



**TERMOSİFON TİP ISI BORUSUNDA UÇUCU KÜL/SU
NANOAKIŞKANINI KULLANARAK ISI TRANSFER PERFORMANSININ
ARTIRILMASI**

Adil Fatih IRMAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2019

Adil Fatih IRMAK tarafından hazırlanan “TERMOSİFON TİP ISI BORUSUNDA UÇUCU KÜL/SU NANOAKIŞKANINI KULLANARAK ISI TRANSFER PERFORMANSININ ARTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ataollah KHANLARI

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Türk Hava Kurumu Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/08/2019

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

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.

Adil Fatih IRMAK

29/08/2019

TERMOSİFON TİP ISI BORUSUNDA UÇUCU KÜL/SU NANOAKIŞKANINI
KULLANARAK ISI TRANSFER PERFORMANSININ ARTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Adil Fatih IRMAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Nanoakışkanlar; içinde nano partikül denen nano boyutta tanecik içeren akışkanlardır. Bu akışkanlar; nano partiküllerin temel akışkanlara süspanse edilmesiyle oluşmaktadır. Bu çalışma deneysel olarak, çeşitli oranlarda metal oksitlerden oluşan uçucu külden elde edilen bir nanoakışkanın, termosifon tip ısı borusunun performansını artırma üzerindeki etkisini göstermiştir. Çalışmada nanoakışkan, %0,2 Triton X-100 tipi yüzey aktifleştirici ile ağırlıkça %2 ve %4 derişimde nano boyutta uçucu külün suyla ultrasonik banyo metoduyla süspanse edilmesiyle elde edilmiştir. Boyu 1 m, dış çapı 15 mm ve iç çapı 13 mm olan düz bir bakır boru, termosifon tip ısı borusu olarak kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı ısı gücü (200W, 300W ve 400W) ve sistemi soğutmak için kondenser bölgesinde üç farklı debide (5, 7,5 ve 10 g/s) su kullanılmıştır. 5 g/s debilik soğutma suyu ve 200 W ısı yükü altındaki çalışma akışkanı olarak saf su yerine ağırlıkça %4'lük uçucu kül kullanıldığında termosifon tip ısı borusu verimliliğinde %26,39'luk bir artış meydana gelmiştir.

Bilim Kodu : 91412
Anahtar Kelimeler : Uçucu kül, termosifon tip ısı borusu, nanoakışkan
Sayfa Adedi : 71
Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

HEAT TRANSFER PERFORMANCE ENHANCEMENT BY USING FLY
ASH/WATER NANOFLUID IN THE THERMOSYPHON TYPE HEAT PIPE

(M. Sc. Thesis)

Adil Fatih IRMAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Nanofluids are fluids containing nanometer-sized particles, called nanoparticles. These fluids are obtained from the suspension of nanoparticles in base fluids. This study experimentally indicated the effect of using a nanofluid obtained from fly ash comprised of various types of metal oxides in varying ratios on improving the performance of thermosyphon type heat pipe. In the study, nanofluids are produced by suspending 0,2% Triton X-100 type surfactant and nano-sized fly ash at a concentration of 2% (wt) and 4% (wt) in ultrasonic bath method. A straight copper tube with a length of 1m, outer diameter of 15 mm, inner diameter of 13 mm was used as the thermosyphon type heat pipe. Three different heating power levels (200, 300, and 400 W) were used in the experiments with three different flow rates of cooling water (5, 7,5, and 10 g/s) used in the condenser for cooling the system. When 4% (wt) fly ash containing nanofluid was used to replace deionized water at a heat load of 200W and with a cooling water flow rate of 5 g/s, an increase of 26,39% was achieved in the efficiency of the thermosyphon type heat pipe.

Science Code : 91412
Key Words : Fly ash, thermosyphon type heat pipe, nanofluid
Page Number : 71
Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyerek her şarttaengin bilgi birikimi ve deneyimi ile bana yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Tayfun MENLİK’e sonsuz saygı ve minnetlerimi sunarım. Ayrıca hayatım boyunca beni teşvik ve terbiye eden fedakâr anneme ve aileme, tez çalışmalarım süresince bana her türlü desteği vererek yanımda olan saygıdeğer eşim Yasemin IRMAK'a sabır ve özverileri için teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, hayat tecrübesi ile bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan değerli babamı büyük bir hasretle anıyor ve bu yüksek lisans tez çalışmasını onun değerli hatırasına atfediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. ISI BORUSU	11
3.1. Isı Borusunun Uygulama Alanları	13
3.2. Isı Borusunun Çalışma Prensibi	13
3.3. Isı Borularının İmalat Tekniği	14
3.4. Yerçekimi Destekli Isı Borusu	14
3.4.1. Isı borularında kullanılan fitiller	16
3.5. Termosifon Tip Isı Borusu	17
4. ÇALIŞMA AKIŞKANI	21
4.1. Kullanılacak Akışkan Miktarı	21
5. NANOAKIŞKANLAR	23
5.1. Nanoakışkanların Özellikleri	24
5.2. Nanoakışkanların Uygulama Alanları	25
5.3. Nanoakışkanlarda Termal Performans	25

	Sayfa
5.4. Nanoakışkan Hazırlanması	26
5.4.1. İki adım metodu	27
5.4.2. Tek adım metodu	28
5.5. Nanoakışkan Malzemeleri	28
5.5.1. Partikül büyüklüğü	29
5.5.2. Patikül şekli	30
5.6. Nanoakışkan Özellikleri	31
6. MATERYAL VE METOT	33
6.1. Deneyler	33
6.1.1. Nanoakışkan hazırlanışı	33
6.1.2. Deney düzeneği	38
6.2. Belirsizlik Analizi	42
6.3. Nanoakışkanın Fiziksel Özellikleri	43
6.4. Teorik Analiz	44
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
7.1. Sonuçlar	63
7.2. Öneriler	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çalışma akışkanının evaporatöre dönüşünde uygulanan kuvvet	19
Çizelge 6.1. Uçucu kül tozunun kimyasal bileşimi (%)	34
Çizelge 6.2. Bandelin sonorex super RK514H ultrasonik banyo cihazının teknik özellikleri	36
Çizelge 7.1. Farklı ısı yüklerinde ve farklı çalışma akışlarında hesaplanan ΔT değerleri	55
Çizelge 7.2. Değişken giriş güçleri ile kondenserdeki farklı soğutucu akış debisine göre verimdeki artış (%)	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Isı borusunun çalışma şekli	11
Şekil 3.2. Gelişmiş ısı borusunun şematik görünümü	15
Şekil 3.3. Isı borusunda farklı fitil yapıları	17
Şekil 3.4. a) Isı borusunun yapısı ve çalışma prensibi b) Termosifon tipi ısı borusunun yapısı ve çalışma prensibi	18
Şekil 5.1. Bazı katı ve sıvıların termal iletkenlikleri	27
Şekil 6.1. Nano partiküllerin boyutsal dağılımı	35
Şekil 6.2. Kullanılan termokuplların ısı borusu üzerindeki yerleşimi	41
Şekil 6.3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	42
Şekil 6.4. Nanoakışkanın saf su ile karşılaştırıldığında boyutsuz fiziksel özellikleri	44
Şekil 7.1. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 200W giriş gücünde, 5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	48
Şekil 7.2. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 200W giriş gücünde, 7,5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	49
Şekil 7.3. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 200W giriş gücünde, 10 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	50
Şekil 7.4. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 300W giriş gücünde, 5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	51
Şekil 7.5. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 300W giriş gücünde, 7,5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	52
Şekil 7.6. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 300W giriş gücünde, 10 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	53

Şekil	Sayfa
Şekil 7.7. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 400W giriş gücünde, 5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	56
Şekil 7.8. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 400W giriş gücünde, 7,5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	57
Şekil 7.9. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 400W giriş gücünde, 10 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı	58
Şekil 7.10. 200 W ısı yükü altında kondenserdeki soğutucu kütle akış hızına göre ısı borusunda oluşan toplam direnç	59
Şekil 7.11. 300 W ısı yükü altında kondenserdeki soğutucu kütle akış hızına göre ısı borusunda oluşan toplam direnç	60
Şekil 7.12. 400 W ısı yükü altında kondenserdeki soğutucu kütle akış hızına göre ısı borusunda oluşan toplam direnç	61
Şekil 7.13. 200W, 300W ve 400W ısı yükleri altında değişken soğutucu kütle akış hızlarında (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusunun verimi	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çeşitli ısı boruları	12
Resim 5.1. Nano partiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri (a) Altın Nanoçubuklar, (b) Altın çekirdek-slika nano partiküller	29
Resim 5.2. Alümina (a) ve Titanyum (b) nano partiküllerinin TEM (Transmission Electron Microscope) Mikrografisi	30
Resim 5.3. Cu partikülleri (a) ve Ag partikülleri (b) SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüsü	31
Resim 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan ultrasonik banyo	37
Resim 6.2. Uçucu kül nanoakışkanın kararlılık fotoğrafı a) Deney öncesi b) Deney sonrası	38
Resim 6.3. Deney düzeneği fotoğrafı	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

A	Yüzey alanı (m ²)
c_p	Özgül ısı (kJ/kgK)
nm	Nanometre
$\dot{m}_c$	Kütleli debi (g/s)
R	Isıl direnç (K/W)
T	Sıcaklık (K)
t	Zaman (s)
Q	Isı gücü (Watt)
η	Verim
μm	Mikrometre

Kısaltmalar

Açıklama

AlN	Aluminum Nitride Ceramic
DWCNT	Double wall carbon nano tube
MWCNT	Multi wall carbon nano tube
SEM	Scannig Electron Microscope
SWCNT	Single wall carbon nano tube
TEM	Transmision Electron Microscope

1. GİRİŞ

Türkiye, gün geçtikçe kalkınan bir ülke olmasının yanında hem kendi nüfusunun artması hem de son zamanlarda komşu ülkelerden alınan yoğun göç sebebiyle enerji tüketimine paralel olarak enerji ihtiyacı artan bir ülke haline gelmiştir.

Dünyada ve ülkemizde yeraltı kaynaklarının kısıtlı olması, özellikle ülkemizin enerjide ve enerji arzına gereksinim halinde olan fosil yakıtlarında ve diğer yeraltı kaynaklarında sınırlı kaynaklara sahip olması, bunun yanı sıra enerji elde ederken açığa çıkan atık gazların çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz etki bilim insanlarını farklı arayışlara sevk etmiştir. Gerek Türkiye'de gerekse de dünyada son zamanlarda üzerinde önemle durulan ve ilgiyle çalışılan konuların başında enerji verimliliği gelmektedir.

Sahip olunan enerjinin verimli kullanılması veya yenilenebilir enerji konusunda yapılan çalışmalar, dünya genelinde sağlanacak fayda ile birlikte çevre kirliliğinin önlenmesi ve sanayi çevrelerinde önemli bir gider kalemi olan enerji giderlerinin azaltılması noktasında önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu sebeple enerji verimliliği konularında yapılan ve yapılacak olan yeni çalışmalar büyük önem arz etmektedir.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte sanayi alanında meydana gelen gelişmeler; kullanılmakta olan ve ileride kullanılması muhtemel pek çok sistemde açığa çıkacak ısınin bulunduğu ortamdan başka bir ortama aktarılmasını veya bu ısınin kendi ortamından uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Cihazların hızlarının artırılması ve boyutlarının küçültülmesine yönelik sürekli talepler nedeniyle etkili termal yönetim, birçok teknolojiye en önemli zorluklardan biri haline gelmiştir.

CPU, notebook gibi elektronik cihazların soğutulması, ısı depolama, bacalardaki atık ısınin geri kazanılması, köprülerde, viyadük ve otoyollarda oluşabilecek buzlanmanın önüne geçmek, güneş enerji sistemleri, nükleer santrallerin soğutulması gibi pek çok yerde ısınin taşınmasına, bazı durumlarda da atık ısınin geri kazanılmasına gereksinim duyulmaktadır. Son zamanlarda üretimde meydana gelen teknolojik gelişmeler birçok cihazın çeşitli uygulamalarla minyatür hale gelmesine neden olmuştur. Mikro-üretim ve

teknolojilerindeki ilerlemeler, yüksek performanslı yüksek yoğunluklu entegre elektronik cihazların üretilmesini de mümkün kılmaktadır.

Ancak önemli olan konu, elde edilen ısı enerjisinin bir ortamdan diğer başka bir ortama aktarılmasında taşıma işleminin en az maliyet ile en hızlı ve en verimli şekilde yapılmasıdır. Bunun yanı sıra düşük maliyet, hızlı ve verimli taşımanın devam ettirilmesi isteği ısı transfer edilmesi noktasında araştırmacıların ilgisini çeken bir ısı transferi merakı ortaya çıkarmıştır. Doğal olarak, ısı yönetim gereksinimi ve birçok endüstriyel işlemde mevcut olan termal kısıtlamalar nedeniyle ısı yönetimi için ısı borularının kullanılmasına özel ilgi gösterilmiştir.

Isının bir yerden başka bir yere aktarılmasını sağlayan sistemlerin sayısı oldukça fazladır. Isı boruları da bu sistemlerden sadece birisidir. Isı borularının diğer normal ısı taşıma sistemlerine göre en önemli üstünlüğü, ekstra herhangi bir güce ihtiyaç duyulmadan minimal kesit alanlarında bile büyük miktarlardaki ısı transfer edilebilmesidir. Bunun yanı sıra üretim ve tasarımdaki kolaylığı, farklı sıcaklık spektrumunda çalıştırılabilmesi, kondenser ve evaporatör bölgeleri arasında sıcaklık farkının çok küçük olmasının yeterliliği gibi üstünlükleri de vardır.

Isı borusu, termal enerjiyi transfer etmek için faz değişikliğini kullanan bir tür pasif ısı transfer cihazıdır. Isı borularının ısı transfer kapasitesi, eşdeğer bir bakır parçasına göre yüz katından birkaç bin katına kadar değişir. Avantajlarından biri ise faz değişimi sayesinde cihaz boyunca yaklaşık yeknesak sıcaklık elde edilmesidir. Genel olarak, bir ısı borusunun performansı; çalışma sıvısı, geometrisi, kılcal fitilleme malzemesi, uygulanan ısı miktarı, çalışma sıcaklığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Isı borularında çalışma akışkanının faz değişimi ısı transferi için kullanıldığından ısı performansı artırmak adına çalışma akışkanının seçimi büyük önem arz etmektedir. Tek fazlı ve değişken fazlı ısı transferinde nanoakışkanların gelişmiş ısı transferiyle aydınlanan bazı araştırmacılar; ısı transfer performansını geliştirmek için ısı borularına çalışma akışkanı olarak çeşitli varyasyonda nanoakışkan uyguladılar. Şimdiye kadar, nanoakışkanların ısı borularına uygulanmasını içeren araştırmalar başlangıç aşamasındadır. Bu tür çalışmalar için kullanılan nano materyaller metal, metal oksit, elmas, karbon nano tüpler ve diğer birkaç malzemeyi içerir [1].

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde ısı borusu ve nanoakışkanlar ile ilgili yapılmış olan literatürdeki bazı önemli çalışmalar özetlenmiştir. Farklı oranlarda ve farklı özellikteki nano partiküllerin belli sıvılar içerisinde süspanse edilmesiyle elde edilen nanoakışkanların hayatımızda farklılıklara sebep olacak ısı transferine etkisi ile ilgili bir çok deneysel ve teorik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalara dayanak olarak nano boyuttaki partikülleri içinde barındıran sıvıları nanoakışkan olarak tanımlayan ilk bilim adamı Choi'dir.

A. Özsoy ve ark., bakır-su ısı borusunun sabit bir güçte çalıştırılması sırasında ısı borusu yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve kondenserden transfer edilen ısı miktarını 22 mm çapında, 1,2 mm et kalınlığında ve toplamda 80 cm uzunluğunda bir bakır boru kullanarak 0, 30, 60 ve 90 derecelik eğim açılarında ve değişik soğutma suyu debilerinde deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak ısı borulu sistemlerin çok küçük eğim açıları ile ısı geri kazanım amaçlı olarak çalıştırılabileceği görülmüştür [2].

Shafahi ve diğ., silindirik olarak yivli ve aynı zamanda disk şeklinde ısı borularının termal performansını simüle etmek için nanoakışkandan faydalanarak iki boyutlu bir model kullanmıştır. Temel akışkan içerisindeki nano partiküllerin, maksimum ısı yükünü artırırken termal direnci azaltarak ısı borusunun termal performansını artırdığı sonucuna vardılar. Aynı zamanda nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin dışında maksimum ısı transfer artırımına karşılık gelen optimum bir nano parçacık kütle konsantrasyon seviyesi ve fitil kalınlığının var olduğu sonucuna vardılar [3,4].

Tsai ve diğ., nanoakışkan içerisinde bulunan nano partiküllerin yapısal özelliklerinin dairesel ısı borusu termal performansı üzerindeki etkisini incelemişler ve ısı borularının termal direncinin nanoakışkanlı haldeyken damıtılmış suya göre daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır. Altın-su nanoakışkanı kullanarak diyonize suya göre termal dirençte ortalama %37 oranında azalma gözlemlemişlerdir [5].

T.Çakır, termosifon tipi ısı borusunda çalışma akışkanı olarak içerisinde hacimsel %2'lik Alümina nano partikülleri bulunan nanoakışkan kullanarak ısı borusuna üç farklı ısı girişi (200W, 300W ve 400W) ve kondenser bölgesini soğutmak için üç farklı kütledebide (5

g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) soğutma suyu uygulayarak performansın artırılması incelemiş ve sonuç olarak nanoakışkan ile yapılan deneyde, aynı veriler için, su ile yapılan deneye göre %35,7 verim iyileştirilmesi elde etmiştir [6].

Lu ve diğ., kılcal pompa döngülü ısı borusunun (CPL) termal performansının hem Cu-su hem de Cu-etanol nanoakışkanlar kullanılarak artırılabilirdiğini bildirmişlerdir. Temel akışkan Cu-Etanol nanoakışkanı ile değiştirildikten sonra ısı transfer katsayısının %45 oranında arttığı bildirilmiştir. Optimal bir kütle konsantrasyonunda bakır nano taneciklerinin maksimum ısı aktarımını arttırdığını önermişlerdir [7].

Shafahi ve diğ., silindirik bir ısı borusunda Al_2O_3 , CuO ve TiO_2 gibi farklı nano partikül içeren nanoakışkanlar kullanarak bu ısı borusunun termal performansı üzerinde çalışmışlar ve sıvıdaki nano partiküllerin; maksimum ısı yükünü artırıp, ısı direncini azaltarak ısı borusunun termal performansını artırdığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda küçük parçacıkların, ısı borusu boyunca sıcaklık gradyanı üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir [8].

Huminic ve ark., ısı transfer özelliklerini incelemek üzere termosifon tip ısı borusunda hacimsel olarak %2 ve %5,3 konsantrasyonlarda demir oksit içeren nanoakışkanları kullanmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda minimum termal direnç, hacimsel % 5,3'lük bir nano parçacık konsantrasyonunda ve ısı borusunun 90'lık bir eğim açısında meydana gelmiş, saf suya göre kıyaslandığında ise termal dirençte yaklaşık olarak % 38 düşüş meydana gelmiştir [9].

Ji ve diğ., nano boyutta Al_2O_3 partikül boyutunun bir salınlı ısı borusunun (OHP) ısı transfer performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ortalama çapları 2,2 nm, 50 nm, 20 μm ve 80 μm olan dört partikül boyutuna sahip Al_2O_3 kullanılarak deneyler incelendiğinde sonuçlar, nano boyuttaki Al_2O_3 partiküllerinin salınlı ısı borusunun (Oscillating Heat Pipe) ısı transfer performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Ayrıca yapılan deney sonucunda su ve 80 nm Al_2O_3 partikülleri ile şarj edildiğinde, bir salınlı ısı borusunun (OHP) en iyi ısı transfer performansını elde ettiği görülmüştür [10].

Heris ve ark., laminar akışta ve sabit ısı altında kare kesitli kanallar boyunca farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanarak ısı taşınımını incelemiş, inceleme sonucunda ısı transfer katsayısında bir artış meydana geldiğini; bu artışın nanoakışkanının farklı hacimsel kesirleri temel akışkana(su) göre karşılaştırıldığına ise %2,5'ten %27,6' ya kadar çıktığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte özellikle yüksek akış debisinde nano partiküllerin konsantrasyonunun artışıyla birlikte ısı transfer katsayısının arttığı tespit edilmiştir [11].

Noie ve ark., çalışma sıvısı olarak hacimsel konsantrasyonları %1 ile %3 arasında değişen ve boyutları 100 nm'den daha küçük olan nano parçacıklı Al_2O_3 -su nanoakışkanı içeren termosifon tip kullanmışlardır. Deneysel sonuçları, ikifazlı kapalı termosifon tipi ısı borusu verimliliğinin farklı giriş güçleri için, saf su yerine Al_2O_3 -su nanoakışkanı kullanıldığında %14,7'ye çıktığını göstermiştir [12].

Wang ve diğ., sulu CuO nanoakışkanını çalışma akışkanı olarak kullanarak silindirik bir minyatür yivli ısı borusunun sabit soğutma koşullarında çalışma özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, sulu CuO nanoakışkan içeren bir ısı borusunun su içeren bir ısı borusu ile karşılaştırıldığında maksimum ısı kapasitesinin % 40 arttığını, toplam ısı direncinin ise % 50 azaldığını göstermektedir [13].

Naphon ve ark., bakır bir ısı borusunda farklı eğim açılarında saf su, alkol ve alkol-titanyum karışımından oluşan nanoakışkanı ayrı ayrı kullanarak ısı borusunun ısı verimi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda; saf su için eğim açısı 60° 'den, alkol için ise 45° 'den büyük olduğunda termal verimde azalma meydana gelmektedir. %0,10 hacimsel konsantrasyonda nanoakışkan kullanıldığında ise diğer temel akışkanlara göre termal verimde %10,6'lık bir iyileşme sağlanmıştır [14].

Naphon ve diğ., aynı zamanda düz bir bakır ısı borusunda R11 soğutucu akışkan ve titanyum (21 nm) nano partiküllerinden oluşan akışkanı çalışma sıvısı olarak kullanmış ve saf soğutucu akışkan için optimum şartlarda %0,1 nano partikül konsantrasyonuna sahip ısı borusunun, saf soğutucusundan 1,40 kat daha yüksek verimlilikle çalıştığını belirtmiştir [15].

Moraveji ve Razvarz, saf su ile karıştırılmış 35 nm çapındaki Al_2O_3 nano partiküllerinin çalışma akışkanı olarak kullanıldığı bir ısı borusunda nanoakışkanının termal verimliliğe etkisini incelemişler. Çalışma sonucunda nanoakışkanın ısı borusuna yüklenmesiyle ısı borusunun termal direnci ve duvar sıcaklık farkı saf suyunkine göre azalarak ısı performansını arttırdığı belirtilmiştir [16].

Heris ve ark. tarafından farklı konsantrasyonlarda su içinde CuO ve Al_2O_3 nano parçacıkları içeren nanoakışkanları kullanarak sabit duvar sıcaklığı sınır koşuluna sahip dairesel tüpten laminar akışlı konvektif ısı transferi incelenmiştir. Deney sonucunda; CuO-su ve Al_2O_3 -su nanoakışkanları için elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırma, düşük konsantrasyonda nanoakışkanın ısı transfer katsayısı oranlarının birbirine yakın olduğunu ancak hacim fraksiyonunun artırılmasıyla Al_2O_3 -su için daha yüksek ısı transferinin gerçekleşebileceği belirtilmektedir [17].

