



**ALUMİNA NANO AKIŞKAN KULLANIMININ ISI BORUSU  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Buse BALCIOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2014**

Buse BALCIOĞLU tarafından hazırlanan “Alumina Nanoakışkan Kullanımının Isı Borusu Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüritarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Başkan: Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Prof. Dr. H. Mehmet ŞAHİN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Muhittin BİLGİLİ

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: 25/07/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Buse BALCIOĞLU

25.07.2014

# ALUMİNA NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISI BORUSU PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Buse BALCIOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2014

## ÖZET

Bu çalışmada, termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak kullanılan su yerine içerisine alümina ( $Al_2O_3$ ) metal oksit nano partiküller ilave edilerek elde edilen nanoakışkan kullanılarak ısı borusunun performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaç için boyutları 14 nm olan alüminalar ağırlıkça %2 oranında saf suya ilave edilmiş ve %0.2 oranında TRITON X-110 yüzey aktifleştirici ile birlikte ultrasonik banyoda yaklaşık 3 saat kadar karıştırılmıştır. Elde edilen nanoakışkan hacimsel olarak ısı borusunun 1/3 oranında çalışma akışkanı olarak ısı borusunda kullanılarak ısı performans deneyleri yapılmıştır. Isı borusu uzunluğu 1m, dış çapı 15mm olup 40cm'lik evaporatör bölgesi elektrikli rezistans ile sarılmış, 20cm adyabatik bölge izolasyonlu ve 40cm kondenser bölgesi ise dış boruyla çevrelenerek soğutucu akışkan su tarafından ısını bırakmaktadır. Deneyler farklı elektrik rezistans güçlerinde ve farklı kondenser soğutma suyu debilerinde ve farklı ısı borusu açıları yapılmıştır. Isı borusu etrafına yerleştirilen 10 adet ve kondenser soğutma suyu giriş-çıkışına 2 adet olmak üzere toplam 12 adet K tipi termokupldan ölçülen sıcaklıklar bilgisayara aktarılacak suretiyle yapılmıştır. Deneyler sonucunda nano akışkanla yapılan deneyler suyla yapılan deneylere göre yaklaşık % 2 'lik bir iyileşmenin olduğu gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.026

Anahtar Kelimeler : Isı borusu, nanoakışkan, alümina

Sayfa Numarası : 69

Danışman : Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE EFFECT OF THE HEAT PIPE  
PERFORMANCE USING ALUMINA NANOFLUID

(M. Sc. Thesis)

Buse BALCIOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2014

ABSTRACT

In this study, it is aimed to improve the performance of heat pipe using nano-fluid obtained by adding alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) metal oxide nanoparticles instead of water used as working fluid in thermosyphon heat pipe. For this purpose, alumina whose size is 14 nm was added to pure water by %2 weight and it was stirred with 0.2% TRITON X-110 surface activator in an ultrasonic bath for approximately 3 hours. The thermal performance experiments were carried out using obtained nano-fluid heat pipe by volume of 1/3 as a working fluid in heat pipe. The heat pipe whose length is 1 m and the outer diameter is 15 mm, 40 cm of which was wrapped with electrical resistance, 20 cm of which was insulated adiabatic region and 40 cm condenser region was surrounded by outer pipe, and refrigerant released temperature by water. The experiments were carried out in different electrical resistance powers and different condenser cooling water flow and different heat pipe angles. Temperature measurements were determined by transferring temperatures that were measured by 12 units K-type thermocouple, 10 of which were placed in various places of heat pipe and 2 of which were placed in the condenser cooling water inlet-outlet to the computer. As a result of experiments, %2 improvement was observed in the experiments carried out with nano-fluid than the experiments carried out with water.

Science code : 708.3.026

Keywords : Heat pipe, nanofluid, alumina

Page number : 69

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kurtulus BORAN

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle ilgi ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç.Dr.Kurtuluş BORAN'a, teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca, tez hazırlık sürecinde yardım ve katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Adnan Sözen'e, Doç.Dr. Tayfun MENLİK'e, lisans öğrencisi Büşra GÜMÜŞGÖZ'e ve tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte benden desteğini esirgemeyen aileme şükran duygularımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI .....	3
3. ISI BORUSU .....	11
3.1. Isı Borusu Tanımı .....	11
3.2. Isı Borusunun Çalışma Prensibi, Bölgeleri ve Bileşenleri.....	12
3.2.1. Isı borusunun çalışma prensibi.....	12
3.2.2. Isı borusu bölgeleri ve bileşenleri .....	13
3.3. Isı Borusu Temel Parametreleri .....	14
3.4. Isı Borusu Konstrüksiyonu .....	14
3.5. Isı Borusunun Performansı .....	15
3.6. Isı Borusunun Özellikleri.....	15
3.7. Isı Borusunun Uygulama Alanları .....	16
3.8. Isı Borusu Uygulamaları .....	16
3.8.1. Yerçekimi takviyeli ısı borusu (Termosifonlar) .....	16
3.8.2. Fitilli ısı borusu .....	17
3.9. Isı Borusu Teorisi ve Isı Borusunda Basınç.....	17

	<b>Sayfa</b>
3.10. Özel Tipteki Isı Boruları .....	18
3.10.1. Düz plaka ısı boruları .....	19
3.10.2. Uzayıp kısalabilen ısı borusu .....	20
3.10.3. Yerçekimine karşı termosifonlar ve ters termosifonlar .....	22
3.11. Isı Borusunun Yapı Elemanları .....	23
3.11.1. Çalışma akışkanı .....	23
<b>4. NANOAKIŞKANLAR .....</b>	<b>27</b>
4.1. Partikül Madde ve Taban Sıvı .....	28
4.2. Partikül Büyüklüğü .....	29
4.3. Partikül Şekli .....	29
4.4. Nanopartiküllerin Üretimi .....	29
4.4.1. Nanoakışkanların üretimi .....	30
4.4.2. Nanoakışkanların gelişimi .....	31
4.5. Nanoakışkanların Tipleri .....	31
4.5.1. CuO ve Cu <sub>2</sub> O bazlı nanoakışkanlar .....	32
4.5.2. Al ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bazlı nanoakışkanlar .....	33
4.5.3. TiO <sub>2</sub> bazlı nanoakışkanlar .....	34
4.6. Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi .....	35
4.7. Nanoakışkanların Endüstriyel Uygulamaları .....	36
<b>5. MATERİYAL METOT .....</b>	<b>37</b>
5.1. Deneysel Çalışma .....	37
5.2. Deneysel Materyal .....	39
5.2.1. Deney düzeneği .....	39
5.2.2. Deneyde kullanılan ekipmanlar .....	42
5.2.3. Ultrasonik banyo .....	45
5.2.4. Deneylerin yapılışı .....	45

	<b>Sayfa</b>
5.2.5. Teorik hesaplama .....	46
5.2.6. Belirsizlik analizi .....	47
6. DENEY SONUÇLARI .....	49
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	63
7.1. Sonuçlar .....	63
7.2. Tartışma .....	64
KAYNAKLAR .....	65
ÖZGEÇMİŞ .....	69

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Isı Borularında Nanoakışkan Kullanımına Dair Yapılan Çalışmalar .....	5
Çizelge 3.1. Isı Borularında Kullanılan Akışkanlar .....	24
Çizelge 5.1. Bazı Katı Ve Sıvıların Isı İletkenlikleri .....	37
Çizelge 5.2. Kullanılan Isı borusunun Fiziksel Özellikleri.....	46
Çizelge 5.3. Deneyler Sırasında Kullanılan Ekipman Özellikleri .....	48

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Isı Borusu.....	11
Şekil 3.3. Isı Borusunun Bölgeleri ve Bileşenleri.....	13
Şekil 3.4. Isı borusunun ana bölgeleri.....	15
Şekil 3.5. Isı borusundaki ısı aktarımına sınırlamalar.....	18
Şekil 3.8. Yerçekimine karşı termosifon.....	23
Şekil 4.1. Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler .....	30
Şekil 5.1. Deney setinin şematik görünüşü .....	40
Şekil 5.2. Deney setinin şematik görünüşü .....	41
Şekil 5.3. Isı borusunda termokuplların yerleşimi .....	42
Şekil 6.1. 300 Watt ve $\dot{m}_1=0,005\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	49
Şekil 6.2. 300 Watt ve $\dot{m}_2=0,0075\text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	50
Şekil 6.3. 300 Watt ve $\dot{m}_3=0,01\text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	50
Şekil 6.4. 300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları.....	51
Şekil 6.5. 300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç sonuçları .....	52
Şekil 6.6. 400 Watt ve $\dot{m}_1 =0,005\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	52
Şekil 6.7. 400 Watt ve $\dot{m}_2= 0,0075\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	53
Şekil 6.8. 400 Watt ve $\dot{m}_3= 0,01\text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	54
Şekil 6.9. 400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları.....	54
Şekil 6.10. 400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç sonuçları .....	55
Şekil 6.11. 500 Watt ve $\dot{m}_1= 0,005\text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	56
Şekil 6.12. 500 Watt ve $\dot{m}_2= 0,0075\text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	56
Şekil 6.13. 500 Watt ve $\dot{m}_3= 0,01\text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları.....	57
Şekil 6.14. 500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları.....	58
Şekil 6.15. 500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç sonuçları .....	58

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.16. $45^\circ$ açılı, $\dot{m}_1 = 0,005$ kg/s, $\dot{m}_2 = 0,0075$ kg/s, $\dot{m}_3 = 0,01$ kg/s debide ve 300 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri.....	59
Şekil 6.17. $45^\circ$ açılı, $\dot{m}_1 = 0,005$ kg/s, $\dot{m}_2 = 0,0075$ kg/s, $\dot{m}_3 = 0,01$ kg/s debide ve 400 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri.....	60
Şekil 6.18. $45^\circ$ açılı, $\dot{m}_1 = 0,005$ kg/s, $\dot{m}_2 = 0,0075$ kg/s, $\dot{m}_3 = 0,01$ kg/s debide ve 500 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri.....	60
Şekil 6.19. $45^\circ$ - $75^\circ$ - $90^\circ$ açılar için iyileştirme oranlarının ( $\eta_{al} / \eta_{su}$ ) karşılaştırması..	61
Şekil 7.1. Kütle akış debilerine göre verim değerleri .....	63

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. Nanopartiküllere Ait Elektron Mikroskobu Görüntüleri .....	29
Resim 5.1. Isı Borusunun Deney Düzeneginin Görünümü .....	39
Resim 5.2. Data Okuyucu .....	43
Resim 5.3. Isıl Çift .....	43
Resim 5.4. Debimetre .....	44
Resim 5.5. Güç Kaynağı .....	44
Resim 5.6. Ultrasonik Banyo .....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$(\Delta P_g)$	Basınç farkı [Pa]
$(\Delta P_c)_{\max}$	Kılcal pompalama basıncı [Pa]
$(\Delta P_c)_v$	Buhar basınç düşümü [Pa]
$C_p$	Özgül ısı [j/kgK]
<b>K</b>	Isıl iletkenlik [W/mK]
$\dot{m}$	Kütleli debi [kg/s]
<b>Q</b>	Isı borusuna verilen ısı [W]
<b>R</b>	Isıl direnç [°C/W]
<b>T</b>	Sıcaklık [°C]
$T_{\text{ç}}$	Su çıkış sıcaklığı [°C]
$T_e$	Evaporatör sıcaklığı [°C]
$T_g$	Su giriş sıcaklığı [°C]
$T_k$	Kondenser sıcaklığı [°C]
$\dot{Q}_k$	Kondenserden alınan ısı [W]
$\dot{Q}_e$	Evaporatöre verilen ısı [W]
$\eta$	Verim
$\eta_{\text{al}}$	Nanoakışkan(alümina) verimi
$\eta_{\text{su}}$	Su verimi
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ANL</b>	Argonne National Laboratory
<b>CNT</b>	Karbon Nano Tüp
<b>EMF</b>	Electronic Magnetic Field

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerji gereksiniminin artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artması, buna karşılık bir yandan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, diğer yandan da enerji sağlanması ve kullanılmasında çevre sorunlarının getirdiği sınırlamalar, mevcut enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra yeni arayışları da beraberinde getirmektedir. Elektronik cihazların soğutulması, otoyol ve köprülerde buzlanmanın önlenmesi, nükleer santrallerin soğutulması, bacalardaki atık ısının geri kazanılması gibi pek çok yerde ısının taşınmasına, bazı durumlarda da atık ısının geri kazanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak ısı enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama aktarılmasında en önemli konu taşıma işleminin, en az güç harcanarak ve en verimli şekilde taşınmasıdır. Isı taşıyan pek çok sistem vardır. Isı boruları da ısı taşıyan sistemlerden biridir. Isı borularının diğer konvansiyonel ısı taşıma sistemlerine göre en önemli üstünlüğü, büyük miktarlardaki ısının çok küçük kesit alanları ile taşınabilmesi ve bu taşıma işleminde ek bir güce gereksinim duyulmamasıdır. Ayrıca tasarım ve üretim kolaylığı, ısıyı alan ve veren bölgeler arasında çok küçük sıcaklık farkının yeterli olması ve farklı sıcaklık aralıklarında çalıştırılabilmesi gibi üstünlükleri de vardır.

Isı borularında kullanılan çalışma akışkanının vakum altında olması sebebiyle düşük sıcaklıklarda buharlaşması ve kondenser bölgesinde ise hızla ısısını aktarak yoğunlaşması istenir. Aslında ısı aktarımının temelinde çalışma akışkanının faz değiştirmesi esası vardır. Akışkan var olan ısıyı evaporatör bölgesinde alarak kendisi buhar fazına ulaşır, kondenser bölgesinde ısıyı vererek kendisi sıvı faza dönüşerek yer çekiminin etkisiyle ısı borusu içerisinde bir dolaşım sağlar. Bu çalışmadaki amaç ise ısı iletkenliği sıvılara göre yüksek olan metal oksitlerin sıvı içerisine katılarak hem buharlaşmanın daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesini hem de kondenserdeki ısı aktarımının hızlanmasını ve ısı aktarım miktarının artmasını sağlayarak ısı borusunun termal veriminin artırılmasının sağlanmasıdır.



## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Isı borusu ilk olarak Gaugler tarafından 1944 yılında yapılmıştır. Fakat ne yazık ki bu tarihlerde ısı değişimi için birçok klasik cihazın bulunması yüzünden bu buluş yeterli ilgiyi görmemiş ve uzun zaman unutulmuştur[1].

Isı enerjisinin bir ortamdan başka bir ortama aktarılmasında en önemli konu taşıma işleminin, en az güç harcanarak ve en verimli şekilde taşınmasıdır. Isı taşıyan pek çok sistem vardır. Isı boruları da ısı taşıyan sistemlerden biridir[2].

1962 yılında Trefethen uzay araçlarında kullanılabilir bir ısı değiştiricisi fikrini ortaya atmıştır. Bu cihaz iç tarafında gözenekli fitil bulunan boş bir borudan ibaretti. Fakat bu yıllarda bu fikri gerçekleştirmek için hiçbir deney yapılmamıştır[2].

1964 yılında Grover ve arkadaşları bundan önce yapılan çalışmalardan habersiz olarak, Gaugler'in cihazına benzer ısı değiştiriciyi keşfettiler ve adını ısı borusu(HEAT PIPE) olarak koydular. Grover ve arkadaşlarının amacı uzay araçlarında enerji üretimi ve geçişi alanında çalışmak idi, ama ısı borusunun, diğer alanlarda büyük bir kullanma potansiyeli olduğunu farkettiler[3].

1964 yılından sonra ısı borusu performansı üzerine çeşitli konularda çalışmalar yapılmıştır. Isı borularında performansı etkileyen bir etken olan ısı borusundaki ısı direnç; ısı borusu içerisinde faz değişimin esnasında katı-sıvı ara yüzündeki buharın kabarcıklarının yapısıdır. Büyük boyuttaki kabarcık çekirdeği, katı yüzeyden sıvıya olan ısı transferini engelleyerek ısı dirence sebep olmaktadır [4] .

Su, motor yağı ve etilen glikoz (antifriz) gibi akışkanlar ısı değiştiricilerde kullanılan geleneksel ısı transferi akışkanlarıdır. Bu geleneksel akışkanların ısı transferi performanslarının düşük olması iyileşme veriminin az olmasına neden olmakta ve ayrıca ısı değiştiricinin küçük boyutlarda ve az yer kaplayan geometride olmasını sınırlamaktadır. 1990'lardan beri, araştırmacılar ısı transferi alanına nano malzeme teknolojisi uygulamaya başladı ve ısı transferi geliştirme üzerinde çok anlamlı sonuçlar elde edildi. Temel akışkan içerisindeki nano partiküller kabarcık oluşumu esnasında buhar kabarcıkları üzerine etki ederek çok daha küçük çekirdekleşmenin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum ısı borusu

içerinde katı yüzeylerden sıvıya ısıgeçişini kolaylaştırarak, ısı borularının ısıl dirençlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak temel akışkanının içerisine karıştırılacak metalik malzemelerin boyutları buişlem üzerinde son derece önemli bir etkiye sahiptir. Karıştırılacak malzemelerin mikron boyutunda olması ısıl direnç üzerinde olumsuz bir etkiye neden olacaktır. Ayrıca ısı transfer cihazlarının boyutlarının küçülmesinden dolayı cihazlarda tıkanmalara yol açacaktır. Isıl direncin azaltılabilmesi için karışımlarda kullanılacak metalik malzemelerin 100nm'den daha küçük parçacık boyutunda olması gerekmektedir [5-6].

Choi , öncelikle bir baz sıvı içinde süspansiyon haline nanometrik partiküllerin bazı türleri ile bir sıvı olan "nanoakışkan" kavramlarını, önermiştir. Uygulanan nano partiküller, saf metaller (Au, Ag, Cu, Fe), metal oksitler (CuO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), Karbürler (SiC, TiC), Nitrürler (AlN, SiN) dir[7].

Isı transfer akışkanlarında yeni bir tür olarak nano sıvı, ısı borularındaki faz değişiminden yararlanarak ısı transferini geliştirmek için, geniş uygulama umudu olacak yeni bir teknoloji girişimidir. Isı borularındaki nano akışkan araştırmaları ilk olarak 2003 yılında yayımlanmıştır. 2003'ten bu yana 30'dan fazla makalede ilgili konu hakkında çalışma yapılmıştır[8].

Çizelge 2.1. Isı Borularında Nanoakışkan Kullanımına Dair Yapılan Çalışmalar[8]

ISI BORUSU TİPİ		ARAŞTIRMACI	ÇALIŞMA AKIŞKANI TİPİ (Boyutu ve kütleli konsantrasyonu)	ETKİ
	Disk Şeklinde	Chien ve diğ. (2003)	Au-su (17nm)	+
	Silindirik	Wei ve diğ. (2005)	Ag-su (17nm, %0.01)	+
Minyatür Mikro- Oluklu Isı Borusu	Silindirik	Kang ve diğ.(2006)	Ag-su (35nm, %0.01)	+
	Silindirik	Yang ve diğ. (2008)	CuO-su (50nm, %1)	+
	Silindirik	Liu ve Lu (2009)	CNT-su (Ø15nm, boy: 5-15µm, %2)	+
	Düz Plaka	Do KH ve Jang SP (2010)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su (38,4nm %0.8)	+
	Silindirik	Shafahi ve diğ. (2010)	CuO-su, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su, TiO <sub>2</sub> -su	+
	Disk Şeklinde	Shafahi ve diğ. (2010)	CuO-su, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su, TiO <sub>2</sub> -su	+
	Silindirik	Liu ve diğ. (2010)	CuO-su (50nm, %1)	+
	Silindirik	Wang ve diğ. (2010)	CuO-su (50nm, %1)	+
	Silindirik	Tsai ve diğ. (2004)	Au-su (21nm)	+
Örgü Fitilli Isı Borusu	Silindirik	Lui ve diğ. (2008)	CuO-su (50nm, %1)	+
	Düz Plaka	Chen ve diğ. (2008)	Ag-su (35nm, %0.01)	+
	Silindirik	Do ve diğ.(2010)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su (30nm, %2.4)	+
	Silindirik	Lui ve diğ. (2011)	CuO-su (50nm, %1)	+
Sinterlenmiş Metal	Döngülü Isı Borusu	Riehl (2006)	Ni-su (40nm, %3.5)	-
Fitilli Isı Borusu	Silindirik	Kang ve diğ.(2009)	Ag-su (10nm, %0.01)	+
	Kapalı Döngülü TIB	Ma ve diğ. (2006)	Elmas-su (20 ve 40 nm, %2.2)	+
	Kapalı Döngülü TIB	Shang ve diğ.(2007)	Cu-su (25nm, %0.45)	+
Titreşimli Isı Borusu (TIB)	Kapalı Döngülü TIB	Lin ve diğ. (2008)	Ag-su (20nm, %0.1)	+
	Kapalı Döngülü TIB	Park ve Ma (2007)	CuNi-su (40-150nm, %8.8 )	+
	Kapalı Döngülü TIB	Qu ve diğ. (2010)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su (56nm, %0.9)	+
	Kapalı Döngülü TIB	Bhuwaketkumjohn ve Rittidech (2010)	Ag-etanol	+
	Düz Plaka Kapalı Döngülü TIB	Cheng ve diğ.(2010)	Elmas-aseton (2nm, %0.33)	+
	Silindirik	Peng ve diğ. (2004)	Al- su (30nm, %7.8)	+
	Silindirik	Xue ve diğ. (2006)	CNT-su (15nm, %2.2)	-
	Silindirik	Liu ve diğ. (2007)	CuO-su (30nm, %1)	+
Kapalı İki Fazlı Termosifon	Düz Plaka	Liu ve diğ. (2007)	CuO-su (15-50nm, %1)	+
	Silindirik	Khandekar ve diğ. (2008)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su (40-47nm, %1), CuO-su (8,6-13nm, %1), Lapanite clay-su (25nm, %1)	-
	Silindirik	Naphon ve diğ. (2008)	Ti-alkol (21nm, %0.57)	+
	Silindirik	Naphon ve diğ. (2008)	Ti-Soğutucu Akış. R11(21nm, %0.31)	+
	Silindirik	Noie ve diğ. (2009)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -su (20nm, %3)	+
	Silindirik	Liu ve diğ. (2010)	CNT-su (15nm, %2)	+
	Silindirik	Parametthanuwat ve diğ. (2010)	Ag-su (<100nm, %0.5)	+
	Silindirik	Huminc ve diğ. (2011)	FeO-su (4-5nm, %2-5.3)	+

Chien ve diğ. , ilk olarak düz plaka ısı borusunda nanoakışkan uygulaması üzerine deneysel bir çalışma yapılmışlardır. Sonrasında disk şeklindeki minyatüroluklusu borusuyla çalışmışlardır. Isı borusu; çapı 9mm, et kalınlığı 2mm olan 18mikro oluktan

oluşmaktadır. Nano akışkanların deneysel verileri, sıcaklık ve ısı borusu ısı dirençleri dahil olmak üzere, saf su ile karşılaştırıldı. Deneysel sonuçlar; nanosiviler kullanılarak ısı borusu ısı direnci, farklı dolum oranlarda saf su kullanımına göre daha az olduğunu göstermiştir. Nano akışkanların kullanımı ile ısı direncinde ortalama % 40 azalma sağlanmıştır[9].

