                       | 49        |
| 6.2. Toplam ısı transferi katsayısı grafikleri .....        | 50        |
| 6.2.1. Paralel akış .....                                   | 51        |
| 6.2.2. Zıt Akış .....                                       | 51        |
| 6.3. Basınç Düşümü Sonuçları.....                           | 52        |
| 6.3.1. Paralel Akış.....                                    | 53        |
| 6.3.2. Zıt Akış .....                                       | 55        |
| 6.4. Ekserji Analizi .....                                  | 57        |
| 6.4.1. Paralel Akış.....                                    | 57        |
| 6.4.2. Zıt Akış .....                                       | 60        |
| 6.5. Belirsizlik Analizi .....                              | 63        |
| <b>7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>                         | <b>67</b> |
| 7.1. Sonuçlar .....                                         | 67        |
| 7.2. Öneriler .....                                         | 68        |
| <b>KAYNAKÇA.....</b>                                        | <b>69</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                          | <b>78</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                       | <b>84</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A: Akış Alanı ( $m^2$ )

D: Test borusu çapı (m)

f : Sürtünme katsayısı

$h_K$  : Yük kaybı (m)

k : Isı iletim katsayısı ( W/ mK)

L: Test Borusu Uzunluğu (m)

Nu: Nusselt Sayısı

Pr : Prandtl Sayısı

$\phi$ : Hacimsel oran

$\mu$  : Akışkanın dinamik viskozitesi (kg/ms)

h : Ortalama ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ )

$\Delta P$  : Basınç Düşümü (Pa)

Q: Isı Miktarı (W)

V : Boru içindeki ortalama kesit hızı (m/s)

Re : Reynold sayısı

$C_m$  : Kütleli Debi

$C_p$  : Sıvının Özgül Isısı (J/kgK)

$C_v$ : Hacimsel oran

$D_h$ : Hidrolik Çap (m)

$Q_a$ : Alınan Isı Miktarı (W)

$Q_v$ : Verilen Isı Miktarı (W)

$T_{a_c}$ : İç borudan çıkan akışkanın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_{a_g}$ : İç boruya giren akışkanın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_c$ : Ortak cidar sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$p_p$  : Nanopartikülün yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

$p_l$ : Nanoakışkanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

$h_i$ : İç borunun ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ )

$h_o$ : Dış boru ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ )

$w_R$ : Toplam belirsizlik

$\nu$  : Kinematik viskozite ( $m^2/s$ )

$E_h$ : Sıcak akışkanın ekserji değişimi(W)

$E_c$ : Soğuk akışkanın ekserji değişimi(W)

$\eta$ : Ekserji verimliliği (%)

P: Pompa gücü(Kw)

$C_{p_h}$ : Sıcak akışkanın özgül ısısı (J/kgK)

$C_{p_c}$ : Soğuk akışkanın özgül ısısı (J/kgK)

$\Psi$ : Tersinmezlik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1: Isı değıştiricilerinin sınıflama türleri .....                                                               | 14 |
| Şekil 3.2.Tek geçişli ısı değıştiricide akış düzenlemesi. a) paralel akış, b) karşıt akış, .                            | 16 |
| Şekil 3.3.Çapraz akışlı ısı değıştiricilerde farklı akış şekilleri .....                                                | 17 |
| Şekil 3.4.Altı boru geçişi, üç gövde geçişi bulunan bir gövde borulu ısı değıştirici. ....                              | 17 |
| Şekil 3.5: Gövde borulu ısı değıştirici kesiti.....                                                                     | 19 |
| Şekil 3.6: Isı değıştirici çeşitlerinden plakalı ısı değıştiricisi .....                                                | 19 |
| Şekil 4.1. hBN-Su Nanoakışkanına ait elektron mikroskobu görüntüleri .....                                              | 22 |
| Şekil 4.2. hBN-Su nanoakışkanına ait STEM görüntüleri.....                                                              | 22 |
| Şekil 4.3: Nanoakışkanların tek aşamalı hazırlama işlemi. ....                                                          | 26 |
| Şekil 4.4: Nanoakışkanların iki aşamalı hazırlama işlemi.....                                                           | 26 |
| Şekil 4.5: a) Hegzagonal bor nitrür yapısı b) Grafit yapısı.....                                                        | 29 |
| Şekil 5.1: Deney Düzeneginin Şematik Gösterimi .....                                                                    | 34 |
| Şekil 5.2: Deney Düzenegi Elemanları.....                                                                               | 35 |
| Şekil 5.3: Deney Düzenegi Elemanları.....                                                                               | 35 |
| Şekil 5.4: Eş merkezli ısı değıştirici gösterimi .....                                                                  | 36 |
| Şekil 5.5: Deney setinde kullanılan dijital sıcaklık göstergesi .....                                                   | 37 |
| Şekil 5.6: Plastik tüplü şamandıralı debimetre .....                                                                    | 38 |
| Şekil 5.7: Soketli J tipi termokupul .....                                                                              | 38 |
| Şekil 5.8.Sirkülasyon Pompası .....                                                                                     | 39 |
| Şekil 5.9: Elektromanyetik debimetre .....                                                                              | 40 |
| Şekil 5.10.Testo 881 termal kamera .....                                                                                | 40 |
| Şekil 6.1. a)Hazır temin edilen %1 ,%0.1,%0.01 hBN nanoakışkanları. ....                                                | 43 |
| Şekil 6.2: Farklı konsantrasyonlarda Nusselt sayısı (Nu) ve Reynold(Re) sayısı ilişkisi .....                           | 49 |
| Şekil 6.3: Farklı konsantrasyonlarda Nusselt sayısı (Nu) ve Reynold sayısı(Re) ilişkisi .....                           | 50 |
| Şekil 6.4: Farklı Konsantrasyonlarda Reynold Sayısı (Re) ve Toplam Isı Transfer Kat sayısı ( $U_{top}$ ) değışimi ..... | 51 |
| Şekil 6.5: Farklı Konsantrasyonlarda Reynold Sayısı (Re) ve Toplam Isı Transfer Kat sayısı ( $U_{top}$ ) değışimi ..... | 52 |
| Şekil 6.6: Farklı konsantrasyonlarda Sürtünme faktörü (f) ve Reynold sayısı(Re) ilişkisi .....                          | 53 |
| Şekil 6.7: Farklı konsantrasyonlarda yük kaybı ( $hk$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi. ....                           | 54 |
| Şekil 6.8: Farklı konsantrasyonlarda Sürtünme faktörü (f) ve Reynold sayısı(Re) ilişkisi .....                          | 55 |
| Şekil 6.9: Farklı konsantrasyonlarda yük kaybı ( $hk$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi. ....                           | 56 |
| Şekil 6.10: Sıcaklık dağılımının ekserji kaybı üzerindeki etkisi .....                                                  | 58 |
| Şekil 6.11: Farklı konsantrasyonlarda Ekserji Kaybı (E) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi .....                           | 58 |
| Şekil 6.12: Farklı konsantrasyonlarda Ekserji Verimliliği ( $\eta$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi.....               | 59 |
| Şekil 6.13: Farklı konsantrasyonlarda Pompa Gücü (Kw) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi.....                              | 60 |
| Şekil 6.14: Farklı konsantrasyonlarda Ekserji kaybı (W) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi.....                            | 61 |
| Şekil 6.15: Farklı konsantrasyonlarda Ekserji Verimliliği ( $\eta$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi.....               | 62 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 6.16: Farklı konsantrasyonlarda Pompa Gücü ( $K_w$ ) ve Reynold sayısı ( $Re$ ) ilişkisi ..... | 63 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ÇİZELGELER LİSTESİ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1: hBN'in bazı fiziksel özellikleri .....                                                                  | 28 |
| Çizelge 4.2: hBN'nin bazı mekanik özellikleri .....                                                                  | 28 |
| Çizelge 4.3: Hekzogonal bor nitrürün diğer kullanım alanları: .....                                                  | 29 |
| Çizelge 5.1.Suyun ve kararlı süspansiyon hBN-su nanoakışkanının termofiziksel özelliklerinin karşılaştırılması:..... | 33 |
| Çizelge 5.2. Deney setinde kullanılan dijital sıcaklık göstergesine ait özellikler.....                              | 37 |
| Çizelge 5.3.Deney setinde kullanılan su debimetresine ait özellikler .....                                           | 38 |
| Çizelge 5.4.Deney setinde kullanılan Testo 881 Termal Kamera Özellikleri .....                                       | 41 |
| Çizelge 6.1. Toplam Belirsizlik: .....                                                                               | 66 |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan enerji talebine karşın, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması bilim insanlarını alternatif enerji kaynakları bulma ve mevcut enerji kaynaklarını daha verimli kullanma konusunda çalışmalar yapmaya itmiştir. Çünkü yaşam standartlarındaki artış, gelişmekte olan ülkelerde sanayinin sürekli artan enerji isteği; buna karşın yetersiz kaynaklar ve bu ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanması düzeyinde meydana gelen ciddi ekonomik sıkıntılar bu tarz bilimsel çalışmaları birincil ihtiyaç haline getirmiştir(Turan ve Dağdaş,2010). Bu problemi çözmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını daha aktif kullanma ve alternatif enerji kaynakları bulma konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 2011 dünya enerji üretimi verilerine göre fosil yakıtlar % 82 ile halen birinci sırada yer almaktadır. Fosil yakıtları; %11 ile yenilenebilir enerji kaynakları ve %5 ile de nükleer enerji kaynakları izlemektedir. 2020 yılına ait enerji senaryosunda fosil yakıtların payının %76'ya kadar düşeceği öngörülse de mevcut durum bize göstermektedir ki, fosil yakıtları daha verimli kullanmak elimizdeki sınırlı kaynağı daha yavaş tüketmemizi sağlayacaktır. Bu sebeple, sanayide birçok farklı süreçte kullanılan ısı değiştiricilerin ısıl performansını yükseltmek de enerji verimliliği açısından büyük önem arz etmeye başlamıştır. Bu çalışmalar bilim insanlarını ısı transferini güçlendirme konusunu daha derinden irdelemeye yöneltmiş ve nihayetinde bu konuda yapılmış ciddi oranda bir araştırma sahası oluşmuştur(Manay ve ark.,2010). Isı transferini artırmaya yönelik arayışlar endüstriyel gelişmelere paralel olarak artarak devam etmektedir. Isı transferi iyileştirme teknikleri, aktif, pasif ve karma prosesler olarak sınıflandırılabilir. Aktif prosesler, dış güç kaynağının kullanılmasını mecburi olarak gerektiren, ısı transferi yapılan akışkana veya ortama ek enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlayan proseslerdir. Akışkan titreşimi, yüzey titreşimi, akışın mekanik parçalar ile karıştırılması, yüzeyin döndürülmesi, enjeksiyon gibi yöntemler aktif proses uygulamalarıdır. Pasif prosesler, ilave enerji gerektirmeyen ısı transferindeki iyileşmeyi sağlayan yöntemlerdir. İşlenmiş yüzeyler, pürüzlü yüzeyler, genişletilmiş yüzeyler, dönmeli akış elemanları, borunun içine yerleştirilen iyileştirme elemanları pasif yöntemlere iyi birer örnek teşkil ederler. Karma yöntemlerde ise aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlası birlikte kullanılmaktadır.

Isı değiştiricilerinde kullanılan klasikleşen ısı transferi akışkanları su, etilen glikol (antifriz) ve motor yağı gibi akışkanlardır. Fakat bu akışkanların ısı transferi üzerindeki performansları ve sağladıkları verimler dūřuktur. Bu durum akışkan verimlerinin yetersiz olmasından kaynaklı ısı değiştiricilerde az kullanılmasına sebep olmakta, ısı değiştiricisinin boyutlarının kūçūlmesini, az yer kaplayan formda olmasını engellemekte ve üretici ağısından ekonomik dezavantaj oluşturmaktadır. Bu tezin amacı eř merkezli iç içe borulu, paralel ve karşıt akışlı ısı değiştiricisinde hekzagonal bor nitrür-Su nanoakışkanın ısı değerlerini iyileştirerek ısı performansının iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Literatürde nanoakışkanlar ile ilgili özellikle son yıllarda çok fazla araştırma ve literatür ęalıřması bulunmaktadır. Ancak hBN-Su nanoakışkanının ısı değiştiricinde ısı transferinin artırmaya yönelik bir ęalıřma yapılması fikri yeni bir dūřünce ürünü olmakla beraber ;yüksek ısıl iletkenlik, yüksek özgöl ağırlık, mükemmel yağlayıcılık, üstün elektrik yalıtkanlık, Uv(ultraviyole) ışınlarını yansıtmaması, toksit olmaması, yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı gibi üstün özellikleri ile bu ęalıřma için tercih edilmiştir. Ayrıca dünya bor madeni rezervlerinin %70'inde ūlkemizde bulunduğu dūřünölerek, bu ęalıřmada ısı transfer akışkanı olarak Hekzagonal bor nitrür –Su nanoakışkanı kullanılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde nanoakışkanlarla ilgili yapılmış literatürdeki önemli çalışmalardan detaylı olarak bahsedilecektir. Nanoakışkanların ısı transferi üzerindeki sonuçlarını daha iyi anlayabilmek için, nanoakışkanların sahip olduğu başlıca termofiziksel özellikleri bilmek gerekmektedir. Isı değiştiricilerde kullanılan gelenekselleşen ısı transferi akışkanlarının içerisinde, farklı boyutlardaki katı partiküllerin süspansiyon edilmesi düşüncesini ortaya koyan Maxwell'in teorik çalışması bundan yaklaşık 100 yıl önce yayınlanmıştır(Wang ve Mujumdar,2006). Ancak mikrometre boyutundaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlar istenen sonuçları pek vermezler, daha az kararlı özellikler gösterirler ve mikro kanalları tıkarlar. Dolayısıyla istenilen deneysel sonuçlara ulaşılma isteği önünde büyük engeller teşkil ederler ve endüstriyel uygulamalarda pek tercih edilmezler. Son yıllarda malzeme bilimindeki uzun soluklu Ar-Ge çalışmaları sonucunda istenilen noktalara gelindikten sonra, nanometre boyutunda partiküller üretilmiş ve akışkan içine partiküllerin eklenmesi fikri tekrar bilim adamları tarafından araştırılan bir konu haline gelmiştir.

Nanometre boyutlarındaki partiküllerle yapılan ilk deneysel çalışmalar, Argonne National Laboratuvarında yapılmış, fakat nanometre boyutunda partikül içeren sıvıları nanoakışkan olarak isimlendiren ilk araştırmacı Choi olmuştur. Bu çalışmalarla birlikte nanoakışkanların, ısı transferini iyileştirmesi konusunda büyük bir potansiyeli olduğu keşfedilmiş ve bu alanda oldukça geniş bir literatür sahası oluşmasına neden olmuştur.

Eastman ve ark.,(1997) %0.5 hacimsel oranlı parçacık yüzdeli su bazlı  $Al_2O_3$  ve CuO nanoakışkanların ısı iletkenliğinin baz akışkana oranla sırasıyla %29 ve %60 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Pak ve Cho,(1998) yaptıkları çalışmada dairesel kesitli çelik bir tüp içinden, parçacık boyutu 13 nm olan  $Su-Al_2O_3$  ve nanoparçacık boyutu 27 nm olan  $Su-TiO_2$  nanoakışkanlarının tam gelişmiş türbülanslı akışında taşınım ısı transfer davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Nusselt sayısının hem hacimsel parçacık oranı hem de Reynolds sayısının artmasına bağlı olarak arttığını; ancak nanoakışkanın konvektif ısı transfer katsayısının, %3 hacimsel parçacık oranında saf suyunkinden %12 daha küçük olduğu (sabit ortalama hız şartı ile) tespit edilmiştir.

Choi ve ark.,(1999) tarafından yapılan deneysel çalışmada, suda, makine yağında, etilen glikol ve sıvı vakum pompası içinde kararlı bir yapıda süspansiyon edilen  $Al_2O_3$  ve Cu nanopartiküllerini kullanarak akışkanların termal iletkenliğini

incelemişlerdir. Deneyler sonucunda, nanopartikül ve akışkan karışımlarının artmasıyla beraber termal iletkenliklerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Nanopartiküllerin katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi üzerindeki performansı üzerine önemli derecede etki yapmakta ve bu etki sonucunda ısı transferini iyileştiren özelliklerden bahsetmişlerdir (Xuan ve Li,2000).

Nanoakışkanların uygun şekilde kararlı bir biçimde süspanse edilmesi ve homojen bir yapıda hazırlanması, akışkanın ısı transferi performansını değiştirmek için uygulanan ilk ve en önemli adımdır. Nanoakışkan gelişigüzel hazırlanacak bir karışım değildir. Nanoakışkan hazırlanırken partiküllerin mümkün olduğu kadar az topaklandığı ve akışkanın kimyasal yapısının değişmediği, fiziksel özelliklerinin belli bir oranda değiştiği kararlı ve süspanse karışım olarak değerlendirmenin uygun olduğunu belirtmişlerdir(Xuan ve Li,2000).

Khanafer ve ark.,(2003) su bazlı süspanse bakır nanoakışkan içeren bir kapalı ortamda doğal konveksiyonu gözlemlemiş ve %20 hacimsel parçacık oranında ısı transferinde %25'e varan artışlar ortaya çıkarabileceğini ifade etmişlerdir.

Xuan ve Li, (2003) laminar ve türbülanslı akım şartlarında, sabit ısı akısında düz boru boyunca akış gösteren Cu-Su süspanse nanoakışkanının konvektif ısı transferi ve akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel uygulamalardan elde edilen sonuçlar,kararlı olarak süspanse edilen nanopartiküllerin,iş yapan akışkanın ısı transferi üzerindeki performansını artırdığı ve sürtünme faktörünün suyun ki ile benzer olduğunu göstermiştir(Pak ve Cho ,1998; Xuan ve Li,2003). Bu durumu konvektif ısı transferi artışının süspanse edilen nanopartiküllerin dağılımından kaynaklı olduğu sonucuna varmışlardır.

Wen ve Ding,(2004) laminar akış tüpleriyle yaptıkları birdizi deneyler sonunda lokal ısı transfer katsayılarında hacimsel parçacık oranı 0.016 olan nanoparçacıklarda, sırasıyla  $Re = 1050$  ve  $1600$  için %41 ve %46 artış belirlenmiştir.

Wen ve Ding,(2004) laminar akım rejiminde,  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanın konvektif ısı transferini bir dizi deneyler yaparak incelemişlerdir. Laminar akım rejiminde  $Al_2O_3$ -su süspanse nanoakışkanının kullanılması konvektif ısı transferi üzerinde önemli bir oranda artış sağladığı, bu artışın Reynolds sayısı ve hacimsel partikül konsantrasyonun artışına bağlı olarak daha da arttığını tespit etmişlerdir.

Maiga ve ark.,(2005) tarafından 0.01 m çapında ve 1 m uzunluğunda düzenli olarak ısıtılan dairesel bir boruda su bazlı  $Al_2O_3$  ve etilen glikol bazlı  $Al_2O_3$  nanoakışkanlarının hem türbülanslı hem de laminar rejim şartları için ısı transferini

deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlar etilen glikol-su süspanse ve kararlı nanoakışkan ve  $Al_2O_3$ -Su süspanse ve kararlı nanoakışkan için mukayeseler yapılmıştır. Isı transferindeki artışın Glikol-Su nanoakışkan için daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Yang,(2005) Grafit içerekl nanoakışkanların ısı transferi performansını araştırmıştır. Çalışmalar dairesel bir boru içerisinde, laminar akım rejiminde değerlendirilmiştir. Laminar akışta, sistemin ısı transferi katsayısının nanopartikül eklenmesine paralel olarak arttığını belirlemiştir.

Nguyen ve ark.,(2006) kapalı bir ortam içine su bazlı  $Al_2O_3$  süspanse ve kararlı nanoakışkan dağıtarak ısı transferinin iyileşmesini ve karakteristiğini deneysel olarak araştırmışlardır. Türbülanslı akış rejiminde kayıt altına alınan deneysel veriler, nanoparçacıkların ve nanoparçacık ilavesine bağlı olarak konvektif ısı transfer katsayısını artırdığını göstermiştir. %6.8 hacimsel nanoparçacık oranlı nanoakışkanın ısı transfer katsayısını baz akışkana oranla %40 arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca hacimsel parçacık oranının artmasına bağlı olarak ısı transfer katsayısının azaldığı tespit edilmiştir.

Nanoakışkan; iş yapan akışkanın ısı transferi özelliklerini önemli derecede katkıda bulunan, klasik akışkan içine dağıtılmış çok ince partiküllerin kararlı süspanسیونudur. Basınç düşümünde çok az miktarda artışa sebep olduklarından pratik ısı değiştirici uygulamalara ve endüstriyel çalışmalara son derece uygun olabilecekleri çıkarımına varılmıştır. Çok küçük tane boyutlarındaki partiküller (16–60 nm) akışkan içerisinde çok iyi ve kararlı bir şekilde süspanse edildiğinde, ortaya çıkan akışkan katı-sıvı karışımından çok, tek fazlı ve aynı özellikli yeni bir nanoakışkan gibi davranmaktadır(Daungthongsuk ve Wongwies ,2007).

Duangthongsuk ve Wongwises,(2007) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda ısı transfer katsayısını belirlemek ve tahmin etmek için termofiziksel özellik modellerinin etkilerini incelemiştir. Laminar akışta, nanoakışkanın ısı transfer performansı ve sürtünme karakteristiklerini araştırmışlardır. %0.2 hacimsel oranlı  $TiO_2$  nanopartikülleri su içerisine katılarak süspanse ve kararlı nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Sonuçlar nanoakışkanların tahmin değerleri üzerinde çeşitli termofiziksel modellerinin gözlenebilir, önemli derecede etkileri olmadığını göstermiştir. Nanoakışkanın ısı transfer katsayısının suyunkinden yaklaşık olarak %6-%11 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Nanoakışkanın ısı transfer katsayısının değişimleri sıcak akışkanın ve nanoakışkanın kütleli debisinde ki artışla bağlı olarak arttığı, nanoakışkanın

sıcaklığında ki düşüşle bağlı olarak ise azaldığı tespit edilmiştir. Sıcak akışkanın sıcaklığının nanoakışkanın ısı transfer katsayısı üzerinde önemli, gözlenebilir derecede bir etkisinin olmadığı ve nanoakışkanın, basınç düşümünde de çok az bir artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir.

He ve ark.,(2007) viskozitenin partikül oranının artışına bağlı olarak arttığını söylemişlerdir. 3 farklı nanoapartikül boyutu için yapılan çalışmada; (95nm, 145nm, 220nm)  $TiO_2$ -Saf Su süspanse kararlı nanoakışkanlarının farklı konsantrasyonda viskoziteye olan etkilerini incelemişlerdir. Nanoakışkanın viskozitesinin partikül çapının artışına bağlı olarak arttığı sonucuna varılmıştır.

Duangthongsuk ve Wongwises, (2008) iç içe borulu ısı değiştiricisinde, % 0.2 hacimsel oranında nanopartikül içeren  $TiO_2$ -Su'dan oluşan süspanse ve kararlı nanoakışkan karışımının akış karakteristiklerini ve ısı transferine üzerinde olan etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada nanoakışkanın konvektif ısı transferi katsayısının temel akışkanınkinden yaklaşık olarak %6-%11 daha fazla olduğu ve basınç düşümü üzerinde az da olsa bir artış olduğu belirlenmiştir. Konvektif ısı transferi katsayısındaki artışın nedenleri konusunda birtakım mantıksal çıkarımlarda bulunmuşlardır.

- Süspanse edilen nanopartiküller karışımın ısı iletkenliğini artırır.
- Nanopartiküllerin hareketinden kaynaklanan büyük bir enerji prosesi olur.

Anoop ve ark.,(2009) partikül boyutunun, konvektif ısı transferi katsayısı üzerindeki etkilerini kavrayabilmek için sabit ısı akısında, boru akışının gelişen bölgesinde,  $Al_2O_3$  -Su süspanse nanoakışkanını kullanarak birtakım konvektif ısı transferi deneyleri yapmışlardır. Çalışmada kullanılan nanopartikül boyutu 45 nm ve 150 nm'dir. 45 nm boyutunda nanopartikül içeren nanoakışkanın ısı transferi katsayısının, 150 nm nanopartikül içeren nanoakışkana kıyasla ısı transfer katsayısının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Nanoakışkanın konvektif ısı transferi katsayısında ki bu artışın ısı iletkenlik artışının dışında, ısı dağılım veya partikül göçü gibi nedenlerden kaynaklı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Chen,(2009) Titanat nano tüpleriyle yaptığı deneysel çalışmada, ısı iletkenlikle mukayese edildiğinde, konvektif ısı transferinde ki artışın çok daha fazla olduğu ve bu artışın nanotüp konsantrasyonuyla, Reynolds sayısı ve eksenel mesafeyle ilişkili olduğunu söylemişlerdir. Verilen nanotüp konsantrasyonunda ve Reynolds sayısında, ısı transferindeki artışın en fazla nanoakışkanın giriş bölgesinde olduğu, bu artışın artan

eksenel mesafeye bağılı olarak azaldığı; tam gelişmiş akımda ise sabit bir değere ulaştığı tespit edilmiştir. Konvektif ısı transferi katsayısının gözlemlenen bu belirgin artışta nanopartikül şeklinin önemli bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Sharma ve ark.,(2009) boru içerisinde, akışın geçiş alanının altında, bükülmüş şerit ekler ile akan  $Al_2O_3$ -Su süspanse nanoakışkanının ısı transfer katsayısını ve sürtünme faktörünü değerlendirmek için birtakım deneysel çalışmalar yapmışlardır. Su ile mukayese edildiğinde  $Al_2O_3$ -Su süspanse ve kararlı nanoakışkanın konvektif ısı transferinde önemli bir artış olduğunu belirlemişlerdir. Bunun, nanoakışkanın ısıl iletkenliğinin ve viskozitesinin suyunkinden daha yüksek olması ile doğrudan ilişkisi olduğunu savunmuşlardır. Isı transferini karşılaştırmak için bükülmüş şerit kullanılmasını, boş boru içerisinde nanoakışkan kullanılmasıyla mukayese edilmiş ve sonuç olarak bükülmüş şerit kullanılmasının daha yüksek ısı transferi sağladığı çıkarımına varmışlardır.

Yu ve ark.,(2009) SiC-Su süspanse kararlı nanoakışkanının, türbülanslı akım rejiminde ısı transfer hızını ölçmüşlerdir. Boyutu 170 nm olan SiC nanopartikülünün nanoakışkan içerisinde ki hacimsel konsantrasyon oranı %3.7'dir. Isı transfer katsayısı değişimi sabit Reynolds sayısında, temel akışkan olarak kullanılan su ile mukayese edildiğinde, nanoakışkanın ısı transfer katsayısının temel akışkan olarak kullanılan suyun ısı transfer katsayısından %50 ile % 60 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Partikül şeklinin nanoakışkanların viskozitesi üzerine olan etkilerini ise az da olsa inceleyen literatür çalışmaları mevcuttur. Timofeeva ve ark.,(2009) yaptıkları çalışmada nanopartikül şeklinin ve boyutunun viskozite üzerindeki etkilerinin çok güçlü olduğunu deneysel verilerle tespit etmişlerdir.

Bianco ve ark.,(2010) türbülanslı zorlanmış konveksiyonda, dairesel bir boru içerisinde su bazlı  $Al_2O_3$  süspanse ve kararlı nanoakışkanın akışını sayısal olarak incelemişlerdir. Parçacık boyutu 38 nm olan, su bazlı  $Al_2O_3$  nanoakışkanının konvektif ısı transfer katsayısının, baz akışkana oranla daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Hacimsel parçacık oranının ve Re sayısının artan değerlerinde ısı transferinde paralel olarak arttığını tespit etmişlerdir.

Fotukian ve Esfahany,(2010a) dairesel boru boyunca akan CuO-Su kararlı süspanse nanoakışkanının (partikül hacimsel oranı %0.24'den daha az) türbülanslı akım rejiminde, ısı transferi performansını ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Isı transferi katsayısında ortalama iyileşme %25, basınç düşümündeki artış ise %20'dir. Çalışmada ısı transferi katsayısındaki artışı, nanopartikülün mevcut varlığından, cidardan boru

içerisinde akan nanoakışkana olan birikmiş ısı enerji transferinin doğal bir sonucu olduğu çıkarımıyla izah etmişlerdir. Aynı çalışma grubu Fotukian ve Esfahany (2010b) dairesel boru içerisinde  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanının, türbülanslı akış konvektif ısı transferi karakteristiğini ve basınç düşümünü incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada ısı transfer katsayısındaki iyileşmenin ortalama %45 olduğu, basınç düşümünün ise %30 olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın CuO-Su nanoakışkanında ki artış için belirttikleri nedenlerden kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Patel ve ark.,(2010) yaptıkları deneysel çalışmada nanoakışkanların ısı iletkenliklerini ölçmüş ve nanoakışkanın ısı iletkenliğinin partikül boyutuyla ve sıcaklıkla ilişkisini araştırmışlardır. Nanoakışkan kullandığı durumda, ısı iletkenliğinin çok fazla arttığını ve bu artışın mevcut Maxwell modeliyle tahmin edilemeyeceğini belirtilmişlerdir. Ayrıca deneysel çalışmada ısı iletkenliğinin sıcaklığa ilişkili olduğu, partikül boyutuyla ters orantılı bir ilişkili olduğu çıkarımına varılmıştır.

Sundar ve Sharma,(2010b) dairesel boru içerisinde yatay şerit ve düşük hacimsel oranlı partiküller içeren  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanını kararlı ve süspanse şekilde bir araya getirerek, ısı transferi artışını belirlemek ve gözlemek için bir dizi deneysel çalışma yapmışlardır. Nanoakışkan ve su birtakım özellikler açısından mukayese edildiğinde, nanoakışkanın içerisine yatay şeritin takılmasıyla ısı transfer katsayısının daha da arttığı deneysel verilerle belirlenmiştir.

Bianco,(2011) Türbülanslı zorlanmış konveksiyonda, dairesel bir boru içerisinden su bazlı  $Al_2O_3$  nanoakışkanın akışını suya göre mukayese ederek sayısal olarak incelemiştir. Parçacık çapı 38 nm olan su bazlı  $Al_2O_3$  nanoakışkanının konvektif ısı transfer katsayısının, baz akışkana göre daha yüksek olduğunu saptanmıştır. Hacimsel parçacık oranının ve Re sayısının artan değerlerine bağlı olarak ısı transferinin de arttığı ifade edilmiştir.

Demir ve ark.,(2011) çift borulu çapraz akışlı ısı değiştiricisinde, suyun içerisine  $TiO_2$  ve  $Al_2O_3$  nanopartiküllerinden oluşan süspanse ve kararlı ve süspanse nanoakışkanlar hazırlamışlardır. Deneysel sonuçlar, nanoakışkan kullanımının ısı transfer kabiliyeti üzerinde etkilerinin çok ciddi bir biçimde olduğunu göstermiştir. Hacimsel konsantrasyonun artışına bağlı olarak bu artışın daha da artacağı, fakat daha fazla basınç düşümünün olacağı ifade edilmiştir. Sonuç olarak nanoakışkan seçilirken, basınç düşümünde ve ısı transferinde ki artışta göz önünde bulundurularak bunları tolere edecek akıllıca ve pratik çözümler bulunması gerektiği ifade edilmiştir.

