



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Karşıt Akışlı Kapalı Tip Soğutma Kulelerinde
Nanoakışkanlar Kullanılarak Kondenser Soğutucu
Akışkanının Isıl Performansının Optimize Edilmesi**

Yüksek Lisans Tezi

Hakan Kemer

Temmuz 2025



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Karşıt Akışlı Kapalı Tip Soğutma Kulelerinde
Nanoakışkanlar Kullanılarak Kondenser Soğutucu
Akışkanının Isıl Performansının Optimize Edilmesi**

Yüksek Lisans Tezi

Hakan Kemer

Danışman

Doç. Dr. Yasin Karagöz

Temmuz 2025

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Hakan Kemer tarafından hazırlanan "Karşıt Akışlı Kapalı Tip Soğutma Kulelerinde Nanoakışkanlar Kullanılarak Kondenser Soğutucu Akışkanının Isıl Performansının Optimize Edilmesi" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Çevre ve Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Yasin Karagöz

Kurumu

Üyeler:

Prof. Dr. Erkan Şahinkaya

Kurumu

Prof. Dr. Çiğdem Şahin

Kurumu

Unvanı Adı Soyadı

Kurumu

Unvanı Adı Soyadı

Kurumu

Tez Savunma Tarihi: 21/ 07 / 2025

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığında yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun APA kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

İmza

Doç. Dr. Yasin Karagöz

Etik İlkeler Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

İmza

Hakan Kemer

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımda büyük bir özveri gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Yasin Karagöz'e ve lisansüstü eğitimim süresince desteklerini eksik etmeyen başta değerli Prof. Dr. Erkan Şahinkaya'ya ve diğer tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez dönemi süresince laboratuvar ve ekipmanlarından faydalandığım İstanbul Medeniyet Üniversitesine ve tez çalışmama desteklerini esirgemeyen değerli BRC Soğutma ailesine teşekkür ederim.

Eğitimim ve tez dönemim boyunca maddi ve manevi desteğiyle yanımda olan değerli eşime de teşekkür ederim.

Hakan Kemer

İstanbul 2025

İçindekiler

ÖNSÖZ.....	iii
İçindekiler.....	iv
Simgeler ve Kısaltmalar.....	vi
Şekiller ve Tablolar	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1. Giriş.....	1
1.1. Soğutma Kulesi Çeşitleri	4
1.1.1. Açık Tip Soğutma Kuleleri.....	4
1.1.2. Kapalı Tip Soğutma Kuleleri.....	6
2. Nanoakışkan Uygulamalarına Genel Bir Bakış	7
2.1. Nano Partikül Katkılı Sıvı Sentezi ve Stabilitesi	9
2.1.1. Nanoparçacıkların Sentez Teknikleri.....	10
2.1.2. Nanoakışkan Kararlılık Değerlendirme Yöntemleri.....	12
2.1.2.1. Zeta Potansiyeli Ölçümü	13
2.1.2.2. Sedimentasyon ve Santrifüj Yöntemleri.....	13
2.1.2.3. UV-Görünür Spektroskopi Analizi.....	14
2.1.2.4. Dinamik Işık Saçılımı (DLS) Yöntemi.....	14
2.1.3. Nanoakışkan Kararlılığını Artırma Yöntemleri	15
2.1.3.1. Fiziksel Yöntemler	15
2.1.3.2. Yüzey Aktif Maddelerin (Surfaktant) Etkisi	16
2.1.3.3. Nanoparçacıkların Yüzey Fonksiyonelleştirilmesi.....	17

