

**SIVILARIN VE GAZLARIN ISIL İLETKENLİĞİNİ BELİRLEYEBİLMEK
İÇİN LABORATUVAR TİPİ BİR DENEY CİHAZININ TASARIMI,
İMALATI VE TEST EDİLMESİ**

Cihangir ARSLAN

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

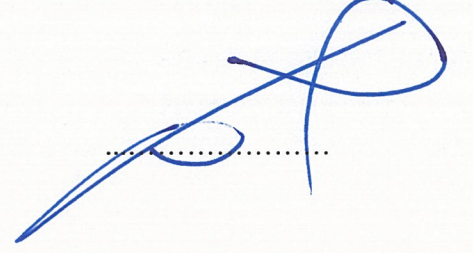
MART 2018

Cihangir ARSLAN tarafından hazırlanan "SIVILARIN VE GAZLARIN ISIL İLETKENLİĞİNİ BELİRLEYEBİLMEK İÇİN LABORATUVAR TİPİ BİR DENEY CİHAZININ TASARIMI, İMALATI VE TEST EDİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim VARIYENLİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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



Başkan: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

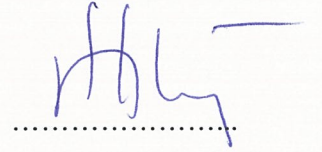
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

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



Tez Savunma Tarihi: 19/03/2018

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.

Cihangir ARSLAN

19/03/2018

SIVILARIN VE GAZLARIN ISIL İLETKENLİĞİNİ BELİRLEYEBİLMEK İÇİN
LABORATUVAR TİPİ BİR DENEY CİHAZININ TASARIMI, İMALATI VE TEST
EDİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Cihangir ARSLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2018

ÖZET

Enerjinin evrenin en temel unsurlarından biri olduğu tartışmasız bir gerçektir. Bu sebeple enerjinin üretilmesi ve kullanılması kadar korunması da önem arz etmektedir. Maddelerin (katı, sıvı ve gaz) ısıyı iletmedeki kabiliyetleri ve bu kabiliyetlerin bilinmesi için bazı nümerik formüllerde yer alan katsayıların bilinmesini gerektirir. Günümüzde saf su, amonyak karbondioksit, oksijen, atmosfer v.b. sıvı ve gazların literatürde ısı iletim katsayılarını bulmak oldukça kolay olmasına karşın, teknolojinin gelişmesiyle beraber hayatımıza giren ve iyi veya kötü ısı iletkenliklere sahip nano partiküller içeren özel sıvıların ısı iletkenliklerinin bulunması ve hesaplanması oldukça zordur. Bu çalışmada sıvı ve gazların ısıyı iletme kabiliyetini belirlemek amacıyla kullanılan “Isı İletim Katsayısı”nın belirlenmesi için silindirik metoda göre ölçüm yapan laboratuvar tipi cihaz tasarımı yapılmış, imalatı gerçekleştirilmiş ve deneysel olarak test edilmiştir. Cihazın doğru çalışıp çalışmadığının kontrolü için deney malzemesi olarak kullanılan saf su ile deneyler yapılmış ve sonuçları saf suyun literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Saf su ile yapılan deneyler sonucunda literatür değerine en yakın sonuçların 30 g/s debide 50 – 60 – 70 ve 80 volt değerlerinde olduğu saptanmıştır. Buna göre saf suyla yapılan deneyler sonucunda ölçülen deney sonuçları ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki ortalama bağıl hata % 13.33 olarak bulunmuştur. Saf su ile yapılan deney şartlarında ısı iletkenlik katsayısı hakkında bilgi edinmek istediğimiz Alümina, Magnezyum Alüminat Spinel gibi içerisinde nano partiküller bulunan sıvıların ve Füzel yağı gibi endüstride oldukça fazla bulunan sıvıların ısı iletimi hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 92807
Anahtar Kelimeler : Enerji, Isı İletim Katsayısı, Saf Su, Nano Partikül, Sıvı, Alümina, Magnezyum Alüminat Spinel, Füzel Yağı
Sayfa Adedi : 60
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

DESIGN, MANUFACTURE AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A
THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENT APPARATUS FOR LIQUIDS AND
GASES

(M. Sc. Thesis)

Cihangir ARSLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2018

ABSTRACT

It is an undisputable fact that energy is one of the most basic elements of the universe. Therefore, conservation of energy has much importance as generation and consuming of energy. The coefficients in some numerical formulas should have to be known in order to determine the heat transfer capabilities of the matters (solid, liquid, gas). Despite of the fact that it is now pretty easy to find out the heat transfer coefficients of the materials such as pure water, ammonia, carbon dioxide, oxygen, atmosphere etc. in the literature, determining the thermal conductivity of the special liquids containing much or less thermal conductivity nanoparticles, which are welcomed by us with the improvements in technology, is still quite difficult. In this study, in order to find out the thermal conductivity coefficients which are used for determining the thermal conductivity capabilities of the liquids and gases, a laboratory type device, making measurements based on cylindrical methods was designed, produced and experimentally tested. Verifying the proper operation of the device, experiments were conducted with the values available in the literature. The closest results obtained from the experiments conducted with pure water, were found to be 50-60-70 and 80 voltage at 30 g/s flow rate. As a result of the experiments, 13,33% relative error was observed between three results obtained from the experiments conducted with pure water and tables related to physical properties. With the help of the experiment conducted with pure water, information about the heat conduction of the materials, whose thermal conductivity coefficient is sought for, such as Alumina, Magnesium Aluminate Spinel etc. which contains nanoparticles and Fusel oil, which is widely used in industry, was gathered.

Science Code : 92807

Key Words : Energy, Thermal Conductivity Coefficient, Pure Water, Nano Particles, Liquid, Alumina, Magnesium Aluminate Spinel, Fusel Oil

Page Number : 60

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim VARIYENLİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle ilgi ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim Variyenli'ye teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca, tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli tüm hocalarıma ve tez hazırlık sürecinde yardım ve katkılarını esirgemeyen eşim Gözde ARSLAN'a ve tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

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 İLETİM KATSAYISI (K).....	7
3.1. Isı Transfer Sistemi	8
3.1.1. İletim ile ısı geçişi (kondüksiyon)	9
3.1.2. Taşınım ile ısı geçişi (konveksiyon).....	10
3.1.3. Işınım ile ısı transferi (radyasyon)	11
4. ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ: NANOAKIŞKANLAR.	13
4.1. Nanoakışkanlar	13
4.1.1. Partikül madde ve temel akışkan.....	15
4.1.2. Partikül büyüklüğü	15
4.1.3. Partikül şekli.....	15
4.1.4. Nanopartiküllerin üretimi.....	16
4.1.5. Nanoakışkanların tipleri	18
4.1.6. Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi.....	21

	Sayfa
4.1.7. Nanoakışkanların endüstriyel uygulamaları.....	22
5. TEORİK VE DENEYSEL ANALİZ.....	25
5.1. İstatistiki Analizler	26
6. MATERYAL VE METOT	29
6.1. Test Ünitesi	29
6.2. Kontrol Ünitesi	30
6.3. Deneylerin Yapılışı ve Deney Sonuçları	34
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
7.1. Çalışılan Akışkanlar	41
7.1.1. Alüminyum oksit (Al_2O_3) (alümina).....	41
7.1.2. Magnezyum alüminat spineli ($MgAl_2O_4$)	44
7.1.3. Füzel yağı	46
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Isıl iletkenlik deney verileri (Saf Su).....	35
Çizelge 6.2. Isıl iletkenlik deney verileri (Alümina (Al_2O_3) nano akışkanı).....	36
Çizelge 6.3. Isıl iletkenlik deney verileri (Magnezyum Alüminat Spinel (MgAl_2O_4) nano akışkanı).....	37
Çizelge 6.4. Isıl iletkenlik deney verileri (Füzel Yağı).....	37
Çizelge 7.1. Debisi 30 g/s olan saf suyun deney sonuçları ve hata (bağıl) değerleri.....	41
Çizelge 7.2. Füzel yağı bileşimleri ve özellikleri	47
Çizelge 7.3. Füzel yağı fiziksel ve kimyasal özellikler	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Maddenin değişik halleri için ısı iletim katsayısı değerleri	8
Şekil 3.2. l kalınlık, A yüzey alanı, T_1 ve T_2 sıcaklıklara sahip kesit	9
Şekil 4.1. Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler	16
Şekil 4.2. Nanopartiküller ile mikropartiküllerin karşılaştırılması	22
Şekil 6.1. Tasarlanan ve imal edilen deney düzeneği	29
Şekil 6.2. Alüminyumdan imal edilmiş olan iç tüp (gövde) imalat şekli	31
Şekil 6.3. Pirinçten imal edilmiş olan dış tüp (su ceket) imalat şekli	31
Şekil 6.4. Alüminyumdan imal edilmiş olan kapak imalat şekli	32
Şekil 6.5. Isıl iletkenlik ölçümü için imal edilen test ünitesi montaj şekli	33
Şekil 7.1. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf su – 20 g/s debi)	39
Şekil 7.2. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf su – 25 g/s debi)	40
Şekil 7.3. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf su – 30 g/s debi)	40
Şekil 7.4. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Alümina – 20 g/s debi) ...	43
Şekil 7.5. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Alümina – 25 g/s debi) ...	43
Şekil 7.6. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Alümina – 30 g/s debi) ...	44
Şekil 7.7. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Magnezyum Alüminat Spinali – 20 g/s debi).....	45
Şekil 7.8. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Magnezyum Alüminat Spinali – 25 g/s debi).....	45
Şekil 7.9. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Magnezyum Alüminat Spinali – 30 g/s debi).....	46

Şekil	Sayfa
Şekil 7.10. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Füzel – 20 g/s debi)	48
Şekil 7.11. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Füzel – 25 g/s debi)	49
Şekil 7.12. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Füzel – 30 g/s debi)	49
Şekil 8.1. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf Su, Alümüne, Magnezyum Alüminat Spinali, Füzel – 30 g/s debi).....	52

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Isı iletim, taşınım ve ışıınımı	12
Resim 4.1. Nanopartiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri	16
Resim 4.2. Farklı çözücüler içinde Cu(Ac) ₂ ile fotoliz edilen Cu ₂ O nanopartiküllerinin SEM görüntüleri	19
Resim 4.3. Spreylenmiş alümina nanopartiküllerin TEM (Transmission Electron Microskop) mikrografı	20
Resim 4.4. TiO ₂ 'nin XRD desenleri	21

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Alan (m^2)
Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
Al₂O₃	Alüminyum Oksit (Alümina)
A_s	Akışkanın Temas Ettiği Yüzey Alanı (m^2)
Au	Altın
Ce	Seryum
CeO	Seryum Oksit
Cu	Bakır
CuO	Bakır Oksit
Cu(OH)₂	Bakır Hidroksit
CuSO₄	Bakır Sülfat
dm	Piston Çapı
Fe	Demir
Fe₂O₃	Demir Oksit
h	Isı Taşınım Katsayısı (W/m^2K)
I	Akım
K	Kelvin
k	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
l	Kalınlık (m)
m	Metre
Mg	Magnezyum
MgAl₂O₄	Magnezyum Alüminat Spinel
mm	Milimetre
NaOH	Sodyum Nitrat

Simgeler**Açıklamalar**

Na_2SO_4	Sodyum Sülfat
nm	Nanometre
O	Oksijen
q	Isı Transferi (Watt)
q_{yay}	Yayılan Işınım
R	Nominal Isıtıcı Direnci
R^2	Korelasyon Katsayısı
Si	Silisyum
t	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
Ti	Titanyum
TiO_2	Titanyum Dioksit
T_s	Yüzey Sıcaklığı (K)
T_{∞}	Akışkan Sıcaklığı (K)
V	Gerilim
W	Watt
Zn	Çinko
ZnO	Çinko Oksit
ΔT	Sıcaklık Değişimi
Δr	Radyal Aralık
σ	Stefan-Boltzman Sabiti ($\text{W/m}^2\text{K}^4$) (5.670×10^{-8})
ε	Yüzeyin Yayılcılığı (yayma katsayısı) : $0 \leq \varepsilon \leq 1$
α	Yüzeyin Soğurganlığı (soğurma katsayısı) : $0 \leq \alpha \leq 1$
$\dot{Q}_e$	Isıtıcı Gücü
$\dot{Q}_i$	Isı Transferi
Ω	Ohm

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ANL	Argonne National Laboratory
HVAC	Isıtma - Havalandırma - Soğutma ve İklimlen. Sist.

Kısaltmalar**Açıklamalar****MRE**

Ortalama Bağlı Hata

MWCNT

Multi-Duvarlı Karbon Nanotüpler

RE

Bağlı Hata

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

SI

Uluslar arası Birimler Sistemi

SSE

Hata Karelerinin Toplamı

SST

Kareler Toplamı

TEM

İletimli Elektron Mikroskobu

vd.

Ve Diğerleri

XRD

X-Işını Kırınım Cihazı

1. GİRİŞ

Yüzyıllardır hayatımızın en önemli kavramlarından biri olan enerji, çağımızın vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Enerji tüketimi; gelişen sanayi, artan nüfus gibi sebeplerden dolayı dünyamızda sürekli artmaktadır ve bu artışın gelecekte de yükselen bir hızla devam edeceği aşıkardır. Hayatın devamlılığı ve gelecek nesillerin refah içerisinde yaşamlarını sürdürebilmesi için enerji politikaları oluşturmalı ve enerjiyi planlı bir şekilde kullanmak zorundayız. Kullandığımız enerjinin büyük bir çoğunluğunu fosil yakıtlar oluştururken, geri kalanı ise güneş, rüzgar, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından ve nükleer enerji oluşturmaktadır. Yapılan birçok araştırma fosil yakıt kullanımının çevre ve insan sağlığına zarar verdiğini ortaya koymuştur. Önlem alınmadığı takdirde bu zararların telafisinin mümkün olmayacağı ve gelecek nesillerin büyük bedeller ödeyeceği kaçınılmazdır. Ayrıca enerji üretiminde fosil kaynak kullanımının kısıtlı olduğu bilinen bir gerçektir. Fosil kaynak üretiminin ileride tükeneceği gerçeği sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da artmaktadır. İklim üzerinde değişikliklere sebep olan ve çeşitli çevre sorunlarına sebep olabilen fosil yakıt tüketimi çağımızda insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Ayrıca insanlar yenilenebilir kaynaklar konusunda bilinçlenmiş ve çevreyi korumaya yönelik politikalar giderek artmaya başlamıştır [1,63].

Enerji ihtiyacı, her yıl yaklaşık % 4 veya % 5 oranında artarken bu ihtiyacın büyük bir kısmını karşılamak için kullanılan fosil yakıt kaynakları çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu problemi çözebilmek ve en önemlisi enerji temin etmek için kullanılan mevcut kaynakların daha faydalı bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak maksadıyla, teknolojik yenilikler ve araştırmalar bakımından ileri olan dünya ülkeleri araştırmalara büyük ölçüde önem vermeye başlamışlardır. Bu sebeple dünyada, ısı iletimini iyileştirmeye yönelik çalışmalar büyük ölçüde artmış ve bu konuda dikkate değer bir literatür oluşmuştur [2,63].

Isı iletimini güçlendirme mevzusu, hem endüstriyel alanda hem de enerji tasarrufu bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir. Enerji üretimi dahil endüstriyel, kimyasal, ısıtma ve soğutma gibi işlemlerde çok önemli rol oynayan su, madeni yağ ve etilen glikol gibi geleneksel ısı transferi akışkanları düşük ısı transferi özelliklerine sahiptirler. Bu akışkanlar, ısı transferi açısından düşük bir performansa sahip oldukları için ısı iletim hızı kısıtlanmakta ve verim düşmektedir [3]. Isı transfer hızı düşük akışkanlardaki ısı transfer hızını arttırmak ve sistemi daha da verimli bir duruma getirmek için nano teknolojideki

gelişmeler ortaya çıkmış ve nanoakışkanlar devreye girmiştir. Bu bağlamda nanoakışkanlar ısı transferi verimini önemli ölçüde arttırmış ve ısı transferi konusunda önemli bir role sahip olmuşlardır.

Bu tezin amacı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında üretilen eş merkezli iç içe borulu, ısı değiştiricide *alümina* (alüminyum oksit) (Al_2O_3), *Magnezyum Alüminat Spinel* ($MgAl_2O_4$) içeren nanoakışkanın ve *Füzel Yağının* ısı performansın iyileştirilmesi için deneysel bir çalışma yapmaktır. Bu amaçla deney düzeneği kurulmuş, imal edilen eş merkezli ısı değiştiricide alümina, magnezyum alüminat spineli nanoakışkanlarıyla füzel yağı ve saf suyun soğuk akışkana olan ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla bu tez, birinci bölümde giriş, ikinci bölümde literatür taraması, üçüncü bölümde ısı iletim katsayısı, dördüncü bölümde ısı transferi iyileştirme yöntemleri: nanoakışkanlar, beşinci bölümde teorik ve deneysel analiz, altıncı bölümde materyal ve metot başlığı altında Al_2O_3 -su, $MgAl_2O_4$ -su ve füzel yağı-su nanoakışkanlarının ısı performansları eş merkezli iç içe borulu ısı değiştirici içerisindeki akış şartlarının incelenmesi yedinci bölümde bulgular ve tartışma ve sekizinci bölümde sonuç ve öneriler kısmı olacak şekilde düzenlenmiştir.

Literatürde ısı transferini iyileştirme konusunda yapılan birçok araştırma bulunmaktadır. Araştırmaların büyük bir kısmı nanoakışkanların ısı transferini hangi ölçüde etkilediğini araştırmış ya da farklı akışkanlar kullanılarak ısı transferinin ne kadar iyileştiğine yanıt aramışlardır. Bu tezin literatüre katkısı, kendi imkanlarımızla imal edilen eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricilerde *alümina* (alüminyum oksit) (Al_2O_3), *Magnezyum Alüminat Spinel* ($MgAl_2O_4$) ve *Füzel Yağı* nanoakışkanları kullanılarak ısı performansın artırılmasıdır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tez çalışmasının bu bölümünde nanoakışkanlarla alakalı bugüne kadar yapılmış literatürdeki önemli çalışmaların bir kısmı özetlenecektir. Isı transferi açısından büyük öneme sahip nanoakışkanların ısı transferine etkilerini daha iyi anlamak için literatürde birçok araştırma yapılmıştır. Nanoakışkanların ısı transferi katsayısını, termo fiziksel özelliklerini, nanoparçacıkların çeşitlerini, şekillerini ve boyutlarını ayrıca sıvı içindeki hareketlerinin bu termo fiziksel özelliklere etkilerini incelemek için literatürde birçok teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

İlk çalışmalar Argonne National Laboratory tarafından nanometre boyutlarındaki partiküllerle yapılmıştır. Fakat nanometre boyutunda partikül içeren sıvıları nanoakışkan olarak tanımlayarak literatüre kazandıran ilk araştırmacı Choi olmuştur. Daha sonra nanoakışkanların, ısı transferi iyileştirmesi konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu araştırmacılar tarafından görülmüş ve bu alanda oldukça geniş bir literatür oluşmasına sebep olmuştur.