Wei ve diğ. , iç çapı ve 6mm ve 200mm uzunluğu olan bir silindirik mikro oluklu ısı borusu kullanmışlardır. Dikdörtgen oluğun genişliği ve derinliği, sırasıyla 211mm ve 217µm idi. Akışkan 10 nm boyutundaki gümüş nano partiküller ve saf sudan oluşmaktadır. Nano sıvı kullanan ısı borusunun ısı direnci, saf su kullanılan ısı borusuyla karşılaştırıldığında %28-44 oranında azaltılmıştır[10].

Kang ve diğ. aynı ısı borusu deneylerini gümüş nano partiküller ve saf su oluşan nanosiviler kullanarak yapmışlardır. Gümüş nanoparçacık boyutları sırasıyla 10nm ve 35nm dir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki toplam ısı direnci nanoparçacık konsantrasyonu ve nano parçacık boyutunun artması ile azalmıştır. Saf su kullanılan ısı borusuyla nanosiviler kullanarak ısı borusu karşılaştırıldığında ısı direnci; 10nm nanopartiküller için %50 ve 35nm için %80 oranında azalma olduğunu göstermektedir[11].

Liu ve Lu ve Yang ve diğ. , termal performansı araştırmak için silindirik bir mikro oluklu ısı borusunda çeşitli çalışma sıcaklıkları altında ısı transferi deneyleri yaptılar. Su bazlı CuO nanoakışkan ve su bazlı karbon nanotüpler (CNT) , dağıtıcılar olmadan, çalışma sıvıları olarak kullanılmıştır. Uzunluğu ve ısı borusunun iç çapı sırasıyla 350mm ve 8mm'dir. 0.2mm derinlik ve 0.25mm genişlik ile 60 adet dikdörtgen kanal imal edilmiştir. Deneyler 40°C, 50°C ve 60°C çalışma sıcaklıkları ile 7.45kPa, 12.38kPa ve 19.97kPa üç sabit çalışma basıncında gerçekleştirilmiştir. Buharlaşma ve yoğuşma ısı transferi veri incelenmiş, nano parçacık konsantrasyon etkileri, ısı transferi özellikleri üzerinde çalışma sıcaklığı tartışılmıştır. CuO nanosiviler kullanarak ısı borusu ısı direnci üzerinde optimum % 1'lik konsantrasyon ile arasında optimum 75° eğim açısı maksimum değerler elde edilmiştir. Buna ek olarak, ısı transferinin artırılması çalışması sıcaklık artışıyla azalmıştır [12-13].

Tsai ve diğ. , silindirik örgü fitil ısı borusu ile ilgili deneyler gerçekleştirdiler. Kullanılan akışkan çeşitli ölçekteki altın nano partiküllerin sulu çözeltisidir. İç çap ve bakır boru

uzunluğu; sırasıyla, 6mm ve 170mm'dir. Deneysel sonuçlar, ısı borusunun ısıl direncinin %20-37 azaldığı gösterilmiştir [14].

Liu ve Shu , CuO-su karşımı nano sıvılar kullanarak silindirik bir örgü fitil ısı borusunun ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir. İç çapı ve tüp uzunluğu 10mm ve350mm'dir. Nanoparçacığın, ısı borusundaki hem derişiminin hem de buharlaşma ve yoğunlaşma ısı transferin önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur. %1 optimal derişimi ve çeşitli çalışma sıcaklığı altında, buharlaşma ve yoğunlaşma ısı transferi vemaksimum ısı akısının daha düşük çalışma sıcaklıklarında elde edilmiştir. Isıborusunun ısıl direnci, nano sıvı kullanımında saf su kullanımına göre çok daha küçük olduğu belirlenmiştir [15].

Chen ve diğ. , farklı güç girişlerinde (20-40 W) ortalama çapı 35nm olan nano partiküller farklı konsantrasyonda su bazlı gümüş nanoakışkanlar kullanarak düz örgü fitil ısı borusunun performansını incelemişlerdir. Nanosıvılar kullanarak ısıborusunun ısıl direnci saf su kullanılan ısı borusu ile karşılaştırıldığında azalma gözlemlenmiştir[16].

Kang ve diğ., 6mm dış çapı ve 200mm uzunluğu olan bir silindirik sinterlenmiş fitilli ısı borusunun ısıl direncini incelemişlerdir. Isı borusu bakır tozlarından yapılmış bir 1mm kalınlığında sinterlenmiş fitil içermektedir. Deneyde; 10nm ve 35nm parçacık boyutlarına sahip olan gümüş nanopartiküller ve saf su kullanılmıştır. Test edilen nanoakışkan konsantrasyonu 1mg/lt, 10mg/lt, 100mg/lt; incelenen güç aralığı 30-70W'tır. Deneysel sonuçlarda ısıl direnç, 60 W ısı yükü için %88 azalmıştır[17].

Shang ve diğ. farklı dolum oranları altında akışkan olarak Cu-su nano sıvılar ile bir kapalı devre titreşimli ısı borusunun ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir. Akışkan olarak damıtılmış su ile nanoakışkanın karşılaştırılması sonucunda; ısı borusunun Cu-su nano akışkanların kullanımı %83 daha fazla ısı aktarma kapasitesini arttırdığı ortaya koyulmuştur[18].

Qu ve diğ., kapalı devre titreşimli ısı borusunda su bazlı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano sıvı kullanımının termal performansında oluşturacağı etkiye dair deneysel bir çalışma yapmışlardır. 2mm iç çapa ve 3mm dış çapa sahip paslanmaz çelik kılcal boru bükme çekilerek imal edilmiştir. Sırasıyla, 50mm, 105mm ve 70 mm, buharlaşma,adyabatik ve yoğunlaşma bölümden oluşan paslanmaz çelik ısı borusu, dikey olarak yönlendirilmiştir. Dolum oranları, alümina nano

partikül konsantrasyonları ve titreşimli ısı borusunun ısı direnci araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarda güç girişi 58.8W iken; %0.9 konsantrasyondaki nanoakışkan ile saf su ile karşılaştırıldığında, maksimum ısı direnci % 32.5 azalmıştır [19].

Xue ve diğ., kapalı iki fazlı termosifonda karbon nanotüp (CNT) kullanımının termal performansı üzerine etkisi hakkında araştırma yapmışlardır. Deney 20mm'lik bir iç çapa sahip bir bakır boru ile yapılmıştır. Kapalı iki fazlı termosifon olan doldurma oranı %20'dir. Deneysel sonuçlarda CNT kullanarak ısı borusunun ısı direnci su kullanılan ısı borusu göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte baz sıvıya CNT ekleyerek ısı borusunun termal performansı negatif yönde etkilenmiştir [20].

Liu ve diğ. , minyatür kapalı iki fazlı termosifonda CuO nano sıvılar kullanılmasının termal performansa etkisini incelemişlerdir. Test tüpü çapı, buharlaştırma bölgesi, adyabatik bölge ve yoğunlaşma bölgesi uzunluğu, 8mm, 100mm, 100mm ve 150 mm dir. Bu deney, sırasıyla 7.45 kPa, 12.38 kPa ve 19.97 kPa üç çalışma basıncında gerçekleştirilir ve karşılık gelen doyumluk çalışma sıcaklığı, sırasıyla, 40°C, 50°C ve 60°C'dir. Deneysel sonuçlar, ısı borusunun nanoparçacık ilavesiyle ısı transferi ve kritik ısı akısının da artırılabilirliğini gösterdi. Çalışma sıcaklığı ısı aktarımını önemli ölçülerde etkileyebilir. Isı aktarımı nanoakışkanların kullanılmasıyla, sıcaklığının azalmasına rağmen, artmıştır. Isı borusunda CuO nano sıvılar kullanıldığında, ısı transfer katsayısında %160 artış ve %1 optimal nanoparçacık derişimi uygulandığında kritik ısı akısı %120 artmıştır. Isı direnci çalışma sıvı olarak su yerine nanoakışkan kullanıldığında yaklaşık %30-90 azaltılabildiğini gösterir. Ayrıca incelenen aynı minyatür kapalı iki fazlı termosifonda karbon nanotüp (CNT) süspansiyonlar kullanılarak termal performansın incelenmesi deneyinde elde edilen veriler, CuO nano sıvılar kullanılarak yapılan deneyle benzerdir [21-22].

Khandekar ve diğ., su ve su bazlı nano sıvılar ( $Al_2O_3$ ; 40-47nm, CuO; 8.6-13.5nm, laponite clay; çapı 25nm ve kalınlığı 1nm) kullanarak kapalı iki fazlı termosifonun ısı direncini araştırılmıştır. Kapalı iki fazlı termosifonun uzunluğu ve test iç çapı sırasıyla, 720mm ve 16mm'dir. Deney sonuçlarına göre, nano sıvı kullanımının su kullanımına nazaran termal performansa etkisi negatif olmuştur [23].

Naphon ve diğ. , titanyum-etanol nano sıvılar ve titanyum-su nano sıvılar kullanarak kapalı iki fazlı termosifon arasında ısı transferi performansı araştırıldı. Kapalı iki fazlı termosifon

15mm dış çapa ve 600mm uzunluğa sahip düz bakır borudan imal edilmiştir. Deneylerde kullanılan titanyum nanopartikül boyutu 21nm'dir. Buharlaştırma ısı aktarım katsayısı; nano akışkan kullanımında etanol kullanımına göre karşılaştırıldığında %10.6 artmıştır[24].

Noie ve diğ. ,  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanının ısı borusundaki performansını 1000mm boyunda, 20 mm iç çapındaki ısı borusu deney setinde test etmişlerdir. Deneyleri 20nm çapındaki  $Al_2O_3$  nanopartiküllerin %1, %1.5, %2, %2.5 ve %3 derişimleri ile su karıştırarak elde edilen nanoakışkanlar kullanılarak, farklı güç girişleri için gerçekleştirmişler ve sonuçta %3  $Al_2O_3$ -Su karışımli nano akışkanın ısı borusunda saf su ve diğ er karışım oranlarına göre daha iyi performans verdiğini tespit etmişlerdir[25].

Huminc ve diğ., termosifon ısı borusunda saf su ve % 2 - %5.3 konsantrasyonundaki demir oksit nanoakışkanlarıyla deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %5.3 derişimdeki nanoakışkan kullanımında suya göre termal performansta iyileşmeler gözlemlenmiştir[4].

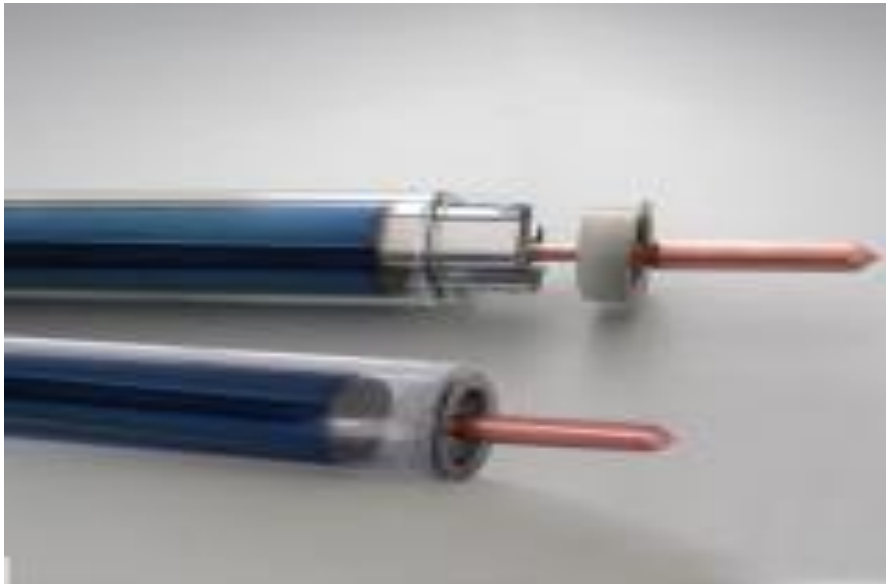
Bu lisans tezinde; ısı borularında kullanılan su ve su bazlı nano akışkanların ( $Al_2O_3$ ) farklı güç aralığında, farklı debilerde sıcaklık dağılımları ve ısı dirençleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmadaki alümina nano akışkanın hacimsel konsantrasyonu %2, ısı borusu eğimi  $45^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ C$  güç aralığı ise 300Watt, 400Watt, 500Watt olarak belirlenmiş ve incelenmiştir.



### 3. ISI BORUSU

#### 3.1. Isı Borusu Tanımı

Isı borusu, ısıyı; düşük basınçta bir akışkan içeren metal bir boruyla, bir noktadan diğer bir noktaya sıcaklık farkıyla taşıyan ısı transfer aracıdır. Isı borusu, bir ısı taşıma cihazı olarak çok geniş sıcaklık aralığında, değişik büyüklüklerde, sabit veya esnek şekillerde, silindirik, düzlemsel, dönel veya kullanım yerine ve amacına uygun olarak çok değişik şekillerde üretilebilir.



Şekil 3.1. Isı Borusu

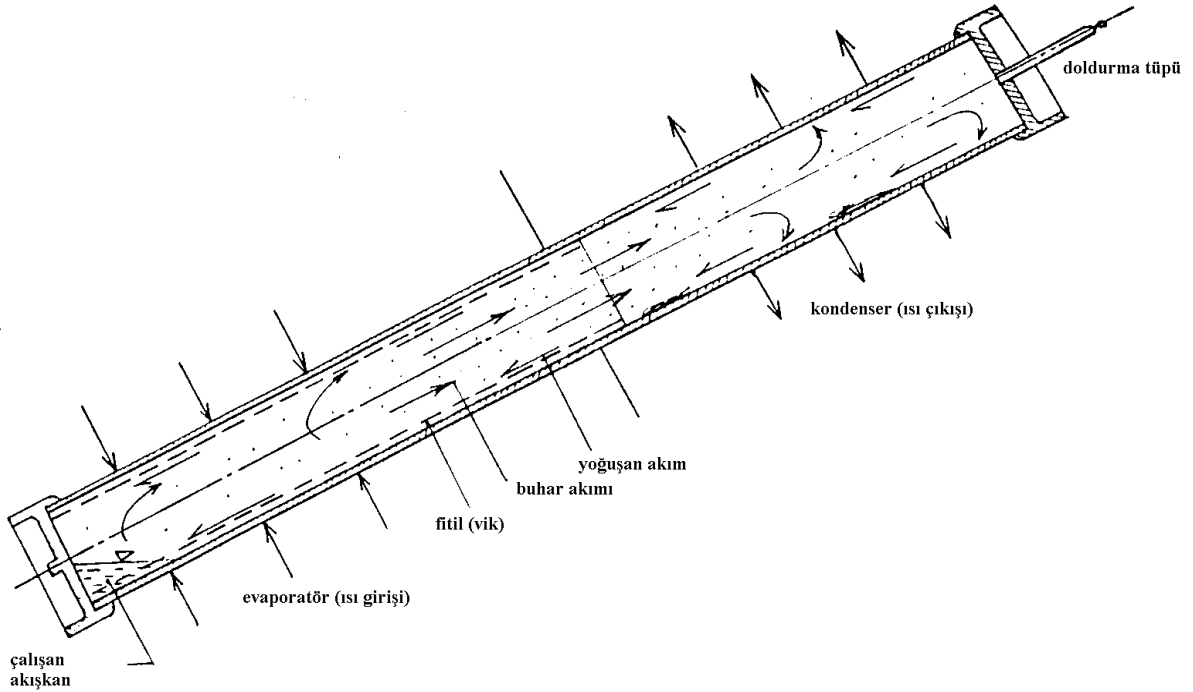
Isı borusu; iki fazlı, kapalı ve yüksek ısı iletibilme özelliğine sahip bir ısı transfer cihazıdır. Temel olarak bir ısı borusu, içerisinde bir miktar çalışma sıvısı bulunan ve havası alınmış kapalı bir haznedir. Hazne cidarına, çalışma sıvısının akışını düzenlemek amacıyla uygun bir fitil yerleştirilir. Isı borusu üç temel bölümden oluşur. Bunlar sıcak ortamdan ısının çekildiği buharlaştırıcı bölgesi, çekilen ısıyı düşük sıcaklıktaki ortama aktaran yoğuşturucu bölgesi ve ısı alışverişinin olmadığı adiyabatik bölgedir.

## 3.2. Isı Borusunun Çalışma Prensibi, Bölgeleri ve Bileşenleri

### 3.2.1. Isı borusunun çalışma prensibi

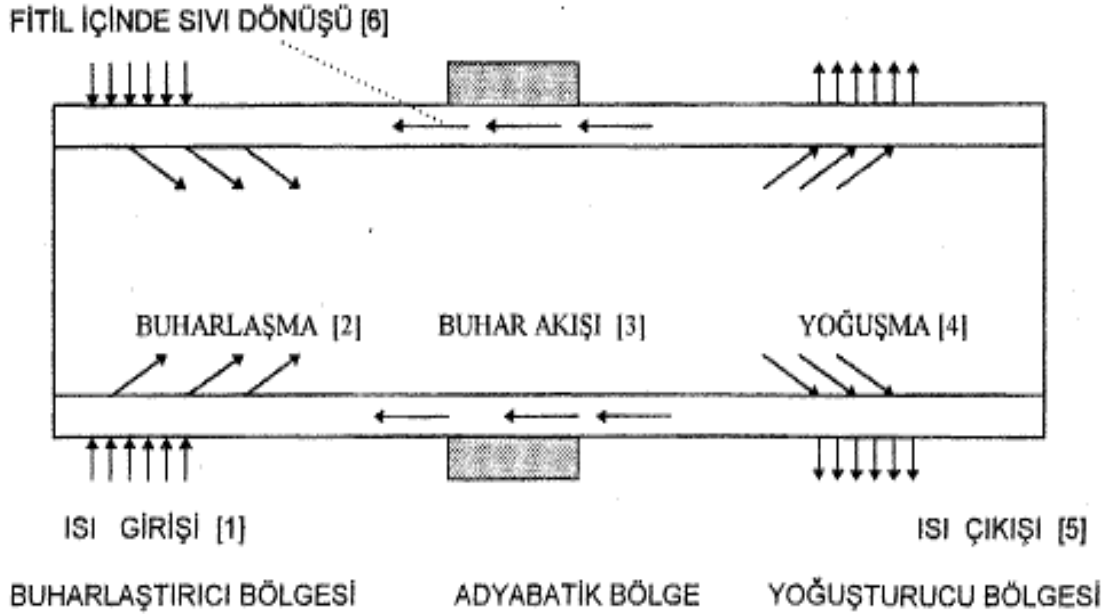
Isı borusu esas itibariyle, içinde az miktarda ısıtma akışkanı bulunan, havası alınmış kapalı bir kaptır (Şekil 3.2). Kabın iç yüzeyine ince tülenden yapılmış olan fitil, konur. Çalışma sırasında buharlaştırıcı (evaporatör) bölgesine uygulanan ısı, ısıtma akışkanının bir bölümünü buharlaştırır ve kısa zamanda, kabın tamamını saf buharla doymuş hale getirir. Sistemden ısı çekilmesiyle birlikte, yoğuşturucu (kondenser) bölgesinde, kap duvarı yüzeyi soğuk olacağı için, bu bölgede yoğuşma başlar. Açığa çıkan yoğuşma ısı, kondüksiyonla aktarılır. Yoğuşan sıvı, yerçekimi takviyeli ısı borusunda, yerçekimi etkisiyle ve fitil kılcal kuvvetleri ile evaporatöre döner ve çevrim tamamlanır.

Buharlaşma gizli ısı büyük olduğundan dolayı, önemli miktarda ısı, kabın bir ucundan diğer ucuna, çok az bir sıcaklık farkı ile taşınır. Bundan dolayı, yapı çok yüksek bir ısı iletkenliğine sahip olur.



Şekil 3.2. Isı borusunun yapısı ve çalışma şekli [26]

### 3.2.2. Isı borusu bölgeleri ve bileşenleri



Şekil 3.3. Isı Borusunun Bölgeleri ve Bileşenleri [26]

Bir ısı borusunun buharlaştırıcı bölgesine ısı uygulandığında (1) çalışma akışkanının bir kısmı buharlaşır (2) ve hemen sonra hacmin içindeki kesiti dolduran bu buhar akışı (3) yoğuşturucu bölgesinde ısı çıkışı (5) sonucunda yüzeylerde yoğuşma (4) oluşur ve bu yoğuşan sıvı fitil içinde kılcallık ve varsa yerçekimi etkileriyle buharlaştırıcı bölgesine geri döner (6) ve çevrim ısı alış verişi boyunca sürekli dir. Böylece bu çevrimsel işlemde "Buharlaşma ısısı" dediğimiz ısı, buharlaştırıcı bölgesindeki ısı kaynağından çekilerek, yoğuşturucu bölgesindeki soğuk kaynağa aktarılmış olmaktadır.

Bir tür ısı değiştirici olan ısı borusunun en önemli özelliği küçük bir yüzeyden (örneğin transistor veya motordan) oldukça büyük değerlere varan ısı enerjisi çeke bilmektir. Aynı çap ve boydaki ısı borusu ile çok kullanılan dolu metal çubuklar kıyaslandığında, ısı borusunun taşıdığı aksel ısı akışının metal çubuklardan 1000-10000 defa daha fazlasını taşıyabildikleri saptanmıştır. Isı borusunun düzenli çalışmasının yerçekimi kuvveti ve eğimin de etkisi bulunmaktadır. Çalışma akışkanı su olan ısı borusunda en yüksek verimin 30°-45° eğimle elde edileceği belirtilmektedir. Isı borusunun yerçekimsiz ortamda (uzay çalışmalarında) kullanılması da mümkündür [26].