Chien ve ark., disk şeklindeki minyatür mikro oluklu alüminyum ısı borusuna nanoakışkan uygulanması ile ilgili deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada; saf suya 17 nm çapında altın partikülleri eklenen nanoakışkanın saf suya göre çalışma performansı karşılaştırılmış ve sonuç olarak; değişik dolum oranlarında nanoakışkan kullanılan ısı borusunun ısı direnci, saf suyu kullanılan ısı borusunun ısı direncine göre daha düşük olmuştur. Nanoakışkan kullanımı ısı direncinde ortalama %40 azalma sağlamıştır [18].

Liu ve diğ., yüzey aktif madde içermeyen CuO nanoakışkanları kullanarak minyatür kapalı bir termosifon tip ısı borusunda nano partikül parametrelerinin termal performans üzerindeki etkisini araştırmıştır. Belirli çalışma basınçlarında gerçekleştirilen deneysel ısı borusuna nano partikül eklenmesinin hem ısı transferini hem de kritik ısı akışını artırabileceğini göstermiştir. Deney sonucunda CuO nanoakışkanlı ısı borusu için ısı transfer katsayısı maksimum %160 artmış ve kritik ısı akışı %1'lik bir optimum nano partikül kütle konsantrasyonu uygulandığında ise %120 arttığı gözlenmiştir [19].

Cheng ve diğ., bir bakır levhanın her iki yanındaki oyukların işlenmesiyle oluşturulan düz plakalı salınlı ısı borularının ısı transfer performansını matematiksel modelleme ile teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Su, aseton, altın-su, elmas-aseton, ve elmas-su nanoakışkanları çalışma sıvılarını olarak kullanmışlardır. Nanoakışkanlar çalışma sıvısı olarak

kullanıldığında, termal direnç daha da azalmıştır. Hacimsel olarak yüksek oranda elmas-su nanoakışkanlarının kararlı olmadığı ve termal performansı düşürdüğü görülmüştür [20].

Huminic ve diğ., termosifon tipi ısı borusunda suya demir oksit katı partiküllerinin eklenmesiyle oluşan çalışma akışkanı üzerine deneysel bir inceleme yapmışlardır. Nano partiküllerini %0, %2 ve %5,3 hacimsel konsantrasyonlarda kullanmışlar ve saf suyla karşılaştırıldığında %5,3 hacimsel konsantrasyonda demir oksit eklenerek oluşturulan nanoakışkanın termal performansı artırdığı belirtilmiştir [21].

Saleh ve diğ., kimyasal çökeltme işlemiyle oluşturduğu ZnO nano partiküllerini etilen glikol içerisine ultrasonik ışınlama yöntemiyle dağıtarak örgü fitilli bir ısı borusunda sıcaklık dağılımının ve termal direncin sonuçları ile ilgili deneysel inceleme yapmışlardır. Çalışma sonunda nano partiküllerin hacimsel oranı arttıkça ısı iletkenliğinde önemli bir artış meydana gelmiştir. Ayrıca partikül boyutundaki artış, nanoakışkanın termal iletkenliğinde iyileşme yapmıştır. Sonuç olarak nano partikülün kristal boyutu arttıkça sıcaklık dağılımı ve ısı borusu termal direncinin azaldığı görülmüştür [22].

Murshed ve diğ., geçici bir sıcak tel tekniği kullanılarak saf suda dağılan hem çubuk hem de küresel şekilli TiO_2 nano parçacıklarının ısı iletkenliklerini incelemişlerdir. Çubuk şekilli olan partiküllerin çapı 10 nm, boyu 40 nm, küresel şekilli olan partikülün ise çapı 15 nm boyutlarında olmuştur. Yapılan çalışmada çubuk şekilli partiküllerin veriminde %33, küresel partiküllerde ise %30'a yakın iyileşmeler elde edilmiştir. Elde ettiği sonuçlar; termal iletkenliğin parçacık hacimsel oranının yanı sıra parçacıkların şekli ve büyüklüğünden etkilendiğini göstermiştir [23].

Bianco ve diğ., laminer bir akış rejimi altında akan dairesel bir borudaki $\text{Su-Al}_2\text{O}_3$ nanoakışkanının ısı transfer performansını sayısal olarak incelemiştir. Nanoakışkanın ısı transfer katsayısını belirlemek için sabit veya sıcaklığa bağlı özelliklerle tek ve iki fazlı bir model (ayrık parçacıklar modeli) kullanmıştır. Araştırma, 100 nm'ye eşit boyuttaki partiküller için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, ısı transfer performansının Reynolds sayısı ve partikül hacmi konsantrasyonunun artmasıyla arttığını göstermiştir [24].

Pantzali ve diğ., minyatür plakalı bir ısı değiştirici içinde çalışma sıvısı olarak CuO-su nanoakışkan kullanılmasının sonuçlarını deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Bu

çalışmada hacimce %4 Cu içeren nanoakışkanının viskozite, yoğunluk, termal iletim, ısı kapasitesi gibi termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bir minyatür plakalı ısı değiştirici içinde suyun nanoakışkan ile ikame edilmesinin genellikle ısı transfer hızını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Nanoakışkanların kullanılmasının, özellikle ekipman hacminin sorun olduğu durumlarda, verimli ısı alış verişi sistemlerinin tasarlanmasına yönelik bir çözüm olabileceğini açıklamışlardır [25].

Wen ve Ding, bir laminar akış rejiminde Al_2O_3 nano parçacıklarından ve saf sudan oluşan (Al_2O_3 - Su) nanoakışkanların konvektif ısı transferi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak özellikle giriş bölgesinde Reynolds sayısı ve nano partiküllerin konsantrasyonu ile nanoakışkan ısı transfer katsayısında bir artış meydana geldiğini, nanoakışkan kullanılarak konvektif ısı transferinde önemli bir iyileşme olduğunu bildirmişlerdir [26].

Mozumder ve diğ., farklı termal yükler altında minyatür bir ısı borusunda çalışma akışkanı olmadan ve saf su, metanol, asetondan oluşan farklı çalışma akışkanlarını kullanarak ısı borusunun termal performansının deneysel çalışmasını yapmışlardır. Sonuç olarak; minyatür ısı borusunun çalışma sıvısı olarak aseton kullanıldığında ısı transfer katsayısının maksimum olduğu görülmüştür. Ayrıca eklenen çalışma akışkanı evaporatör hacminin %85'inden büyük olduğunda ısı transfer katsayısındaki artıştan, termal dirençteki azalmadan ve evaporatör ile kondenser arasındaki sıcaklık farkının azalması noktasında daha iyi sonuçlar alındığı belirtilmiştir [27].

Kole ve Dey, bir örgü fitilli ısı borusunda yüzey aktif madde içermeyen ağırlıkça %0,5 Cu içeren Cu - saf su nanoakışkanını çalışma akışkanı olarak kullanıp ısı borusunun termal performansını inceleyen deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneyler ısı borusunun 45° , 60° ve 90° olarak farklı açılarda konumlandırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda ağırlıkça %0.5 Cu içeren Cu - saf su nanoakışkanıyla yapılan deneyde saf suya göre dikey konumda ısı borusunun termal direncinde %27 azalma olduğu görülmüştür [28].

Mousa, bir termosifon tipi bakır boruda çalışma akışkanı olarak saf su ve nanoakışkan kullanarak ısı borusunun termal performansı üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Deneyinde nanoakışkan olarak 40 nm boyutunda Al_2O_3 'ü saf suda dağıtarak farklı

konsantrasyonlarda kullanmıştır. Sonuç olarak; nanoakışkan kullanıldığında saf suya göre termal dirençte azalma meydana geldiği, nanoakışkan konsantrasyonun artmasıyla termal direncin daha da azaldığı ve yüksek ısı performansı elde etmek için evaporatör hacminin %40 ile %60 arasında doldurulması gerektiği rapor edilmiştir [29].

Kang ve diğ., 1mm kalınlığında sinterlenmiş fitilli dairesel bir ısı borusu kullanarak ısı borusunun termal direncini gözlemlemiştir. Deneyde, çalışma akışkanı olarak saf su ve su bazlı 10 nm ve 35 nm boyutlarına gümüş partikülleri içeren nanoakışkan kullanılmıştır. Nano partiküllerin konsantrasyonları 1, 10 ve 100 g/l olarak belirlenmiştir. Deney sonucu 30W-60W giriş gücündeki saf suya nazaran sıcaklık farkının 0.56°C-0.65°C azaldığını, ayrıca saf su yerine nanoakışkan kullanıldığında ısı transfer kapasitesinin 50W'tan 60W'a çıktığını göstermiştir [30].

Shukla ve diğ., 19 mm çapında ve 400 mm uzunluğunda silindirik bir bakır ısı borusuna üç farklı nanoakışkan uygulayarak termal verimde meydana gelen değişikliği incelemek üzere bir deney düzeneği kurmuşlardır. Deneyde 100W-250W aralığında farklı ısı girişleri uygulanmıştır. Saf su, bakır-su ve gümüş-su karışımlarından oluşan üç farklı akışkanı çalışma akışkanı olarak kullanmışlardır. Sonuç olarak; bakır-su nanoakışkanı uygulandığında %14, gümüş-su nanoakışkanı uygulandığında ise %8 maksimum verim elde edildiği bildirilmiştir [31].

Solomon ve ark., nano partiküller ile kaplanmış fitilli bir ısı borusunun ısı performansını üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yüzeyi, nano partikül olarak boyutları 80-90 nm arasında değişen bakır ile kaplı ısı borusuna 100W, 150W ve 200W giriş gücü uygulanmıştır. Deney sonucunda evaporatör bölgesinde termal dirençte %40 azalma, ısı transfer katsayısında %40 artış meydana geldiği gözlemlenmiştir [32].

Çalışma sırasında evaporatör bölgesinde uygulanan ısı enerjisi, ısı borusunun içerisinde bulunan çalışma akışkanını buharlaştırmakta ve kısa zamanda haznenin içini saf buharla doygun hale getirmektedir. Buhar yükselir ve adyabatik bölümden kondenser bölgesine doğru geçer. Buharla doygun hale gelen sistemin kondenser bölümünden ısı çekilmesi nedeniyle çalışma akışkanı gizli ısını dış soğuk ortama vererek bu bölgede hazne cidarı nispeten soğuk olacağından yoğuşma başlar. Yoğuşan sıvı tanecikleri çeşitli tekniklerle tekrar buharlaştırıcıya dönmekte ve böylece çevrim tamamlanmaktadır. Böylelikle ısı borusu, buharlaşma gizli ısını evaporatör bölgesinden kondenser bölgesine sürekli olarak transfer eden bir ısı değiştirici olarak kabul edilebilir.

Evaporatörden buharlarlaşarak kondenserde yoğuşmuş akışkanı tekrar buharlaştırıcıya geri getirmek için Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi merkezkaç, yerçekimi, elektrostatik ya da manyetik vb. kuvvetlerden faydalanılmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerin başında yer çekimi kuvvetini esas alan kuvvet gelmektedir. Yerçekimi kuvvetleri ile birlikte fitil kullanımı da yaygındır.

Isı boruları, Resim 3.1'de görüleceği üzere değişik şekillerde olabileceği gibi genel olarak dairesel şekilde ya da düzlemsel şekilde yapılabilir. İçerisinde bulunan çalışma sıvısının akışının düzenlenmesi amacıyla fitil hazne cidarına yerleştirilir.



Resim 3.1. Çeşitli ısı boruları

Temel olarak bir ısı borusu, kapalı ve vakumlanmış bir boru içerisinde çalışma akışkanı bulunan hazne olmakla birlikte buna ek olarak akışkan transferinde yerçekimi kullanılmıyorsa içerisinde fitil bulunan boru üç ana bölgeden oluşmaktadır ki bu bölgeler; alt kısım buharlaştırıcı (evaporatör), merkez aralığı adyabatik bölge ve üst kısım yoğusturucu (kondenser) bölgesi olarak isimlendirilir. Evaporatör kısım ısı borusunun dışarıdan ısı aldığı bölge, kondenser kısmı dış ortama ısı verdiği bölge, adyabatik kısım ise herhangi bir ısı alış verişinin olmadığı nötr olarak adlandırabileceğimiz bölgedir.

3.1. Isı Borusunun Uygulama Alanları

- Atık ısıların tekrar kullanılması
- Makine parçalarının soğutulması,
- Isı transfer elemanı olarak gaz türbini jeneratörlerinde kullanılması,
- Uzay araçlarında sıcaklık kontrolü,
- Bilgisayar vb. elektronik cihazların soğutulması,
- Jeotermal enerjinin kullanılması,
- Taşıtlarda iç ısıtma,
- Taşıtların iç ısıtmalarında egzosttan faydalanılması,
- Uçaklarda fren sistemlerinin soğutulması,
- Enerji depolama,

3.2. Isı Borusunun Çalışma Prensibi

Isı borusu; içerisinde belirli bir miktarda çalışma akışkanı bulunan buharlaştırıcı (evaporatör), adyabatik ve yoğusturucu (kondenser) kısımları olarak üç bölgeden oluşup ısı transferinde etkin kullanılan bir cihazdır. Değişik şekil ve yapıda fitile sahip olabilen cihaz, dışarıdan alınan ısı vasıtasıyla evaporatör bölümündeki fitil yapısı içerisinde bulunan çalışma akışkanı buharlaşmaya kadar ısınır. Meydana gelen buhar, yüksek sıcaklıkla birlikte buna karşılık gelen yüksek basınç vasıtasıyla bulunduğu yerden soğumasını sağlayacak olan kondenser bölümüne doğru akar.

Kondenser bölümüne ulaşan buhar halindeki akışkan, dış etmenlerin vasıtasıyla yoğuşarak buharlaşma ısını bu bölümde (kondenser) bırakır. Daha sonra ısı borusu içerisinde

bulunan fitil, yapısındaki kılcallık kuvvetiyle çalışma akışkanının evaporatör bölümüne tekrar dönmesini sağlar.

Sistem, mantıksal olarak ısı borusu içerisinde bulunan çalışma akışkanının aldığı ısıdan kaynaklı buhar haline dönüşerek diğer tarafta soğuyup tekrar yoğunlaşarak ısı aktarımı için ilk bulunduğu noktaya dönmesi olarak işlev görür. Burada işlev gören akışkan cinsi ve miktarı kadar kullanılan borunun uzunluğu da önemlidir. Isı borusunun etkin kullanımı için önemli olan bir diğer faktör de ısı borusunun yerleşim pozisyonudur. Çalışma akışkanının ısıl döngüde iyi bir performans sağlaması adına ısıyı alan bölüm, ısıyı veren bölümden daha alçakta olmalıdır.

3.3. Isı Borularının İmalat Tekniği

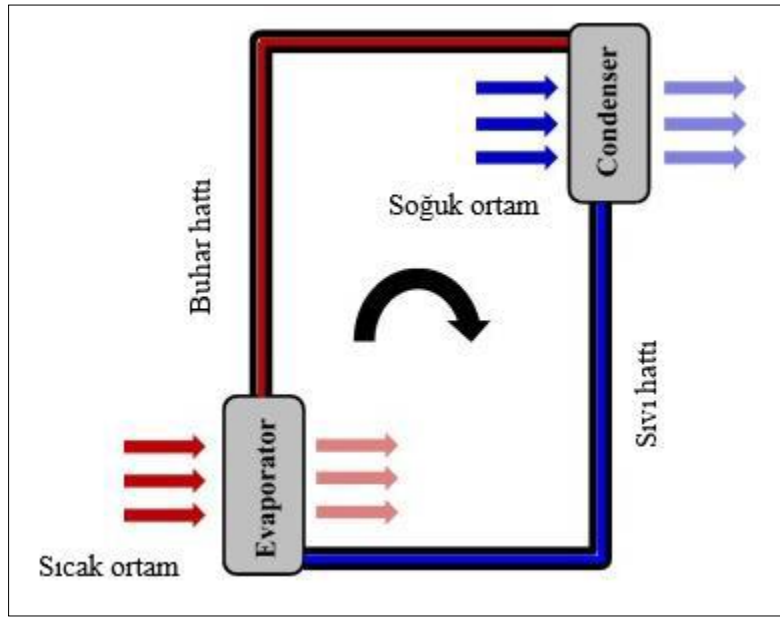
Isı borularının imalatında, malzeme seçiminden sonra;

- Boruların hazırlanması, kesimi, temizlenmesi
- Boruların fitillerinin yerleştirilmesi
- Uçların kapatılması (kaynak işlemleri), doldurma ağzının (subabının) bırakılması
- Vakum işleminin her biri ısı borusuna uygulanması
- Doldurma işlemlerinin tasarlanan miktarda çalışma akışkanı ile gerçekleştirilmesi
- Her işlem aşamasında temizleme ara işlemleri
- Her bir ısı borusunun test edilmesi gibi süreçlerden geçilmesi gerekmektedir [34].

3.4. Yerçekimi Destekli Isı Borusu

Adından da anlaşılacağı üzere bu tip ısı borularında ısı döngüsünün sağlanmasında yerçekiminin büyük bir önemi bulunmaktadır. Yerçekimi destekli borularının çalışması esnasında Şekil 3.2'de görüldüğü gibi buharlaştırıcıya dışarıdan uygulanan ısı enerjisi sayesinde çalışma akışkanının bir kısmı buharlaşır. Isı borusunun yoğunlaştırıcı kısmının buharlaştırıcı kısmından daha düşük sıcaklık değerlerine sahip olması nedeniyle ısı borusunun içerisinde büyük bir yer kaplayan saf buhar, bu sıcaklık farkından kaynaklanan etkiyle yoğunlaştırıcunun (kondenser) buharlaştırıcıya (evaporatör) göre daha soğuk olan yüzeyine çarparak yoğunlaşmaya başlar. Yerçekiminin etkisiyle, yoğunlaşan çalışma akışkanı evaporatöre doğru akmaya başlar. Buharlaştırıcıya gelen akışkan tekrar buharlaşarak hızlı

bir şekilde yoğuşturucuya gider. Bahse konu bu döngü esnasında buhar halindeki akışkanın hızı, kendisine göre ters istikamette hareket eden sıvı haldeki akışkanın hızından daha yüksektir. Öyle ki bazı durumlarda buhar halindeki akışkan hızının ses hızına yaklaştığı ya da ses hızının üstünde bir hıza ulaştığı görülebilir. Isı borusunun içerisinde meydana gelen sıvı ve buhar halinde bulunan iki fazlı akışkan arasındaki hız farkı, buharlaştırıcıdan yoğuşturucuya doğru bir pompalama mekanizması meydana getirir.



Şekil 3.2. Gelişmiş ısı borusunun şematik görünümü [41]

Meydana gelen bu mekanizma sonucunda, yerçekimi destekli ısı borusunun içerisinde bulunup yoğuşmayan gaz halindeki akışkan, önce yoğuşturucuda birikir. Bunun yanı sıra buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça kondenserde sıkışan birikmiş gaz halindeki akışkan bloğu buhar halindeki akışkanın artan momentumu sebebiyle kondenser üst bölümüne hapsolür.

Pratik olarak yoğuşturucu bölgesinin sıcaklığı ölçüldüğünde kondenser bölgesi ile yoğuşmayan gaz halindeki akışkan sütununun yerini kesin hatlarla tespit etmek mümkündür. Kondenser bölgesindeki sıcaklık, evaporatördeki eşit olduğu halde, yoğuşmayan gaz hakindeki akışkan bölgesindeki sıcaklık ortam sıcaklığındadır [35].

Aşağıda ifade edilen özellikleri sebebiyle yerçekimi destekli ısı borusu iyi bir ısı transfer elemanı olarak tercih edilir;

- Çalışma sisteminde hareketli parçasının bulunmaması

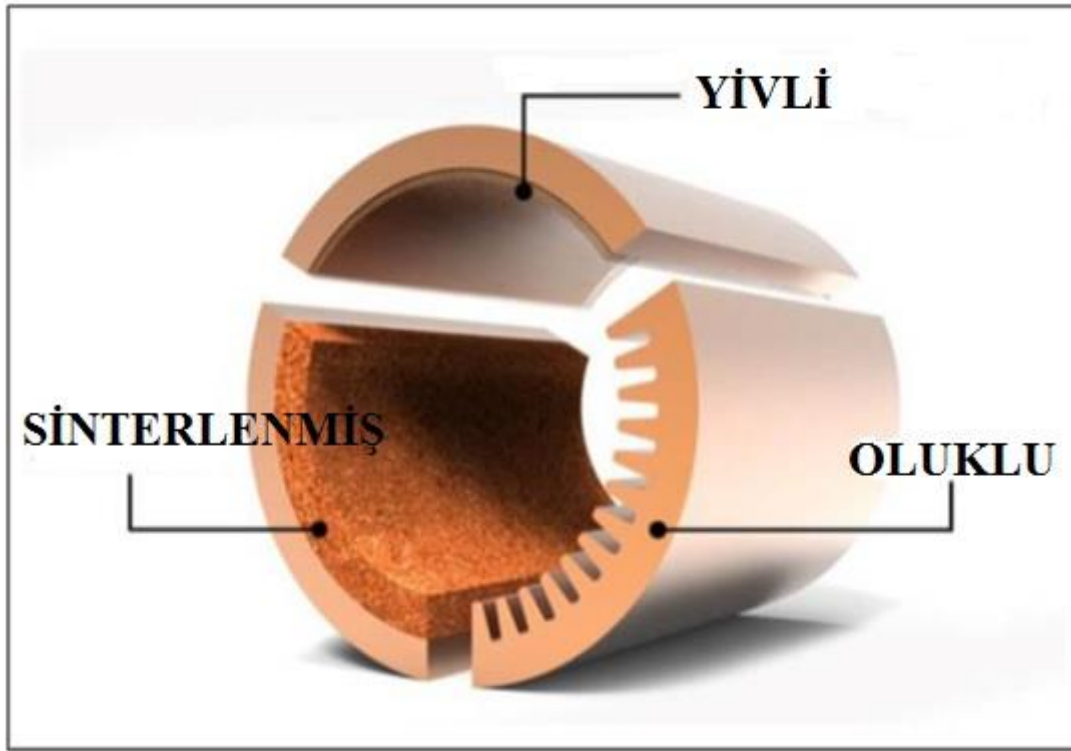
- Sistemin kısa sürede tepki göstermesi
- Tersinir sirkülasyon olmaması sebebiyle kayıpların minimal düzeyde olması
- -50 °C ile 100 °C arasında iyi sonuçlar alınabilecek ısıtma akışkanlarının varlığı,
- Sıcaklığın ısı borusu boyunca tekdüze kalması sebebiyle yüksek efektif ısıl geçirgenliğe sahip olması,

3.4.1. Isı borularında kullanılan fitiller

Isı borularında kullanılan fitiller, buharlaşan akışkanı yoğuşma bölgesine iletip yoğuşan akışkanı buharlaşma bölgesine geri döndürme görevine sahiptirler. Fitiller sayesinde sistem sürekli hareket etmektedir ancak farklı akışkanlar için farklı yapıda fitillere ihtiyaç vardır. İyi bir fitilde bulunması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir [33].

- Akışkan ve duvar malzemesine uyumlu olmalı
- Yüksek sıcaklıklarda bozulmamalı
- Sürtünme katsayısı düşük olmalı yani kaygan yapıda olmalı
- Sıcaklık değişimlerinde şekil bozukluğu ortaya çıkmamalı
- Emici özelliği bulunmamalı, ısı borusuna uygun çapta ve ölçüde olmalıdır.