Choi, Wang ve Xu yaptıkları çalışmada su, makine yağı, etilen glikol ve pompa sıvısı içinde Al_2O_3 ve CuO nanopartiküllerini kullanmışlar ve akışkanların termal iletkenliğini hesaplamışlardır. Yaptıkları deneylerin sonuçlarına göre, nanopartikül ve akışkan karışımlarının termal iletkenlikleri temel akışkanlara bağlı olarak artış göstermekte olduğunu söylemişlerdir [4].

Xuan and Li tarafından süspansiyonların (katı-sıvı) hazırlanmasına yönelik çalışmalar (2000) yapılmıştır. Xuan, Li ve Hu 2003 yılında yaptığı çalışmalar sonucunda karışım sıcaklığının su - bakır nanoakışkanının iletkenlik üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir [5].

2006 yılında Wang ve Mujumdar'ın yaptığı çalışmalarda süspansiyona eklenen nanopartiküllerin ısı transferi özelliklerini ve taşınım karakteristiklerini kayda değer bir şekilde etkilediğini gözlemlemişlerdir [6].

Saidur, Meng, Said, Hasanuzzaman ve Kamyar Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi nanopartiküllerin karıştırılmasıyla elde edilen karışımların ısı iletkenlik karakteristiklerinin nano partikül miktarına bağlı olarak arttığını belirlemişlerdir [7].

Yousefia, Shojaeizadeha, Veysia ve Zinadinib güneş kolektörlerinde (düzlem yüzey) %0,2 ilaveli multi – duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) kullanarak çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [8]. Daha sonra yaptıkları çalışmalarda ise Al_2O_3 içeren nanoakışkanı güneş kolektörlerinde (düzlem yüzey) kullanmışlardır [9].

Noie, Heris, Kahani ve Nowee alumina (Al_2O_3) içeren akışkanı ısı borusu içerisinde kullanmışlar ve akışkanın performansı konusunda bilgi edinmişlerdir [10].

Hung, Lin ve Teng ise çeşitli eğim açılarında ısı borusunun performansı hakkında bilgi edinmek amacıyla farklı oranlarda su / Al_2O_3 nanoakışkanı kullanmışlardır [11].

Benzer şekilde metodlar kullanılarak,

- 2011 yılında Huminic, Morjan, Dumitrache tarafından FeO/Su [13],
- 2012 yılında Utomo, Poth, Robbins, Pacek tarafından Titanya/Su [12],
- 2010 yılında Shafahi, Bianco, Vafai, Manca tarafından TiO_2 /Su
- 2008 yılında Khandekar, Joshi, Mehta tarafından CuO/Su, Laponit kil/Su [14],
- 2006 yılında Kang, Wei, Tsai, Yang tarafından Ag/Su [16],

nanoakışkanları için yapılmıştır.

Ayrıca Surashkumar, Nathaji ve Mohideen, nano partiküllerin akış üzerindeki etkileri ve ısı transfer özelliklerini ile nano akışkanların elde edilme yöntemlerini karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır [17].

Lu, Liu ve Xiao güneş kolektörleri (yüksek sıcaklık vakum tüplü) için CuO içeren nanoakışkanların ısı iletim karakteristiklerini incelemişlerdir [18].

Colangelo, Favale, Rissi ve Laforgia diyatermik yağ bazlı sıvıların yenilenebilir enerji, kojenerasyon ve soğutma sistemleri gibi alanlarda kullanımını araştırmıştır. Farklı şekillerdeki ve miktarlardaki (%0-%3) CuO, Al_2O_3 , ZnO ve Cu partiküllerini diyatermik yağ ile birlikte kullanmış ve diyatermik yağın ısı transferi performansının, aynı nanopartikül konsantrasyonundaki sudan daha fazla arttığı sonucuna ulaşmışlardır [19].

Alizad, Vafai ve Shafahi CuO, Al₂O₃ ve TiO₂ nanoakışkanlarını kullanarak, düz şekilli ısı borusunun operasyonel başlangıç karakteristiğini ve geçici davranışlarını incelemiştir. Sonuç olarak düz şekilli ya da disk şeklindeki ısı borularının termal performansının, nanopartiküllerin yüksek konsantrasyonu ile arttırılabileceğini söylemiştir [20].

Albadr, Tayal ve Alasadi Al₂O₃ akışkanının, türbülanslı akış koşulları altında yatay bir kabuk ve boru şeklindeki ısı değiştiricide ters akış üzerindeki konvektif ısı transferi performansı ve akış özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Taşınım ile ısı transferi katsayısının, aynı kütle akış oranındaki ve sıcaklıktaki temel sıvıdan daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Taşınım ile ısı transferi katsayısı, kütle akış oranının artması ile artacağı ve aynı zamanda ısı transferi katsayısının da Al₂O₃ nanoakışkanının hacim konsantrasyonunun artmasıyla artacağını söylemiştir. Fakat hacim konsantrasyonundaki artışın akışkanın viskozitesini arttıracığından dolayı, sürtünme faktöründe de bir artış olacağını belirtmişlerdir [21].

Humenic, Morjan ve Dumitrache temel sıvı olarak %0,5-3 konsantrasyonundaki suyun içine dağılmış 24 nm çapındaki CuO ve TiO₂ nanopartiküllerini kullanmış ve laminar akış koşulları altındaki akışkanlar kullanılarak, çift tüplü sarmal ısı değiştiricilerinin ısı transferi karakteristiklerinin üç boyutlu analizini yapmaya çalışmışlardır. Deneysel hesaplamalar, akışkanın ısı transferi hızının %14 olduğunu ve saf sudan daha fazla olduğunu göstermiştir [22].

Shiriram, Sonawane, Khedkar ve Wasewar eş boru tipi ısı değiştiricide soğutucu olarak kullanılan Al₂O₃-su nanoakışkanlarının ısı transferi karakteristiklerini göstermişlerdir. Çalışmalarında ısı eşanjörü 1000 mm uzunluğunda, bakır eş merkezli iç borudan imal edilmiştir. Nanoakışkanlar temel sıvı olarak kullanılan su ve Al₂O₃ partiküllerinin karışımıdır. Sonuç olarak, soğutma ortamındaki akışkanlar için ortalama ısı transferi hızının, su için olan soğutma ortamından daha yüksek olduğunu ve bunun nanoakışkanların konsantrasyonu ile arttığını söylemişlerdir [23].

Tiwari, Ghosh ve Sarkar yaptıkları çalışmada, çeşitli nanoakışkanların termal iletkenliklerini deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Plakalı ısı değiştiricinin ısı transferi performansı CeO₂, Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ nanoakışkanları farklı debiler ve konsantrasyonlar altında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, CeO₂/su çalışılan nanoakışkanlara göre

göreceli olarak düşük optimum konsantrasyonda en iyi performansı verdiği görülmüştür [24].

3. ISI İLETİM KATSAYISI (K)

"k" sembolü ile ifade edilen ve birimi "W/mK" olan ısı iletim katsayısı, maddeleri birbirinden ayırmamıza yarayan karakteristik özelliklerden birisidir. Isı iletim katsayısını, malzemenin bir metre uzaklığındaki noktanın sıcaklığını 1 Kelvin yükseltmek için gerekli gücü gösteren katsayı olarak tanımlayabiliriz. Isı iletim katsayısı malzemenin ve yoğunluğuna bağlı bir katsayıdır.

Isıl iletkenlik katsayısı küçük olan malzemeler ısıyı yavaş iletirken, büyük olanlar ısıyı hızlı iletirler. Elektrik akımını iletme konusunda başarılı malzemeler (gümüş, bakır, altın ve alüminyum gibi) ısıyı da iyi ilettiklerinden bu metallerin ısı iletim katsayıları büyüktür. Buna karşın tahta, cam, lastik ve yün gibi maddeler ısıyı iyi iletmedikleri için ısı iletim katsayıları oldukça küçüktür.

Maddenin fiziksel bir özelliği olan ısı iletim katsayısı, maddenin cinsine, kalınlığına, sıcaklığına ve basınca bağlı bir katsayıdır.

İnşaat ve ısı yalıtım malzemeleri gibi katı maddelerin ısı iletim katsayıları, artan sıcaklığa bağlı olarak artar. Isı iletim katsayısı malzemenin yapısına, gözenekliliğine ve nemliliğine bağlı olan bir katsayıdır ve genellikle yoğunluğu fazla olan malzemelerin ısı iletim katsayıları daha büyüktür. İçerisinde belirli miktarda nem bulunduran bir malzemenin ısı iletim katsayısı, kuru malzemenin ısı iletim katsayısından daha büyük olabilir.

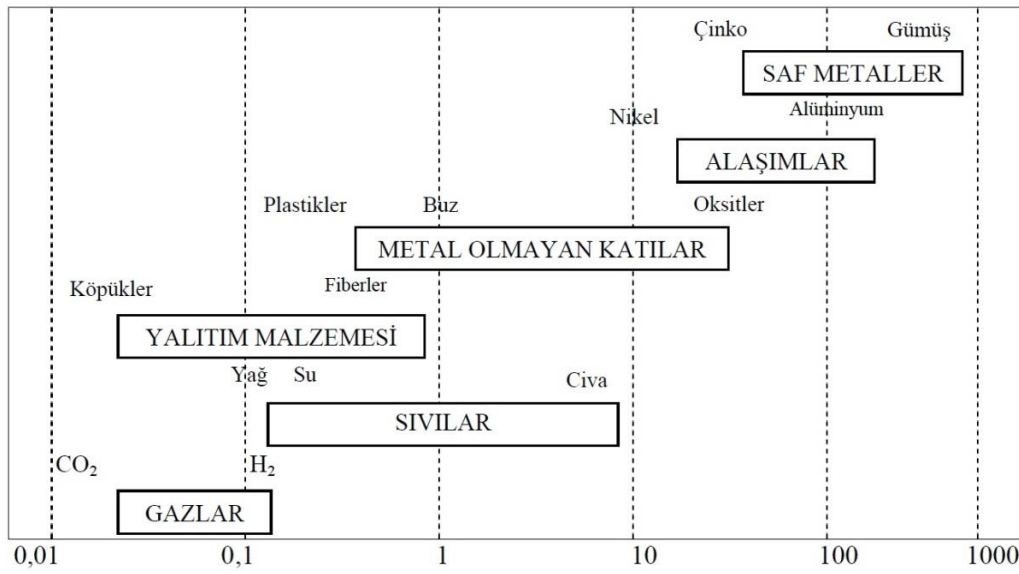
Sıvıların ısı iletim katsayıları; artan sıcaklıkla azalır (su ve gliserin dışında) ve değeri genellikle 0,07-0,7 W/mK arasında değişmektedir. Gazların ısı iletim katsayıları ise sıcaklık arttıkça artarken çok düşük ve yüksek basınçlar haricinde basınca bağlı değildir.

Isı iletim katsayısı değerini ölçmek oldukça zor bir işlemdir ki sıvıların ısı iletim katsayılarının ölçülmesi, ölçüm sırasında meydana gelebilen taşınım hareketinin oluşturduğu ısı transferinin hesaplanması veya ihmal edilmesinin gerekliliğinden dolayı çok daha zordur.

Sıvıların ısı iletim katsayısının belirlenmesinde, kararlı ve kararsız rejim veya geçici rejim metotları kullanılmaktadır.

- Kararlı rejim metotları; Eş eksenli silindir, eş eksenli küre, paralel plaka metotları ve diferansiyel kalorimetre kullanımı olarak,
- Kararsız rejim metotları; Isıl iletkenlik probu, ısıtma veya soğutma eğrileri, sıcaklık karşılaştırma metodu, sıcak tel, dondurarak kurutma, grafiksel ve nümerik metotlar olarak gruplandırılmaktadır.

Isı iletim katsayısı, kararlı rejimde zamandan bağımsız ölçülürken kararsız rejimde belirlenmiş zaman aralıklarında ölçülen sıcaklıklara bağlı olarak hesaplanmaktadır [25].



Şekil 3.1. Maddenin değişik halleri için ısı iletim katsayısı değerleri [26,27]

3.1. Isı Transfer Sistemi

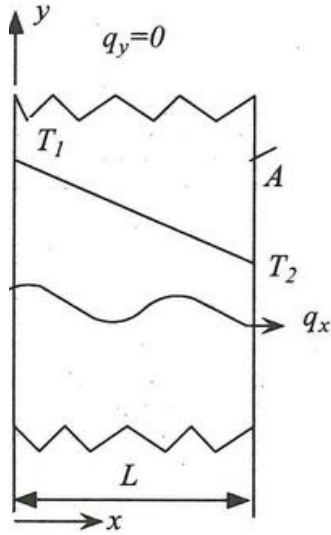
Termodinamiğin ikinci yasasına göre, iki ortam arasında sıcaklık farkı varsa, ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru geçmektedir. Isı geçişi ortam sıcaklıklarına bağlı olduğu kadar, ortamın ve yüzeylerinin özelliklerine de bağlıdır. Bu sebeple ısı transferi sistemi birbirinden farklı üç başlık altında incelenmelidir.

1. İletim (kondüksiyon)
2. Taşınım (konveksiyon)
3. Işınım (radyasyon)

3.1.1. İletim ile ısı geçişi (kondüksiyon)

Bir cismin farklı sıcaklıktaki yüzeyleri arasında, birbirleriyle temas eden parçacıklardan, yüksek enerji düzeyinde bulunanlardan, düşük enerji düzeyinde bulunanlara doğru geçen enerjiye iletimle ısı geçişi denilmektedir. Enerji iletimi katı, sıvı ve gaz ortamında olabilmektedir [25]. İletim ile ısı transferinde atomik ve moleküler seviyelerdeki hareketler önem taşımaktadır. Katılardaki hareket titreşim şeklide meydana gelirken, sıvı ve gazlarda moleküllerin rastgele hareketlerle birbirleri ile çarpışması sonucu ısı iletimi gerçekleşmektedir [26,27].

Fourier ısı iletim yasası



şekil 3.2. l kalınlık, A yüzey alanı, T_1 ve T_2 sıcaklıklara sahip kesit

A yüzey alanına ve T_1 , T_2 yüzey sıcaklıklarına ($T_1 > T_2$) sahip olan şekil 3.2.de gösterilen iki boyutu düz bir levhayı örnek alırsak levha yüzeyindeki sıcaklık geçişi T_1 (sıcak) yüzeyinden T_2 (soğuk) yüzeyine doğru olacaktır. Sıcaklık zamandan bağımsızdır. Deneyler ısı geçişinin,

$$q = A \times \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (3.1)$$

şeklinde olduğunu ifade etmektedir. Katı bir cisimden ısı geçiş hızı sıcaklık farkı ($T_1 - T_2$) ve A yüzeyi ile doğru orantılı, levha kalınlığı L ile ters orantılıdır. Isı iletim katsayısı (k) yukarıdaki ifadenin içerisine yerleştirilirse,

$$q = -k \times A \times \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (3.2)$$

denklemini elde edilmektedir. Burada k malzemenin fiziksel bir özelliği olup, ısı iletim katsayısı olarak tanımlanır. Yukarıda da belirtildiği üzere ısı iletimi termodinamiğin ikinci yasası gereği yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olacaktır. Bu sebeple sıcaklık farkı ile ısı akısının işaretleri terstir. Pozitif yönde bir ısı geçişi sağlamak için, yukarıdaki ifadenin önüne (-) işareti konulmuştur. Isı iletim katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$k = - \frac{(q/A) L}{(T_1 - T_2)} \quad (3.3)$$

SI birim sisteminde k ısı iletim katsayısının boyutu W/mK veya $W/m^{\circ}C$ olarak ifade edilmektedir [25].

3.1.2. Taşınım ile ısı geçişi (konveksiyon)

Bir ortamda iletim ve ışınlama ile ısı geçişinin yanında, eğer ortam hareketli ise, bu takdirde taşınım ile ısı geçişi olur. Taşınım ile ısı geçişi akışkan özelliklerine, sıcaklık farkına ve akış hızına bağlıdır. Taşınım, sıcaklıkları farklı hareketli bir ortam ile bu ortamı çevreleyen yüzey arasında gerçekleşir [25].

Taşınım ile ısı geçişi, zorlanmış ve doğal taşınım olarak iki gruba ayrılmaktadır. Zorlanmış taşınım da akış pompa, fan, veya rüzgar gibi dış bir etki ile oluşurken doğal taşınım da akışkan hareketini meydana getiren dış bir etki bulunmamaktadır. [26,27].

Newton soğuma kanunu

$$q = h A_s \times (T_s - T_{\infty}) \text{ (W)} \quad (3.4)$$

Burada;

- h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K),
- A_s : Yüzey alanı (akışkanın temas ettiği) (m^2),
- T_s : Yüzey sıcaklığı(K),
- T_{∞} : Akışkan sıcaklığını (K)

tariflemektedir.

3.1.3. Işınım ile ısı transferi (radyasyon)

Işınımında enerji, fiziksel bir ortam aramaz ve elektromanyetik dalgalar sayesinde yayılarak geçer. Katı, sıvı ve gaz halindeki tüm maddeler yüksek sıcaklıklarda elektromanyetik dalgalar biçiminde enerjiyi hem yutarlar hem de yayarlar. Yüzeye gelen ışıının bir kısmı cisim tarafından soğurulur, bir kısmı geri yansır ve geri kalan kısmı ise yüzeyden geçer [25]. Işınım ile ısı transferi için iletim ve taşınımın aksine, bir ortam bulunması gerekmemektedir. Hatta, ışıının ile ısı transferi boşlukta daha iyi bir şekilde gerçekleşir. Bütün cisimler ışıını farklı düzeylerde soğurur, yayar veya geçirirler.