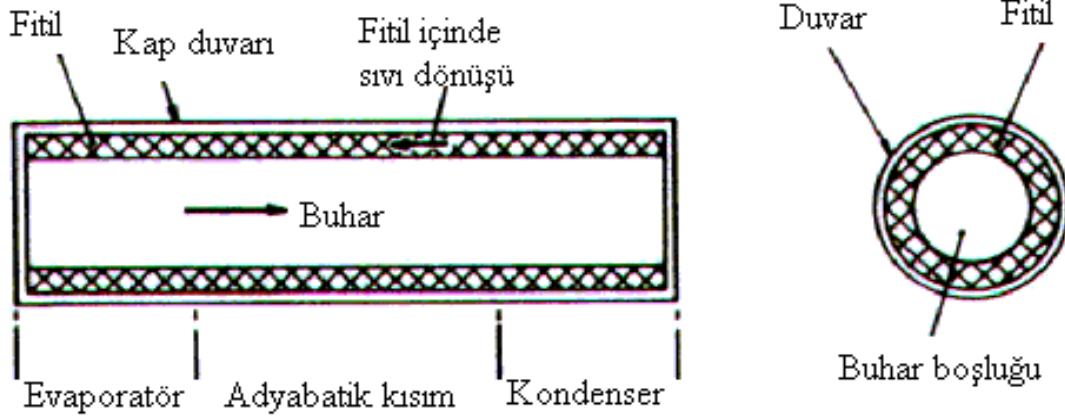
### 3.3. Isı Borusu Temel Parametreleri

Isı borularının tasarımında boru malzemesi, fitil malzemesi ve ilgili boyutların bilinmesi ve çalışma akışkanı seçimi yanında, taşınması istenen ısı kapasitesi, çalışma sıcaklıklarının (buharlaştırıcı ve yoğuşturucu bölge yüzey sıcaklıkları) belirlenmesi gereklidir. Ayrıca çalışma koşulları ile ilgili özelliklerde (ısı borusu eğimi gibi) bilinmelidir. Isı boruları küçük sıcaklık düşümleri ile enerjiyi transfer eder. Buna göre ısı aktarma işlemi izotermal gibi ele alınabilir. Bununla birlikte ısı borusu, dış boru et kalınlığında, fitilde, akışkan ortamında küçük sıcaklık düşüşleri vardır. Isı boruları fitil tasarımı, dış boru çapı, çalışma akışkanı özellikleri ve ısı borusunun yataya göre konumu (eğimi) gibi özellikleri ile bağlantılı sonlu bir ısı transfer kapasitesine (ısı transfer limitlerine) sahiptir. Bu verilerin kullanımıyla taşınmak istenen ısının ısı borularının taşıyabileceği maksimum ısı transfer limit değerlerinin altında kalmasını sağlayacak parametrelerin değiştirilmesiyle tasarım tamamlanır.

Isı borusunda evaporatörün pozisyonu sınırlandırılmış değildir ve evaporatör herhangi bir konumda kullanılabilir. Eğer ısı borusu evaporatörü en düşük pozisyonda ise, yerçekimi kuvvetleri, fitil kılcal kuvvetlerine de yardım eder.

### 3.4. Isı Borusu Konstrüksiyonu

Isı borusunun ana bölgeleri, Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Isı borusu, bir evaporatör ve bir kondenserden meydana gelir. Çevre geometrik şartları gerekli kılırsa, evaporatör ve kondenseri ayırmak için adyabatik bir kısım ilave edilir. Isı borusunun enine kesiti, kap duvarından, fitil malzemelerinden ve buhar boşluğundan meydana gelir [27].



Şekil 3.4. Isı borusunun ana bölgeleri [27]

### 3.5. Isı Borusunun Performansı

Isı borusunun performansı, çoğunlukla, eşdeğer ısı iletkenliği cinsinden ifade edilir. İyi bir ısı borusunun, aynı çaptaki dolu bakır çubuğun boyunca iletebildiği ısının birkaç bin mislini, aynı yönde iletebildiği belirtilmektedir [27].

Isı borusunun güç iletme kapasitesi çok yüksektir. 1500 °C'de çalışan ve akışkan olarak lityum kullanan ısı boruları, aksel olarak 10 ile 20 kW/cm<sup>2</sup>'lik ısı taşırlar. Isıtma akışkanının ve kap malzemelerinin uygun seçilmesi ile, 4 K ile 2300 K arasındaki sıcaklıklardaki kullanım için, ısı borusu imal edilebilir.

Birçok uygulamalar için, silindirik şekilli ısı boruları kullanılır. Özel şartları karşılamak için de farklı ısı boruları geliştirilebilir.

### 3.6. Isı Borusunun Özellikleri

1. Çok yüksek ısı iletimi,
2. Dış pompa gücü gerektirmemesi,
3. Düşük ısı engelli izoterm bir yüzey;

Isı borusunun kondenser yüzeyi, sabit sıcaklıkta çalışmaya eğilimlidir. Eğer bölgesel bir ısı yükü uygulanırsa, bu bölgede daha çok buhar yoğunlaşır ve bu, sıcaklığı ilk seviyede tutmaya eğilim gösterir.

### 3.7. Isı Borusunun Uygulama Alanları

- Uzay araçlarında sıcaklık kontrolü,
- Elektronik cihazların soğutulması,
- Boru sisteminin stabilize edilmesi,
- Atık ısıların tekrar kullanılması gibi alanlarda uygulamalara rastlanır.
- Jeotermal enerjinin kullanılması,
- Enerji depolama,
- Makine elemanlarının soğutulması,
- Taşıtlarda iç ısıtma,
- Gaz türbini jeneratörlerinde ısı transfer elemanı olarak kullanılması,
- Taşıtların iç ısıtmalarında egzozdan faydalanılması,
- Uçakların fren sistemlerinin soğutulması.

### 3.8. Isı Borusu Uygulamaları

#### 3.8.1. Yerçekimi takviyeli ısı borusu (Termosifonlar)

Yerçekimi takviyeli ısı borusunun çalışması sırasında, evaporatöre uygulanan ısı enerjisi, ısıtma akışkanının bir kısmının buharlaşmasına sebep olur. Isı borusunun içini dolduran saf buhar, kondenserin soğuk olan duvarına temas edince, kondenserde yoğuşma başlar. Yoğuşan ısıtma akışkanı, yerçekimi etkisiyle buharlaştırıcıya akar. Orada yeniden buharlaşır ve hızlı bir buhar akımı halinde yeniden kondensere döner. Bu çevrim sırasında buhar hızları, aksi yönde ilerleyen sıvı akışına kıyasla, yüksek olup, bazı hallerde buhar hızının ses hızına yaklaştığı ve hatta ses üstü hızlara ulaştığı görülür. Çift fazlı akımdaki bu büyük hız farkı, evaporatörden kondensere pompalama olayının doğmasına yol açar. Bunun sonucu olarak, ısı borusunun içinde kalan yoğuşmaz gazlar, önce kondenserde birikir; evaporatör sıcaklığı arttıkça, kondenserde sıkışan bu yoğuşmaz gaz sütunu, artan buhar momentumunun baskısı altında, kondenser üst ucuna hapsedilir. Pratikte, kondenser sıcaklığı ölçüldüğü zaman, kondenser bölgesi ile yoğuşmaz gaz sütununun yerini kesin hatlarla tespit etmek mümkündür; kondenser bölgesindeki sıcaklık, evaporatördakine eşit olduğu halde, yoğuşmaz gaz bölgesindeki sıcaklık ortam sıcaklığındadır [27].

Yerçekimi tesirli ısı borusu aşağıda belirtilen özellikleri dolayısıyla seçilen bir ısı transfer elemanıdır.

- -50 °C ile 100 °C arasında iyi netice verebilecek ısıtma akışkanlarının varlığı,
- Isı borusu boyunca sıcaklığın yeknesak kalması, bu sebeple yüksek efektif ısıl geçirgenliğe sahip olması,
- Ters sirkülasyon imkanı olmadığı için, gece kayıpların asgari olması,
- Sistem reaksiyon zamanının kısa olması,
- Sistemde hareketli eleman bulunmaması.

### 3.8.2. Fitilli ısı borusu

Isı borusunda akışkan buharlaştırıcıdan yoğunlaştırıcıya doğru ısı borusu içinden, yoğunlaştırıcıdan buharlaştırıcıya fitilin yardımıyla döner. Fitildeki kılcallık fitilin iç yüzeyinde oluşur ve bu yüzeyde bir gerilme meydana gelir. Bu gerilme ile yüksek hızda akışkan fitilin iç yüzeyinde hareket eder[28].Fitillerin ısı borusundaki görevleri çok önemlidir. Bu malzemelerin sahip olması gereken en önemli özellik yoğunlaştırıcı kısmında faz değiştiren akışkanın tekrar buharlaştırıcı kısmına dönüşü için gerekli gözenek büyüklüğüne sahip olmasıdır. Bu özellik minimum akış direnci için önemlidir. Çalışma esnasında maksimum kılcal pompalama basıncının artması küçük yüzey gözenekliğiyle sağlanabilir[29]. Fitillerin göstermesi gereken en önemli özellikleri daima etkilemektedir. Akış direncini azaltmak için büyük gözenekli fitil kullanıldığı zaman kılcal pompalama basıncı azalacaktır. Kılcal basıncı artırmak için küçük gözenekli fitil kullanılırsa, bu kez akış direnci artacaktır.

### 3.9. Isı Borusu Teorisi ve Isı Borusunda Basınç

Isı borusunun çalışabilmesi için maksimum kılcal pompalama basınç farkı  $(\Delta P_c)_{\max}$  'ın borudaki toplam basınç düşümünden daha büyük olmalıdır. Bu basınç düşümü, üç bileşenden meydana gelir.

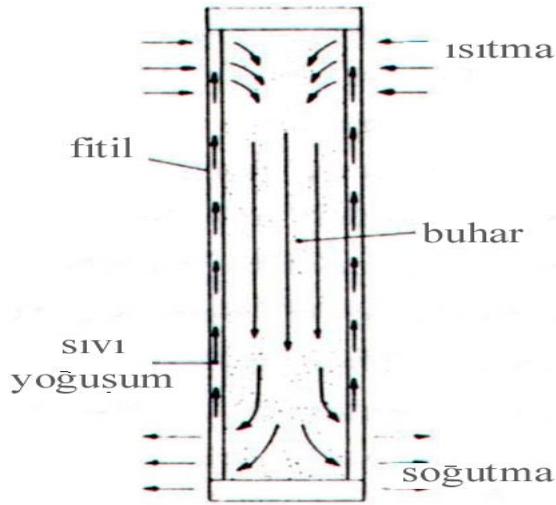
1. Sıvıyı kondensere evaporatöre geri getirmek için gerekli basınç düşümü  $(\Delta P_l)$ ,
2. Buharın evaporatörden kondensere akması için gerekli basınç düşümü  $(\Delta P_v)$ ,
3. Sıfır, artı veya eksi olabilen yerçekimi basınç farkı  $(\Delta P_g)$ .

Dolayısıyla ;

$$(\Delta P_c)_{\max} \geq (\Delta P_\ell) + (\Delta P_v) + (\Delta P_g) \text{ (Eş. 3.1)}$$

Bu şart karşılanmaz ise, fitil, evaporatör bölgesinde kurur ve ısı borusu çalışmaz.

İlk çalıştırma sırasında ve yüksek sıcaklıkta sıvı metal ısı boruları ile buhar hızları ses değerlerine ulaşır. Böyle durumlarda, sıkıştırılabilirlik etkileri dikkate alınmalıdır. Ses durumları, ısı borusunun olası maksimum ısı aktarım kapasitesine bir sınır getirir. Düşük sıcaklıkta viskoz kuvvetleri diğer sınırları getirir. Artan sıcaklıklarda, fitilde çalışan sıvının buhar akışından yeterli olmayan kılcallık basınç farkında ve evaporatör yanmasından ve süpürme olmasından ötürü sınırlamalı olarak ortaya çıkar. Maksimum aksenal ısı aktarımı üzerindeki bu sınırlamalar Şekil 3.5' te gösterilmiştir [30].



Şekil 3.5. Isı borusundaki ısı aktarımına sınırlamalar [30].

Çalışma noktasının bu eğrilerin arasında bulunan alanda seçilmesi gerekir. Bu alanın gerçek şekli, çalışma akışkanına, fitil malzemesine bağlıdır ve farklı ısı boruları için değişir.

### 3.10. Özel Tipteki Isı Boruları

Bu bölümde aşağıdaki ısı borusu tipleri açıklanacaktır.

- Düz plaka ısı boruları

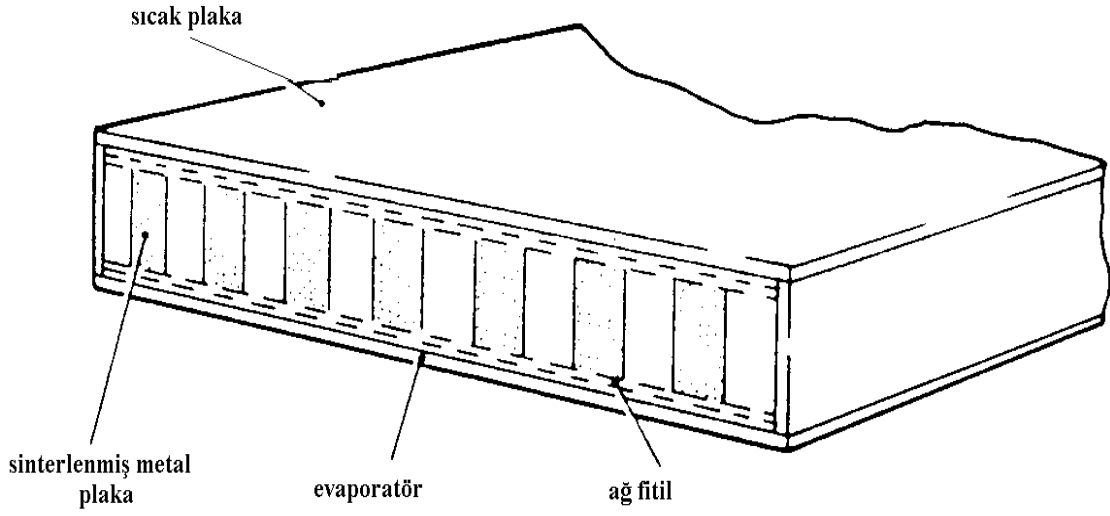
- Uzayıp kısalabilen (esnek) ısı boruları
- Osmatik ısı boruları
- Elektro-osmatik pompalama ve elektro-hidrokinamik
- Yerçekimine karşı ısı sifonu
- Isı diotları ve anahtarları
- Döner ısı boruları

### **3.10.1. Düz plaka ısı boruları**

Bir çeşidi Şekil 3.6'da gösterilen, düz plaka ısı borusu, alışılmış dairesel ısı borunun çalıştığı şekilde çalışır. İki çeşit arasındaki ana fark, elde edilecek geniş bir yüzey alanı üzerine sıvı dağılmasını sağlamak için, fitilin aldığı şekildedir.

Bu şekildeki ısı borusunun ana özelliği, yüzey boyunca çok küçük sıcaklık gradyanlı bir yüzey üretme kabiliyetidir. Bu izotermal yüzey, ısıtıcı tarafından üretilmiş sıcak bölgeleri, düzlemek ve bertaraf etmek veya üzerine monte edilmiş cihazların soğutulması için, çok verimli bir radyatör üretmek üzere kullanılabilir. Ayrıca, düz plaka ısı borusu üzerine bir çok ısı üreten kısımlar monte etmek suretiyle, benzer sıcaklıklarda çalıştırılabilirler. Bunun nedeni, buhar boşluğunun sabit düzenli sıcaklıkta olması gerçeğinden doğan eşitleme prosesidir.

Şekil 3.6'da gösterilen fitil yapısı, yerçekimine karşı çalışmanın gerekli olduğu durumlarda, plakanın üst yüzeyine, sıvının döndürülmesini ve dağıtılabilesini temin etmek için, dizayn edilir.



Şekil 3.6. Düz plaka ısı borusunun iç yapısı [30].

Eğer ısı girdisi taban üzerinden yapılıyorsa, sinterlenmiş yapı ihmal edilir. Sadece alt plakadaki sıvı dağıtımı gerekli olur.

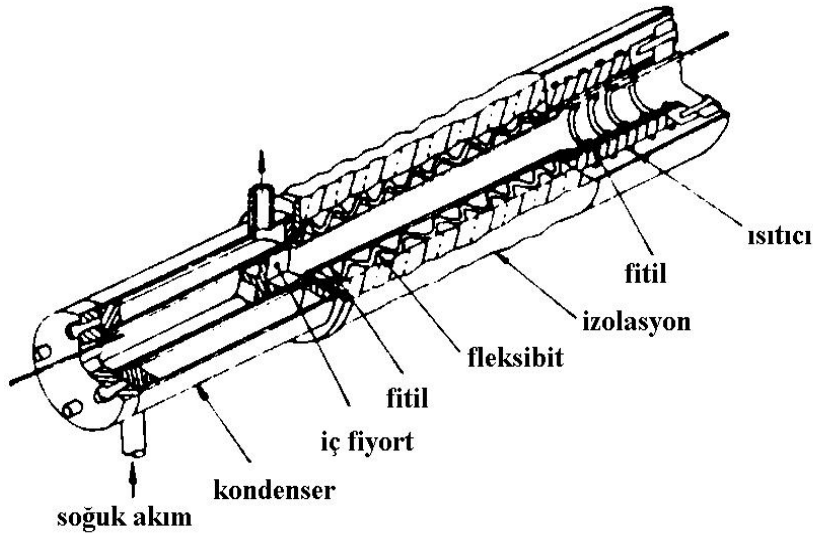
Plakanın bir kenarı boyunca olan, evaporatör bölümü ve evaporatör için sınırlı boşluğun mevcut olduğu yerlerde buhar, düz plaka buhar odasına beslenebilir ve ısı, daha büyük bir yüzeye dağıtılır.

The Marconi Şirketi, ince bir polyester film kullanarak imal edilmiş ayarlanabilir bir duvar kullanan, bir plaka ısı borusu geliştirmiştir. Isı borusunun uzayıp kısılabilen duvarı, bileşenlere karşı bastırılır ve çalışma esnasında ısı borusundaki buhar basıncı, ayarlanabilen yüzün, bileşenlerin şeklini alması ve iyi ısı teması vermesini sağlar.

### 3.10.2. Uzayıp kısılabilen ısı borusu

Amerika Birleşik Devletlerindeki birçok firmalar, bu tip ısı borularının, kaynak titreşiminin karşılaşıldığı veya zor montaj problemlerinin ve rijit ısı borularının kullanılmasının uygun olmadığı durumlarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Esneklik, evaporatör ile kondenser arasında, körük tipi bir yapının veya ısı girdisi ve çıkarılması bölgeleri için alışılmış metal kısımla ve bazı plastik malzemeden yapılmış olan, basit bir esnek boru, bir araya getirilmesi aracılığıyla öne sürülebilir.



Şekil 3.7. Esnek bileşenli ısı borusu dizaynı [30].

Bliss tarafından yapılan ve Şekil 3.7’de gösterilmiş olan sistem, sabit bir durumda iken, 90°C’ye kadar değişen kavis açılarıyla veya kavis olmama durumunda, çapraz ve uzunlaması titreşimler oluşurken, test edilmiştir. Isı borusu performansı, eğilme veya titreşim nedeniyle, değişikliğe uğramıştır. Bu değişiklik, artırılmış bir maksimum yatay ısı aktarım kapasitesinde ve yerçekimine karşı çalışırken fitil pompalama kapasitesinde bir azalmayı meydana getirmiştir.

Ayrıca, boyuna kritik titreşimlerin, ısı borusunun çalışmasını tamamıyla durdurmaya neden olabileceği, bulunmuştur. Bu, güç girdisi 500 W’a ulaştığı zaman 10 cps frekansında olmuştur.

Bir esneklik derecesini fitil yapısına getirmek için RCA bütün tellerin, ısı borusunun boyu eksenine bağıntılı olarak, çapraz yönde gidecek şekilde dokunmuş meş fitilini teklif etmişler ve patentini almışlardır. Bunun ısı borusunu daha esnek yaptığı ve fitilin mekanik olarak bozulmasını önlemeye yardım ettiği, iddia edilmektedir. RCA, yukarıda açıklandığı gibi bir meş kullanan, düşük güçlü bir ısı borusu, başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır.

Ticari olarak mevcut olan esnek ısı boruları, çoğunlukla evaporatör ve kondenser arasında bulunan plastik bir kısmı da ihtiva ederler.

### 3.10.3. Yerçekimine karşı termosifonlar ve ters termosifonlar

Termosifonlarda, tatminkar bir çalışma için, evaporatörün, kondenserin altında bulunması gereklidir. Çünkü, yoğuşumun geri dönmesi için cihaz, yerçekimine güvenmek zorundadır. Bundan dolayı bu termosifon yerçekiminin olmadığı veya çok küçük olduğu durumlarda etkin değildir.

Uluslararası Mühendislik Laboratuvarında yapılan son çalışmalar Yerçekimine karşı termosifonun gelişmesine yol açmıştır [31] ve bu düzen Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Alışılmış ısı boruları ve termosifonlarda olduğu gibi, kap sızdırmaz hale getirilmiştir ve sadece sıvı buhar ve buhar şeklindeki akışkanı ihtiva eder.

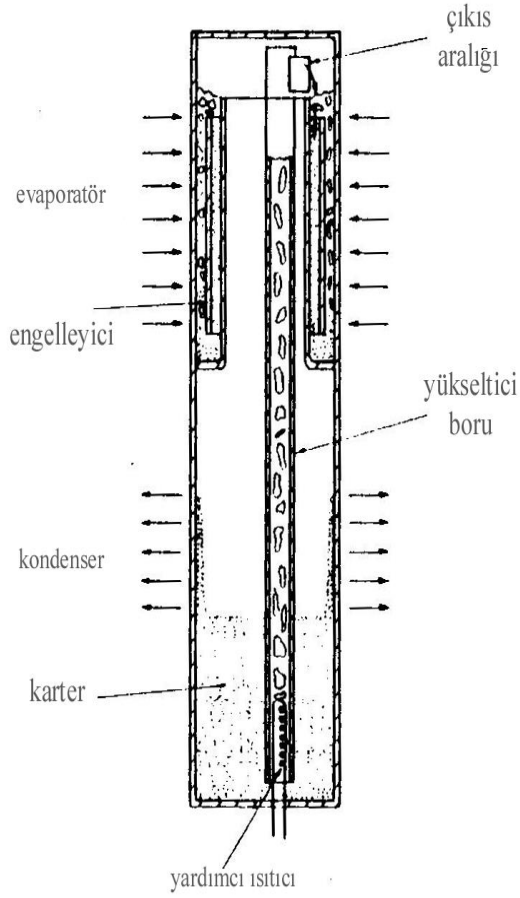
Evaporatör kısmına yoğuşumu geri götürmek için, bir buhar kaldırma pompası kullanılır. Bu, bir ucu yoğuşum haznesinde ve diğer ucu da evaporatöre giden bir borudur. Buhar kaldırma pompası, çalışmak için, tabanda küçük bir ısı girdisine ihtiyaç gösterir ve boruda iki fazlı bir karışım meydana getirir.