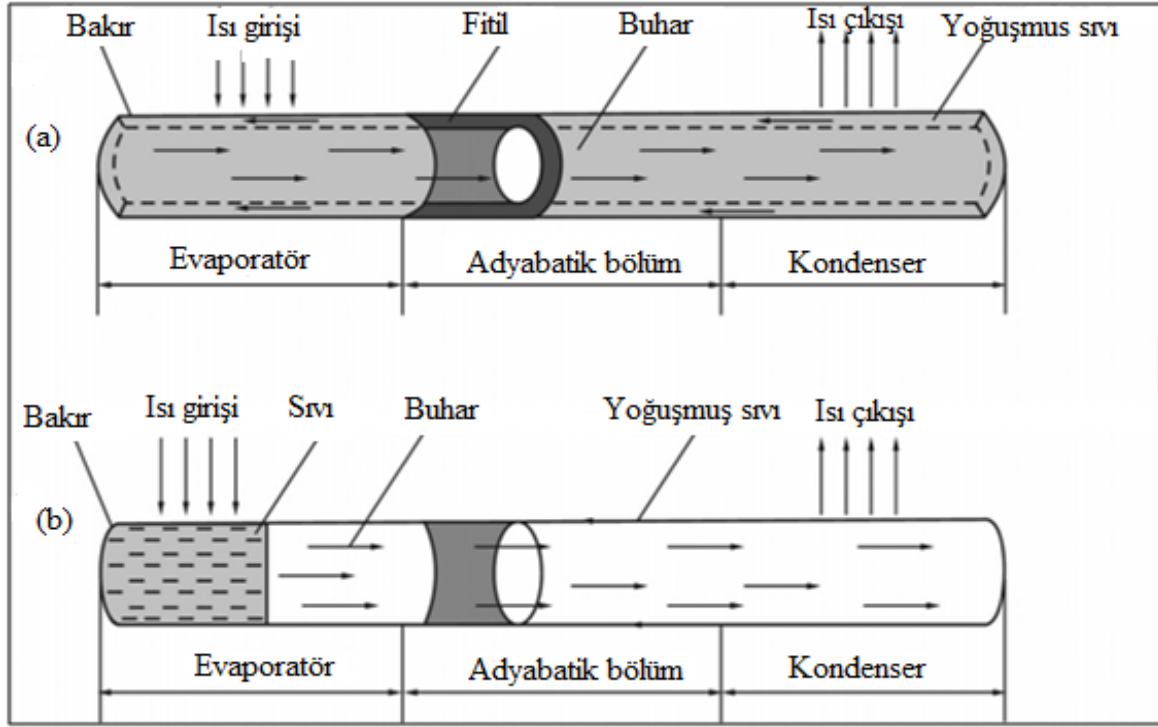
Isı borularında sinterlenmiş, oluklu ve yivli yapıda yaygın olarak kullanılan fitil çeşitleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir [38].



Şekil 3.3. Isı borusunda farklı fitil yapıları [38]

3.5. Termosifon Tip Isı Borusu

Termosifon tip ısı borusu esas olarak ısı transferi için içerisindeki çalışma akışkanının buharlaşmasını ve yoğunlaşmasını sağlayan yerçekimi destekli bir fitilsiz ısı borusudur [40]. Bu tip ısı borularında çalışma sıvısını aktarmak için herhangi bir fitil bulunmamakta ve sıvı, yer çekimindeki farklılık nedeniyle borunun içinde hareket eder. geleneksel ısı borusunun yapısı ve çalışma prensibi Şekil 3.4.a'da, termosifon tipi ısı borusunun yapısı ve çalışma prensibi ise Şekil 3.4.b'de gösterilmiştir. Değişik tipteki ısı borularında bulunan çalışma akışkanının hareketini sağlayan kuvvetler Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.4. a) Isı borusunun yapısı ve çalışma prensibi. b) Termosifon tip ısı borusunun yapısı ve çalışma prensibi [21]

Tipik bir termosifon tip ısı borusu, boşaltılan ve kapatılmış bir tüp içinde belirli bir miktar çalışma sıvısı içerir. Bir ucu ısıtıldığında çalışma sıvısı orta boşluktan diğer uca doğru ses hızına yakın hızda faz değişimine uğrayarak buharlaşır. Daha sonra buhar yoğunlaşarak başlangıç yerine geri döner. Yoğuşan akışkanı tekrar buharlaştırıcıya geri döndürmek için kılcallığı kullanan geleneksel ısı borularının aksine termosifon tip ısı boruları bu döngüde yerçekimi kuvvetinden faydalanır. Buharlaşma gizli ısıyı hissedilebilir ısıdan çok daha büyük olduğundan termosifon tip ısı boruları çok büyük ısıya maruz kalırlar ve katı bakır çubuktan yüz katından bin katına kadar daha iyi hale gelebilirler.

Termosifon tip ısı borularında metanol, etilen glikol ve bunların ısı transfer sıvılarının zayıf karışımları en çok kullanılan çalışma akışkanlarıdır. Bu sıvıların ısı iletkenliği, enerji verimliliğindeki ısı transfer ekipmanlarında önemli bir rol oynadığından onu geliştirmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir [12].

Başka bir deyişle ısı borusunun içinde bulunan sıvı buhar dengesi, evaporatöre termal enerji uygulanıp akışkan buharlaştıkça bozulmaya başlar. Evaporatör bölgesine uygulanan termal güç sayesinde akışkan, ısı borusu boyunca buharlaşarak kondenser bölgesine geçer.

Burada akışkan yoğuşarak gizli ısınıyı yoğuşma yoluyla dışarı atar. Bu noktadan sonra akışkan ısı borusunda bulunan fitildeki kılcallık sayesinde evaporatöre geri döner. Termosifon tip ısı borularında da akışkanın evaporatörden kondensere hemen hemen aynı yolla ulaşır fakat yoğuşan akışkanın tekrar evaporatöre dönüşü fitil olmaması sebebiyle yerçekimi sayesinde olmaktadır. Bu yüzden evaporatör bölgesi kondensere göre dikey olarak daha aşağıda olmalıdır.

Çizelge 3.1. Çalışma akışkanının evaporatöre dönüşünde uygulanan kuvvet [2]

Uygulanan Kuvvet	Cihazın Adı
Yer çekimi kuvveti	Termosifon tip ısı borusu
Kapiler kuvvet	Standart ısı borusu
Merkezcil kuvvet	Dönel ısı borusu
Elektrostatik kuvvet	Elektrohidrodinamik ısı borusu
Magnetik kuvvet	Magnetohidrodinamik ısı borusu
Osmotik	Osmotik ısı borusu

- Düşük termal direnç
- Yüksek verimlilik
- Düşük maliyet
- Basit yapısı

gibi avantajları sebebiyle termosifon tip ısı borusu;

- Endüstriyel ısı geri kazanımı
- Güneş enerjisi sistemleri
- Türbin kanatlı soğutmalar
- Bilgisayar ve diğer elektronik cihazlar

gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip ısı borusunun ısı transferi performansı; geometrik şekli, eğim açısı, buhar sıcaklığı ve basıncı, doldurma oranı ve çalışma akışkanının termofiziksel özelliklerinden önemli derecede etkilenir [40].

4. ÇALIŞMA AKIŞKANI

Çalışma akışkanının seçimi, ısı borularında dikkat edilmesi gereken noktaların başında gelmektedir. Düşük sıcaklıklarda buharlaşabilmesi çalışma akışkanının başta gelen önemli özelliğidir. Uygulanabilir akışkanın seçilmesinde akışkanını değişik özellikleri iyice araştırılmalıdır. Çalışma akışkanın seçiminde dikkat edilecek ve uygulanacak işlemler ısı borusu içinde gerçekleşen ısı akışına ve termodinamik etmenlerin sınırlarına bağlı olmalıdır. Bunlar sonik, kapiller, viskoz, sürüklenme ve kaynama sınırları olarak ifade edilebilir. Uygun bir çalışma akışkanının belirlenmesinde ilk husus çalışma buhar sıcaklığı aralığıdır. Ortalama sıcaklık bandı içinde birkaç olası çalışma sıvısı bulunabilir ve bu sıvılardan en kabul edilebilir olanını belirlemek için aşağıdaki özelliklerinin incelenmesi gerekir [38];

- Fital ve duvar malzemeleriyle uyum,
- İyi termal kararlılık,
- Fital ve duvar malzemelerinin ıslanabilirliği,
- Çalışma sıcaklık seviyesinin çok üstünde ya da altında olmayan buhar basıncı,
- Yüksek gizli ısı,
- Yüksek termal iletkenlik,
- Düşük sıvı ve buhar viskozitesi,
- Yüksek yüzey gerilimi,
- Kabul edilebilir donma ve akma noktası,
- Kritik sıcaklığı ve basıncı yüksek olmalıdır,
- Atmosfer basıncında kaynama sıcaklığı düşük olmalıdır,
- Ucuz ve kolay temin edilebilmelidir

4.1. Kullanılacak Akışkan Miktarı

Kullanılacak bir ısı borusunun içerisine doldurulacak çalışma akışkanının miktarını belirlemek ısı transfer performansı açısından büyük önem arz etmektedir. Çalışma akışkanının olması gerekenden daha az konulması durumunda sistem çalışırken içerideki akışkan tamamıyla buharlaşıp ısı borusunun içini dolduracak böylelikle buharlaştırıcı kısmında akışkan sıvı kalmayacağından sistemin çalışmasına engel teşkil edecektir. Bu

yüzden fitil içeren ısı borularında fitil kuruması olarak bilinen bu durumda ısı borusunun yüzeyi aşırı ısınmaktan zarar görür. Isı borusuna çalışma akışkanının gereğinden daha fazla eklenmesi durumunda yerçekimi destekli ısı borularında karşımıza çıkan taşma limiti meydana gelir.

Termosifon tip ısı boruları için ısı borusuna konulacak çalışma akışkanının miktarı toplam hacmin % 15-20'si oranında olabileceği bildirilmiştir. Optimum akışkan miktarını Lee ve Bedrossian [39] toplam hacmin % 15'i olarak, Hussein vd. [40] %20, Feldman ve Srinivassan [41] % 18-22'si olarak önermişlerdir.

5. NANOAKIŞKANLAR

Katıların ısı iletkenliğinin sıvılarınkine kıyasla daha yüksek olması nedeniyle bir sıvının termal iletkenliğini iyileştirmenin yenilikçi yolu, nano boyutta metal ya da metal olmayan katı parçacıkların sıvı içinde askıya alınmasıdır. Bir yüzyılı aşkın bir süre önce yayımlanan Maxwell'in teorik çalışması (1881) öncülüğünde, katı parçacıklar içeren süspansiyonların çok sayıda teorik ve deneysel çalışması yapılmıştır. Fakat kullanılan yüksek yoğunluklu ve büyük boyutlu parçacıklara bağlı olarak parçacıkların süspansiyona yerleşmesi zor olmuştur. Bu süspansiyonların kararlı olmaması, akış direnci ve olası aşınmalara neden olmaktadır. Sonuç olarak, daha sonra nanoakışkanlar olarak adlandırılan nano tanecikli parçacıklara sahip örnekler, Choi (1995) tarafından ABD Argonne Ulusal Laboratuvarı'ndan tasarlanmıştır. Nano taneciklerin bir sıvı içinde süspanse edilmesiyle, ısı transferi performansı, basınç düşüşünde çok az hatayla önemli ölçüde iyileştirilebilir [12].

Bir soğutucu olarak nanoakışkanların performansı sadece ısı iletkenliği olarak değil aynı zamanda ısı transfer taşınımı olarak da göz önüne alınarak araştırılmalıdır. Literatürde ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından akışkan sıvı içerisine nanometre boyutunda katı parçacıkların süspanse edilmesi sonucu oluşan akışkanlar olarak tanımlanmıştır. Choi vd. nanoakışkanın ısı iletim katsayısının çok küçük nano partikül konsantrasyonlarında bile anormal bir şekilde yükseldiğini göstermişlerdir. Nanoakışkanlarla, yüksek ısı iletim katsayısı artışları elde edilebileceğini bu çalışmalar ve sonrasında yapılan birçok deneysel araştırma ortaya çıkarmıştır [42,43].

Nanometre boyutlarda parçacıkların üretimi, nano teknolojideki yenilenmeler sayesinde geçmişe oranla daha kolay ulaşılabılır hale gelmiştir. Nanoakışkanlar, elektronik soğutma ve otomotivdeki yüksek performanslı ısı transfer akışkanları olma potansiyelleri nedeniyle son zamanlarda büyük ilgi görmüştür. Isı akısı ve minyatürleşmedeki önemli artışla ilgili çalışmalar ile ısı transfer ekipmanlarının performansı iyileştirilebilmektedir. Birçok araştırmacının son yıllarda bu sıvılarla ilgili olarak değişik termal davranışın varlığını keşfettiği için dünya çapında yoğun bir çalışmaya konu olmuştur. Enerji üretimi, mikro elektronik, ısıtma işlemleri, soğutma işlemleri ve kimyasal işlemler, su, mineral yağ ve etilen glikol gibi birçok endüstriyel uygulamada, ısı transfer sıvısı olarak kullanılır [44].

5.1. Nanoakışkanların Özellikleri

Nanoakışkanlar, çeşitli mühendislik uygulamaları için onları özel kılan bazı nadir özelliklere sahiptir. Literatürde nanoakışkanların kabul gören dört ana özelliği aşağıda belirtilmektedir [42];

1. Kararlılık: Yüzey aktifleştirici maddelerden katyon ve anyon tipi kullanılarak nanoakışkanların uzun süre kararlı bir halde kalabildiği yapılan çalışmalarda görülmüştür.
2. Isı iletkenliğindeki iyileşme: Isı iletkenliğinde meydana gelen anormal artış, nanoakışkanların en önemli özelliğidir.
3. Newton tipi (viskozite sabit) ve düşük konsantrasyon: Çalışma akışkanının Newtonian davranışı ile elde edilen partiküllerdeki düşük konsantrasyon sayesinde iletkenlikte büyük bir iyileşme olmaktadır. Viskozitedeki artış önemsiz olup basınçtaki düşme sadece değişken olarak artırılır.
4. Partiküllerin boyut bağımlılığı: İletkenlikteki artış partikül konsantrasyonuna bağlı olmanın yanında partikül boyutuna da bağlıdır. Partikül boyutu azaldığında, iyileşmede artış olduğu gözlemlenmiştir.

Bunun yanında diğer bazı özellikleri şöyle sıralanabilir [45];

- Teorik tahminlerin ötesinde ve beklenenden yüksek bir ısı iletkenliği vardır.
- Yüksek ısı transfer kabiliyeti
- Diğer kolloid karışımlardan daha iyi kararlılık
- Mikro kanallarda erozyon ve tıkanmanın azaltılması
- Pompalama gücü gereksiniminde azalma
- Sürtünme katsayısını azaltır
- Daha iyi yağlama

5.2. Nanoakışkanların Uygulama Alanları

Nanoakışkanlar, çeşitli termal sistemlerde ısı transferini ve enerji verimliliğini arttırmak için kullanılabilir. Bu da nanoakışkanların birçok uygulamada soğutma sıvıları olarak kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Nanoakışkanların bazı uygulama alanları şöyle sıralanabilir [44];

- Motor soğutma
- Nükleer soğutma sistemi
- Elektronik devreleri soğutulması
- Buzdolabı
- Isı transferinin iyileştirilmesi
- Termal depolama
- Biyomedikal uygulamalar
- Mikroçiplerin soğutulması
- Savunma ve uzay uygulamaları
- Taşımacılık
- Petrol endüstrisi
- Mürekkep püskürtmeli yazıcılar
- Çevresel iyileştirmeler
- Yüzey kaplamaları
- Yüzey kaplamaları
- Yağlama

5.3. Nanoakışkanlarda Termal Performans

Nanoakışkana süspanse edilen partiküller ısı borusunun termal performansını artırır. Partiküller arası etkileşim ve çarpışmalar; akışkanın yüzey etkileşim alanında, çalkalanmada ve türbülانsta artışa neden olur. Türbülانsta meydana gelen yoğunluk, geniş yüzey alanı, yüksek ısı iletkenliğine ve böylece yüksek ısı transferine izin verir. Bu yöntemin bir diğer avantajı ise nano partiküllerin hareketi mikro taşımaya izin vermesi ve küçük parçacık boyutları sayesinde akışkanda zengin bir ısı transferi oluşturmastır. Ancak, nanoakışkanı elde etmede kullanılan nano partikül hacimsel oranı, partikül boyutu, aktif yüzey etkisi gibi parametrelerin ısı performansını geliştirilmesindeki önemli etkileri görmezden gelinemez. Nanoakışkan ısı transfer performansında temel fiziksel olaylar sonucunda oraya çıkan önemli gelişmeler şöyle sıralanabilir [46];

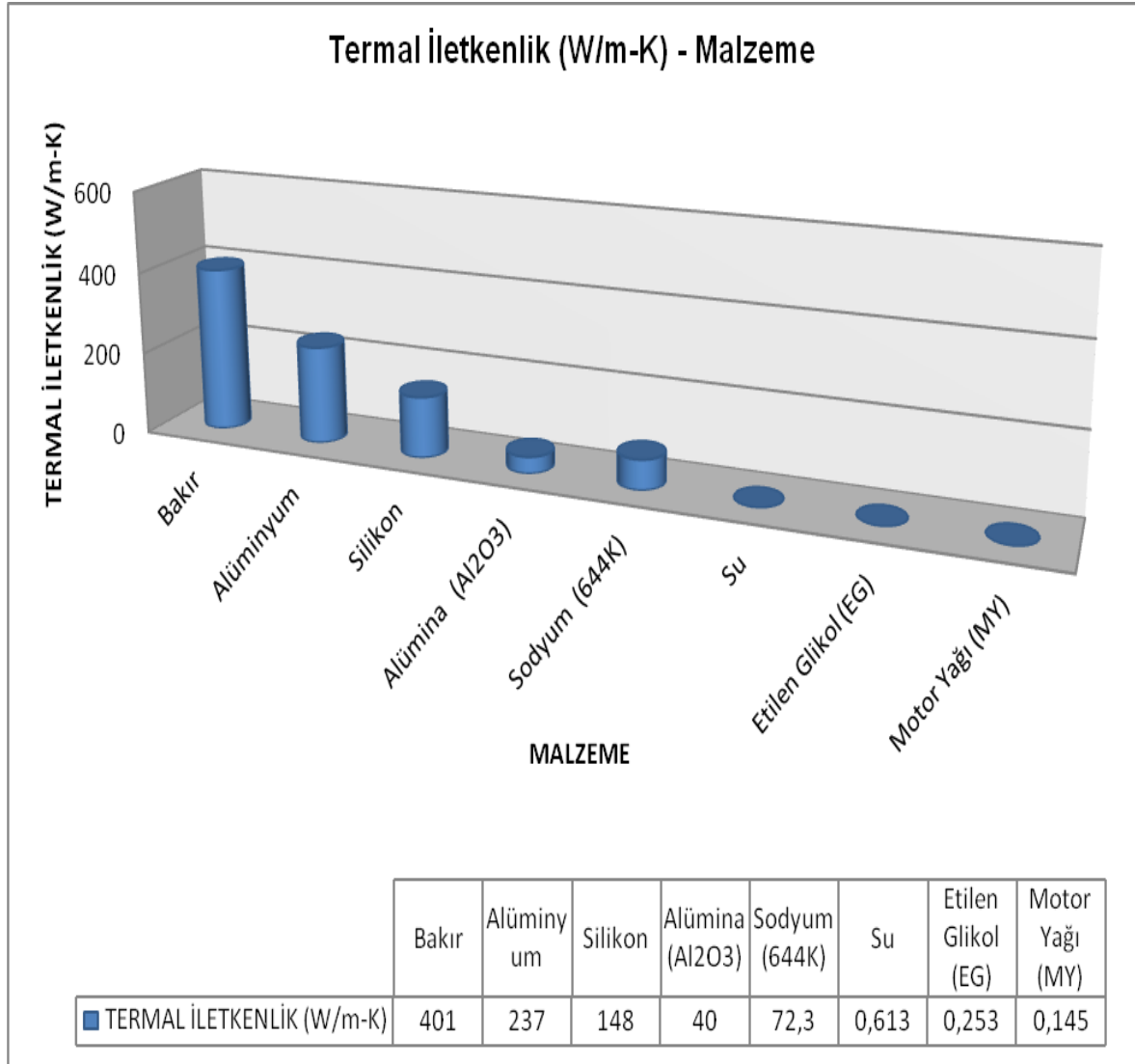
- Katı metalin ısı iletkenliği ana akışkanın ısı iletkenliğinde daha büyük olduğu için ana akışkanın içine süspanse edilen ince katı metal, ısı iletkenliğini artırır.
- Çalışma akışkanına süspanse edilen metal partiküller, akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırır.

- Partikül süspansiyonu efektif ısı kapasitesini yükseltir.
- Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar, akışkan ve akış yolu arasındaki temas yüzeyini artırır.
- Akışkanın çalkalanması ve türbülansı artar.
- Nano partiküllerin dağılımı, akışkanın yatay sıcaklık gradientinin düzleşmesine neden olur.

5.4. Nanoakışkan Hazırlanması

Nanoakışkanlar; su, madeni yağ, etilen glikol gibi temel sıvı içerisine metal, metal oksitler, karbon nanotüpleri ya da herhangi bir katı nano malzemenin eklenmesiyle elde edilir. Katı nano partiküller, kimyasal tekniklerle doğrudan temel sıvı içinde üretilebilir [47]. Şekil 5.1'de katı partiküllerin termal iletkenliklerinin geleneksel sıvılarınkinden birkaç yüz kat daha fazla olduğu görülmektedir. Sıvının termal iletkenliğini artırmak için sıvı içindeki ultra ince katı partiküllerin süspansiyonu fikir açısından çok önem arz etmektedir [44].

Nanoakışkanların hazırlanması, nanoakışkanlar ile yapılan deneylerdeki ilk önemli adımdır. Nanoakışkanlar sadece bir katı-sıvı karışımından ibaret olmamakla birlikte kararlı ve dayanıklı bir süspansiyon, parçacıkların ihmal edilebilir büyüklüğü, sıvıda kimyasal değişimin olmadığı bazı gereksinimleri sağlayan bir karışımdır. Nanoakışkanlar, nano ölçekteki partiküllerin su, etilen glikol ve yağ gibi akışkanlara süspansiyon edilmesiyle hazırlanan bir karışımdır. Nanoakışkan hazırlanmasında iki temel teknik kullanılmaktadır [48].



Şekil 5.1. Bazı katı ve sıvıların termal iletkenlikleri [44]

5.4.1. İki adım metodu

Temel olarak bu yöntemde; önce nano partiküller üretilir daha sonra uygun yöntemler sayesinde temel sıvı içinde süspansiyon edilir. Sonrasında ise partikülleri karışım içinde iyice dağıtmak ve kümelenmesini engellemek için ultrasonik işlemler uygulanır [48]. Bu yöntem, nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan nano partiküller, nano lifler, nano tüpler veya diğer nano materyaller ilk önce kimyasal ya da fiziksel yöntemlerle kuru toz olarak önceden üretilirler. Daha sonra nano boyuttaki toz ikinci bir aşama olarak manyetik kuvvetle çalkalanma, ultrasonik çalkalanma, yüksek kesmeli karıştırma, homojenleştirme ve bilyalı öğütücü yardımıyla bir sıvı içinde dağıtılır. Nano partiküllerin üretimi endüstriyel üretim seviyesine ulaştığı için

büyük ölçekli nanoakışkan üretiminde iki adım metodunu kullanmak oldukça ekonomik bir yöntemdir. Yüksek yüzey alanı ve yüzey aktifliği sebebiyle nano partiküller toplanma eğilimindedir. Nano partiküllerin sıvı içerisindeki kararlılığını artırmak için kullanılan önemli tekniklerden biri de yüzey aktif madde kullanmaktır. Fakat özellikle yüksek sıcaklık altında yüzey aktif maddelerin işlevselliği önemli bir endişe kaynağıdır. İki adım metodunda kararlı bir nanoakışkan hazırlamadaki zorluklar sebebiyle tek adım metodu başta olmak üzere diğer ileri teknikler geliştirilmiştir [44].