Sucu,(2011) yaptığı deneysel tez çalışmasında farklı açılara sahip eğrisel borularda ısı geçişi ve basınç kayıp karakteristiklerini nanoakışkan kullanarak deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada Re değeri 4000-100000 bandında değişmektedir. Eğrisel boruların açıları sırayla şu şekildedir;  $0^\circ$  (düz boru),  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  ve  $180^\circ$  arasındadır. Elde edilen sonuçlara göre;  $Al_2O_3$  nanoakışkanlarının  $180^\circ$  eğrilik açılı kıvrımlı boruda en iyi ısı performanslarına sahip oldukları gözlemlenmiştir.

Suresh ve ark.,(2011c);Suresh ve ark.,(2012a) tarafından yapılan çalışmada laminer ve geçiş akışında, sabit ısı akısı sınır şartında, düz dairesel boru içerisinde helisel (sarmal) vida şeritle  $Al_2O_3$ -Su ve CuO-Su süspanse nanoakışkanlarının ısı performansları mukayese edilmiştir. Sarmal vida şerit kullanıldığında, CuO-Su nanoakışkanın  $Al_2O_3$  nanoakışkanına kıyasla daha fazla artış göstermesinin nedenini, yüzey alanının hacmine oranının daha fazla olması ve CuO nanopartiküllerinin ısı iletkenliğinin  $Al_2O_3$  nanopartikülüne kıyasla daha fazla olmasından kaynaklı olduğu mantıksal çıkarımıyla ifade etmişlerdir.

Laminer akışlarda viskozite basınç düşümüyle doğrudan ilişki halindedir. Konvektif ısı transfer katsayısı viskoziteden doğrudan etkilenir. Bu sebeple viskozite de mühendislik sistemleri için ısı iletkenlik kadar önem arz etmektedir (Mahbubul,2012). Akışkan içerisine partikül ilavesi ısı iletkenliği,beraberinde akışkan viskozitesini de artırmakta olduğu belirlenmiştir. Mühendislik çalışmalarında ve literatür çalışmalarında nanoakışkanların taşınımıyla ısı transferi ve faz değişim davranışlarını açıklamaya yönelik birçok deneysel çalışma ve literatür araştırması mevcuttur. Taşınımıyla ısı transferini artırmaya yönelik konvansiyonel pasif iyileştirme tekniklerinde, dışarıdan sistem içerisine entegre edilen türbülans üreteçlerinin akış kaynaklı titreşimlere sebep olduğu daha önceki literatür çalışmalarında belirlenmiştir. Türbülans üreteçleri kullanılarak, nanoakışkan içeren ısı değiştiricilerin karakteristik davranışları da araştırmacılar tarafından son yıllarda araştırma konusu olmuştur.

Suresh ve ark.,(2012b) yaptıkları çalışmada sabit ısı akısında, tamamen gelişmiş türbülanslı bölgede, içerisinde yay şeklinde çubuk kullanılan  $Al_2O_3$ -Su süspanse ve kararlı nanoakışkanının konvektif ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerini gözlemlemek, ısı transferi oranında ve cidar sürtünmelerinde artış oranını belirlemek adına bir dizi deney yapmışlardır. Yay şeklinde çubuk kullanılan nanoakışkanın boş boruya oranla karşılaştırıldığında, Nusselt sayısının yaklaşık %10 ile %48, türbülanslı akış için basınç düşümünün ise %2 ile %8 aralıklarında artmış olduğunu tespit etmişlerdir.

Bedir,(2013) sabit ve üniform ısı akılı yatay bir boruda temel akışkanı su olan farklı hacimsel konsantrasyonlarda oluşturulan iki farklı süspanse nanoakışkanın (su- $Al_2O_3$  ve su-CuO) zorlanmış türbülanslı akışı ve ısı transfer karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Her iki nanoakışkan tipinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hacimsel konsantrasyon artışına bağlı olarak ısı transferi katsayısının suya göre daha da çok arttığı belirlenmiştir. Nanoakışkanların ısı transferinin iyileşmesi hacimsel konsantrasyon ve Reynolds sayısının artmasıyla birlikte arttığı sonucuna varılmıştır. %4 hacimsel konsantrasyonda CuO içeren nanoakışkanın ısı transfer iyileşme oranı  $Al_2O_3$  içeren nanoakışkanından daha fazla olduğu deneysel sonuçlarda görülmüştür. % 4 hacim oranına sahip CuO nanoakışkanı için Reynolds sayısı 20000’de temel akışkan suya göre ısı transfer katsayısındaki artış oranı yaklaşık % 31 ve  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanı için % 21’dir. Bu durumun CuO nanoakışkanın partikül çapının  $Al_2O_3$  nanoakışkanına göre daha düşük olmasından kaynaklı olduğu, bundan dolayı CuO nanoakışkanın ısı transfer yüzeyinin daha büyük olması olduğu mantıksal çıkarımına varmışlardır.

Geliş,(2013) eş merkezli dairesel bir ısı değiştiriciye bir tanesi düz şerit diğeri bükülmüş şerit olmak üzere iki adet türbülatorü uygun bir biçimde koyarak yapmış olduğu deneysel tez çalışmasında akışkan olarak saf su, 2 farklı konsantrasyonda (% 0.4 ve %0.8) hacimsel konsantrasyonda  $Al_2O_3$ -Su kararlı ve süspanse nanoakışkanını kullanmıştır. Elde edilen veriler ışığında % 0.4  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanı yüzde 14.5 artış görülürken, % 0.8  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanın da yüzde 27 artış görülmüştür. Düz şerit türbülator ısı transferindeki iyileşme % 19 iken bükülmüş şeritte ise % 27 iyileşme sağladığı görülmüştür.

Prasd ve ark.,(2015) yaptıkları bir dizi deneysel çalışmada farklı bir yöntemle ikizkenar yamuk bükümlü şerit çift borulu bir ısı değiştiriciye ısı transferini artırmak için kararlı ve süspanse  $Al_2O_3$  nanoakışkanını koyarak deneyler yapmışlardır. Isı transfer katsayısının artan nanoakışkan derişimine paralel olarak saf suya kıyasla %34.24 arttığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, saf su kullanımına kıyasla sürtünme katsayısının nanoparçacık artışına paralel olarak 1.29 kata kadar arttığı tespit edilmiştir.

Sundan ve ark.,(2017) yaptıkları deneysel bir dizi deneysel çalışmada düz ve spiral tel yapısının mevcut olduğu çift U borulu bükümlü ısı değiştiricisinde  $Fe_3O_4$  nanoakışkanı kullanarak ısı transferine ve basınç düşümü karakteristiklerini incelemiştir.

Manay,(2014) tez çalışmasında, metalik partiküllerden oluşturulan su bazlı nanoakışkanların sabit ısı akısı sınır şartlarında mikro kanallarda ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiğine olan etkilerini araştırmıştır.  $TiO_2$  metal nanopartiküllerin ısı yapan akışkan seçilen saf su içerisine beş ayrı konsantrasyon oranlarda ( $\phi=0.0025, 0.005, 0.01, 0.015$  ve  $0.02$ ) katılmasıyla nanoakışkanlar hazırlanmış ve akış hızı ( $U=0.065-1.65$  m/s), hacimsel oran ve kanal yüksekliği ( $H=200 \mu m, 300 \mu m, 400 \mu m$  ve  $500 \mu m$ ) gibi parametrelerin ısı transferi ve basınç düşümüne etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Laminar rejim akışında ve kararlı hal şartlarında, hem saf su hem de su- $TiO_2$  nanoakışkanı için kanal yüksekliği azaldıkça ısı taşınım katsayısının arttığı tespit edilmiştir.

Karabulut,(2015) yapmış olduğu deneysel çalışmada,süspanse edilen Grafen oksit-Su (GO) nanoakışkanı dört farklı çaptaki boru için de kullanırken ilgili deneyler, yalnızca 8 mm iç çapa sahip boruda çalışılmıştır. Grafen oksit-Su ve MWCNT-Su nanoakışkanları için kullanılan hacimsel konsantrasyonlar sırasıyla % 0.01, % 0.02 ve % 0.1' dir. Deneyler sırasıyla 0.9 l/dak., 1.2 l/dak., 1.5 l/dak. ve 1.8 l/dak. (laminerden türbülansa) olmak üzere dört farklı hacimsel debi ile deneyler yapılmış ve sırasıyla  $D_{ic}=20$  mm ve  $D_{ic}=8$  mm çaplı borular için kullanılmış, min. ve max. ısı akısı değerleri  $1811.873 \text{ W/m}^2 - 7247.492 \text{ W/m}^2$  olmak üzere üç farklı ısı yükü değeri (250 W, 350 W ve 500 W) üzerinden deneyler yapılmıştır. Deneysel araştırmalar, MWCNT-saf su ve GO-saf su nanoakışkanlarının nanoparçacıklarının dört ayrı boru çapı için boru içindeki hareketlerinin ısı transferi ve yük kaybı (basınç düşüşü) üzerinde mevcut etkisini gözlemleyebilmek için kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, sayısal sonuçlarla mukayese edilmiştir.

Kılınç,(2015) nanoakışkan kullanımının oto radyatörlerin ısı aktarım performansına üzerindeki sonuçlarını incelemiştir. Deneyleri farklı akışkan giriş sıcaklıklarında ( $36^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}$  ve  $44^\circ\text{C}$ ) ve farklı debilerde ( $0.6 \text{ m}^3/\text{h}, 0.7 \text{ m}^3/\text{h}, 0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,ve  $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$ ) yapmıştır. Deneyler için taban akışkanı olarak saf su kullanılarak hacimce % 0.01 ve 0.02 konsantrasyonda kararlı grafen oksit (GO) ve kararlı grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanları hazırlanmıştır. Oto radyatörün etkenlik değerlerini akışkan konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak arttığı ve % 0.02 konsantrasyondaki GO ve GNR nanoakışkanlarında saf suya göre mukayase edildiğinde analitik değerlerin üzerine çıktığı deneysel olarak gözlemlenmiştir. Saf suya göre % 0.01 grafen oksit nanoakışkanı için en yüksek % 6.9 ve % 0.02 grafen oksit nanoakışkanı için en yüksek

% 32.0 toplam ısı transferi katsayısında(U) artış olduğu deneysel verilerle tespit edilmiştir.

Prakash,(2015) literatür araştırmaları sonucu elde etmiş olduğu bulgulara nanoakışkan uygulamalarında iyi ısı iletkenliklerinden kaynaklanan termal artışların ortaya çıktığı,ağırlıklı olarak  $Al_2O_3$ -Su bazlı nanoakışkanın yüksek verim ve ısı performans gösterdiği bilgilerine ulaşılmıştır. Ancak akışkan içerisinde nano partiküllerin çökmesi, topaklanması ve erezyonu gibi birtakım problemler görülmüştür.

Budak Ziyadanoğulları ,(2016) yaptığı doktora çalışmasında düzlemsel güneş kolektörlerinde %0.2,%0.4,%0.8 hacimsel oranlarında ve  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  ve CuO nanoakışkanları sırasıyla farklı hacimsel debilerde 50 lt/h, 150 lt/h,250 lt/h değerlerinde su ile karşılaştırmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemde ısı veriminin su kullanılan sisteme göre daha fazla olduğunu; ayrıca en yüksek ısı verimin CuO kullanılan nanoakışkanında olduğunu belirlemiştir.

Maghlany ve ark.,(2016) bakır-su kararlı ve süspanse nanoakışkanlı, yatay çift borulu ısı değiştiricisinde basınç düşümü ve ısı transferine etkisi üzerine yaptıkları bir dizi deneysel çalışmada, yüksek derişimde (%3), ısı transfer hızının aktarımının önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir(%23.4). İçteki boruda oluşacak dönme daha yüksek ısı yük ihtiyacı doğuracağından ısı transfer miktarını artırır dolayısıyla basınç düşümüne neden olur.

Sonowane,(2016) yaptığı deneysel araştırmada ısı borusunda kullanılan nanoakışkanların, ısı transferi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Isı borusunda iş yapan akışkan olarak uygulanan nanoakışkanların ısı termal iletkenliklerinde ciddi iyileşmelerin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca nanoakışkan partikül boyutu, ısı borusu açısı, ısı borusu uzunluğu, ısı borusuna gelen ısı oranı, ısı borusu et kalınlığı, ısı iletkenlik üzerinde değişik etkileri olduğu ifade edilmiştir.

Sumathi ve Vijay,(2017) borulu hairpin ısı değiştiricisinde farklı akışkanlar ve farklı konsantrasyonlarda deneysel incelemeler yaptılar. Deneyler sonucunda hacimsel derişimin artmasının, ısı özellikleri iyileştirdiğini ve aliminyum oksidin, titanyum karbüre göre daha iyi bir nanoakışkan performansı gösterdiğini belirlemişlerdir.

Iqbal ve ark.,(2015) çift borulu bir ısı değiştiricisinde kanat şekillerinin etkilerini, geometrilerinin etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Isı transfer katsayısının en uygun kanatta, ikizkenar kanada göre %203, üçgen kanada göre %263, parabolik kanada göre ise %227 maliyet ve sürtünme kayıplarını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.

Ahmed ve ark.,(2017) kanatlı çift borulu yapıların ısı transfer karakteristiği etkisi üzerine bir dizi deneysel çalışmalar yaptılar. Bu çalışmalarda üssel kanat geometrilerinin üçgen geometrisinden daha da iyi olduğunu katı ve akışkanın en uyumlu iletkenlik oranı yaklaşık 500 kat olduğunu ve en iyi performansın daha uzun, daha ince daha fazla kanat üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Dastmalchi ve ark.,(2017) çift borulu bir ısı değiştiricisinin ısı optimizasyonunda mikro kanat geometrisinin etkisini sayısal olarak incelediler. Mikro kanat açının ve görece düşük bir Reynold sayısına tabi tutulan en uygun helis açısının ısı verimliliği artırdığı sonucuna varılmıştır.

Hasan,(2017) yaptığı deneysel çalışmada çift borulu bir ısı değiştiricisinin artan boru yüzeylerinin kirlilik artışına olan etkilerini incelemiştir. Sonuçlar boru yüzeylerinin artmasının ısı verimi artırdığı ayrıca düşük reynold sayılarında bu artışın daha belirgin hale geldiğini gözlemlemiştir.

Vaezi ve ark.,(2017) çift borulu ısı değiştiricilerinin iç tüpüne alternatifli oval bir geometri düzenlemesi durumunda ovalliğin en boy oranının ısı performansı üzerindeki etkilerini gözlemişlerdir. Oval tüpün dairesel tüpe oranla ısı performansı artırdığı yüksek Reynold sayılarında ( $Re > 600$ ) en boy oranının iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Kurt,(2014) Hekzagonal bor nitrür nanoakışkanlarının ısı ve reolojik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi adlı çalışmasında hBN-Su,hBN-etilen glikol,hBN-Su-etilen glikol gibi nanoakışkanlar hazırlamış, bu nanokışkanların farklı konsantrasyonlarda reolojik özellikleri araştırılmıştır. Parçacık eklenmesine bağlı olarak viskozitede artış olduğu,  $Al_2O_3$  nanoakışkanlarına kıyasla hBN nanoakışkanlarından daha yüksek bir ısı iletkenlik artışı olduğu tespit edilmiştir.

Ilhan,(2016) Hekzagonal bor nitrür nanoakışkanlarının termofiziksel özellikleri ve ısı taşınım katsayısı incelenmesi adlı tez çalışmasında oranları %0.03 ve %3 arasında değişen, Hekzagonal bor nitrür-Su kararlı ve süspanse nanoakışkanlarının ısı iletkenlik katsayısı ve viskozite değişimi üzerinde etkilerini incelemiştir. Az miktarda hBN nanoparçacıkları eklendiğinde dahi, viskoziteye oranla ısı iletkenlikte daha çok artış olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3. ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Sıcaklıkları birbirinden farklı olan ve birbirlerinden katı bir cıdarla ayrılmış iki veya ikiden fazla akışkan arasında ısı transferini gerçekleştirebilmek amacıyla konstrüksiyonu yapılan cihazlardır(İncopera,2002). Günümüzde üretim, soğutma, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme tesisleri, atık ısı geri kazanımı, çeşitli kimyasal işlemler ve benzeri sistemler gibi birçok ısı işlem gerektiren, mühendislik ve endüstri uygulamalarında farklı kapasitede ve boyutlarda ısı değıştircileri kullanılmaktadır.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I) Isı Değişim Şekline Göre Sınıflama</b><br>a) Akışkanların doğrudan temaslı olduğu ısı değıştircileri<br>b) Akışkanlar arasında doğrudan temasın olmadığı ısı değıştircileri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>II) Isı geçiş Yüzeyinin Isı Geçiş Hacmine Oranına Göre Sınıflama (Kompaktlık)</b><br>a) Kompakt olmayan ısı değıştircileri<br>b) Kompakt ısı değıştircileri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>III) Akışkan Sayısına Göre Sınıflama</b><br>a) İki Akışkanlı<br>b) Üç akışkanlı<br>c) Çok akışkanlı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>IV) Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflama</b><br>a) İki tarafta da tek fazlı akış<br>b) Bir tarafta tek fazlı,diğer tarafta çift fazlı akış<br>c) İki tarafta da çift fazlı akış<br>d) Taşınım ve ışınlama beraber ısı geçişı                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>V) Konstrüksiyon Özelliklerine Göre Sınıflama</b><br>a) <b>Borulu ısı değıştircileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Düz borulu ısı değıştircileri</li> <li>Spiral borulu ısı değıştircileri</li> <li>Gövde borulu ısı değıştircileri</li> </ul> b) <b>Levhalı Isı Değiştircileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contalı levhalı ısı değıştircileri</li> <li>Spiral levhalı ısı değıştircileri</li> <li>Lamelli ısı değıştircileri</li> <li>İnce film ısı değıştircileri</li> </ul> c) <b>Kanatlı yüzeyli ısı değıştircileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Levhalı kanatlı ısı değıştircileri</li> <li>Borulu kanatlı ısı değıştircileri</li> </ul> d) <b>Rejeneratif ısı değıştircileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sabit dolgu maddeli rejeneratörler</li> <li>Döner dolgu maddeli rejeneratörler</li> <li>Paket yataklı rejeneratörler</li> </ul> e) <b>Karıştırmalı Kaplar</b> |
| <b>VI) Akıma Göre Sınıflama</b><br>a) <b>Tek geçişli ısı değıştircileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Parelel akımlı ısı değıştircileri</li> <li>Ters akımlı ısı değıştircileri</li> <li>Çapraz akımlı ısı değıştircileri</li> </ul> b) <b>Çok geçişli ısı değıştircileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Çapraz-ters ve çapraz-paralel akımlı ısı değıştircileri</li> <li>Çok geçişli gövde-borulu ısı değıştircileri</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Şekil 3.1. Isı değıştircilerinin sınıflama türleri (Genceli, 1983).

### 3.1. Isı Geçiş Şekline Göre Sınıflandırma

Akışkanların birbirlerinden bir yüzeyle ayrıldığı ve akışkanlardaki ısı değişim ve aktarımının bu yüzey üzerinde eş zamanlı olarak sağlandığı ısı değiştiricileri olarak isimlendirilmektedir. Yüzeyli veya rekuparatif ısı değiştiricileri olarakta bilinir. Bu modelde ısı değiştiricilerde ısı geçişi zamandan bağımsız değerlendirilmektedir. Akışkanlar ısı geçişi yüzeyi ile ayrılmış akış yollarından akarken yüzeyin iki tarafındaki sıcaklık farkından dolayı ısı geçişi bu şekilde gerçekleşir. (Kakaç,2012).

### 3.2. Isı Geçiş Yüzeyine Göre Sınıflandırma

Akışkanlar genellikle bir ısı geçişi yüzeyi ile birbirlerinden ayrılmalarına rağmen birtakım ısı değiştiricilerde bu durumdan farklı olarak akışkanlar birbirleri ile temas yüzeyleri üzerinden ısı geçişi sağlayacak şekilde aralarında karışım yaparlar. Buna göre ısı değiştiricileri doğrudan temaslı veya doğrudan temassız ısı değiştiricileri olmak üzere 2 şekilde sınıflandırılır. Doğrudan temaslı ısı değiştiricileri uygulamalarına soğutma kuleleri iyi birer örnektir.

### 3.3. Isı Geçiş Mekanizmasına Göre Sınıflandırma

Akışkanlar ısı değiştirici içerisinde faz değişimine uğrarlar. Buna göre her iki akışkanında hal değişimi geçirmediği durum tek fazlı, akışkanlardan biri buharlaşırken diğlerinin yoğuştuğu iki tarafta da çift fazlı akış geçiren ısı değiştiriciler piyasada mevcuttur (Genceli,2010).

### 3.4. Akış Düzenlemesine Göre Sınıflandırma

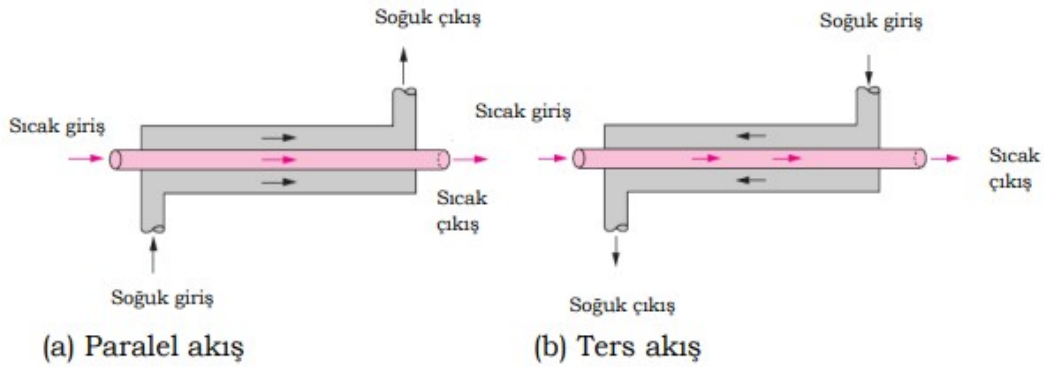
Isı değiştiricilerde akış düzenlemesi yapılırken, akışkanların ısı değiştirici içinde birbirlerine göre izledikleri akış yönü ve ısı değiştirici geçişi sayıları olmak üzere iki temel amaca göre kategorize edilir(Genceli,2010). Akış şekillerine göre sınıflandırma Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

### 3.4.1. Tek geçişli ısı değıştirciler

Isı değıştirci kanalı boyunca akışkanların birbirleri ile sadece bir geçiş gerçekleştirdikleri ısı değıştircilerdir. Akışkanların akış yönleri birbirlerine göre paralel, karşıt veya çapraz şekillerde olabilir.

#### 3.4.1.1 Paralel akış düzenlemesi

Paralel akış düzenlemesinde iş yapan sıcak ve soğuk akışkan ısı değıştircinin aynı ucundan giriş yaparlar, ısı değıştirci boyunca birbirlerine paralel ve aynı yönlü akarlar ve ısı değıştircinin diğer ucundan ayrılıp çıkarlar. Paralel akış, en düşük ısı değıştirci etkinliğine sahip akış düzeni olarak bilinmektedir. Paralel akış düzenlemesi, giriş kısmındaki yüksek sıcaklık farkı sayesinde hızlı ısıtma sağlar ve viskoziteyi düşürerek gerekli pompa basıncının azalmasını sağlayarak sistemde istenilen verime ulaşılmasına katkıda bulunur. Paralel akış düzenlemesi karşıt akış düzenlemesinin kullanılmasına olanak sağlamadığı durumlarda tercih edilir (Thulukkanam, 2013). Paralel akış düzenlemesi şekil 3.2’de gösterilmiştir.



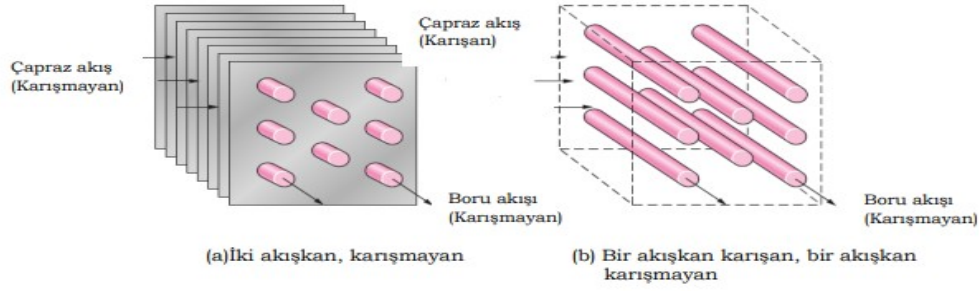
Şekil 3.1. Tek geçişli ısı değıştircide akış düzenlemesi. a) paralel akış, b) karşıt akış,

#### 3.4.1.2. Karşıt akış düzenlemesi

Karşıt akış düzenlemesinde akışkanlar zıt uçlardan ısı değıştirciye girerek birbirlerine paralel; fakat zıt yönlü olarak akarlar ve ısı değıştircinin zıt uçlarından çıkış yaparlar. Bu akış düzenlemesinin en önemli özelliği en yüksek ısı değıştirci etkinliği sağlayan akış düzenlemesidir (Thulukkanam, 2013). Karşıt akış düzenlemesi şekil 3.2’de gösterilmiştir.

### 3.4.1.3. Çapraz akış düzenlemesi

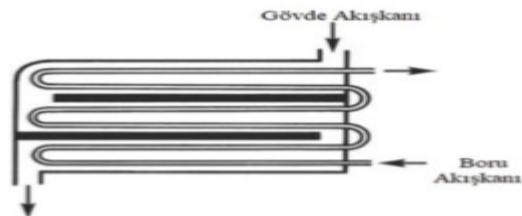
Çapraz akış düzenlemesinde akışkanlar birbirlerinin akış yönlerine 90 derece açıyla(dik) olarak akar. Bir akışkan ısı değiştirici içinde bireysel kanallar veya borular içinde akıyorsa ve kanalın birleştiği noktada sahip olduğu akışıyla ile bir araya gelmiyorsa, bu akışkana karışmayan akışkan adı verilir(Genceli,2010). Çapraz akış düzenlemesi şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.Çapraz akışlı ısı değiştiricilerde farklı akış şekilleri

### 3.4.2. Çok geçişli ısı değiştiriciler

Tek geçişli ısı değiştiricilerdeki paralel, ters ve çapraz akış düzenlemeleri, bir ısı değiştirici içerisinde değişik şekillerde art arda seri halde bir araya gelerek, çok geçişli ısı değiştiricilerini oluşturur (Genceli,2010). Bir eşanjör konstrüksiyonunda,uzun ısı değiştirici boyutu, düşük akış debisi veya düşük ısı değiştirici etkenliği gibi parametrelere ihtiyaç duyuluyorsa,çok geçişli ısı değiştiricilerin kullanılması konstrüksiyon açısından daha mantıklı bir seçimdir. Çok geçişli ısı değiştiricileri ısı değiştirici etkenliğinin iyileştirilmek istenildiği durumlarda tercih edilir. Geçiş sayısı arttıkça akışkanların akış yolu karşıt akışa yakın seviyeye gelmiş olur(Thulukkanam,2013).



Şekil 3.3.Altı boru geçişi, üç gövde geçişi bulunan bir gövde borulu ısı değiştirici(Kakaç,2012).

### 3.5. Isı Değiştirici Konstrüksiyonuna Göre Sınıflandırma

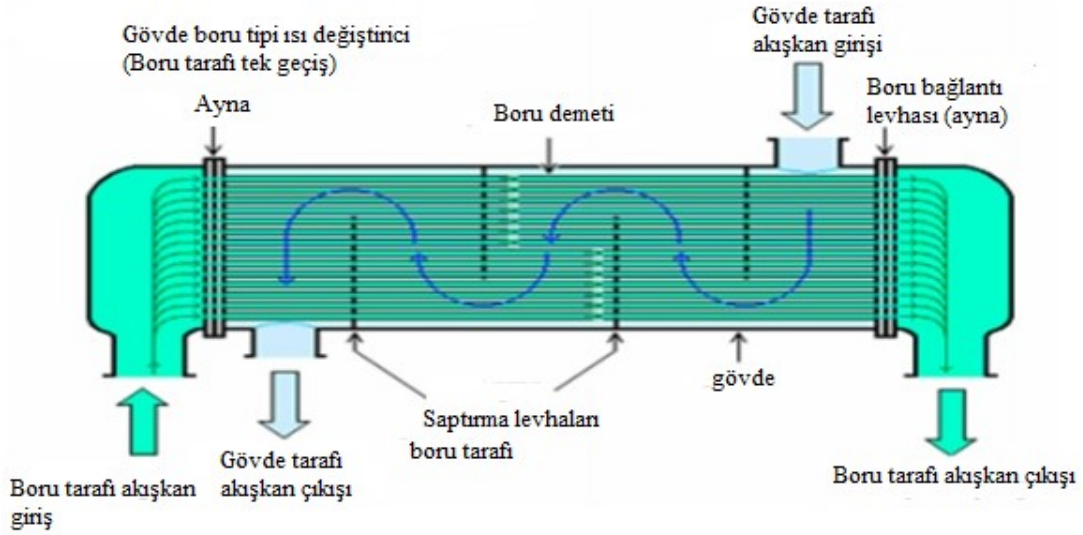
Isı değiştiricileri konstrüksiyonlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar.

#### 3.5.1. Borulu ısı değiştiriciler

Borulu ısı değiştiricileri genellikle dairesel kesitli boruların iç ve dış yüzeylerinden akan akışkanlar arasında karşılıklı ısı transferinin sağlandığı ısı değiştiricileri olarak bilinmektedir. Borulu ısı değiştiricileri kendi aralarında çift borulu veya düz borulu, spiral borulu ve gövde borulu olmak üzere üç alt grupta kategorize edilir.

Çift borulu ısı değiştiricileri üretici açısından en basit ve ekonomik tasarım olup; iç içe geçmiş eş merkezli iki borudan oluşan eşanjör çeşididir. Bu tip ısı değiştiricilerde küçük çaplı borunun içinden akan akışkan ile küçük çaplı ve büyük çaplı boru arasından akmakta olan akışkan arasında ısı transferi gerçekleşir. Isı geçiş yüzeyini arttırmak amacıyla birtakım teknikler uygulanır. İç kısımda birden çok boru kullanılması veya içteki borunun dış yüzeyinde kanatlar kullanılması gibi tekniklere sıkça başvurulur (Shah,2003).