Bu karışımın yoğunluğu, haznedeki geri kalan sıvınınkinden daha azdır. Bu karışım, yükseltici boru olarak bilinen borunun en üstünde dönmeye zorlanır.

Evaporatör, alt kısmında sızdırmaz hale getirilmiş, iç içe iki boru şeklindedir ve sıvı, buhar pompası ile onun içine beslenir. Evaporatördeki dolaşıma yardımcı olmak için, ilave bir parça konulmuştur.

Bu cihazın, önemli bir avantajı evaporatördeki kaynama sınırları ile sınırlandırılmazlar ve bu şekliyle, alışılmış ısı borularına benzemezler.

Chisholm'ın araştırması, yerçekimine karşı olan termosifonların teorisini sunmaktadır ve yükseltici boru çapı ve kaldırma kapasitesi cinsinden, aksel akının ifadelerini vermektedir.



Şekil 3.8. Yerçekimine karşı termosifon[31]

### 3.11. Isı Borusunun Yapı Elemanları

Isı borusu aşağıdaki gibi üç temel yapı elemanından oluşur.

- Çalışma akışkanı
- Kılcal yapı
- Dış muhafaza

#### 3.11.1. Çalışma akışkanı

Isı borusunda dikkat edilmesi gereken noktalardan biri çalışma akışkanının seçimi olmalıdır. Çalışma akışkanının en önemli rolü don olayını önlemesi ve düşük sıcaklıklarda buharlaşmasıdır. Isı borusunda en çok kullanılan akışkanlar donma ve buharlaşma sıcaklığına göre Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Isı borusundaki çalışma akışkanı, buharlaştırıcı bölgesinden aldığı ısıyı yoğunlaştırma bölgesine çok hızlı bir şekilde iletebilmelidir. Bu işlemi gerçekleştirebilmesi için, belirli özelliklere sahip olmalıdır. Kullanılacak akışkan ısı borusu içerisine boru hacminin yaklaşık 1/3 'ü oranında doldurulur. Isı borusu içerisine doldurulan akışkan miktarı üzerine yapılmış olan araştırmalarda ısıtma veriminin akışkan miktarlarına göre değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Isı Borularında Kullanılan Akışkanlar [32]

Akışkan	Donma Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Kullanım Aralığı (°C)
Helyum	-272	-269	-271 ~ -269
Azot	-210	-196	-203 ~ -160
Amonyak	-78	-33	-60 ~ 100
Freon 11	-111	24	-40 ~ 120
Pentan	-130	28	-20 ~ 120
Freon113	-35	48	-10 ~ 110
Aseton	-95	57	0 ~ 120
Metanol	-98	64	10 ~ 130
Flutec PP2	-50	76	10 ~ 160
Etanol	-112	78	0 ~ 130
Heptan	-90	98	0 ~150
Su	0	100	30 ~ 200
Flutec PP9	-70	160	0~150
Freon 21	-134	9	-40 ~ 87
Cıva	-39	361	250 ~ 650
Sezyum	29	670	450 ~ 900
Potasyum	62	774	500 ~ 1000
Sodyum	98	892	600 ~ 1200
Lityum	179	1340	1000 ~ 1800
Gümüş	960	2212	1800 ~ 2300

Isı borularında kullanılan akışkanlarda dikkat edilmesi gereken özellikler:

- Isı borusu akışkanı ile fitil uyum içinde olmalı birbiri ile reaksiyona girmemeli ve bozulmamalıdır.
- Isı borusu akışkanı ile ısı borusu malzemesi yine birbirinin özelliklerini bozmayacak şekilde olmalıdır.
- Akışkan ile fitil ve yüzey arasında yüksek temas acısı olmalıdır. Bu durum, sıvıya ısı iletiminde aşırı ısıtma gereksinimini azaltmaktadır.

- Isı borusunun buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır. Çünkü ısı boruları, buharlaşma ve yoğuşmada üzerine aldıkları gizli ısıyı taşıdıkları için bu değerin fazlalığı verimi artırır.
- Yüksek buhar yoğunluğunu sahip olmalıdır. Buhar yoğunluğunun yüksekliği sistem boyutlarının küçülmesini sağlar.
- Isı borusu akışkanının buharlaşma basıncı yüksek veya düşük olmamalıdır.
- Isı borusunun ısıl iletkenliği ve ısılatma özelliği yüksek olmalıdır.
- Isı borusu akışkanında kılcal basınç yüksek olmalıdır.
- Düşük sıvı ve buhar viskozitesine sahip olmalıdır.
- Kabul edilebilir donma noktasına sahip olmalıdır.
- Fıtil ve duvar malzemeleri ile uygun olmalıdır.
- Isı borusu akışkanının ısıl kararlılığı yüksek olmalıdır[27].



#### 4. NANOAKIŞKANLAR

Nano teknolojideki son gelişmeler ile nanometre boyutlarda parçacıkların üretimi geçmişe nispeten kolaylıkla elde edilebilir duruma gelmiştir. Milimetre veya mikrometre boyuttaki katı partiküllerin süspansiyon şeklinde iş akışkanına eklenmesiyle uygulanan pasif ısı transferi iyileştirme yönteminin sahip olduğu çökelme, tortulaşma, aşınma gibi dezavantajlar sonucunda yapılan çalışmalarda, partiküllerin daha homojen yapıda ve daha küçük boyutlarda üretilmeleri mümkün hale gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak, ısı iletkenliğini artırmak için bir taban sıvısı içinde ısı iletkenlikleri yüksek olan bakır, alüminyum, altın, gümüş vb. nano taneciklerin süspansiyonu fikri önerilmiştir [33,34].

Nano teknolojideki gelişmeler sonucu, nanoakışkan kelimesi literatürde ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içinde süspansiyonları sonucu oluşan akışkanlar olarak tanımlanmıştır. Choi vd. çok küçük nanoparçacık konsantrasyonlarında bile nano akışkanın ısı iletim katsayısının anormal bir şekilde yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Bu iki çalışma ve ardından yapılan birçok deneysel araştırma nanoakışkanlarla oldukça yüksek ısı iletim katsayısı artışları elde edilebileceğini göstermiştir [34,35]. Nanoakışkanlarda gözlenen bu yüksek ısı iletim katsayısı artışları, ısı transferi ekipmanlarının verimliliğinin artırılabilmesi fırsatını sunmaktadır. Buna bağlı olarak ısı transferi ekipmanlarının boyutlarının küçültülmesi ve ekipmanların işletme giderlerinin azaltılması mümkün olacaktır.

Choi vd. çalışmalarından sonra nanoakışkanlarla ilgili birçok deneysel ve teorik çalışmalar hızlı bir şekilde artarak devam etmektedir ayrıca nanoakışkanların bu küçük boyutlarından dolayı önceden de bahse konu olan kanal duvarlarında, kanalların tıkanması ve erozyonu artık bir problem oluşturmamaktadır. Mikro kanallarda bile nanoakışkanlar kullanılabilir. Bu süspansiyonun kararlılığı söz konusu olduğunda, bu partiküllerin çökmesinin uygun dağıtıcı maddeler kullanılarak önlenbilir olduğu gösterilmiştir.

Nano akışkanların literatürde kabul gören dört ana özelliği şunlardır:

- Isı iletkenliğindeki anormal iyileşme: Nano akışkanların gözlemlenen en önemli özelliği ısı iletkenliğinde meydana gelen anormal artıştır.

Nano akışkanların ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir katı metalin ısı iletkenliği temel akışkanınkinden yüksek olduğu için temel akışkan içerisine süspansiyon olarak katılan ince katı metaller, akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır.
- İş yapan akışkan içine süspansiyon edilen metal partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
- Partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
- Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar.
- Nano partiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine neden olur.
- Kararlılık: Nano akışkanların stabilize edici bir madde kullanılarak aylarca kararlı bir halde kalabildiği rapor edilmiştir.
- Düşük konsantrasyon ve Newton tipi (viskozite sabit): Akışkanın Newtonian davranışı ile sağlanan partiküllerdeki küçük konsantrasyon ile iletkenlikte büyük bir iyileşme olmuştur. Viskozitedeki artış önemsizdir ve basınç düşüşü yalnızca marjinal olarak artırılır.
- Partiküllerin boyut bağımlılığı: iletkenlikteki iyileşme yalnızca partikül konsantrasyonuna değil aynı zamanda partiküllerin boyutlarına da bağlıdır. Partikül boyutu düşerse, iyileşmede artış gözlemlenir [35].

#### 4.1. Partikül Madde ve Taban Sıvı

Isı transferi iyileştirmeye yönelik yapılan süspansiyonlarda, ısı iletkenliği yüksek olan bakır, alüminyum, gümüş gibi metal elementler kullanılarak  $Al_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  gibi oksit bileşikler kullanılmaya başlanmıştır. Böylece, geleneksel akışkana belirli partikül büyüklüğü ve hacimde eklenerek meydana gelen süspansiyon ile nanoakışkan elde edilir.

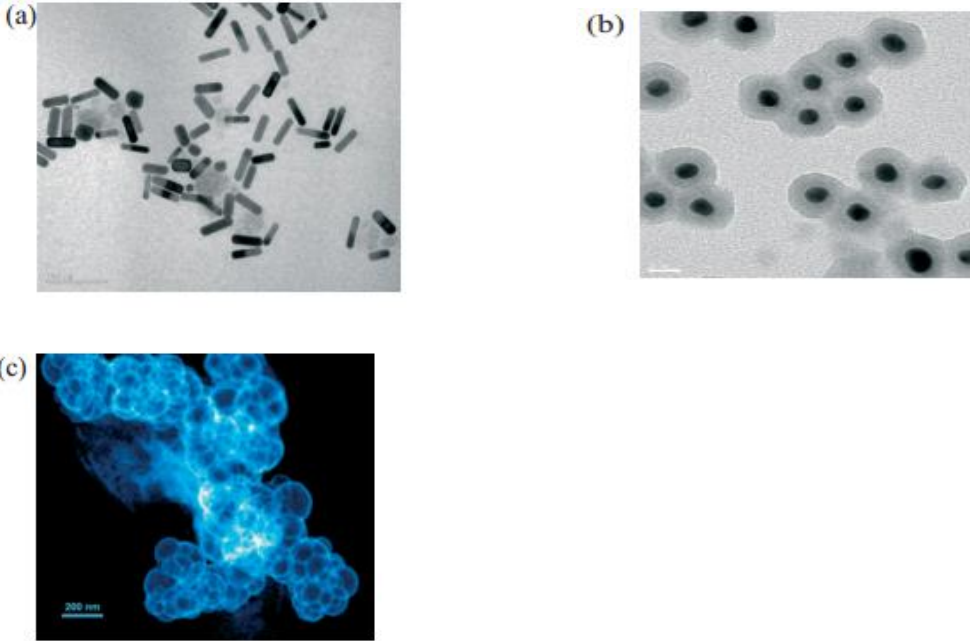
Çoğunlukla nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan taban akışkanlar, ısı transferi uygulamaları ortak çalışma sıvılarıdır. Örneğin; su, etilen, glikol, motoryağı gibi. Taban sıvı içindeki nanopartiküllerin stabilitesini geliştirmek amacıyla, bazı küçük miktarlarda katkı maddeleri karışıma ilave edilmektedir.

## 4.2. Partikül Büyüklüğü

Nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan nanopartiküllerin çapları 100 nm'nin altındadır ve bu boyut 10 nm'ye kadar düşebilir. Partiküllerin boru ya da çubuk şeklinde olmasıyla beraber, çapları 100nm'nin altında kalabilir fakat bu parçacıkların uzunluğu mikrometre mertebesinde olabilmektedir[35].

## 4.3. Partikül Şekli

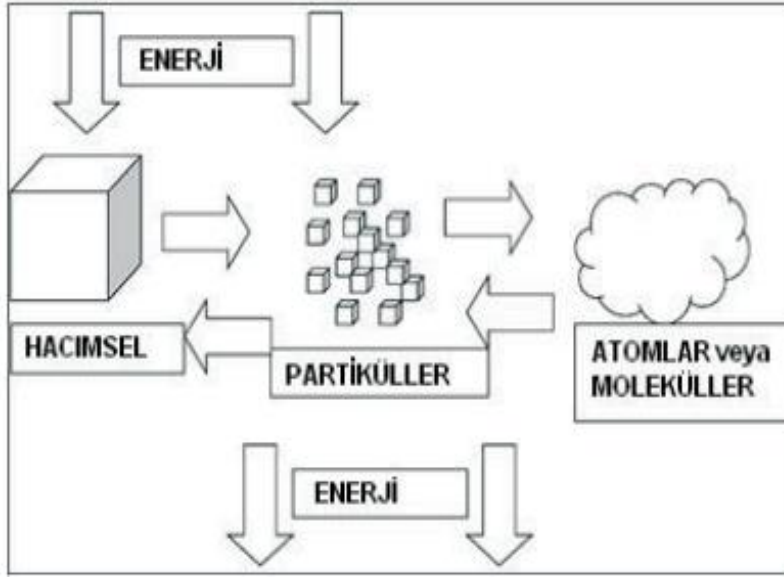
Nano akışkanlar içerisinde kullanılan nanopartiküllerin şekilleri; küresel, çubuk, boru veya disk şeklinde olabilir[35]. Nano akışkanlarda çoğunlukla küresel parçacıklar kullanılır. Bununla birlikte çubuk şeklindeki, boru şeklindeki ve disk şeklindeki nanopartiküller de yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, nanopartiküller tarafından oluşturulan kümelenmeler fraktal benzeri şekillere sahip olabilir [36].



Resim 4.1. Nano partiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri (a) Altın Nanoçubuklar, (b) Altın çekirdek-slika nanopartiküller, (c) iç boşluklu platin nanopartiküller [37].

## 4.4. Nano Partiküllerin Üretimi

Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler iki ana yaklaşım altında incelenmektedir: “Bottom Up” aşağıdan yukarı ve “Top Down” yukarıdan aşağı [38].



Şekil 4.1. Nano partiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler[37].

Hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel veya kimyasal işlemler ile enerji verilmesi sonucunda malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılması yukarıdan aşağıya yaklaşımına dahil olan yöntemler için esas alınmaktadır. Bu yönetime örnek olarak mekanik öğütme, aşındırma, katı maddenin buharlaşması ve bunu takiben uçucu bileşenlerin yoğunlaşması verilebilir [39]. Bu tekniklerde klasik öğütme işlemlerinden çok daha fazla enerji tüketimi gerçekleştiğinden yüksek enerjili öğütme veya yüksek hız değirmenleri olarak da adlandırılmaktadırlar. Aşağıdan yukarıya yaklaşımı ise; atomik veya moleküler boyuttaki yapıları kimyasal reaksiyonlar ile büyütürük partikül oluşumunun gerçekleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşıma örnek olarak gaz yoğunlaştırma tekniği, kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprey piroliz yöntemleri verilebilir[40,41]. Nanokristalin metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılan ilk yöntem olan gaz yoğunlaştırma tekniği aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla çalışmaktadır. Bu yöntemler dışında partikül üretimi, mekanik enerji kullanımıyla fiziksel özelliklerin ortaya çıktığı fiziksel yöntemler ve kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesiyle oluşan kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilir [40].

#### 4.4.1. Nano akışkanların üretimi

Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş (Ag), silisyum dioksit ( $SiO_2$ ) nanoakışkan üretiminde kullanılan nano partiküllerdir. Nano akışkan basit bir sıvı-katı partikül karışımı değildir. Hazırlanan akışkanın tam, kararlı ve uzun ömürlü bir

süspansiyon olması, partiküllerin çok küçük miktarda topaklanması ve akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir. Bu özelliklere sahip bir sabit nanoakışkan üretebilmek için özel teknikler geliştirilmiştir. Bunlar tek aşamalı yöntem ve iki aşamalı yöntemdir.

İki aşamalı yöntem nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan en yaygın yöntemdir. 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 ile bir akışkan içerisine dağıtılır. İki aşamalı yöntem büyük ölçekte nanoakışkan üretmek için en ekonomik yöntemdir. Geniş yüzey alanı ve yüzey aktivitesine sahip olmalarından dolayı nanopartiküller bir araya toplanma eğilimindedir. Nano partiküllerin sıvı içindeki kararlılığını arttırmanın önemli bir yolu yüzey aktif madde kullanmaktır. Fakat, yüksek ısı altında bu yüzey aktif maddelerin fonksiyonelliği bir endişe konusudur. İki aşamalı yöntemde karşılaşılan kararlı nanoakışkan hazırlama zorluğu nedeniyle, nanoakışkan üretmek için birçok gelişmiş teknik geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlilerinden biri de tek aşamalı yöntemdir [38].

#### 4.4.2. Nano akışkanların gelişimi

Nobel ödüllü Richard Feynman 1959'da küçük makineler fikrini ortaya attığından beri minyatürleştirmeye modern bilim ve teknolojiye önemli bir eğilim olmuştur. Minyatürleştirme eğilimi 1950'lerin milimetre derecesini bugünkü atomik dereceye düşürmüştür. Nano akışkanların fikri ve gelişimi doğrudan minyatürleştirme ve nanoteknoloji eğilimiyle ilişkilendirilmiştir. Argonne National Laboratory (ANL)'deki çalışmalar nanoakışkanları değişik endüstriler için muhtemel ticari uygulamalara uygun hale getirmiştir.

#### 4.5. Nanoakışkanların Tipleri

Nanoakışkanların oluşumunda kullanılan nanoparçacık malzemeleri;

- Oksit seramikler ( $Al_2O_3$ , CuO,  $Cu_2O$ )
- Nitrür seramikler (AlN, SiN)

- Karbür seramikler (SiC, TiC)
- Metaller (Ag, Au, Cu, Fe)
- Yarı iletkenler (TiO<sub>2</sub>)
- Tek, çift ve çok duvarlı karbonlar (SWCNT, DWCNT, NWCNT)
- Kompozit malzemeler (çekirdek-kabuk polimer nanoparçacık kompozitler) olarak sınıflandırılabilirler.

Buna ek olarak, sıvı parçacık ara yüzü çeşitli moleküller ile sertleştirilerek oluşturulan yeni malzemeler ve yapılar nanoakışkan oluşumunda kullanılmaktadır. Nanoakışkan oluşumunda kullanılan baz sıvılar yaygın olarak kullanılan ısı transferi sıvılarından. Bunlar; su, makine yağı, etilen glikol ve etanol benzeri sıvılardır [42].

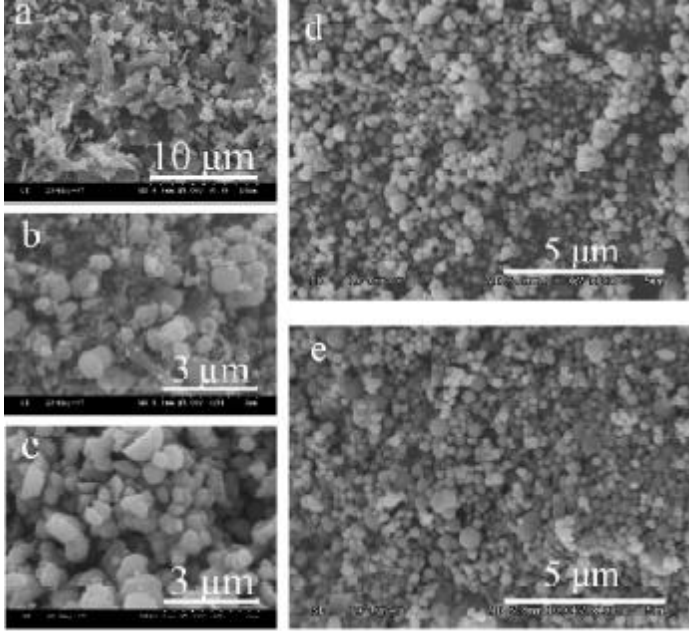
Genellikle birçok araştırmada, aşağıda anlatılacak üç tip nanopartikül nanoakışkanların katı fazı olarak dikkate alınmıştır.

#### **4.5.1. CuO ve Cu<sub>2</sub>O bazlı nano akışkanlar**

Cu<sub>2</sub>O son zamanlarda güneş hücreleri, pigmentleri ve katalizörler gibi potansiyeli uygulamalarda kayda değer dikkate alınan p-tipi bir yarı iletkenidir. Nano skalaya bakıldığında Cu<sub>2</sub>O'nin hacimsel olarak daha gelişmiş özelliklere sahip olması beklenmektedir. Cu<sub>2</sub>O nanokristalleri 8 farklı yöntemle başarılı bir şekilde sentez edilmesine rağmen, hafif koşullar altında şekil kontrollü Cu<sub>2</sub>O nanokristaller birkaç yaklaşım bildirilmiştir [43].

Xiaohao Wei vd. Cu<sub>2</sub>O nano akışkanlarının kimyasal çözüm yöntemi (CSM) kullanılarak sentezlenebilir olduğunu göstermiştir. Nanopartiküller bazı sentez parametreleri ayarlanılarak küreselden octahedral şekle değiştirilebileceği gözlemlenmiştir. Nano akışkan ısı iletkenliği, sentez parametreleri ve sıcaklık ile kontrol edilebilir.

Bakır sülfat (CuSO<sub>4</sub>) ve sodyum nitrat (NaOH) arasındaki reaksiyon ile bakır hidroksit (Cu(OH)<sub>2</sub>) ve sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) elde edilmiştir [43].