2.1.3.4.	Nanoakışkan Stabilizasyonunda pH Kontrolü.....	18
3.	Nanoakışkan Çeşitleri	18
3.1.	Saf Metaller, Metal Oksitler, Karbür Nanoakışkanlar	18
3.2.	Karbon nanomalzeme bazlı nanoakışkanlar	19
4.	Soğutma Sistemlerindeki Nanoakışkan Kullanımına İlişkin Literatür Çalışmaları ...	20
4.1.	Nanoakışkanların Soğutma Kulelerinde Kullanımı	20
4.2.	Nanoakışkanların Kondenser Sistemlerinde Kullanımı.....	22
5.	Kapalı Tip Kule Kondenser Hattında Nanopartikül Kullanımıyla Isıl Verimlilik Deneyi	
	24	
5.1.	Materyal ve Yöntem.....	24
5.1.1.	Kapalı Tip Soğutma Kule-Kondenser Modeli	24
5.1.2.	Deney Düzenineğinin Hazırlanışı ve Ekipmanlar.....	25
5.2.	Bulgular ve Tartışma	33
5.3.	SONUÇ.....	35
6.	KAYNAK	36

Simgeler ve Kısaltmalar

CWCT	: Counter-Flow Wet Cooling Tower
CFD	: Computational Fluid Dynamics
BAC	: Baltimore Aircoil Company
PTE	: Plate Type Exchanger
FXWT	: Forced Draft Counter-Flow Wet Tower
Nm	: Nanometre
mV	: Mikrovolt
DLS	: Dynamic Light Scattering
W	: Watt
m	: metre
K	: Kelvin
SWCNT	: Single-Walled Carbon Nanotube
MWCNT	: Multi-Walled Carbon Nanotube
CCD	: Central Composite Design
RSM	: Response Surface Methodology
NPG	: Nanoporous Graphene
RPM	: Revolutions Per Minute

Şekiller ve Tablolar

Tablo 1. Isı Eşanjörü Özellikleri.....	26
Tablo 2. Soğutucu Radyatör Özellikleri	27
Tablo 3. Fan Özellikleri	28
Tablo 4. Sirkülasyon Pompası Özellikleri	29
Tablo 5. Debimetre Özellikleri	30
Tablo 6. Sıcaklık Sensörü Özellikleri	31
Tablo 7. Nanopartiküllerin Özellikleri ve Derişim Yüzdeleri	32
Tablo 8. Pompa Gerilim Değerlerine Debi Verileri Tablosu.....	33
Tablo 9. Hassasiyet ve ölçüm belirsizliği tablosu.....	34
Şekil 1. Principle of Operation, PTE Open Cooling Towers, BAC (Kara, 2010)	5
Şekil 2. Construction Details, PTE Open Cooling Towers, BAC, (www.baltimoreaircoil.eu).....	5
Şekil 3. Principle of Operation, FXVT Closed Circuit Cooling Towers, BAC, (www.baltimoreaircoil.eu).....	6
Şekil 4. Farklı boyutlardaki malzemelerin nanometre ölçeğindeki boyutlarla karşılaştırılması (Pabbati, 2021).	9
Şekil 5. Kapalı Tip Soğutma Kulesi ve Chiller (Kondenser-Evaporatör) Sisteminin Şematik Gösterimi www.iqsdirectory.com.....	24
Şekil 6. Kapalı Tip Soğutma Kule-Kondenser Modeli Şematik Gösterimi.....	24
Şekil 7. (a),(b) kapalı tip soğutma kulesinin kondenser kısmını simüle etmek için kurulan deney setinin görseli	25
Şekil 8. Isı Eşanjörü	25
Şekil 9. Soğutma Radyatörü	26
Şekil 10. Fan ve Anemometre.....	27
Şekil 11. Sirkülasyon Pompası	28
Şekil 12. Türbin Tip Debimetre	29
Şekil 13. PT100 Sıcaklık Sensörü.....	30
Şekil 14. Ayarlanabilir DC Dijital Güç Kaynakları.....	31
Şekil 15. Deney düzeneği için alınan nanopartiküller	32
Şekil 16. Sirkülasyon Pompası Voltaj Değerlerine Göre Osiloskop Görüntüleri (24V,12V).....	33
Şekil 17. Pompa Akış ve Eşanjör Isıl Güç Grafiği	34
Şekil 18. Pompa Akış Değerine Göre Isı Transferindeki İyileşme oranı Grafiği.....	35

ÖZET

Karşıt Akışlı Kapalı Tip Soğutma Kulelerinde Nanoakışkanlar Kullanılarak Kondenser Soğutucu Akışkanının Isıl Performansının Optimize Edilmesi