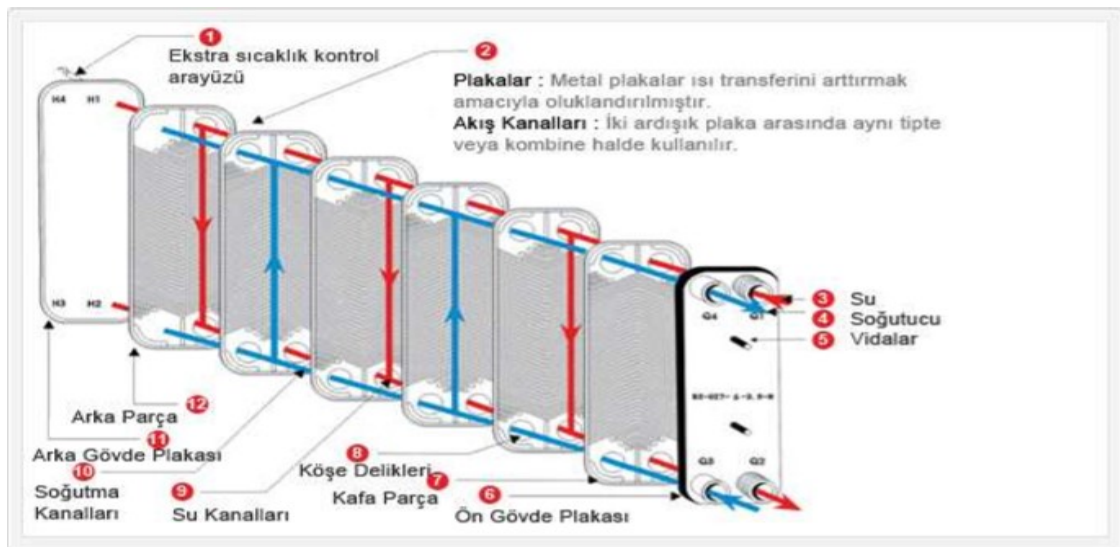
Spiral borulu ısı değiştiricilerin konstrüksiyon biçimi basit bir mantığa dayanır. Küçük çaplı boruların bir depo içinde spiral şekilde sarılması ile oluşturulur. Spiral boruların içlerinin temizlenmesinin konstrüksiyon açısından neredeyse imkânsız olması nedeniyle, mümkün olduğu, homojen ve kararlı nanoakışkan karışımlarının sistemde kullanılması konstrüksiyon açısından daha mantıklıdır. Nanoakışkanlar spiral boru içinden geçirildiği esnada tıkanmaya sebebiyet verebileceğinden, spiral borunun çapının büyük seçilmesine özen gösterilmelidir. Spiral borular içindeki mevcut kıvrımlı yapısı sayesinde akışkana dönme etkisi verir ve akışkanın yüzey alanını genişletir. Bu sebeple düz borulu sistemlere göre daha iyi ısı geçişi sunabilmekte ve ısı transfer katsayısını artırmaktadır(Shah,2003).



Şekil 3.4: Gövde borulu ısı değiştirici kesiti ( oban,2009).

### 3.5.2. Plakalı ısı değiştiriciler

Plakalı ısı değiştiricileri ince plakalar arasında kendilerine akış kanalları oluşturur ve ısı geçişi bu plakalar üzerinden sağlanır. Plakalar düz veya dalgalı formlarda olabilirler. Borulu tip ısı değiştiricileri gibi çok yüksek basınç ve sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılmazlar. Kendi i lerinde contalı plakalı, spiral plakalı ve lamelli olmak üzere 3 ana başlıkta sınıflandırılır. Plakalı ısı değiştirici  ekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5: ısı değiştirici çeşitlerinden plakalı ısı değiştiricisi

### 3.5.3. Genişletilmiş yüzeyli ısı değıştirciler

Borulu ve plakalı ısı değıştircilerindeki mevcut ısı geçiş yüzey alanlarının yeterli gelmediğı bazı durumlarda genişletilmiş yüzeyli ısı değıştircileri tercih edilir. Ana yüzey üzerine (boru veya plaka) kanatlar ek yapıp, ısı geçiş yüzey alanının artırılması sağlanır.

### 3.5.4. Dolgu maddeli ısı değıştirciler

Sıcak akışkanın ısısının bir dolgu maddesi üzerinde biriktirildiğı ve soğuk akışkanın bu dolgu maddesi içinden geçirilerek ısıtıldığı ısı değıştirci modelidir. Yapıları bakımından; sabit dolgu maddeli, döner dolgu maddeli ve paket yataklı olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılır(Genceli,2010).

### 3.5.5. Isı transferini iyileştirme yöntemleri

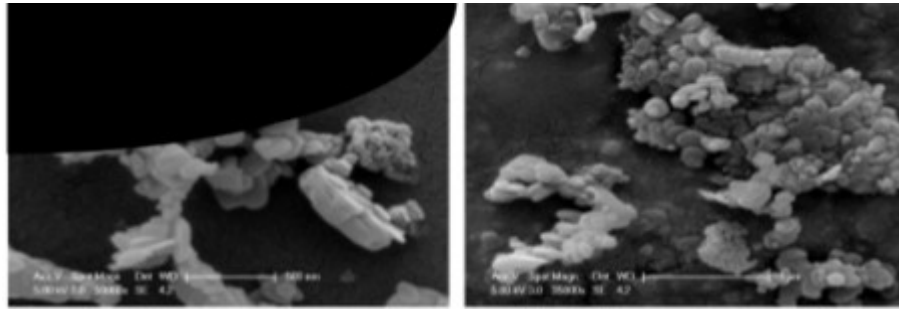
Bir sistemin ısı verim açısından daha verimli bir hale gelmesi demek bu sistemin işleyişı için gerekli gücün daha az olması ve enerji etkin bir sistemin yaratılması anlamına gelmektedir. Bu durum ekonomik olarak karlı olmakla birlikte endüstriyel tesislerde tüketilen devasa enerjiler düşünüldüğünde dünyamızın geleceğı için de çok önemli bir tasarruftur. Isı değıştircilerde böyle bir tasarrufun elde edilmesi için yapılması gereken en önemli uygulamalardan birisi ısı transferinin iyileştirilmesidir. Isı değıştircilerde enerji etkin bir yapının oluşturulması için ısı transfer katsayısının artırılması esas problemlerdendir. Isı transferinin iyileştirilmesi bazen mevcut sistemden daha iyi bir verim almak için amaçlanırken, bazen de ısı değıştircisi tasarımının değıştirilerek daha küçük bir model oluşturmak için amaçlanabilir. Hangi amaçla olursa olsun faydalı bir durumun ortaya çıkacağı açıktır (Murugesan ve Tamilkalundu, 2012).

Isı değıştirciler için, kullanılan temel akışkanların ısı transferi performansları yeterli olmamaktadır. Bu durumda pasif yöntem sınıfına giren tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Isı transferi geliştirme tekniklerinden biri olan, iş yapan akışkanın ısı iletkenliğinden yüksek, ilave edilen kararlı süspansiyonlar sayesinde, akışkanın ısı iletkenliği ve toplamdaki ısı transferi performansı da artmıştır (Peng,2003). Fakat farklı boyutlardaki bu katı parçacıkların süspansiyonlarının kullanımına yönelik literatür çalışmaları birçok araştırmacı tarafından çalışılmış,partiküllerin çökmesi, kanal duvarlarında, kanalların tıkanması ve aşınması, ısı transferi uygulamalarında ileri çalışma sıvılarının, katı parçacıkların temel akışkanlar içindeki süspansiyonlarına engel

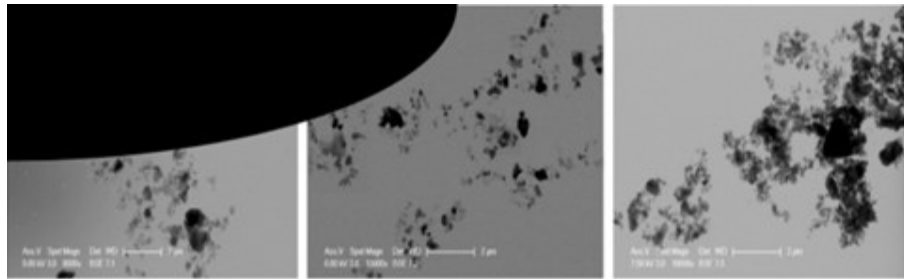
olması gibi birtakım sorunlar ortaya çıkmıştır (Choi,2002). Mikropartiküllerin aksine nanopartiküller ısı transferi süspansiyonları için oldukça uygundur;zira partiküller daha temiz bir ortamda üretilmekte ve yüzeyleri istenmeyen maddelerle kaplanmamaktadır. Daha fazla yüzey alanı ve daha az kütle, nanopartikülleri bu uygulamalarda cazip kılan iki temel unsurdur.

#### 4. NANOAKIŞKANLAR

En az bir boyutu 100 nm' den daha az olan (1-100 nm) parçacıkları içeren kararlı katı-sıvı süspansiyonlarıdır. Bu sebepten, bir nanoakışkan taban akışkanı ve taban akışkanı içinde çok sayıda nanoboyutta parçacıklar içermektedir. Taban akışkanları, su, etilen glikol, mineral yağ, soğutucu ve hatta iki veya daha fazla akışkanın kararlı ve süspanse karışımları olabilir. Parçacıklar ise metal (Cu, Ni, Al, v.s.), metal oksit ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , CuO,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$ ,  $BaTiO_3$ , v.b.) karbon, karbit ve nitrit. Parçacıklar küresel, çubuk veya boru şekline sahip bağımsız olarak katılmış veya birçok bağımsız parçacığın bir araya gelerek oluşturduğu kümeleşmiş karmaşık şekilde olabilir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de hBN nanoparçacıklara ait nanoakışkanların elektron mikroskobu görüntüleri belirtilmiştir. Nanoakışkan süspansiyon kararlılıklarının artırılabilmesi adına belli miktarlarda yüzey katkı maddeleri veya seyrelticiler eklenebilir.



Şekil 4.1. hBN-Su Nanoakışkanına ait elektron mikroskobu görüntüleri (İlhan,2016).



a)

b)

c)

Şekil 4.2.hBN-Su nanoakışkanına ait STEM görüntüleri (İlhan, 2016).

a)%0.1 b)%0.5 c)%2

Pasif ısı transferi iyileştirme yöntemleri farklı ebatlardaki nanopartiküllere bazı akışkanların eklenmesi ile oluşmaktadır. Bu yöntemde meydana gelen çökeltme,

tortulaşma, aşınma gibi problemler sonucunda, partiküllerin daha homojen, daha kararlı yapıda ve daha küçük boyutlarda üretilmelerini bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu arayışın bir sonucu olarak, ısı iletkenliğini artırmak için yöntemler araştırılmaya başlanmış ve bir taban sıvısı içinde ısı iletkenlikleri yüksek olan nano taneciklerin süspansiyonu fikri önerilmiştir (Ebata ve ark., 1993; Choi ,1995).

Nanoteknolojideki ilerlemeler sonucunda, nanoakışkan kelimesi literatürde ilk kez 1995 yılında Choi tarafından dile getirilmiş ve nanoakışkan nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içerisine kararlı bi yapıda süspanse edilmesiyle meydana gelen akışkanlar olarak tanımlanmıştır. Bu iki çalışma ve bu çalışmalardan elde edilen bulgulardan yola çıkarak yapılan birçok deneysel araştırma sonucunda nanoakışkanların ve ilavesinin oldukça yüksek ısı iletim katsayısı artışları ortaya çıkarabileceği görülmüştür (Choi ve ark.,2001;Choi ,1995). Nanoakışkanlarda ortaya çıkan bu yüksek ısı iletim katsayısı artışları, ısı transferi ekipmanlarının performans verimliliğinin artırılabilmesi adına büyük fırsatlar sunmaktadır. Bu durum büyük boyutlu ekipmanların yerini, daha küçük ekipmanların almasını sağlayacak ve üreticilerin işletme giderlerinin azaltmasını mümkün kılacaktır(Choi ve ark.,2001). Bu deneysel çalışmalarından daha sonra nanoakışkanlarla ilgili birçok deneysel ve teorik çalışmalar beraberinde geniş bir literatür sahası oluşmasına neden olmuş ve bu çalışmalar artarak devam etmiştir.

Nanoakışkanların literatürde kabul gören birçok özelliği vardır.

- Isı iletkenliğindeki mükemmele yakın iyileşme sağlar.
- Bir katı metal partikülün ısı iletkenliği temel akışkandan yüksek olduğu için kararlı birer süspansiyon olarak katılan ince katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır.
- İş yapan akışkan içine kararlı olarak süspanse edilen metal partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyötmektedir.
- Kararlılık: Nanoakışkanların yüzey aktifleştirici maddeler kullanarak aylarca kararlı süspansiyonlar halinde kalabildiği defalarca test edilmiştir.
- Düşük konsantrasyon ve Newton tipi (viskozite sabit): Akışkanın Newtonian davranışı ile sağlanan partiküllerdeki küçük konsantrasyonlarda bile iletkenlikte büyük bir iyileşme olmaktadır. Viskozitedeki artış az miktarda olduğu için görmezden gelinebilir.

- Partiküllerin boyut bağımlılığı: İletkenlikteki iyileşme yalnızca partikül konsantrasyonu ile alakalı bir durum değil aynı zamanda partiküllerin boyutlarına da bağlıdır. Partikül boyutu düşerse, iyileşmede artış gözlemlenir (Choi,2001).

#### 4.1. Partikül Madde ve Taban Sıvı

Isı transferini iyileştirmeye yönelik yapılan süspansiyonlarda, ısı iletkenliği yüksek olan bakır, alüminyum, gümüş gibi metal elementler kullanılarak  $Al_2O_3$ , CuO,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  gibi ısı transfer verimi daha iyi olan bileşikler kullanılır. Böylece, geleneksel akışkanlara belirli partikül büyüklüğü ve belirli hacimsel oranlarda nanopartiküller eklenerek meydana gelen kararlı süspansiyonlar ile nanoakışkanlar oluşur.

Taban sıvı içindeki nanopartiküllerin stabilitesini iyileştirmek amacıyla, bazı küçük miktarlarda katkı maddeleri karışıma eklenmektedir. Örneğin; su, etilen, glikol, motor yağı gibi.

#### 4.2. Partikül Büyüklüğü

Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan nanopartiküllerin 10 nm-100 nm çapları arasında değişir. Partiküllerin boru ya da çubuk şeklinde olmasıyla beraber, çapları 100 nm'nin altında kalabilir fakat bu parçacıkların uzunluğu mikrometre mertebesinde olabilmektedir (Choi,2001).

#### 4.3. Partikül Şekli

Nanoakışkanlar içerisinde kullanılan nanopartiküllerin şekilleri; küresel, çubuk, boru veya disk formlarında karşımıza çıkabilir (Choi,2001). Nanoakışkanlar genellikle küresel biçimde tercih edilirler. Bununla birlikte çubuk şeklindeki, boru şeklindeki ve disk şeklindeki nanopartiküller de yaygın olarak kullanılır(Liveri, 2006).

#### 4.4. Nanopartiküllerin Üretimi

Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler iki ana yaklaşım altında incelenmektedir: “Bottom Up” aşağıdan yukarı ve “Top Down” yukarıdan aşağı (Chen ve ark.,2011).

Hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel veya kimyasal işlemlerle ilave enerji verilerek malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılması

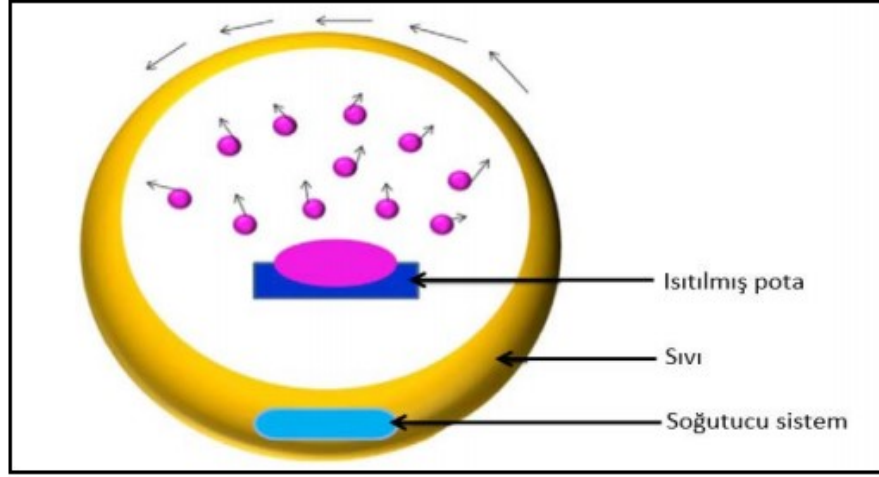
yukarıdan aşağıya yaklaşımına dahil olan teknikler için söz konusudur. Bu yöntem mekanik öğütme, aşındırma, katı maddenin buharlaşması ve bunu takiben uçucu bileşenlerin yoğunlaşması örnek olarak gösterilebilir(Barron ve ark.,2009).

Aşağıdan yukarıya yaklaşımı; atomik veya moleküler boyuttaki yapıların kimyasal işlemlerle ile daha büyük partikül oluşumunun gerçekleştirilmesi olarak isimlendirilmektedir. Bu yaklaşıma örnek olarak gaz yoğunlaştırma tekniği, kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprey piroliz yöntemleri verilebilir (Luther,2006).

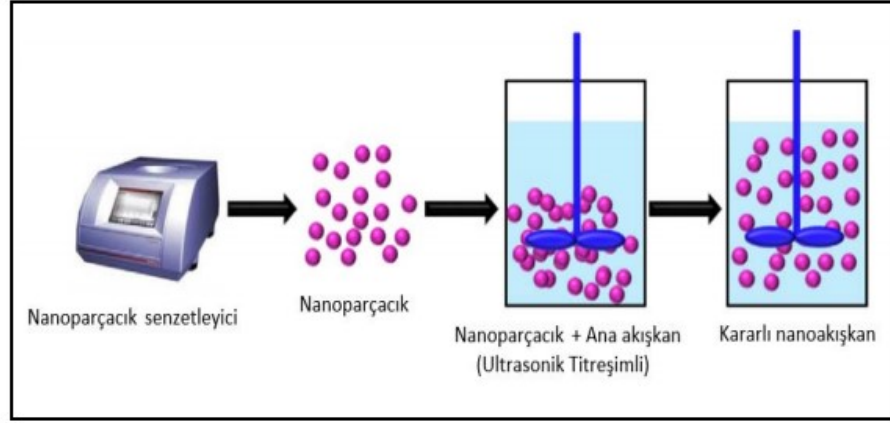
#### 4.4.1. Nanoakışkanların üretimi

Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş (Ag), silisyum dioksit ( $SiO_2$ ) nanoakışkan üretiminde genel olarak tercih edilen nanopartiküllerdir. Nanoakışkan gelişigüzel hazırlanacak basit bir sıvı-katı partikül karışımı değildir. Hazırlanan akışkanın kararlı, homojen ve uzun ömürlü bir süspansiyon olması, partiküllerin çok az miktarda topaklanması ve akışkanın bir miktar fiziksel özelliklerinin değiştiği, kimyasal özelliklerinin ise aynı kalması başlıca dikkat edilmesi gereken kurallardır(Eyüphan,2012). Bu özelliklere sahip stabil nanoakışkanlar üretebilmek adına birtakım teknikler geliştirilmiştir. Bunlar tek aşamalı yöntem ve iki aşamalı yöntemdir.

İki aşamalı yöntem nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Nanopartiküller, nanotüpler ya da diğer nano materyaller öncelikle fiziksel ya da kimyasal yöntemler uygulanarak kuru toz olarak üretilir. Daha sonra bu nano boyutlu toz, kuvvetli manyetik karıştırma, yüksek kesme karıştırıcı, ya da homojenizasyon yardımı gibi işlemlerle süspanse olarak akışkan içine dağıtılmaktadır. İki aşamalı yöntemde karşılaşılan kararlı nanoakışkan hazırlama zorluğu nedeniyle, nanoakışkan hazırlamak için birçok teknik geliştirilmiştir. Bunlardan biri de tek aşamalı yöntemdir(Chen, 2011).



Şekil 4.3: Nanoakışkanların tek aşamalı hazırlama işlemi .Angayarkanni ve ark.,(2015)



Şekil 4.4: Nanoakışkanların iki aşamalı hazırlama işlemi. Angayarkanni ve ark., (2015)

#### 4.5. Nanoakışkanların Tipleri

Nanoakışkanların oluşumunda kullanılan nanoparçacık malzemeleri;

- Oksit seramikler ( $Al_2O_3$ , CuO,  $Cu_2O$ )
- Nitrür seramikler (hBN, AlN, SiN)
- Karbür seramikler (SiC, TiC)
- Metaller (Ag, Au, Cu, Fe)
- Yarı iletkenler ( $TiO_2$ )
- Tek, çift ve çok duvarlı karbonlar (SWCNT, DWCNT, NWCNT)
- Kompozit malzemeler (çekirdek-kabuk polimer nanoparçacık kompozitler) olarak sınıflandırılabilirler.

Nanoakışkan oluşumunda kullanılan baz sıvılar genel olarak kullanılan ısı transferi sıvılarıdır. Bunlar; su, makine yağı, etilen glikol ve etanol benzeri sıvılardır(Choi,2007).

#### 4.5.1. $CuO$ ve $Cu_2O$ bazlı nanoakışkanlar

$Cu_2O$  son zamanlarda güneş hücreleri, pigmentleri ve katalizörler gibi potansiyel uygulamalarda kayda değer, dikkate alınan p-tipi yarı iletkenidir.(Kong ve ark.,2009).

Xiaohao Wei ve ark.,(2012)  $Cu_2O$  nanoakışkanlarının kimyasal çözüm yöntemi (CSM) kullanılarak sentezlenebilir olduğunu tespit etmişlerdir.

#### 4.5.2. $Al$ ve $Al_2O_3$ bazlı nanoakışkanlar

Mikron boyutunda ve nano boyutunda alümina parçacıkları karşılaştırıldığında nanoalüminanın birtakım avantajları söz konusudur. Daha küçük moleküller çarpışmalar için büyük bir yüzey alanı sağlar,bu sayede reaksiyon oranını artırarak, daha iyi bir katalizör etkisi görür (Boey ve ark.,2006).

#### 4.5.3. $TiO_2$ bazlı nanoakışkanlar

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) son derece kullanışlı ve son yıllarda eşanjör ve panel uygulamalarında üstün özelliklerinden dolayı çokça tercih edilen yarı iletken bir geçiş metal oksit bir malzemedir. Düşük maliyet, kolay kullanım, toksite olmaması gibi birçok avantajlı özelliğe sahiptir (Leal ve ark.,2009).

#### 4.5.4. Nitrür seramikler

Bor nitrür (BN), elmas, grafit ve fulleren, nanotüp ya da nanofiber yapıları ile karbon allotroplarına gösterdiği mükemmel paralellik sayesinde yapay bileşiklerin en başarılarından biridir. Hekzagonal bor nitrür(hBN), grafit ile aynı kristal yapıya sahip olmasından dolayı günümüzde “beyaz grafit” adı ile anılmaktadır (Çelik, 2010). Bu paralelliğin altında yatan BN’ün karbon allotroplarının kristallografik ve elektronik yapısını kopyalamasından kaynaklanmaktadır. Kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle endüstride, otomotiv sektöründen metal sanayine, kozmetikten tıpa,optik sanayisinden elektronik sanayisine kadar geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Grafit benzeri yapıdaki hekzagonal bor nitrür (hBN); yüksek ısıl şok direnci,düşük yoğunluk, düşük dielektrik sabiti, yüksek ısıl iletkenlik mükemmel

kimyasal kararlılık ve ısı dayanımı, mükemmel yağlayıcılık, özellikle yüksek sıcaklıklarda gösterdiği kararlılık özelliklerinin yanı sıra, grafitin aksine elektriksel olarak yalıtkan da bir malzemedir. Bor nitrür(BN), oksit olmayan seramikler sınıfındadır.

**Çizelge 4.1:** hBN'in bazı fiziksel özellikleri (Ebin,2007).

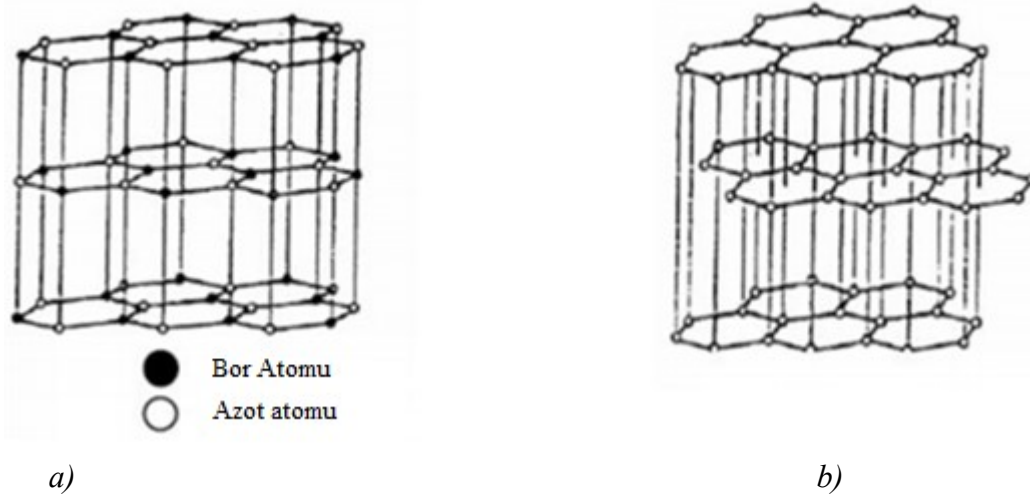
| Özellikler                | Değerler                             |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Öz kütle (teorik)         | 2,27 g/cm <sup>3</sup>               |
| Kristal yapı              | Hegzagonal                           |
| Renk                      | Beyaz                                |
| Dielektrik mukavemeti     | 800-1000 volts/mil                   |
| Dielektrik sabiti         | 4                                    |
| Sürtünme Katsayısı        | 0.2-0.7                              |
| Elektriksel direnç (298K) | 1,7*10 <sup>13</sup> ohm-cm          |
| Termal genleşme katsayısı | 0.8-7.5*10 <sup>6</sup> /C ;25-1000C |
| Öz ısı(298K)              | 0.117 cal/g-K                        |
| Termal İletkenlik (298K)  | 0.08 cal/cm.sec.K                    |
| Kullanım sıcaklığı        | 1800°C inert atmosfer                |

Hegzagonal bor nitrürün bazı fiziksel özellikleri çizelge 4.1'de, mekanik özellikleri ise çizelge 4.2'de görülmektedir.

**Çizelge 4.2:**hBN'nin bazı mekanik özellikleri (Ebin,2007).

| Ozellikler                                  | Değerler                                           |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Ergime sıcaklığı (°C)                       | 2600                                               |
| Sertlik(knoop 100 g) (kg.mm <sup>-1</sup> ) | 400                                                |
| Kırılma Modülü (MPa)                        | 100 (press yönüne paralel)<br>50 (pres yönüne dik) |
| Young Modülü (MPa)                          | 20-103                                             |

Seramik malzemeler içinde en düşük yoğunluklu olanıdır (2,27 g/cm<sup>3</sup> ). İnert atmosferde 3000 °C'a kadar, hava ortamında 1400 °C'a kadar yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. 0-2000 °C arasındaki ısı şoklarına karşı dayanıklıdır.



Şekil 4.5: a) Hegzagonal bor nitrür yapısı b) Grafit yapısı (Çelik,2010).

Hekzagonal bor nitrür (hBN) kendine özgü birtakım özellikleri sayesinde kimya, metalurji, yüksek sıcaklık teknolojisi, elektroteknik ve elektronik alanlarında çok geniş kullanım alanlarına sahiptir.

Çizelge 4.3.Hekzagonal bor nitrürün diğer kullanım alanları:

| Kullanım Alanları                           | İstenen Özellikler(*) |   |   |   |   |   |
|---------------------------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|
|                                             | R                     | T | E | K | Y | İ |
| Aksamlarda katı yağlayıcılık                | +                     |   |   |   |   |   |
| Kalıplar için kalıp yağlayıcılık            | +                     |   |   |   | + |   |
| Aktif dolgu malzemesi                       | +                     | + | + | + | + |   |
| Yüksek sıcaklık gresleri ve yağ katkısı     |                       |   |   | + | + |   |
| Yüksek basınçları iletici ilave             | +                     |   |   | + | + |   |
| Metal üzerine kaplama                       | +                     |   |   | + |   |   |
| Grafit sıcak preslerinde kaplama            | +                     |   |   | + | + |   |
| Isıtıcı elemanlarda yalıtkan ortamı         |                       |   |   |   |   |   |
| Diğer bor içerikli ürünlerde bor kaynağı    | +                     |   |   |   |   |   |
| Radar ,anten ve camlarında dielektrik parça |                       |   | + |   |   | + |
| Nükleer reaktörlerde nötron absorblayıcı    | +                     | + |   | + |   | + |

(\*) R; Yüksek sıcaklık refrakterliği, T; Isıl iletkenlik, E; Elektriksel özellik, K; Kimyasal direnç, ısıtmama, Y; yağlayıcılık, İ; İşlenebilirlik

#### 4.6. Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi

Geleneksel iş yapan akışkanlarla mukayase edildiğinde, nanoakışkanları gelenekselleşen parçacıklardan üstün kılan birçok özelliği vardır. Kararlı denge, ihmal edilebilir düşüklükte basınç kaybı ve yüksek ısı transferi bunlardan bir kaçıdır. Mujumdar ve ark.,(2000) nanoakışkan parçacıklarını ısıtma ve soğutma akışkanlarına

kararlı bir şekilde süspanse etmek, bu akışkanların ısı transferlerini büyük ölçüde arttırır. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1.Eklenen nanopartiküllerin, yüzey alanını ve akışkanın ısıl kapasitesi arttırır.
- 2.Nanopartiküller, akışkanın efektif ısıl kapasitesini arttırır.
- 3.Partiküller arasında meydana gelen çarpışma ve etkileşimden dolayı akışkanda ve akış geçit yüzeyinde artış olması,
- 4.Eşit olarak erişilmek istenilen ısı transferi iyileştirmesi için pompalanan gücün saf akışkanlara göre daha düşük olması(Anandan ve ark.,2012).

#### 4.7. Nanoakışkanların Endüstriyel Uygulamaları

Nanoakışkanlar aşağıda verilen birçok endüstriyel ve medikal uygulamalarda, ısıl karakteristیکlerinin artırılmasında uygulanabilir. Bu uygulamaların bazıları aşağıdaki gibidir( Çiloğlu, 2011).

*Ulaşım*:Motor soğutucuları, makine yağları, otomatik iletim akışkanları ve diğer sentetik yüksek sıcaklık akışkanları oldukça zayıf ısı transfer özelliklerine sahiptirler. Bu akışkanlara az miktarda nanopartiküllerin ilave edilmesi durumunda bu ilaveye paralel olarak daha yüksek ısıl iletkenlikler ortaya çıkar. Nanoakışkanlar motor, pompa, radyatör ve diğer parçaların daha küçük ve hafif üretilmesine de olanak sağlar. Daha hafif araçlar demek daha az yakıt harcayarak ekonomik anlamda tasarruf sağlamak anlamına gelir. Ayrıca, yakıt sarfiyatının azalması ile daha az yanma ürünleri oluşacak ve böylece çevre dostu yakıt salınımı yapılmış olacaktır. Sonuç olarak, nano akışkanlar ulaşımaya büyük katkılar sağlayacaktır.