5.4.2. Tek adım metodu

Nano partiküllerin kurutulup depolanması ve taşınması aşamalarında kümelenmeler olması iki adım metodunda zorluklara yol açmaktadır. Bu yüzden nanoakışkanın kararlılığı ve termal iletkenliği ideal olmamaktadır. Buna ek olarak üretim maliyeti de yüksek olmaktadır. Nano partiküllerin kümelenmesini azaltmak için tek adım metodu geliştirilmiştir [44]. Bu yöntemde iki adım metodundan farklı olarak nano partiküllerin temel akışkan içerisinde üretilmesidir. Ancak burada da kuru nano partiküller üretmek için partikülleri sıvıdan ayırmak zordur [48].

5.5. Nanoakışkan Malzemeleri

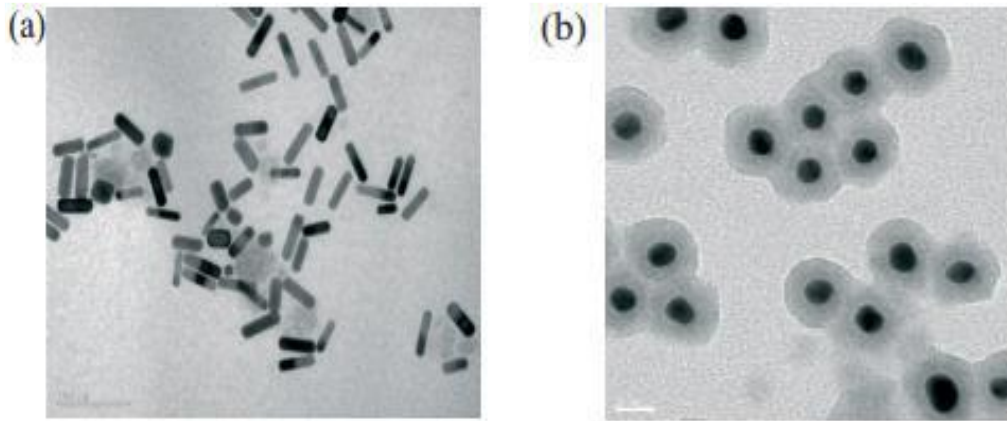
Isı transferinde kullanılan malzemelerin verimliliğinin artırılabilmesinde nanoakışkanlarda gözlenen yüksek ısı iletim katsayısı artışları önemli avantajlar sunmaktadır. Bu özellik sayesinde, ısı transferi ekipmanlarının işletme giderlerinin azaltılması ve ekipmanların boyutlarının küçültülmesi sağlanacaktır.

Modern üretim teknolojisi sayesinde nano boyuttaki malzemeler (Resim 5.1-5.3) üretilmektedir. Nano parçacıklar, aynı malzemenin daha büyük parçacıklarına kıyasla benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikler sergileyen bir malzeme sınıfıdır. Nanoakışkanlarda kullanılan nano partiküller birçok değişik malzemedir. Nano partiküllerin üretimi fiziksel ve kimyasal işlem olmak üzere iki geniş kategoride sınıflandırılabilir. Nanoakışkanlarda kullanılan bazı nano partikül materyalleri şunlardır;

- Oksit seramikler (Al_2O_3 , CuO , Cu_2O)
- Nitrit seramikler (AlN , SiN)
- Karbür seramikler (SiC , TiC)

- Metaller (Ag, Au, Cu, Fe)
- Yarı iletkenler (TiO_2)
- Tek, çift ve çok duvarlı karbon tüpleri (SWCNT, DWCNT, MWCNT)
- Çekirdek - polimer kabuk kompozit nano partikülü gibi kompozit malzemeler.

Bunlara ek olarak yeni malzemeler ve yeni yapılar partikül-sıvı arayüzünün çeşitli moleküllerle katkılı olduğu nanoakışkanlar kullanım için caziptir [49].



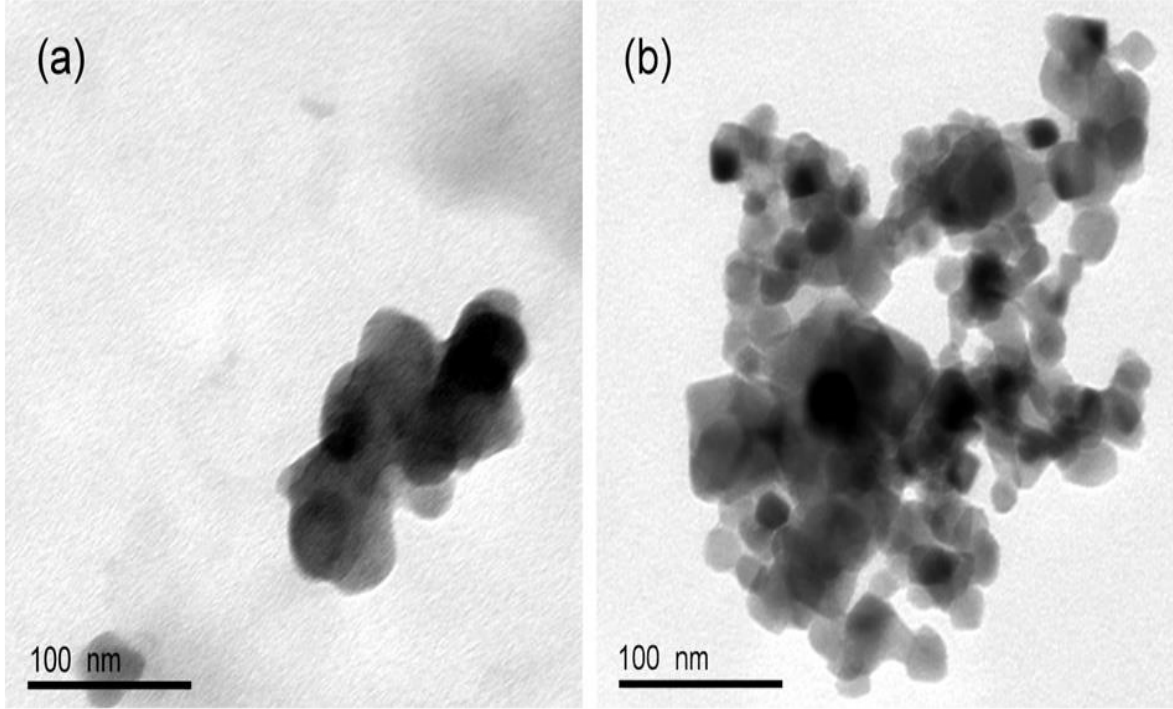
Resim 5.1. Nano partiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri (a) Altın Nanoçubuklar, (b) Altın çekirdek-silika nano partiküller [50]

5.5.1. Partikül büyüklüğü

Tarihsel gelişimine bakıldığında geleneksel ısı transfer akışkanlarının içine nano boyutlu partiküllerin süspanse edilmesiyle yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni bir mühendislik sıvısı elde edilmiştir. Nanoakışkan olarak adlandırılan bu sıvıların, sadece geleneksel sıvılardan değil aynı zamanda mikro boyutta metalik partiküller içeren sıvılardan da üstün özelliklere sahip olması beklenir. 10 nanometre çapındaki bir partikülün yüzey alanının hacime oranı, 10 mikrometre çapındaki bir partiküle göre 1000 kat daha fazla olduğundan partikül boyutunu küçültülmesiyle termal iletkenlikte bir iyileşme olması beklenir [42].

Boyutu 100 nanometrenin altında olan nano partiküller, hacimsel yapıları malzemelerden çok daha farklı ve üstün olarak kabul edilen özellikler sergilemektedirler. Nano yapıları partiküllerin gösterdikleri üstün özellikler sayesinde elektrik-elektronik, biyomedikal, otomotiv ve kimya sektörleri başka olmak üzere birçok endüstriyel alanda kullanıma

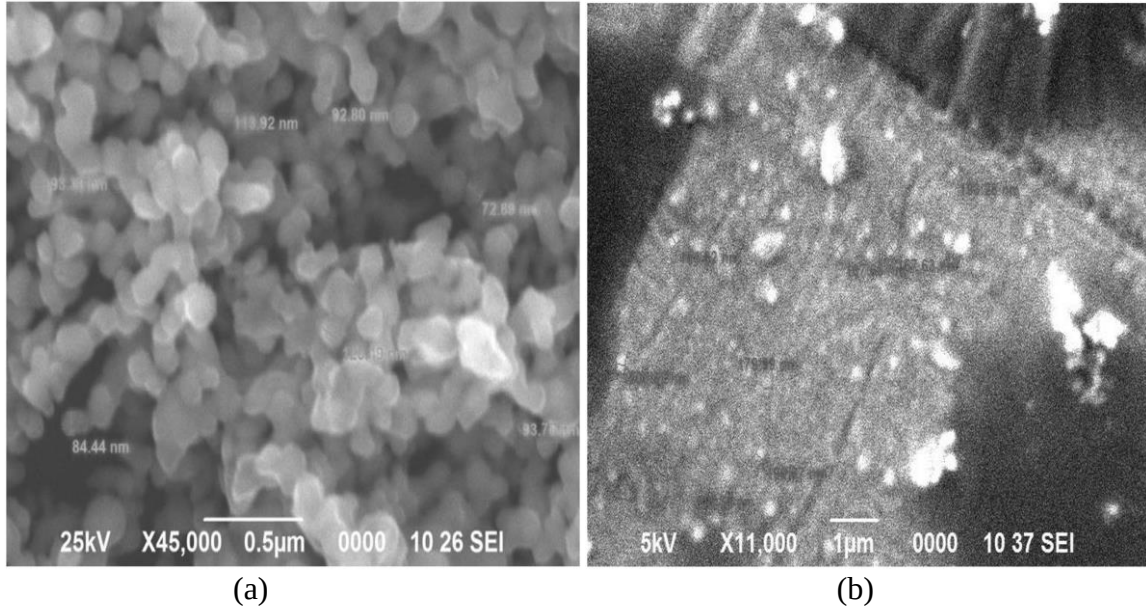
sahiptirler [50]. Ayrıca Mohd ve ark.[51], partikül boyutu büyüdükçe nanoakışkan viskozitesinde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir.



Resim 5.2. Alümina (a) ve Titanyum (b) nano partiküllerinin TEM (Transmission Electron Microscope) Mikrografisi [52]

5.5.2. Patikül şekli

Nanoakışkan oluşumunda kullanılan metalik partiküller genel olarak küresel, boru, disk ve çubuk şeklinde olmakla birlikte katı ya da gözenekli de olabilmektedir. Küresel katı şekline sahip nano partikül içeren bir nanoakışkanın küresel gözenekli nano partikül içeren nanoakışkana göre viskozitesi daha yüksektir [42,51]. Nano teknolojik malzemelerin çıkış noktasını oluşturan nano partiküller geniş bir kimyasal aralık ve morfolojide üretilebilirler. Günümüzde çekirdek-kabuk, katkılı, sandviç, boşluklu, küresel, çubuk benzeri (Resim 5.1) ve çok yüzlü gibi farklı morfolojilere sahip metal, metal alaşımı, seramik ve polimer esaslı veya bunların karışımından istenilen özelliklere sahip nano partiküller hazırlanabilir [50].



Resim 5.3. Cu partikülleri (a) ve Ag partikülleri (b) SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüsü [31]

5.6. Nanoakışkan Özellikleri

Nanoakışkanlar, eklenmiş olduğu temel akışkanın özelliklerinde önemli değişikliğe sebep olurlar. Bu önemli değişiklikler aşağıdaki avantajları meydana getirir [44];

- Nano boyuttaki partiküller sayesinde basınç düşüşü minimumdur.
- Nano partiküllerin yüksek termal iletkenliği ısı transferini artırır.
- Nanoakışkanların başarılı şekilde oluşturulması daha hafif ve daha küçük eşanjör kullanılmasını sağlayacaktır.
- Temel akışkan içindeki nano partiküllerin geniş yüzey alanı sayesinde ısı transfer oranı artar.
- Nanoakışkanlar, hızlı ısıtma ve soğutma sistemleri için çok uygundur.
- Nano boyuttaki partiküller sayesinde akışkan tek parça akışkan olarak düşünülebilir.
- Karışımı iyi sağlanmış bir nanoakışkan daha iyi ısı transferi sağlayacaktır.
- Nanoakışkanlar sadece ısı transferi için değil aynı zamanda yüksek ısı yüklerinin gerekli olduğu mikro kanal uygulamaları için de idealdir.
- Maliyet ve enerji tasarrufu. Nanoakışkanlar başarılı bir şekilde oluşturulursa ısı değişim sistemleri daha küçük ve daha hafif hale geleceğinden önemli derecede enerji ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır.

6. MATERYAL VE METOT

Geçmiş bilimsel yayınlar ışığında kristalize edilmiş katıların, sıvılara oranlara daha yüksek termal iletkenliğe sahip olduğu bilinmektedir. Sanayide atılan yeni adımlarla malzeme teknolojisinde yakın zamanda meydana gelen gelişmeler sayesinde, yüksek termal iletkenliğe sahip metalik partiküllerin üretimi nano boyutlarda gerçekleştirilebilmekte olup bu sayede ısı transferine büyük katkı sağlayan nanoakışkanların üretilmesi sağlanmıştır.

XO türevlerinden bazıları olan CuO, Fe₂O₃, Al₂O₃, ZnO, gibi oksitlerin su veya etanol vb. diğer sıvılarla laboratuvar ortamında süspansiyon yöntemiyle birleştirilerek elde edilen nanoakışkanların termosifon tip ısı borusunda kullanımıyla ısı transferinde hatırı sayılır gelişmelerin sağlandığı literatürde yer alan bazı çalışmalarda bildirilmiştir.

Bu çalışmada; SiO₂ ile birlikte MgO, Al₂O₃, TiO₂, NaO, Fe₂O₃, CaO, SO₃ gibi aşağıda Çizelge 6.1'de bileşenleri verilen çeşitli oksitlerden oluşan uçucu külün su ile değişen oranlarda süspansiyon edilmesiyle meydana gelen nanoakışkanın termosifon tip ısı borusunun termal performansına etkisi deneysel olarak incelemektedir. Deneylerde kullanılan nanoakışkanın katı materyalini oluşturan uçucu kül, Yatağan Termik Santralinin (Muğla, Türkiye) siklonlarında tutulan baca gazından elde edilmiştir.

6.1. Deneyler

6.1.1. Nanoakışkan hazırlanışı

Uçucu kül; 550 m²/g ile 850 m²/g aralığında değişen özgül bir yüzey alanına sahip olup kömür santrallerinin siklonlarında tutulan baca kalıntılarının atık yan ürünü olarak üretilmektedir. Aşağıdaki bileşenlerin eklenmesiyle sonradan ortaya çıkan karakteristik özelliği sayesinde çözünürlüğü ve termal performansında artışlar meydana gelmektedir. Demir oksit, amorf alümina, magnezyum oksit, kalsiyum oksit, sülfür, silika, ve diğer hafif metal oksitler uçucu kül karışımının bileşenleri arasındadır. Uçucu kül, en küçük parçacık boyutuna (0,1-1µm) sahip kömür yanma atığıdır. Bu çalışmada kullanılan uçucu küldeki kimyasal bileşim Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Uçucu kül tozunun kimyasal bileşimi (%)

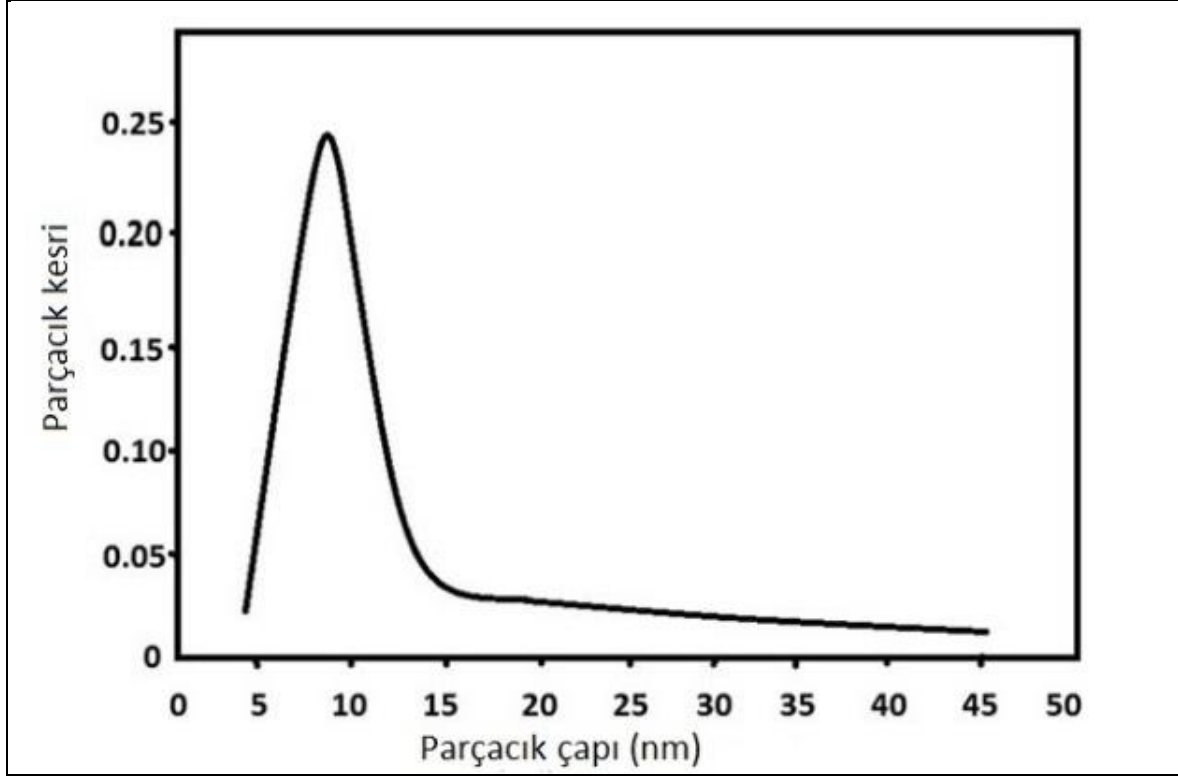
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	NaO	TiO ₂	K ₂ O
47.08	21.96	16.03	6.48	2.13	2.12	1.28	1.03	0.93

Uçucu kül parçacıklarının boyutu , Spex-8000 bilyalı öğütücü (Spex Industries, Inc., Edison, New Jersey, USA) vasıtasıyla ileri işlemden önce ortalama çapı 14nm küçültülerek tek biçimli parçacık boyutuna kadar rafine edilmiştir. Boyut, Şekil 6.1'de gösterildiği gibi 5-50 nm aralığında normal dağılıma sahiptir. Nanoakışkanı elde etmek için saf suya ağırlıkça %2 ve %4 oranlarında uçucu kül partikülleri eklenerek elde edilen karışım içinde bulunan uçucu külün çözünürlüğünü artırmak için %0,2'lik nihai konsantrasyona ulaşıncaya kadar yüzey aktif madde eklendi. Yüzey aktif madde olarak Triton X- 100 başlangıçta bir Rohm & Haas Co.'nun tescilli ticari markası olan Triton X-100, Union Carbide tarafından satın alınmış daha sonra Union Carbide'in satın alınması üzerine Dow Chemical Company (Midland, Michigan, ABD tarafından satın alınmıştır.

Literatüre bakıldığında etkili bir ısı aktarımının önünde büyük engel teşkil eden nano boyuttaki çalışma akışkanının ısı borusunun iç yüzeyine yapışması ve nanoakışkanın topaklanması sorunun önüne kapalı molekül formülü (C₁₄H₂₂O(C₂H₄O)_n) olan Triton X-100 yüzey aktifleştirici kullanarak geçilmiştir. Yüzey aktif madde; jel halini alıp kayganlık sağlayıp bunun yanında temas açısını azaltarak nano partikül olarak kullanılan uçucu külün dış tabakasının ıslanabilirlikteki artışını sağlar. Triton X-100 yüzey aktifleştirici, ıslanabilirlikteki artış ve yüzey gerilimindeki azalma sayesinde genel olarak boya ve deterjan endüstrisinde kullanılır.

Yüzey aktif maddelerin ısı iletkenliği artırmak için birden fazla metal oksit çeşidi ve folikül oluşumunun yanında ultrasona tabi tutulduğunda amorf bir yapı içermesi, uçucu külü diğer metal oksitlerden daha avantajlı hale getiren bazı önemli özellikleri arasında sayılabilir.

Çalışma akışkanı olarak deneyde kullanılacak olan nanoakışkan hazırlanırken, uçucu kül parçacıkları istenilen boyutta olmadığı için yüksek darbeli bilyeli öğütücü (Spex-8000) kullanılarak istenilen boyuta küçültülmüştür. Bunun yanı sıra ultrasonik banyo (Bandelin Sonorex Super RK514H, Berlin) ve yüzey aktif madde kullanılarak sıvı içinde uzun süre asılmıştır.



Şekil 6.1. Nano partiküllerin boyutsal dağılımı

Deneyde yüzey aktif madde olarak kullanılacak olan Triton X-100'ün nanosivindeki en uygun miktarını belirlemek için farklı oranlarda hazırlanan nanosivinin deney numunelerinin toplanması, köpürmesi ve kararlılığı belli bir süre gözlenmiştir. Oranın %0,2 olduğu durumda elde edilen nanoakışkanın deney için kullanılacak çalışma akışkanı olarak düşünülebileceği kanaatine varılmıştır.

Çalışmada kullanılan saf su - uçucu kül karışımının kararlı hale gelerek homojen bir yapıya kavuşması için kullanılan yöntemlerden biri olan ultrasonik titreşim sağlayan Ultrasonik Banyonun (Resim 6.1) teknik özellikleri Çizelge 6.2'de listelenmiştir.

Çalışma akışkanı olarak kullanılacak olan nanoakışkanının ısı performansının iyileşmesine katkı sağlaması düşünülen uçucu kül parçacıkları ultrasonik işlemci (Bandelin Sonorex Super RK514H) kullanılarak optimum sürede sürekli titreşimle saf suda dağıtıldı. Nanoakışkanın hazırlanması sırasında ısı iletkenliği artırmak üzere kullanılan yüzey aktif maddenin buharlaşmasını önlemek için kap düzenli olarak soğutuldu.