Kemer, Hakan

Yüksek Lisans Tezi, Çevre ve Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yasin Karagöz

Temmuz 2025

Kapalı tip soğutma kulelerinde iki ayrı akışkan devresi bulunmaktadır. Bu tür soğutma kulelerinde soğutulan işlem sıvısı serpantin içerisinde bulunur ve doğrudan hava ya da farklı bir soğutucu kaynakla temas etmez. Diğer devre ise açık devre olarak adlandırılır. Bu devredeki su soğutma kulesi içerisinde fanların oluşturduğu çapraz hava akımıyla soğuyarak kazandığı enerjiyi serpantin içerisinde bulunan sıcak işlem sıvısına aktarır ve kule havuzunda toplanır. Soğuyan işlem sıvısı da evaporatör benzeri ikincil bir soğutucu kaynağının içerisindeki sıvıyı soğutmak için kullanılır. Kapalı tip soğutma kulelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi konusu artan bir ilgi görmüş ve konuyla alakalı pek çok deneysel araştırma yapılmıştır. Nanoteknoloji alanındaki gelişmelerle beraber ısı transfer verimini artırmak amacıyla nanoakışkanların kullanımı pek çok araştırmacı tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada da kapalı tip soğutma kule kondenser modeli oluşturulmuş ve kondenser içerisindeki sıvının ısı transfer verimini artırmak amacıyla 3 farklı nanopartikül (Al_2O_3 , TiO_2 ve SiO_2) kullanılmıştır. Kondenser içerisindeki sıvının ısı transfer verimi nanoakışkan eklenmeden önce ve eklendikten sonra deneysel olarak kıyaslanmıştır. Sonuç olarak nanopartikül ilavesi ile ısı transferinde %51 değerine ulaşan iyileşmeler meydana geldiği ve eşanjörün ısıl gücünün önemli ölçüde arttırılabildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma Kulesi, Kondenser, Evaporatör, Nanopartikül, Nanoakışkan, Isı Transfer Verimi

ABSTRACT

Optimization Of The Thermal Performance Of Condenser Coolant Fluid Using Nanofluids In Counter-Flow Closed-Circuit Cooling Towers

Kemer, Hakan

Master's Thesis, Department of Environmental and Energy Systems

Supervisor: Assoc. Prof. Dr., Yasin Karagöz

July 2025

In closed-circuit cooling towers, there are two separate fluid circuits. In this type of cooling tower, the process fluid to be cooled is contained within a coil and does not come into direct contact with air or another cooling source. The other circuit is referred to as the open circuit. In this circuit, water is cooled by the cross-flow of air generated by fans within the cooling tower, and the energy it loses is transferred to the hot process fluid inside the coil; the water is then collected in the tower basin. The cooled process fluid is subsequently used to cool the fluid within a secondary cooling source, such as an evaporator. The enhancement of heat transfer in closed-circuit cooling towers has garnered increasing interest, leading to numerous experimental studies on the subject. With advancements in nanotechnology, the use of nanofluids to improve heat transfer efficiency has been experimentally investigated by many researchers. In this study, a closed-circuit cooling tower condenser model was created, and three different nanoparticles (Al_2O_3 , TiO_2 , and SiO_2) were used to enhance the heat transfer efficiency of the fluid within the condenser. The heat transfer efficiency of the fluid inside the condenser was experimentally compared before and after the addition of nanofluids. As a result, it was determined that the addition of nanoparticles led to improvements in heat transfer reaching up to 51% and that the thermal power of the heat exchanger could be significantly increased.