*Mikro-mekanik cihazlarda*: Nanoakışkanlar mikro kanallarda tıkanmaya sebep olmadıklarından soğutucu akışkan olarak kullanılabilir ve böylece yüksek ısı akısı durumunda MEMS'lerin soğutma performansı üzerindeki etkilerini artırılabilirler.

*Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde*: Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme endüstrisinde ve soğutma teknolojisinde nanoakışkan kullanılarak ısı transfer yeteneği artırılabilir. Nanoakışkanların soğutucu akışkana ilave edilmesinin yanında ayrı bir kanalda dolaştırılması ile enerji etkinliği artırılabilir ve yatırım maliyeti düşürerek üreticiye ekonomik anlamda tasarruf sağlayabilir.

*Tıbbi Uygulamalar*:Yeni tip kanser iyileştirme yöntemlerinde radyasyonun veya ilaçların dağıtımı için vücut sıvısında nanopartiküller kullanılabilir. Yüzey özelliklerinden dolayı nanopartiküller tümör hücrelerine yapışırlar. Gelecekte nano

akışkanların ilaç dağıtımı akışkanı olarak kullanılabileceği öngörülen bir gerçektir. Nörolojik hastalıkların tedavisi moleküller temellerinin anlaşılmasının güçlüğü ve tedavi edici ajanların hedef bölgeye taşınımından dolayı zordur. hBN terapatik ajan olarak hücreler üzerindeki stresi azaltır. Ayrıca hekzagonal bor nitrür beyin kanserinde kullanılan ilaçların yarattığı oksidatif stresi azaltmak için tedavi amaçlı ajan olarak kullanılabilmektedir.

*Ticari Uygulamalar:* Toz halindeyken yağlayıcı yapıya sahip olan hekzagonal bor nitrür, sıklıkla beyaz grafit olarak da isimlendirilmektedir. Elektriksel yalıtkanlık özelliğinin yanı sıra, oksidasyona karşı dirençlidir. 3000°C'ye varan çalışma sıcaklığına sahiptir ve korozyon etkilere karşı oldukça dayanıklıdır (Ebin,2007).

*Katkı maddesi olarak:* Bor nitrür tozlarının kullanım alanları günden güne yaygınlaşmaktadır. Yüksek performans gerektiren uçak frenlerinde kullanılan metal kompozit sürtünme elemanlarını yağlama işleminde, yüksek sıcaklıklardaki üstün performansından ötürü ideal bir katkı malzemesidir. Performans karakteristiklerini iyileştirmek amacı ile birçok seramik ve intermetalik kompozite bor nitrür ilavesi yapılmaktadır. SiC/BN, TiB<sub>2</sub>/BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/BN, AlN/BN, ZrO<sub>2</sub>/BN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BN kompozitleri bunlardan sadece bir kaçıdır.

*Dispersiyonlar :* Sprey ve sprey boyaların üretiminde su bazlı ve çözücü bazlı sistemler içerisinde hBN tozları disperse edilerek kullanılmaktadır. Karmaşık yüzeylere sahip kalıplara metal dökümünde yağlayıcı ve ayırıcı olarak yararlanmak ancak hBN'nin sprey formunda mümkündür.

*Sıcak preslenmiş bor nitrür :* Çeşitli sektörlerde bir çok dizayn mühendisinin, işlenebilirlik ve üstün termal ve elektriksel karakteristiklerinin eşsiz kombinasyonu sayesinde dikkatini çeken sıcak preslenmiş bor nitrürün günümüzdeki kullanım alanları şu şekildedir:

- Havacılıkta yeniden giriş araçlarının penceresi
- Yüksek frekans uydu uygulamalarında mikrodalga pencere
- Paslanmaz, düşük alaşımlı ve karbon çeliklerinin dökümünde kalıp
- Havacılıkta ısı absorblayıcı malzeme
- P tipi difüzyon fırınlarında bor kaynağı
- Refrakter ve cam üretilen cihazlarda

*Havacılık Sektöründe BN:*Geliştirilen bor nitrür ilaveli kozmik radyasyon emici camlar ile nükleer savaşlarda yüzlerce kilometre alanda etkili olabilecek radyasyon ışık etkisine karşı önlem alınabilecektir.

## 5.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında konsantrik tip ısı değiştirici konstrüksiyonunun basit ve maliyetinin daha uygun olması sebebiyle tercih edilmiştir. Deneysel çalışma için deney seti kurulup,tesisat bağlantı elemanları sisteme entegre edildikten sonra,deneysel iç içe borulu ısı değiştiricide süspanse edilmiş hBN-su kararlı nanoakışkanın sürekli rejim ve türbülanslı akış şartlarında gerçekleşmiştir. Her iki durum için deneyler ayrı ayrı yapılmıştır. Isı değiştirici içindeki iki akışkan değiştiricinin aynı ucundan ( aynı yönlü ) ve zıt uçlarından ( zıt yönlü ) girip, birbirlerine paralel olarak akarlar. Aynı yönlü akışta iş yapan sıcak akışkan(su) ile iş yapan soğuk akışkan(nanoakışkan) girişte karşılaşır ve ısı transferinin büyük bir kısmı burada yani ilk karşılaştıkları anda olur. Paralel akışlarda çok hızlı değişme olduğundan ani değişmeli akışkan olarak da isimlendirilmektedir. Zıt yönlü akışta, akışkanlar birbirine göre ters yönde aktığından ilk andan itibaren ısı alışverişi yapmadıklarından soğutma yavaş yavaş meydana gelir.

### 5.1.Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmanın yapılması amacıyla tasarımı yapılan deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.3’ te verilmiş olup,Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında alınan cihaz ve ekipmanlarla kurulumu yapılmıştır. Deneylerde kullanılan nanoakışkanın ve suyun ısı değiştiricisine sirkülasyonunu sağlamak üzere sirkülasyon pompası kullanılmış ve suyu üniform bir şekilde ısıtmak amacıyla su deposunun içine içine rezistans yerleştirilmiş ve su deposunun içinde sıcaklığı otomatik ayarlanabilen(max 80°C’ye kadar okuyabilen) ve manuel olarak kontrol edilebilen bir sistemin entegrasyonu sağlanmıştır.

Test bölümünde konstrüksiyonu basit konsantrik tip ( iç içe borulu ) ısı değiştirici kullanılmıştır. Isı değiştiricinin iç borusu içinden soğuk akışkan olarak hBN-su kararlı süspanسیون nanoakışkanı,iç boru ile dış boru arasından ise ise sıcak akışkan olarak su geçmektedir. Eş merkezli borulu ısı değiştiricisi boyutları:1500 mm uzunluk, iç boru bakır olup çapı 12 mm ,dış boru karbon çelik olup çapı 33 mm, 2 mm iç et boru kalınlığı, test bölümü ısı transfer kaybını engellemek için 4 mm yalıtım malzemesi ile

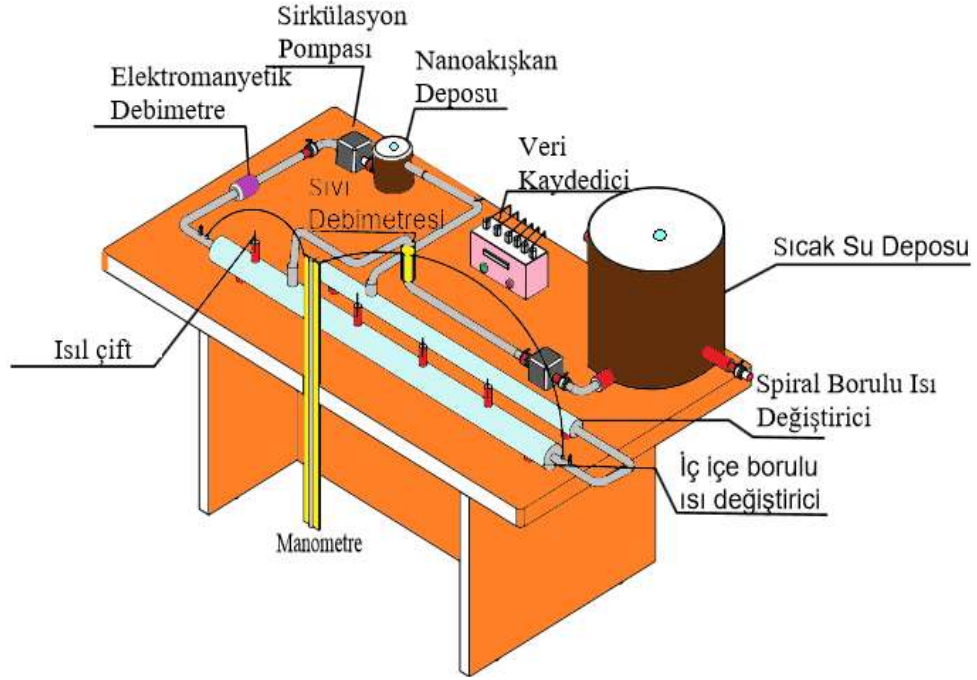
kaplanmıştır. U manometre yardımıyla basınç giriş çıkış farkı, termokupullar yardımıyla ise giriş ve çıkış sıcaklıkları belirlenmiştir. Deney düzeneğinde ki soğutma ünitesi spiral serpantin tipi ısı değiştiricisidir. Test bölgesinden ısınarak çıkan nanoakışkan spiral ısı değiştiricisinden geçirilerek ilk giriş şartlarına soğutulmaya çalışılır. Spiral ısı değiştiriciden sonra tekrar pompaya gelen nanoakışkan çevrimini tamamlamış olur. Sıcak su deposundaki su rezistans yardımıyla ısıtılmakta; deney setinde kullanılan kararlı ve süspanse hBN-su nanoakışkanını %0.01 ,%0.1 ve %1 olmak üzere 3 farklı konsantrasyondan oluşmuş olup, termofiziksel analiz sonuçları nanoakışkan sentezi yapan firmadan tedarik edilmiştir. Hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri Çizelge 5.1 verilmiştir.

**Çizelge 5.1.**Suyun ve kararlı süspanسیون hBN-Su nanoakışkanının termofiziksel özelliklerinin karşılaştırılması:

|                             | $\rho$<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | K<br>(W/mK) | Cp<br>(J/kgK) | Kinematik<br>viskozite( $\text{m}^2/\text{s}$ ) |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------|---------------|-------------------------------------------------|
| Su                          | 1000                          | 0.623       | 4178          | $0.72 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$        |
| %0.01 hBN-Su konsantrasyonu | 2270                          | 62.6        | 1610          | $3,52 \cdot 10^{-7}$                            |
| %0.1 hBN-Su konsantrasyonu  | 2300                          | 70          | 1597          | $3,61 \cdot 10^{-7}$                            |
| %1 hBN-Su konsantrasyonu    | 2325                          | 75          | 1585          | $3,97 \cdot 10^{-7}$                            |

Deneyler nanoakışkanın ve suyun farklı debi değerlerinde gerçekleştirildiğinden nanoakışkanın hacimsel debisi akış alanına müdahale etmeyen elektromanyetik debimetre ile, suyun debisi ise şamandıralı su debimetresi ile ölçülmüştür. Isı değiştiricinin giriş ve çıkışına yerleştirilen basınç prizleri yardımıyla meydana gelen basınç kayıpları U manometre ile hesaplanmıştır. Termokupul yardımıyla ise giriş ve çıkış sıcaklıkları belirlenen nanoakışkanın giriş, yüzey ve çıkış sıcaklık farkı okunmaktadır.

Su deposundaki su elektrikli rezistans yardımıyla ısıtılmakta olup, rezistansın sıcaklığı  $38^\circ\text{C}$ 'ye sabitlenmiştir. Toplamda 7 adet J tipi termokupul kullanılmış olup; termokupul Elimko E-680 sıcaklık ölçere bağlanarak sıcaklık her 5 dakikada bir okunmuş ve veriler kayıt altına alınmıştır.



**Şekil 5.1:** Deney Düzenekinin Şematik Gösterimi

### 5.1.1 Deney düzeneğinde kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Deneysel çalışmanın tasarımında kullanılan cihaz ve ekipmanlar Şekil 5.2 ve Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Deney Düzeneği Elemanları

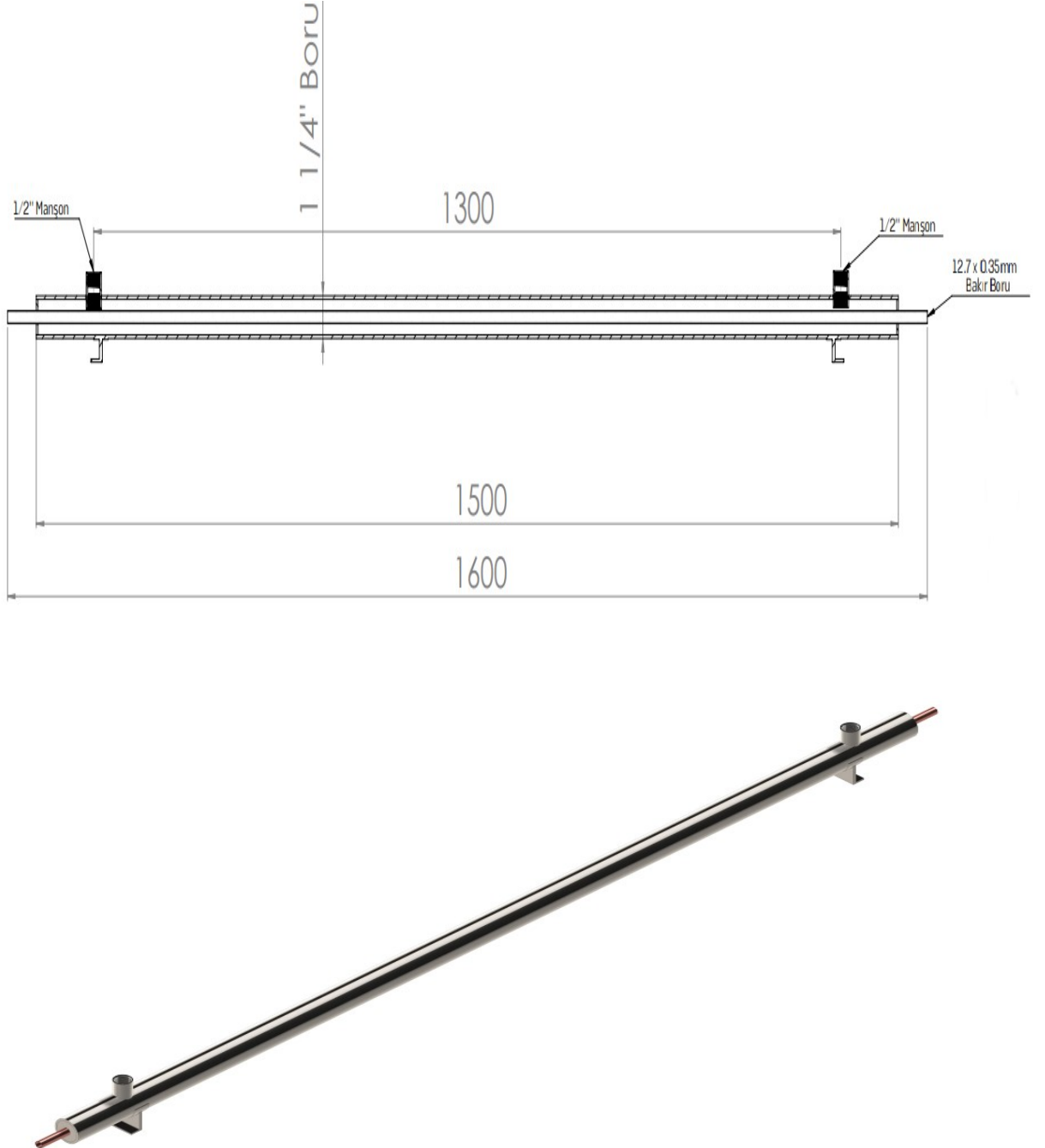


Şekil 5.3: Deney Düzeneği Elemanları

#### 5.1.1.1. Eş merkezli, İç İçe Borulu Isı Değiştirici

Bu çalışmada, 1500 mm uzunluğunda tek geçişli eş merkezli borulu ısı eşanjörü kullanılmıştır. Isı değiştiricisinin şematik gösterimi Şekil 5.4'de verilmiştir.

Eş merkezli borulu ısı değiştiricinin boyutları, 1500 mm uzunluk, iç boru bakır olup çapı 12 mm , dış boru karbon çelik olup çapı 33 mm , 2 mm et kalınlığı vardır.



Şekil 5.4 .Eş merkezli ısı değiştirici gösterimi

### 5.1.1.2. Dijital sıcaklık göstergesi

Deneyisel çalışmada sıcaklık değerlerini ölçebilmek için Şekil 5.5’de gösterilen Elimko 680 marka J tipi ısıl çiftlerle uyumlu ve 8 kanal kapasiteli dijital sıcaklık göstergesi kullanılmıştır. Her 5 dakikada ölçümler alınmış ve veriler kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5.4: Deney setinde kullanılan dijital sıcaklık göstergesi

Deney setinde kullanılan dijital sıcaklık göstergesine ait özellikler çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney setinde kullanılan dijital sıcaklık göstergesine ait özellikler

|                         | Özellikler                                                     |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Doğruluk Sınıfı         | 0.5                                                            |
| Gösterge ayrımı         | 1/9999                                                         |
| Gösterge                | 9 Digit LED (14 mm)                                            |
| A/S Çevirim             | 16 bit                                                         |
| S/A Çevirim             | 12 bit                                                         |
| Çalışma ortam Sıcaklığı | -10 °C- +50 °C                                                 |
| Sabit Band              | 0_ 9999 EU*                                                    |
| Güç Sarfı               | Max. 10 VA                                                     |
| Çalışma Gerilimi        | 85-265 V AC<br>85-375 V DC                                     |
| Kontak Kapasitesi       | NA Kontak 250 V AC 5 amp                                       |
| Giriş İşareti           | T/C , R/T, mA,mV,V                                             |
| Ölçü Elemanı            | Termokupul,Rezistans termometre, transmitterler ve çeviriciler |
| Bellek                  | EEPROM max .105 yazma                                          |

### 5.1.1.3. Su debimetresi

Deneyler yapılırken suyun debisini ölçebilmek için kullanılır. Plastik tüplü şamandıralı debimetre kullanılmıştır. Ölçüm aralığı 40lt/h-400lt/h'dir



Şekil 5.5: Plastik tüplü şamandıralı debimetre

Deney setinde kullanılan dijital sıcaklık göstergesine ait özellikler çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deney setinde kullanılan su debimetresine ait özellikler

| Model   | Ölçüm Aralığı (L/h) | Boy (mm) | Bağlantı  | Basınç (bar) | Şamandıra | Gövde | Sıcaklık °C |
|---------|---------------------|----------|-----------|--------------|-----------|-------|-------------|
| LZS-101 | 25-400              | 216      | ½'' dişli | 0-6 bar      | Abs       | Abs   | 0-80        |

### 5.1.1.4. Isıl çiftler

Deney setinde kullanılan ısı çiftleri, Ni-NiCr metal alaşımından oluşan ve mineral izoleli J tipi elemanlardır. -200°C ile 1300°C sıcaklık aralıklarında ölçüm alabilirler. Mineral izoleli uç uzunluğu 10 cm, çapı 1,6 mm ve kompanzasyon uzunluğu 1 m'dir. Akışkanların giriş, yüzey ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü için toplamda 7 adet kullanılmıştır.

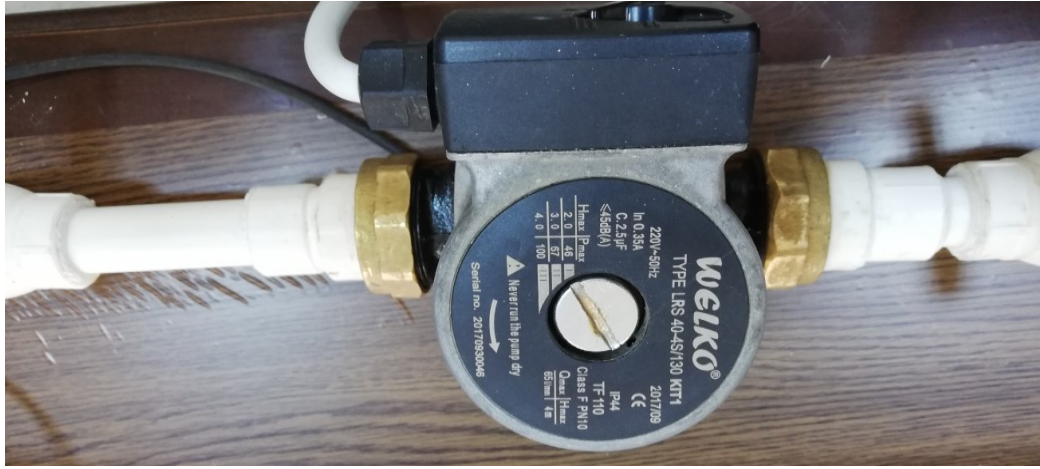


Şekil 5.6: Soketli J tipi termokupul

#### 5.1.1.5. Sirkülasyon pompası

Sistemde suyun ve nanoakışkanın sirkülasyonunu sağlamak amacıyla Şekil 5.8’de verilen Welko marka LRS40 4S/130 tip sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Kullanılan pompa -10 °C ile +100 °C arası su sıcaklıklarında ölçüm alabilen ve 10 bar basınçlarına kadar dayanabilen endüstriyel sistemlerde tercih edilmektedir.

Manuel ayarlanabilen üç hız kademesi bulunmakta olup, maksimum basma yüksekliği 4 m’dir.



Şekil 5.7.Sirkülasyon Pompası

#### 5.1.1.6. Manometre

Nanoakışkanın sistemde kullanılmasından dolayı sistemde az da olsa meydana gelen basınç kayıplarını ölçmek için ölçüm aralığı 0 – 50 mbar olan, gövde yapısı çelik, basınç hortumları şeffaf plastikten yapılmış sulu manometre kullanılmıştır.

#### 5.1.1.7.Elektromanyetik debimetre

Nanoakışkanın kullanıldığı sistemde nanoakışkan debisini temassız ölçebilmek amacıyla Şekil 5.9’da verilen Rst Elektronik tarafından üretilen Ifm DN 15 dişli elektromanyetik debimetre kullanılmıştır. Döner eleman içermediği için bu çeşit bir debimetre ile akış alanına müdahale etmeden doğrudan ölçüm yapılabilmekte ve partikül birikmesinden kaçınılabilmektedir. Dişli elektromanyetik debimetrenin sistemde kullanılmasının sisteme sağladığı avantaj, deney tesisatında kullanılan Pvc borulara herhangi bir ek bağlantı elamanı içermeden tesisatının yapılabilmesidir.



Şekil 5.8: Elektromanyetik debimetre

#### 5.1.1.8. Termal kamera

Bu tez çalışmasında termal kamera kullanılmasının sebebi ;yalıtımı yapılmış ısı değiştiricinin çıplak gözle görünmesi pek mümkün olmayan ısı kayıplarını belirlemek ve yalıtımın eksik kaldığı yerleri tespit etmektir. Ayrıca termal kamera ile termokupul ile ölçülen sıcaklık değerlerinin uyumlu olup olmadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 5.9. Testo 881 termal kamera

Deney düzeneğinde kullandığımız termal kameraya ait özellikler Çizelge 5.4 de verilmiştir.

**Çizelge 5.4.**Deney setinde kullanılan Testo 881 Termal Kamera Özellikleri

|                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| Ekran             | 3,5" LCD 320*240 piksel     |
| Saklama Sıcaklığı | -30 °C - +60 °C             |
| Çalışma Sıcaklığı | -15 °C - +40 °C             |
| Batarya Tipi      | Hızlı Şarj olan Li-iyon pil |
| Ömür              | 5 saat                      |
| Ağırlık           | 901 gram                    |
| Gövde Malzemesi   | ABS                         |
| Tipi Prop         | Kızılötesi                  |
| Ölçüm aralığı     | -20 °C - +350 °C            |
| Hassasiyet        | %2                          |

## 5.2. Ölçümler

### 5.2.1. Sıcaklık ölçümü

Deney setindeki belirlenen noktalardaki sıcaklıkları ölçebilmek için 1,6 mm çapında, mineral izoleli, J tipi ısııl çiftler kullanılmıştır. Nanoakışkanın ısı değiştiriciye girişine ve çıkışına, suyun giriş ve çıkış sıcaklığını ölçmek için karbon çelik borunun her iki ucuna, içteki bakır borunun ortalama cidar sıcaklığının tespiti için de üç noktadan yüzeye ısııl çiftler akışkanların akış yönüne dik olarak yerleştirilmiştir. Bakır borunun ortalama cidar sıcaklığını ölçebilmek için 1.5 mm kalınlığındaki bakır boru dış yüzeyinden 0,2 mm kalınlığa kadar matkapla inceltilmiş ve ısııl çiftler yerleştirilmiştir.

### 5.2.2. Debi ölçümü

Sirkülasyon pompasından basılan su, su deposunda içinde bulunan rezistans yardımıyla ısıtıldıktan sonra, ısı değiştiriciye girmeden önce hacimsel debisi debimetre ile ölçülmüştür. Deneyler sistem çalıştırıldığı esnada suyun ve nanoakışkanın debisi aynı olacak şekilde 0.8, 1.1, 1.5 m<sup>3</sup>/h hacimsel debilerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca suyun debisini ölçmek için 40–400 lt/saat aralığında ölçüm yapabilen şamandıralı ve plastik gövdeli debimetre kullanılmıştır. Nanoakışkanın debisini ölçmek için temassız ve doğrudan ölçüm alabilen elektromanyetik debimetre kullanılmıştır.

### 5.2.3. Basınç düşüşünün ölçümü

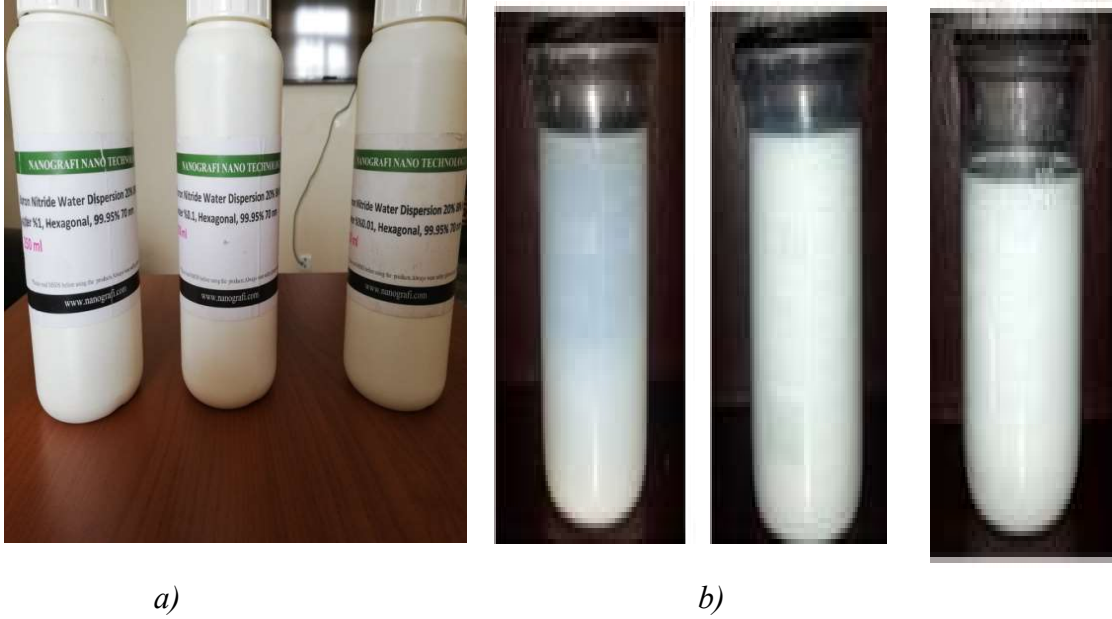
Isı değiştiricinin iç borusundan geçen nanoakışkanın basınç düşüşü, akışkan ile kanal cidarları arasındaki sürtünmeden dolayı oluşmaktadır. Nanoakışkanın giriş ve çıkış arasındaki basınç düşüşüne bağlı olarak deneysel sürtünme faktörü değerleri ve yük kaybı değerleri bulunmuştur. Basınç düşüşünü belirlemek için nanoakışkanın giriş ve çıkışına eşanjör imalatı sırasında yapılan tasarımla 10 mm'lik basınç hortum prizinin gireceği ufak bir kanal oluşturulmuş, girişe ve çıkışa toplam 2 adet basınç prizleri yerleştirilmiştir. Bu prizlere şeffaf hortumla sulu U manometre bağlanıp iki sütun arasındaki değerlerin farkı okunmuş, bu değerler basınç birimine (Pa) çevrilmiştir.

### 5.2.4. Deneylerin yapılışı

Deneylere başlamadan önce gerekli debi ve sızdırmazlık kontrol deneyleri yapılmıştır. Sistem böylelikle kaçaklar yönünden kontrol altına alınmıştır. Daha sonra sirkülasyon pompası çalıştırılarak, nanoakışkanın ve suyun boru içinden istenen debilerde ( 0.8, 1.1, 1.5  $m^3$ /saat ) akışı sağlanmıştır. Suyun debisi, vanalar yardımıyla istenilen debilere ayarlanabilmektedir. Su deposunda bulunan rezistans çalıştırılıp suyun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı 38°C'ye ayarlanmıştır. Sistem sürekli rejim şartlarını sağlaması için 1.5 – 2 saat arasında çalıştırılmıştır. Sürekli rejim şartlarına ulaşıldıktan sonra dijital sıcaklık göstergesinden her 5 dakikada bir sıcaklık değerleri okunmuştur. Basınç değerleri de paralel ve zıt akış için, farklı konsantrasyonlarda ve farklı debilerde manometre yardımıyla okunmuştur. Önce nanoakışkansız sistem test edilmiş, gerekli veriler elde edildikten sonra nanoakışkan ve su sisteme birlikte entegre edilmiş ve elde edilen sonuçlar su ve hBN-Su nanoakışkanı için grafiklerde belirtilmiştir.