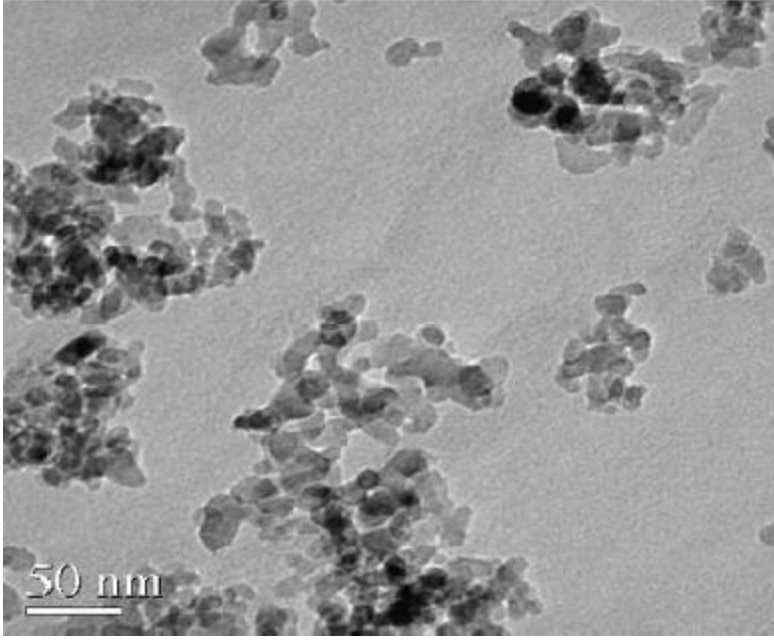


Resim 4.2. Farklı çözücüler içinde  $\text{Cu}(\text{Ac})_2$  ile fotoliz edilen  $\text{Cu}_2\text{O}$  nano partiküllerinin EM görüntüleri: (a) su; (b) metanol; (c) etanol; (d) etilen glikol; (e) dodekanol [44].

#### 4.5.2. Al ve $\text{Al}_2\text{O}_3$ bazlı nano akışkanlar

Mikron boyutunda ve nano boyutunda alümina parçacıkları karşılaştırıldığında nanoalüminanın birçok avantajı söz konusudur. Daha küçük boyutlu parçacıklar moleküler çarpışmalar için daha büyük bir yüzey alanı sağlar bu nedenle de reaksiyon oranı artar, daha iyi bir katalizör ve reaktant yapılıdır. İnce aşındırıcı taneleri ince parlatmaya olanak sağlayacak ve bu da nano işleme ve nanoprobler gibi yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Kaplamalar açısından nano ölçekli alümina parçacıklarının kullanılması önemli ölçüde bu kaplamaların kalitesini ve tekrarlanabilirliğini arttıracaktır.

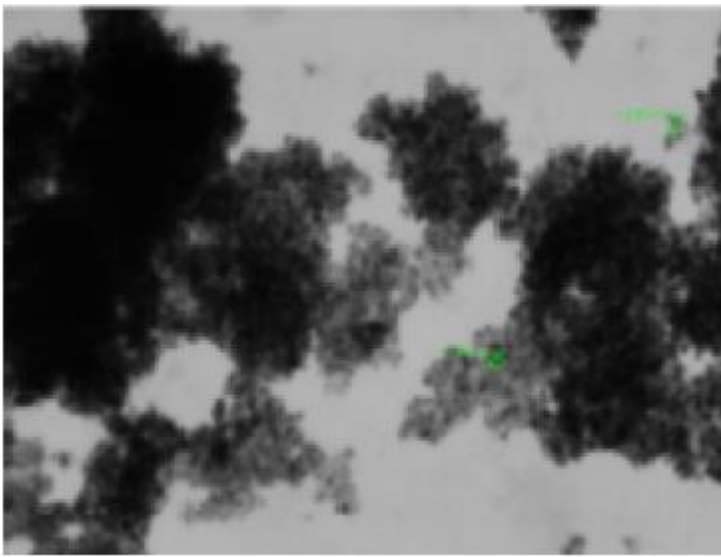
Nano alümina sentezlemek için çeşitli yöntemler söz konusudur; bu yöntemler fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak kategorize edilmektedir. Fiziksel yöntemler mekanik freze, lazer ablasyonu, alev spreyleme ve plazma termal ayrışma olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal yöntemler arasında solgel işlem, çözelti, yanma ayrışması ve buhar birikimi bulunmaktadır. Kimyasal yöntemlerin çoğu son derece düşük verim oranları ile sonuçlanmıştır ve bu nedenle kitle üretime adapte edilememektedir. Mekanik öğütme gibi fiziksel yöntemler, nanopartiküllerin büyüklüğünü kolaylıkla kontrol edemediği için etkili değildir ve bu yöntemler belirli malzemeler ile sınırlıdır. Lazer ablasyonu, buhar biriktirme ve solgel gibi diğer yöntemler vakum sistemleri, yüksek güçlü lazerler, pahalı öncü kimyasallar gibi özel ekipman gerektirdiğinden dolayı çok pahalıdır. Sonuç olarak birçok sistem belirli malzeme aralıkları için uygundur [45].



Resim 4.3. Spreylenmiş alümina nano partiküllerin TEM mikrografı[45].

#### 4.5.3. TiO<sub>2</sub> bazlı nano akışkanlar

Titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) son derece kullanışlı yarı iletken bir geçiş metal oksit malzeme olup ve düşük maliyet, kolay kullanım, toksisite olmaması ve fotokimyasal ve kimyasal erozyona karşı dirençli olma gibi birçok olumlu özelliğe sahiptir. TiO<sub>2</sub> özellikleri kristal fazına önemli ölçüde bağlıdır örneğin anataz, rutil veya brokit [46].



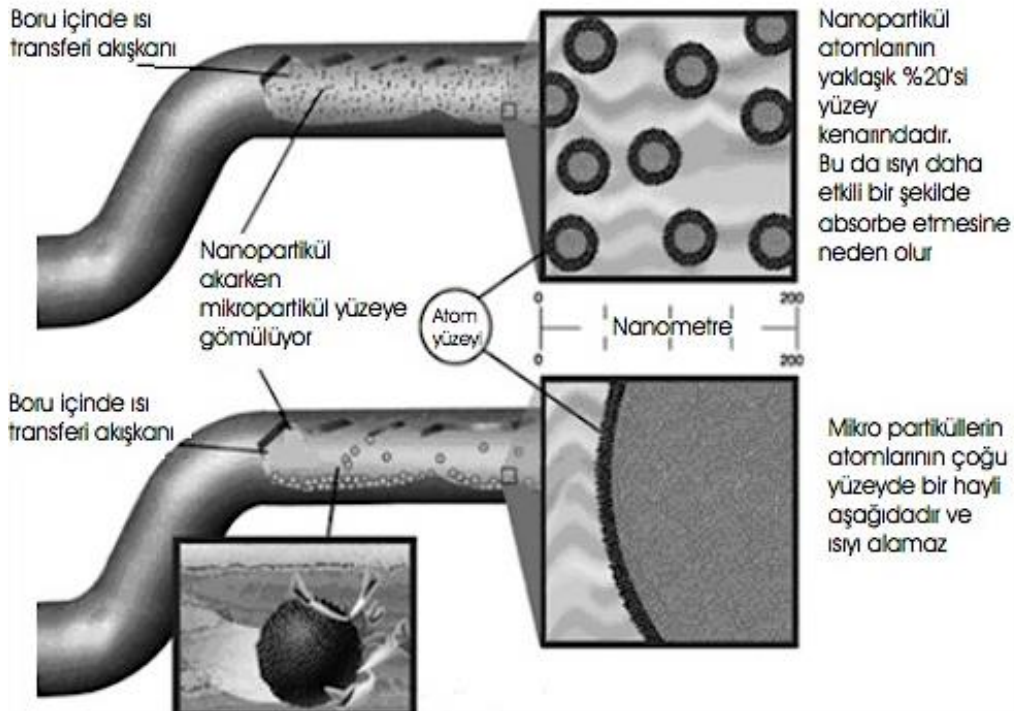
Resim 4.4. TiO<sub>2</sub>'nin XRD desenleri[46].

#### 4.6. Nano Akışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi

Geleneksel parçacıklarla karşılaştırıldığında, nanoakışkanlar daha iyi bir denge ve ihmal edilebilir düşüklükte basınç kaybında yüksek ısı transferi sergilemiştir [47]. Nano boyutlu bu parçacıkları ısıtma ve soğutma akışkanlarına eklemek, bu akışkanların ısı transferlerini büyük ölçüde artırır.

Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Eklenen nanopartiküllerin, yüzey alanını ve akışkanın ısıl kapasitesi artırması
- Bu nanopartiküllerin, akışkanın efektif ısıl kapasitesini artırması
- Partiküller arasında meydana gelen çarpışma ve etkileşimden dolayı akışkanda ve akış geçit yüzeyinde artış olması
- Eşit olarak erişilmek istenilen ısı transferi iyileştirmesi için pompalanan gücün saf akışkanlara göre daha düşük olması [48].



Şekil 4.2. Nano partiküller ile mikropartiküllerin karşılaştırılması[49].

#### **4.7. Nano akışkanların Endüstriyel Uygulamaları**

Endüstride kullanılan ısı borusu ısı performansını artırmaya yönelik değişik konfigürasyonlar denenmektedir. Bilim ve teknolojiye 1960'lerden beri minyatürleşme yükselen bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro elektromekanik sistemler çalıştırılırken çok büyük değerlerde ısı akışı ortaya çıkmaktadır. Her geçen gün hızları, performansları artan elektronik cihazlar ve bu cihazların bileşenleri oldukça yüksek değerlerde ısı üretmekte ve üretilen bu ısı, sistemden uzaklaştırılmadığı durumda sistem ömrü azalmaktadır. Yarı iletkenlerin ömürleri mutlak sıcaklıkla logaritmik olarak değişmektedir. Yarı iletken bulunduğu cihazın ömrü her 20°C artışla yarıya inmektedir. Ayrıca nanoakışkanların havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde (HVAC) ve soğutma sistemlerinde uygulanması enerjinin daha verimli ve daha ucuz olarak kullanılabilmesi için yeni tasarımların gerçekleştirilmesine imkân verecektir.

## 5. MATERYAL METOT

### 5.1. Deneysel Çalışma

Çalışmada, ısı borularında çalışma sıvısı olarak kullanılan saf su yerine, nano boyutta alümina ( $Al_2O_3$ ) parçacık içeren daha yüksek ısı depolayabilme ve taşıyabilme özelliklerine sahip nano akışkan geliştirilmesi ve bu nano akışkanın ısı borusunda kullanımı ile;

- Çalışma sıvısının yüzey gerilimi azaltılarak ısı borusunun ısıl direncini düşürmek,
- Evaporatör ve kondenser bölgeleri arasındaki oldukça düşük sıcaklık farklarında ısı iletim miktarını arttırmak,
- Isı borusu performansını arttırmaktır amaçlanmıştır.

Isı borularının içerisinde ısı taşıyıcı olarak kullanılan maddeye iş akışkanı denir ve klasik ısı borularında iş akışkanı olarak genellikle saf su kullanılır. İş akışkanının ısı iletim performansını etkileyen en önemli parametre akışkanın ısı iletkenliğidir (W/mK). Isı borularında verimi etkileyen diğer etkenler ise, kullanılan iş akışkanın yüzey geriliminden kaynaklanan ısıl direnç, bu dirence bağlı olarak evaporatör ile kondenser bölgeleri arasında sıcaklık farklarının yüksek olması ve ısının evaporatör bölgesinden kondenser bölgesine yeterli oranda aktarılamaması ve ısı borusunun eğim açısıdır. Son yıllarda birçok araştırmacı iş akışkanlarının ısı iletkenliklerini arttırmak için iş akışkanı içerisine, sıvılara göre daha yüksek ısı iletkenliğine sahip (Çizelge 5.1) nano boyutta katı maddeleri iş akışkanının içerisine karıştırarak bazı araştırmalar yapmışlardır.

Çizelge 5.1. Bazı Katı ve Sıvıların Isı İletkenlikleri [6]

<u>Malzeme</u>	<u>Isı iletkenliği (W/mK)</u>
Bakır	401
Alüminyum	237
Metal olmayan katı silikon	148
Alumina ( $Al_2O_3$ )	40
Metalik sıvı sodyum	72.3
Su	0.613
Etilen glikol	0.253
Motor yağı	0.145

Isı borularında performansı etkileyen diğere bir etken olan ısı borusundaki ısı direnç; ısı borusu içerisinde faz değışimin esnasında sıvı-katı ara yüzündeki buhar kabarcıklarının yapısıdır. Büyük boyuttaki kabarcık çekirdeğı, katı yüzeyden sıvıya olan ısı transferini engelleyerek ısı dirence sebep olmaktadır [4]. İş akışkanı içerisindeki nano partiküller kabarcık oluşumu esnasında buhar kabarcıkları üzerine etki ederek çok daha küçük çekirdekleşmenin oluşmasını sağlamaktadır. Bu durum ısı borusu içerisinde katı yüzeylerden sıvıya ısı geçişini kolaylaştırarak, ısı borularının ısı dirençlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak iş akışkanının içerisine karıştırılacak metalik malzemelerin boyutları bu işlem üzerinde son derece önemli bir etkiye sahiptir. Karıştırılacak malzemelerin mikron boyutunda olması yukarıda bahsedilen durumun tersine ısı direnç üzerindeolumsuz bir etkiye sahiptir. Isıl direncin azaltılabilmesi için karışımlarda kullanılacak metalik malzemelerin 100 nm den daha küçük parçacık boyutunda olması gerekmektedir [ 6].

İş akışkanlarının ısı iletkenliklerini arttırmak ve iş akışkanından kaynaklanan ısı borularının ısı dirençlerini düşürmek için bazı çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan çalışmalarda, son yıllarda farklı alanlarda önemli başarılar kazanılan XO ve  $X_2O_3$  tipi oksitlerden faydalanılmaktadır. Çalışmalarda, saf su içerisine küçük oranlarda (% 1-5) ZnO, CuO, FeO,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  vb. oksit nano partiküller karıştırılması ile elde edilen bazı nano karışımların iş akışkanlarının ısı iletkenliklerini yükselttiğı ve ısı borularında verimi arttırdığı görülmüştür.

Çalışmada nano malzeme olarak  $Al_2O_3$  kullanılacaktır.  $Al_2O_3$  kullanılarak, iş akışkanının ısı iletkenliğinin artacağı, ısı borusunun ısı direncinin azalacağı, sıcaklık değışiminde düşüş meydana geleceğı, toplam ısı transfer katsayısında artış ve ısı akısındaki yükselmeye bağılı olarak ısı borusunun performansının artacağı düşünölmektedir.

Isı boruları; termosifon, akışkanın kaynamasını kolaylaştırıcı etkisi olan yivli ve akışkanın kondenser bölgesine kolay inmesinde faydalı olabilen fitilli tip olmak üzere üç çeşitte olabilirler. Ancak bazı çalışmalar yivlerin nano akışkanlı ısı borularında performans üzerinde olumsuz etkisi olduğunu ortaya koymuştur [23]. Bu yüzden bu çalışmada, performansı olumsuz etkileyen yivli ve imalatı oldukça zor olan fitilli ısı borusu yerine termosifon tip ısı borusu kullanılacaktır.

Isı borusu uygulamalarında nano akışkan kullanımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde oldukça yeni bir çalışma alanı ve çalışmaların son 3-4 yıl ile sınırlı olduğu görölmektedir.

## 5.2. Deneysel Materyal

### 5.2.1. Deney düzeneği



a)

b)

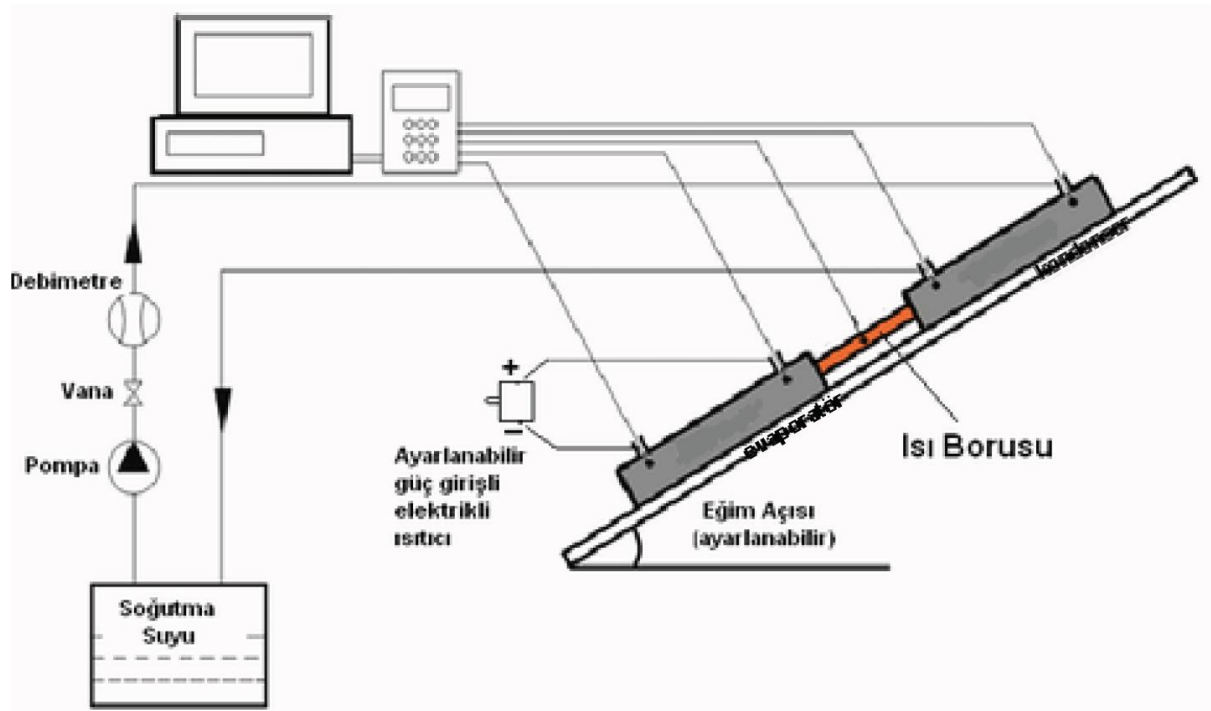
Resim 5.1. Isı borusunun deney düzeneđinin görünümü (a-b)

Çalışma teorik analiz, deney malzemeleri ve deney setlerinin hazırlanması, deneylerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır.

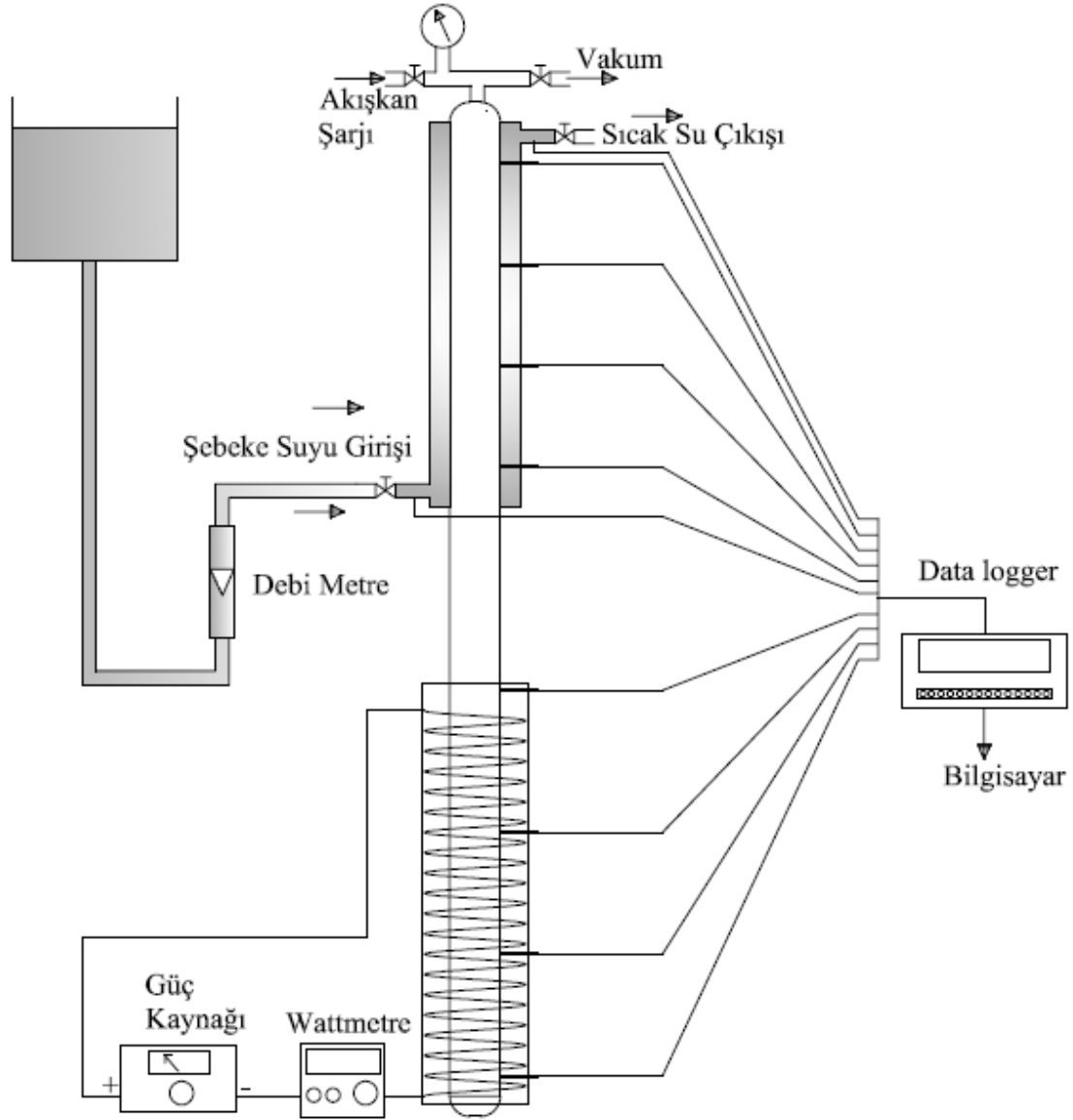
Çalışmanın birinci bölümünde, ısı borusunun ve deney setinin tasarımı ile ısı borusunun deneylerde kullanılacak  $Al_2O_3$  ve saf su karışımının ısı borusundaki performansı teorik olarak incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümün iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada çalışma akışkanı hazırlanmıştır. Çalışma akışkanı  $Al_2O_3$  ve saf su karışımı ile elde edilmiştir. Öncelikle

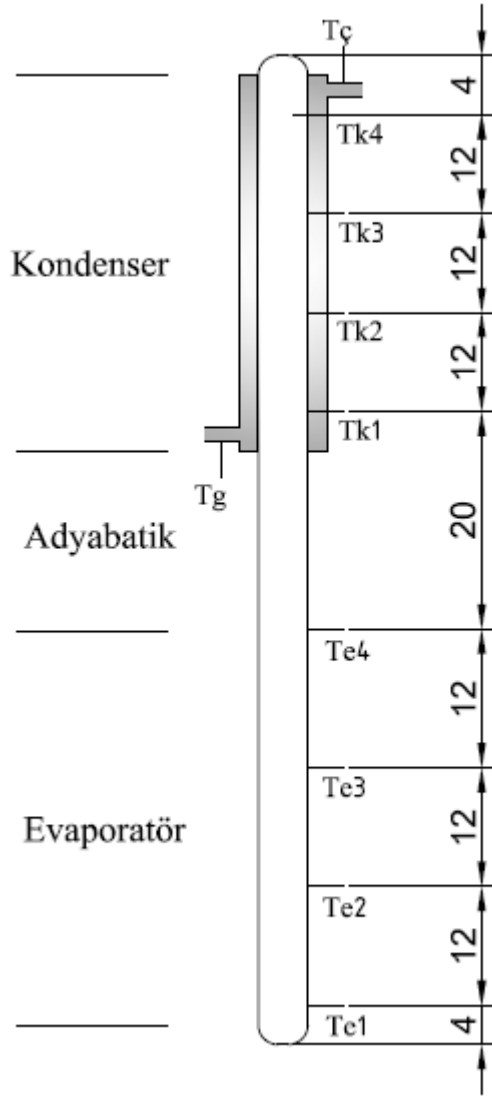
$Al_2O_3$ , SPEX tipi kırıcı ve bilyalı öğütücüde boyutu 14-17nm boyutunda olacak şekilde nano parçacıklar haline getirilmiştir. Elde edilen nano parçacıklar, saf suyun içerisinde ağırlıkça %2 oranında ve %0.2 oranında TRITON X 110 yüzey aktifleştirici ilave edilerek ultrasonik banyoda 4 saat karıştırılarak nano akışkan elde edilmiştir. Nano parçacıkların sıvıların içerisinde karıştırılmaları esnasında karşılaşılan en önemli problem olan yığılmayı engellemek için karıştırma işleminde ultrasonik banyo yöntemi kullanılmıştır. Bu işlemler Kimya ve Malzeme bölümleriyle paralel yürütülmüştür. İkinci aşamada ise Şekil 4.2’de verilen deney setinin elemanlarının kapasiteleri belirlenerek, malzemeler temin edilip deney setinin imalatı yapılmıştır.