Keywords: Cooling Tower, Condenser, Evaporator, Nanoparticle, Nanofluid, Heat Transfer Efficiency

1. Giriş

Petrokimya işletmeleri, rafineriler, termik santraller vb. yerlerde düşük dereceli atık ısıyı farklı soğutma teknolojileriyle atmosfere atabilen çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar arasında soğutma kuleleri, işlem ısını gidermek ve çalışma akışkanını yaşı termometre hava sıcaklığına yakın bir sıcaklığa soğutmak için suyun buharlaşmasını kullanan veya kapalı devre soğutma kulelerinde olduğu gibi, çalışma akışkanını kuru termometre hava sıcaklığına yakın bir sıcaklığa soğutmak için yalnızca havayı kullanan en yaygın seçenektir. Soğutma kuleleri açık tip soğutma kuleleri ve kapalı tip soğutma kuleleri (CWCT'ler) olarak sınıflandırılabilir. Açık tip soğutma kulelerinde işlem suyu hava ile doğrudan temas ederken CWCT'lerde işlem suyu kapalı bir devrede hareket eder ve giriş hava akışıyla doğrudan teması yoktur. Kütle transferi ve ısı transferi esas olarak sadece su buharlaşması ve konveksiyon etkisiyle boru yüzeyinde gerçekleşir. Bu sayede işlem suyu çevresel kirliliklerden uzak ve daha temiz bir hal alır. Açık tip soğutma kulelerindeki kirlilik problemleri görülmez CWCT'lerde görülmez. Bu nedenle, CWCT'lerin ısı transferinin iyileştirilmesi konusu endüstriyel uygulamalarda artan bir ilgi görmüş ve bu konuyla ilgili deneysel açıdan önemli araştırmalar yapılmıştır (Hosoz et al. 2014).

Soğutma verimini artırmak ve CWCT'lerin su tüketimini azaltmak amacıyla son on yılda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda genel olarak; kulenin fiziksel bileşenleri, işletme koşulları ve çevresel koşullar incelenmiş ve soğutma kulelerinin performansını iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır (Imani-Mofrad et al. 2016). İşletme parametrelerinin optimizasyonuna odaklanan çalışmalar; giriş hava debisi, işlem suyu sıcaklığı, püskürtme suyu ve giriş havası gibi parametrelere de odaklanmıştır. Ayrıca CWCT'ler, yeni tasarlanmış bobin boruları, kanatlı borular ve oval borularla

donatılmıştır. Örneğin, Hasan ve Sirén, CWCT’lerde oval boru ile düz boruyu karşılaştırmış ve oval boruların termal-hidrolik performans endeksi açısından düz borulara göre 1.93-1.96 kat daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Hasan et al. 2003).

Zheng ve arkadaşları, oval borulu bir kapalı tip soğutma kulesinde kütle ve ısı transfer katsayılarını hesaplamış ve uygun bir matematiksel model kullanarak termal performansı tahmin etmişlerdir. (Zheng et al. 2012).

Jiang ve arkadaşları, plaka-kanatlı borulu bir çapraz akışlı CWCT’nin soğutma kapasitesini etkileyen işletme faktörlerini incelemiş ve ısı ve kütle transfer katsayıları için korelasyon denklemleri geliştirmişlerdir (Jiang et al. 2013)

Bakır ve plastik borulardan oluşan yeni CWCT’ler, Xia ve arkadaşları tarafından önerilmiş ve farklı koşullarda soğutma verimliliği ile işlem suyu çıkış sıcaklığı değerlendirilmiştir (Xia et al. 2011)

Sarker ve arkadaşları, spiral kanatlı tüplü CWCT’lerin soğutma kapasitelerinin ıslak ve kuru modlarda sırasıyla çıplak tüplü CWCT’lere göre yaklaşık %22 ve %260 daha yüksek olduğunu göstermişlerdir (Sarker et al. 2009).

Milosavljevic ve arkadaşları, dolgu malzemesinin soğutma kulelerinin termal performansı üzerindeki etkisini araştırmak için 0.49 m² kesit alanına sahip zorunlu çapraz akışlı deneysel bir soğutma kulesi kullanmışlardır (Milosavljevic ve Heikkilä, 2001).

Singh ve Das, üç dolgu (damlama, film ve sıçratma dolguları) kullanarak zorlamalı çekişli bir soğutma kulesini deneysel olarak araştırdılar. Deney koşulları altında damlama dolgusunu en verimli dolgu malzemesi olarak tanıttılar (Singh ve Das, 2016).