### 5.3.Nanoakışkanların Hazırlanması

Deney düzeneğinde kullandığımız %50 hacimsel hBN-Su karışımı 3 farklı konsantrasyonda(%0.01 hBN, %0.1 hBN, %1 hBN) olacak şekilde nanoakışkan hazırlayan Nanografi firmasından temin edilmiştir. Üretilen numunelerin termofiziksel analizleri ilgili firmanın laboratuvarında yapılmış ve analiz sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 6.1.a)Hazır temin edilen %1 ,%0.1,%0.01 hBN nanoakışkanları.

b)%1 ,%0.1,%0.01 hBN nanoakışkanları

### 5.4.ısı Transferi ve Basınç Düşümü Analizi

Sistemin kalibrasyonunu yapabilmek hazırlanan hBN-Su nanoakışkanı ve suyun etkilerini karşılaştırmak amacıyla; ısı değiştiricisinde öncelikle saf su, daha sonra da saf su içerisine süspanse edilen hBN nanoakışkanı kullanılarak,3 farklı debide deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda alınan verilerle yapılan ısı transferi ve basınç düşümü hesaplamaları, mevcut korelasyonlarla karşılaştırıldıktan sonra nanoakışkanlar ile gerçekleştirilecek deneylere geçilmiştir. Mevcut deneyler yapıldıktan sonra farklı debi ve farklı konsantrasyonların ısı taşınım katsayısı oranı ve toplam ısı transfer kat sayısı üzerindeki etkisi; farklı Reynold ve farklı konsantrasyonların ısı taşınım katsayısı oranı ve toplam ısı transfer katsayısı üzerindeki etkisi grafiklere yansıtılmıştır.

Sistemde eş eksenli, iç içe borulu ısı değiştiricisinde iç borudan nanoakışkan, iç boru ile dış boru arasındaki boşluktan ise su deposunda rezistans ile ısıtılarak sisteme

gönderilen sıcak su bulunmaktadır. Isı değiştiricisinde dış borunun yüzeyi çevreye olan ısı transferini engelleyebilmek amacıyla yalıtım malzemesi ile izolasyonu sağlanmıştır. Dış ortamla ısı alış verişi olmadığından dolayı, sıcak akışkan ile iç boruda soğuk akışkan olarak kullanılan nanoakışkan arasında alınan ısı verilen ısıya yaklaşık olarak eşit olması beklenir. Eşit olmaması durumunda sistemde kaçaklar mevcuttur ve belirsizlik analizindeki hesaplamalarda ölçülen değerlerden kaynaklanmaktadır.

#### 5.4.1.İç Taraf Akışkanı İçin

$$Q_a = \dot{m}_a * c_{p,a} * (T_{a,\text{çık}} - T_{a,\text{gir}}) \quad (6.1)$$

$$Q_v = \dot{m}_v * c_{p,v} * (T_{v,\text{çık}} - T_{v,\text{gir}}) \quad (6.2)$$

Denklem (6.10)'de toplam ısı transfer katsayısı ( $U_{top}$ ) değeri hesaplanmıştır. Denklemde yer alan ısı transferi yüzey alanı Denklem (6.6)'de, logaritmik sıcaklık farkı Denklem (6.5)'de verilmiştir.

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \quad (6.3)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i} \quad (6.4)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)} \quad (6.5)$$

$$A_i = \pi * D_i * L \quad (6.6)$$

$$Q_{ort} = U * A_i * \Delta T_{lm} \quad (6.7)$$

#### 5.4.2.Halka Taraf Akışkanı İçin

hBN nanoakışkanın taşınım katsayısı  $h_i$ , diğeri iç boru ile dış boru arasında bulunan sıcak suyun taşınım katsayısı  $h_o$ 'dur. Sıcak suyun taşınım katsayısı  $h_o$ , Gnielinski modeli esas alınarak hesaplanır. Gnielinski modelinden(Denklem 6.14) Nu değeri hesaplandıktan sonra Denklem 6.9'da yerine yazılır ve  $h_o$  değeri bulunur. Formülde geçen  $D_h$  hidrolik çaptır ve Denklem 6.8'den hesaplanır.  $D_{oi}$  dış borunun iç çapı,  $D_{io}$  ise iç borunun dış çapıdır.

$$D_h = D_{oi} - D_{io} \quad (6.8)$$

$$h_o = \frac{Nu * k}{D_h} \quad (6.9)$$

Denklem 6.15'den hesaplanan  $h_o$  değeri, Denklem 6.16'den hesaplanan U değeri Denklem 6.17'de yerine yazılarak  $h_i$  değeri bulunmuştur.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (6.10)$$

Sonuç olarak deneysel Nusselt sayısı Denklem 6.11'den bulunmuştur.

$$Nu = \frac{h_i * D_h}{k} \quad (6.11)$$

Gnielinski eşitliği (1976) Denklem 6.24'de verilmiştir. İçteki boruda akış  $4000 < Re < 150000$  aralığında değişmekte olup hem geçiş hem de türbülans bölgesindedir. Buna göre sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısı için zorlanmış taşınım bağıntıları kullanılabilir.

$$Re_{su} = \frac{p_{su} * V_{su} * D_i}{\mu_{su}} \quad (6.12)$$

$$f = [1.58 * \ln(Re) - 3.82]^{-2} \quad (6.13)$$

$$Nu = \frac{\frac{f}{2} * (Re - 1000) * Pr}{1 + 12.7 * (\frac{f}{2})^{0.5} * (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (6.14)$$

#### 5.4.3. Basınç Düşümü Analizi

Boru içi akışlarda akışkan sürtünmesi basınç düşümüne neden olur. Sürtünme faktörü (f değeri) Denklem (6.16)'dan bulunmuştur.

$$\Delta P = f * \frac{L}{D} * \frac{1}{2} * v^2 \quad (6.15)$$

$$h_K = (\text{yük kaybı}) = \frac{\Delta P}{\rho g} = f * \frac{L}{D} * \frac{u_m^2}{2g} \quad (6.16)$$

Sürtünme katsayısı Reynolds sayısının farklı değerlerinde farklı formüllerle elde edilmektedir ve  $4000 < Re < 20000$  olduğu durumlarda sürtünme faktörü için şu bağıntı kullanılır.

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (6.17)$$

#### 5.5. Ekserji Analizi

Termodinamik bir sistemde ikinci kanun ekserji dengesi şöyle verilir:

$$\sum E_{giren} = \sum E_{çıkan} - \sum E_{toplama} \quad (6.18)$$

Denklemlerde  $E_h$ , sıcak akışkanın ekserji değişimini,  $E_c$  soğuk akışkanın ekserji değişimini,  $T_e$  çıkış sıcaklığın ifade eder. Bu durumda ekserji kaybı şu şekilde ifade edilir.

$$E = E_h + E_c \quad (6.19)$$

$E_h$ , sıcak akışkanın ekserji değişimini ifade eder ve şu şekilde hesaplanır:

$$E_h = T_e * [C_h * \ln(\frac{T_{h,out}}{T_{h,in}})] \quad (6.20)$$

$E_c$ , soğuk akışkanın ekserji değişimini ifade eder ve şu şekilde ifade edilir:

$$E_c = T_e * [C_c * \ln(\frac{T_{c,out}}{T_{c,in}})] \quad (6.21)$$

Bu eşitlikler yardımıyla Ekserji kaybı düzenlenerek şu şekilde yazılabilir:

$$E = T_e * [C_h * \ln(\frac{T_{h,out}}{T_{h,in}}) + C_c * \ln(\frac{T_{c,out}}{T_{c,in}})] \quad (6.22)$$

2.Kanun verimi (Ekserji verimi) şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = \frac{\dot{m}_c(\Psi_{c,out} - \Psi_{c,in})}{\dot{m}_h(\Psi_{h,in} - \Psi_{h,out})} = \frac{\dot{m}_c * C_{p,c} * \{ (T_{c,out} - T_{c,in}) - T_e * [C_h * \ln(\frac{T_{h,out}}{T_{h,in}})] \}}{\dot{m}_h * C_{p,h} * \{ (T_{h,in} - T_{h,out}) - T_e * [C_h * \ln(\frac{T_{h,in}}{T_{h,out}})] \}} \quad (6.23)$$

$\dot{m}$  kütleli debi olup şu şekilde hesaplanır:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} \quad (6.24)$$

Akışkanlar için gerekli olan pompalama gücü aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$P = \frac{\dot{m} * \Delta P}{\rho} \quad (6.25)$$

## 6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

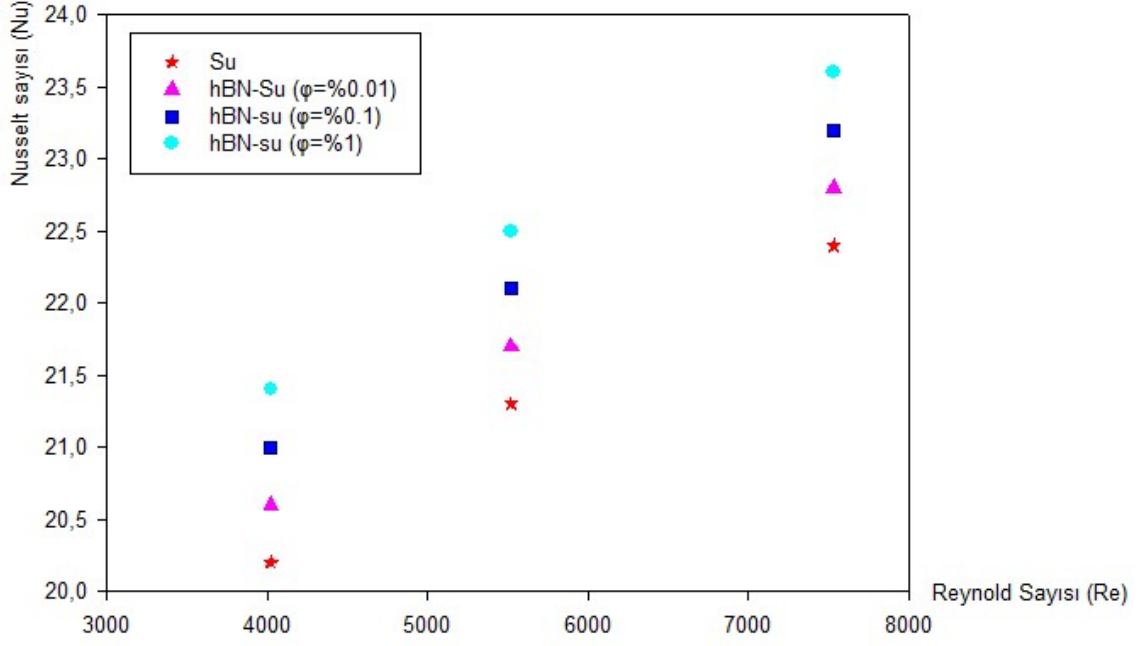
### 6.1.Nusselt Sayısı Grafikleri

Şekil 6.2’de Nusselt sayısının debi ile değişimleri hem boş boru-su hem de farklı hacimsel konsantrasyonlardaki hBN-su nanoakışkanı için değerlendirilmiştir. Taşınım ile ısı transferi özellikleri bakımından hBN-Su nanoakışkanları, ısı iletkenlik artışına paralel bir artış göstermiştir. Bu yüzden Nusselt sayısında normalin dışında bir artış görülmemiştir.

Çalışılan bütün durumlarda ve akış koşullarında (Paralel akış ve Zıt akış) Reynolds sayısının artışına paralel olarak Nusselt sayısının artışına yol açmıştır. Geleneksel ısı transferi akışkanlarından biri olan su içerisine nano boyutta hBN partiküllerin eklenmesi ve süspanse edilmesi ısı transferinde artışa yol açmıştır. Artan partikül konsantrasyonuna paralel olarak ısı transferi de artmıştır. En yüksek Nusselt sayısı en yüksek hacimsel konsantrasyon olan %1 ( $Re=7534$ ), ve en yüksek debi olan 1.5 lt /dk’da elde edilmiştir. Isı transferi ve basınç düşümü dikkate alındığında nanoakışkanların kullanımının enerji tasarrufu açısından daha uygun olduğu sonucu çıkarılabilir.

#### 6.1.1.Paralel Akış

DeneySEL sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde,hBN-Su nanoakışkanının soğuk akışkan olarak kullanılması saf suya göre toplam ısı transferi ve nusselt sayısındaki artış bakımından ;karşıt akışlı ısı değiştiricisine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Paralel akışlı ısı değiştiricisi için farklı akışkan debisine göre hesaplanan nusselt sayısındaki değişim, soğuk akışkan olarak kullanılan hekzagonal bor nitrür için, saf suya oranla deneySEL olarak %1 hBN-Su konsantrasyonunda ve 1.5 lt/dk debisinde en yüksek değerine ulaşarak iyileşme %10.3 olmuştur.

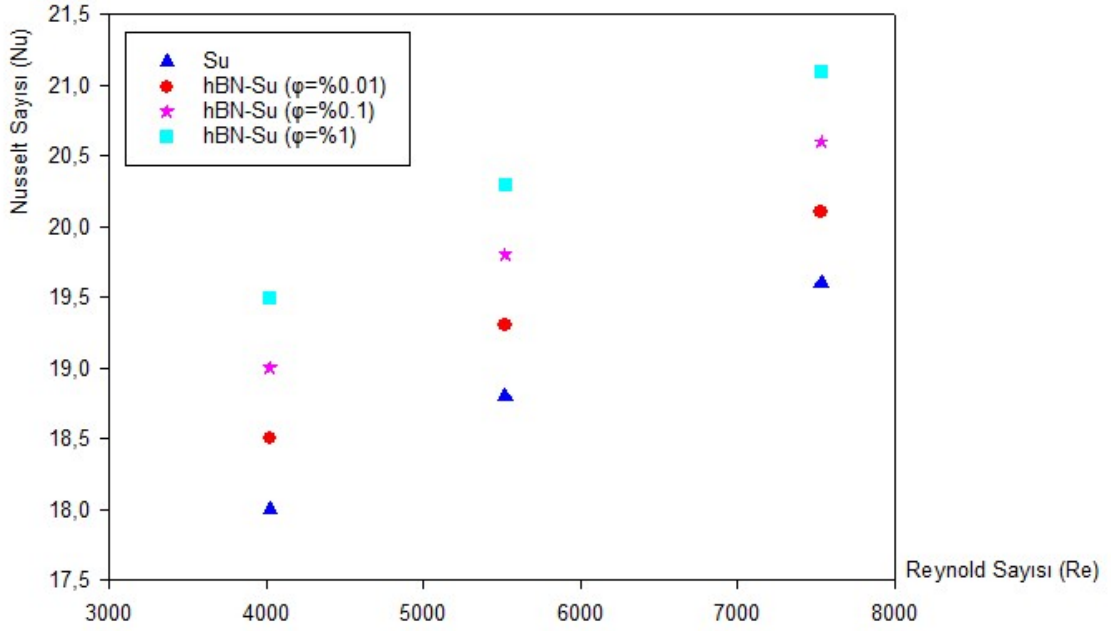


**Şekil 6.2:** Farklı konsantrasyonlarda Nusselt sayısı (Nu) ve Reynold(Re) sayısı ilişkisi

Şekil 6.2'den de görüldüğü gibi konsantrasyon ve debi artışı Nusselt sayısını artmaktadır. Şekilden de anlaşılabileceği üzere saf suya katılan hBN nanoparçacıkları, taban akışkanının (saf su) Nusselt sayısının Nu, artmasını sağlamaktadır. Nusselt sayısının tanımı da düşünüldüğünde  $\left(\frac{h \cdot D}{k}\right)$  %0.01'lik konsantrasyonda % 0.1' e göre daha az h (ısı taşınım katsayısı) artışı elde edildiğini göstermektedir.

### 6.1.2.Zıt Akış

DeneySEL sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde,hBN nanoakışkanının soğuk akışkan olarak kullanılması saf suya göre toplam ısı transferi ve nusselt sayısındaki artış bakımından ;karşıt akışlı ısı değiştiricisine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Zıt akış için farklı akışkan debisine göre hesaplanan Nusselt sayısındaki değişim, soğuk akışkan olarak kullanılan hekzagonal bor nitrür için, saf suya oranla deneySEL olarak %1 hBN-Su konsantrasyonunda ve 1.5 lt/dk debisinde en yüksek değerine ulaşarak iyileşme % 8.1 olmuştur.



**Şekil 6.3:** Farklı konsantrasyonlarda Nusselt sayısı(Nu) ve Reynold sayısı(Re) ilişkisi

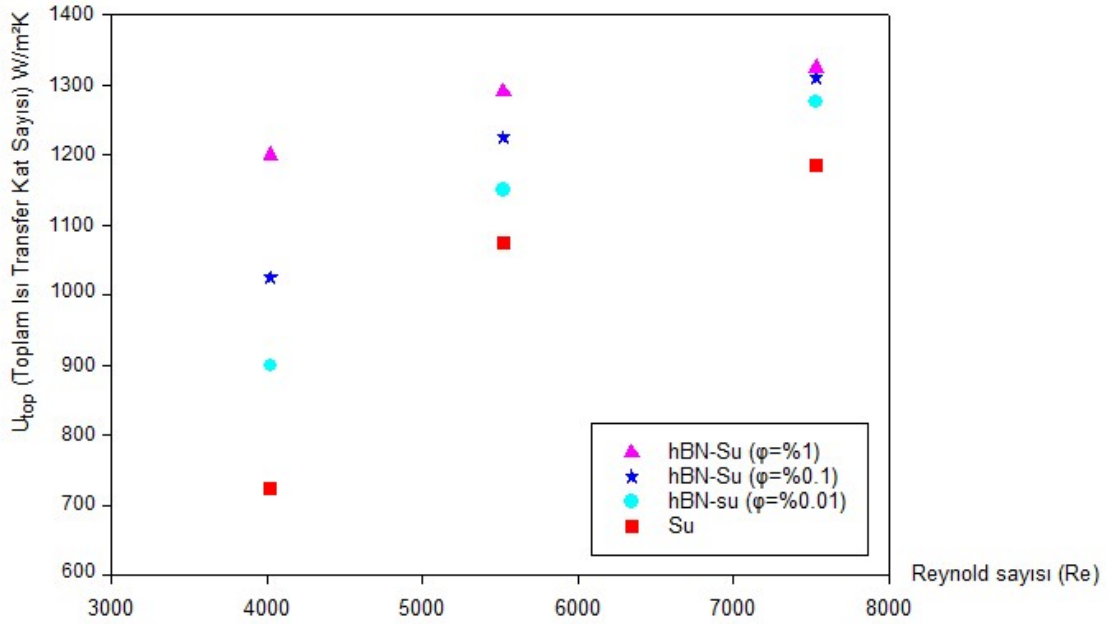
Şekil 6.3'den anlaşılabacağı üzere en yüksek nusselt sayısı En yüksek Reynold sayısında ( $Re=7534$ ) de elde edilmiştir. Konsantrasyon ve debi artışına paralel olarak Nusselt sayısı da artmaktadır.

## 6.2.Toplam ısı transferi katsayısı grafikleri

Şekil 6.4'de toplam ısı transfer katsayısı Reynolds ile değişimleri gösterilmiştir. Reynolds sayısındaki artışa paralel olarak toplam ısı transfer katsayısının artmasına neden olmaktadır. Nanoakışkan konsantrasyonun artmasıyla birlikte toplam ısı transfer katsayısı da paralel olarak artmıştır. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı paralel akışta ( $U$ )  $1310 \text{ W/m}^2\text{K}$ , en yüksek Reynolds sayısında ve en yüksek debi olan  $1.50 \text{ lt/dk}$ 'da , %1'lik hBN hacimsel konsantrasyonda elde edilmiştir. Paralel akışta hBN nanoakışkanı,toplam ısı transferini saf suya oranla %20'ye kadar iyileştirmiştir. Hacimsel debinin artışına paralel olarak ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) toplam ısı transfer katsayısı da artmaktadır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde, hBN nanoakışkanının soğuk akışkan olarak kullanılması saf suya göre toplam ısı transferindeki artış bakımından karşıt akışlı ısı değiştiricisinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

### 6.2.1.Paralel akış

Deneyssel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde,hBN nanoakışkanının soğuk akışkan olarak kullanılması saf suya göre toplam ısı transferindeki artış bakımından karşıt akışlı ısı değiştiricisinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Paralel akışlı ısı değiştiricisi için farklı akışkan debisine göre hesaplanan toplam ısı transfer katsayısındaki değişim, soğuk akışkan olarak kullanılan hekzagonal bor nitrür için, saf suya oranla deneyssel olarak 1.5 lt/dk debisinde en yüksek değerine ulaşarak iyileşme %19.7 olmuştur.



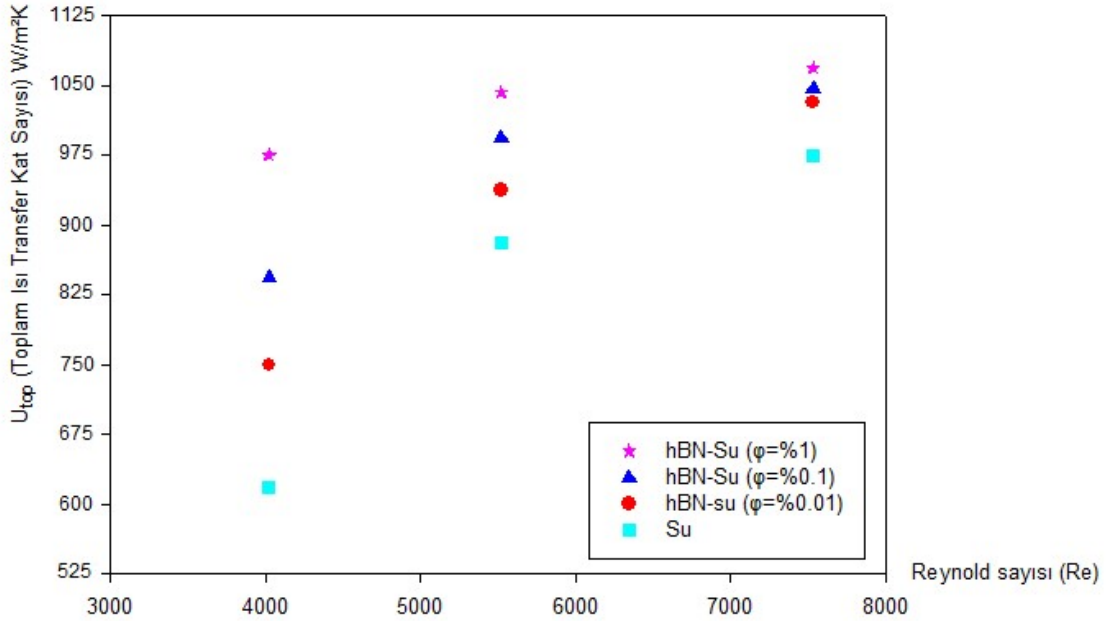
**Şekil 6.4:** Farklı Konsantrasyonlarda Reynold Sayısı (Re) ve Toplam Isı Transfer Katsayısı ( $U_{top}$ ) değişimi

Reynolds sayısındaki artış toplam ısı transfer katsayısının artmasına neden olmaktadır. Nanoakışkan konsantrasyonun artmasında toplam ısı transfer katsayısının artmasına neden olmuştur. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı ( $U$ ) 1310 W/m²K, en yüksek Reynolds sayısında ve en yüksek debi olan 1.50 lt/dk'da ,%1'lik hBN hacimsel konsantrasyonunda elde edilmiştir.

### 6.2.2. Zıt Akış

Paralel akışlı ısı değiştiricilerdeki analiz sonuçlarına benzer olarak, karşıt akışlı ısı değiştiricisi deneyssel sonuçları teorik hesaplamalar yapılarak,değerlendirilmeler yapılmıştır. Deneyssel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde, hBN nanoakışkanının soğuk akışkan olarak kullanılması saf suya göre toplam ısı

transferindeki artış bakımından karşıt akışlı ısı değıştiricisinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Karşıt akışlı ısı değıştiricisi için farklı soğuk akışkan debisine göre hesaplanan toplam ısı transferi katsayısındaki değışim, soğuk akışkan olarak kullanılan hekzagonal bor nitrür için saf suya oranla 1.5 lt/dk debisinde en yüksek değere ulaşarak iyileşme %16.6 olmuştur.



**Şekil 6.5:** Farklı Konsantrasyonlarda Reynold Sayısı (Re) ve Toplam Isı Transfer Katsayısı ( $U_{top}$ ) değışimi

Reynolds sayısındaki artış toplam ısı transfer katsayısının artmasına neden olmaktadır. Nanoakışkan konsantrasyonun artmasına paralel olarak toplam ısı transfer katsayısı da artmıştır. En yüksek toplam ısı transfer katsayısı ( $U$ ) 990 W/m²K ile en yüksek Reynolds sayısında ( $Re=7534$ ) ve en yüksek debi olan 1.50 lt/dk'da %1'lik hBN-Su hacimsel konsantrasyonda elde edilmiştir. Nanoparçacık konsantrasyonundaki artış, nanoparçacıkların çarpışmalarını ve etkileşimlerini yoğunlaştırmaktadır. Böylece boru duvarına yakın bu parçacıkların hareketi duvardan nanoakışkana olan ısı transferinin hızlanmasına yol açmaktadır.

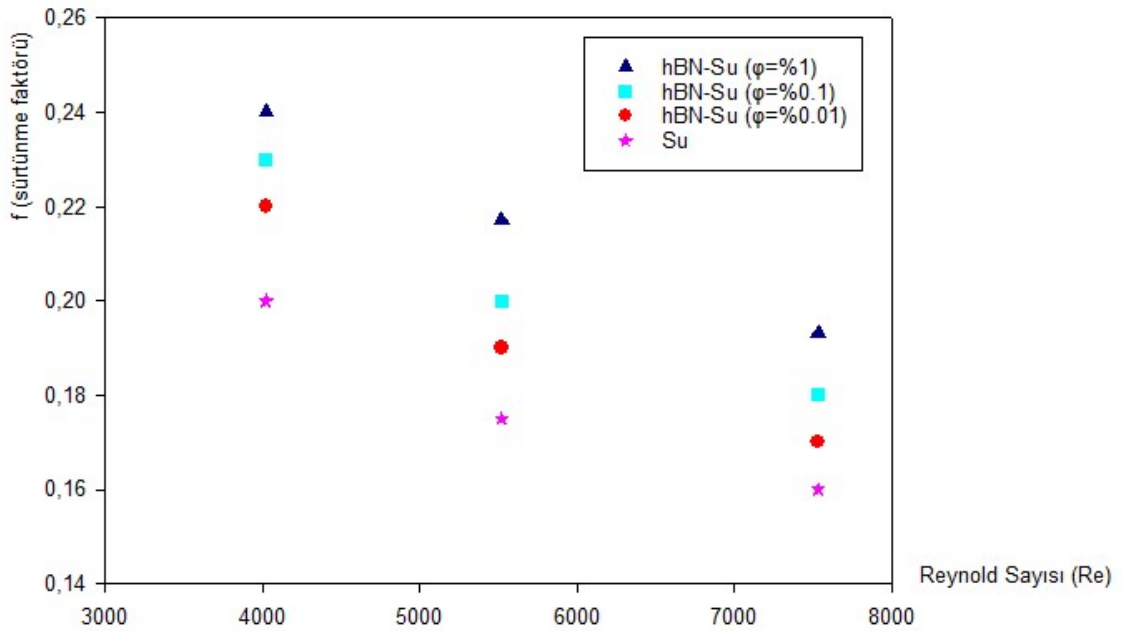
### 6.3.Basınç Düşümü Sonuçları

Deneylerin yapıldığı tesisatta test bölgesinin giriş ve çıkışına uygun kanallar açılmış ve basınç prizleri bu kanallara bağlanarak basınç prizlerinden diferansiyel basınç farkları okunmuştur. Okunan basınç farkı değerleri sürtünme faktörü ( $f$ ) ve yük kaybı grafikleri Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de hBN-Su nanoakışkanı için grafiklerde

gösterilmiştir. Farklı hacimsel konsantrasyonun, basınç düşümü üzerindeki etkileri grafiklerde net bir şekilde görülmektedir. Tüm akış koşullarında (Paralel ve zıt akış için) beklenildiği gibi Reynolds sayısının artışına bağlı olarak, sürtünme faktörü azalmış, başka bir ifade ile basınç düşümü artan hıza paralel olarak artmıştır. Ayrıca debinin artışıyla sürtünme faktörü azalırken, yük kaybı artmaktadır. Basınç düşüşü, debinin ve konsantrasyonun artışıyla artmaktadır. Grafiklerden de anlaşılaacağı üzere sürtünme faktörü değerleri hacimsel oranlarla(%0.01,%0.1,%1) çok fazla değişmemiştir. Bunun en büyük nedeni seçilen hacimsel konsantrasyonların çok düşük olması ve konsantrasyon aralıklarının birbirine yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Borulama sistemlerinin incelemelerinde, basınç kayıpları genelde yük kaybı, denen eşdeğer akışkan sütunu yüksekliği cinsinden ifade edilir.

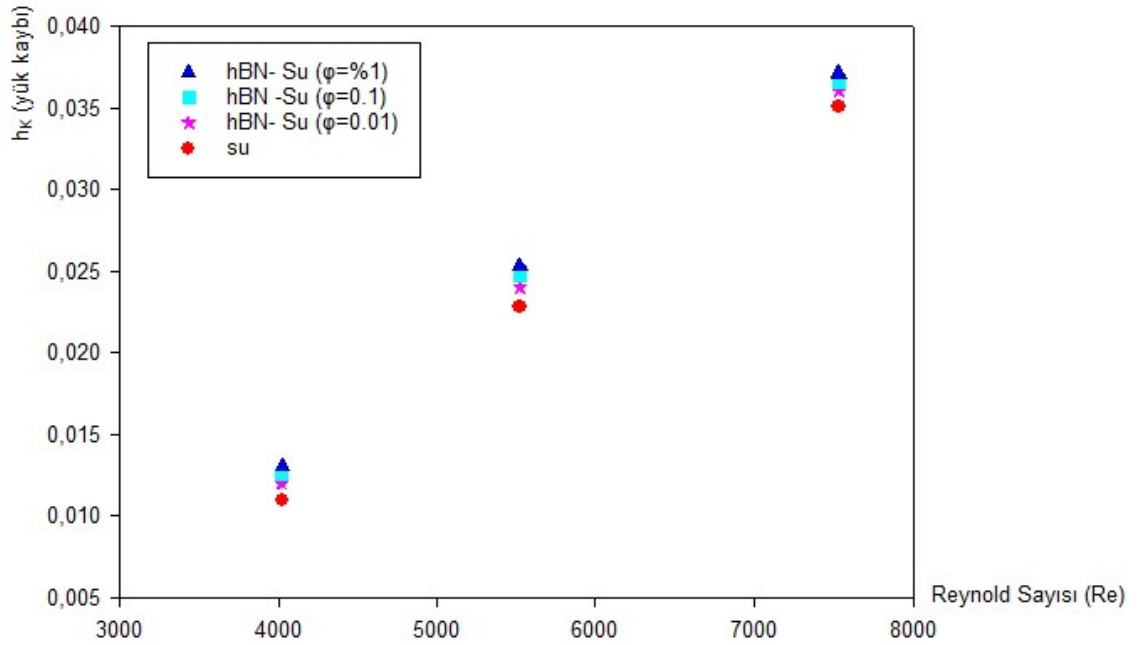
### 6.3.1.Paralel Akış

Paralel akışlı ısı değıştircilerdeki analiz sonuçlarına benzer olarak, karşıt akışlı ısı değıştircisi deneysel sonuçları teorik hesaplamalar yapılarak birtakım değerdendirilmeler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar incelendiğinde zıt akışlı ısı değıştircisinde,paralel akışlı ısı değıştircisine oranla yük kaybı ve sürtünme faktöründeki artış daha fazla olmuştur. Dolayısıyla zıt akışlı ısı değıştircisinde paralel akışlı ısı değıştircisine oranla basınç düşümündeki artışı daha fazla olmaktadır.