Çizelge 6.2. Bandelin sonorex super RK514H ultrasonik banyo cihazının teknik özellikleri [53]

TEKNİK ÖZELLİKLER	BİRİM	SONOREX SUPER RK514H
Çalışma Hacmi	Litre	13.5
Ultrasonik Gücü	Watt	860
Isıtma Gücü	Watt	600
İç Ölçüleri	e x b x y (mm)	325 x 300 x 150
Zaman Kontrolü	Dakika	0 - 15 dakika - süresiz
Drenaj	Musluk	Mevcut
Proses Frekansı	kHz	35

Saf su ile metal oksit nano parçacıkları ile arasındaki yoğunluk farkı büyük olduğundan nanoakışkan içindeki nano partiküllerin çökmesini önlemek ve iyi dağılmasını sağlamak deneysel çalışmada ısı transferinin iyileştirilmesi konusunda olumlu sonuçlar almak için yapılacak işlemlerin başında gelmektedir.

Geleneksel akışkanların ısı transfer performansını değiştirmek için nano partikül içeren nanoakışkanların hazırlanması, ilk önemli adımdır. Nanoakışkan, sadece katı-sıvı bir karışımı ifade etmez. Süspansiyon, dengeli süspansiyon, dayanıklı süspansiyon, düşük

partikül kümelenmesi, sıvının kimyasal olarak değişmemesi gibi bazı özel şartlar gereklidir. Genel olarak nanoakışkan süspansiyonların hazırlanmasında kullanılan etkili yöntemler üç çeşittir;

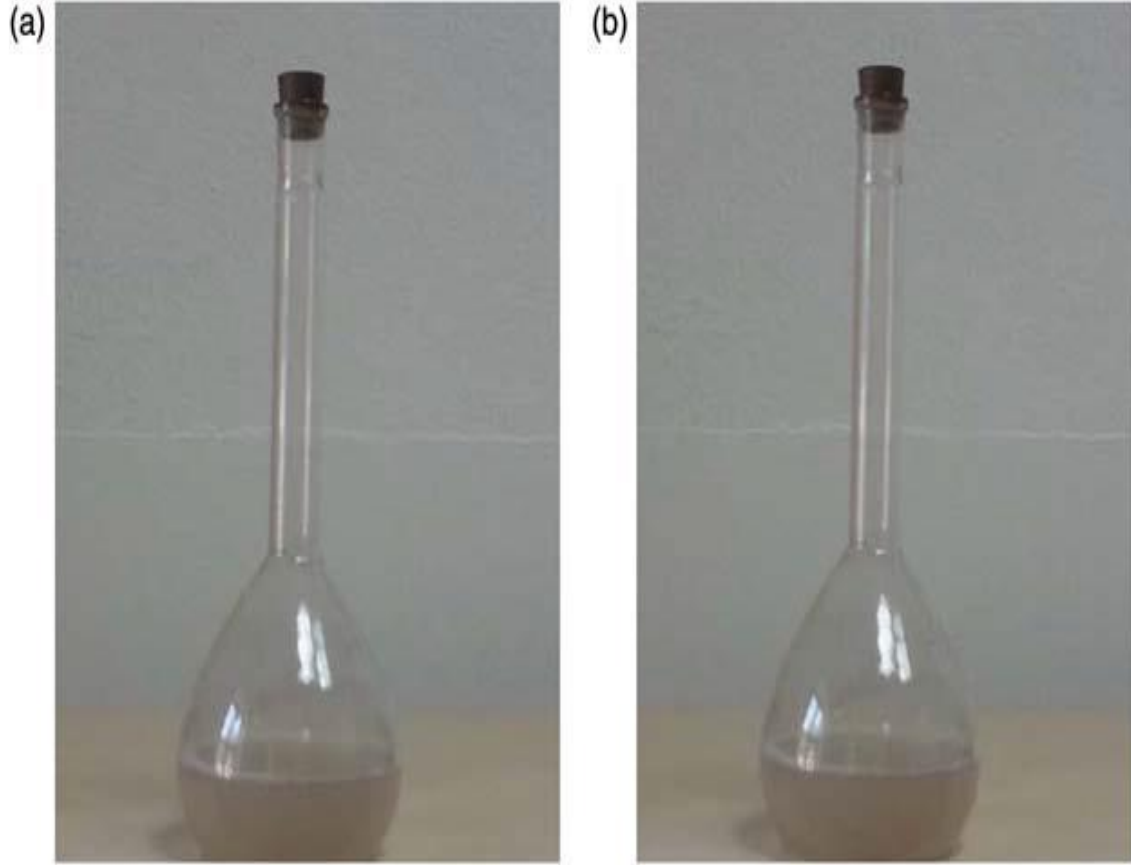
1. Kullanılan süspansiyonların pH değerini değiştirmek,
2. Yüzey aktifleştirici ve/veya dağıtıcı kullanmak,
3. Ultrasonik titreşimler kullanmak,

Bütün bu teknikler, süspansiyon halindeki partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmeyi ve stabil süspansiyonlar elde etmek için partikül kümesinin oluşumunu engellemeyi amaçlar [54].

Nanoakışkanın çökmesini önlemek ısı transferinde kabul edilebilir bir iyileşmeyi sağlamak adına oldukça önemli bir parametredir. Bu anlamda yapılan çalışma safhasında ilk olarak yüksek enerjili darbeli bilyeli öğütücü (Spex-8000) yardımıyla uçucu külün nano parçacıklarında bulunan farklı metal oksitlerin amorf yapısı nano formuna indirildi. İkinci olarak, uçucu kül solüsyonuna yüzey etki alanını ve ıslanabilirliğini artırarak deiyonize suda dağılmasını sağlamak için Triton-X 100 adı verilen aktif yüzey maddesi eklendi. Daha sonra nano boyuttaki uçucu kül, suda ultrasonik banyo ile çözüldü. Çalışmada kullanılan uçucu kül nano parçacıklarında bulunan farklı metal oksitlerin amorf yapısından dolayı, yüzey aktif madde olarak Triton X 100 kullanılması parçacıkların saf suda dağılmasını sağlamıştır. Nanoakışkanın ağırlık olarak %2'lik süspansiyonu deney öncesi ve sonrasında Resim 6.2'de gösterilmiştir.



Resim 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan ultrasonik banyo



Resim 6.2. Uçucu kül nanoakışkanın kararlılık fotoğrafı a) Deney öncesi b) Deney sonrası

Spesifik olarak uçucu külün amorf yapısı, elde edilen nanoakışkanın solüsyonun stabilitesini artırmada önemli bir parametredir. Nanoakışkan, % 0.2 - % 0.4 oranlarında yüzey aktif madde kullanarak yapılan çalışmada minimum topaklanma ile optimal haldeki nanoakışkan, % 0.2'lik bir yüzey aktif madde oranında elde edildi. Nanoakışkanlar, ağırlıkça % 4'ten daha yüksek farklı oranlarda uçucu kül nano parçacıklarının eklenmesiyle elde edildiğinde, topaklanma değişir ve stabilitenin sürdürülmesi zorlaşır.

6.1.2. Deney düzeneği

Bu çalışmada; 400 mm kondenser, 200 mm adyabatik bölge, diğer 400 mm de evaporatör olarak belirlenen 1 m uzunluğunda, dış çapı 15 mm, iç çapı 13 mm olan düz bir bakır boru deneysel olarak termosifon tip ısı borusu olarak kullanılmıştır. Deney düzeneğinin fotoğrafı Resim 6.3'te gösterilmiştir.

Kullanılan termosifon tip ısı borusu sisteminden ısı kaybını en aza indirmek için borunun tüm bölümleri cam yünü ile sarıldı. Isı borusunun kondenser bölümünden etrafında kurulan soğutucu vasıtasıyla ısı uzaklaştırılmıştır. Kondenser bölgesini soğutmak için kullanılan soğutma suyunun akışını kontrol etmek için debimetre kullanıldı.

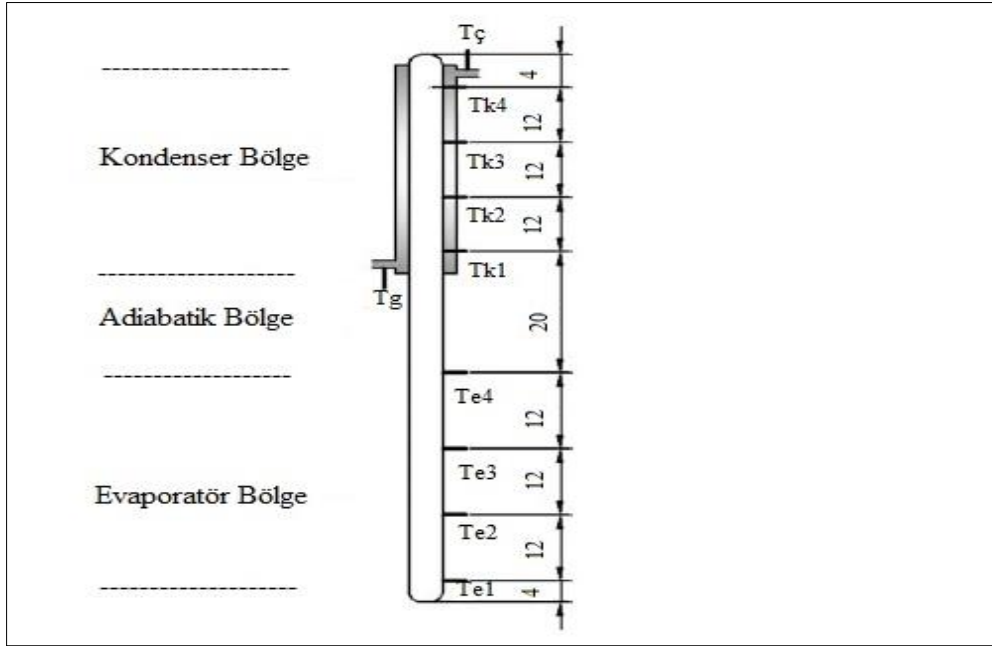
Evaporatör bölge, bir Cr-Ni telinden oluşan 1500 W nominal güce sahip bir elektrikli ısıtıcı kullanılarak ısıtılmıştır. Sistemin giriş gücü, bir wattmetre yardımıyla (Fluke-43b analizörü, Fluke, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri) ölçülmüştür.

Wattmetrede ölçülen ısıнын çalışma akışkanına tamamen aktarılması düşüncesiyle evaporatör bölümü tamamen izole edilmiştir. Sistemim giriş gücü değerleri 200W, 300W ve 400W olarak belirlenmiş olup kondenserda çalışma akışkanının yoğunlaşması için kullanılan soğutma suyunun debisi de 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s olarak üç farklı değere sabitlenmiştir. Sistemin sıcaklık dağılımını izlemek ve istenilen bölgelerin anlık sıcaklık değerlerinin ölçümü için 10 adet K- tipi termokupl kullanılmıştır. Bunların dördü 12 cm aralıklarla kondenser bölgesine, diğer dördü yine 12 cm aralıklarla evaporatör bölgesine, iki tanesi de sıcaklık farkının belirlenmesi için soğutucu sıvısının giriş ve çıkış kısmına yerleştirilmiştir.



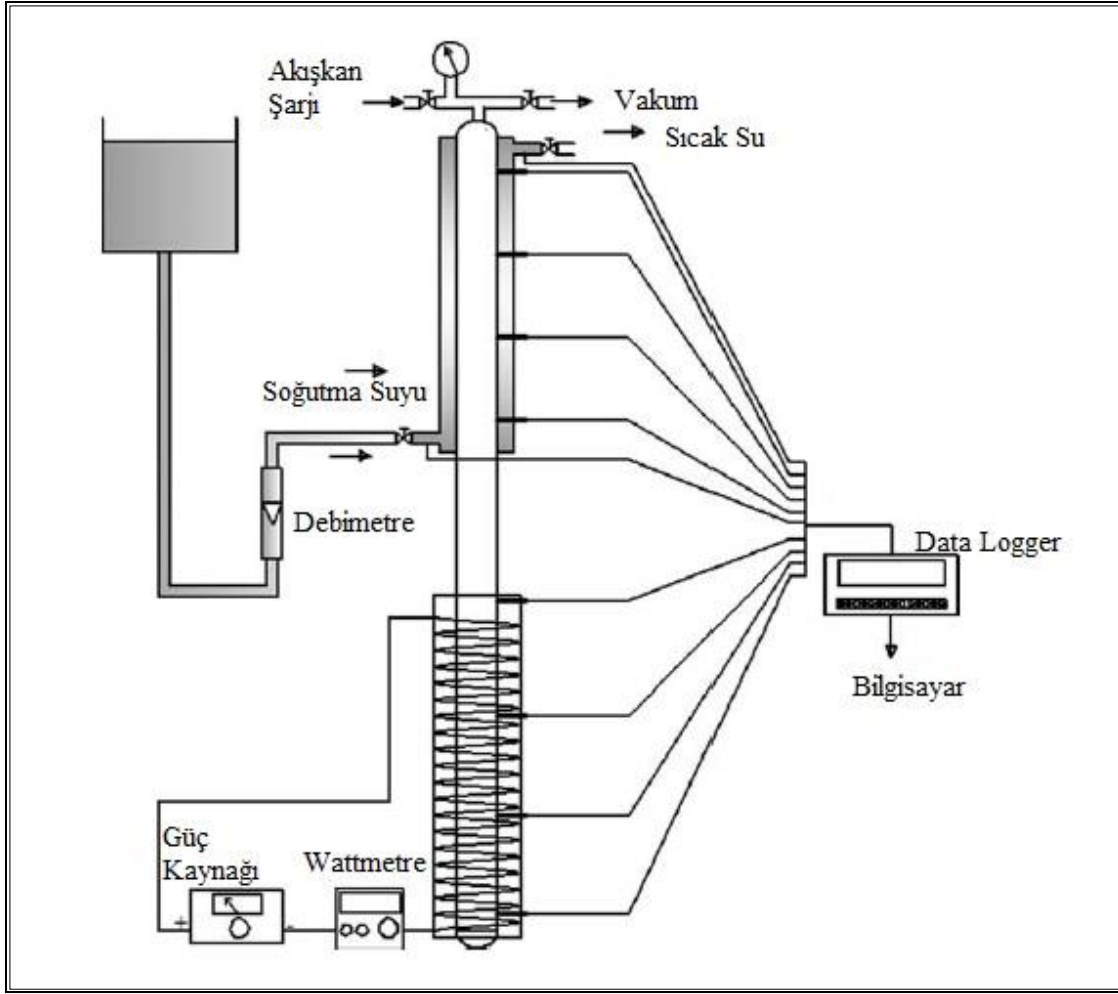
Resim 6.3. Deney düzeneği fotoğrafı

Yerleştirilen termokuplların kayıtları bir veri kayıt cihazı (Elimko E-680, Türkiye) sayesinde izlenerek kayıt altına alınmıştır. Kullanılan K-tipi termokuplların sistem üzerindeki yerleşimi Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Kullanılan termokuplların ısı borusu üzerindeki yerleşimi

Kullanılan termosifon tip ısı borusu yatay doğrultuda 90° 'lik açıyla konumlandırılmış olup çalışma akışkanı olarak kullanılan uçucu kül temelli nanoakışkan ile saf su, kullanılan termosifon tip ısı borusunun toplam hacminin yaklaşık $1/3$ 'üne karşılık gelen hacimsel 44.2 ml olarak aynı değerde tutulmuştur. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

6.2. Belirsizlik Analizi

Deneyler üç kez tekrarlanmış olup her testteki sıcaklıkların ortalaması kullanılmıştır. Sonuçların belirsizliği deneysel parametrelerdeki sapmaya dayanarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan cihazların doğrulukları aşağıda listelenmiştir.

Debimetre	$\pm 0.01 \text{ g/s}$
Wattmetre	$\pm 1 \text{ W}$
Termokupl	$\pm 0.5^\circ\text{C}$

Deneyler için toplam termal iletkenliğin belirsizliği şu şekilde ifade edilebilir;

$$U_m = \sqrt{\frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta m}{m}} \quad (6.1)$$

Deneylerin belirsizliği Eş. 6.1'e dayanarak $\pm\%3$ arasındadır.

6.3. Nanoakışkanın Fiziksel Özellikleri

Deneylerde kullanılan uçucu kül nano partiküllerinin ana akışkan içerisinde homojen dağıldığı düşünüldüğünde kullanılan nanoakışkanların öz ısı, yoğunluk, termal iletkenlik, viskozite gibi etkili fiziksel özelliklerini bazı klasik formüller kullanarak tahmin edilebilir [55].

Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanın yukarıda bahsedilen fiziksel özelliklerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\rho_{nf} = \varphi \cdot \rho_p + (1 - \varphi) \cdot \rho_w \quad (6.2)$$

$$(\rho C_p)_{nf} = \varphi (\rho C_p)_p + (1 - \varphi) (\rho C_p)_w \quad (6.3)$$

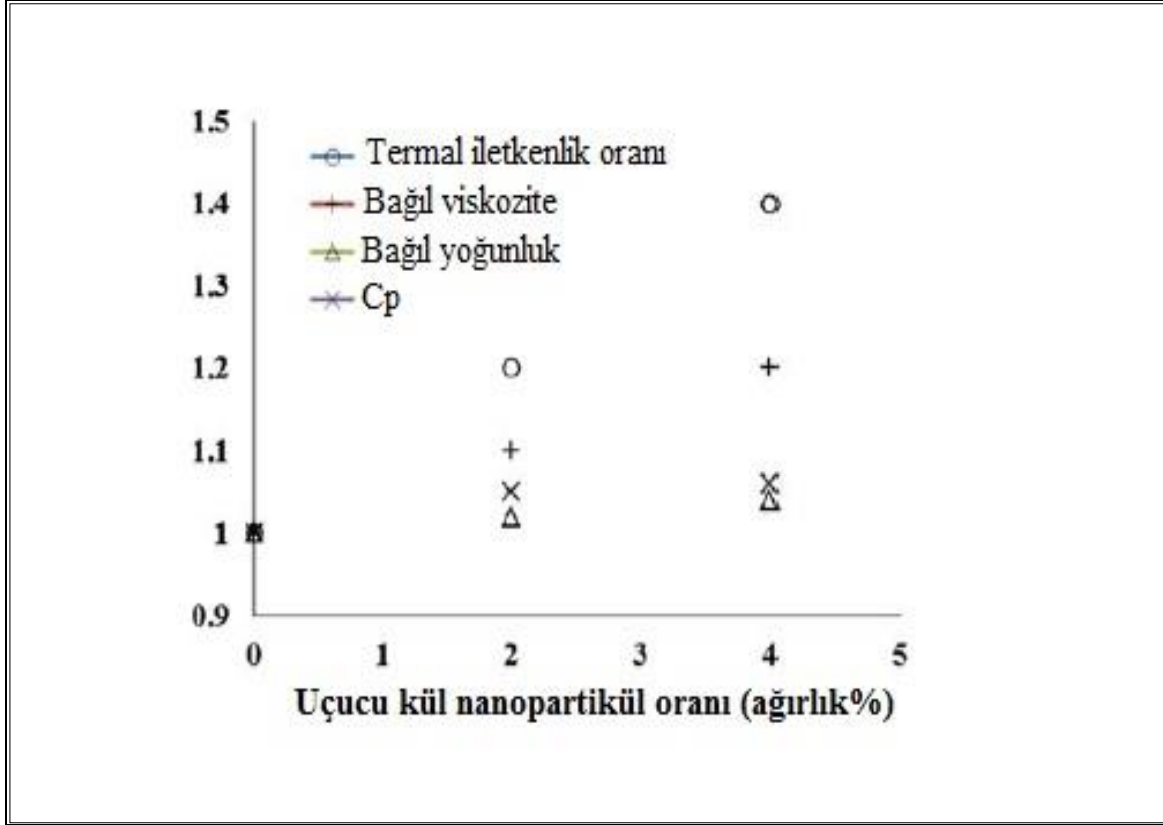
$$\mu_{nf} = \mu_w (123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1) \quad (6.4)$$

Bu eşitliklerde "nf" alt simgesi; nanoakışkana, "p" alt simgesi; partiküle, "w" alt simgesi de saf suya karşılık gelmektedir. " φ " çalışma akışkanı elde etmek için saf suya konulan nano partikülün hacimsel oranını ifade etmektedir. Geçici sıcak tel yöntemi termal iletkenlik ölçümü için kullanılan bir yöntemdir. Nagasaka ve Nagashima [56] tarafından sunulan ilkeye göre ölçülen akışkanların termal iletkenlikleri "k";

$$\frac{q}{4\pi k} = \frac{d\Delta T}{d\ln t} \quad (6.5)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Burada "q"; birim uzunlukta uygulanan ısı gücünü, "t"; ısıtma süresini, " $T = \Delta T$ " ise sıcak teli sıcaklığındaki yükselişi ifade etmektedir [28].

Ağırlıkça %2 ve %4 oranlarındaki nanoakışkanın saf suya göre boyutsuz fiziksel özellikleri Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Buradan, uçucu kül nano parçacıklarının miktarının artırılması; temel akışkanın fiziksel özelliklerini değiştirebileceği görülmektedir.



Şekil 6.4. Nanoakışkanın saf su ile karşılaştırıldığında boyutsuz fiziksel özellikleri

6.4. Teorik Analiz

Kondenser bölümündeki soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklık farkı termokupl vasıtasıyla ölçülmüştür. Sistemin soğutulması için soğutma suyu vasıtasıyla kondenserden çekilen ısı miktarı Eş. 6.6'da verilmiştir. Soğutmada kullanılan suyun kütleli debisi ve öz ısı ısı transferinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (6.6)$$

Kondenser bölgesinden çalışma akışkanının yoğunlaşması için soğutma suyu tarafından çekilen ısı, evaporatör bölgesine elektrikli ısıtıcı vasıtasıyla verilen ısıya oranı yani

sistemden çekilen ısınn sisteme verilen ısıya oranı, termosifon tip ısı borusunun verimi olarak tanımlanır ve Eş. 6.7'deki gibi gösterilir.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_e} = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \quad (6.7)$$

Bu eşitlikte $\dot{Q}_e$; 200W, 300W ve 400W olarak sisteme verilen ısıyı ifade etmektedir. Evaporatör bölgesi tümüyle yalıtıldığı için sisteme verilen ısınn tamamının çalışma sıvısına aktarıldığı kabul edilmiştir.

Isı borusu üzerindeki kondenser ve evaporatör bölgeleri arasındaki termal direnç Eş. 6.8 kullanılarak hesaplanabilir.

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_{in}} \quad (6.8)$$

Burada $\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_e$ ısııl gücü (200W, 300W, 400W) ifade etmekte olup ΔT ise ısı borusu üzerinde bulunan evaporatör ve kondenser bölgelerinin farklı dörder noktasından ölçülen sıcaklık ortalamalarının arasındaki fark olup Eş. 6.9'da gösterilmiştir.