Lucas ve arkadaşları, dikdörtgen kesitli bir soğutma kulesinin performans özellikleri üzerinde altı farklı damla uzaklaştırıcının etkisini inceleyerek sistemden en az su kaybını sağlayan damla uzaklaştırıcıları bulmaya çalıştılar. Başka bir deneyde, Lucas

ve arkadaşları, dolgu yatağının üst kısmında su dağıtım sisteminin kullanımının etkisini incelediler (Lucas et al. 2013).

Gu ve arkadaşları, CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) yönetimini kullanarak dört farklı rüzgar kırıcı yapı ile soğutma kulesine bağlı enerji santrallerinin ısı transfer performansını hesapladılar. Araştırma sonuçları, rüzgar kırıcı duvarın en optimal yapı olduğunu gösterdi (Gu et al. 2016).

Kuleye giren hava ve suyun akış hızı soğutma kulelerinin termal performansını etkileyen önemli işletme koşullarındandır ve bu konu üzerinde de çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Naphon, soğutma kulesinin termal performansını, kulenin emdiği havanın akış hızı üzerinden incelemiştir (Naphon, 2005). Mondal ve arkadaşları ise aynı çalışmayı kuleye giren suyun akış hızının etkisini inceleyerek gerçekleştirmiştir (Mondal et al. 2015). Smrekar ve arkadaşları, minimum ekserji kaybı sağlayan optimal su/hava kütle akış oranını bulmaya çalışmışlardır. Rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığı gibi farklı çevresel koşullar da soğutma kulelerinin termal performansını etkileyen çevresel koşullar arasında bulunmaktadır (Smrekar et al. 2006).

Muangnoi ve arkadaşları, soğutma kulesinin performansı üzerinde sıcaklık ve nemin etkisini deneysel metotla incelemişlerdir (Muangnoi et al. 2008).

Birçok çalışmada, rüzgar hızının soğutma kulelerinin termal performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lu ve arkadaşları, dairesel kesitli doğal çekişli kuru soğutma kulelerinin termal performansı üzerindeki çapraz rüzgar etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir (Lu et al. 2015).

Soğutma kuleleriyle ilgili yapılan çalışmaların çoğunda şu ana kadar işletme sıvısı olarak su kullanılmıştır. Son zamanlarda ise birçok araştırmacı tarafından nanopartiküllerin kolloidal dağılımından türetilen nanoakışkanlar soğutma kulelerinde çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Nanoakışkanlar, geleneksel su bazlı akışkanlara

göre daha iyi ısı transfer özellikleri sunabilir ve bu nedenle gelecekte soğutma sistemlerinde daha fazla kullanılabilirler.

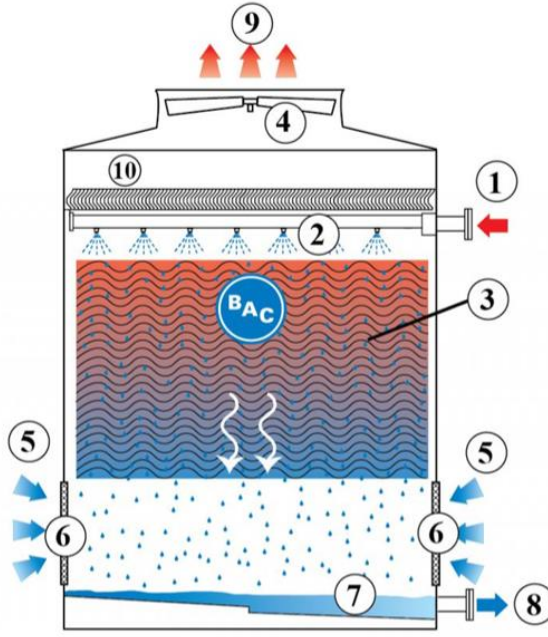
1.1. Soğutma Kulesi Çeşitleri

1.1.1. Açık Tip Soğutma Kuleleri

Bu tip soğutma kuleleri temel olarak hava ile teması olan ısı değiştiricileridir. Bu kuleler, termal olarak dolaşan suyu enerji merkezi kondenserlerinde, soğutucu kondenserlerinde ve diğer ısı değiştiricilerinde yeniden kullanmak için kullanılır. Açık tip (doğrudan temaslı) soğutma kulesinin görüntüsü Şekil 1’de gösterilmiştir (Kara, 2010).