**Şekil 6.6:**Farklı konsantrasyonlarda Sürtünme faktörü (f) ve Reynold sayısı(Re) ilişkisi

Sistemin basınç düşüşü farklı debilerde ve sabit ısı akısında ölçülmüş ve daha sonra sürtünme faktörü  $f$ , değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar sürtünme faktörü için Şekil 6.6'da verilmiştir. En fazla basınç düşüşü %1 hacimsel konsantrasyonda ve en yüksek Reynold sayısında ( $Re=7532$ ) gerçekleşmiştir. Şekil 6.6'de görüldüğü gibi Reynold sayısının artmasıyla sürtünme faktörü  $f$ , azalmaktadır. Sürtünme faktörü ( $f$ ), debinin artışıyla azalırken konsantrasyonun artışıyla artış göstermektedir. 0.8 l/dak.'lık debide % 0.01'lik hBN-Su konsantrasyonunda saf suya göre % 9.1'lik artış görülürken, bu artış oranı % 0.1'lik konsantrasyonda % 11'e çıkmakta, %1'lik konsantrasyonda bu oran % 13'e çıkmaktadır. Grafikler incelendiğinde ısı transferinde artışa neden olan konsantrasyonların basınç düşüşünü de artırdığı görülecektir.



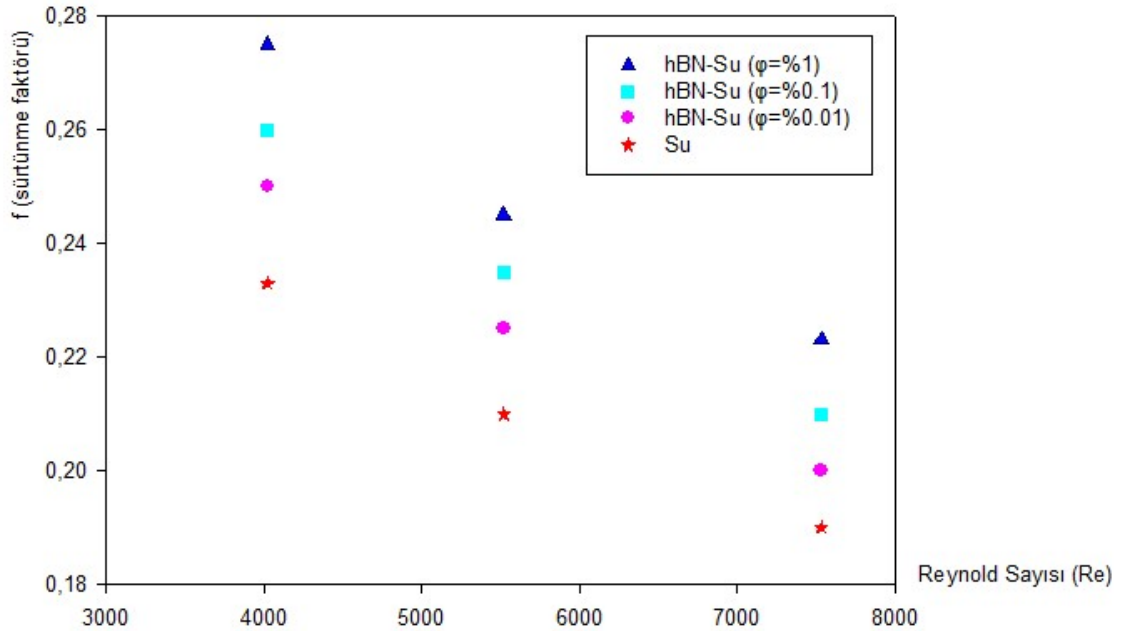
Şekil 6.7: Farklı konsantrasyonlarda yük kaybı ( $h_K$ ) ve Reynold sayısı ( $Re$ ) ilişkisi

Yük kaybı  $h_K$ , borudaki sürtünmeden kaynaklanan kayıpları yenmek için akışkanın pompa tarafından çıkarması gereken ilave yüksekliği temsil eder. Sistemin basınç düşüşü farklı debilerde ve sabit ısı akısında ölçülmüş ve daha sonra yük kaybı  $h_K$  değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yük kaybı için Şekil 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.7'de görüldüğü gibi Reynold sayısının artışıyla yük kaybı  $h_K$ , artmaktadır. En yüksek yük kaybı değeri  $h_K$ , %1 hBN-Su konsantrasyonunda, 1.5 l/dak.'lık debide ve en yüksek Reynold Sayısında ( $R=7532$ ) sudan %7.8 daha fazla ölçülmüştür. Taban akışkanına eklenen nanoparçacıklar, taban akışkanının yani elde edilen yeni akışkan

olan nanoakışkanın ısı iletkenliğini artırırken viskozitesinin de artmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak nanoakışkanın yük kaybı  $h_K$ , (basınç düşüşü) ve sürtünme faktörü  $f$ , artmaktadır. 1.1 l/dak. debide % 0.01 hBN-Su konsantrasyonunda yük kaybı ( $h_K$ ) suya göre %4 artarken, aynı debide fakat %0.1 hBN-Su konsantrasyonunda suya göre bu artışlar sırasıyla %6.8, %1 hBN-Su konsantrasyonunda bu artış %10.8'dir.

### 6.3.2.Zıt Akış

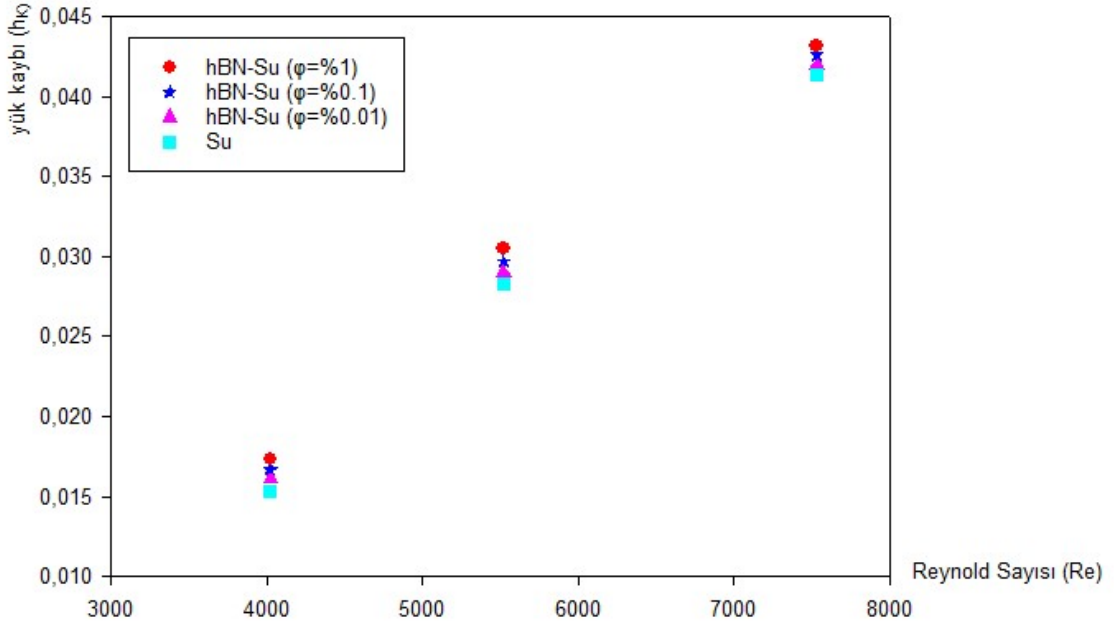
Paralel akışlı ısı değiştiricilerdeki analiz sonuçlarına benzer olarak, karşıt akışlı ısı değiştiricisi deneysel sonuçları teorik hesaplamalar yapılarak değerlendirilmeler yapılmıştır.



**Şekil 6.8:**Farklı konsantrasyonlarda Sürtünme faktörü ( $f$ ) ve Reynold sayısı( $Re$ ) ilişkisi

Sistemin basınç düşüşü farklı debilerde ve sabit ısı akısında ölçülmüş ve daha sonra sürtünme faktörü  $f$ , değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar sürtünme faktörü için Şekil 6.8'de verilmiştir. En fazla basınç düşüşü %1 hacimsel konsantrasyonda ve en yüksek Reynold sayısında ( $Re=7532$ ) gerçekleşmiştir. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi Reynold sayısının artmasıyla sürtünme faktörü  $f$ , azalmaktadır. Sürtünme faktörü ( $f$ ), debinin artışıyla azalırken konsantrasyonun artışıyla artış göstermektedir. 0.8 l/dak.'lık debide % 0.01'lik hBN-Su konsantrasyonunda saf suya göre % 12'lik artış görülürken, bu artış oranı % 0.1'lik konsantrasyonda % 14.1'e

çıkmakta,%1'lik konsantrasyonunda bu oran % 16.5'e çıkmaktadır. Grafikler incelendiğinde ısı transferinde artışa neden olan konsantrasyonların basınç düşüşünü de artırdığı görülmektedir.



**Şekil 6.9:**Farklı konsantrasyonlarda yük kaybı ( $h_k$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

Sistemin basınç düşüşü farklı debilerde ve sabit ısı akısında ölçülmüş ve daha sonra yük kaybı  $h_k$  değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yük kaybı için Şekil 6.9'da verilmiştir. Şekil 6.9'da görüldüğü gibi Reynold sayısının artışıyla yük kaybı  $h_k$ , artmaktadır. En yüksek yük kaybı değeri  $h_k$ , %1 hBN-Su konsantrasyonunda, 1.5 l/dak.'lık debide ve en yüksek Reynold Sayısında suya göre %12 artış göstermiştir. 1.1 l/dak. debide % 0.01 hBN-Su konsantrasyonunda yük kaybı ( $h_k$ ) suya göre % 6 artarken, aynı debide fakat %0.1 hBN-Su konsantrasyonunda suya göre bu artışlar sırasıyla % 8.1, %1 hBN-Su konsantrasyonunda bu artış % 13.6'dır.

#### 6.4.Ekserji Analizi

Enerji, iş ya da iş yapabilme yeteneğidir. Ancak bu tanımı daha özel bir hale getirecek olursak, enerjinin hareket ya da hareket üretme yeteneği olarak tanımlanması daha doğru olacaktır. Enerji bir sistemde her zaman korunmakta iken; ekserji ise daima tersinir sistemlerde korunmaktadır. Bir ısı değiştiricide üç şekilde kayıp oluşur. Bunlar; sıcaklık farkından kaynaklanan kayıp, akışkanın sürtünmesinden kaynaklanan kayıp ve çevre ile ısı transferinden kaynaklanan kayıptır. Sonuncu kayıp genelde ısı değiştirici yüzeyi yalıtımlı olduğundan ihmal edilmektedir.

Enerjinin faydalı olan kısmı yani kullanılabilen kısmını ekserji oluşturmaktadır. Enerjinin kullanılmayan kısmına ise anerji denir. Buna göre;

$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$  bağıntısı ortaya çıkar. Bu tanımlardan yola çıkarak termodinamiğin birinci ve ikinci yasası şu şekilde ifade edilebilir.

Birinci yasa;

- Termodinamiğin bütün süreçlerinde ekserji ve anerjinin toplamı değişmez, sabit kalır.

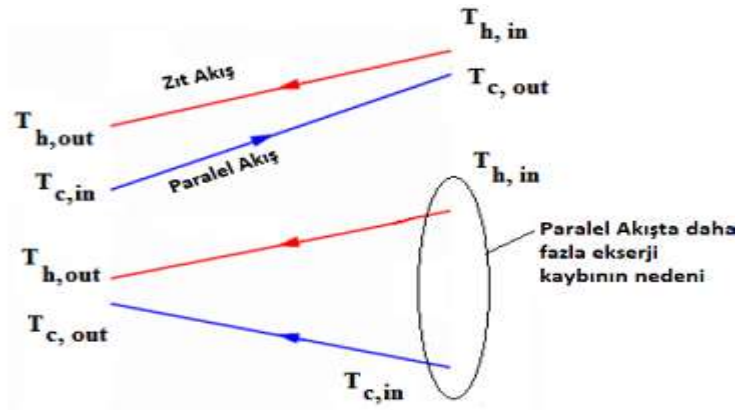
İkinci yasa ise;

- Ekserji, tersinir süreçlerde sabit kalır.
- Anerji, ekserjiye dönüşemez.
- Tersinmez olan süreçlerde ekserjinin tamamı ya da bir kısmı anerjiye dönüşür. (Çomaklı, 2003).

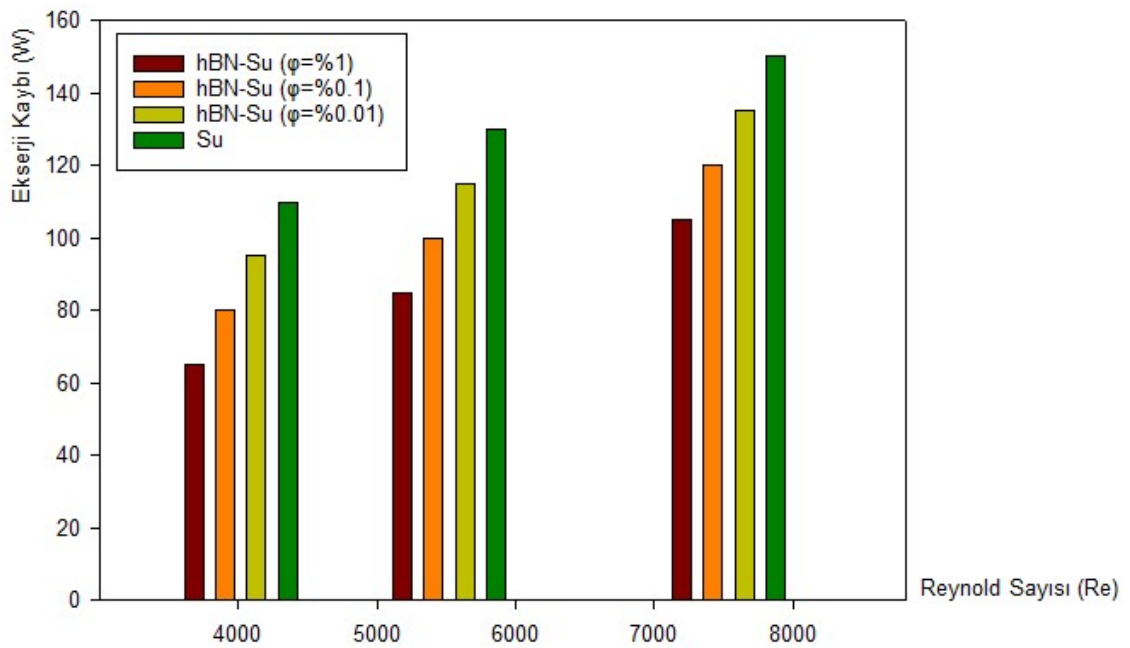
Başka bir deyişle ekserji, tersinir bir süreç sonucunda çevre ile denge sağlandığı takdirde oluşan entropi sonucu kullanılamaz hale gelen enerji düşüldükten sonra, teorik olarak elde edilebilecek maksimum faydalı iş miktarı olarak da tanımlanabilir. Enerjiden farklı olarak, ekserji; korunum kanununa uğramaz (tersinmez veya ideal sistemler hariç olmak üzere). Bir sistem sürecinde ekserji tüketimi, sistemle ilişkili olan tersinmezliklerden dolayı ortaya çıkan entropi ile orantılıdır.

##### 6.4.1.Paralel Akış

Deneysel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde, zıt akışlı ısı değiştiricisine oranla ekserji kaybı daha fazla olmuştur. Şekil 6.10'da farklı konsantrasyonlarda Reynold Sayısı ve Ekserji Kaybı ilişkisi grafikte verilmiştir. Sistemin ekserji analizi yapılırken ,basınç düşüşünden kaynaklı oluşabilecek ekserji kayıpları her iki akış(paralel ve zıt) için de ihmal edilmiştir.



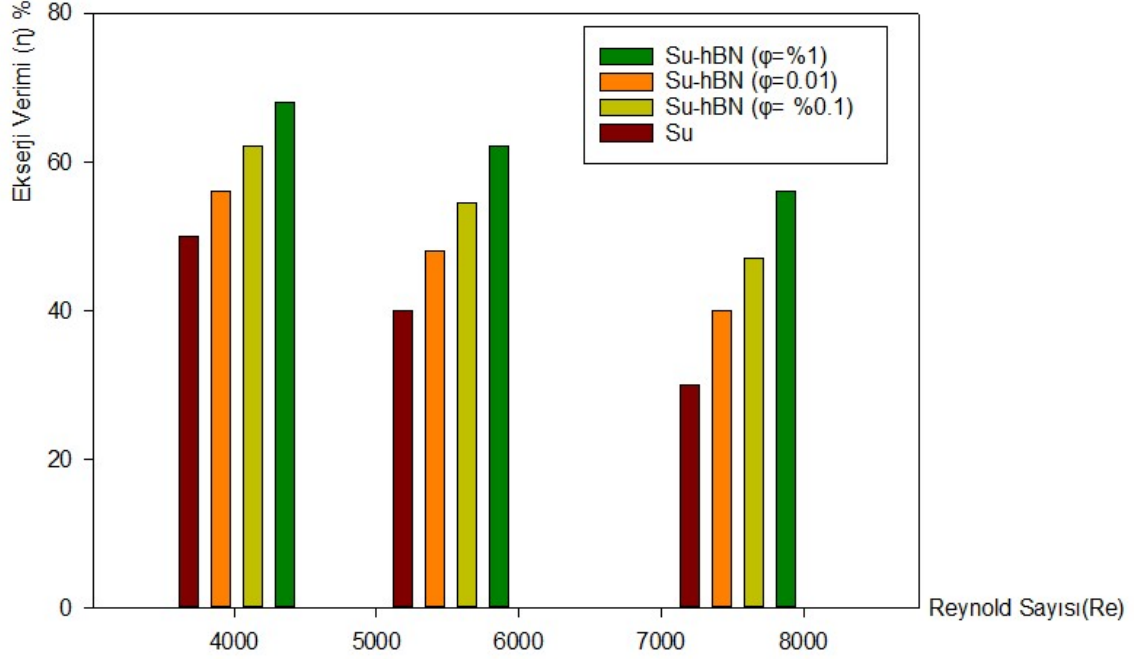
Şekil 6.10:Sıcaklık dağılımının ekserji kaybı üzerindeki etkisi



Şekil 6.11:Farklı konsantrasyonlarda Ekserji Kaybı (E) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

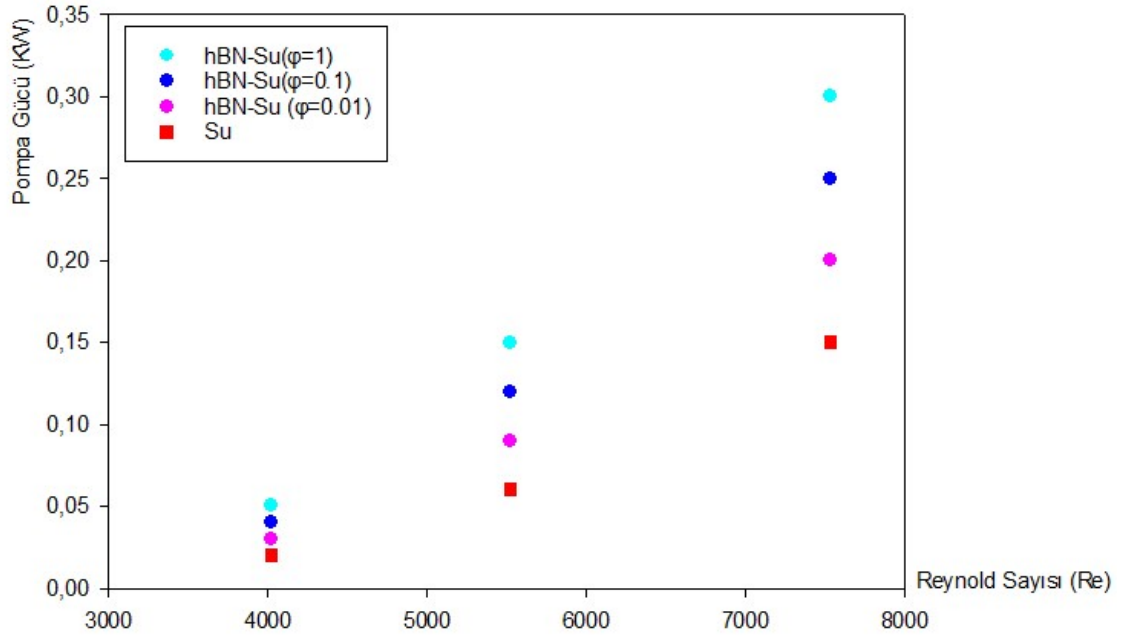
Sistemde Ekserji kayıpları farklı Reynold Sayılarında ve farklı konsantrasyonlarda hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.11’de verilmiştir. Şekil 6.11’de görüldüğü gibi Ekserji kaybı; Reynold sayısının artışıyla artmakta,konsantrasyonun artışıyla ise azalmaktadır. Debinin artışı,Reynold sayısını artırır ve daha yüksek ısı transferi elde edilir. Isı transferinin artması ,giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklık arasındaki farkın artmasına neden olur. Ekserjinin tanımı düşünüldüğünde  $(E_h = T_e * [C_h * \ln(\frac{T_{h,out}}{T_{h,in}})])$  sıcaklık farkının artması ekserji kaybını artırır. Paralel akışta zıt akışa göre daha fazla ısı transferi elde edildiğinden ekserji kaybı da daha fazla olmaktadır. En yüksek Ekserji kaybı değeri 152 W ile en yüksek Reynold Sayısında (Re=7532) saf suda elde edilmiştir. Sonuç olarak sıcak akışkan ve soğuk akışkan

arasındaki giriş ve çıkış sıcaklığının artması ekserji kaybını artırır. Ekserji kayıpları ne kadar az ise üretilen iş o kadar fazladır. En yüksek Reynold değerinde( $Re=7532$ ) suyun ekserji kaybı; sırasıyla %0.01,%0.1,%1'lik hBN-Su konsantrasyonuna göre %14.7,%23.8,%48.6 artmıştır.



Şekil 6.12:Farklı konsantrasyonlarda Ekserji Verimliliği ( $\eta$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

Sistemde Ekserji verimliliği farklı Reynold Sayılarında ve farklı konsantrasyonlarda hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.12’de verilmiştir. Şekil 6.12’de görüldüğü gibi Ekserji kaybı; Reynold sayısının ve debinin artışıyla azalmakta, en yüksek Ekserji verimliliği değeri %66, %1 hBN-Su konsantrasyonunda,en düşük debide (0.8 lt/dk) en düşük Reynold Sayısında ( $Re=4022$ ) elde edilmiştir. Genel bir sonuç olarak, daha az ekserji kaybı olan akışkanın ikinci kanun verimliliği(Ekserji verimliliği) daha yüksektir. En düşük Reynold değerinde( $Re=4022$ ) sırasıyla %0.01, %0.1, %1 hBN-Su konsantrasyonunda,suya göre ekserji verimliliği sırasıyla %10.1,%24.3,%32.2 artmıştır.

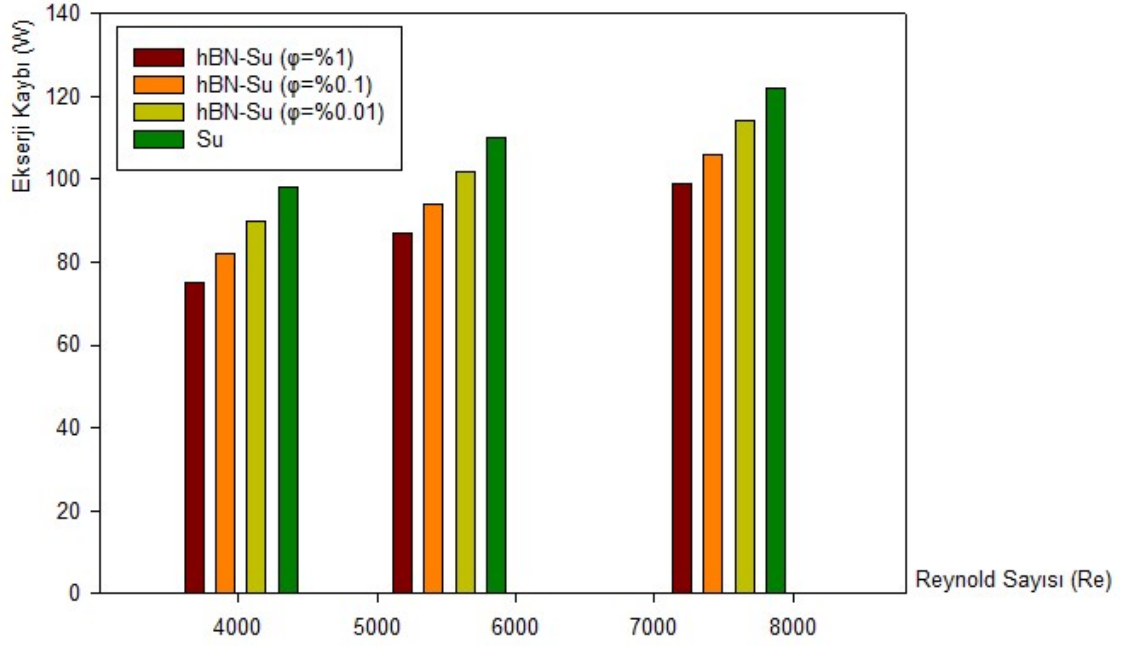


**Şekil 6.13:**Farklı konsantrasyonlarda Pompa Gücü (Kw) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

Termodinamik sistemlerde pompa gücü akışkanın nereye basılacağını belirler. Gerektiğinden büyük veya küçük motor seçimi,işletmelerde problemlere ve gereksiz elektrik sarfiyatına neden olur. Dolayısıyla ihtiyaca yönelik pompa seçimi sistem açısından büyük önem arz etmektedir. Sistemde farklı Reynold Sayılarında ve farklı konsantrasyonlarda pompa gücü hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.13’de verilmiştir. Şekil 6.13’de görüldüğü gibi pompa gücü; Reynold sayısının ve debinin artışıyla artmaktadır. En yüksek pompa gücü değeri 0.29 Kw, %1 hBN-Su konsantrasyonunda,en yüksek debide (1.5 lt/dk) ve en yüksek Reynold sayısında (Re=7534) elde edilmiştir.

#### 6.4.2.Zıt Akış

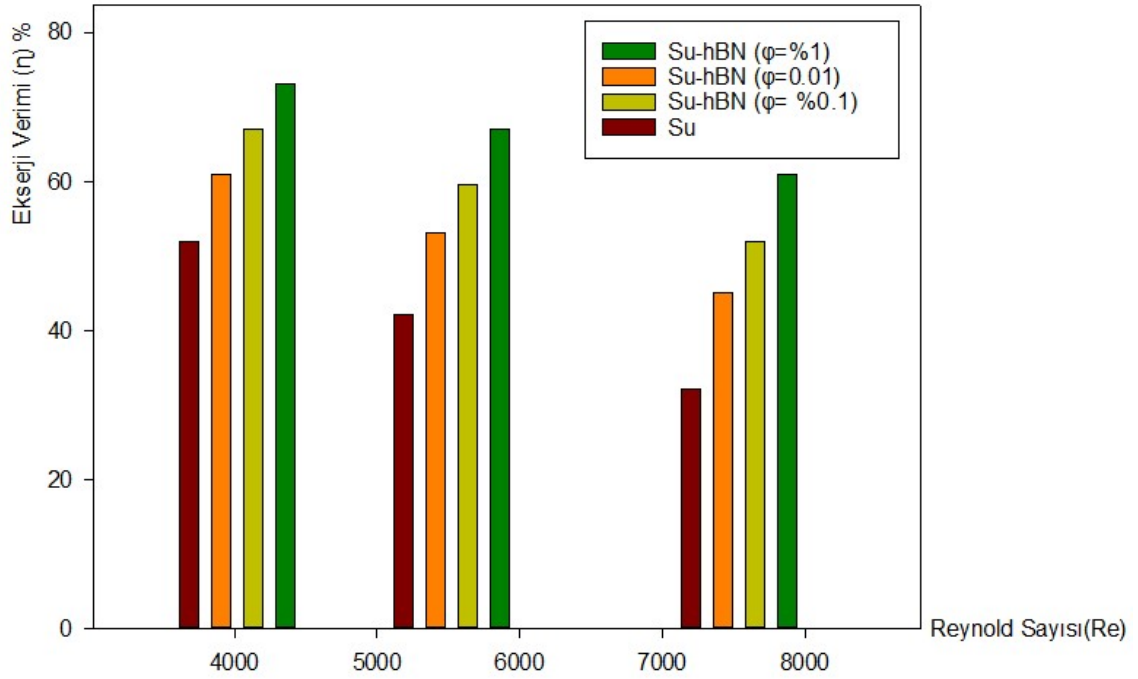
DeneySEL sonuçlar incelendiğinde zıt akışlı ısı değİştİricisinde,paralel akışlı ısı değİştİricisine oranla ekserji kaybı daha az olmuştur. Zıt akışta paralel akışa göre daha az ısı transferi elde edildiğİnden,ekserji kaybı daha az olmaktadır. Şekil 6.14’de farklı konsantrasyonlardaki Reynold sayısı ve Ekserji Kaybı ilişkisi verilmiştir.



**Şekil 6.14:**Farklı konsantrasyonlarda Ekserji kaybı (W) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

Şekil 6.14’de görüldüğü gibi Ekserji kaybı; Reynold sayısının artışıyla artmakta, konsantrasyonun artışıyla ise azalmaktadır. Debinin artışı, Reynold sayısını artırır ve daha yüksek ısı transferi elde edilir. Isı transferinin artması ,giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklık arasındaki farkın artmasına neden olur. En yüksek Ekserji kaybı değeri 122 W, ve en yüksek Reynold Sayısında ( $Re=7532$ ) ve en yüksek debide (1.5 lt/dk) Saf su kullanılan durumda elde edilmiştir. En yüksek Reynold değerinde ( $Re=7534$ ) suyun ekserji kaybı; sırasıyla %0.01, %0.1, %1’lik hBN-Su konsantrasyonuna göre sırasıyla % 9.23, %15.3, %27.1 artmıştır.