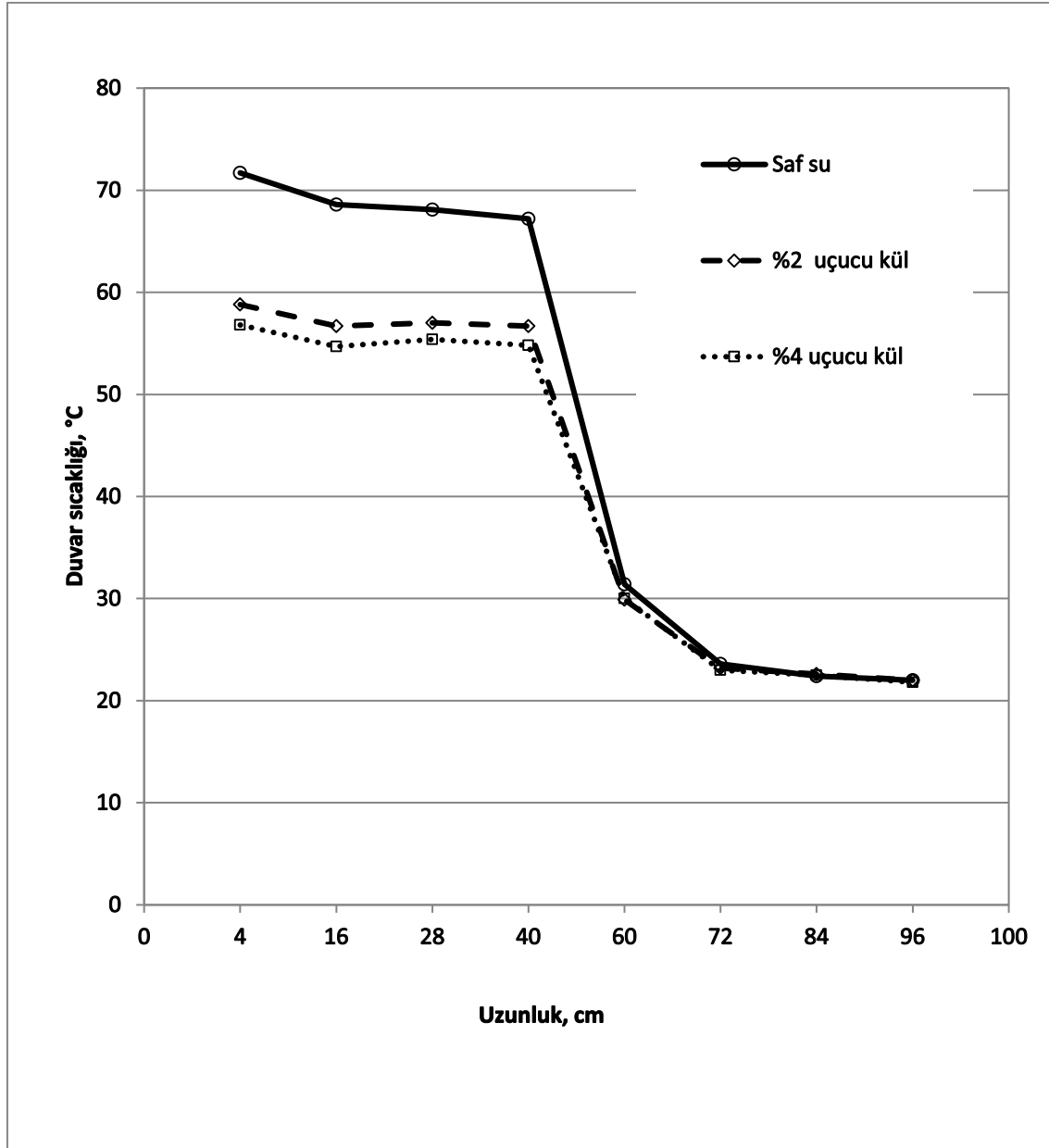
$$\Delta T = \left(\frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4}}{4} \right) - \left(\frac{T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} + T_{c4}}{4} \right) \quad (6.9)$$

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapılan deneylerde termosifon tip ısı borusunun veriminin artırılması için saf su ve değişik oranlarda uçucu kül partikülleri içeren su bazlı uçucu kül nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneyler; ısı borusuna öncelikle saf su şarj edilerek yapılmış olup saha sonra değişik konsantrasyonlarda elde edilen uçucu kül nanoakışkanı şarj edilerek sonuçlar elde edilmiştir.

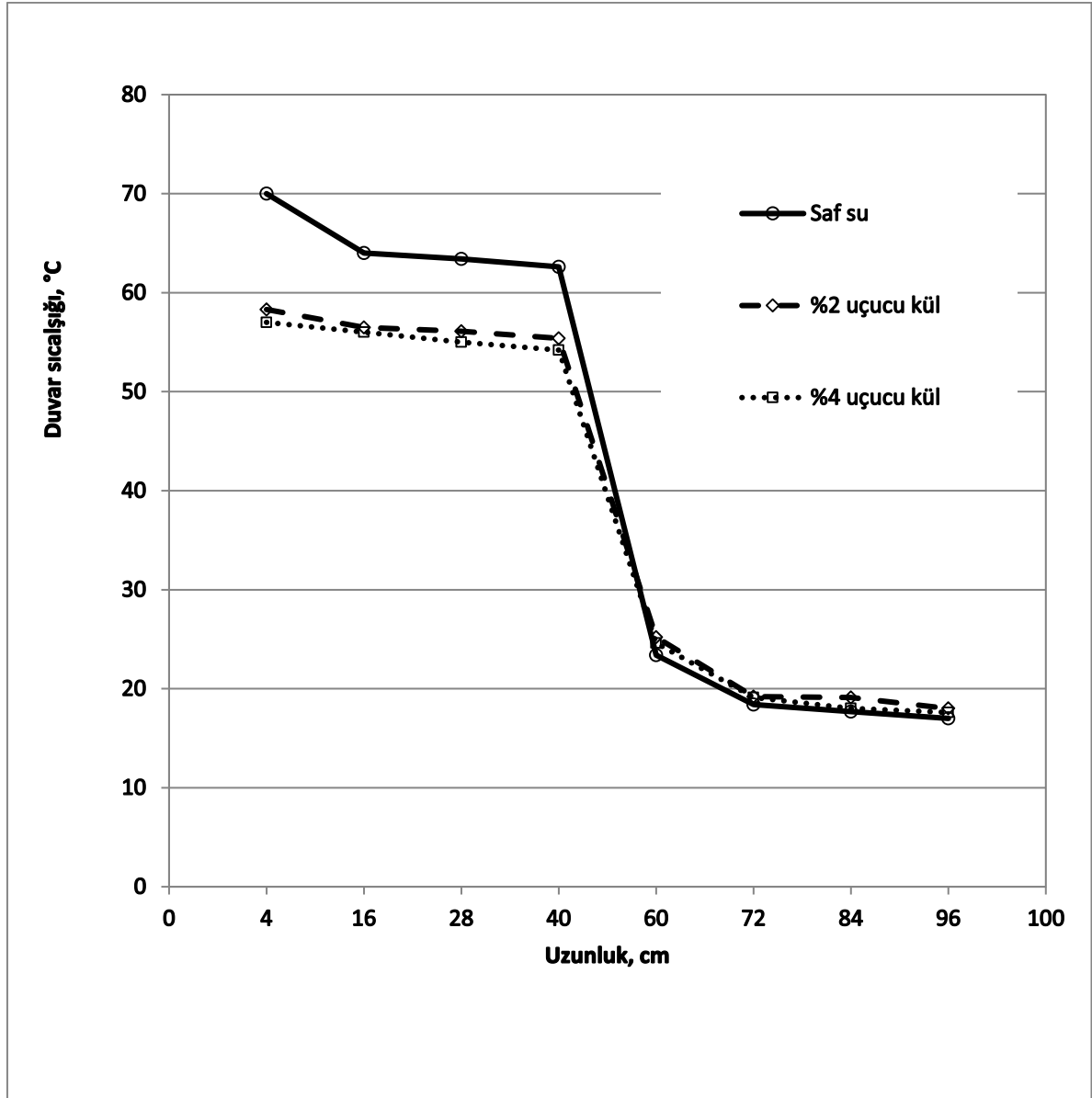
Şekil 7.1 ile Şekil 7.9 dikey konumlandırılan termosifon tip ısı borusu sistemine sırasıyla 200W, 300W ve 400W'lık giriş gücü ve 5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s kütleli akış hızlarında çalışma akışkanının yoğunlaşmasını sağlayan soğutma suyunun uygulanmasıyla su ve çeşitli oranlarda uçucu kül nano partikülü içeren nanoakışkan kullanarak ısı borusu üzerindeki elde edilen dış duvar sıcaklık dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 7.1 ile 7.3 sisteme uygulanan 200 W giriş gücü altında çalışma akışkanı olarak; saf su, ağırlıkça %2 ve %4 uçucu kül nanoakışkanı içeren ve sırasıyla 5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s kütleli akış hızlarında soğutma suyunun uygulanmasıyla kullanılan ısı borusunun dış duvar sıcaklık dağılımını göstermektedir.



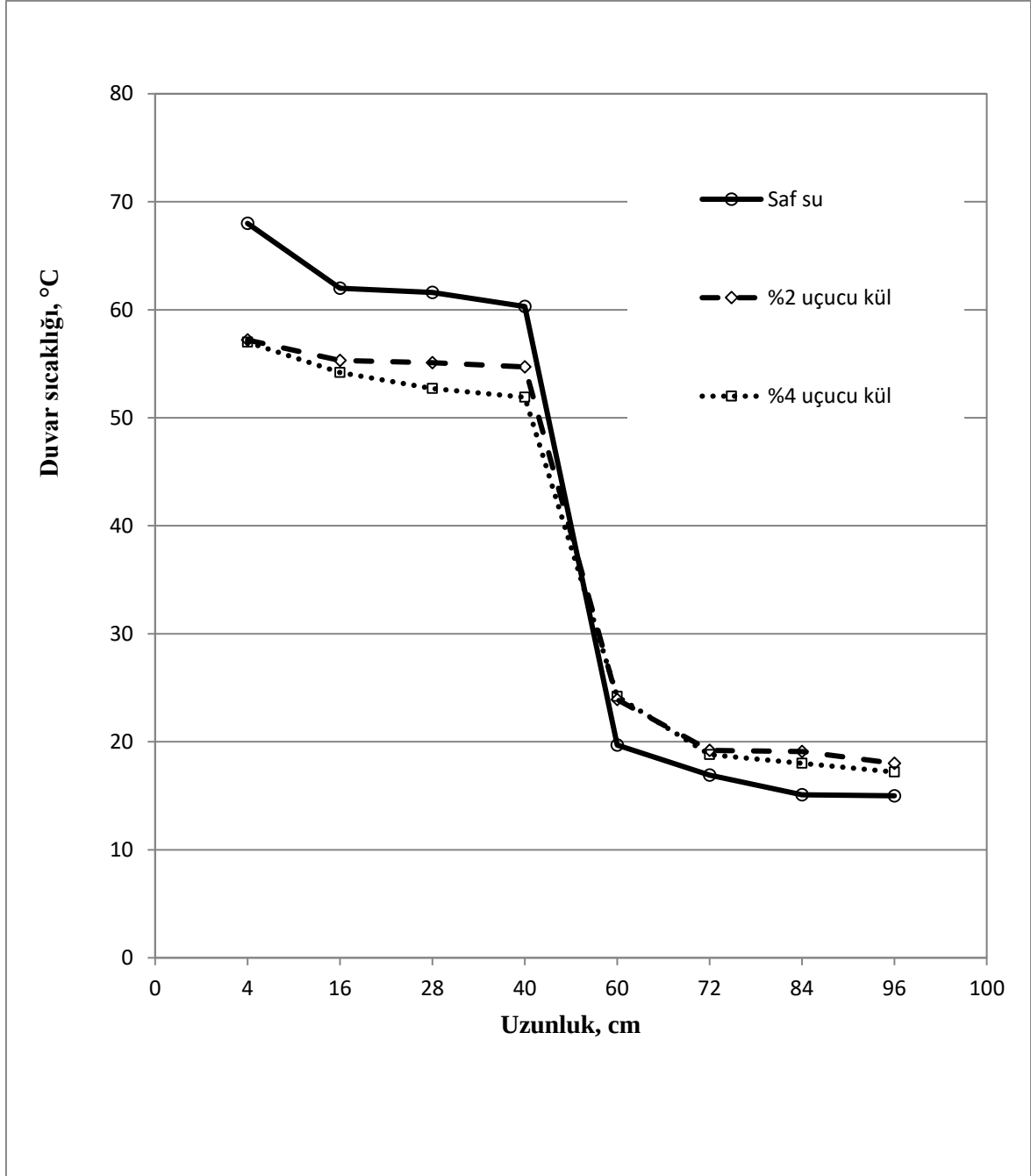
Şekil 7.1. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 200W giriş gücünde, 5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Buna göre her üç durumda da nanoakışkan kullanımının saf su kullanımına göre ısı borusunun evaporatör ile kondenser bölgeleri arasındaki sıcaklık farkını azalttığını göstermektedir. Bu da nanoakışkan kullanımının saf suya göre daha iyi performans sağladığını göstermektedir.



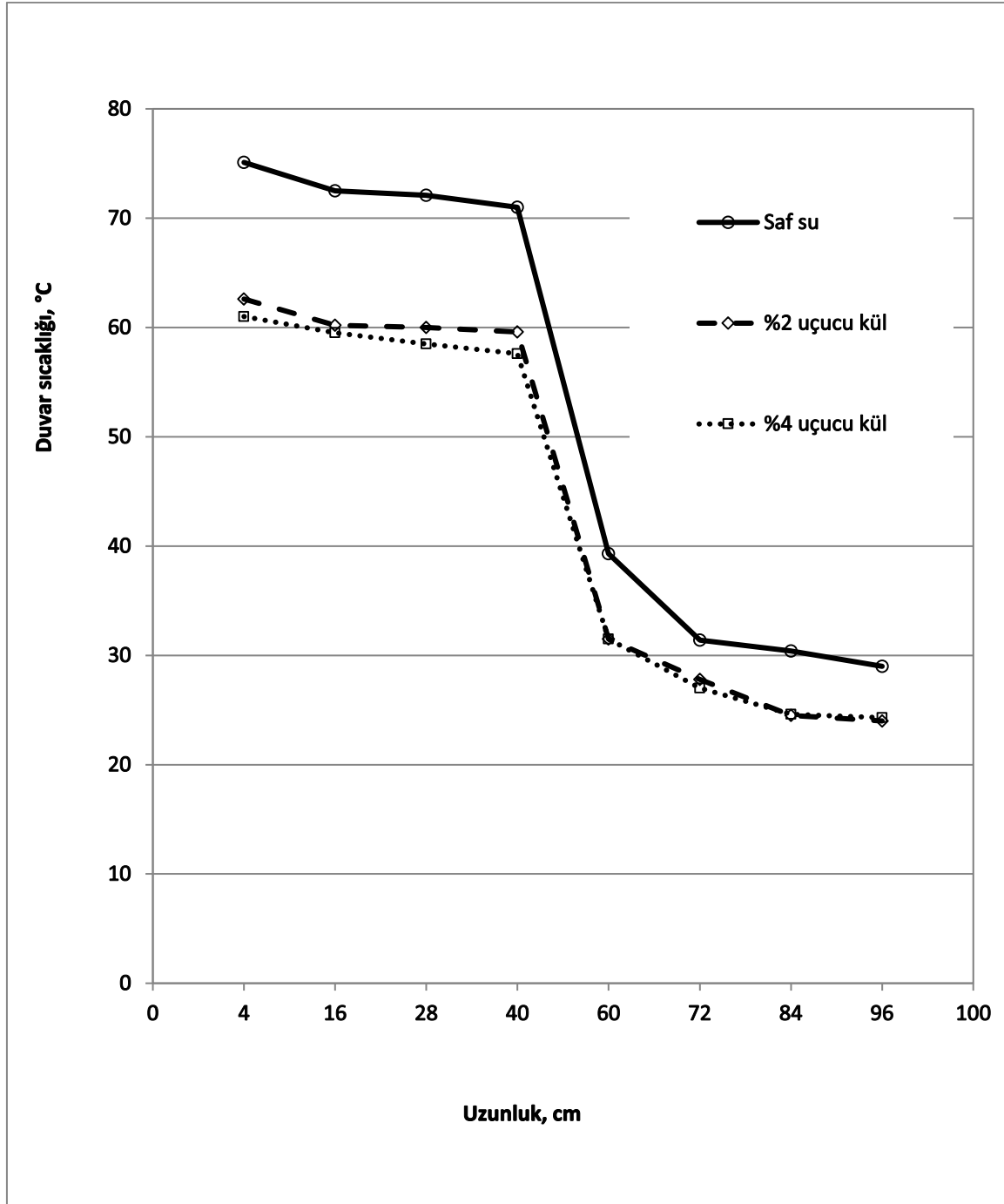
Şekil 7.2. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 200W giriş gücünde, 7,5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Şekil 7.1'de 200 W giriş gücünde kullanılan farklı akışkanlar içerisinde 5 g/s'lik soğutma suyu altında %4 uçucu kül nanoakışkanı kullanılmasıyla evaporatör ile kondenser bölgeleri arasındaki sıcaklık farkı 24.8°C olarak ölçülmüştür.



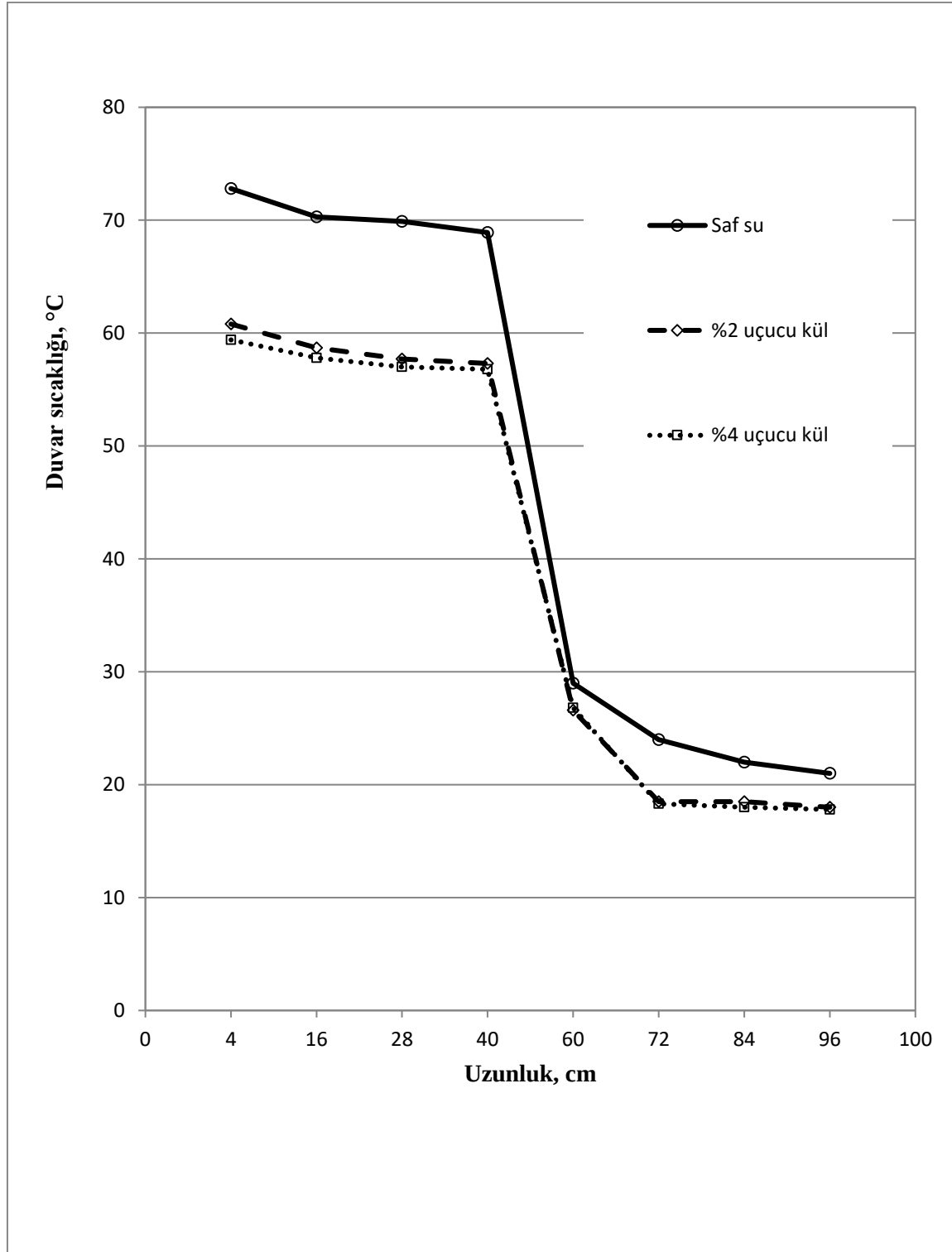
Şekil 7.3. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 200W giriş gücünde, 10 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Yapılan deneyler sonunda ısı borusu duvarı sıcaklığında evaporatörden kondensere doğru kademeli bir düşüş gözlenmiştir. İki fazlı kapalı termosifonda saf su yerine nanoakışkan kullanılması evaporatör ortalama duvar sıcaklığını önemli ölçüde düşürmüştür.



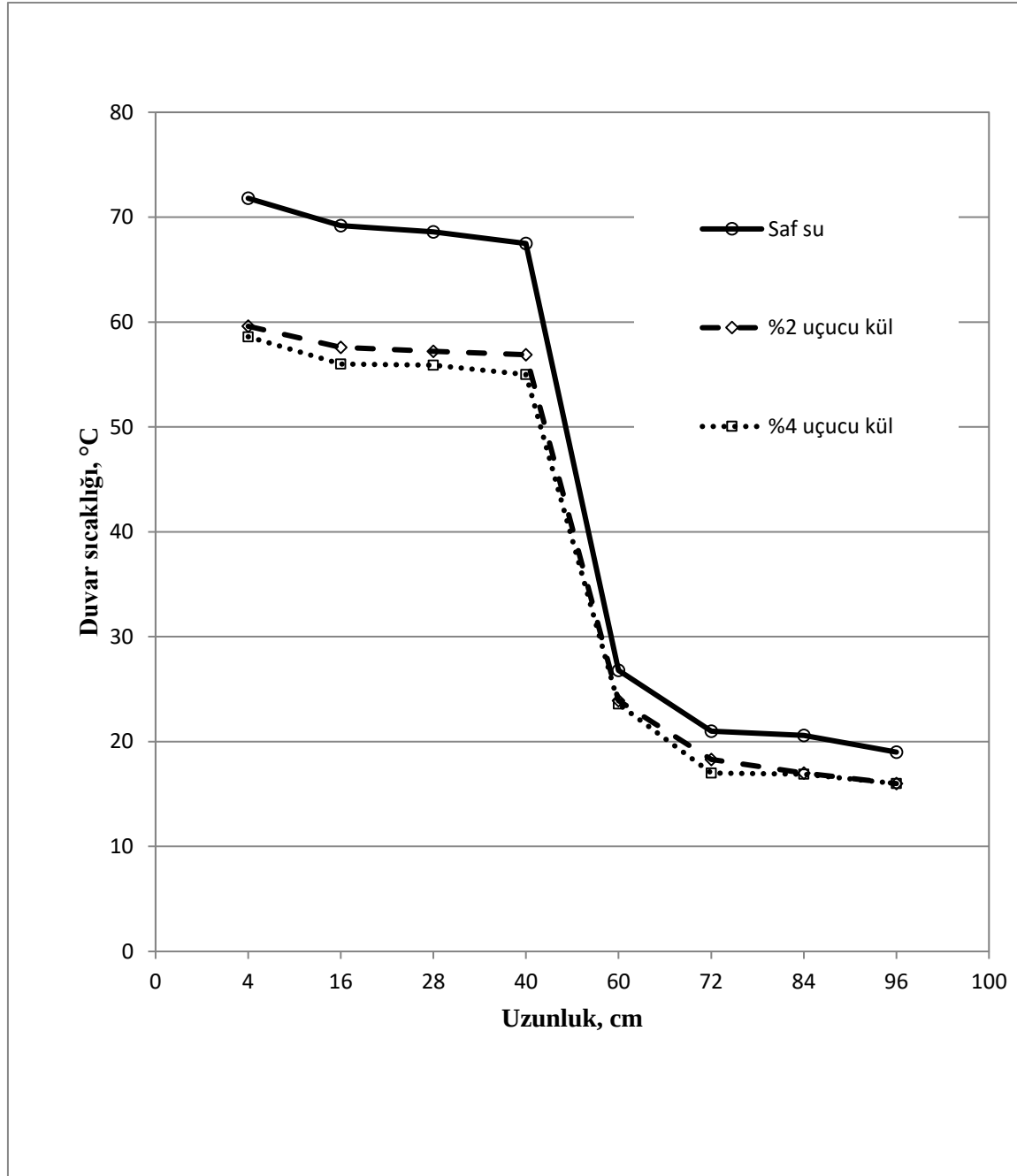
Şekil 7.4. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 300W giriş gücünde, 5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Şekil 7.4'te görüleceği üzere sistemin giriş gücü 300W, soğutma suyu debisi 5 g/s belirlenerek yapılan deneylerde çalışma akışkanı olarak saf su yerine ağırlıkça %4'lük uçucu kül nanoakışkanı tercih edildiğinde evaporatör ortalama duvar sıcaklığının 72,68 °C den 60,6 °C ye düştüğü gözlemlenmiştir.