Stefan-Boltzman Kanunu ile T_s sıcaklığına sahip bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek maksimum ışıının miktarı belirlenir:

$$\text{Siyah cisim için: } q_{yay} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3.5)$$

Aynı sıcaklıktaki siyah cisimlere oranla gerçek cisimlerden daha az ışıının yayılacağı kabul edilir ise;

$$\text{Gerçek cisim için: } q_{yay} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (3.6)$$

Ayrıca bir yüzey üzerine çeşitli kaynaklardan (güneş gibi) gelen ışıının gerçeği de göz ardı edilmemelidir.

$$\text{Stefan - Boltzman Kanunu: } q_{gelen} = \sigma A_s T_\zeta^4 \quad (3.7)$$

Yüzeye gelen ışıının miktarının tamamı ya da bir kısmı yüzey tarafından soğrulabilir. Yüzeyin α soğurma (ya da yutma) oranı bilindiği takdirde soğrulan bu enerji hesaplanabilir.

$$q_{soğrulan} = \alpha q_{gelen} \quad (3.8)$$

$$q_{soğrulan} = \varepsilon \sigma A_s T_\zeta^4 \quad (3.9)$$

Bir cismin soğurduğu ve yaydığı ışıının arasındaki fark net ışıının ısı transferidir [26].

$$q_{ışınım} = q_{yayılan} - q_{soğrulan} \quad (3.10)$$

$$q_{ışınım} = q_{yayılan} - \alpha q_{gelen} \quad (3.11)$$

$$q_{ışınım} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 - \varepsilon \sigma A_s T_{\check{c}}^4 \quad (3.12)$$

$$q_{ışınım} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\check{c}}^4) \quad (3.13)$$



Resim 3.1. Isı iletim, taşınım ve ışıınımı [25]

4. ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ: NANOAKIŞKANLAR

Günümüz dünyasında enerjinin önemi iyi bir şekilde anlaşılmış olup endüstrinin her alanında enerji verimliliğini artırmaya yönelik birçok çalışmalar yapılmaktadır. Isı transferini iyileştirmek için mühendisliğin çeşitli alanlarında kullanılan ısı değiştiricilerin tasarımları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalara ilave olarak akışkan üzerinde ne gibi bir değişiklik yapılabileceği sorusu akıllara gelmiş ve nano boyuttaki parçacıkların çalışılan akışkana ilave edilerek ısı transferinin iyileştirilmesi olayı gündeme gelmiştir. Özellikle son yıllarda konvensiyonel ısı transferi akışkanları içerisine katılan nano boyuttaki partiküller yeni bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Katı bir metalin ısı iletkenliği içine katıldığı temel akışkanınkinden daha yüksek olduğu için metalik parçacıkların akışkan içerisine katılması ısı iletkenliği arttırmaktadır [29].

4.1. Nanoakışkanlar

Nanoteknolojideki gelişmeler ile nano parçacıklar geçmişe göre çok daha kolay bir şekilde elde edilmekte ve üretilmektedir. Katı partiküllerin (mm veya mikrometre ebatlarındaki) süspansiyon şeklinde çalışma akışkanına eklenmesiyle çeşitli çalışmalar yapılmış fakat uygulanan bu yöntem ile çökme, aşınma, tortulaşma gibi dezavantajlar meydana gelmiştir. Bu dezavantajları gidermek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, temel akışkan içerisinde bakır, gümüş, altın ve alüminyum gibi ısı iletkenlikleri yüksek nano taneciklerin kullanılması fikri önerilmiştir [30,31].

Nanoakışkan kelimesi literatürde ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı partiküllerin iş akışkanı içinde karıştırılması sonucu oluşan akışkanlar olarak tanımlanmıştır. Choi ve diğerleri çok küçük nanoparçacık konsantrasyonlarında bile nanoakışkanın ısı iletim katsayısının anormal bir şekilde yükseldiğini ifade etmişlerdir. Bu iki çalışma ve ardından yapılan birçok deneysel araştırma nanoakışkanlarla oldukça yüksek ısı iletim katsayısı artışları elde edilebileceğini göstermiştir [31,29]. Nanoakışkanlarda gözlenen bu yüksek ısı iletim katsayısı artışları, ısı transferini sağlayan cihazların verimliliğinin artırılabilmesi fırsatını sunmaktadır. Buna bağlı olarak ısı transferi ekipmanlarının boyutlarının küçültülmesi ve ekipmanların işletme giderlerinin azaltılması mümkün hale gelecektir.

Choi ve diğerleri çalışmalarının akabinde nanoakışkanlarla ilgili fazla miktarda deneysel ve teorik çalışmalar hızlı bir şekilde artarak devam etmektedir. Ayrıca nanoakışkanların içerisinde yer alan nano boyuttaki partiküllerin yeterince küçük olmasından dolayı önceden de bahse konu olan kanal duvarlarında kanalların tıkanması veya partiküllerin çökmesi gibi problemler oluşmamaktadır. Mikro kanallarda bile nanoakışkanlar kullanılabilir. Bu süspansiyonun kararlılığı söz konusu olduğunda, bu partiküllerin çökmesinin uygun dağıtıcı maddeler kullanılarak önlenabilir olduğu gösterilmiştir.

Nanoakışkanların literatürde kabul gören dört ana özelliği şunlardır:

1. Isı iletkenliğindeki anormal iyileşme: Nanoakışkanların gözlemlenen en önemli özelliği ısı iletkenliğinde meydana gelen anormal artıştır. Nanoakışkanlarda ısı transferi hızının artmasının sebepleri aşağıdaki maddelerde açıklanmaktadır:
 - Temel akışkan içerisine ilave edilen nano boyuttaki katı parçacıkların ısı iletkenliği temel akışkana göre daha yüksek olduğundan akışkanın ısı iletkenliğini artırmaktadır.
 - Nanopartiküller, iş akışkanının ısı kapasitesini (efektif) artırır.
 - İş akışkanı içerisine karıştırılan metal parçacıklar sayesinde akışkanın yüzey alanı ve ısı kapasitesi artmaktadır.
 - İş akışkanının türbülans şiddeti ve çalkantıları artar.
 - Nanopartiküller arasındaki çarpışmalar ve etkileşimler iş akışkanının ve akış geçidinin yüzeyinin artmasına sebebiyet verir.
 - Nanopartiküllerin dağılması akışkanın enine sıcaklık gradyanında düzleşmeye neden olur [62].
2. Kararlılık: Nanoakışkanların anyon ve katyon tipi (uygun olan) yüzey aktifleştirici maddeler kullanılarak aylarca kararlı olarak kalabildiği belirlenmiştir.
3. Düşük konsantrasyon ve Newton tipi (viskozite sabit): Akışkanın Newtonian davranışı ile sağlanan partiküllerdeki küçük konsantrasyon ile iletkenlikte büyük bir iyileşme olmuştur. Viskozitedeki artışın önemi yoktur ve basınç düşüşü yalnızca marjinal olarak artırılır.
4. Partiküllerin boyut bağımlılığı: İletkenlikteki iyileşme yalnızca partikül miktarına değil aynı zamanda partiküllerin boyutlarına da bağlıdır. Partikül boyutu küçülürse, iyileşmede artış gözlemlenir [29].

4.1.1. Partikül madde ve temel akışkan

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

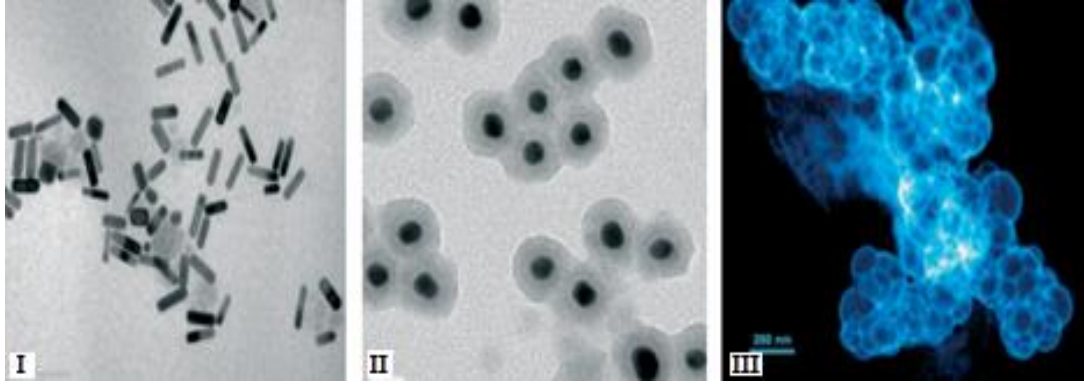
Çoğunlukla nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan temel akışkanlar, ısı transferi uygulamaları ortak olan su, etilen, glikol, motoryağı gibi çalışma sıvılarıdır. Temel akışkan içindeki nanopartiküllerin stabilitesini geliştirmek ve nano partiküllerin dezavantajlarını gidermek amacıyla, bazı küçük miktarlarda katkı maddeleri karışıma ilave edilmektedir.

4.1.2. Partikül büyüklüğü

Nanoakışkan hazırlanırken kullanılan nanopartiküllerin çapları 100 nm'nin altındadır ve bu boyut 10 nm'ye kadar düşebilir. Partiküllerin boru ya da çubuk şeklinde olmasıyla beraber, çapları 100nm'nin altında kalabilir fakat bu parçacıkların uzunluğu mikrometre mertebesinde olabilmektedir [29].

4.1.3. Partikül şekli

Nanoakışkanlar içerisinde kullanılan nanopartiküllerin şekilleri; küresel, çubuk, boru veya disk şeklinde olabilir [29]. Nanoakışkanlarda çoğunlukla küresel parçacıklar kullanılırken bununla birlikte çubuk şeklindeki, boru şeklindeki ve disk şeklindeki nanopartiküller de yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, nanopartiküller tarafından oluşturulan kümelenmeler fraktal benzeri şekillere sahip olabilir [32].

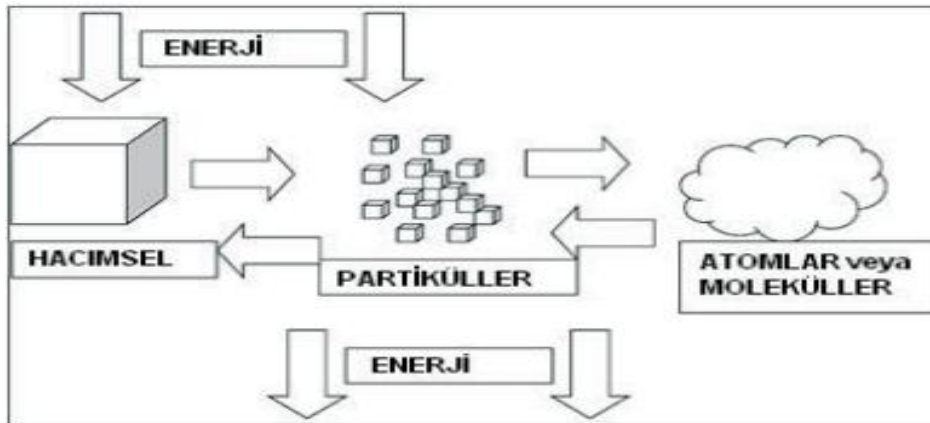


Resim 4.1. Nanopartiküllere ait elektron mikroskobu görüntüleri

Resim 4.1. de (I) numarada altın nanoçubukların görüntüsü, (II) numarada altın çekirdek-slika nanopartiküllerinin görüntüsü, (III) numarada ise iç boşluklu platin nanopartiküllerin görüntüsü yer almaktadır [33].

4.1.4. Nanopartiküllerin üretimi

Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler Bottom Up (aşağıdan yukarı) ve Top Down (yukarıdan aşağı) olarak iki ana yaklaşım altında incelenmektedir [34].



Şekil 4.1. Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler [36]

Yukarıdan aşağıya (top-down) yaklaşımına dahil olan yöntemlerde malzeme, mekaniksel veya kimyasal işlemler ile enerji verilerek nano boyuta kadar düşürülebilecek küçük parçalara ayrılmaktadır. Bu yöneme örnek olarak mekanik öğütme, aşındırma, katı maddenin buharlaşması ve bunu takiben uçucu bileşenlerin yoğunlaşması verilebilir [35]. Bu teknik uygulanmak istenildiğinde klasik öğütme işlemlerine göre çok daha fazla enerji

tüketimi meydana gelmektedir. Bu sebeple bu yöntemde yüksek hız değirmenleri veya yüksek enerjili öğütme isimleri de verilmektedir.

Aşağıdan yukarıya (bottom - up) yaklaşımında ise; atomik veya moleküler boyuttaki yapılar kimyasal reaksiyonlar ile büyütülmekte ve partikül oluşumu gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşıma örnek olarak gaz yoğunlaştırma tekniği, spreylendirme, kimyasal buhar kaplama, sol jel ve kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemleri verilebilir [36,37]. Nanokristalin metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılan ilk yöntem olan gaz yoğunlaştırma tekniği aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla çalışmaktadır. Bu yöntemler haricinde partikül üretimi, mekanik enerji kullanımıyla fiziksel özelliklerin ortaya çıktığı fiziksel yöntemler ve kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesiyle oluşan kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilir [36].

Nanoakışkanların üretimi

Nanoakışkan üretiminde Alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş (Ag), silisyum dioksit (SiO_2) gibi nanopartiküller kullanılmaktadır. Nanoakışkan basit bir sıvı-katı partikül süspansiyonu değildir. Hazırlanan akışkanın tam, kararlı ve uzun ömürlü bir süspansiyon olması, partiküllerin çok küçük miktarda toplanması ve akışkanın kimyasal karakterlerinin değişmemesi gerekmektedir [2]. Bu özelliklere sahip bir sabit nanoakışkan üretebilmek için özel teknikler geliştirilmiştir. Bunlar tek aşamalı yöntem ve iki aşamalı yöntemlerdir.

İki aşamalı yöntem nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan en yaygın yöntemdir. Nanopartiküller, nanotüpler ya da diğer nano materyaller öncelikle fiziksel ya da kimyasal metodlar uygulanarak kuru toz olarak üretilir. Daha sonra bu nano boyutlu toz, kuvvetli manyetik karıştırma, yüksek kesme karıştırıcı ya da homojenizasyon yardımı ile bir akışkan içerisine dağıtılır. İki aşamalı yöntem büyük miktarda nanoakışkan üretmek için en ekonomik yöntemdir. Geniş yüzey alanı ve yüzey aktivitesine sahip olmalarından dolayı nanopartiküller bir araya toplanma eğilimindedir. Nanopartiküllerin sıvı içindeki kararlılığını arttırmanın önemli bir yolu yüzey aktif madde kullanmaktır. Fakat yüksek ısı altında bu yüzey aktif maddelerin işlevselliği bir endişe konusudur. İki aşamalı yöntemde karşılaşılan kararlı nanoakışkan hazırlama zorluğu nedeniyle, nanoakışkan üretmek için birçok gelişmiş teknik geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlilerinden biri de tek aşamalı yöntemdir [34].

Nanoakışkanların gelişimi

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

4.1.5. Nanoakışkanların tipleri

Nanoakışkanların oluşumunda kullanılan nano partikül malzemeleri;

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

Buna ilave olarak, sıvı parçacık ara yüzü çeşitli moleküller ile sertleştirilerek oluşturulan yeni malzemeler ve yapılar nanoakışkan oluşumunda kullanılmaktadır. Nanoakışkan oluşumunda kullanılan temel sıvılar yaygın olarak kullanılan ısı transferi sıvılarıdır. Bunlar; su, makine yağı, etilen glikol ve etanol benzeri sıvılardır [38].

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

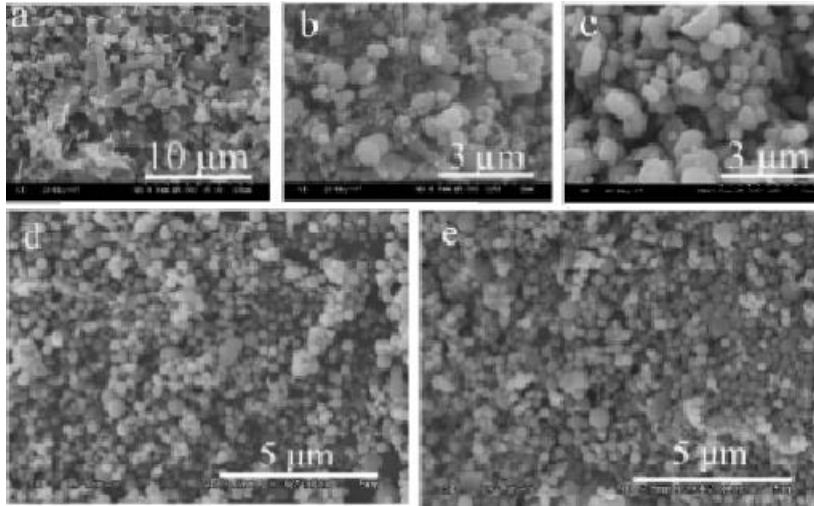
CuO ve Cu_2O bazlı nanoakışkanlar

Cu_2O yani bakır oksit yakın zamanda güneş hücreleri, pigmentleri ve katalizörler gibi uygulamalarda kayda değer miktarda dikkate alınan p - tipi bir yarı iletkenidir. Nanoskalaya

bakıldığında Cu_2O 'ın hacimsel olarak daha gelişmiş özelliklere sahip olması beklenmektedir. Bakır oksit nanokristalleri 8 farklı yöntemle başarılı bir şekilde sentez edilmesine rağmen, hafif koşullar altında şekil kontrollü Cu_2O nanokristaller birkaç yaklaşım bildirilmiştir [39].

Xiaohao Wei vd. Cu_2O nanoakışkanlarının kimyasal çözüm yöntemi (CSM) kullanılarak sentezlenebilir olduğunu göstermiştir. Nanopartiküller bazı sentez parametreleri ayarlanılarak küreselden octahedral şekle değiştirilebileceği gözlemlenmiştir. Nanoakışkan ısı iletkenliği, sentez parametreleri ve sıcaklık ile kontrol edilebilir.

Bakır sülfat (CuSO_4) ve sodyum nitrat (NaOH) arasındaki reaksiyon ile bakır hidroksit ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) elde edilmiştir [39].



Resim 4.2. Farklı çözücüler içinde $\text{Cu}(\text{Ac})_2$ ile fotoliz edilen Cu_2O nanopartiküllerinin SEM görüntüleri

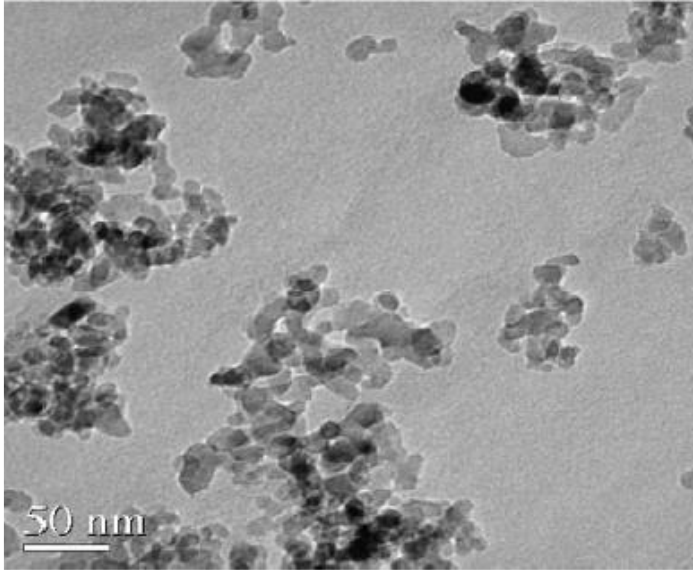
Resim 4.2. de (a) görüntüsü suyun, (b) görüntüsü metanolün, (c) görüntüsü etanolün, (d) görüntüsü etilen glikolün, (e) görüntüsü ise dodekanolün içerisinde bulunan Cu_2O nanopartiküllerinin SEM görüntülerini vermektedir [40].