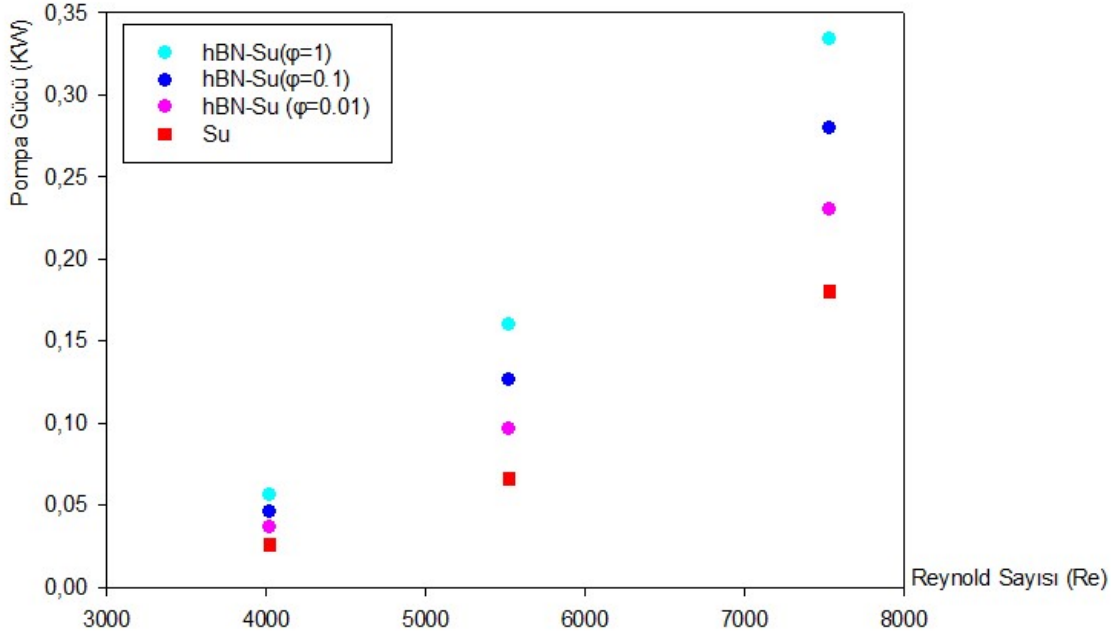
Termodinamiğin 2.yasası, ısı ve işin birbirine dönüşebileceğini ifade eden 1.yasaya ek olarak, bunun nasıl gerçekleşeceğini araştırır. 2.yasa ekserji veriminin sınırlarını belirlemeye çalışır. Eğer ısı %100’lük bir iş ile enerjiye dönüşebilseydi daimi hareket makineleri tasarlanırdı. Ancak doğa kanunları gereği sadece belli bir miktarda ısı faydalı bir işe dönüşebilir, geri kalanı ise sistem içinde yok olmaktadır. Yani termodinamik bir sistemin, makinenin veya bir moturun her devirde belli miktarda enerji kaybetmesi entropi artışına neden olmaktadır. Ekserji verimini maksimum seviyeye çıkarmak entropi artışını minimuma düşürmekle mümkündür.



Şekil 6.15:Farklı konsantrasyonlarda Ekserji Verimliliği ( $\eta$ ) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

Sistemde Ekserji verimliliği farklı Reynold Sayılarında ve farklı konsantrasyonlarda hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.15’de verilmiştir. Şekil 6.15’de görüldüğü gibi Ekserji kaybı; Reynold sayısının ve debinin artışıyla azalmakta, en yüksek Ekserji verimliliği değeri %72, %1 hBN-Su konsantrasyonunda, en düşük debide (0.8 lt/dk) en düşük Reynold Sayısında (Re=4022) elde edilmiştir. En düşük Reynold değerinde (Re=4022) sırasıyla %0.01, %0.1, %1 hBN-Su konsantrasyonunda suya göre ekserji verimliliği sırasıyla %16.1, %30.7, %36.1 artmıştır.

Genel bir sonuç olarak, daha az ekserji kaybı olan akışkanın ikinci kanun verimliliği (Ekserji verimliliği) daha yüksektir. Zıt akışta paralel akışa göre daha az ısı transferi elde edildiğinden, ekserji kaybı daha az, dolayısıyla ekserji verimi daha fazla olmaktadır. Zıt akışta, nanoakışkanın giriş ve çıkış sıcaklık farkı paralel akışa göre daha az olduğundan, elde edilen ısı transferi paralel akışa göre daha düşüktür.



**Şekil 6.16:**Farklı konsantrasyonlarda Pompa Gücü (Kw) ve Reynold sayısı (Re) ilişkisi

Sistemde farklı Reynold Sayılarında ve farklı konsantrasyonlarda pompa gücü hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.16’da verilmiştir. Şekil 6.16’da görüldüğü gibi pompa gücü; Reynold sayısının ve debinin artışıyla artmaktadır. En yüksek pompa gücü değeri 0.335 Kw, %1 hBN-Su konsantrasyonunda, en yüksek debide (1.5 lt/dk) ve en yüksek Reynold sayısında (Re=7534) elde edilmiştir.

### 6.5. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi, deneysel verilerin hata analizi için kullanılmaktadır. Deneysel hatalar genel olarak üç başlık altında toplanabilir. Bunlardan birinci gruptakiler dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalardır. Ölçme cihazlarının yanlış seçiminden ve ölçme sistemlerinin yanlış dizaynından ortaya çıkan hatalar bu grupta değerlendirilir. İkinci grup hatalar sabit ve sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlarda genel olarak tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla bilinmeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise deneyi yapan elemanların değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin zamanla azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, cihazların ısınmasından ortaya çıkan elektronik ölçme aletlerindeki salınımlardan kaynaklanabilir(Genceli,2008). Bu yöntemde sistemde ölçülmesi gereken büyüklük  $R$ , ve bu büyüklüğe etki eden  $n$  adet bağımsız değişkenler ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , olsun. Bu durumda;

$$R = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (6.26)$$

yazılabilir. Deneysel verilerin hata analizi için geçmiş araştırmalarda Kline ve McKlintock (1953) tarafından hassas bir teknik sunulmuştur. Kline ve Mc Clintock'a göre her bir bağımsız değişkene ait hata oranları  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$  ve R büyüklüğünün hata oranı  $w_R$  ise, denklem,

$$w_r = [(\frac{\partial R}{\partial x_1} * w_1)^2 + (\frac{\partial R}{\partial x_2} * w_2)^2 + \frac{\partial R}{\partial x_n} * w_n)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (6.27)$$

Bu çalışmada ana hatlarıyla sıcaklık, basınç kaybı ve hacimsel debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen değerlerle Reynold sayısı (Re), sürtünme faktörü (f), ve Nusselt sayısı (Nu) hesaplanmıştır. Bu bilgiler ışığında parametrelerdeki toplam belirsizlik değerleri aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{w_{Nu}}{Nu} = [ \left( \frac{w_h}{h} \right)^2 + \left( \frac{w_{de}}{d_e} \right)^2 + \left( \frac{w_k}{k} \right)^2 ]^{1/2} \quad (6.27) \frac{w_{Re}}{Re} = [ \left( \frac{w_U}{U} \right)^2 + \left( \frac{w_{de}}{d_e} \right)^2 + \left( \frac{w_v}{v} \right)^2 ]^{1/2} \quad (6.28)$$

$$\frac{w_f}{f} = [ \left( \frac{w_{\Delta P}}{\Delta P} \right)^2 + \left( \frac{w_L}{L} \right)^2 + \left( \frac{w_{de}}{d_e} \right)^2 + \left( \frac{w_p}{p} \right)^2 + \left( \frac{w_v}{v} \right)^2 ]^{1/2} \quad (6.29)$$

Yukarıda elde edilen belirsizlik ifadelerinde ölçülen değerler olarak ifade edilen her bir bağımsız değişken için belirsizliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Her bir değişken için ortaya çıkabilecek belirsizlik değerleri aşağıdaki gibi belirlenebilir:

#### Sıcaklık ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hatalar

- a) Giriş sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik  $\pm 0.5-1^\circ\text{C} \approx \pm\%0.5-1$
- b) Çıkış sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik  $\pm 1-2^\circ\text{C} \approx \pm\%1-2$
- c) Yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek belirsizlik  $\pm 0.5-1^\circ\text{C} \approx \pm\%0.5-1$
- d) Isıl çiftlerden kaynaklanan belirsizlik  $\pm 1-2^\circ\text{C} \approx \pm\%1-2$
- e) Dijital kanal seçiciden kaynaklanan belirsizlik;  $\pm 0.3^\circ\text{C} \approx \pm\%0.3$
- f) Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan belirsizlik;  $\pm 0.2^\circ\text{C} \approx \pm\%0.2$

Giriş sıcaklığının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik:

$$w_{T_g} = [(a^2 + d^2 + e^2 + f^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (6.30)$$

Çıkış sıcaklığının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik:

$$w_{T_c} = [(b^2 + d^2 + e^2 + f^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (6.31)$$

Cidar sıcaklığının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik

$$w_{T_c} = [(c^2 + d^2 + e^2 + f^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (6.32)$$

Basınç düşüşü ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hatalar

g) Sistem kaçakları ile ilgili belirsizlik;  $\pm \%0.5-1$

h) Manometrenin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik;  $\pm \% 2-3$

i) Sıcaklık farkından kaynaklanan belirsizlik;  $\pm \%0.5-1$

Basınç düşüşünün ölçülmesinde ortaya çıkabilecek toplam belirsizlik:

$$w_{\Delta P} = [(g^2 + h^2 + i^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (6.33)$$

olarak bulunur.

Debi ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hatalar

j) Debimetre okuma belirsizliği;  $\pm \%0.5-1$

k) Sistem kaçaklarıyla ilgili belirsizlik;  $\pm \%0.5-1$

l) Sıcaklık farkından kaynaklanan belirsizlik;  $\pm \%0.5-1$

$$w_v = [(j^2 + k^2 + l^2)]^{1/2} \quad (6.34)$$

Diğer belirsizlikler

m) Boru çapında eksen boyunca meydana gelebilecek farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik;

$$w_D \pm 0.05 \text{ mm} - 0.1 \text{ mm} = \pm \%$$

n) Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik:

$$w_L \pm 5 \text{ mm} \pm \%1$$

o) Fiziksel özelliklerin tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik;

$$w_p = w_k = w_{c_p} = w_v \equiv \pm 0.1-0.2$$

Elde edilen belirsizlik değerleri ile Reynold sayısı, sürtünme faktörü ve Nusselts sayısı için toplam belirsizlikler sırasıyla  $\pm \%9.10$ ,  $\pm \% 9.21$  ve  $\pm \% 8.60$  belirlenmiştir. (Yıldız, 2007).

**Çizelge 6.1:** Toplam Belirsizlik:

| Hata Oluşturan Parametreler                               | Kullanılan denklem                                           | Toplam hata                          |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Giriş sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata | $w_{T_g} = [(a^2 + d^2 + e^2 + f^2)]^{\frac{1}{2}}$          | $\pm 1.715 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Çıkış sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata | $w_{T_{\text{ç}}} = [(b^2 + d^2 + e^2 + f^2)]^{\frac{1}{2}}$ | $\pm 2.151^{\circ}\text{C}$          |
| Cıdar sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata | $w_{T_c} = [(c^2 + d^2 + e^2 + f^2)]^{\frac{1}{2}}$          | $\pm 1.715^{\circ}\text{C}$          |
| Basınç düşümünün ölçümünde yapılabilecek toplam hata      | $w_{\Delta P} = [(g^2 + h^2 + i^2)]^{\frac{1}{2}}$           | $\pm \% 2.715$                       |
| Debi ölçümünde yapılabilecek toplam hata                  | $w_v = [(j^2 + k^2 + l^2)]^{1/2}$                            | $\pm \% 1.3$                         |

## 7.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 7.1.Sonuçlar

Bu çalışmada, hekzagonal bor nitrür (hBN) nanoakışkanı ile hazırlanmış olan nanoakışkanların iç içe borulu bir ısı değiştiricisinde kullanarak ısı performans ve basınç düşümüne etkileri incelenmiştir. İç boru içerisinde farklı debi ve konsantrasyonlarda soğuk akışkan olarak akan hBN-Su süspanse ve kararlı nanoakışkanı ile iç boru ile dış boru arasında ise farklı debilerde sıcak akışkan olarak kullanılmıştır. Performanslar, paralel ve zıt akışlı ısı değiştirici için; toplam ısı transfer katsayı oranı,yük kaybı, sürtünme faktörü,Ekserji kaybı,Ekserji verimliliği ve pompa gücü için değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışma, hekzagonal bor nitrür nanoakışkanının, termal ısı performansını iyileştirmek için paralel akışlı ısı değiştiricisi ve karşıt akışlı ısı değiştiricisi içerisinde kullanılabileceğini göstermiştir. Deneylerin sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda ki gibi özetlenebilir:

- Paralel akışlı ısı değiştiricisi için farklı akışkan debisine göre hesaplanan toplam ısı transfer katsayısındaki değişim, soğuk akışkan olarak kullanılan hekzagonal bor nitrür için,saf suya oranla deneysel olarak 1.5 lt/dk debisinde en yüksek değerine ulaşarak iyileşme %19.7 olmuştur. Zıt akışta ise bu oran %16.7 olmuştur. Deneysel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde, hekzagonal bor nitür nanoakışkanının soğuk akışkan olarak kullanılması saf suya göre ısı transferindeki artış bakımından karşıt akışlı ısı değiştiricisinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

- En düşük Nu sayısı,En düşük reynold sayısında, saf su ve boş boru kullanıldığı durumda elde edilmiştir. En yüksek Nusselt sayısı  $Re=7552$ ,%1 hacimsel konsantrasyonda ve 1.5 lt/dk'lık debide elde edilmiştir.

- Deneysel sonuçlar incelendiğinde zıt akışlı ısı değiştiricisinde,paralel akışlı ısı değiştiricisine oranla yük kaybı ve sürtünme faktöründeki artış daha fazla olmuştur. Dolayısıyla zıt akışlı ısı değiştiricinde paralel akışlı ısı değiştiricisine oranla basınç düşümündeki artış daha fazla olmaktadır

- Nanoakışkanın hacim konsantrasyonun artmasıyla ortalama cidar sıcaklığı ve nanoakışkanın ortalama sıcaklığı azalmaktadır. Partikül hacim konsantrasyonun artmasıyla daha düzenli sıcaklık profilleri ortaya çıkmıştır.

- Nano-akışkanlar ve iş yapışkan akışkan için, artan Re sayısı ile paralel olarak  $\Delta P$  basınç farkı doğrusala yakın bir şekilde artmaktadır.

- Debinin artışıyla sürtünme faktörü azalırken,yük kaybı artmaktadır. Basınç düşüşü, debinin ve konsantrasyonun artışıyla artmaktadır.

- Yüksek Reynolds sayılarındaki Nusselt sayısı ve ortalama ısı transfer katsayısı düşük Reynoldslardaki değerlere kıyasla daha yüksektir. Tüm akış koşullarında beklenildiği gibi Reynolds sayısının artışıyla sürtünme faktörü azalmıştır.

- Deneysel sonuçlar incelendiğinde paralel akışlı ısı değiştiricisinde,zıt akışlı ısı değiştiricisine oranla ekserji kaybı daha fazla olmuştur. Dolayısıyla ekserji verimi( $\eta$ ) daha düşüktür.

- Zıt akışta, nanoakışkanın giriş ve çıkış sıcaklık farkı paralel akışa göre daha az olduğundan ,elde edilen ısı transferi paralel akışa göre daha düşüktür.

- Zıt akışta paralel akışa göre daha az ısı transferi elde edildiğinden,ekserji kaybı daha az,dolayısıyla ekserji verimi daha fazla olmaktadır.

- Zıt akışta paralel akışa göre daha fazla basınç düşümü olduğundan,pompa gücüne duyulan ihtiyaç daha fazla olmaktadır.

## 7.2. Öneriler

- Bu çalışmada nanopartikül boyutu ortalama 70 nm boyutunda kararlı hBN süpansiyonu kullanılmıştır. İleri ki çalışmalarda ısı transfer katsayısının tanecik boyutu ile değişimlerinin incelenmesinde fayda vardır.

- Nanoakışkanların hacim konsantrasyonundaki artışına bağlı olarak basınç düşümü değerleri artmaktadır. Bundan dolayı yüksek nanopartikül hacim oranlarına sahip nanoakışkanlar tercih edilmemeli veya bu durumu tolere edecek ek önlemler alınmasına ihtiyaç vardır.

- Farklı nanoakışkanlarda kullanılarak hBN nanoakışkanın performansı diğer nanoakışkanlarla karşılaştırılarak ,Hekzagonal bor nitrürün termofiziksel özellikleri daha net değerlendirilebilir.

- Elde edilen sonuçlar; oldukça düşük konsantrasyonda bile (% 0.01-%.1) yüksek ısı taşınım katsayısı h elde edilebilmektedir. hBN nanoakışkanına yüzey katkı maddeleri kararlı bir şekilde süspanse edilerek ; çalışma akışkanlarına iyi bir alternatif olarak kullanılabilir.

- Farklı boru çaplarında tasarımlar yapıлып; hekzagonal bor nitrür nanoakışkanın farklı boru çaplarında nasıl bir etkisi olduğu deneysel olarak incelenebilir.

## KAYNAKÇA

- Ahmad, W., Syed, K. S., Ishaq, M., Hassan, A., and Iqbal, Z., 2017, “Numerical study of conjugate heat transfer a double-pipe with exponential fins using DGFEM”, *Applied Thermal Engineering*, 111:1184-1201.
- Akyürek, E.,2014,“Nanoakışkanların ve türbülatorlerin iç içe borulu ısı değiştiricisine etkilerinin incelenmesi”. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum
- Alhusseney, A., Turan, A.,Nasser, A., 2017, "Rotating metal structures for performance enhancement of double- pipe heat exchangers" *Thermal Science*, 16, 2, 412-423.
- Anandan, S., Ramalingam V. and Shanthi, R.,2012,Heat Transfer Enhancement Using Nanofluids An overview *Thermal Science*, 16, 2, 423-444.
- Angayarkanni, A., ve Philip, J., 2015, “Review on Thermal Properties of Nanofluids: Recent Developments”, *Advances in Colloid and Interface Science*, (225):146-176.
- Anoop K.B., Sundararajan T., Das S.K., 2009b, Effect of particle size on the convective heat transfer in nanofluid in the developing region, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 52 (9–10), 2189–2195.
- Bedir, Ö.,2013,Sabit Isı Akıllı Yatay Bir Boruda Zorlanmış Türbülanslı Akışta Nanoakışkanların Sayısal İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Bianco, V., Manca, O. and Nardini, S.,2011, Numerical Investigation on Nanofluids Turbulent Convection Heat Transfer inside a Circular Tube, *International Journal of Thermal Sciences*, Cilt No: 50, Sayfa No: 341-349
- Bianco, V., Manca, O. and Nardini, S.,2010, Numerical Simulation of Water/ $Al_2O_3$  Nanofluid Turbulent Convection, *Advances in Mechanical Engineering*, Volume 2010, Article ID 976254, 155-192.
- Boey, F. Y. C.Tok, A. I. Y.,and Zhao, X. L.,2006, Novel synthesis of  $Al_2O_3$  nanoparticles by flame spray pyrolysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 270–273.
- Budak ,N.,2016,Güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı verime etkisinin deneysel olarak incelenmesi,Dokora Tezi,Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Elazığ 100-115.

- Budak ,N.,2011,Konsantrik tip bir ısı değiştiricisinde ısı transferinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi,Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.25-28.
- Chen H., Ding Y., He Y., Tan C.,2007a, Rheological behaviour of ethylene glycol based titania nanofluids, Chem. Phys. Lett., 444 (4–6), 333–337.
- Chen, L., Xie, H. and Yu, H. ,2011, Discussion on the Thermal Conductivity Enhancement of Nanofluids, Nanoscale Research Letters.
- Choi, S. U. S., Eastman, J. A., Keblinski, P. and Phillpot, S. R., 2002, Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-Sized Particles (Nanofluids), International urnal of Heat Mass Transfer, 45, 4, 855-863.
- Choi, S. U. S., Eastman, J. A., Li, S., Thompson, L. J. and Yu, W. ,2001, Anomalously Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, Appl. Phys. Lett., 78(6), 718-720.
- Choi, S. U. S., France, D. M., Routbort, J. L. and Yu, W., 2007, Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications, Argonne National Laboratory, 9.
- Choi, S., Wang, X. and Xu, X.,1999, Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture, Journals of Thermophysics and Heat Transfer, 13, 4.
- Choi, S.U.S.,1995, Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles”, ”Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, Siginer, D. A., Wang, H. P. The American Society of Mechanical Engineers, New York, 231/ MD66, 99-105.
- Çoban, T., 2009. Isı Değiştiricilerin Sınıflandırılması. Internet Sitesi: [http://www.yto.com.trturhan\\_coban...ısı%20değiştiricilerturhan.pdf](http://www.yto.com.trturhan_coban...ısı%20değiştiricilerturhan.pdf). Erişim tarihi: 05.06.2019.
- Çelik, Ç., 2010, Nano Boyutta Titanyum Diborür Katkılı Sıcak Preslenmiş Hegzagonal Bor Nitrür – Titanyum Diborür Kompozitlerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çiloğlu, D.,2011. Nanoakışkanlarda havuz kaynama ısı transferinin deneysel incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum
- Dastmalchi, M., Sheikhzadeh,G. A., and Arefmanesh, A., 2017, “Optimization of microfinned tubes in double-pipe heat exchangers using particle swarm algorithm”, Applied

- Daungthongsuk ,W., Wongwises, S., 2007, A critical review of convective heat transfer of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11/ 5, 797–817.
- Demir, H., Dalkilic, A., Kürekci, N., Duangthongsuk ,W., Wongwises, S., 2011, Numerical investigation on the single phase forced convection heat transfer characteristics of  $TiO_2$ nanofluids in a double-tube counter flow heat exchanger, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38 (2), 218–228.
- Ding, Z., Dong, J., Fu, X., Li, Z., Long, J., Wang, X., Wu, L. and Zhang, Z.,2009, Photochemical synthesis of submicronand nano-scale  $Cu_2O$  particles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 333, 2, 791–799.
- Dizaji, H. S., Jafarmadar, S., and Mobadersani, F., 2015, “Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger”, *International Journal of Thermal Sciences*, 96:211-220
- Duangthongsuk W., Wongwises, S., 2008a, Heat transfer enhancement and pressure drop characteristics of  $TiO_2$ –water nanofluid in a double-tube counter flow heat exchanger, *International Journal of Heat Mass Transfer*. 52, 2059–2067
- Eastman, J., Choi, S. U. S., Li, S., Thompson, L.,and Lee, S.,1997, Enhanced Thermal Conductivity Through the Development of Nanofluids, *Proceedings of the fluid Symposium on Nanophase and Nanocomposite Materials II*, Materials Research Society, Boston, Cilt No: 457, Sayfa No: 3-11,
- Ebata, A., Hishinuma, N., Masuda, H., and Teramae, K.,1993,Alteration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-Fine Particles, *Netsu Bussei*, 4, 227-233.
- Ebata, A., Hishinuma, N., Masuda, H., and Teramae, K.,1993,Alteration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-Fine Particles, *Netsu Bussei*, 4, 227-233.
- Ebin B., 2007, Hexagonal Boron Nitride, *Hard Metal Compounds Lecture*, İ.T.Ü. İstanbul.
- El-Maghlany, W.M., Hanafy,., Hassan,A.A.,and El-Magid, M.A.,2016,“Experimental Cu-water nanofluid heat transfer,pressure drop in horizontal double tube heat exchanger
- Eyüphan, M., Şahin, B., ve Çomaklı, Ö.,2012, Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 53, 627, 38-42.

- Eyüphan, M. Şahin, B. ve Çomaklı, Ö., 2012, Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı, Mühendis ve Makina, 53, 627, 38-42.
- Fatih T., Deniz B., Barı D., 2013, Typical Applications of Tubular and Plate Heat Exchangers, Mühendis ve Makine, 54(646), 68-74.
- Fotukian S.M., Esfahany M.N., 2010a, Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube, International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, 214–219.
- Fotukian S.M., Nasr Esfahany M., 2010b, Experimental investigation of turbulent convective heat transfer of dilute  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ /water nanofluid inside a circular tube, International Journal of Heat and Fluid Flow, 31, 606–612
- Geliş, K., 2013, Şerit eleman kullanılan bir ısı değiştiricide nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümünün incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Genceli, O. F., 1983, Isı Eşanjörleri Ders Notları. İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Genceli, O., F., 2008. Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Genceli, O. F., 2010, “Isı Değiştiricileri”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1-18, 23-44, 61-72, 80-89, 100-103
- Günyel, B., Bala, E., Akar, G.B., 2007, Uzun ve Orta Dalga Boylu Kızılötesi Görüntü Kaynaştırılması, Signal Processing and Communications Applications, SIU
- Hasan, B. O., Jwair, E.A., ve Craig, R. A., 2017, “The effect of heat transfer enhancement of the crystallization fouling in a double pipe heat exchanger”, Experimental Thermal and Fluid Science, 86:272-280.
- Hasanpour, A., Farhadi, M., and Sedighi, K., 2016, “Experimental heat transfer pressure drop study on typical, perforate, V-cut and U-cut twisted tapes in helically corrugate heat
- He Y., Jin Y., Chen H., Ding Y., Cang D., Lu H., 2007, Heat transfer and flow behavior of aqueous suspensions of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe, International Journal of Heat and Mass Transfer 50, 2272– 2281.

- Ilhan B, Kurt M, Ertürk H., 2016, Experimental investigation of heat transfer enhancement and viscosity change of hBN nanofluids .Experimental Thermal and Fluid Science 77, 272-283
- Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., 2002, Fundamentals of Heat Transfer (Beşinci Baskı), New York, John Wiley&Sons, 408–495.
- Incropera, F. and Dewitt P.D., 1996, Introduction to heat transfer John Wiley & Sons. Inc Third Edition).
- Iqbal, Z., Syed, K. S., and Ishaq, M. ,2015, “Fin design for conjugate heat transfer İnternet: Zaki, A. Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Journal of Heat and Mass Transfer, 105:124-139.
- Kakaç, S., Liu, H., Pramuanjaroenkij, A., 2012, “ Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design 3rd ed.”, CRC Press, Boca Raton, 1-30, 33-70, 361-419
- Karabulut, K., 2015, Isı değıştiricilerde ısı aktarımının nanoakışkanlar kullanılarak artırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Khanafer, K., Vafai, K., and Lightstone, M., 2013, Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, Int. J. Heat and Mass Trans., Cilt No: 46, Sayfa No: 3639–3653
- Kılınç, F., 2015, Oto radyatörlerde nanoakışkan kullanılarak ısı aktarım performansının artırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Kong, T., Wang, L., Wei, X. and Zhu, H. ,2009, Synthesis and thermal conductivity of  $Cu_2O$  nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52, 19-20, 4371-4374
- Leal, S. H., Longo, E., Matos, J. M. E., Santos, M. R. M. C., Santos, V., Santos Junior, L. S. and Gonçalves, J. S., 2009, Experimental variables in the synthesis of anatase phase  $TiO_2$  nanoparticles, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro, Brazil.
- Lian, J., Kim, T., Liu, X., Ma, J., ve Zheng, W., 2009, “Ionothermal Synthesis of Turbostratic Boron Nitride Nanoflakes at Low Temperature”, J. Phys. Chem. C, 113, 9135-9140.
- Liveri, V. T., 2006, Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems, New York, Springer Science+Business Media, Inc

- Luther, W. ,2006, International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology, VDI Technologiezentrum for Riose National Laboratory, Düsseldorf.
- Luther, W.,2006, International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology, VDI Technologiezentrum for Riose National Laboratory, Düsseldorf
- Mahbubul I.M. , Saidur R., Amalina M.A., 2012, Latest developments on the viscosity of nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55, 874–885
- Maiga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G. and Galanis, N.,2015, Heat Transfer Enhancements by Using Nanofluids in Forced Convection Flows, International Journal of Heat and Fluid Flow, Cilt No: 26, Sayfa No: 530–546,
- Manay, E.,2014, Mikrokanallarda nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Moghaddami, M., Mohammadzade, A.,and Esfehiani, S.A.V.,2011, Second Law Analysis of Nanofluid Flow, Energy Conversion and Management, Cilt No: 52, Sayfa No: 1397-1405,
- Murugesan, C. and Tamilkalundu, S., 2012, Mechanism of Forced Convective Heat Transfer in  $Al_2O_3$ /Water Nanofluid Under Laminar and Turbulent Flow, 2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2012)
- Mujumdar A. S. and Wang, X.,2000, A Review on Nanofluids-PART 1: Theoretical and Numerical Investigations, Brazillian Journal of Chemical Engineering, 25, 04, 613-630
- Mukherjee S., Paria S.,2013, Preparation and stability of nanofluids-a review. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 9 (2), 63-69.
- Nanomaterials. URL: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1710> Son Erişim Tarihi: 11.07.2014
- Nguyen C.T., Galanis N., Roy G., Divoux S., ve Gilbert D.,2006, Pool Boiling Characteristics of Water-Alumina Nanofluids, Proc. 13th Int. Heat Transfer Conf., Sydney, Cilt No: 10.1615, Sayfa No: 8-20
- Pak B.C., Cho Y., 1998, Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle, Experimental Heat Transfer, 11 (1998), pp. 151–170.