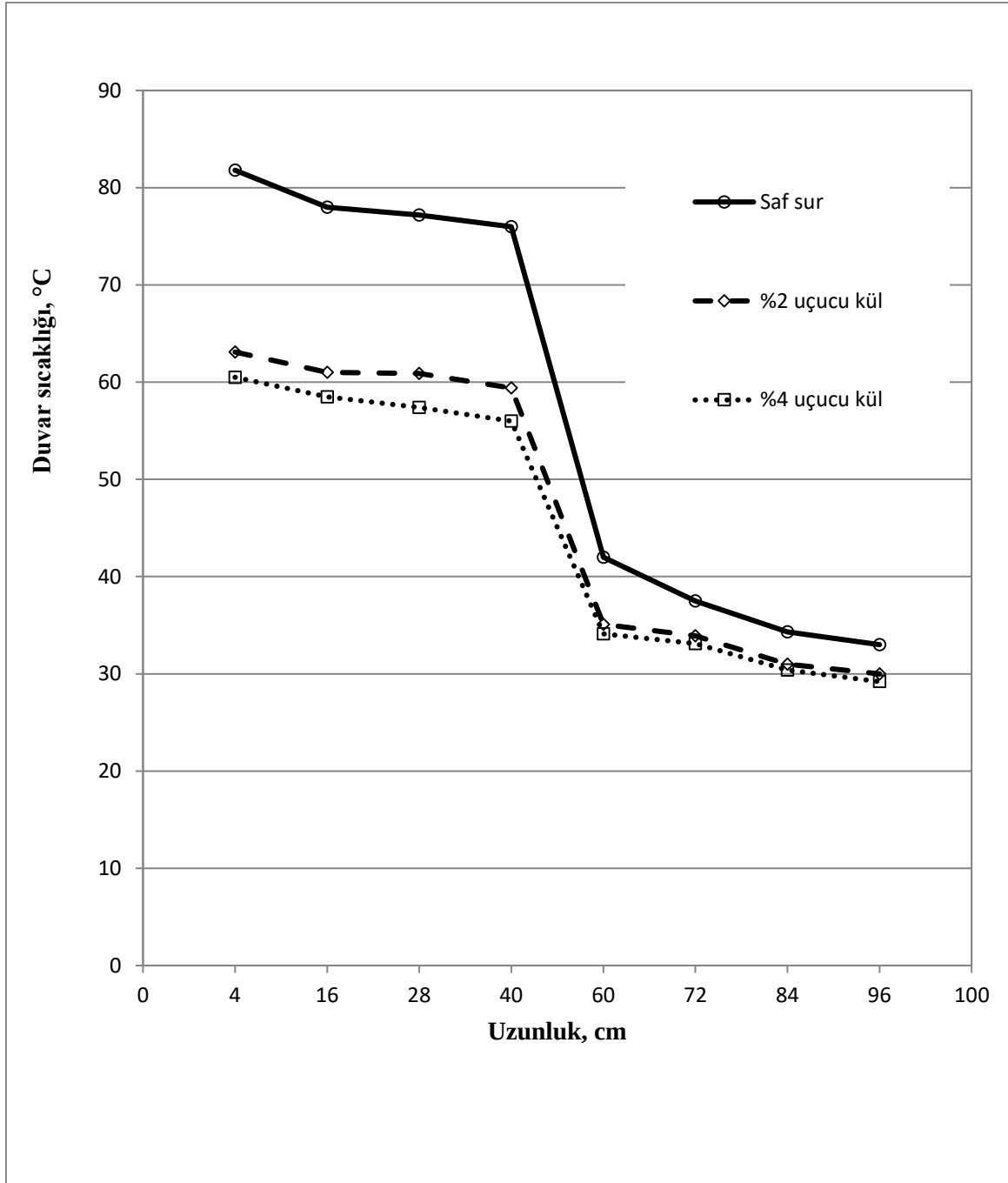
Şekil 7.5. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 300W giriş gücünde, 7,5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Buna göre çalışma akışkanı değiştiğinde evaporatör ortalama duvar sıcaklığında 12,08 °C'lık bir azalma meydana gelmiştir. Deneylerde evaporatör ortalama duvar sıcaklığındaki azami düşüş; Şekil 7.6'da 300W giriş gücünde, 10 g/s'lik soğutma suyu debisi uygulandığında 17 °C olarak kaydedilmiştir.



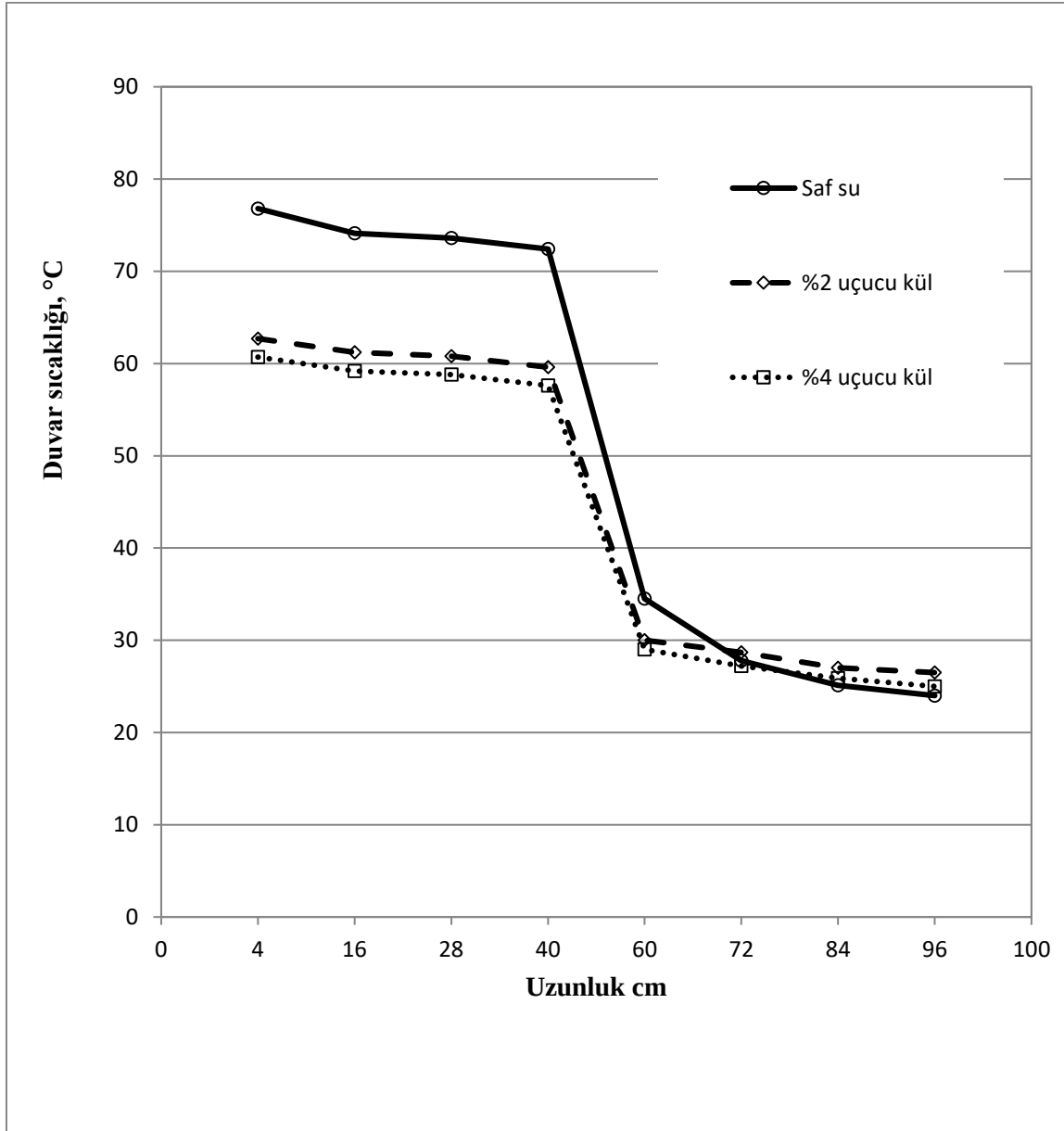
Şekil 7.6. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 300W giriş gücünde, 10 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Bu çalışmada; sisteme uygulanan farklı giriş glerinde, çalışma akışkanının yoğuşması için kullanılan soğutma suyunun değişik kütle akış hızlarında kullanılan iř akışkanlarının evaporatör ve kondenser bölgesindeki sıcaklık ortalamalarının farkları (ΔT) ile iř akışkanı olarak saf su yerine nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun termal direncinde meydana gelen azalma izelge 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.7. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 400W giriş gücünde, 5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

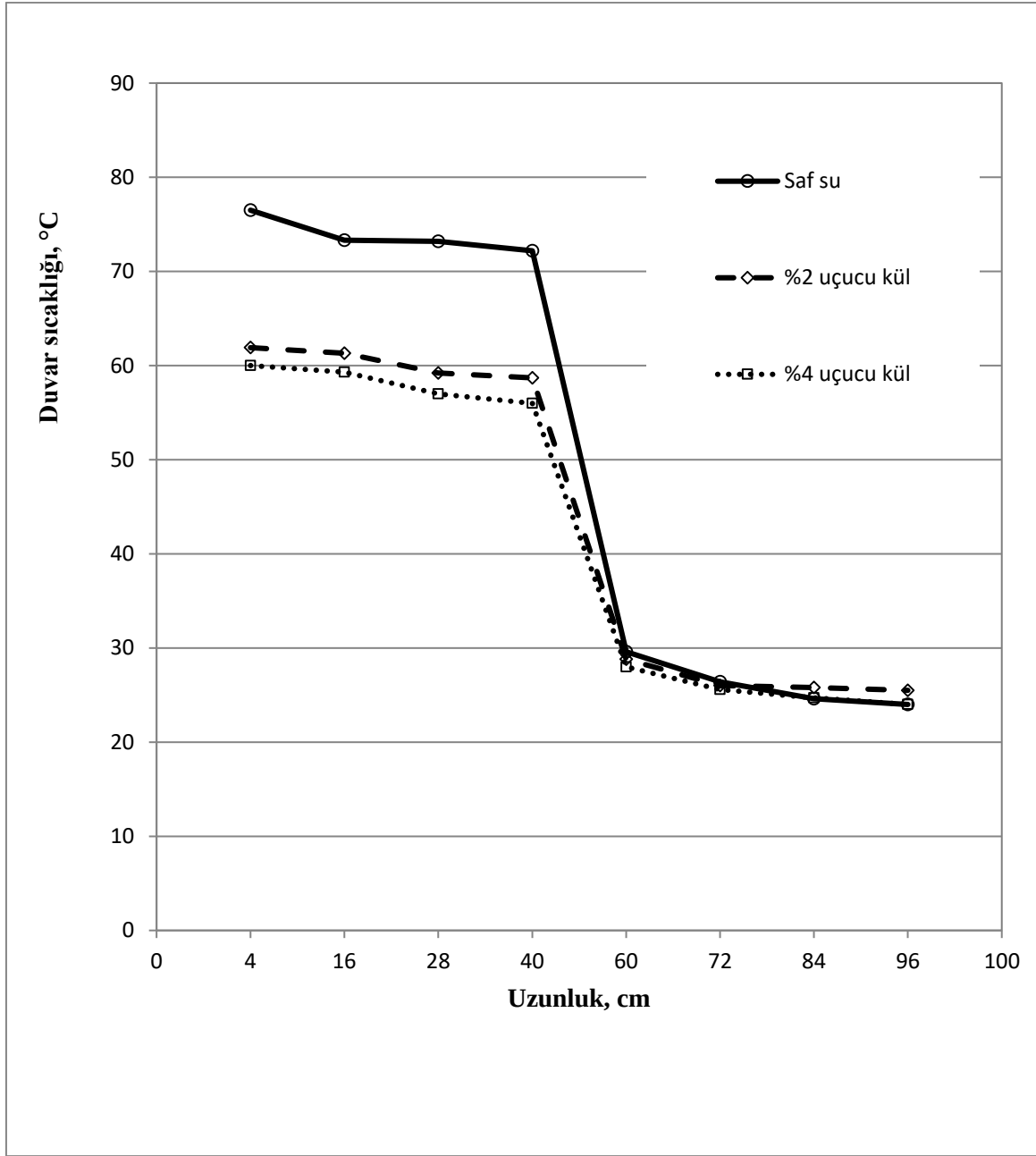
Çizelge 7.1'den de görüleceği üzere göre çalışma akışkanı olarak saf su yerine ağırlıkça %2'lik ve %4'lük uçucu kül nanoakışkanı kullanıldığında sistem üzerindeki evaporatör ortalama sıcaklığı ile kondenser ortalama sıcaklığı arasındaki fark (ΔT) daha azdır.



Şekil 7.8. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 400W giriş gücünde, 7,5 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

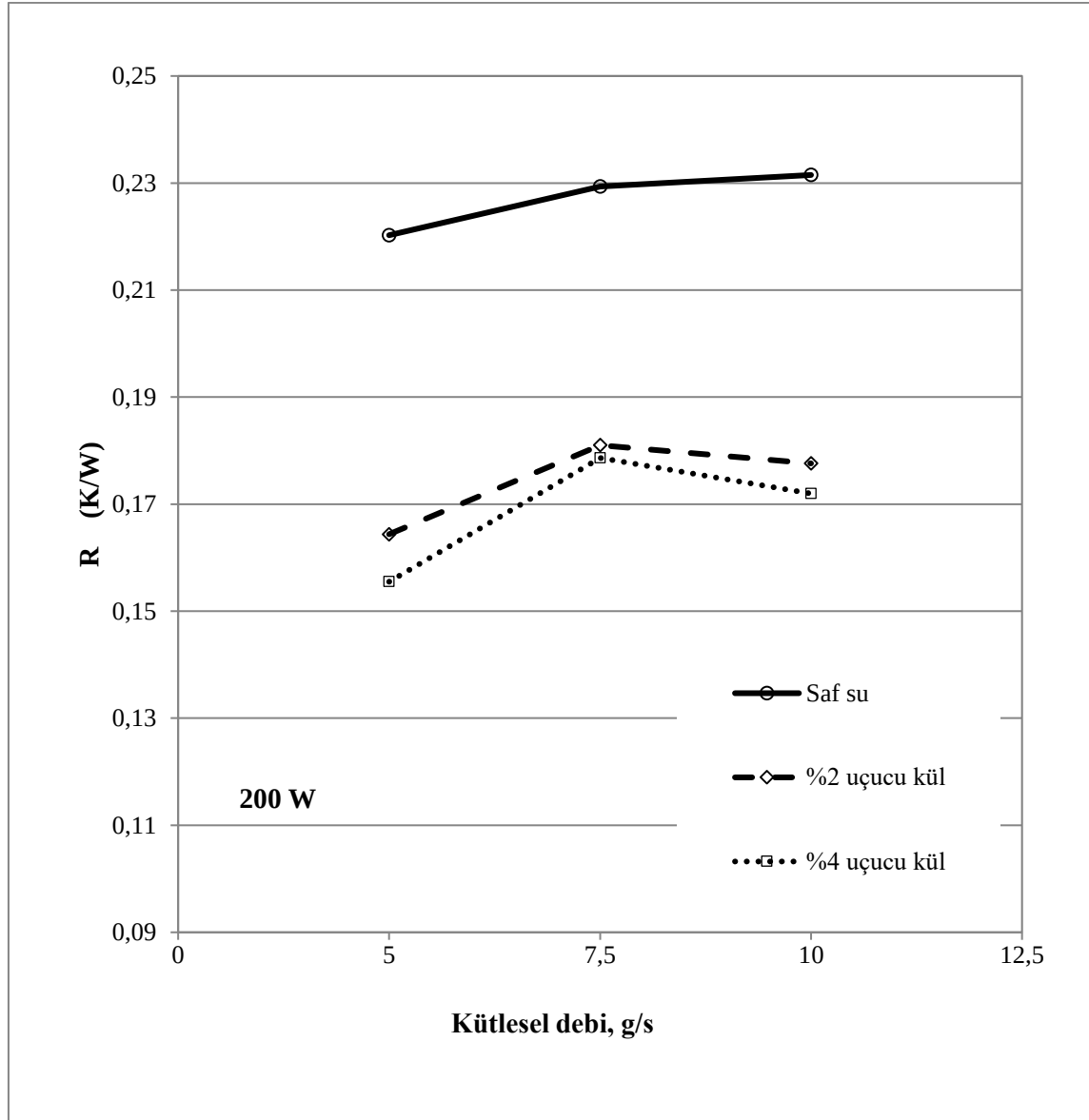
Nano-akışkan kullanarak Eş.6.9'a göre;

ΔT sıcaklık farkının azaltılması, ısı borusundaki termal dirençte bir azalmayı sağladığından, evaporatör bölümündeki çalışma akışkanının düşük sıcaklıklarda buharlaşması ve ısının kondenser bölümündeki soğutma akışkanına hızlı aktarımı, nanoakışkanın yüksek termal iletkenliğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, hem ekzotermik hem de endotermik ısı transferinin geliştirilmesi, su yerine daha avantajlı akışkanlar olarak nanoakışkanların kullanımını artıracaktır.



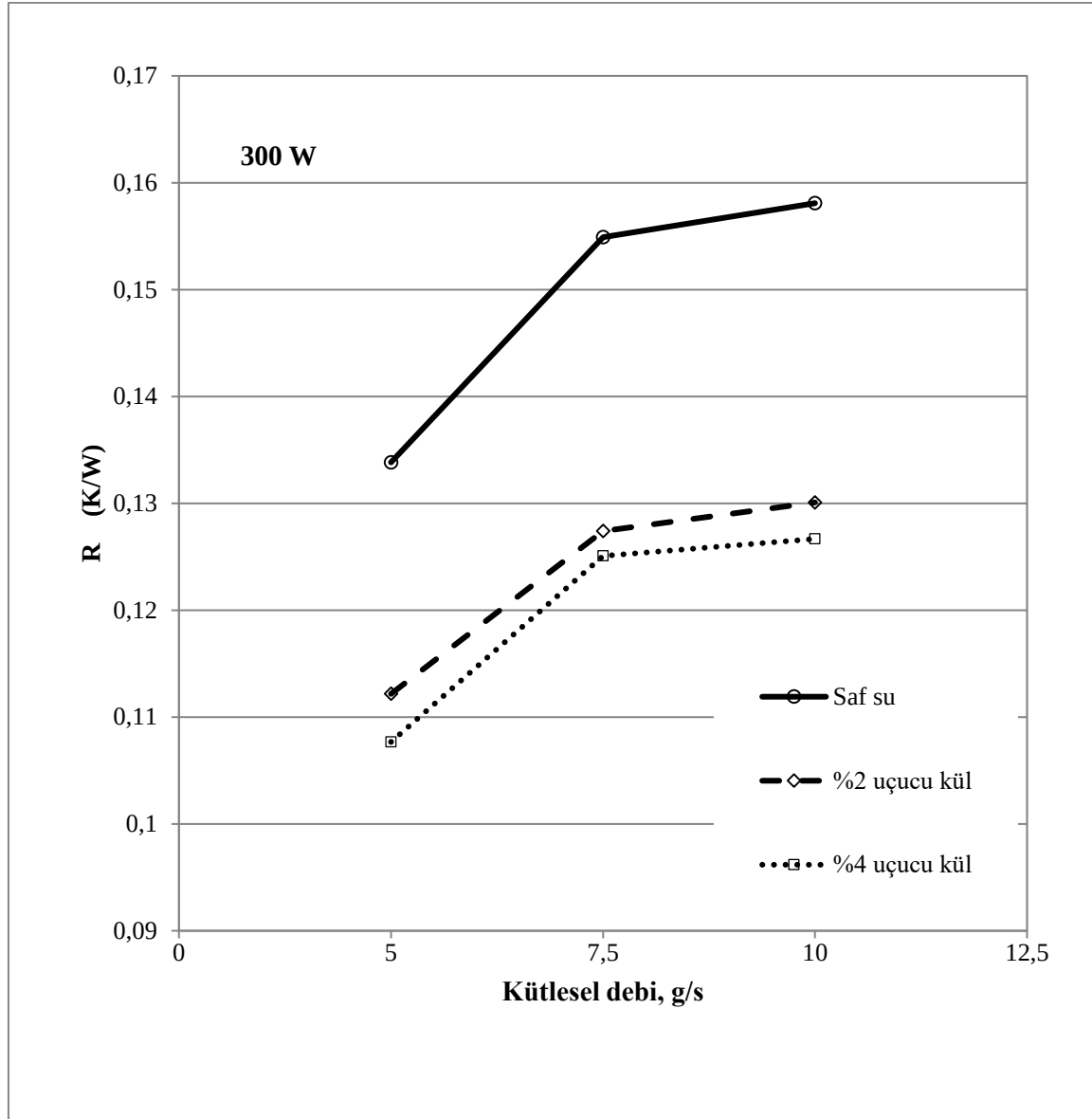
Şekil 7.9. Farklı çalışma akışkanları kullanılarak 400W giriş gücünde, 10 g/s kütleli debili soğutma suyu kullanıldığında ısı borusu boyunca elde edilen duvar sıcaklığı dağılımı

Şekil 7.10, 7.11, ve 7.12, değişken ısı yükleri (200W, 300W ve 400W) altında çalışma akışkanının yoğuşmasını sağlayan farklı kütleli debilerde (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) soğutucu akışkana göre çalışma akışkanı olarak su ve ağırlıkça %2 - %4 konsantrasyonlarda uçucu kül nanoakışkanı kullanılan ısı borusunda meydana gelen termal direnç değişimini göstermektedir.