Şekil 5.1. Deney setinin şematik görünüşü



Şekil 5.2. Denei setinin şematik görünüşü



Şekil 5.3. Isı borusunda termokuplların yerleşimi

### 5.2.2. Deneyde kullanılan ekipmanlar

Deney düzeneği; 1 adet ısı borusu, 1 adet debimetre, 1 adet manometre, 10 adet ısıçift, 1 adet data logger, doldurma vanası, güç kaynağı ve bilgisayardan oluşmaktadır.

## 1. Data okuyucu



Resim 5.2. Data okuyucu

## 2. Isıl çift

Termokupl veya ısıl çift, bir tür sıcaklık sensörüdür. Farklı iki iletken malzemeden oluşmuştur. Bu malzemelerin iki ucu birleştirilir (sıcak nokta) ve ısıtılırsa, diğer uçlarda (soğuk nokta) gerilim elde edilir. Bu gerilimin değeri kullanılan malzemenin cinsine ve birleşim noktasının ısınma miktarına bağlıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. Sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkı termokupl üzerinde gerilim (EMF) yaratır. Sıcak nokta sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiğinde farklı sıcaklıklar okunur. Bu nedenle mV tablolarındaki değerlerde standart sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0 °C'de tutulması ile elde edilir. Termokupllar -200°C'den 2320 °C'ye kadar çeşitli sıcaklıklarda, ölçüm ve kontrol için yaygın olarak kullanılır. Ayrıca sıcaklık gradyanını elektriğe dönüştürürler.



Resim 5.3. Isıl çift

### 3. Debimetre

Bu tip şamandıralı debimetreler düşük akış debisine sahip sıvıları hassas şekilde ölçmek için kullanılır. Metal gövdeli olup, darbeye karşı dayanıklıdır. Hatta dik olarak bağlanarak akışın aşağıdan yukarıya geçerken, miktarının ölçülmesine imkan verir. Ayar vanası vasıtası ile hassas debi ayarı yapılmasına olanak sağlar.



Resim 5.4. Debimetre

### 4. Güç Kaynağı

Elektrik devrelerinde alıcının aktif gücünü ölçmek için kullanılan ölçü aletleridir. Wattmetreler, faz şekline göre bir fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki çeşit imal edilmektedir. Aynı zamanda teknolojinin gelişmesiyle birlikte analog üretilen wattmetreler yerlerini dijital wattmetrelere bırakmaktadır. Ancak çalışma prensipleri aynıdır.



Resim 5.5. Güç Kaynağı

### 5.2.3. Ultrasonik banyo

Temel akışkan-nanopartikül karışımının homojen bir şekilde karışması ve kararlı olabilmesi için uygulanan yöntemlerden biri karışımı bir süre ultrasonik titreşime maruz bırakmaktır. Deneysel çalışmada kullanılan Ultrasonik Banyonun teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Voltaj: 230 V- 50 Hz
- Ultrasonik Gücü: 600 peak/300 Watt
- Isıtıcı Gücü: 500 Watt
- Ultrasonik Frekansı : 28 kHz



Resim 5.6. Ultrasonik Banyo

### 5.2.4. Deneylerin yapılışı

Deneyler 1 m uzunluğunda iç çapı, 13 mm ve dış çapı 15 mm olan bakır borudan imal edilmiştir. Nano-akışkan uygulamalarında performansı düşürmesinden dolayı ısı borularında fitil kullanılmayıp, termosifon tip ısı borusu imalatı yapılmıştır. Sıcaklık ölçümleri ısı borusunun evaporatör bölümünde dört ve kondenser bölümünde dört adet olmak üzere 8 ve su giriş çıkışı iki noktadaki k tipi termokupllar ile yapılmıştır. Sıcaklıklar data logger kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Isı borusunun kondenser kısmına gücü ayarlanabilir bir elektrikli ısıtıcı ile ısı verilerek, evaporatör kısmındaki ısı çekimi ise debimetre ile kontrollü akışın sağlandığı bir ısı değiştirici ile yapılmıştır. Deneylerde elde

edilen verilerin bilgisayar ortamında derlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Deney seti ayrıca ısı borularının farklı açılardaki performansının belirlenebilmesi için ısı borusunun farklı açılarda konumlandırılabilceği özelliklerde kurulmuştur.

Çizelge 5.2. Kullanılan Isı borusunun Fiziksel Özellikleri

Isı Borusunun Ana Malzemesi	Bakır
Isı Borusu Uzunluğu	100cm
Evaporatör Uzunluğu	40cm
Kondenser Uzunluğu	40cm
Adyabatik Bölge Uzunluğu	20cm
Isı Borusunun Dış Çapı	15mm
Akışkan Dolum Oranı	13mm
Isı Borusu Eğim Açıları	45°, 75°, 90°

Deneyler önce saf su ile sonra %2 oranındaki  $Al_2O_3$  süspansiyonu ile yapılmıştır. Isı akışı sağlanacak olan akışkan kondensere 3 farklı ( $\dot{m}_1=0.005\text{kg/s}$ ,  $\dot{m}_2=0.0075\text{kg/s}$  ve  $\dot{m}_3=0.01\text{kg/s}$ ) debide verilmiştir. Sisteme 300W, 400W, 500W'lık farklı ısı enerjileri evaporatörden aktarılmıştır. Yapılan her deneyde 20 dakika süren kararlı hale ulaşma süresinden sonra veriler kaydedilmiş, akış şartları bir alt debi değerine ayarlanmış ve son debi değerine kadar deneyler tekrarlanmıştır. Isı borusunun 45°, 75° ve 90°'lik eğim açıları için aynı işlemler tekrar yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 90°'lik eğim açısı ile yapılan deneyler 45° ve 75° eğim açıları ile yapılan deneylere göre daha verimli olduğu için sadece 90°'lik eğim açısı ile yapılan deneyler değerlendirilmiştir.

### 5.2.5. Teorik hesaplama

Deneyler sonucu elde edilen verilerle termal verim ve ısı dirençleri karşılaştırabilmek için kullanılması gereken eşitlikler:

Elde Edilen Isı Transfer Miktarı:

$$\dot{Q}_{k=m} C_p (T_{\dot{c}} - T_g) \text{ [Watt]} \quad (5.1)$$

Isıl Direnç:

$$R = \frac{\Delta T}{Q} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (5.2)$$

Verim:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{Q_e} \quad (5.3)$$

şeklindedir.

### 5.2.6. Belirsizlik analizi

Deneysel sıcaklıklar, ısı borusu üzerindeki kondenser ve evaporatör bölgelerine yerleştirilen ayrıca soğuk su giriş ve çıkışına yerleştirilen yüksek hassasiyetli J-tipi termokopul ile ölçülmüştür. Isı borusu yüzeyi ısı kaybını minimize etmek için ısı yalıtımı yapılmıştır. Deney boyunca, soğuk su giriş çıkışları ile akış debileri ve kondenser ve evaporatör bölgelerine yerleştirilen yüksek hassasiyetli J-tipi termokopul ile kararlı hal altında ölçülmüştür. Ölçümleri güvenilir ve doğru bir şekilde değerlendirebilmek için, nanoakışkanın ısı transferini hesaplamadan önce, deney sistemi damıtılmış su kullanılarak test edilmiştir.

Deneysel sonuçların belirsizliği, deneysel parametrelerdeki sapmalara göre belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar üç kez tekrarlanmış ve her bir testteki sıcaklıkların ortalaması kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünde J-tip termokopul kullanılmıştır. Tüm termal iletkenlikteki belirsizlik en küçük kareler yöntemiyle :

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.4)$$

R ölçülmesi gereken büyüklük, bu büyüklüğü etkileyen bağımsız değişken ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  şeklindedir. Her bir bağımsız değişkenin hata oranı,  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  olarak ifade edilir.

R büyüklüğünün toplam belirsizliği ise  $W_R$  olarak ifade edilmektedir. Deneysel verilerin ölçme belirsizlikleri deneylerin 3 defa tekrarlanmasıyla ortalama değerleri alınmış olup her bir sıcaklık için standart sapmanın % 2- 2,42 arasında olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre sistemin deneysel ölçme belirsizliğinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu kabul edilmiştir.

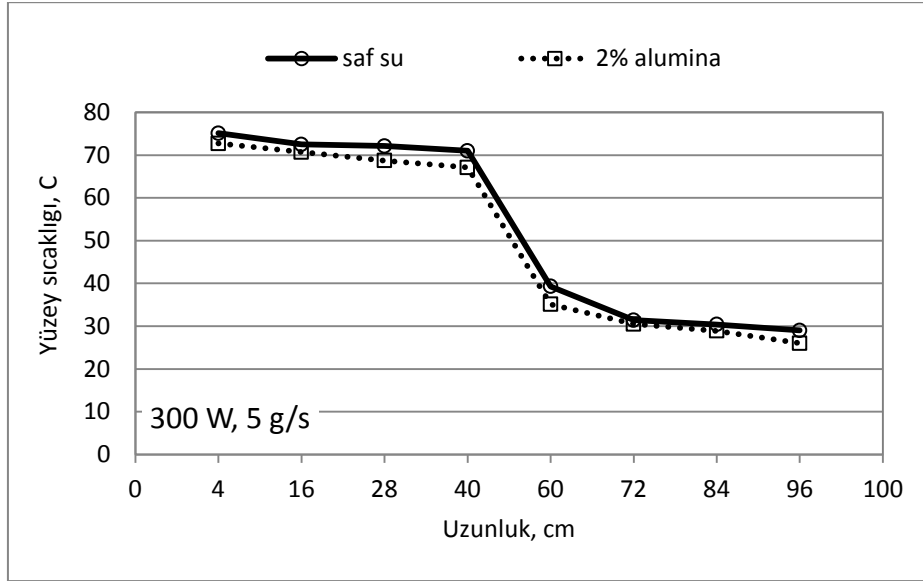
Çizelge 5.3. Deneyler Sırasında Kullanılan Ekipman Özellikleri

Ünite	Teknik Özellikler	Belirsizlik
Sıcaklık Ölçüm Cihazı	J-Tipi, Ölçüm Aralığı 0°C–350 °C DOĞRULUK: $\pm 0,4\%$ veya 0,5°C	0,588 °C
Akış Ölçer	Değişken Alan Tipi İçin Soğuk Su, Aralık 4'ten 50 gm s <sup>-1</sup> Sıcak Su, Aralık 1'ten 10 l dk <sup>-1</sup> DOĞRULUK: $\pm 5\%$ Tam Ölçekli Okuma	5,36 % 5,13 %

## 6. DENEY SONUÇLARI

Isı borusunu 90° lik açıyla işleme tabii tutduğumuzda su ve alümina akışkanlarında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

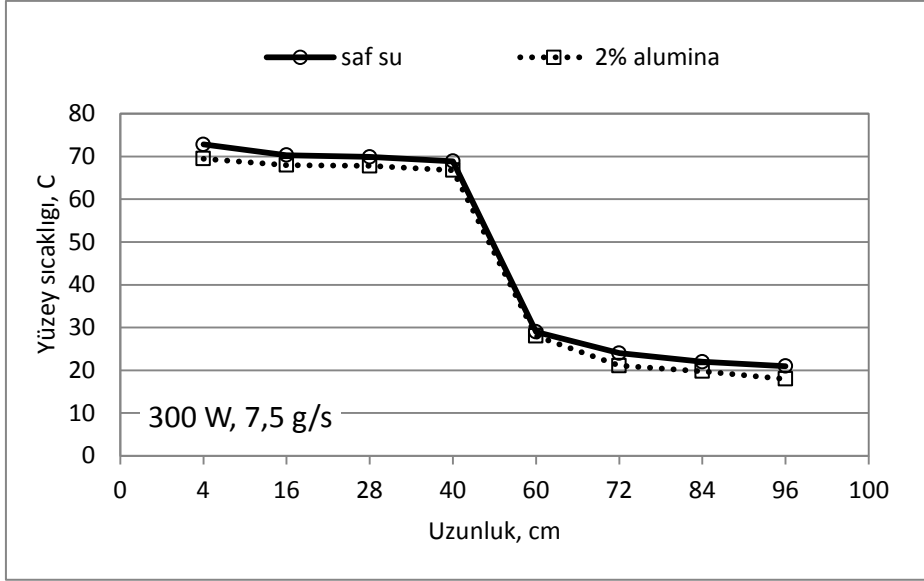
300 Watt ve  $\dot{m}_1=0,005\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. 300 Watt ve  $\dot{m}_1=0,005\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi 300 Watt ve  $\dot{m}_1= 0, 005 \text{ kg/s}$  debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 76 ° C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 30° C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı wattta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 74 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 27 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

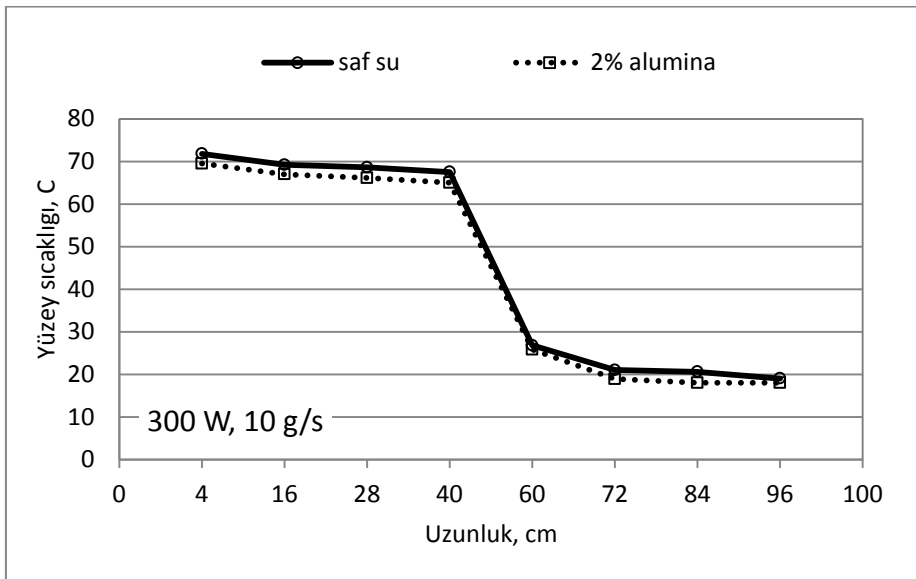
300 Watt ve  $\dot{m}_1=0,0075\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. 300 Watt ve  $m_2=0,0075$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.2'den de görüldüğü gibi 300 Watt ve  $m_2=0.0075$  kg/s debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 73 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 23 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı Watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 70 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 18 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

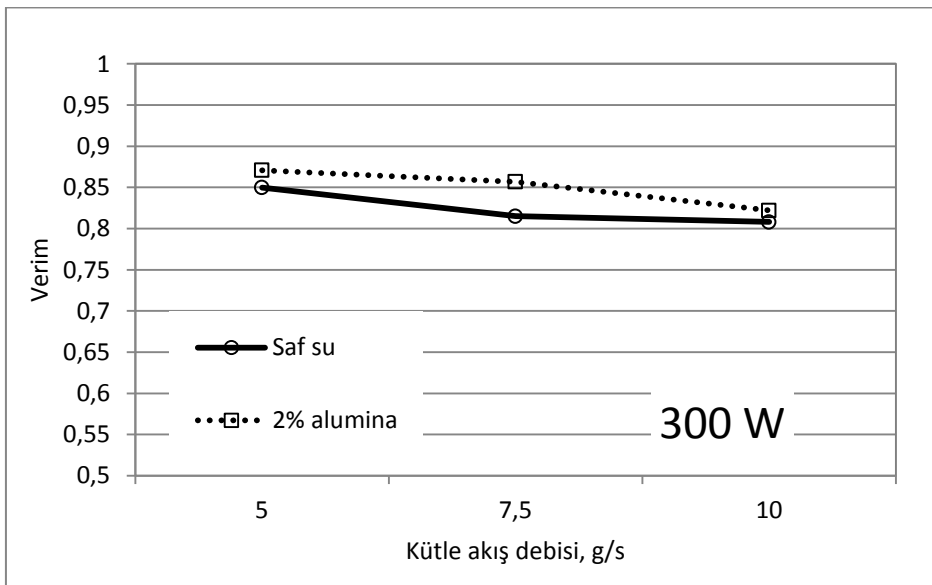
300 Watt ve  $m_3=0,01$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3. 300 Watt ve  $m_3=0,01$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.3'den de görüldüğü gibi 300 Watt ve  $m_3=0,01$  kg/s debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 73 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 23 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 70 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 18 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

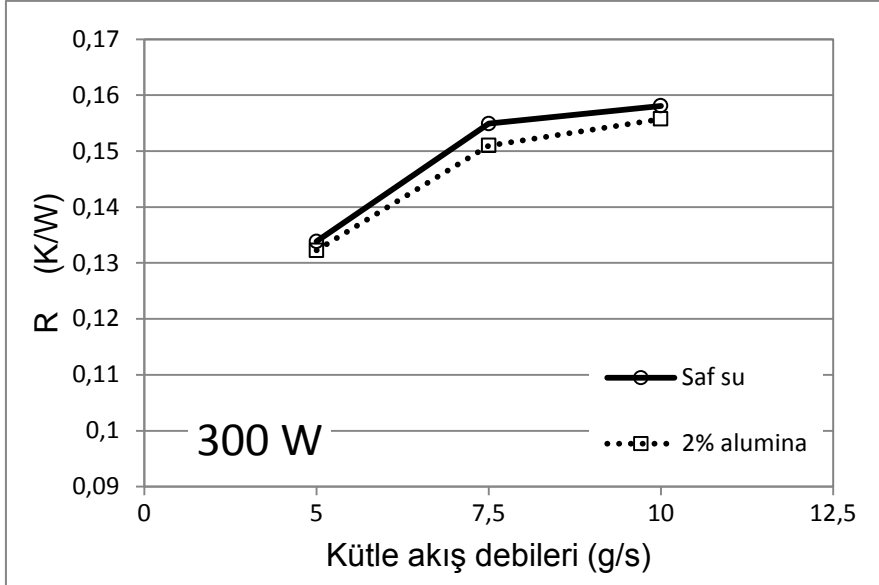
300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4. 300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları

300 Watt'ta üç debide yapılan deney sonuçlarına göre % 2 'lik alümina akışkanı ortalama verimi % 86 civarında iken bu oran saf suda % 82'ler civarında seyretmektedir.

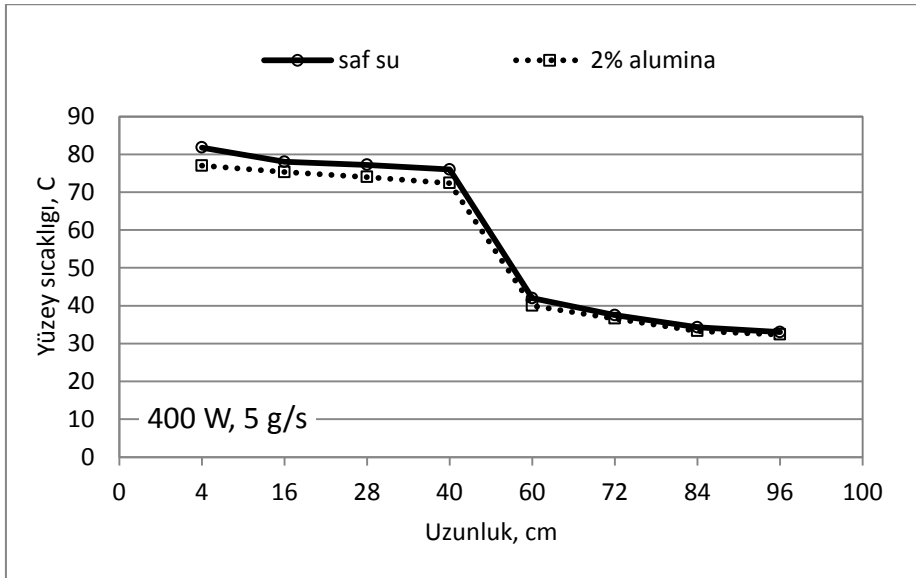
300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç R (K/W) sonuçları Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5. 300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnci R (K/W) sonuçları

300 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre deneyler sonucunda saf suyun direnci ortalama % 16 civarında iken bu oran % 2 'lik alümina da ise % 15,4 civarındadır. Buradan da görüleceği gibi % 2 'lik alüminanın direnci safsuya göre düşük olmaktadır.