Al ve Al_2O_3 bazlı nanoakışkanlar

Mikron boyutundaki alümina parçacıkları ile nanopartikül haline dönüştürülen alümina parçacıkları arasında önemli farklar bulunmaktadır. Nanoalüminanın birden fazla avantajı bulunmaktadır. Öncelikle parçacığın boyutu küçüldükçe daha büyük yüzey alanı meydana

gelir ve moleküler çarpışma oranı artar. Bu artış sayesinde reaksiyon oranı artar daha iyi bir katalizör ve reaktant yapılır.

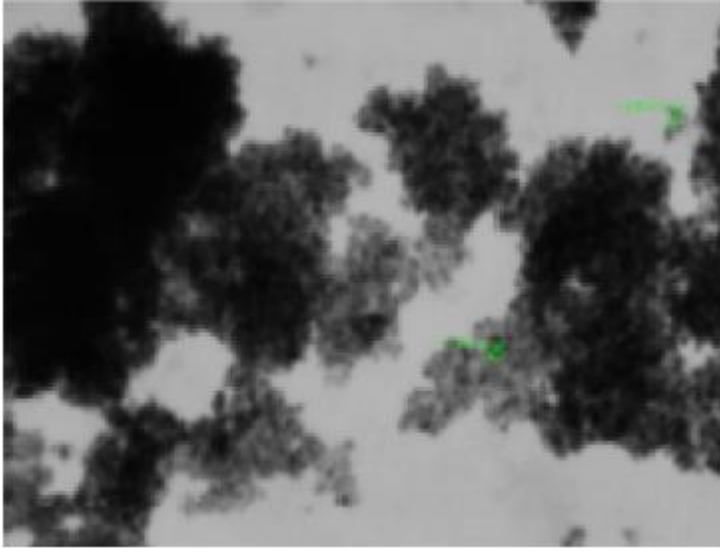
Nano alüminanın üretimi için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler kimyasal ve fiziksel yöntemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Fiziksel yöntemlere lazer ablasyonu, mekanik freze, plazma termal ayrışma ve alev spreyleme örnek olarak verilebilir. Kimyasal yöntemlere ise solgel işlem, buhar birikimi, çözelti ve yanma ayrışması örnekleri verilebilir. Kimyasal yöntemlerin çoğu son derece düşük verim oranlarına sahiptir. Bu sebeple kitle üretime adapte edilememektedir. Mekanik öğütme gibi fiziksel yöntemlerde, nanopartiküllerin büyüklükleri kontrol edilememektedir. Ayrıca bu metotlar belirli malzemelere uygulanabilmektedir [41].



Resim 4.3. Spreylenmiş alümina nanopartiküllerin TEM (Transmission Electron Microskop) mikrografı [41]

TiO₂ bazlı nanoakışkanlar

Titanyum dioksit (TiO₂) son derece kullanışlı yarı iletken bir geçiş metal oksit malzeme olup ve kolay kullanım, düşük maliyet, toksisite olmaması, fotokimyasal ve kimyasal erozyona karşı dirençli olma gibi birçok olumlu özelliğe sahiptir. TiO₂ özellikleri kristal fazına önemli ölçüde bağlıdır örneğin anataz, rutil veya brokit [42].



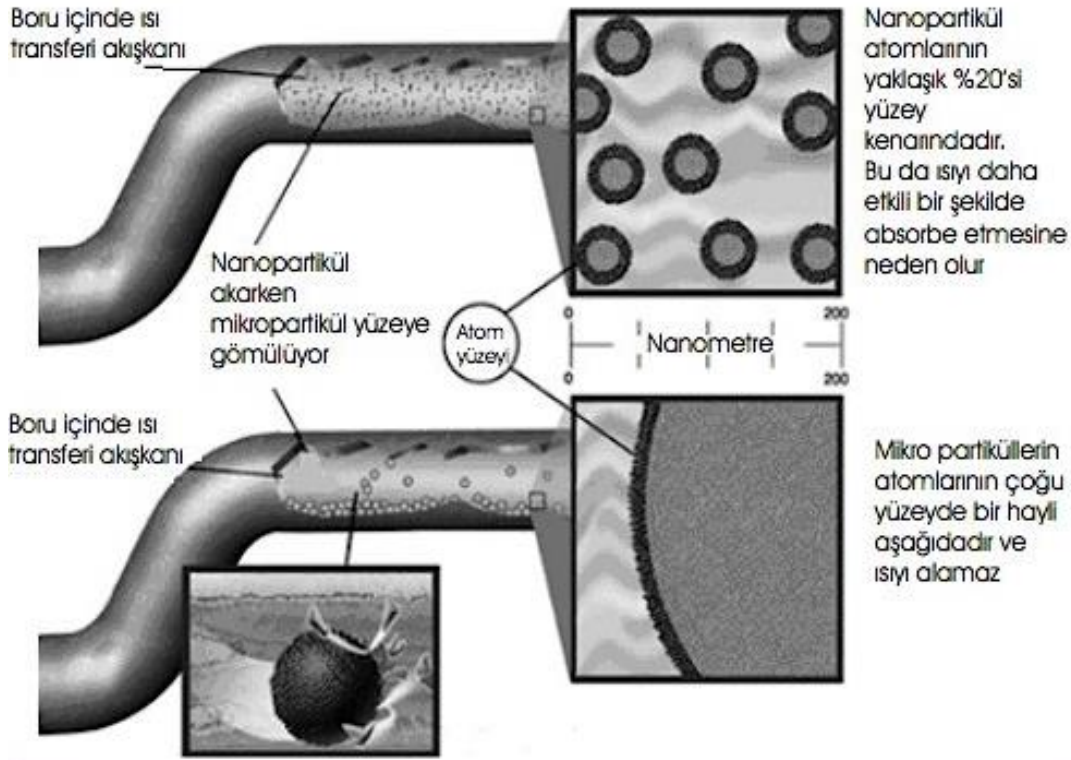
Resim 4.4. TiO₂'nin XRD desenleri [42]

4.1.6. Nanoakışkanlarla ısı transferinin iyileştirilmesi

Geleneksel parçacıklarla karşılaştırıldığında, nanoakışkanlar daha iyi bir denge ve ihmal edilebilir azlıkta basınç kaybında yüksek ısı transferi sergilemiştir [43]. Nano boyutlu bu partikülleri ısıtma ve soğutma akışkanlarına eklemek, bu akışkanların ısı transferlerini büyük ölçüde artırır.

Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Eklenen nanopartiküllerin, yüzey alanını ve akışkanın ısı kapasitesi artırması
- Bu nanopartiküllerin, akışkanın efektif ısı kapasitesini artırması
- Partiküller arasında meydana gelen çarpışma ve etkileşimden dolayı akışkanda ve akış geçit yüzeyinde artış olması
- Eşit olarak erişilmek istenilen ısı transferi iyileştirmesi için pompalanan gücün saf akışkanlara göre daha düşük olması [44].



Şekil 4.2. Nanopartiküller ile mikropartiküllerin karşılaştırılması [45]

4.1.7. Nanoakışkanların endüstriyel uygulamaları

Endüstride kullanılan ısı değiştiricilerde ısı performansını artırmaya yönelik farklı konfigürasyonlar (kanatçıklı, metal köpüklü vb.) denenmektedir. Fakat bu uygulamalarda malzeme tasarrufu, ısı değiştirici boyutları, pompalama gücü vb. etkenlerden dolayı faydalı sistemler üretilmemektedir.

1960'lerden beri bilim ve teknolojiye minyatürleşme yükselen bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro elektromekanik sistemler çalıştırılırken çok büyük miktarlarda ısı akışı meydana gelmekte olup mevcut soğutucular yeterli soğutma kapasitesine sahip olmadığı için bu teknoloji kullanılamamaktadır. Geleneksel akışkan içerisine katı partiküllerin katıldığı soğutucular kullanıldığında ise, kullanılan bu partiküller oldukça dar olan bu kanallarda düzgün olarak akamayacak ve sistemde tıkanıklıklar meydana gelecektir. Nanoakışkanlar bu kanalları tıkamadan, çökmeden, aşındırmadan akabilecek özellikte olduğu için çok yüksek ısı akışı şartlarında bu teknoloji için kullanımı uygun olacaktır.

Her geçen gün hızları, performansları artan elektronik cihazlar ve bu cihazların bileşenleri oldukça yüksek değerlerde ısı üretmekte ve üretilen bu ısı, sistemden uzaklaştıramadığı durumda sistem ömrü kısalmaktadır. Yarı iletkenlerin ömürleri mutlak sıcaklıkla logaritmik olarak değişmekte ve yarı iletken bulunduğu cihazın ömrü her 20°C artışıyla yarıya inmektedir [21]. Ayrıca nanoakışkanların havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde (HVAC) ve soğutma sistemlerinde uygulanması enerjinin daha verimli ve daha ucuz olarak kullanılabilmesi için yeni tasarımların gerçekleştirilmesine imkn verecektir.

5. TEORİK VE DENEYSEL ANALİZ

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerde aşağıda yer alan hesaplama yöntemi ile ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Öncelikle deney sisteminin sürekli rejime gelmesi beklenilmiş sonrasında sıcaklıklar kaydedilmeye başlanmış ve hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. İş akışkanının doldurulduğu radyal boşluğun 0,345 mm gibi çok ince bir tabaka olmasından dolayı hesaplamalarımızda taşınım ile ısı geçişi ihmal edilmiştir. Sonuç olarak deney cihazı içerisinde sadece iletim ile ısı transferinin olduğu dikkate alınmış ve Fourier ısı iletim yasası kuralları çerçevesinde her bir deney için hesaplamalar yapılmıştır.

Aşağıdaki denklemde akım (I) ve gerilim (V) değerlerinin çarpılmasıyla ısıtıcının elektriksel gücü hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_e = IV \quad (5.1)$$

Sisteme giren ısı, ısıtıcının gücüne ($\dot{Q}_e$) ve sistemden meydana gelen ısı transferine ($\dot{Q}_i$) eşit olarak kabul edilmiş ve sistemde meydana gelen ısı transferi hesabında aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$\dot{Q}_i = IA\Delta T = UA (T_{iç} - T_{dış}) \quad (5.2)$$

$$UA = \frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} = \frac{1}{R_{top}} \quad (5.3)$$

$$R_{top} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk_s} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi Lk_b} \quad (5.4)$$

$$\frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} = \frac{1}{R_{top}} \quad (5.5)$$

$$k_s = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L \left[\frac{\dot{Q}_i}{\Delta T} - \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi Lk_b} \right]} \quad (5.6)$$

olarak ifade edilmektedir. Son eşitlik doğrultusunda sıcaklık farkı ve iletimle meydana gelen ısı transferine bağlı olarak ısı iletim katsayısı her bir akışkan için hesaplanmıştır.

5.1. İstatistiki Analizler

Yapılan deney sonuçları Microsoft Excel 2010 programına işlenmiş ve bu program aracılığı ile ısı iletim katsayısının istatistiki analizleri gerçekleştirilmiştir. Bağlı hata ve ortalama bağlı hata,

$$RE(\%) = 100 \times \left(\frac{k_{literatür} - k_{literatür}}{k_{deney}} \right) \quad (5.7)$$

$$MRE(\%) = \left(\frac{RE(\%)}{n} \right) \quad (5.8)$$

denklemleriyle elde edilmiştir. Tek değişkenli regresyon analizi Excel programı yardımıyla yapılmış iki değişkenli regresyon analizi için ise aşağıda yer alan eşitlikler incelenmiştir [42,43].

$$n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1} + \sum_{i=1}^n x_{i,2} = \sum_{i=1}^n y_i \quad (5.9)$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n x_{i,1} + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i,1} x_{i,2} = \sum_{i=1}^n x_{i,1} y_i \quad (5.10)$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n x_{i,2} + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i,1} x_{i,2} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i,2}^2 = \sum_{i=1}^n x_{i,2} y_i \quad (5.11)$$

Yukarıdaki eşitliklerden β_0 , β_1 , β_2 katsayıları, x_1 ve x_2 değişkenlerine bağlı olarak hesaplanır ve aşağıda yer alan eşitlikler bulunur.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + e \quad (5.12)$$

$$e = y_{deney} - y_{regresyon} \quad (5.13)$$

Korelasyon katsayısı (R^2) ise,

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (5.14)$$

olarak hesaplanır.

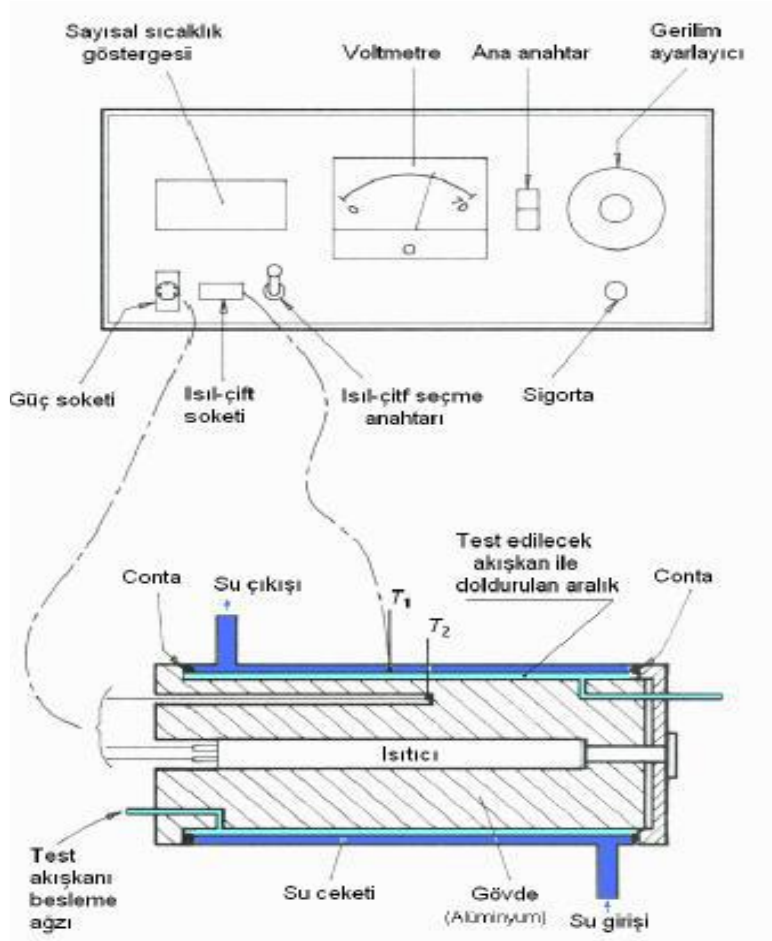
Hata kareleri toplamı ve kareler toplamı aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır:

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{deney} - y_{regresyon})_i^2 \quad (5.15)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_{deney})^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n (y_{deney}))^2}{n} \quad (5.16)$$

6. MATERYAL VE METOT

Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında imal edilen iç içe geçmiş eksenel iki silindirik tüpten oluşan deney düzeneğinde yapılmış olup deney setinde sıvıların ve gazların ısı iletim katsayıları ölçülebilmektedir.



Şekil 6.1. Tasarlanan ve imal edilen deney düzeneği

Tasarlanan ve imal edilen sıvı ve gazların ısı iletim katsayılarını belirleme cihazının şematik resmi şekil 6.1’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere deney düzeneği iki ana kısımdan meydana gelmektedir. Bunlardan ilki test ünitesi ikinci ise kontrol ünitesidir.

6.1. Test Ünitesi

Anodize alüminyumdan imal edilen silindir ve bu silindirin üzerine monte edilen pirinç malzemeden oluşan su ceketinin bulunduğu düzenektir. Akışkanın sıcaklığını ölçmek

amacıyla su ceketinin iki yakasına ısıl-çiftler (thermocouple) yerleştirilmiştir. Sisteme ısı vermek amacıyla alüminyumdan imal edilen silindir ortasında ısıtıcı kullanılmıştır. Sistemin düzgün bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla çeşitli noktalara bağlantı ağzları yerleştirilmiştir.

6.2. Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesi voltmetre, gerilim anahtarı, 0,1 °C hassasiyetle çalışan sıcaklık göstergesi ve sıcaklık seçme anahtarından oluşmaktadır. Kontrol biriminin dış kısmı ise alüminyum, çelik sac ve plastik malzemeler yer almaktadır.

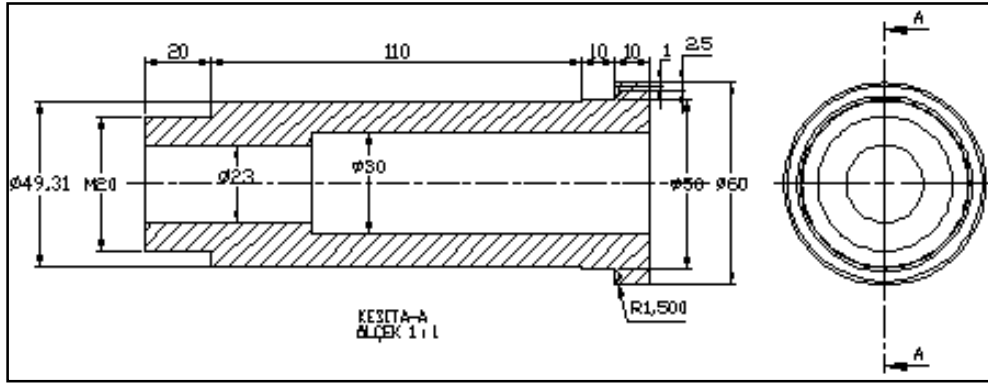
Sistemin güvenliğini sağlamak amacıyla elektrikli bileşenler topraklanmış minyatür devre kesici ve kalıntı devre kesici ile korunmalı bir şekilde planlanmıştır. Isıtıcının gerilme değeri 80V değerine kadar çıkabilmektedir.