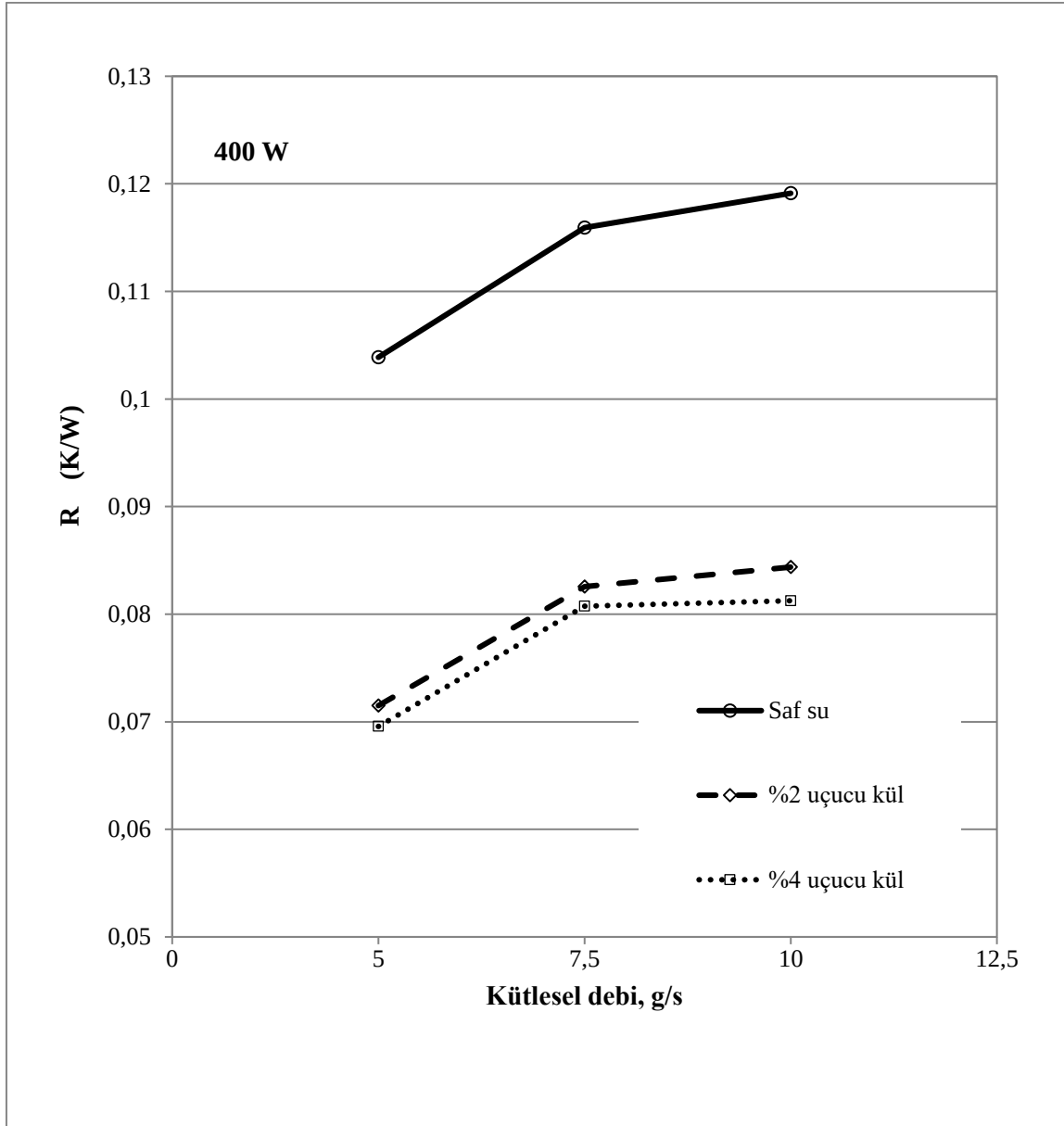
Şekil 7.10. 200 W ısı yükü altında kondenserdeki soğutucu kütle akış hızına göre ısı borusunda oluşan toplam direnç

Farklı giriş gücü ile değişken soğutma suyu debisiyle çalışma akışkanı olarak kullanılan saf su ve saf su yerine ağırlıkça %2 ve %4 konsantrasyonlarda uçucu kül nanoakışkanına göre sıcaklık farkı (ΔT) ve buna bağlı olarak termal dirençteki (R) azalma Çizelge 7.1'de sunulmuştur. Buna göre; termal dirençteki (R) en büyük azalma miktarı 400W giriş gücü ile 5 g/s'lik soğutma suyu debisinde saf su yerine ağırlıkça %4 uçucu kül nanoakışkanı kullanıldığında %36,46 olmuştur. Termal dirençteki (R) en az değişim ise 300W giriş gücünde 5 g/s'lik soğutma suyu debisinde uçucu kül nanoakışkanı kullanıldığında %16,19 olmuştur. Sistemdeki iyileşme, diğer ısı yükleri ve soğutma akış debileri için ortalama %24,7 olmuştur.



Şekil 7.11. 300 W ısı yükü altında kondenserdeki soğutucu kütle akış hızına göre ısı borusunda oluşan toplam direnç

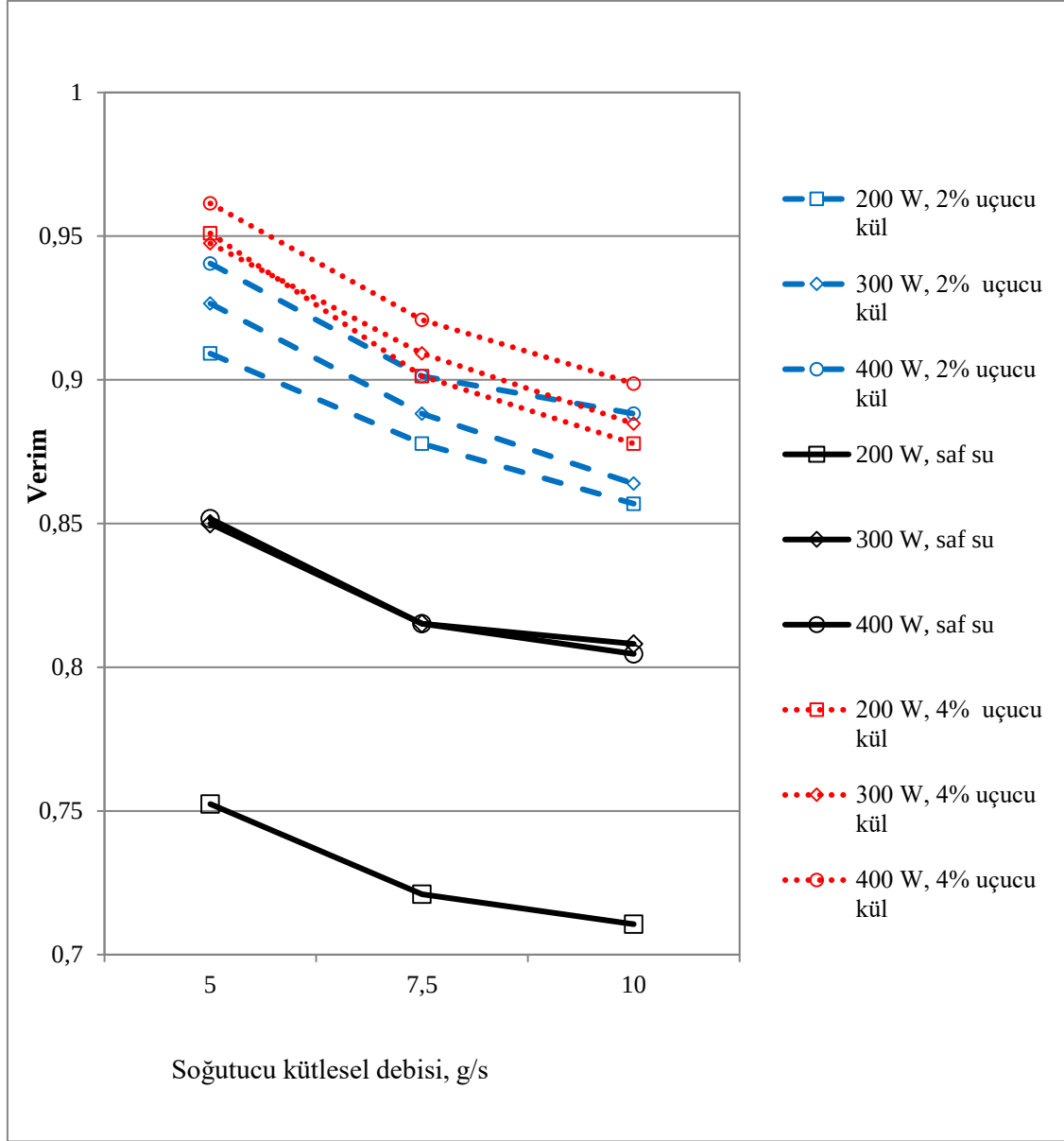
Şekil 7.10 ila 7.12,'den de anlaşılacağı üzere düşük ısı yüklerinde çalışma akışkanı olarak hem su hem de nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun termal direncinin yüksek olduğu görülmektedir. Sisteme giren ısı yükü arttıkça termal dirençte hızlı bir şekilde azalma meydana gelmektedir.



Şekil 7.12. 400 W ısı yükü altında kondenserdeki soğutucu kütle akış hızına göre ısı borusunda oluşan toplam direnç

Şekil 7.10, - 7.11, - 7.12,'deki sonuçlar da; çalışma sıvısı olarak saf su yerine diğer nanoakışkanlar kullanıldığında termosifon tip ısı borusunun termal direncinde (R) meydana gelen iyileşmeyi göstermektedir.

Şekil 7.13, çalışma akışkanı olarak saf su ve saf su yerine ağırlıkça %2 ve %4'lük uçucu kül içeren nanoakışkanın ayrı ayrı kullanılması ve farklı giriş güçleri (200W, 300W, 400W) ile birlikte soğutma akışkanının değişken kütle akış debisine göre ısı borusunun verimliliği ve verimliliğindeki değişimi göstermektedir. Buna göre çalışma akışkanını soğutan sıvının debisi arttıkça ısı borusunun veriminde azalma meydana gelmektedir.



Şekil 7.13. 200W, 300W ve 400W ısı yükleri altında değişken soğutucu kütle akış hızlarında (5 g/s, 7,5 g/s, 10 g/s) ısı borusunun verimi

Çizelge 7.2, farklı ısı yükleri ve çalışma akışkanını yoğuşturun soğutucu sıvısının değişken akış debilerine göre termosifon tip ısı borusunun veriminde meydana gelen artışı göstermektedir.

Çizelge 7.2. Değişken giriş güçleri ile kondenserdeki farklı soğutucu akış debisine göre verimdeki artış (%)

Verimdeki artış (%)						
Soğutucu kütleli debisi (g/s)	Uçucu kül (%2)			Uçucu kül (%4)		
	200 W	300 W	400 W	200 W	300 W	400 W
5	20,83	9,02	10,43	26,39	11,48	12,88
7,5	21,74	8,97	10,58	25,00	11,54	12,98
10	20,59	6,9	10,39	23,53	9,48	11,69

Buna göre 200W ısı yükü altında 5 g/s 'lik soğutucu akış debisinde ağırlıkça %4'lük konsantrasyonda uçucu kül içeren nanoakışkan kullanıldığında ısı borusunun veriminde %26,39 bir artış meydana gelmiştir.

Çizelge 7.1'de termal dirençteki ortalama %24,7 azalma ile verimlilikteki ortalama %14,7'lik iyileşme; nanoakışkanın ekzotermik faz değişimi ile soğutma suyuna vereceği ısı için endotermik faz değişimi ile aldığı ısıda aynı özelliği gösteremediğini ifade etmektedir.

7.1. Sonuçlar

Günümüzde ısı borularının performanslarının daha iyi hale getirilebilmesi için hem çalışma akışkanları üzerine hem de ısı borusunun yapısı ve şekli üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada termosifon tip bir ısı borusu kullanılarak saf su içerisine uçucu kül süspansiyon haline getirilip deneysel sonuçlar çalışma akışkanı olarak saf su kullanılan termosifon tip ısı borusundan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda aşağıda değerlendirmeler elde edilmiştir;

1. Nanoakışkanların termal performansı, nano partiküllerin varlığına bağlı olarak katı - sıvı ara yüzündeki değişikliklerden etkilenmiştir.

2. SiO₂, CaO gibi metal oksit ve amorf yapıdaki bileşenlerden oluşan uçucu kül surfaktan madde ilave edilerek elde edilen nanoakışkanın deney boyunca istikrarını koruduğu gözlemlendi.
3. Isı borusu duvar sıcaklığı, çalışma akışkanı olarak saf su yerine nanoakışkan kullanıldığında daha dar bir aralıkla sınırlı kalmıştır. Yine saf su yerine nanoakışkan kullanıldığında evaporatör duvar sıcaklığı ile kondenser duvar sıcaklığı arasındaki fark daha küçük kalmıştır.
4. Uçucu kül içeren nanoakışkanın termal performansı saf suyunkine göre %14,7 daha iyidir.
5. Ağırlıkça %4'lük uçucu kül içeren nanoakışkan kullanılmasıyla termal dirençte %36,46 bir azalma meydana gelmiştir.
6. Evaporatörde, ağırlıkça %4'lük uçucu kül içeren nanoakışkanın buharlaşma sıcaklığının saf suyunkine göre 12,08°C daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuç düşük sıcaklıkta sıcak alandan termosifon tip ısı borusu boyunca ısı taşınabileceğini göstermektedir.

7.2. Öneriler

Isı borularında kullanılan nanoakışkanların ısı transfer özelliklerini anlamak ve ısı taşıma özelliklerini iyileştirmek için yeni teknikleri tanımlamak ve daha fazla teorik ve deneysel araştırmalara ihtiyaç vardır. Bu bağlamda;

- Isı borusunun boyu ve çapında yapılacak değişikliklerin verime etkisi,
- Kullanılan nanoakışkanı oluşturan nano partikül boyutunun değişiminin ısı transfer katsayısına etkisi,
- Farklı nanoakışkan kullanmanın termal dirençte meydana getireceği etki,
- Deneylerde kullanılan ısı borusunun farklı eğim açılarında ısı transferine nasıl bir etki oluşturacağı,

üzerine yapılacak çalışmalarla birlikte toz metalurjisindeki gelişmeler enerji tasarrufu açısından büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Madhusree, K., Dey, T.K. (2013). Thermal performance of screen mesh wick heat pipes using water-based copper nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, 50, 763-770.
2. Özsoy, A., Acar, M. (2005). Yer çekimi destekli bakır-su ısı borusu için deneysel bir çalışma, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 90, 13-18.
3. Shafahi, M., Bianco, V., Vafai, K., Manca, O. (2010). An investigation of the thermal performance of cylindrical heat pipes using nano fluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 376-383.
4. Shafahi, M., Bianco, V., Vafai, K., Manca, O. (2010). Thermal performance of flat-shaped heat pipes using nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 1438-1445.
5. Tsai, C.Y., Chien, H.T., Ding, P.P., Chan, B., Luh, T.Y., Chen, P.H. (2004). Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluids on heat pipe thermal performance, *Materials Letters*, 58, 1461-1465.
6. Çakır, M.T. (2015). Alümina İçeren Nanoakışkan Kullanılarak Isı Borularının Performanslarının İyileştirilmesi, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4), 547-556.
7. Lu, L., Lv, L.C., Liu, Z.H. (2011). Application of Cu-water and Cu-ethanol nanofluids in a small flat capillary pumped loop, *Thermochimica Acta*, 512, 98-104.
8. Shafahi, M., Bianco, V., Vafai, K., Manca, O. (2010). An investigation of the thermal performance of cylindrical heat pipes using nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 376-383.
9. Huminic, G., Huminic, A. (2011). Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphons using nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 550-557.
10. Ji, Y., Ma, H., Su, F., Wang, G. (2011). Particle size effect on heat transfer performance in an oscillating heat pipe, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 724-727.
11. Heris, S.Z., Nassan, T.H., Noie, S.H., Sardarabadi, H., Sardarabadi, M. (2013). Laminar convective heat transfer of Al₂O₃-Water nanofluid through square cross-sectional duct, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 44, 375-382.
12. Noie, S.H., Heris, S.Z., Kahani, M., Nowee, S.M. (2009). Heat transfer enhancement using Al₂O₃/water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30(4), 700-705.

13. Wang, G. S., Song, B., Liu, Z. H. (2010). Operation characteristics of cylindrical miniature grooved heat pipe using aqueous CuO nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 1415–1421.
14. Naphon, P., Assadamongkol, P., Borirak, T. (2008). Experimental investigation of titanium nanofluids on the heat pipe thermal efficiency, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, 1316-1319.
15. Naphon, P., Thongkum, T., Assadamongkol, P. (2009). Heat pipe efficiency enhancement with refrigerant-nanoparticles mixtures, *Journal of Energy Conversion and Management*, 50(3), 772–776.
16. Moraveji, M. K., Razvarz, S. (2012). Experimental investigation of aluminum oxide nanofluid on heat pipe thermal performance, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 1444–1448.
17. Heris, S. Z., Etemad, S. Gh., Esfahany, M. N. (2006). Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 529–535.
18. Chien, H. T., Tsai, C. Y., Chen, P. H., Chen, P. Y. (2003). 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, China*, 389–391.
19. Liu, Z. H., Yang, X. F., Guo, G. L. (2007). Effect of nanoparticles in nanofluid on thermal performance in a miniature thermosyphon, *Journal of Applied Physics*. 102, 013526.
20. Cheng, P., Thompson, S., Boswell, J., Ma, H. B. (2010) i An investigation of flat-plate oscillating heat pipes, *Journal of Electronic Packaging* 132(4), 041009.
21. Huminic, G., Huminic, A., Morjan, I., 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, 656–661.
22. Saleh, R., Putra, N., Prakoso, S. P., Septiadi, W. N. (2013). Experimental investigation of thermal conductivity and heat pipe thermal performance of ZnO nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 63, 125-132.
23. Murshed, S. M. S., Leong, K. C., Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂ - water based nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 44, 367-373.
24. Bianco, V., Chiacchio, F., Manca, O., Nardini, S. (2009). Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes, *Applied Thermal Engineering*. 29(17-18), 3632– 3642.

25. Pantzali, M.N., Kanaris, A.G., Antoniadis, K.D., Mouza, A.A., Paras, S.V. (2009). Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30(4), 691–699.
26. Wen, D., Ding, Y. (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluid at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 (24), 5181–5188.
27. Mozumder, A. K., Akon, A. F., Chowdhury, M. S. H., Banik, S. C. (2010). Performance of Heat Pipe for Different Working Fluids and Fill Ratios, *Journal of Mechanical Engineering*, 41(2).
28. Kole, M., Dey, T. K. (2013). Thermal performance of screen mesh wick heat pipes using water-based copper nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, 50, 763-770.
29. Mousa, M. G. (2011). Thermal Performance of Thermosyphon Charged by Nanofluid for Cooling Electronic Component, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2(6).
30. Kang, S.W., Wei, W.C., Tsai, S.H., Huang, C.C. (2009). Experimental investigation of nanofluids on sintered heat pipe thermal performance, *Applied Thermal Engineering*, 29, 973-979.
31. Shukla, K. N., Solomon, A. B., Pillai, B. C., Ibrahim, M. (2010). Thermal Performance of Cylindrical Heat Pipe Using Nanofluids, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 24(4).
32. Solomon A. B., Ramachandran K., Pillai B.C. (2012). Thermal performance of a heat pipe with nanoparticles coated wick, *Applied Thermal Engineering* 36, 106-112.
33. Köse T. (2014). *Isı borulu hava ve su ısıtma amaçlı güneş kollektörlerinin tasarımı imalatı ve deneysel incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
34. Güngör, A. (1995). *İklimlendirmede enerji geri kazanımında ısı borulu değiştiriciler*, II.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 639-655.
35. Doğan. H. (1987). Isı borusu yardımı ile güneşli su ısıtma sistemi, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(121).
36. Jiao, B., Qiu, L.M., Zhang, X.B., Zhang, Y. (2008). Investigation on the effect of filling ratio on the steady-state heat transfer performance of a vertical two-phase closed thermosyphon, *Applied Thermal Engineering*, 28, 1417-1426.
37. Zhang, P., Shi, W., Li, X., Wang, B., Zhang G. (2018). A performance evaluation index for two-phase thermosyphon loop used in HVAC systems, *Applied Thermal Engineering*, 131, 825-836.

38. Bumataria, R.K., Modha, P., Makwana, M., Makwana, K., Mandhra, N., Makwana, D. (2018). A new horizon with enhance heat transfer rate using heat pipe for compact thermal system, *International Journal of Scientific Research in Mechanical and Materials Engineering*, 2(3), 08-16.
39. Lee, Y., Bedrossian, A. (1978). The characteristics of heat exchanger using heat pipes or thermosyphons, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 21(2), 221-229.
40. Hussein, H.M.S., El-Ghetany, H.H., Nada, S.A. (2006). Performance of wickless heat pipe flat plate solar collectors having different pipes cross sections geometries and filling ratios, *Energy Conversion and Mangement*, 47(11-12), 1539-1549.
41. Feldman, K.T.Jr., Srinivasan, R. (1984). Investigation of heat transfer limits in two-phase closed thermosyphon, *Proceeding of Fifth International Heat Pipe Conference*, 30-35. Japan.
42. Choi, S.U.S., Eastman, J.A., Li, S., Thompson, L. J. and Yu, W. (2001). Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78(6), 718-720.
43. Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (13-14), 3187-3196.
44. Kamel, M.S., Syeal, R.A., Abdulhussein, A.A. (2016). Heat transfer enhancement using nanofluids: A Review of the recent literature, *American Journal of Nano Research and Applications*; 4(1), 1-5.
45. Mukherjee, S., Paria, S. (2013). Preparation and stability of nanofluids - a review, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9(2), 63-69.
46. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Irmak, A.F., Kılıç, F., Aktaş, M. (2016). Utilization of fly ash nanofluids in two-phase closed thermosyphon for enhancing heat transfer, *Experimental Heat Transfer*, 29(3), 337-354.
47. Moraveji, M.K., Darabi, M., Haddad, S.M.H., Davarnejad, R. (2012) Modeling of forced convective heat transfer of a non-newtonian nanofluid in the horizontal tube under constant heat flux with computational fluid dynamics, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 995–999.
48. Wang X., Mujumdar A.S., (2007). Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: A Review, *International Journal of Thermal Sciences*, (46), 1-19.
49. Yu, W., France, D.M., Choi,S.U.S., and Routbort, J.L. (2007). Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications, *Argonne National Laboratory*, 9.
50. İnternet: Ebin, B., Gürmen, S. İ.T.Ü., Nano partiküller ve üretim yöntemleri-1, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. URL:

http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi150/d150_3138.pdf Son Erişim Tarihi: 11.07.2019

51. Mohd, T.A., Baco, J., Abubakar, N.F., Jaafar, M.Z. (2016). *Effect of particle shape and size on nanofluid properties for potential enhanced oil recovery*, Matec Web Conferences, 69, 3006.
52. Utomo, A.T., Poth. H., Robbins, P.T., Pacek, A.W. (2012). Experimental and theoratical studies of thermal conductivity viscosity and heat transfer coefficient of titania and alumina nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 7772-7781.
53. İnternet: URL: www.cihazlab.com/urun/bandelin-rk-514-h-ultrasonik-banyo-13-5-litre Son Erişim Tarihi: 16.07.2019.
54. Xuan, Y., Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21, 58-64.
55. Peyghambarzadeh, S.M., Hashemabadi, S.H., Jamnani, M.S., Hoseini, S.M. (2011). Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 31, 1833–1838.
56. Nagasaka Y., and Nagashima, A. (1981). Absolute measurement of the thermal conductivity of electrically conducting liquids by transient hot-wire method, *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 14, 1435–1440.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : IRMAK, Adil Fatih
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 06.08.1981, Beşiri
Medeni hali : Evli
e-mail : afirmak@gmail.com
Telefon : -



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Müh.	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Müh.	2012
Lise	Beşiri Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Müzik, Kitap, Spor



GAZİ GELECEKTİR..