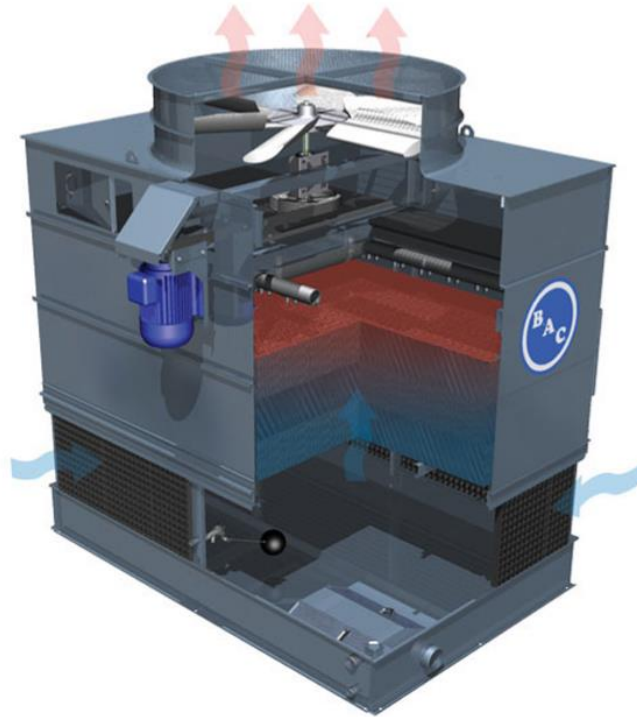
Ana akışkan olarak kullanılan ve ısınarak kuleye gelen su (1), soğutma kulesinin üst tarafındaki nozul (yağmurlama) sistemi (2) içine girer ve buradan dolgu malzemesi (3) üzerine dağıtılır. İçerideki dolgu malzemesi, su ve havanın kütleli transfer için genişletilmiş bir hava-su arayüzü sağlar ve bu sayede buharlaşmayı artırır. Ünitenin üst kısmında bulunan aksiyel fan (4), kulenin yan yüzeylerindeki dolgu malzemeleri üzerinden havayı (5) çeker. Hava, kulenin altından girerek Şekil 2’de gösterildiği gibi yukarı doğru hareket eder.

Kombine giriş kalkanları (6), üniteyi içine çekilebilecek parçacıklardan korur. Sıcak işlem suyu soğuk havayla temas ettiğinde, havanın ısınması ve işlem suyunun bir kısmının buharlaşmasıyla geriye kalan sudan ısıyı uzaklaştırır.



Şekil 1. Principle of Operation, PTE Open Cooling Towers, BAC (Kara, 2010)

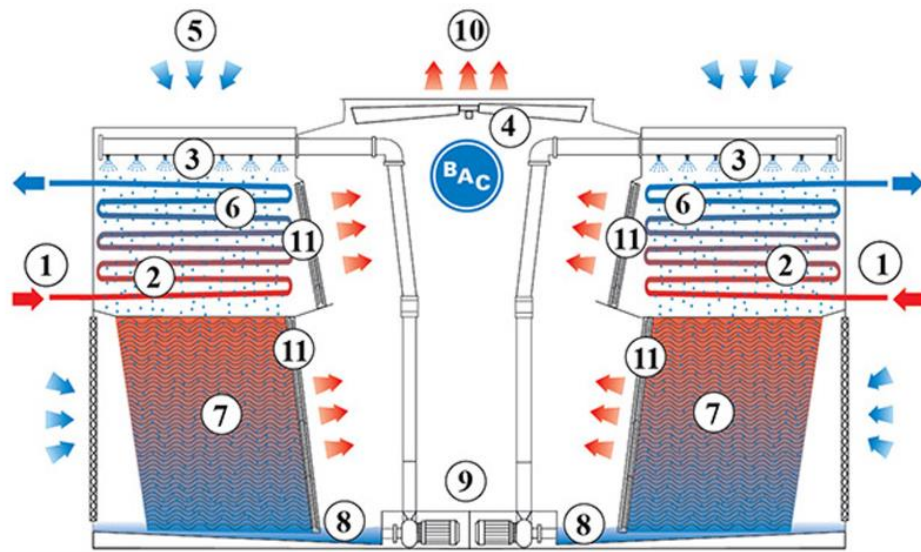
Eğimli su haznesi (7), soğutulmuş suyu toplar ve ardından su ısı kaynağına geri gönderilir (8). Isınan doymuş hava (9) önce sürüklenme önleyicilerin (10) içinden geçer ve ardından kuleyi fan bölgesinden terk eder. (www.baltimoreaircoil.eu)