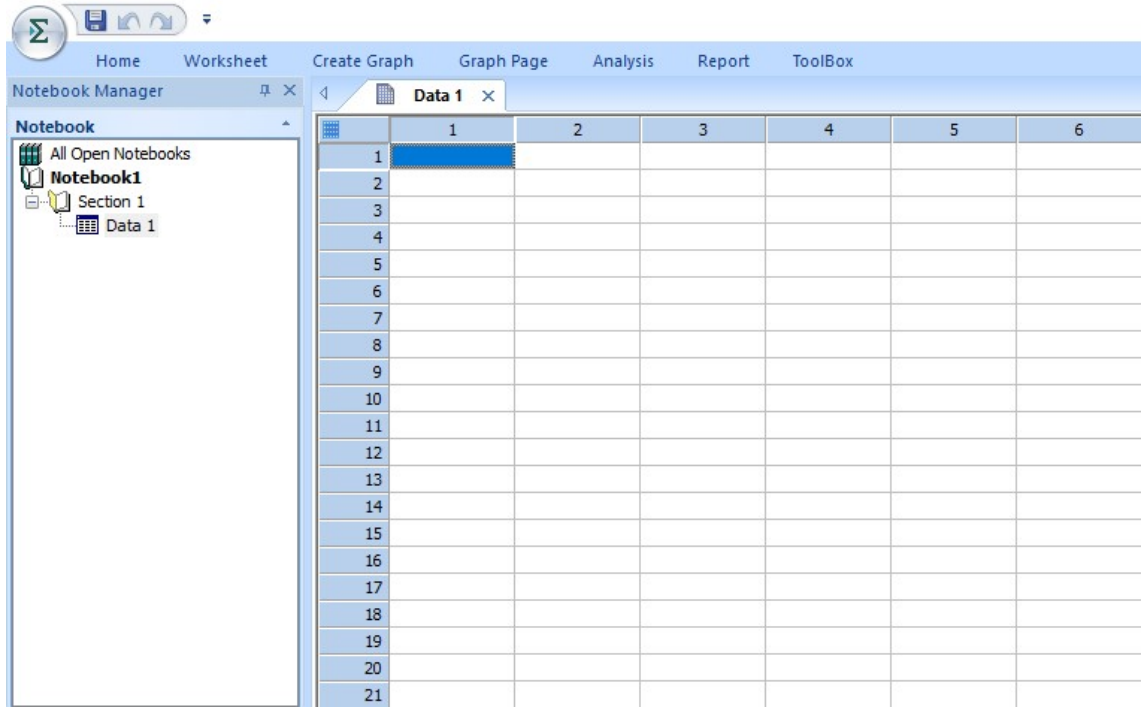
- Pak, B.C., Cho, Y.I., 1998, Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles, *Experiment Heat Transfer*, Cilt No: 11, Sayı No:2, Sayfa No: 151–170
- Patel H. E., Sundararajan T., and Das S. K., 2010, An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, 12/ 3, 1015–1031.
- Prakash, C., 2015, To Study the Behavior of Nanofluids in Heat Transfer Application A Review. *International Journal of Reserach in Engineering and Technology*, 4(4): 653-658
- Prasad, P. D Gupta, A.S., and Deepak, K., 2015, “Investigation of trapezoidal-cut twisted tape insert in a double pipe U-tube heat exchanger using  $Al_2O_3$ /water nanofluid”, flow Procedia Materials Science, 10:50-63. RSM method”, *International Journal of Thermal Sciences*, 90:173-186.
- Shah, R. K., Sekulic, D. P., 2003, “Fundamentals of Heat Exchanger Design”, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 13-22, 674-678, 680-693
- Sharma K.V., L. Sundar Syam, Sarma P.K., 2009, Estimation of heat transfer coefficient and friction factor in the transition flow with low volume concentration of  $Al_2O_3$  nanofluid flowing in a circular tube and with twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 503–507.
- Shi, L., Gu, Y., Chen, L., Qian Y., Yang, Z. and Ma, J., 2004, “Synthesis and Morphology Control of Nanocrystalline Boron Nitride”, *Journal of Solid State Chemistry*, 177, 3, March, 721-724.
- Sonowane, P., 2016, Effect of Nanofluids on Heat Pipe Thermal Performance: A Review of the Recent Literature. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1): 31-35.
- Sucu, A., 2011, Farklı eğriliklere sahip borulardaki nanoakışkan akımında ısı transferi ve basınç kaybı karakteristiklerinin sayısal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
- Sundar L.S., Sharma K.V., 2010a, Turbulent heat transfer and friction factor of  $Al_2O_3$  nanofluid in circular tube with twisted tape inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 1409–1416. Sundar L.S., Sharma K.V., 2010b. Heat transfer

- enhancements of low volume concentration  $Al_2O_3$  nanofluid and with longitudinal strip inserts in a circular tube ,International Journal of Heat and Mass Transfer, 53 (19–20), 4280–4286
- Sundar, S. L., Bhramara, P., Ravi Kumar, T. N., Singh, K. M., Sousa, M. C. A., 2017, Experimental heat transfer, friction factor and effectiveness analysis of  $Fe_3O_4$  nanofluid flow in a horizontal plain tube with return bend and wire coil inserts”, Internal Journal of Heat and Mass Transfer, 109:440-453.
- Suresh S. Venkataraj, K.P., Selvakumar P., Chandrasekar M., 2012a, A comparison of thermal characteristics of  $Al_2O_3$ /water and CuO/water nanofluids in transition flow through a straight circular duct fitted with helical screw tape inserts, Experimental Thermal and Fluid Science, 39, 37–44
- Suresh S., Selvakumar P., Chandrasekar M., Srinivasa Raman V., 2012b, Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of  $Al_2O_3$ /water nanofluid under turbulent flow with spiraled rod inserts, Chemical Engineering and Processing, 53 24–30.
- Suresh S., Venkataraj K.P., Selvakumar P., 2011c, Comparative study on thermal performance of helical screw tape inserts in laminar flow using  $Al_2O_3$ /water and CuO/water nanofluids, 608–622. Thermal Engineering, 119:1-9.
- Thulukkanam, K., 2013, “Heat Exchanger Design Handbook 2nd ed.”, CRC Press, Boca Raton, 18-20, 28-34, 237-320
- Timofeeva E.V., Routbort J.L., Singh D., 2009, Particle shape effects on thermophysical properties of alumina nanofluids, J. Appl. Phys., 106 (1), 014304. Timofeeva E.V., Yu W., France D.M., Singh D., Routbort J.L., 2011. Nanofluids for heat transfer: an engineering approach, Nanoscale Res. Lett., 6 (1), 182
- Turan, B., and Dağdaş, S., 2010, Güneş Enerjisi ve Artan Kullanım İmkanları. “Solar Energy and its Increasing Utilization Opportunities”. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Artvin, I, 97-106, 430. Turbulent Convection, Advances in Mechanical Engineering, Volume 2010, Article ID 976254, 10 Sayfa,
- Wen D., Ding Y., 2004, Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluid at the entrance region under laminar flow conditions, International Journal of Heat Mass Transfer, 47, 5181–5188

- Wen, D., and Ding, Y., 2017, Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at the Entrance Region Under Laminar Flow Conditions, *Int. J. Heat and Mass Trans.*, Cilt No: 47, Sayfa No: 5181–5188,
- Witharana, S., Chen, H., Ding, Y. 2010, Nanofluids for Heat Transfer. *Handbook of Nanophysics: Nanoparticles and Quantum Dots*, 12p. Leeds..
- Xuan Y. , Li Q. , 2000, Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21/1, 58–64.
- Xuan Y., Li Q., 2003, Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 125, 151–155
- Yang Y., Zhang Z.G., Grulke E.A., Anderson W.B., Wu G., 2005, Heat transfer properties of nanoparticle-in-fluid dispersions (nanofluids) in laminar flow, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 48 (6), 1107–1116
- Yıldız, Ş., 2007. İç içe borulu ısı değiştiricilerinde yaylı türbülatorlerin ısı transferi ve basınç kaybına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yu W., France D.M., Smith D.S., Singh D., Timofeeva E.V., Routbort J.L., 2009, Heat transfer to a silicon carbide/water nanofluid, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 2, 3606–3612.

## EKLER

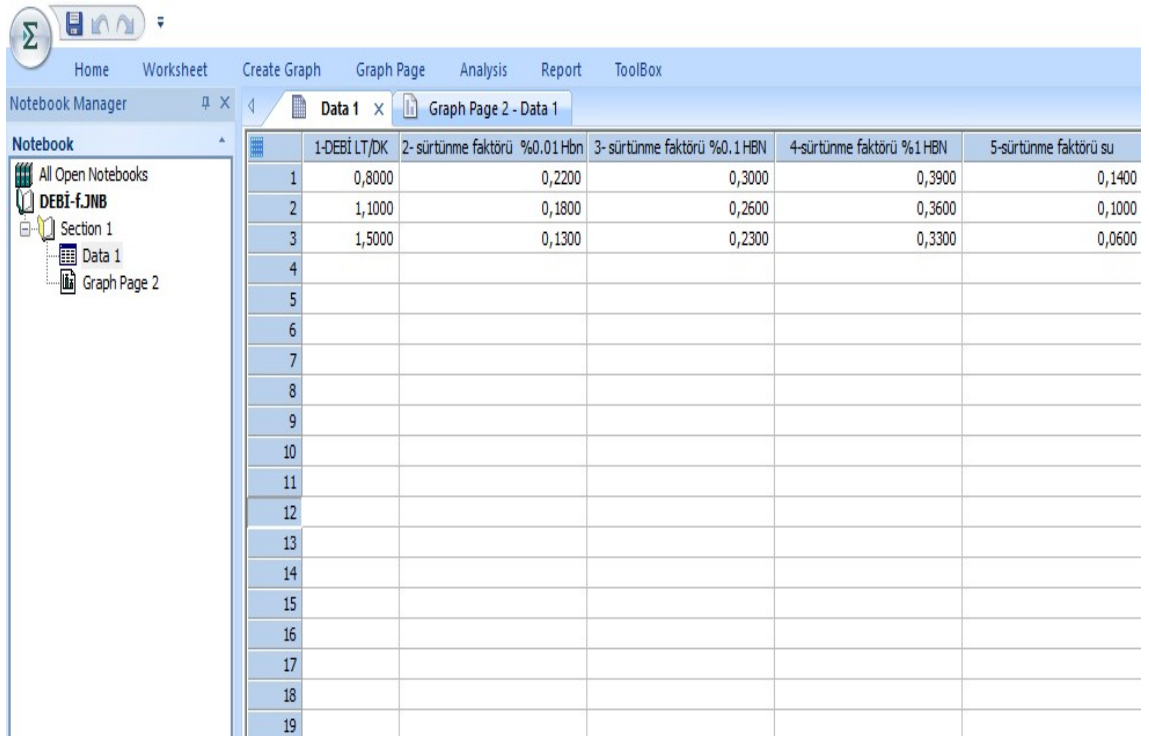
### EK-1 Sigma Plot 14.0 Arayüzü



The screenshot shows the Sigma Plot 14.0 software interface. The 'Notebook Manager' on the left lists 'All Open Notebooks', 'Notebook1', 'Section 1', and 'Data 1'. The main window displays a table with 21 rows and 6 columns. The first row is highlighted in blue.

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|---|---|---|---|---|---|
| 1  |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   |   |   |   |   |
| 21 |   |   |   |   |   |   |

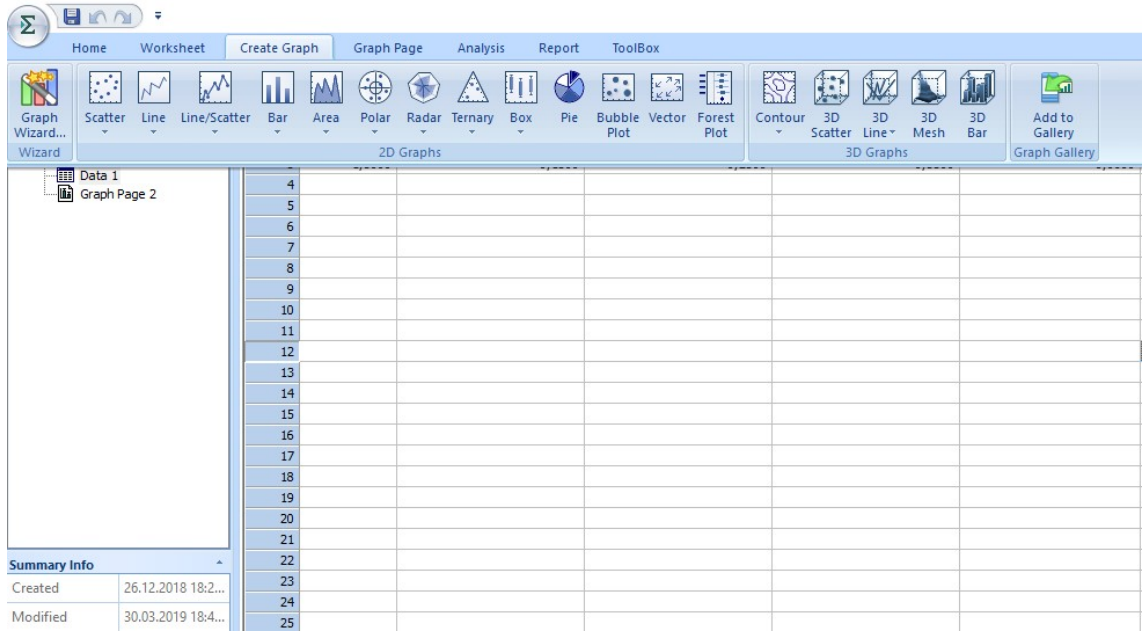
### EK-2 Sigma Plot 14.0 Data Giriş



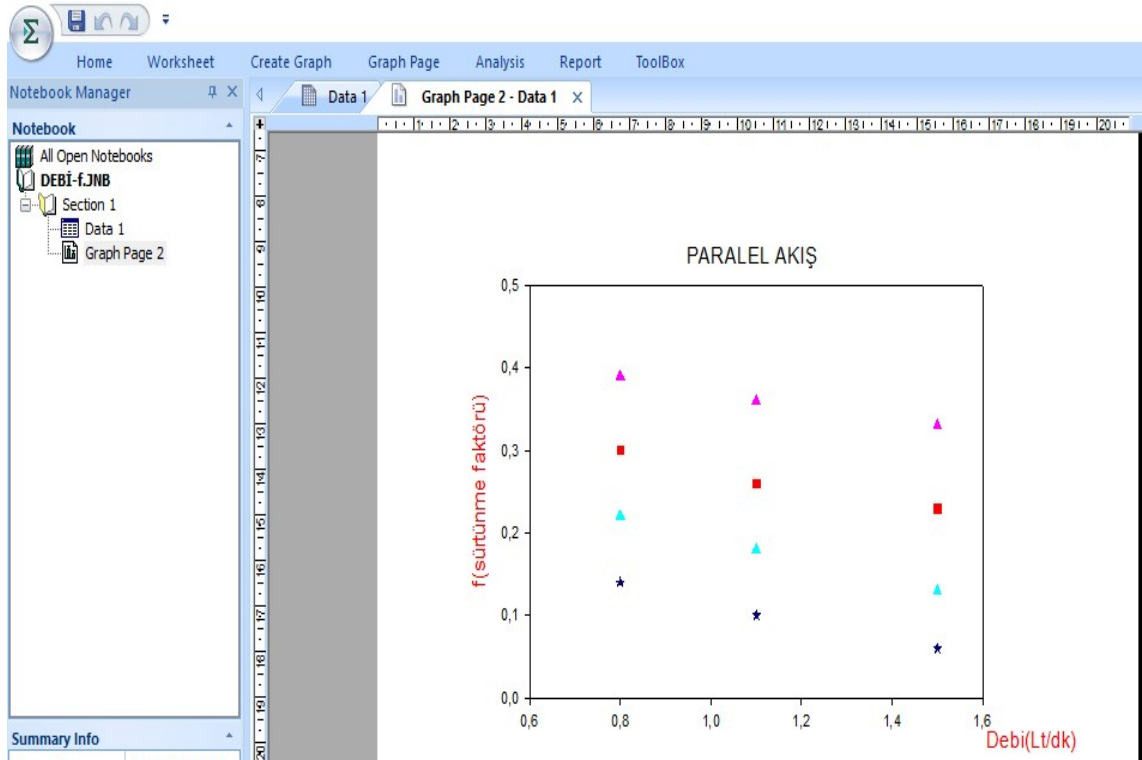
The screenshot shows the Sigma Plot 14.0 software interface with data entered into the 'Data 1' table. The 'Notebook Manager' on the left lists 'All Open Notebooks', 'DEBİ-fJNB', 'Section 1', 'Data 1', and 'Graph Page 2'. The main window displays a table with 19 rows and 5 columns. The first three rows contain data.

|    | 1-DEBİ LT/DK | 2-sürtünme faktörü %0.01 Hbn | 3-sürtünme faktörü %0.1 HBN | 4-sürtünme faktörü %1 HBN | 5-sürtünme faktörü su |
|----|--------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1  | 0,8000       | 0,2200                       | 0,3000                      | 0,3900                    | 0,1400                |
| 2  | 1,1000       | 0,1800                       | 0,2600                      | 0,3600                    | 0,1000                |
| 3  | 1,5000       | 0,1300                       | 0,2300                      | 0,3300                    | 0,0600                |
| 4  |              |                              |                             |                           |                       |
| 5  |              |                              |                             |                           |                       |
| 6  |              |                              |                             |                           |                       |
| 7  |              |                              |                             |                           |                       |
| 8  |              |                              |                             |                           |                       |
| 9  |              |                              |                             |                           |                       |
| 10 |              |                              |                             |                           |                       |
| 11 |              |                              |                             |                           |                       |
| 12 |              |                              |                             |                           |                       |
| 13 |              |                              |                             |                           |                       |
| 14 |              |                              |                             |                           |                       |
| 15 |              |                              |                             |                           |                       |
| 16 |              |                              |                             |                           |                       |
| 17 |              |                              |                             |                           |                       |
| 18 |              |                              |                             |                           |                       |
| 19 |              |                              |                             |                           |                       |

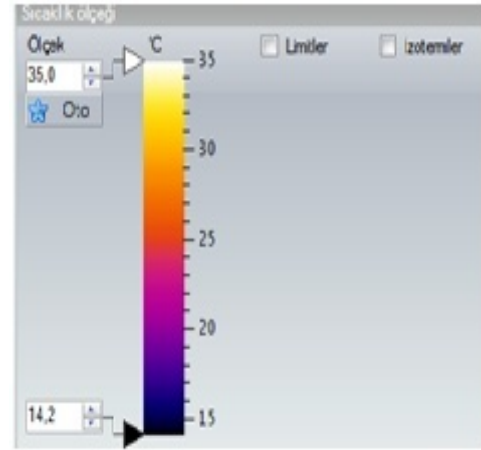
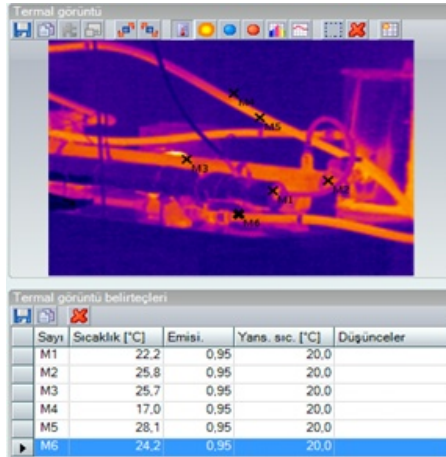
### EK-3 Sigma Plot 14.0 Grafik Çizimi Oluşturma



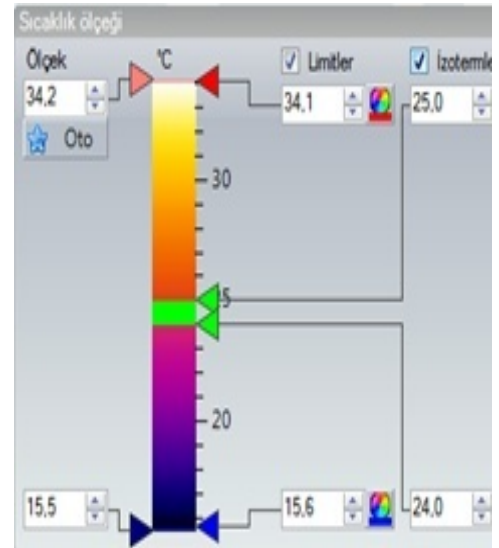
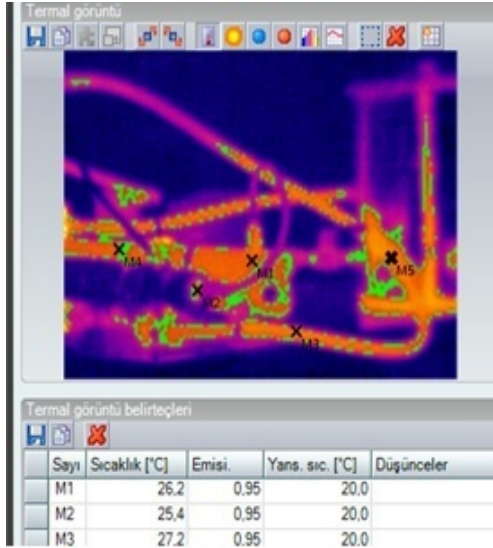
### Ek-4 Sigma Plot 14.0 Grafik Arayüzü



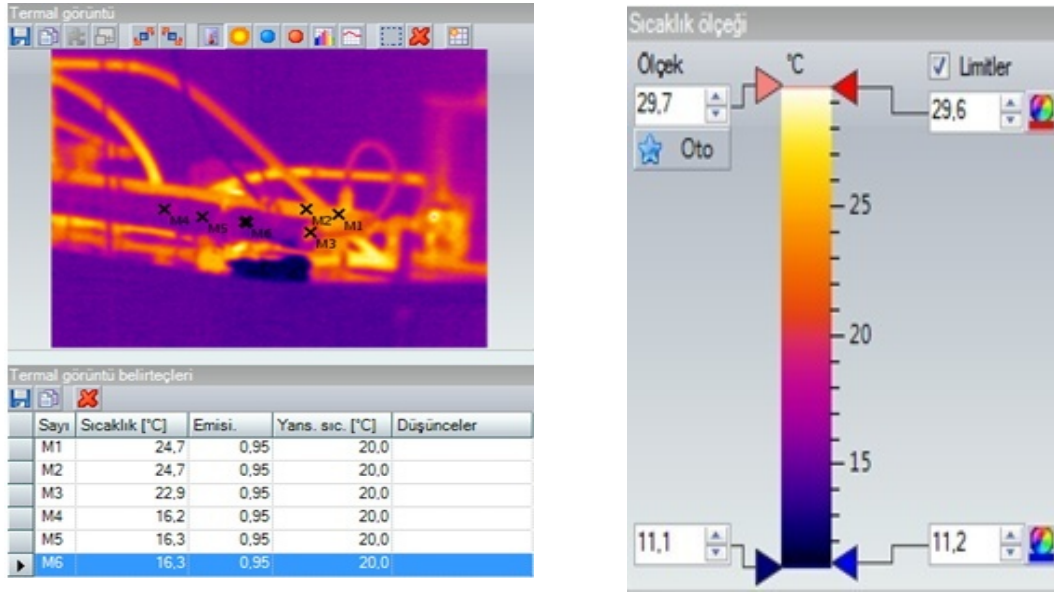
EK -5 Termal Kamera Grafikleri İzolasyonlu %0.1hBN 1.50 lt/dk debi izoterm haritası



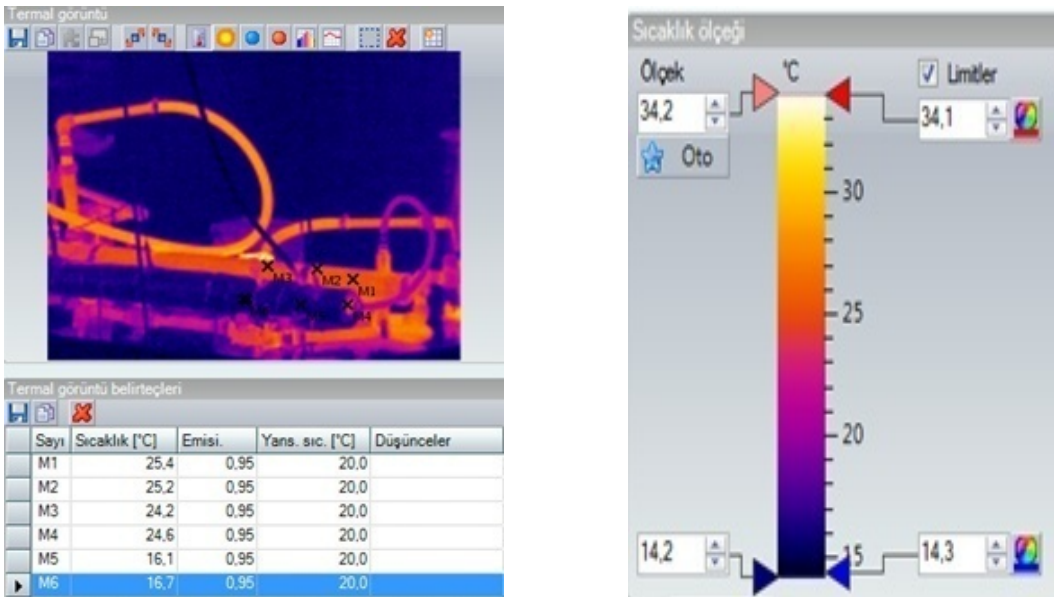
EK-6 Termal Kamera Grafikleri İzolasyonlu ,%0.1hBN 1.50 lt/dk debi İzoterm Haritası



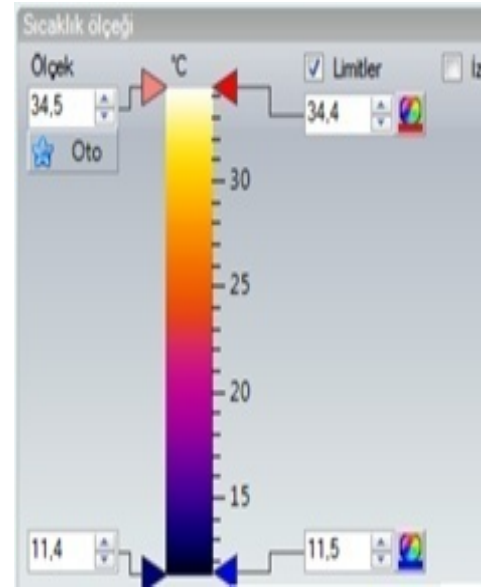
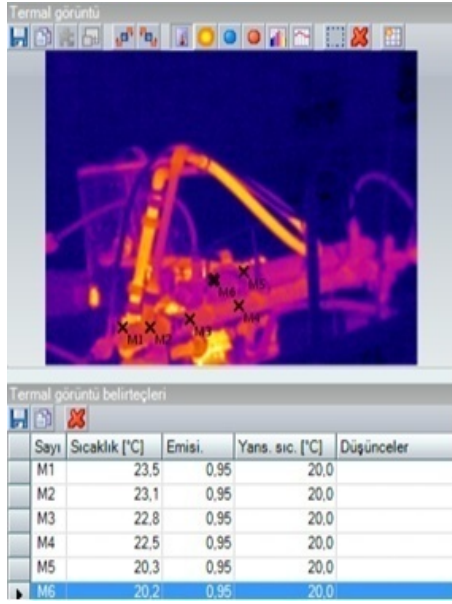
EK 7:Termal Kamera Grafikleri İzolasyonlu ,%0.1hBN 1.1 lt/dk debi izoterm haritası



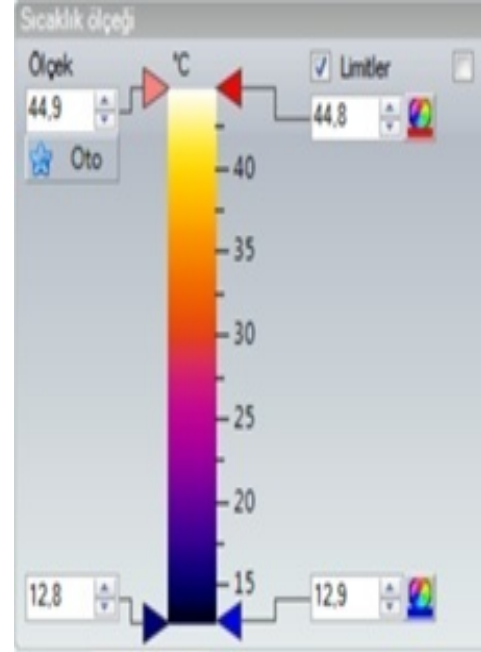
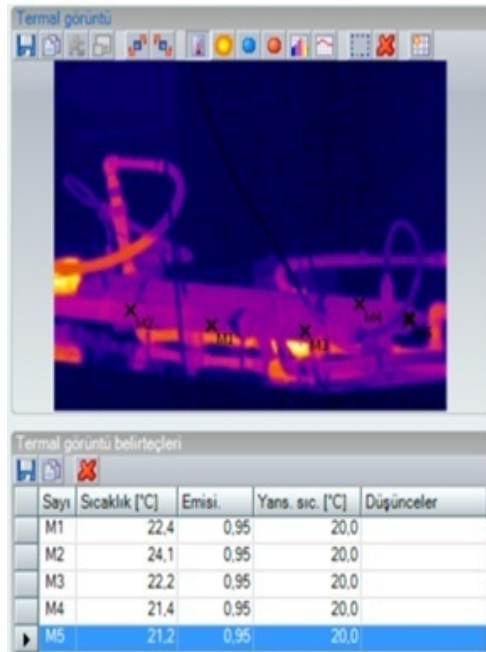
EK-8 Termal Kamera Grafikleri İzolasyonlu ,%0.1hBN 0.80 lt/dk debi İzoterm Haritası



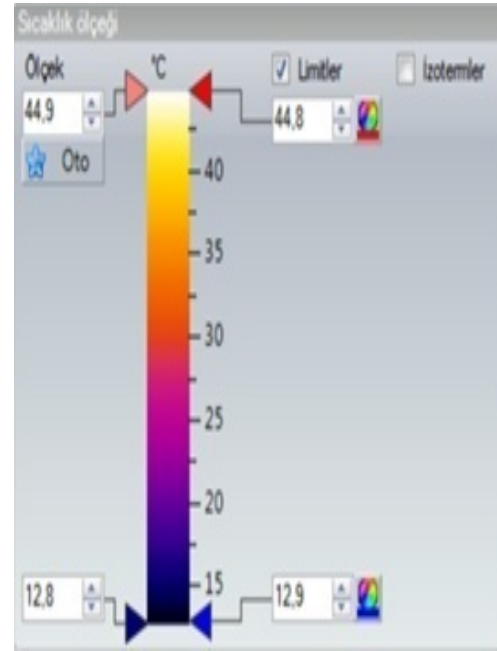
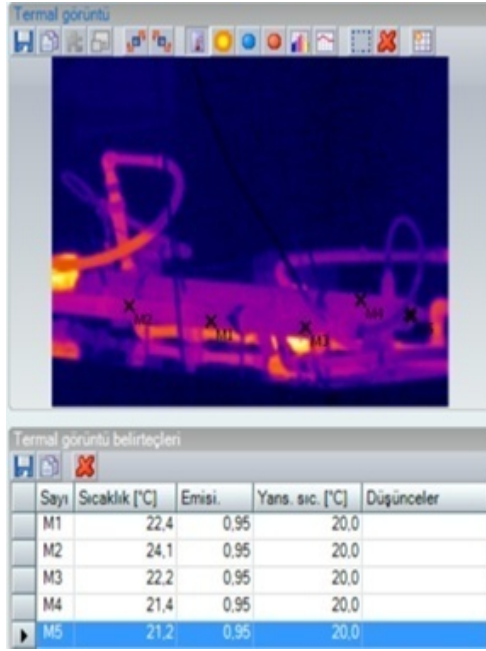
Ek-9 :Termal Kamera Grafikleri İzolasyonsuz,%0.01 hBN 1.5 lt/dk debi İzoterm Haritası



EK 10:Termal Kamera Grafikleri İzolasyonsuz,%0.01 hBN 1.1 lt/dk debi İzoterm Haritası



EK 11:Termal Kamera Grafikleri İzolasyonsuz,%0.01 hBN 0.8 lt/dk debi İzoterm Haritası



## ÖZGEÇMİŞ

Süleyman Perçin,1991 yılında Diyarbakır’da doğdu.Lise öğrenimini Cumhuriyet Anadolu Lisesinde tamamladı. 2010 yılında başladığı Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği(İngilizce) bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.