Deney yöntemi

İş akışkanı su soğutmalı pirinç ceket ile ısıtılan piston düzeneği arasında yer alan ince cidara doldurulmaktadır. Cidarın ince olmasının sebebi taşınım ile ısı geçişini önlemektir. Teorik olarak düşünüldüğünde bu cidarı; yüzey alanı (πdml), kalınlığı Δr olan içerisinden (pistondan su ceketine doğru) ısı geçen bir levha olarak tanımlayabiliriz.

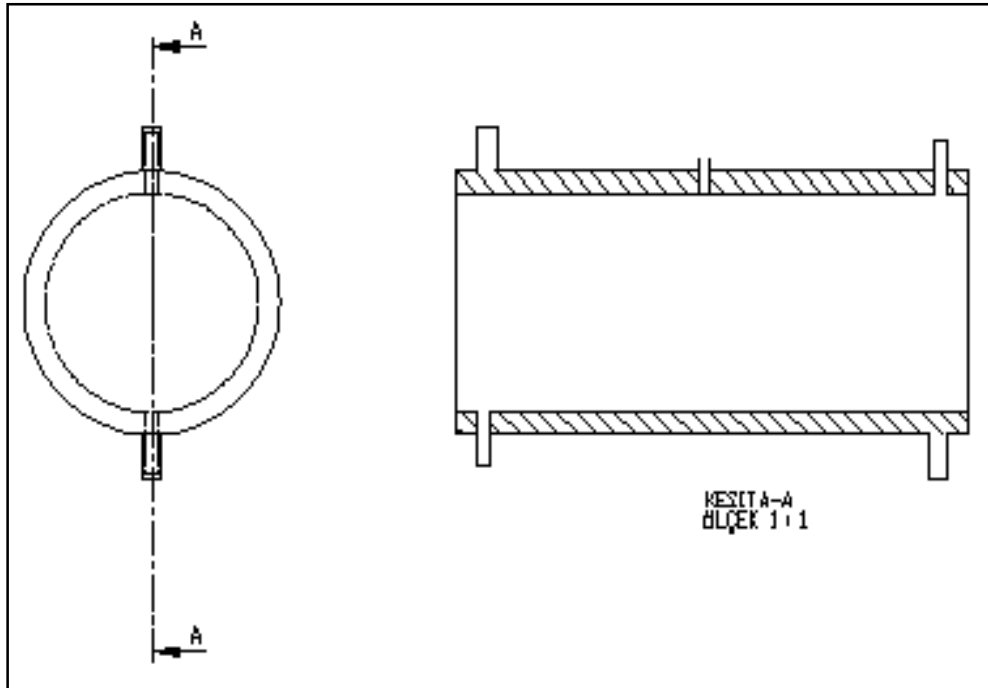
Silindirik parçanın yani pistonun imal edilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus ısıl ataleti azaltılmış ve farklı sıcaklık zonları oluşturmayacak şekilde işlenmesidir. Silindirik parçada iş akışkanının giriş - çıkış ağzları ile dış yüzeyine çok yakın yerleştirilmiş ısıl-çift yerleştirilmiş ve bu ısıl-çift sayesinde T_1 sıcaklık değerleri okunmuştur.

Silindirik piston, radyal açıklığı kapatarak sızdırmazlığı sağlayan fakat temizlik yapmak amacıyla kolayca sökülebilecek şekilde bir O-ring conta vasıtasıyla su ceketini ile eş-merkezli olarak tasarlanmıştır.



Şekil 6.2. Alüminyumdan imal edilmiş olan iç tüp (gövde) imalat şekli

Su ceketı yukarıda da bahsedildiği üzere pirinçten imal edilmiştir. Su ceketinin üzerinde soğutma suyunun giriş ve çıkış bağlantılarını sağlayan düzenek ile iç bileziğe dikkatli bir şekilde yerleştirilmiş, T_2 sıcaklığını ölçen ısıl-çift bulunmaktadır.

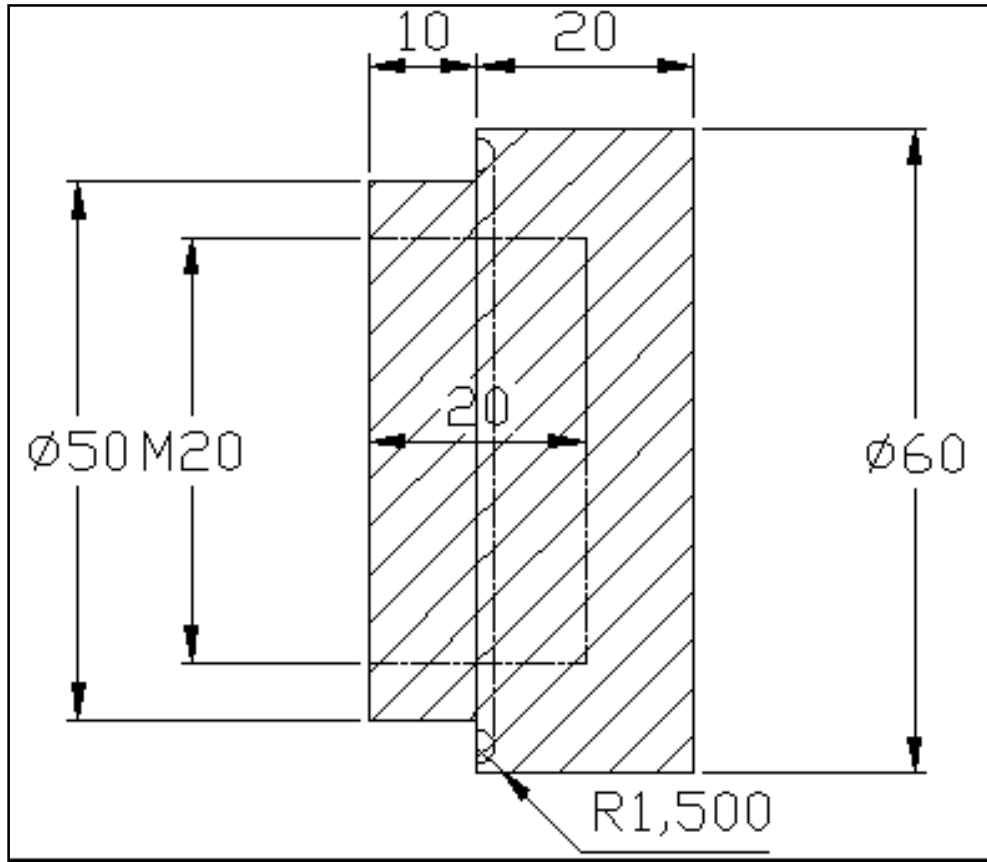


Şekil 6.3. Pirinçten imal edilmiş olan dış tüp (su ceketı) imalat şekli

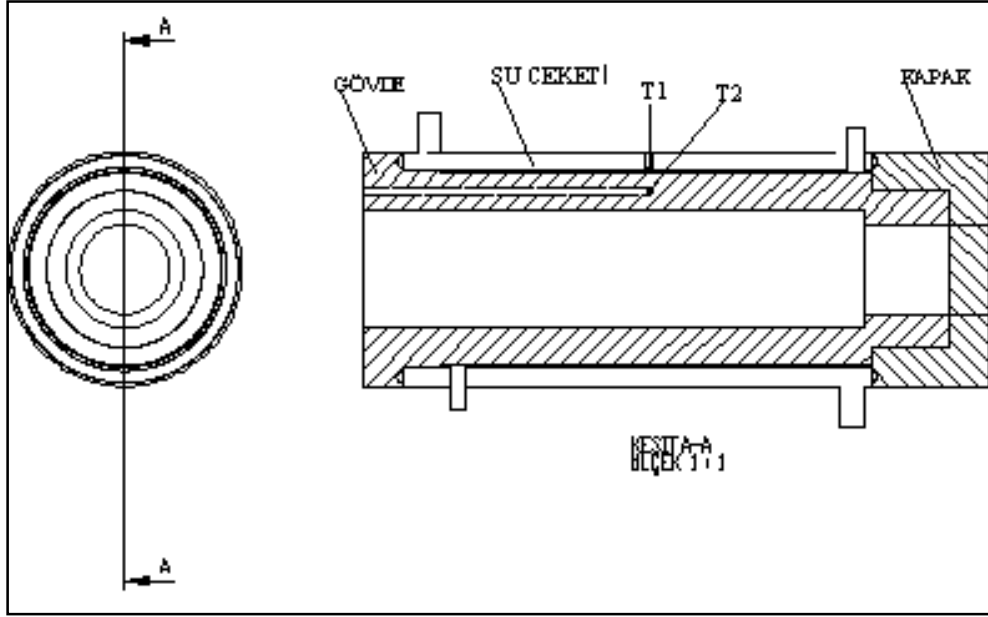
Kontrol ünitesi ile test ünitesi arasındaki bağlantı esnek bir kablo yardımıyla yapılmıştır. Bu kablo sayesinde istenilen gerilim değeri ısıtıcıya gönderilmekte ve istenilen gerilim değerinde deneyler yapılabilmektedir. Analog voltmetre ile istenilen değerlerde ölçümler yapılmış ve sayısal göstergelerden $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle çalışan sıcaklık değerleri sistemden okunmuştur.

Kullanılan cihaza ait değerler:

- Pistonun apı = 49 mm
- Radyal aralık (Δr) = 0.345 mm (Silindir üzerinden alınmıştır.)
- Etkin uzunluk = 110 mm
- Etkin ısı geçiş alanı (A) = 0.0169 m²
- Nominal ısıtıcı direnci (R) = 55.5 Ω (Silindir üzerinden alınmıştır.)



Şekil 6.4. Alüminyumdan imal edilmiş olan kapak imalat şekli



Şekil 6.5. Isıl iletkenlik ölçümü için imal edilen test ünitesi montaj şekli

Özet

İç kısımda bulunan silindirik tüpte, istenilen sıcaklığı sisteme verebilmek amacıyla direnci ölçülebilen ısıtıcı bir eleman ve sıcaklığı ölçmek amacıyla pistonun dış yüzeyine yakın yerleştirilen K tipi ısıl-çift yer almaktadır. Isıl gerilmeleri minimize etmek amacıyla silindir piston alüminyum malzemesinden imal edilmiştir. Taşınım ile ısı geçişinin ihmal edilmesi amacıyla su ceketi ve silindir piston arasındaki radyal boşluk 0,345 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. İç kısımda yer alan silindirik piston, radyal boşluğu kapatan flanşlar aracılığıyla su ceketi adı verilen ikinci silindirik malzemenin içerisine yerleştirilmiştir. Su ceketi çapı 49 mm ve etkili uzunluk 110 mm uzunluğunda pirinçten imal edilmiş ve sızdırmazlığı sağlamak amacıyla sıcaklık ve basınca dayanıklı O-ring contalar ile kapatılmıştır. Ayrıca su ceketi içerisine de sıcaklık ölçümünün yapılabilmesi amacıyla ikinci bir K tipi ısıl-çift yerleştirilmiştir. Isıtıcının maksimum gücü 100 W ve uygulanabilecek maksimum voltaj 80 V iken ısıtıcı aynı zamanda 55,5 Ω dirence sahiptir.

Tasarımı yapılan sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm cihazının imalatı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Biriminin desteğiyle, Sanayii ve Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü atölye imkânları kullanılarak yapılmıştır.

Ayrıca tasarlanan ve imal edilecek olan sıvıların ve gazların ısı iletim katsayısı ölçüm cihazının doğruluğunu tespit edebilmek için ısıl iletkenliği bilimsel olarak tespit edilmiş ve herkesçe kullanılan bir akışkan ile deneyler yapılacak ve deneyde kullanılan akışkanın literatür tablo değerleriyle karşılaştırılmıştır.

6.3. Deneylerin Yapılışı ve Deney Sonuçları

Test ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşan deney düzeneğinin imalatını gerçekleştirmeden ve çalışılacak iş akışkanlarıyla deneylere başlamadan önce bilgi edinmek ve deneylerin yapılması konusunda tecrübe edinmek maksadıyla Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Isı Laboratuvarında bulunan PH Hilton firmasının eğitim amacıyla tasarımını gerçekleştirdiği sıvıların ve gazların ısıl iletkenlik katsayısı ölçüm deney cihazı incelenmiştir. Sonrasında bahsi geçen deney cihazı örnek alınarak Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi imkânları ile bir deney cihazı tasarlanmış ve imal edilerek deneylere başlanılmıştır.

Deneye başlamadan önce iş güvenliği için gerekli önlemler alınmalı ve deneylere sonrasında başlanılmalıdır. İlk olarak deney düzeneğinde yer alan radyal boşluğa ısı iletim katsayısı ölçülecek çalışma sıvısı bir enjektör yardımı ile enjekte edilir. Boşluğun tamamen iş akışkanı ile dolduğunun tespit edilmesi için akışkan çıkış ağzından iş akışkanının çıkması gözlemlenir. Radyal boşluğun içerisinde hava kalmamasına özen gösterilmelidir. Çünkü radyal boşluk içerisinde oluşan hava boşlukları deney sonucunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Sonrasında soğutma suyu bağlantıları kontrol edilir ve soğutma suyu istenilen debiye göre deney düzeneğine verilir.

Soğutma suyunun sisteme verilmesinin ardından deneyi yapabilmek için deney cihazındaki ısıtıcı eleman sisteme dahil edilir. Isıtıcıya seri şekilde bağlantısı yapılan dimmer devresi sayesinde ısıtıcıda istenilen ısı gücü ayarlanabilmektedir. Dimmer cihazı devrenin akımı üzerinde değişiklik yaparak ısıtıcıyı istenilen güçte çalıştırmamızı sağlamaktadır. Dimmerin bağlı olduğu devreden geçen akım ve gerilim değerleri multimetre yardımıyla ölçülmüş ve yaptığımız deneylerde ısıtıcı gerilim değeri 50 V, 60 V, 70 V ve 80 V değerlerine ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Sisteme verilen ısıtıcı gerilim değeri deney düzeneği içerisine yerleştirilen ısıl-çiftler sayesinde iki farklı noktadan sıcaklık olarak ölçülmektedir.

Sistemdeki birinci ısı-çift (T_1) ısıtıcı elemanın hemen dışında yer alırken ikinci ısı-çift (T_2) su ceketinin iç kısmına sabitlenmiştir. Deneylerde K tipi ısı-çift (demir-konstantan) ile ölçüm yapan ve hassasiyeti $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan sıcaklık ölçüm elemanı kullanılmıştır.

Soğutma suyunun sisteme verilmesi ve ısıtıcının devreye sokulmasından sonra sistemin rejime gelmesi beklenilir. Sistem içerisinde yer alan ısı-çiftlerin yaptığı sıcaklık ölçümlerinin sabit kalmaya başladığı ve zamanla değişmediği anda sistem rejime gelmiş anlamına gelmektedir. Deney düzeneğindeki sıcaklıklar sabit kaldığı yani sistemin rejime gelmesinin akabinde ölçülen değerler kaydedilir ve deney sonlandırılır. Tasarlanan deney ölçüm cihazında ortalama 15 - 20 dakika arasında sistem rejime gelmektedir. Ancak burada zamandan bağımsız bir deney yapılabilmesi amacıyla 60 dakikada bir deney tekrarlanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.1, Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.1. Isıl iletkenlik deney verileri (Saf Su)

m (g/s)	Gerilim (volt)	Akım (amper)	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	T_{ort} ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	q_e (watt)	q_i (watt)	$q=q_e-q_i$ (watt)	k (W/mK)
20	40	0,78	17	15,3	16,15	1,7	28,68	5,423	23,26206	0,2793
20	50	0,95	18	15,5	16,75	2,5	45,05	8,367	36,67825	0,3043
20	60	1,13	19	15,7	17,35	3,3	64,86	11,9	52,96526	0,3385
20	70	1,32	20,4	16,2	18,3	4,2	88,29	17,79	70,50069	0,3669
20	80	1,5	21,7	16,4	19,05	5,3	115,3	23,38	91,93412	0,3824
25	40	0,78	18,1	16,8	17,45	1,3	28,68	2,773	25,91166	0,3837
25	50	0,95	19,1	17,2	18,15	1,9	45,05	5,423	39,62225	0,4193
25	60	1,13	20,4	17,7	19,05	2,7	64,86	7,778	57,08686	0,4271
25	70	1,32	21,3	17,8	19,55	3,5	88,29	12,19	76,09429	0,4524
25	80	1,5	23,4	19	21,2	4,4	115,3	17,2	98,11652	0,4729
30	40	0,78	19,7	18,8	19,25	0,9	28,68	2,479	26,20606	0,581
30	50	0,95	21,2	19,8	20,5	1,4	45,05	3,951	41,09425	0,5906
30	60	1,13	22,9	20,9	21,9	2	64,86	6,306	58,55886	0,5977
30	70	1,32	25,3	22,5	23,9	2,8	88,29	8,956	79,33269	0,5805
30	80	1,5	27,7	24	25,85	3,7	115,3	12,49	102,8269	0,5738

Çizelge 6.2. Isıl iletkenlik deney verileri (Alümina (Al_2O_3) nano akışkanı)

m (g/s)	Gerilim (volt)	Akım (amper)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T _{ort} (°C)	ΔT (°C)	Q _e (watt)	Q _i (watt)	Q=Q _e -Q _i (watt)	k (W/mK)
20	40	0,78	17,7	16,4	17,05	1,3	28,68	9,25	19,43486	0,383782
20	50	0,95	19	16,9	17,95	2,1	45,05	10,13	34,91185	0,373722
20	60	1,13	20,2	17,2	18,7	3	64,86	15,14	49,72686	0,378444
20	70	1,32	21,3	17,4	19,35	3,9	88,29	18,97	69,32309	0,39985
20	80	1,5	22,5	17,5	20	5	115,3	24,56	90,75652	0,409008
25	40	0,78	17	16	16,5	1	28,68	6,895	21,79006	0,516946
25	50	0,95	18	16,4	17,2	1,6	45,05	8,367	36,67825	0,509292
25	60	1,13	18,5	16,3	17,4	2,2	64,86	13,67	51,19886	0,537915
25	70	1,32	19,6	16,6	18,1	3	88,29	17,79	70,50069	0,537835
25	80	1,5	21,9	17,7	19,8	4,2	115,3	23,97	91,34532	0,498362
30	40	0,78	19,3	18,5	18,9	0,8	28,68	2,773	25,91166	0,661207
30	50	0,95	20,7	19,4	20,05	1,3	45,05	7,484	37,56145	0,640689
30	60	1,13	21,8	19,9	20,85	1,9	64,86	12,19	52,67086	0,632338
30	70	1,32	22,8	20,2	21,5	2,6	88,29	17,2	71,08949	0,629824
30	80	1,5	24,7	21,2	22,95	3,5	115,3	21,03	94,28932	0,610054