400 Watt ve  $\dot{m}_1=0,005\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.6'da verilmiştir.

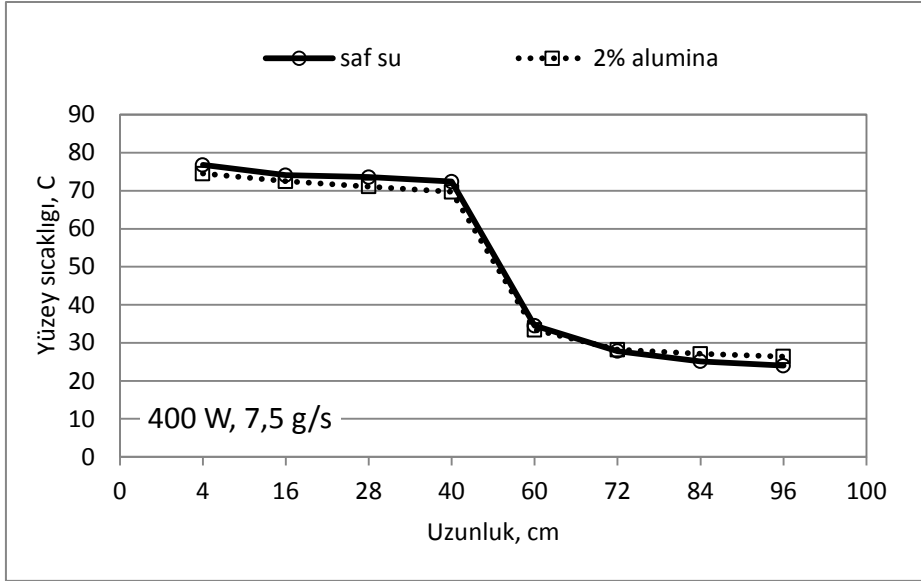


Şekil 6.6. 400 Watt ve  $\dot{m}_1 = 0,005\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.6'dan da görüldüğü gibi 400 Watt ve  $\dot{m}_1 = 0,005\text{kg/s}$  debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 82 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 33° C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı Watta alümina için yapılan

deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 77 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 32 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

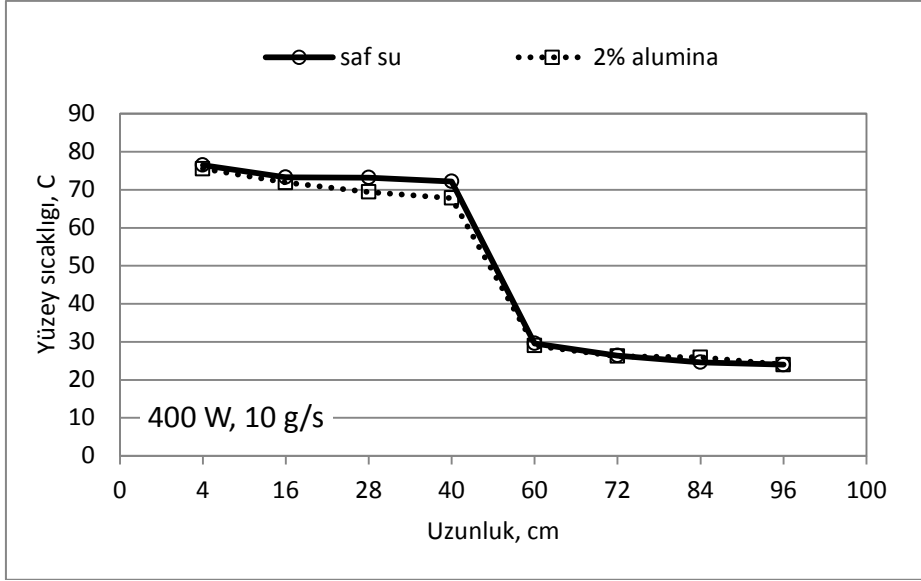
400 Watt ve  $\dot{m}_2=0,0075\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. 400 Watt ve  $\dot{m}_2=0,0075\text{kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.7'den de görüldüğü gibi 400 Watt ve  $\dot{m}_2 = 0,0075 \text{ kg/s}$  debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 77 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 25 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 75 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 26 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

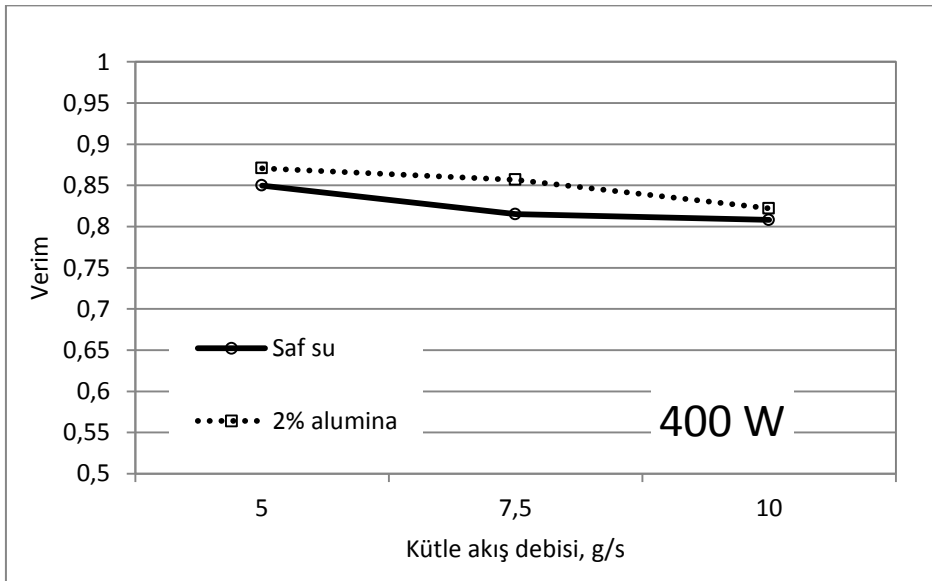
400 Watt ve  $\dot{m}_3=0,01 \text{ kg/s}$ , debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.8. 400 Watt ve  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.8'den de görüldüğü gibi 400 Watt ve  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 78 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 23 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 76 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 23 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

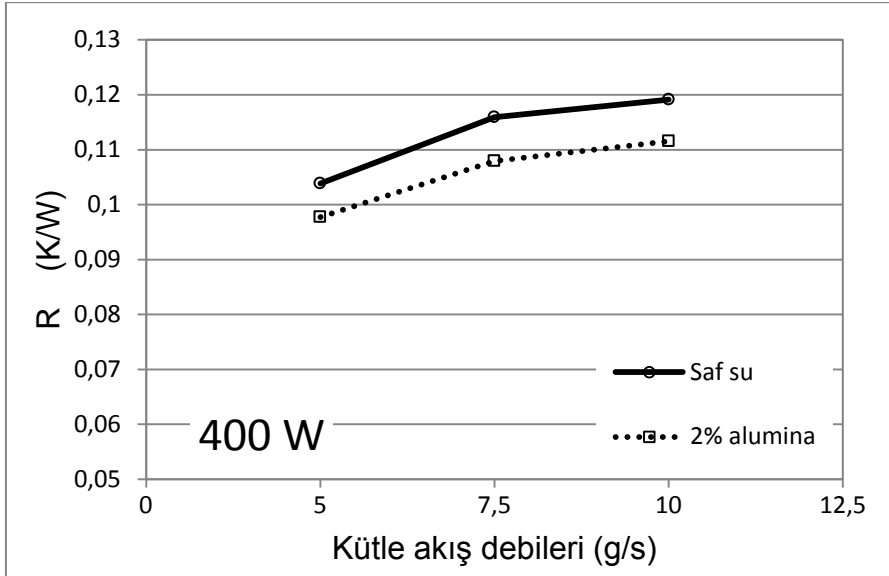
400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.9. 400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları

400 Watt'ta üç debide yapılan deney sonuçlarına göre % 2 'lik alümina akışkanı ortalama verimi % 86 civarında iken bu oran saf suda % 82'ler civarında seyretmektedir.

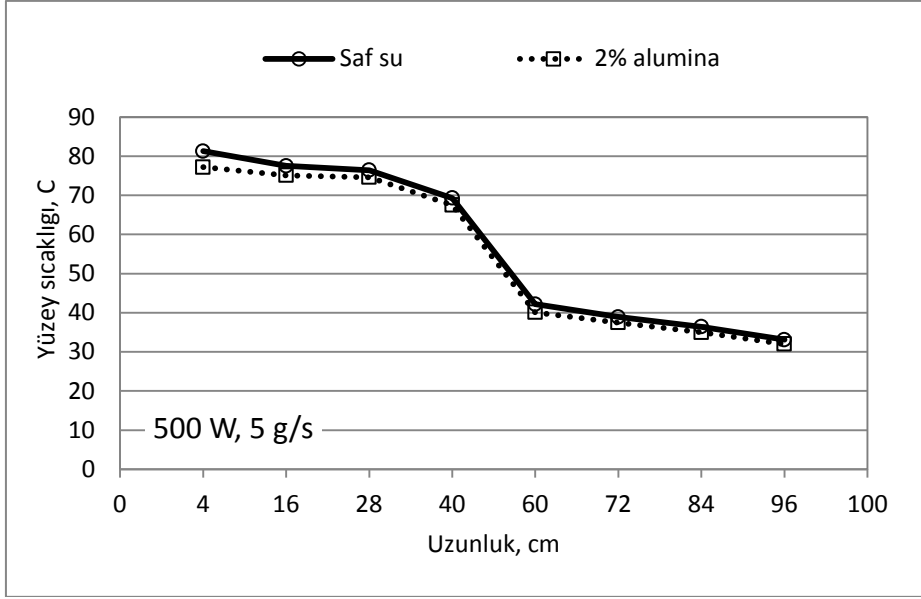
400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç R (K/W) sonuçları Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. 400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç R (K/W) sonuçları

400 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre deneyler sonucunda saf suyun direnci ortalama % 12 civarında iken bu oran % 2 'lik alümina da ise % 11 civarındadır. Buradan da görüleceği gibi % 2 'lik alüminanın direnci saf suya göre düşük olmaktadır.

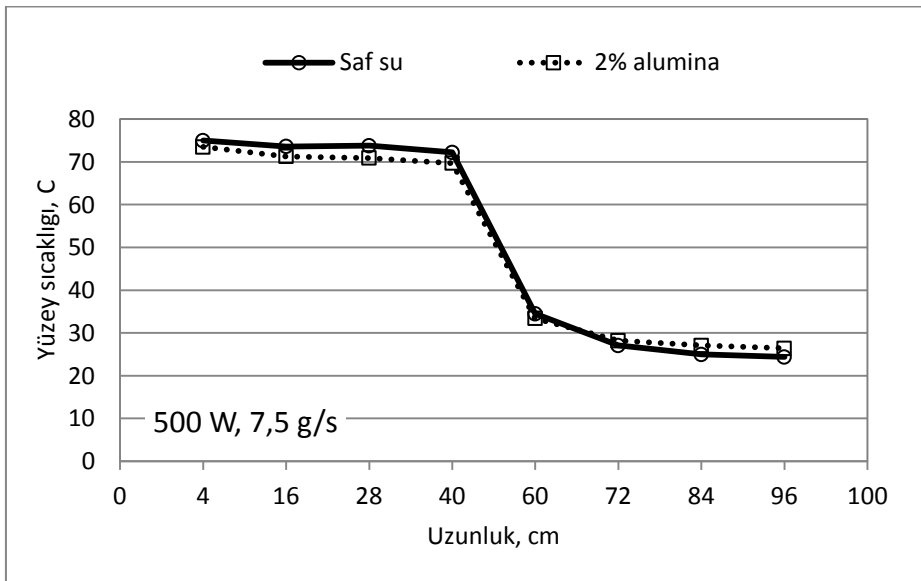
500 Watt ve  $\dot{m}_1 = 0,005$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. 500 Watt ve  $\dot{m}_1 = 0,005$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.11'de görüldüğü gibi 500 Watt ve  $\dot{m}_1 = 0,005$  kg/s debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 82 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 32 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 78 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 31 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

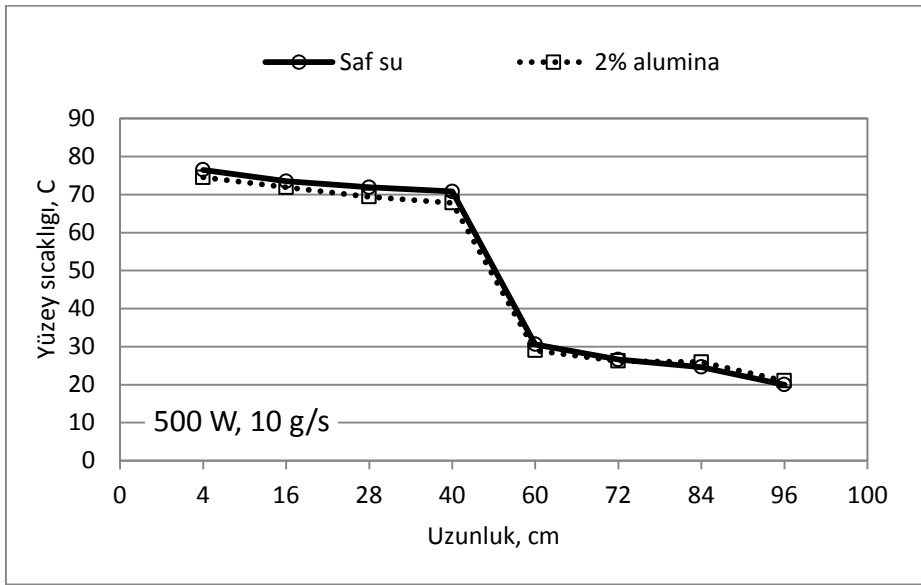
500 Watt ve  $\dot{m}_2 = 0,0075$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12. 500 Watt ve  $\dot{m}_2 = 0,0075$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.12'den de görüldüğü gibi 500 Watt ve  $\dot{m}_2 = 0,0075$  kg/s debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 76 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 26 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 74 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 27 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

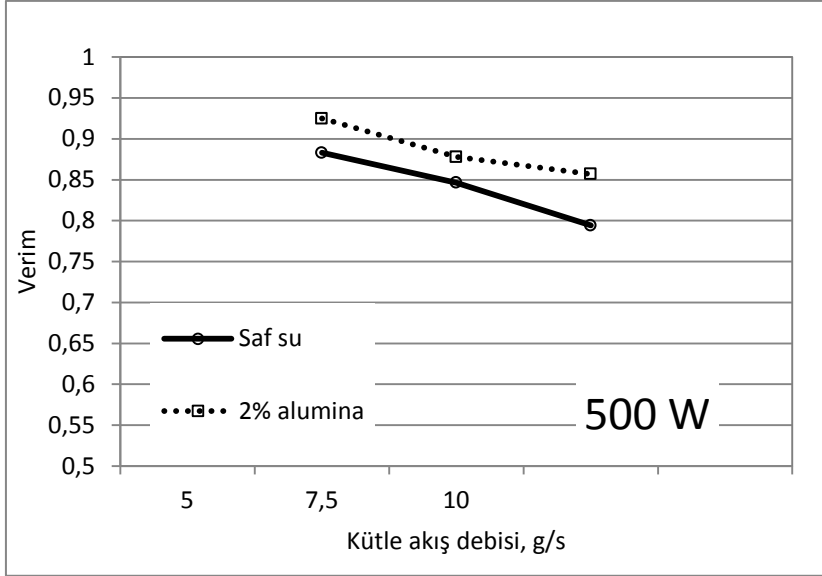
500 Watt ve  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13. 500 Watt ve  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s, debide yapılan deney sonuçları

Şekil 6.13'den de görüldüğü gibi 500 Watt ve  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide evaporatördeki su sıcaklığı yaklaşık 78 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser sıcaklığı yaklaşık 20 °C civarlarındadır. Ayrıca yine aynı debi aynı watta alümina için yapılan deney sonucunda ise evaporatör sıcaklığı yaklaşık 75 °C iken kondenserden suya atılan ısıdan dolayı kondenser yüzey sıcaklığı 20 °C civarındadır. Buradan da görüleceği gibi alüminanın kondensere ısı atma miktarı suya göre daha fazladır.

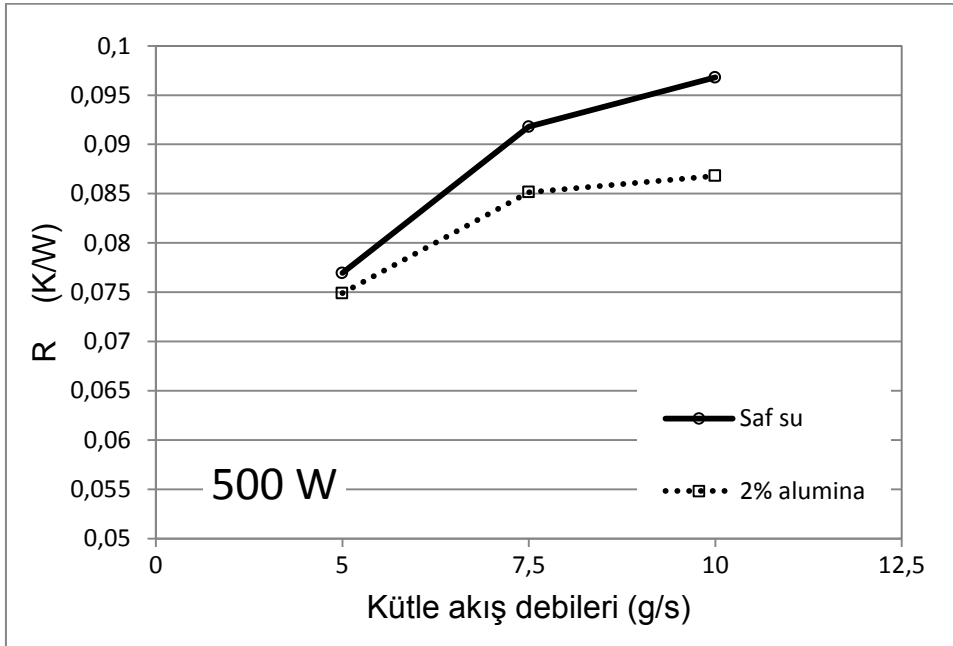
500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları Şekil 6.14'de verilmiştir.



Şekil 6.14. 500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre verim sonuçları

500 Watt'ta üç debide yapılan deney sonuçlarına göre % 2 'lik alümina akışkanı ortalama verimi % 92 civarında iken bu oran saf suda % 88'ler civarında seyretmektedir.

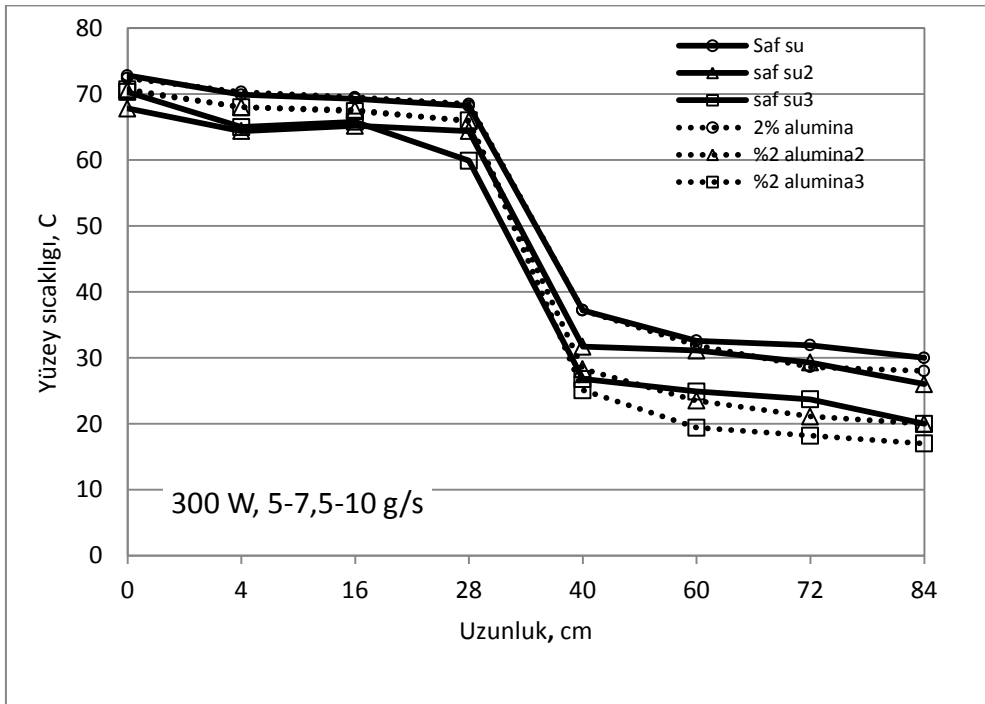
500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç R (K/W) sonuçları Şekil 6.15'te verilmiştir.



Şekil 6.15. 500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre ısı direnç R (K/W) sonuçları

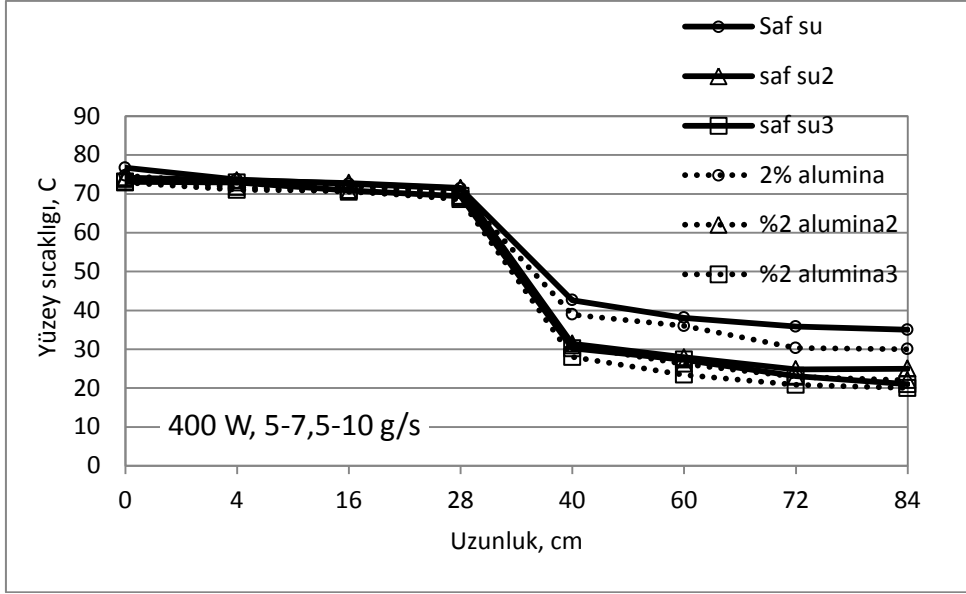
500 Watt'ta yapılan kütle akış debisine göre deneyler sonucunda saf suyun direnci ortalama % 0,095 civarında iken bu oran % 2 'lik alümina da ise % 0,085 civarındadır. Buradan da görüleceği gibi % 10 'lik alüminanın direnci saf suya göre düşük olmaktadır.