Şekil 2. Construction Details, PTE Open Cooling Towers, BAC, (www.baltimoreaircoil.eu)

1.1.2. Kapalı Tip Soğutma Kuleleri

Kapalı devre soğutma kulesinin görüntüsü Şekil 3'te gösterilmektedir. Kapalı devre kulesinin işleyişi, açık devre kulesine benzemekle beraber açık devre soğutma kulesinin tek, kapalı devre soğutma kulesinde ise iki ayrı akışkan devresi bulunur. Kapalı tip soğutma kulelerinde soğutulan işlem sıvısı kapalı bir devrede bulunur ve doğrudan çevreyle veya harici bir su kaynağına maruz kalmaz. Diğer devre ise harici bir devre olarak su, sıcak sıvının soğutulduğu ilk devrenin dışında dolaşmaktadır. Sıcak işlem sıvısı (1), bir püskürtme sistemi (3) tarafından ıslatılan bir ısı değiştirici serpantini (2) üzerinden kulenin her iki tarafında dolaşır. Su püskürtü akışıyla paralel olarak, aksiyel bir fan (4), serpantinin üzerinden havayı (5) çeker. Buharlaşma süreci, serpantin içindeki sıvıyı (6) soğutur. Püskürtme suyu ve hava kulenin üst kısmında daha soğuk olduğu için işlem sıvısı serpantinin alt kısmından üst kısmına doğru hareket eder. Püskürtme suyu soğutma işlemini yaptıktan sonra dolgu malzemesine (7) geçiş yapar ve burada tekrar soğuyarak su havuzuna (8) düşer. Püskürtme pompaları (9), soğutulmuş suyu kulenin üst kısmına geri getirir. Sıcak doymuş hava (10), su damlacıklarını havadan uzaklaştıran sürüklenme önleyicileri (11) aracılığıyla kuleyi terk eder. (www.baltimoreaircoil.eu)



Şekil 3. Principle of Operation, FXVT Closed Circuit Cooling Towers, BAC, (www.baltimoreaircoil.eu)

İç devreli soğutma kulesi, serpantin içindeki sıvının suyun haricinde diğer sıvıları soğutmak için kullanıldığında ve soğutma devresinin kirleticilerden korunması gerektiğinde avantajlıdır. İşlem suyu, çevreyle teması olmadığından kulede bulunması muhtemel kirleticilerden izole edilir ve temiz kalır. Ayrıca, kapalı devre sistemleri ısı değiştirici eşanjörlerin, soğutucu kondenserlerin ve diğer benzer ekipmanların kirletilmesini ve bakımını minimize eder. (Kara, 2010).

2. Nanoakışkan Uygulamalarına Genel Bir Bakış

Nanoakışkanlar, 1-100 nanometre boyutlu parçacıkların sıvının içinde askıda olduğu bir akışkan türüdür. Parçacıkları genellikle metal veya metal oksitler oluşturmaktadır. Bu parçacıklar akışkan içerisinde iletkenlik ve ısı aktarımı katsayılarını (konveksiyon) artırarak soğutucu kaynaktan ısı transferinin daha verimli olmasını sağlar (Choi et al. 1995).