Çizelge 6.3. Isıl iletkenlik deney verileri (Magnezyum Alüminat Spinel (MgAl₂O₄) nano akışkanı)

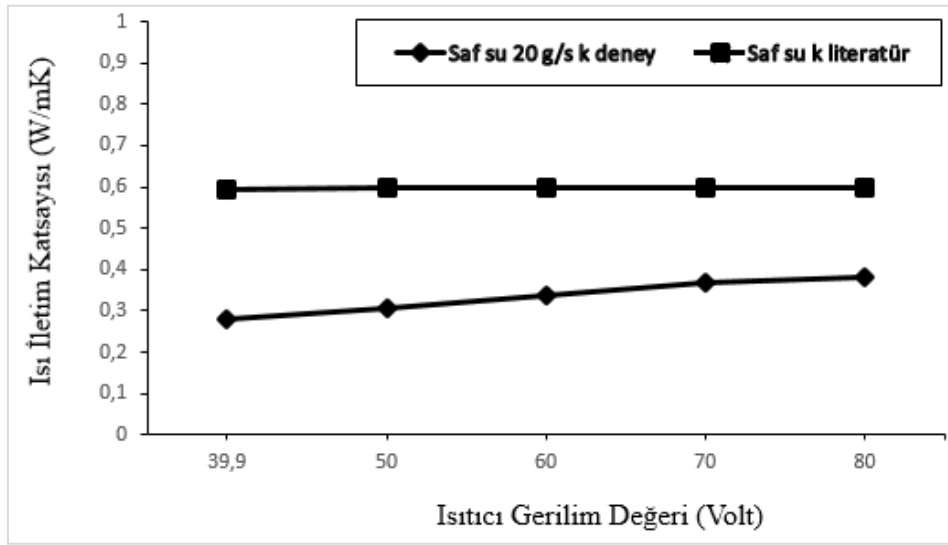
m (g/s)	Gerilim (volt)	Akım (amper)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T _{ort} (°C)	ΔT (°C)	Q _e (watt)	Q _i (watt)	Q=Q _e -Q _i (watt)	k (W/mK)
20	40	0,78	17,1	16,1	16,6	1	28,68	4,54	24,14526	0,516946
20	50	0,95	18,2	16,6	17,4	1,6	45,05	7,778	37,26705	0,509292
20	60	1,13	19,2	16,9	18,05	2,3	64,86	11,31	53,55406	0,511914
20	70	1,32	20,9	17,7	19,3	3,2	88,29	15,14	73,15029	0,500464
20	80	1,5	22,3	18,2	20,25	4,1	115,3	17,2	98,11652	0,511983
25	40	0,78	17,1	16,3	16,7	0,8	28,68	2,479	26,20606	0,661207
25	50	0,95	18,1	16,8	17,45	1,3	45,05	5,128	39,91665	0,640689
25	60	1,13	19,4	17,5	18,45	1,9	64,86	5,423	59,44206	0,632338
25	70	1,32	20,6	18	19,3	2,6	88,29	8,367	79,92149	0,629824
25	80	1,5	22,9	19,4	21,15	3,5	115,3	16,61	98,70532	0,610054
30	40	0,78	17,2	16,4	16,8	0,8	28,68	2,184	26,50046	0,661207
30	50	0,95	18	16,8	17,4	1,2	45,05	3,656	41,38865	0,699088
30	60	1,13	19,1	17,4	18,25	1,7	64,86	6,012	58,85326	0,713801
30	70	1,32	20	17,7	18,85	2,3	88,29	8,661	79,62709	0,719814
30	80	1,5	23	19,9	21,45	3,1	115,3	11,61	103,7101	0,696525

Çizelge 6.4. Isıl iletkenlik deney verileri (Füzel Yağı)

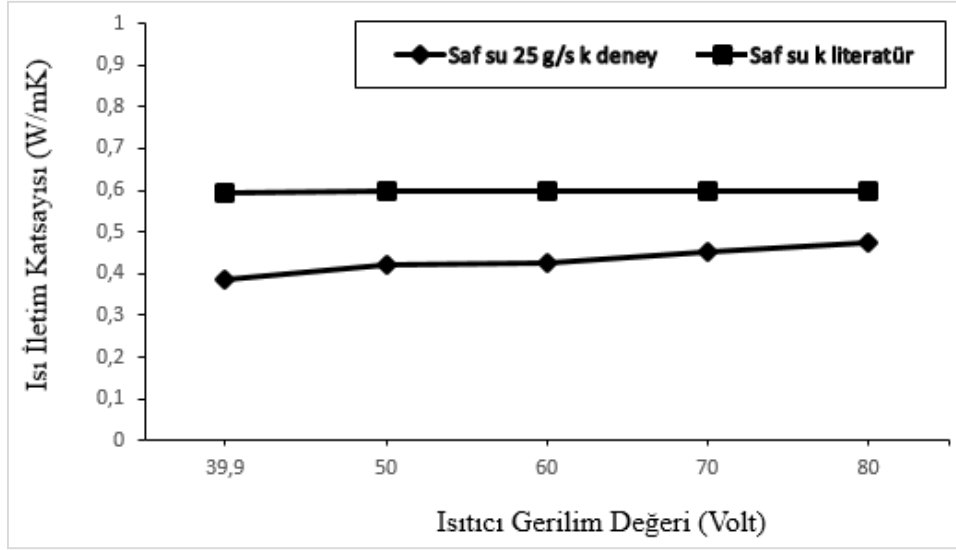
m (g/s)	Gerilim (volt)	Akım (amper)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T _{ort} (°C)	ΔT (°C)	q _e (watt)	q _i (watt)	q=q _e -q _i (watt)	k (W/mK)
20	40	0,78	17,2	16,3	16,75	0,9	28,68	11,31	17,37406	0,581062
20	50	0,95	18,2	16,8	17,5	1,4	45,05	16,32	28,72945	0,590633
20	60	1,13	19,4	17,4	18,4	2	64,86	21,03	43,83886	0,597716
20	70	1,32	21	18,3	19,65	2,7	88,29	27,5	60,78549	0,604272
20	80	1,5	22,2	18,7	20,45	3,5	115,3	33,98	81,33572	0,610054
25	40	0,78	17,4	16,6	17	0,8	28,68	6,012	22,67326	0,661207
25	50	0,95	18,5	17,2	17,85	1,3	45,05	10,13	34,91185	0,640689
25	60	1,13	19,5	17,7	18,6	1,8	64,86	15,73	49,13806	0,670807
25	70	1,32	21,3	18,8	20,05	2,5	88,29	21,03	67,26229	0,657421
25	80	1,5	22,9	19,6	21,25	3,3	115,3	28,39	86,92932	0,650669
30	40	0,78	17,6	16,9	17,25	0,7	28,68	6,306	22,37886	0,764251
30	50	0,95	18,6	17,5	18,05	1,1	45,05	9,25	35,79505	0,768106
30	60	1,13	19,7	18,1	18,9	1,6	64,86	13,08	51,78766	0,76217
30	70	1,32	21,9	19,7	20,8	2,2	88,29	18,38	69,91189	0,755265
30	80	1,5	23,4	20,5	21,95	2,9	115,3	24,56	90,75652	0,748706

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

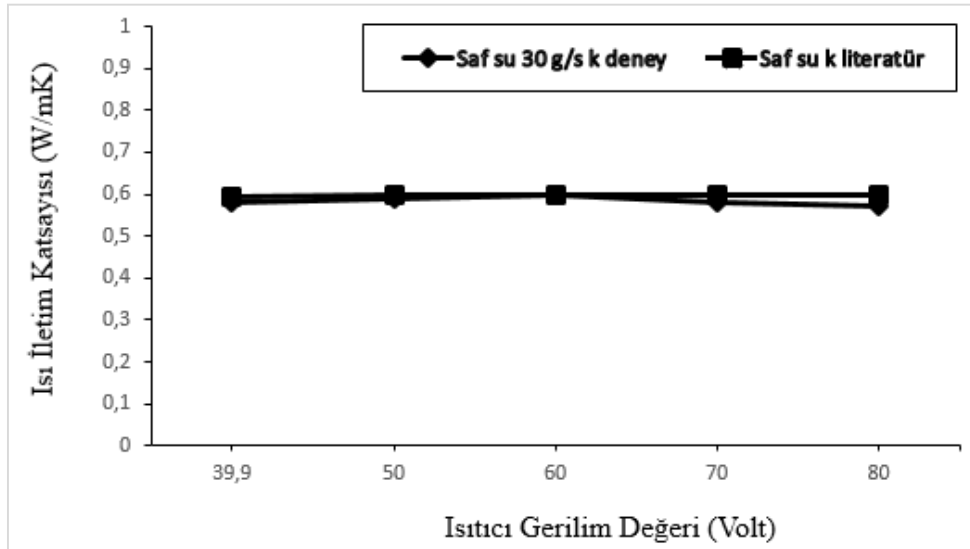
Deney düzeneğinin doğruluğunu ve hata oranının tespit edilmesi maksadıyla literatürde ısı iletim katsayısı yer alan bir akışan ile deney yapılması ve deney sonucunda elde edilen değerlerin literatürde yer alan değerlerle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sebeple saf su ile 40 V, 50 V, 60 V, 70 V ve 80 V ısıtıcı gerilim değerlerinde ve soğutucu akışkan debisi 20 – 25 – 30 g/s olan deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre saf suyun ısı iletim katsayısı hesaplanmış ve literatür tablo değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, hesaplanan ısı iletim katsayısının literatür tablo değerlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur. Deney sonuçları ve literatür tablo değerleri arasında % 4,27 ile % 0,08 arasında değişen bağıl hata hesaplanmıştır. Bulunan bağıl hata değerleri bilimsel olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır. Buna göre tasarlanan sıvıların ısı iletim katsayısı ölçüm cihazının bu amaç için kullanılabilmesi mümkün gözükmektedir.



Şekil 7.1. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf su – 20 g/s debi)



Şekil 7.2. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf su – 25 g/s debi)



Şekil 7.3. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf su – 30 g/s debi)

Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'ten görüldüğü üzere 20 – 25 – 30 g/s soğutucu akışkan debilerinde ısıtıcı gerilim değerleri artırılarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Cihazda meydana gelebilecek kaçak ısı miktarıda dikkate alınarak bir q değeri hesaplanmış ve buna göre 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt için saf suyun ısı iletim katsayıları belirlenmiştir. Çizelge 7.1'de saf suyun fiziksel özellik tablosunda yer alan ısı iletim katsayılarına göre hesaplanan hata oranları yer almaktadır.

Çizelge 7.1. Debisi 30 g/s olan saf suyun deney sonuçları ve hata (bağıl) değerleri

Deney No	ΔT (°C)	k (W/mK) Hesaplanan	k (W/mK) Kaynak	RE (%)
1	0,9	0,581	0,5957	2,53
2	1,4	0,5906	0,5966	1,02
3	2	0,5977	0,5972	-0,08
4	2,8	0,5805	0,5982	3,04
5	3,7	0,5738	0,5983	4,27
ΣRE				10,78
MRE				2,156

Yapılan deney sonuçlarına göre hesaplanan ve literatürde yer alan ısı iletkenlik katsayıları çerçevesinde hesaplanan bağıl hata % 10,78 ve ortalama bağıl hata % 2,156 olarak bulunmuştur.

Saf su ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar içerisinde saf suyun literatürde yer alan ısı iletim katsayısı değerine en yakın sonuçların 30 g/s debide 60 – 70 volt değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Ölçülen deney sonuçları ile fiziksel özellik tablosundan alınan değerler arasındaki ortalama bağıl hata % 2 olarak bulunmuştur. Farklı debilerde yapılan deneylerden debinin en az 30 g/s olması gerektiği bulunmuştur. Yapılan hesaplamalara göre 30 g/s'den daha düşük debilerde ısı iletim katsayısının gerçek değerinden daha küçük çıktığı görülmüştür.

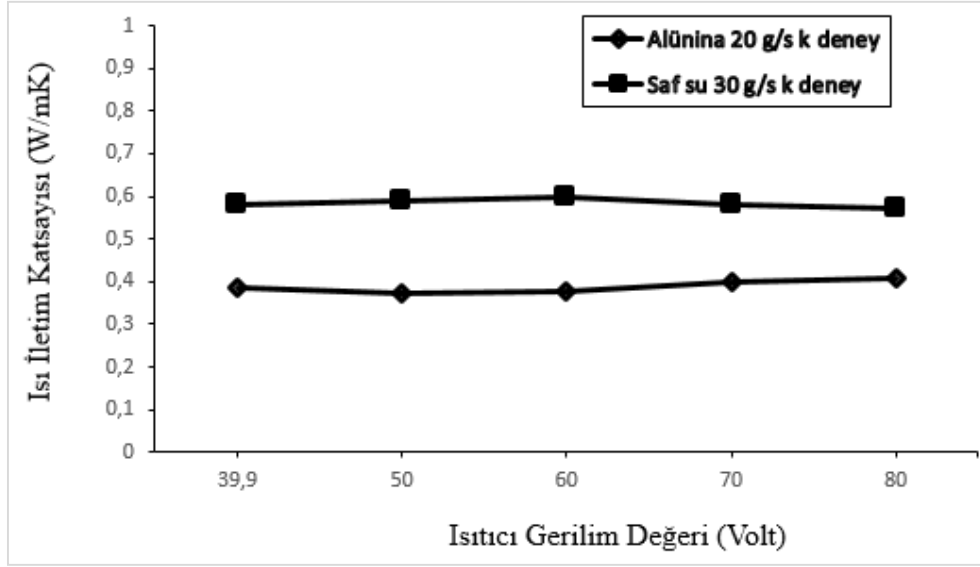
7.1. Çalışılan Akışkanlar

Nanoteknolojideki gelişmeler ile nano parçacıklar geçmişe göre çok daha kolay bir şekilde elde edilmekte ve üretilmektedir. Katı partiküllerin (mm veya mikrometre ebatlardaki) süspansiyon şeklinde çalışma akışkanına eklenmesiyle çeşitli çalışmalar yapılmış fakat uygulanan bu yöntem ile çökme, aşınma, tortulaşma gibi dezavantajlar meydana gelmiştir. Bu dezavantajları gidermek amacıyla partiküllerin daha homojen yapıda ve daha küçük boyutlarda üretilmeleri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, temel akışkan içerisinde bakır, gümüş, altın ve alüminyum gibi ısı iletkenlikleri yüksek nano taneciklerin kullanılması fikri önerilmiştir [30, 31].

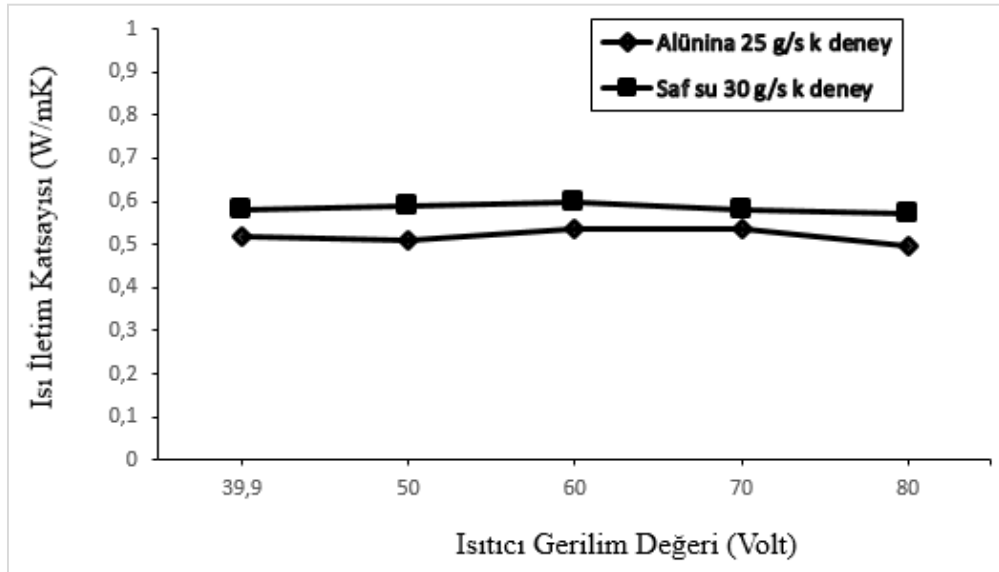
7.1.1. Alüminyum oksit (Al_2O_3) (alümina)

Mikron boyutundaki alümina parçacıkları ile nanopartikül haline dönüştürülen alümina parçacıkları arasında önemli farklar bulunmaktadır. Nanoalüminanın birden fazla avantajı bulunmaktadır. Öncelikle parçacığın boyutu küçüldükçe daha büyük yüzey alanı meydana gelir ve moleküler çarpışma oranı artar. Bu artış sayesinde reaksiyon oranı artar daha iyi bir katalizör ve reaktant yapılıır. İnce aşındırıcı taneleri ilave olarak ince parlatmaya olanak sağlar ve bu sayede nano işleme ve nanoprobleler gibi yeni uygulama alanları ortaya çıkmaktadır. Kaplamalar açısından nano ölçekli alümina parçacıklarının kullanılması önemli ölçüde bu kaplamaların kalitesini ve tekrarlanabilirliğini arttıracaktır.

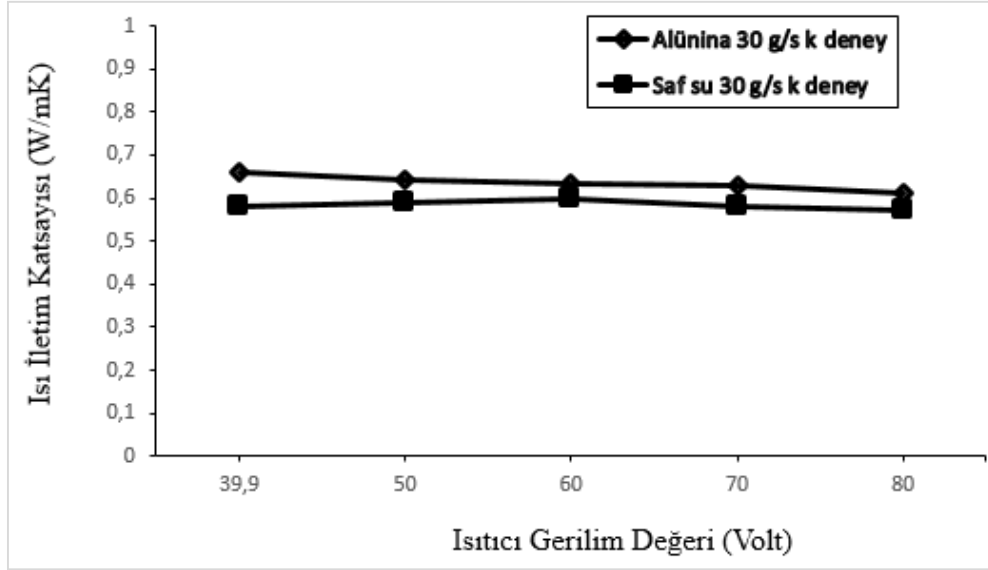
Nano alüminanın üretimi için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler kimyasal ve fiziksel yöntemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Fiziksel yöntemlere lazer ablasyonu, mekanik freze, plazma termal ayrışma ve alev spreyleme örnek olarak verilebilir. Kimyasal yöntemlere ise solgel işlem, buhar birikimi, çözelti ve yanma ayrışması örnekleri verilebilir. Kimyasal yöntemlerin çoğu son derece düşük verim oranlarına sahiptir. Bu sebeple kitle üretime adapte edilememektedir. Mekanik öğütme gibi fiziksel yöntemlerde, nanopartiküllerin büyüklükleri kontrol edilememektedir. Ayrıca bu metotlar belirli malzemelere uygulanabilmektedir. Lazer ablasyonu, buhar biriktirme ve solgel gibi diğer yöntemler vakum sistemleri, yüksek güçlü lazerler, pahalı öncü kimyasallar gibi özel ekipman gerektirdiğinden dolayı çok pahalıdır. Sonuç olarak birçok sistem sadece belirli malzeme aralıkları için uygundur [41].