45° açılı,  $\dot{m}_1 = 0,005$  kg/s,  $\dot{m}_2 = 0,0075$  kg/s,  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide ve 300Watt için yüzey sıcaklığı değerleri 6.16'da verilmiştir.



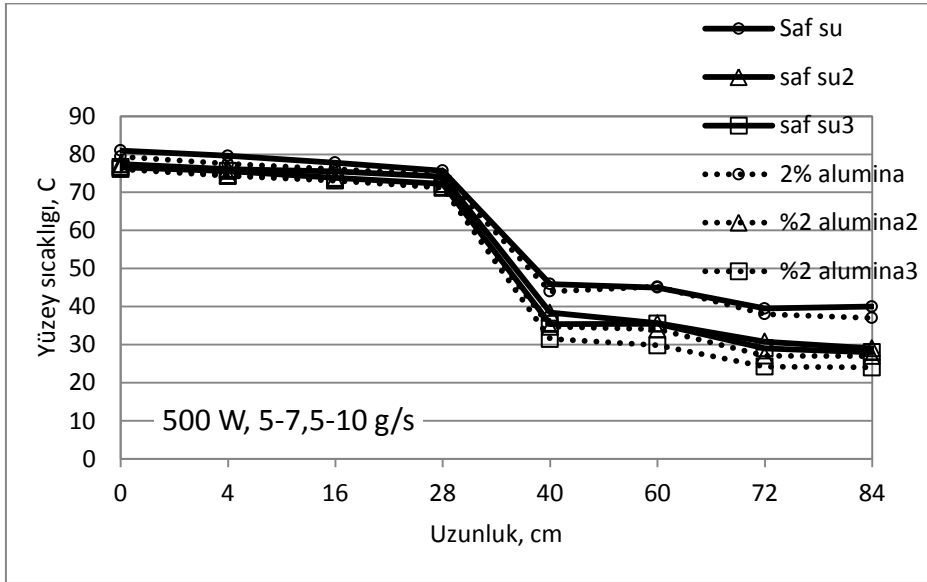
Şekil 6.16. 45° açılı,  $\dot{m}_1 = 0,005$  kg/s,  $\dot{m}_2 = 0,0075$  kg/s,  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide ve 300 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri

45° açılı,  $\dot{m}_1 = 0,005$  kg/s,  $\dot{m}_2 = 0,0075$  kg/s,  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide ve 400 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri Şekil 6.17'de verilmiştir.



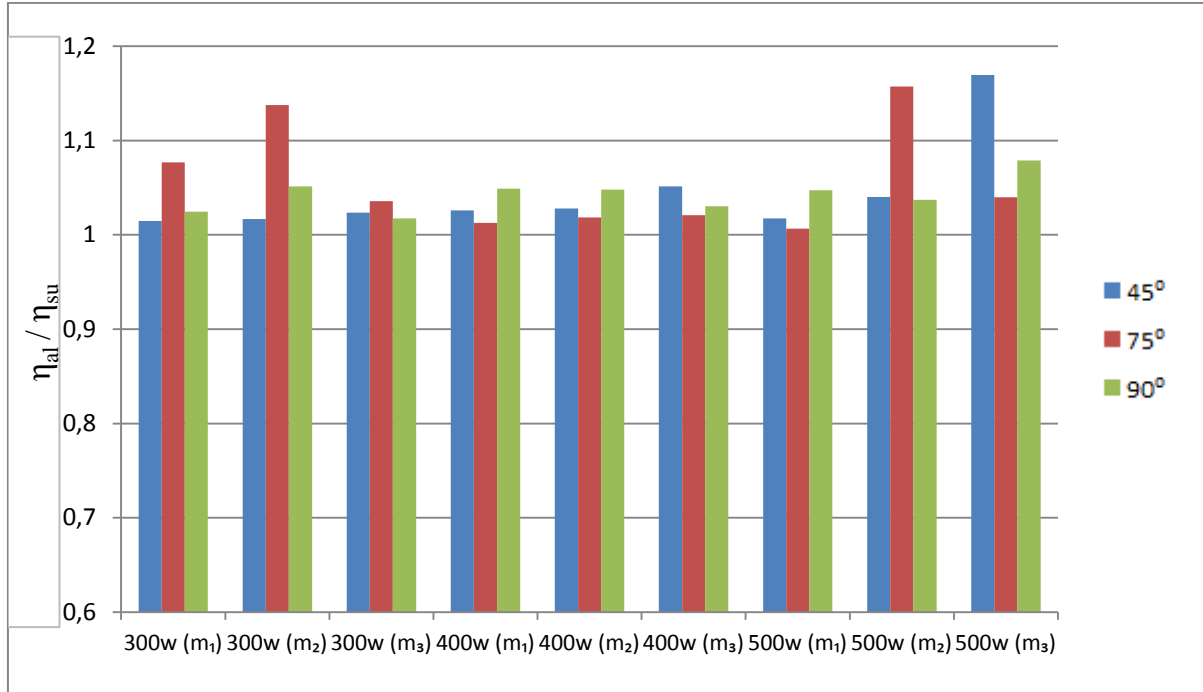
Şekil 6.17. 45° açı,  $\dot{m}_1= 0,005$  kg/s,  $\dot{m}_2= 0,0075$  kg/s,  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide ve 400 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri

45° açı,  $\dot{m}_1= 0,005$  kg/s,  $\dot{m}_2= 0,0075$  kg/s,  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide ve 500 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri Şekil 6.18’de verilmiştir.



Şekil 6.18. 45° açı ,  $\dot{m}_1= 0,005$  kg/s,  $\dot{m}_2= 0,0075$  kg/s,  $\dot{m}_3 = 0,01$  kg/s debide ve 500 Watt için yüzey sıcaklığı değerleri

45°-75°-90° açılar için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.19’da gösterilmiştir.



Şekil 6.19. 45°-75°-90° açılar için iyileştirme oranlarının ( $\eta_{al} / \eta_{su}$ ) karşılaştırması

Grafikten de görüldüğü üzere, 90°'nin sonuçlarının daha kararlı bir durum gösterirken 45° ve 75° açılarda yapılan deneylerde kararlı durumu 90° açığa göre sağlamadığı görülmüştür.



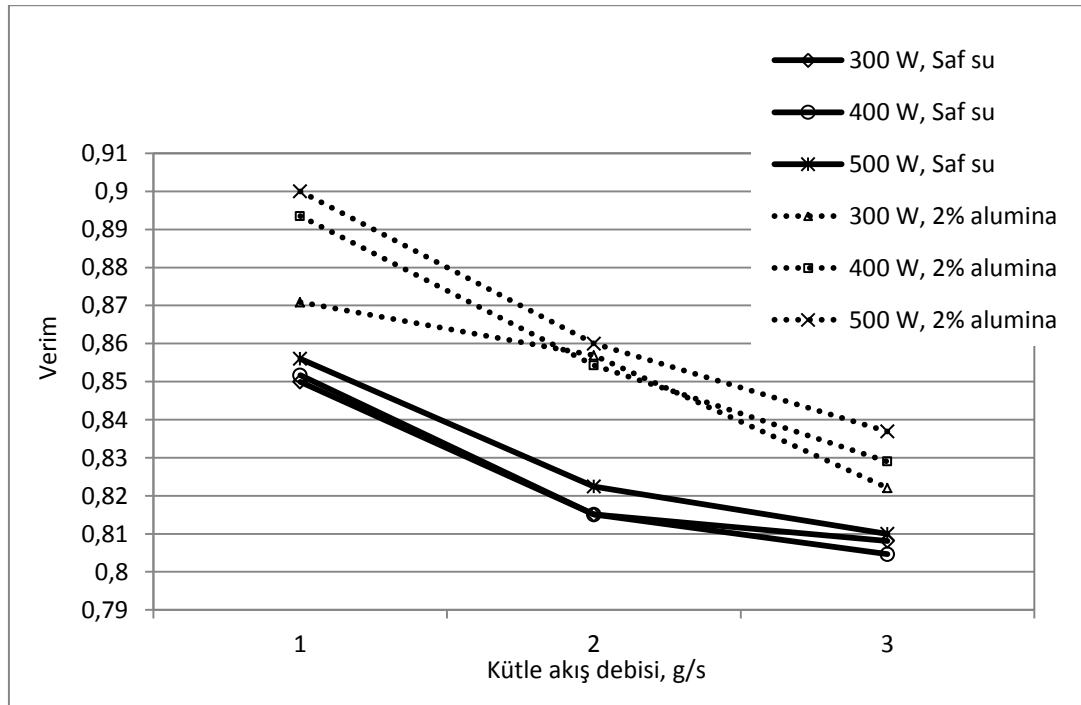
## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 7.1. Sonuçlar

Hareketli parçalarının bulunmaması büyük miktarlardaki ısıyı aktarabilmesi gibi birçok özelliğinden dolayı ısı boruları çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Isı boruları üzerinde yapılan çalışmaları; ısı borularının geometrik şekli üzerinde yapılan çalışmalar ve ısı borularının verimliliğini etkileyen değişkenler üzerinde yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta toplayabiliriz.

Bu çalışmada ısı borularının termal performanslarını belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneylerde %2 derişimdeki alümina nanoakışkanı ile saf su karşılaştırılmıştır. Ayrıca ısı borusuna farklı eğimler verilmiş, farklı debiler ve farklı ısı yükler kullanılmıştır.

300 Watt , 400 Watt , 500 Watt ısı 0,005 kg/ s ,0,0075 kg/ s ve 0,01 kg/ s debide yapılan deney sonuçlarından da anlaşılacağı gibi % 2'lik nano akışkan olan alümina sıvısı saf suya göre ısı borusunda daha verimli çalıştığı Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Kütle akış debilerine göre verim değerleri

Şekil 7.1'den de görüleceği gibi saf suyun verimi ısı borusunda ortalama % 83 iken % 2'lik nano akışkan bu oran ortalama olarak % 88 civarındadır. Buradan da anlaşılacağı gibi % 2'lik nano akışkan olan alümina sıvısı saf suya göre yaklaşık % 5 civarında daha verimli çalıştığı sonucuna varılmıştır.

## 7.2. Tartışma

Bu çalışmada amaç; ısı borusunun ısı direncini düşürmek, düşük sıcaklık farklarında ısı iletim miktarını arttırmak ve ısı borusu performansını arttırmaktır. Nanoakışkan teknolojisi yeni bir olgu olduğundan dolayı termal özellikleri tam olarak bilinmemektedir. Ancak bu teknolojinin gelişmesiyle ısı transferi konusunda önemli ilerlemeler sağlanacağını düşünülmektedir.

- Nano akışkan teknolojisinin gelişimiyle ülkemizdeki orta ve düşük yoğunlukta güneş radyasyonu alan bölgelerde güneş enerjisinden daha fazla faydalanma imkânı sağlanarak, evsel ısınma ve sıcak su üretimi için enerji maliyetleri azaltılacaktır.
- Elektronik aletleri gün geçtikçe boyutları küçülmekte buna karşın performansları katlanarak artmaktadır. Bu cihazların soğutulması da önem arz etmektedir. Isı borulu sistemler cihazı etkin bir şekilde soğutabilmektedir. Ancak cihaz boyutlarının küçülmesi ısı borusu boyutları da sınırlandırmakta ve etkin soğutma yapamayabilir.
- Isı borusuna eklenecek mikro boyuttaki metal partiküller ısı borusunda tıkanmalara yol açabileceğinden dolayı nano boyuttaki metal partiküller kullanarak hem ısı borusu sorunsuz bir şekilde çalışacak hem de yeterli soğutma yapılacaktır.
- Ayrıca, sanayi vb. tesislerde atık ısıdan faydalanmak amacıyla kullanılan ısıborularının performansı artırılarak, enerji maliyetlerinin azaltılması yanında, karbon esaslı fosil kayıtların sebep olduğu olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Hizal, G., Aras, M., Sürücü B., Akış, S. ve Buğatekin, A. (2011). *Isı Borusu İle CPU Soğutulması*. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Meslek Seçmeli II Dönem Projesi.
2. Seven, M. (2007). *Isı Borusunun Yalıtılmış Bölgesindeki Akının Analitik Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 1-13.
3. Genceli, O.F. (1976). Isı Borusu, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Makine Fakültesi Isı Tekniği ve Ekonomisi Araştırma Enstitüsü Bülteni*, İstanbul, 1-29.
4. Humenic, G., Humenic, A., Morjan, I. and Dumitrache, F. (2011). Experimental Study Of The Thermal Performance Of Thermosyphon Heat Pipe Using Iron Oxide Nanoparticles. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 54(1), 656-661.
5. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş. ve Kaya M. (2010). *Nanokışkanların Isı Transferi Ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi*. Proje No:105M292, Tübitak.
6. Sureshkumar, R., Mohideen, S., T. and Nethaji, N. (2013). Renewable And Sustainable Energy Reviews. *Heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: A review*, 20, 397-410.
7. Choi, J.A. (1995). Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, in: D.A. Siginer, H.P. Wang (Eds.). *Developments and Applications of Non-Newtonian Flows*, ASME, 231(2), 99-105.
8. Zhen, H.L. and Yuan, Y.L. (2012). A New Frontier of Nanofluid Research Application of Nanofluids in Heat Pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 6786-6797.
9. Chien, H.T., Tsai, C.Y., Chen, P.H. and Chen, P.Y. (2003, 28-30 October). Improvement on thermal performance of a Disk-Shaped Miniature Heat Pipe with Nanofluid. *Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Packaging Technology*, IEEE, Shanghai.
10. Wei, W.C., Tsai, S.H., Yang, S.Y. and Kang, S.W. (2005). Effect of Nano-fluid Concentration on Heat Pipe Thermal Performance. *IASME Transactions*, 2, 1432-1439.
11. Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H. and Yang, S.Y., (2006). Experimental investigation of Silver Nano-Fluid on Heat Pipe Thermal Performance. *Appl. Thermal Eng.*, 26(17), 2377-2382.
12. Liu, Z.H. and Lu, L. (2009). Thermal Performance of Axially Microgrooved Heat Pipe Using Carbon Nanotube Suspensions. *J. Thermophys Heat Transfer*, 23(1), 170-175.
13. Yang, X.F., Liu, Z.H. and Zhao, J. (2008). Heat Transfer Performance of a Horizontal

- Microgrooved Heat Pipe Using CuO Nanofluid. *J. Micromech Microeng.*, 18(3), 035038.
14. Tsai, C.Y., Chien, H.T., Ding, P.P., Chan, B., Luh, T.Y. and Chen, P.H. (2004). Effect of Structural Character of Gold Nanoparticles in Nanofluid on Heat Pipe Thermal Performance. *Mater. Lett.*, 58(9), 1461-1465.
  15. Liu, Z.H. and Shu, T. (2008). Application of Nanofluids in Thermal Performance Enhancement of Horizontal Screen Heat Pipe. *J. Aerospace Power*, 23, 1623-1627.
  16. Chen, Y.T., Wei, W.C., Kang, S.W. and Yu, C.S. (2008, 16-20 March ). Effect of Nanofluids on Flat Heat Pipe Thermal Performance. *Proceedings of the 24th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*, IEEE, Dallas.
  17. Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H. and Huang, C.C. (2009). Experimental Investigation of Nanofluids on Sintered Heat Pipe Thermal Performance. *Appl. Thermal Eng.*, 29, 973-979.
  18. Shang, F.M., Liu, D.Y., Xian, H.Z., Yang, Y.P. and Du, X.Z. (2007). Flow and Heat Transfer Characteristics of Different Forms of Nanometer Particles in Oscillating Heat Pipe. *J. Chem. Indust.*, 58, 2200-2204.
  19. Qu, J., Wu, H.Y. and Cheng, P. (2010). Thermal Performance of an Oscillating Heat Pipe with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Water Nanofluids. *Int Common Heat Mass Transfer*, 37(2), 111-115.
  20. Xue, H., Fan, J., Hu, Y., Hong, R. and Cen, K. (2006). The Interface Effect of Carbon Nanotube Suspension on The Thermal Performance of a Two-Phase Closed Thermosyphon. *J. Appl. Phys.*, 100(10), 104909.
  21. Liu, Z.H., Yang, X.F. and Guo, G.L. (2007). Effect of Nanoparticles in Nanofluid on Thermal Performance in a Miniature Thermosyphon. *J. Appl. Phys.*, 102(1), 013526.
  22. Liu, Z.H., Yang, X.F., Wang, G.S. and Guo, G.L. (2010). Influence of Carbon Nanotube Suspension on the Thermal Performance of a Miniature Thermosyphon. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 53, 1914-1920.
  23. Khandekar, S., Joshi, Y. and Mehta, B. (2008). Thermal Performance of Closed Two-Phase Thermosyphon Using Nanofluids. *Int. J. Thermal Sci.*, 47, 659-667.
  24. Naphon, P., Assadamongkol, P. and Borirak, T. (2008). Experimental Investigation of Titanium Nanofluids on the Heat Pipe Thermal Efficiency. *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 35, 1316-1319.
  25. Noie, S.H., Heris, S.Z., Kahani, M. and Nowee, S.M. (2009). Heat Transfer Enhancement Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Water Nanofluid in a Two-Phase Closed Thermosyphon. *Int. J. Heat Fluid Flow*, 30(4), 700-709.
  26. Çıkın, A. (1988). *Isı Boruları*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
  27. Alt, N. (2010). *Tek Kanallı Isı Borusu İle Çok Kanallı Isı Borusu Verimlerinin*

- Karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
28. Yüksel, T. (1998). *Soğutucu Akışkanların Kullanıldığı Isı Borulu Güneş Kolektörünün Kullanabilirliğinin Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
  29. Beşe, U. (1988). *Baca Gazları İçin Isı Borusu Tasarımı Ve Optimizasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
  30. Cotter, T.P. (1965). *Theory of Heat Pipes*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, The University of California Scientific Laboratory, Los Alamos.
  31. Chisholm, D. (1974). The anti-gravity thermosyphon. Symposium on Multiphase Flow Systems, Mech. E./I. Chem. E, *Symposium Series* 38.
  32. Çıkmın, A. (1988). *Isı Boruları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
  33. Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K. and Hishinuma, N. (1993). "Alteration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-Fine Particles", s. 227-233.
  34. Choi, S.U.S. (1995). Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles", "Developments and Applications of Non-Newtonian Flows", D.A.Siginer, H.P.Wang, *The American Society of Mechanical Engineers, New York*, 231/ MD-.66, pp. 99-105.
  35. Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S., Yu, W. and Thompson, L.J. (2001). "Anomalously Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles," *Appl. Phys. Lett.*, 78(6), pp. 718-720.
  36. Liveri, V. T. (2006). "Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems", *Springer Science+Business Media, Inc.*, New York.
  37. internet: [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150\\_3138.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150_3138.pdf) adresinden 25 Haziran 2014'de alınmıştır.
  38. Xie, H., Yu, H. and Chen, L. (2011). *Discussion on the Thermal Conductivity Enhancement of Nanofluids*, *Nanoscale Research Letters*.
  39. Mayoral, A., Barron, H., Estrada, R., Vazquez, A. and Jose, M. (2010). *Nanoparticle Stability from the Nano to the Meso Interval*, *Nanoscale* 2.
  40. Luther, W. (2006). *International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology*, VDI Technologiezentrum for Riase National Laboratory, Düsseldorf.
  41. İnternet: Zaki, A. "Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Nanomaterials". URL: <http://www.webcitation.org/6SVPcWuYN> Son Erişim Tarihi:09.12.2014.

42. Argonne National Laboratory. (2007). *Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications*, page 9.
43. Xiaohao W., Haitao Z., Tiantian K. and Liqiu W. (2009). Synthesis and thermal conductivity of Cu<sub>2</sub>O nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Printing.
44. Jinlin, L., Jingguo, D., Xuxu, W., Zhengxin, D., Zizhong, Z., Ling, W., Zhaohui, L. and Xianzhi, F. (2009). Photochemical synthesis of submicron and nano-scale Cu<sub>2</sub>O particles, *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 791–799.
45. Tok, A.I.Y., Boey, F.Y.C. and Zhao, X.L. (2006). Novel synthesis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-particles by flame spray pyrolysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 178(1), 270-273.
46. Gonçalves, J. S. V., Santos, S. H. and Leal, L. S. Santos Junior<sup>1</sup>, M. R. M. C. Santos<sup>1</sup>, E. Longo and Matos, J. M. E. (2009). *Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO<sub>2</sub> nanoparticles*, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro Brazil.
47. Wang, X. and Mujumdar A.S. (2000). “A Review on Nanofluids-PART 1: Theoretical and Numerical Investigations”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, C.25, S. 04, s. 613-630.
48. Shanthi, R., Anandan, S. and Ramalingam V. (2012). “Heat Transfer Enhancement Using Nanofluids An overview”, *Thermal Science*, C. 16, S. 2, s. 423-444.
49. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö. ve Yılmaz, M. (2006). Nano Akışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi, *Mühendis ve Makina*.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı : BALCIOĞLU, Buse  
Uyruđu : T.C.  
Doğumtarhiveyeri : 15.03.1989, Ankara  
Medenihali : Bekâr  
Telefon : 0(312)490 42 53  
e-mail : busebalcioglu@gmail.com.tr



Eđitim-Derece	Eđitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknoloji Fak./Enerji Sistemleri Müh.	2014
Lisans	Başkent Üniversitesi/Makine Müh.	2011
Lise	Ted Ankara Koleji	2006

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Yüzme, Piyano, Dans



*GAZİ GELECEKTİR..*