Şekil 7.4. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Alümina – 20 g/s debi)



Şekil 7.5. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Alümina – 25 g/s debi)



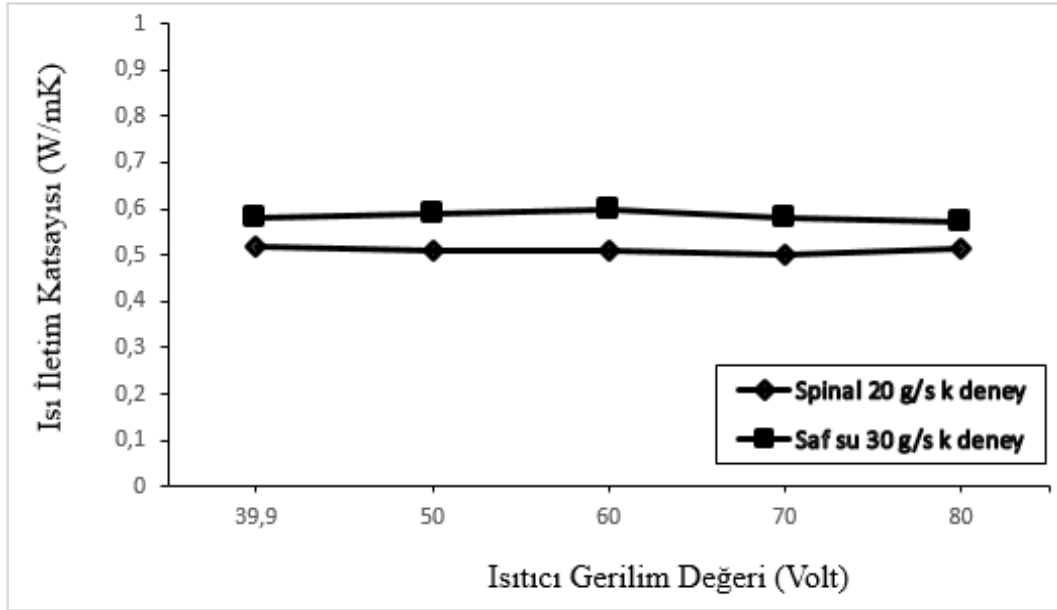
Şekil 7.6. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Alümina – 30 g/s debi)

Alümina (Al_2O_3) ile yapılan deneylerin sonucunda oluşturulan grafikler şekil 7.4, şekil 7.5 ve şekil 7.6'da görülmektedir. Bahsi geçen grafikleri incelediğimizde 20 ve 25 g/s debide 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için alümina akışkanının ısı iletkenlik katsayısının saf suya göre daha düşük olduğu buna karşın 30 g/s debide ise 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için alüminanın ısı iletkenlik katsayısının saf suya oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

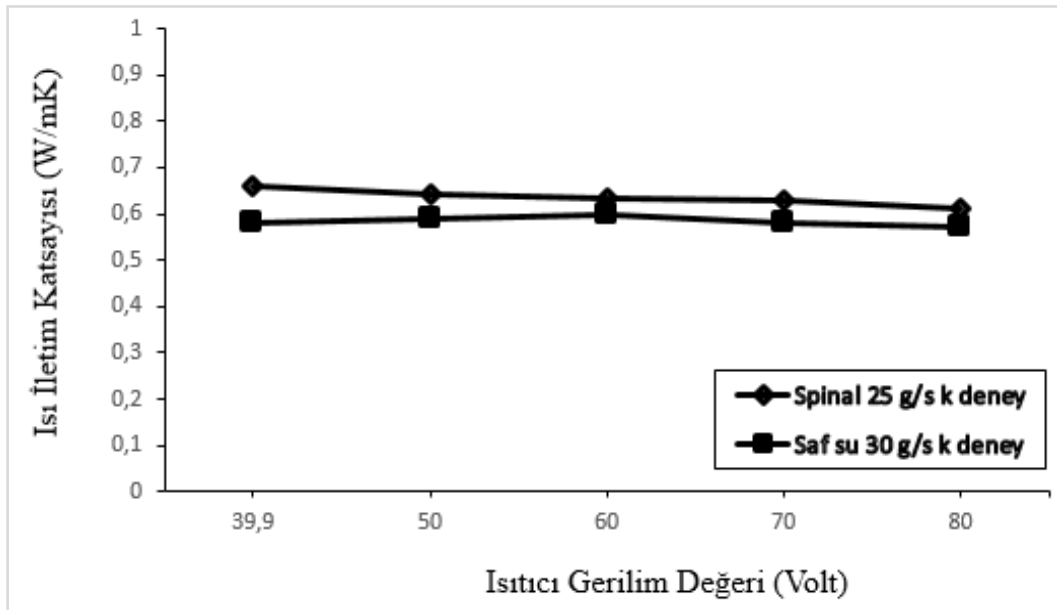
7.1.2. Magnezyum alüminat spineli (MgAl_2O_4)

Magnezya (MgO) ve Alümina (Al_2O_3)'nın belirli oranlarda süspanse edilmesi sonucu magnezyum alüminat spinel (MgAl_2O_4) oluşmaktadır. $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ karışımı cüruf sınıfına girmekte ve metalurjinin ilgi alanında yer almaktadır. Ayrıca ara bileşik olan spinel- MgAl_2O_4 maden olarak bilinmekte ve bu mineralin özellikleri yer bilimlerinin ilgi alanına girmektedir [62].

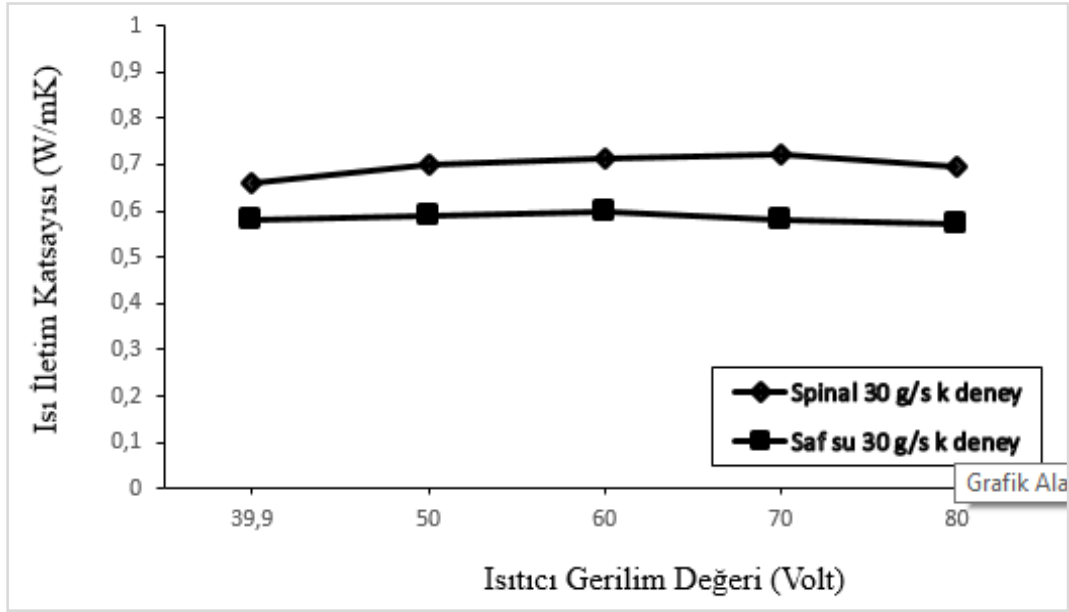
Ayrıca spinel tuğlalar manyezit, kireç ve dolomit fırınlarında kullanılmakta özellikle çimento döner fırınlarında yer almaktadır. Dünyada magnezya-spinele olan ilginin artmasının en önemli sebebi magnezya-krom tuğlaların çevre kirliliğine sebebiyet vermesi ve söz konusu tuğlaların imhasındaki sıkıntılardır.



Şekil 7.7. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Magnezyum Alüminat Spinali – 20 g/s debi)



Şekil 7.8. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Magnezyum Alüminat Spinali – 25 g/s debi)



Şekil 7.9. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Magnezyum Alüminat Spinali – 30 g/s debi)

Magnezyum Alüminat Spinali ile yapılan deneyler sonucunda oluşturulan grafikler Şekil 7.7, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da görülmektedir. Bahsi geçen grafikleri incelediğimizde 20 g/s’de 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için saf suyun ısı iletkenlik katsayısının Magnezyum Alüminat Spinali akışkanından daha iyi olduğu fakat 25 – 30 g/s debide ise 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için ısı iletkenlik katsayısının saf suya oranla daha yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmektedir. En iyi sonuç ise 30 g/s’de tüm volt değerleri için elde edilmiştir.

7.1.3. Füzel yağı

Amil alkollerin doğal bir kaynağı olan Füzel yağı, fermentasyonla etil alkol üretim endüstrisinin damıtma basamağı yan ürünüdür.

Füzel yağının özellikleri

Füzel yağının bileşimi ve miktarı, alkol üretim işleminde kullanılan karbonun çeşidi ve hazırlanma metodu ile füzel yağının fermentasyon karışımından ayırma metoduna bağlı olarak değişmektedir. Füzel yağı, başlıca düşük molekül ağırlıklı alkoller, az miktarda su ve eser miktarda aldehitler, serbest asitler ve onların esterleri, yüksek alkoller, terpenlerden oluşmaktadır [46].

Çizelge 7.2. Füzel yağı bileşimleri ve özellikleri [47]

Bileşen	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kaynama Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)	Hacimsel %	Kütlesel %
i-amil alkol	C ₅ H ₁₂ O	88,148	0,8104	131,1	-117,2	63,93	61,52
i-bütül alkol	C ₄ H ₁₀ O	74,122	0,802	108	-108	16,66	15,87
n-bütül alkol	C ₄ H ₁₀ O	74,122	0,8098	117,7	-89,5	0,736	0,708
n-propil alkol	C ₃ H ₈ O	60,09	0,8034	97,1	-126,5	0,738	0,704
etanol	C ₂ H ₆ O	46,07	0,789	78,4	-114,3	9,58	8,98
su	H ₂ O	18	1	100	0	10,3	12,23

Füzel yağı, rengi sarıdan koyu kahverengiye değişebilen, hoş olmayan, çok keskin ve öksürten kokuya sahip bir sıvı olup çoğu ülkede genellikle fabrikaların enerji ihtiyacını karşılamak için yakılmakta veya atılmaktadır [48,49].

Çizelge 7.3. Füzel yağı fiziksel ve kimyasal özellikler [50]

Fiziksel Hali	Sıvı
Ph	-
Parlama Noktası	±42°C
Yanıcılık	1 - 10% v/v
Kendiliğinden Tutuşma Sıcaklığı	350°C
Buhar Basıncı	5 mmHg 25°C
Yoğunluk	837 kg/m ³ 25°C
Su Çözünürlüğü	Çok az

Füzel yağı tehlike tanımı

Füzel sıvısının yutulması halinde, buharının solunumunda, deri ve göz ile temasında ciddi hasarlara neden olur. Solunumda tahrişe, halsizlik veya başdönmesine neden olabilir. Füzel yağının sıvı ve buhar hali için bir diğer dezavantaj ise alevlenebilir olmasıdır [50].

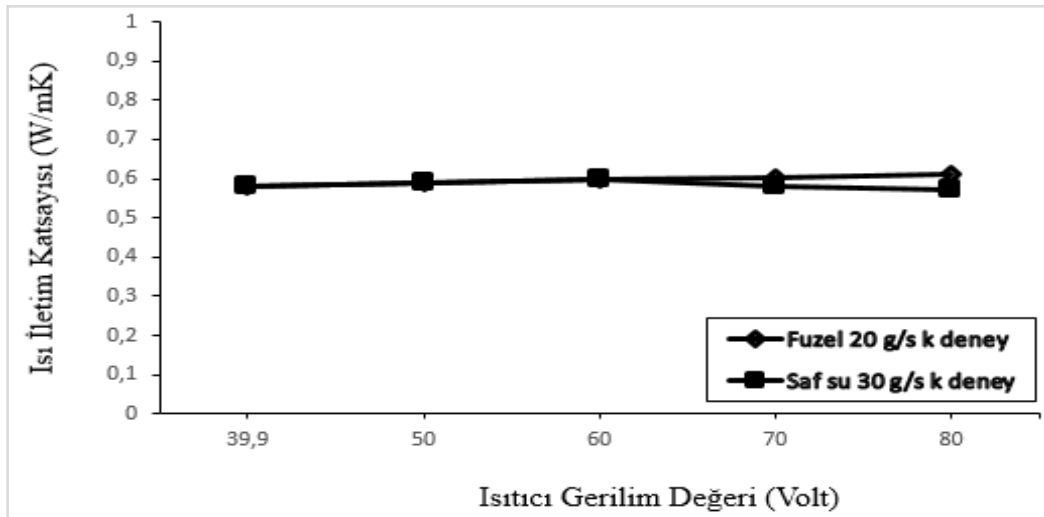
Füzel yağı kullanım alanları

Füzel yağı, alkol fabrikalarında yan ürün olarak elde edilmekte olup ülkemizde, her 100 litre etil alkole karşılık 0,4-0,7 litre fuzel yağı açığa çıkmaktadır. Örnek olarak 2006 yılı içinde

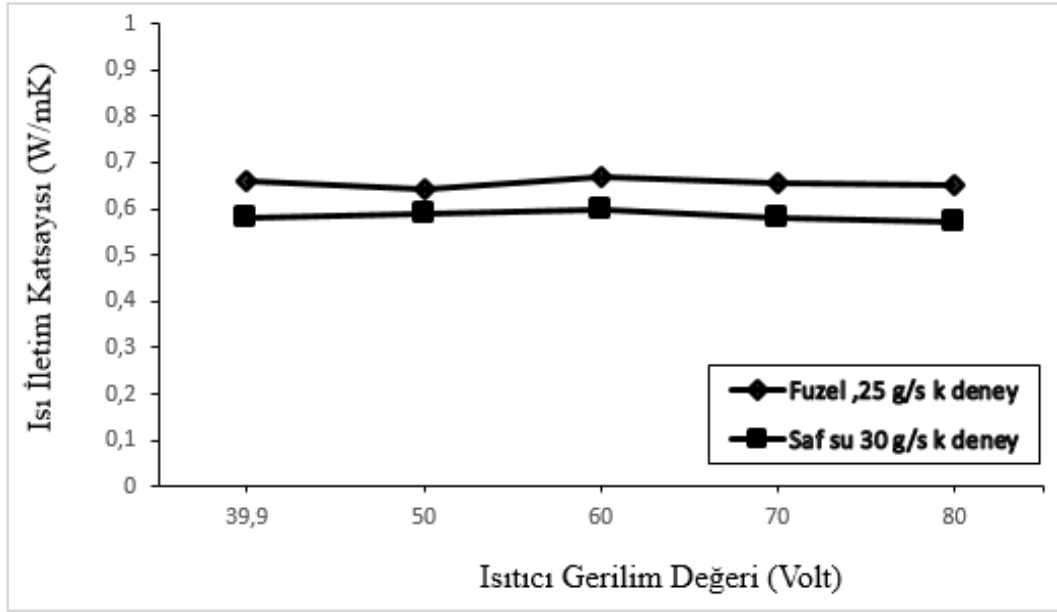
üretilen 7,2 milyon litre saf alkol miktarından 2006 yılı için 28800-50400 litre fuzel yağı elde edildiği ve bu atığın ülkemizde etkin olarak değerlendirilemediği dikkate alınırsa ortaya çıkacak kirliliğin boyutları önemli olmaktadır [51]. Özellikle, bu alkollerin asetat ve bütirat esterleri tat ve koku bileşenleri olarak, gıda, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde katkı maddesi olarak ekonomik değere sahiptirler [48]. Yüksek alkol kaynağı olarak, boya ve plastik yapımında kullanılır [52]. Ayrıca, yakılarak enerji elde etmek için kullanılmaktadır.

Füzel yağı ile ilgili yapılan literatür çalışmaları

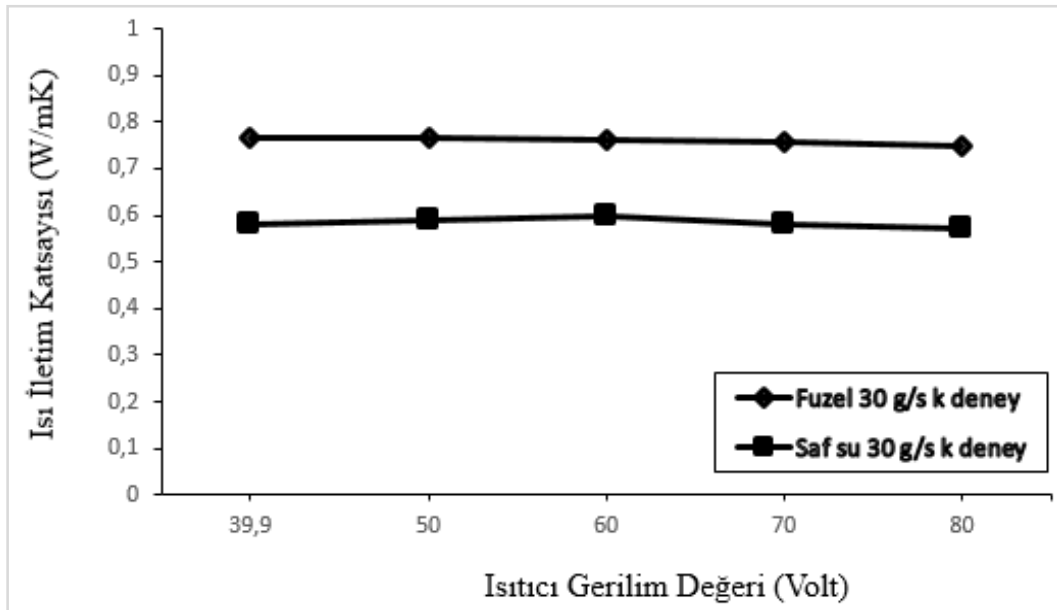
Füzel yağı ile yapılan ilk çalışma, 1853 yılında Wetherill tarafından yapılmıştır [53]. Füzel yağının kullanılabilirliği üzerine; çözücü içermeyen ortamda füzel yağını oleik asitle esterifikasyon reaksiyonu ile biyo-yaglayıcı edilmesi [54], alkollü içeceklerdeki fuzel yağının katı faz dinamik ekstraksiyonu (SPDE) ile belirlenmesi [55], füzel yağı ve hindistan cevizi kreması biyosentezi ile aktif oktanik asit tatlandırıcı esterini edilmesi [56], füzel yağında bulunan izoamil alkol ile asetik asit *Candida antarctica* enzimiyle izoamil asetat üretilmesi [57], fuzel yağı ve *Williopsis saturnus* mayasıyla izoamil asetat üretimini geliştirilmesi [58], çözünü olmayan ortamda Hindistan cevizi yağı ile füzel alkollerini Lipaz katalizli transesterifikasyonunu incelenmesi [59], kıvılcım ateşlemeli motorda fuzel yağının performans, emisyon ve yanma özelliklerinin araştırılması [60,61].



Şekil 7.10. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Füzel – 20 g/s debi)



Şekil 7.11. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Füzel – 25 g/s debi)



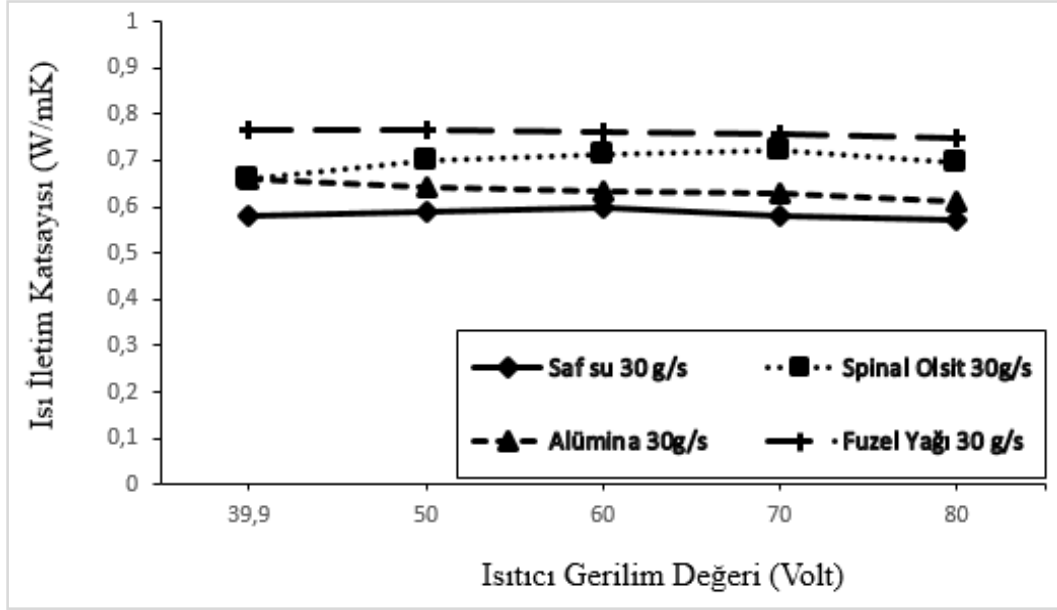
Şekil 7.12. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Füzel – 30 g/s debi)

Fermentasyonla etil alkol üretim endüstrisinin damıtma basamağı yan ürünü ve amil alkollerin doğal kaynağı olan Füzel yağının deney sonuçları şekil 7.10 – şekil 7.11 ve şekil 13'te görülmektedir. Söz konusu grafikler incelendiğinde diğer 3 akışkana göre (saf su, Alümina, Spinal Oksit) 20 – 25 – 30 g/s debi ve 39,9, 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri için ısı iletkenlik katsayısının saf suya oranla en iyi ısı iletim katsayısının elde edildiği görülmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında öncelikle sıvıların ve gazların ısı iletkenliğinin ölçülmesi hakkındaki literatür çalışmaları incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda PH Hilton firması tarafından üretilen deney seti örnek alınarak temelinde silindirik metot mantığı bulunan test düzeneği tasarlanmış, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü imkânları ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler Birimi desteği ile imal edilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. İmal edilen deney düzeneğinin doğruluğunu tespit etmek ve hata oranını bulmak amacıyla deney akışkanı saf su olarak belirlenmiştir. Saf suyla yapılan deney sonucunda elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri literatürde yer alan katsayılarla karşılaştırılmış ve ortalama bağıl hata % 2,156 olarak bulunmuştur. Bu değerin literatürde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Tasarlanan cihazda iş akışkanının yer aldığı radyal boşluk kalınlığının çok küçük olması sebebiyle taşınım ile ısı transferi ihmal edilmiştir. Ayrıca soğutma suyu debisi uygun bir şekilde ayarlanabildiği takdirde, tasarlanmış cihazdan fiziksel özellik tablo değerleri ile daha uyumlu sonuçlar alınabilecektir. Düzenekte kullanılan soğutma suyunun debisi de doğru sonuçlar elde edebilmemiz için önemli bir etkidir.

Akabinde alümina, magnezyum alüminat spineli nanoakışkanları ve füzel yağı akışkanıyla deneyler tekrarlanmış, yapılan ölçümler tablo haline getirilmiş ve grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 8.1. Isı iletim katsayısı - ısıtıcı gerilim değeri grafiği (Saf Su, Alümina, Magnezyum Alüminat Spinali, Füzeli Yağı – 30 g/s debi)

Saf su, Alümina, Magnezyum Alüminat Spinali ve Füzeli Yağı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen en iyi sonuç tüm akışkanlarda da 30 g/s soğutucu akışkan debisinde elde edilmiştir. Deneyleri yapılan akışkanlara ait ısıtıcı gerilim değeri ile ısı iletim katsayısı grafiği şekil 8.1’de görülmektedir. Yukarıdaki grafik incelendiğinde deneyleri yapılan dört akışkan içerisinde ısı iletkenlik katsayısının en yüksek çıktığı akışkan füzeli yağı olarak tespit edilmiştir.

Tasarımı ve imalatı yapılan deney setinde ölçüm yapmadan önce cihazların kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca sisteme giren ve çıkan ısı miktarı hesaplanırken kaçak ısı miktarı belirlenmeli ve bu hususa dikkat edilmelidir. Soğutucu akışkanın debisi de yukarıda yapılan deneylerden de görüldüğü üzere büyük önem arz etmektedir. Bahsi geçen parametreler deney sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Ayrıca çoğu fakültelerin, meslek yüksek okullarının laboratuvarlarında bu çalışma kapsamında tasarlanan cihaz, ithal edilmekte ve çok yüksek maliyetle satın alınmaktadır. Bu sebeple yapılan bu çalışma, çok yüksek maliyetle satın alınan deney cihazını kendi imkânlarımızla çok daha düşük maliyetle imal edebileceğimiz gerçeğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

1. Milli Eğitim Bakanlığı. (2012). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi*. Ankara: Mesleki ve Teknik Eğitim Genel Müdürlüğü, 3-36.
2. Eyüphan, M., Şahin, B., Çomaklı, Ö. (2012). Mikrokanallarda Nanoakışkanların Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 53(627), 38-42.
3. Murugesan, C., Tamilkalundu, S. (2012, 28-29 April). *Mechanism of Forced Convective Heat Transfer in Al₂O₃/Water Nanofluid Under Laminar and Turbulent Flow*. Paper presented at the 2nd International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences, Singapore.
4. Wang, X., Xu, X., Choi, S. (1999). Thermal Conductivity of Nanoparticle-Fluid Mixture. *Journals of Thermophysics and Heat Transfer*, 13(4), 474-480.
5. Xuan, Y., Li, Q., Hu, W. (2003). Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids. *An Official Publication of the American Institute of Chemical Engineers Journal*, 49(4), 1038-1043.
6. Wang X., Mujumdar A.S. (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International Journal of Thermal Sciences*, 46(1), 1-19.
7. Saidur, R., Meng, T.C., Said, Z., Hasanuzzaman, M., Kamyar, A. (2012). Evaluation of the effect of nanofluids-based absorbers on direct solar collector. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 5899-5907.
8. Yousefi, T., Shojaeizadeh, E., Veysi, F., Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT-H₂O nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector. *Solar Energy*, 86(2), 771-779.
9. Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Renewable Energy*, 39(1), 293-298.
10. 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.
11. Hung, Y., Teng, T., Lin, B. (2013). Evaluation of the thermal performance of a heat pipe using alumina nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44, 504-511.
12. Utomo, A., Heiko Poth. B., Robbins, A., Andrzej W. Pacek A. A. W. (2012). Experimental and theoretical studies of thermal conductivity, viscosity and heat transfer

- coefficient of titania and alumina nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25-26), 7772-7781.
13. 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(1-3), 656-661.
 14. Khandekar, S., Joshi, Y. M., Mehta, B. (2008). Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 47(6), 659-667.
 15. 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(1-3), 376-383.
 16. Kang, S., Wei, C., Tsai, S., Yang, S. (2006). Experimental investigation of silver nanofluid on heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, 26(17-18), 2377-2382.
 17. Sureshkumar, R., Mohideen, S., T., Nethaji, N. (2013). Heat transfer characteristics of nanofluids in heat pipes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 397-410.
 18. Lu, L., Liu, Z., Xiao, H. (2011). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors Part 1: Indoor experiment. *Solar Energy*, 85(2), 379-387.
 19. Colangelo, G., Favale, E., Rissi, A., Laforgia, D. (2012). Results of experimental investigations on the heat conductivity of nanofluids based on diathermic oil for high temperature applications, *Applied Energy*, 97, 828-833.
 20. Alizad, K., Vafai, K., Shafahi M. (2012). Thermal performance and operational attributes of the startup characteristics of at-shaped heat pipes using nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 140-155.
 21. Albadr, J., Tayal, S., Alasadi, M. (2013). Heat transfer through heat exchanger using Al_2O_3 nanofluid at different concentrations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 1(1), 38-44.
 22. Huminic, G., Huminic, A., Morjan, I., and Dumitrache, F. (2001). Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(1-3), 656-661.

23. Sonawane, S., Khedkar, R., Wasewar, K. (2013). Study on concentric tube heat exchanger heat transfer performance using Al_2O_3 -water based nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 60-68.
24. Tiwari, A.K., Ghosh, P., Sarkar, J. (2013). Performance comparison of the plate heat exchanger using different nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49, 141-151.
25. Kayfeci, M., Kurt, H. (2007). Sıvılar için ısı iletim katsayısı ölçüm cihazının tasarımı imali ve test edilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 907-915.
26. İnternet: Turan, O. Isı Transfer Sistemleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F43343858-Dr-osman-turan-makine-ve-imalat-muhendisligi-bilecik-seyh-edebali-universitesi-isi-transferi.html&date=2018-03-20>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018
27. Emekçi, C. (2017). *Silindirik Metod ile Füzel Yağının Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-30.
28. Şahin B., Çomaklı K., Çomaklı Ö., Yılmaz M. (2006). Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 47(559), 29-34.
29. Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J. (2001). Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 78(6), 718-720.
30. Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K., Hishinuma, N. (1993). Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. *Netsu Bussei*, 7(4), 227-233.
31. Choi, S.U.S., Eastman, J. A. (1995, 12-17 November). *Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles*. Paper presented at the The American Society of Mechanical Engineers International Mechanical Engineering Congress & Exposition, San Francisco, CA.
32. Liveri, V. T. (2006). *Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems* (Fifth edition). New York: Springer Science Business Media, 91-164.
33. Gürmen S., Ebin B. (2008). Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1. *TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Dergisi*, 150, 31-38.

34. Xie, H., Yu, H., Chen, L. (2011). Discussion on the thermal conductivity enhancement of nanofluids. *Nanoscale Research Letters*, 6(127), 2-12.
35. Mayoral, A., Barron, H., Estrada, R., Vazquez, A., Jose, M. (2010). Nanoparticle stability from the nano to the meso Interval. *Nanoscale Research Letters*, 2, 335-342.
36. Luther, W. (2006). International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology; Technologiezentrum for Riose National Laboratory, *Virtual University of Tunisia*, Düsseldorf, 1-36.
37. İnternet: Zaki, A. (2006). Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Nanomaterials. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.azonano.com%2Fdetails.asp%3FArticleID%3D+1710&date=2018-03-20>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018
38. Yu, W., France, D. M., Choi, S.U.S., Routbort, J.L. (2007). Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications: Argonne National Laboratory, *Energy Systems Division*, Argonne, 6-46.
39. Wei, X., Zhu, H., Kong, T., Wang, L. (2009). Synthesis and thermal conductivity of Cu₂O nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(19-20), 4371-4374.
40. Long, J., Dong, J., Wang, X., Ding, Z., Zhang, Z., Wu, L., Li, Z., Fu, X. (2009). Photochemical synthesis of submicron and nano-scale Cu₂O particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333(2), 791-799.
41. Tok, A.I.Y., Boey, F.Y.C., Zhao, X.L. (2006). Novel synthesis of Al₂O₃ nanoparticles by flame spray pyrolysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 270-273.
42. Matos, J. M. E., Gonçalves, J. S., Santos, V., Leal, S. H. B. S., Santos, L. S., Santos, M. R., Longo, E. (2009). *Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO₂ nanoparticles*. Paper presented at the 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro, Brazil.
43. Wang, X., Mujumdar A.S. (2008). A review on nanofluids-part 1: Theoretical and numerical investigations. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(4), 613-630.
44. Shanthi, R., Anandan, S., Ramalingam V. (2012). Heat transfer enhancement using nanofluids an overview. *Thermal Science*, 16(2), 423-444.
45. Montgomery, D.C., Runger, G.C. (2002). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (Sixth edition). Arizona: John Wiley & Sons, 102-625.

46. Patil, A., Koolwal, S.M., Butala, H.D. (2002). Fusel oil: composition, removal and potential utilization. *International Sugar Journal*, 104(1238), 51-58.
47. Calam, A. (2011). *Füzel yağının buji ile ateşlemeli bir motorda yakıt karışımı olarak kullanılmasının motor performansı ve emisyonlara etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 21-22.
48. Kirk, R.E. ve Othmer, D.F. (1992). *Encyclopedia of Chemical Technology*. (Third edition Vols. 1-24). New York: Wiley.
49. Welsh, F.W., Williams, R.E. (1989). Lipase mediated production of flavor and fragrance esters from fusel oil. *Journal of Food Science*, 54(6), 1565-1568.
50. İnternet: Ncp Alcohols. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ncpalcohols.com%2FMSDS%2FMSDS%2520Fusel%2520Oil.pdf&date=2018-03-20>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018
51. Güvenç, A., Aydoğan, Ö., Kapucu, N., Mehmetoğlu, Ü. (2007). Füzel yağından izoamil asetat üretimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 801-808.
52. İnternet: Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.turkseker.gov.tr%2FUnler.aspx%3FKOD%3D08.02.+&date=2018-03-20>, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018
53. Wetherill, C.M. (1853). Examination of fusel oil from indian corn and rye. *Journal of the Franklin Institute*, 55(6), 385-391.
54. Dörmö, N., Belafi-Bako, K., Bartha, L., Ehrenstein, Gubicza L. (2004). Manufacture of an environmental-safe biolubricant from fusel oil by enzymatic esterification in solvent-free system. *Biochemical engineering Journal*, 21(3), 229-234.
55. Jochmann, M.A., Kmiecik, M.P. ve Schmidt, T.C. (2006). Solid-phase dynamic extraction for the enrichment of polar volatile organic compounds from water. *Journal of Chromatography*, 1115(1-2), 208-216.
56. Sun, J., Yu, B., Curran, P., Liu, S.Q. (2012). Optimisation of flavour eter biosynthesis in an aqueous system of coconut cream and fusel oil catalysed by lipase. *Food Chemistry*, 135(4), 2714-2720.
57. Güvenç, A., Aydoğan, Kapucu, Ö. N., Mehmetoğlu, Ü. (2007). Enzymatic esterification of isoamyl alcohol obtained from fusel oil: Optimization by response surface methodology. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(4), 778-785.

58. Yılmaztekin, M., Erten H., Cabaroglu, T. (2009). Enhanced production of isoamyl acetate from beet molasses with addition of fusel oil by *Williopsis saturnus* var. *Saturnus*. *Food Chemistry*, 112(2), 290-294.
59. Sun, J., Yu, B., Curran, P., Liu, S.Q. (2012). Lipase-catalysed transesterification of coconut oil with fusel alcohols in a solvent-free system. *Food Chemistry*, 134(1), 89-94.
60. Calam, Y., İcingür, H., Solmaz, H., Yamık, A. (2013). Comparison of engine performance and emissions of fusel oil and gasoline mixtures at different ignition timings. *International Journal of Green Energy*, 12(8), 767-772.
61. Solmaz, H. (2015). Combustion, performance and emission characteristics of fusel oil in a spark ignition engine. *Fuel Processing Technology*, 133, 20-28.
62. Menlik T., Sözen A., Gürü M., Çağlayan N., Öztaş S. (2015). Spineloksit partikül içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 285-304.
63. Doğan M. (2015). *Yenilenebilir Enerjide Tarımın Rolü*, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 1-8.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ARSLAN, Cihangir
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.08.1990, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (551) 438 77 20
 Faks : -
 e-mail : cihangirarslan06@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Enerji Sistemleri Müh.	Devam ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2013
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2013
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İşletme	2012
Lise	Çağrıbey Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi
2013-2014	Moment Proje	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Variyenli, H.İ., Arslan, C. (2017). Sıvıların ve Gazların Isıl İletkenlik Katsayısını Belirleyebilmek İçin Laboratuvar Tipi Bir Deney Cihazının Tasarımı, İmalatı ve Test Edilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 599-605.

Hobiler

Yüzme



GAZİ GELECEKTİR..