Nanoteknoloji alanında son yıllardaki gelişmelerle birlikte ‘nanoakışkanlar’ adı verilen yeni nesil soğutucular ortaya çıkmıştır. Nanoakışkanlar, ana akışkan içindeki nanopartiküllerin süspansiyonlarıdır ve ısı transfer sıvılarının termal iletkenliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Son yıllarda gelecek vadeden bir nanoteknoloji alanına dönüşen nanoakışkanlar ısı transfer uygulamaları için geleneksel kolloidlere kıyasla farklı bir kategoriye temsil etmektedir. Geleneksel katı-sıvı süspansiyonlarına göre, nanoakışkanlar ısı transferinin artırılması için aşağıdaki avantajlara sahiptir (Choi et al. 1995):

- Yüksek ve özgül yüzey alanı, partiküller ile sıvılar arasında daha fazla ısı transfer yüzeyi,
- Brown hareketinin baskın olmasıyla yüksek dağılım stabilizasyonu,

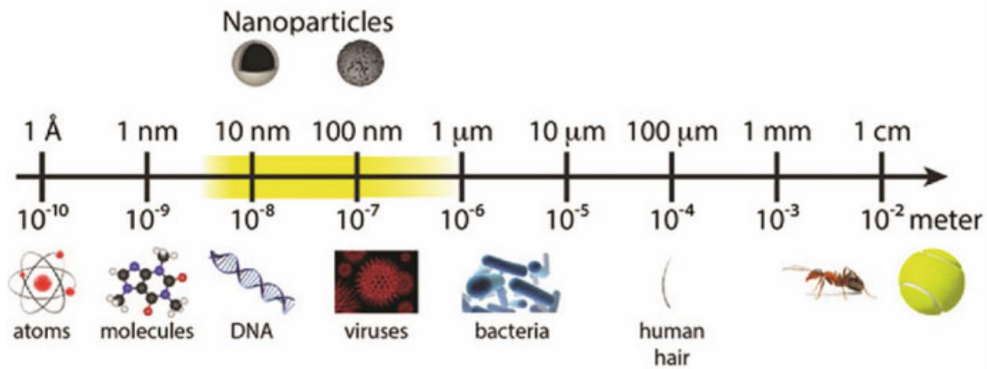
- Saf akışkana kıyasla eşdeğer ısı transfer yoğunluğuna ulaşmak için daha düşük pompa gücü,
- Bilindik çamurlara kıyasla daha az parçacık tıkanması ve böylece sistem küçültülmesini teşvik eder.
- Parçacık konsantrasyonunu değiştirerek termal iletkenlik ve yüzey ısılatma özelliği gibi ayarlanabilir özellikler, farklı uygulamalara uygun hale getirilebilir.

Günümüzde enerji kaynaklarının daha temiz ve verimli kullanımlarını sağlamayı amaçlayan nanoteknoloji bilimi pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Bu uygulamaların çoğu enerji transferini doğrudan değiştirmese de her biri sistem tarafından kullanılan elektrik, yakıt v.b. ihtiyaçları azaltma potansiyeline sahiptir. Nanoteknolojinin bu kapsamda kullanıldığı örnek uygulamalar aşağıda vurgulanmıştır (Elcock, 2007):

- Motor Soğutma
- Dizel elektrik jeneratöründe ceket soğutma suyu olarak
- Kazan egzoz bacalarında gaz geri kazanımı
- Şanzıman Yağı
- Bina ısıtma ve soğutma
- Elektronik cihazların soğutulması
- Transformatör soğutma yağı
- Nükleer sistemlerin soğutulması
- Güneş enerji sistemleri
- Sondaj işlemlerinde nanoakışkanlar
- Soğutma (ev tipi buzdolabı, soğutucular)
- Savunma sanayi
- Uzay sanayi

- Mikrodalga tüpler
- Yüksek güçlü lazerler
- Biyomedikal uygulamalar
- Isı depolama
- Sürtünme azaltma

Bu yeni gelişen soğutucu teknolojileri, geleneksel soğutma teknolojilerine kıyasla çok daha verimli ısı transfer özellikleri sunar. Nanoakışkanların bu özellikleri üzerine özellikle ısı transferi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Nanoakışkanlar, geleneksel ısı transfer sıvılarına kıyasla daha etkili bir şekilde ısı transferi sağlama potansiyeline sahip olduğundan büyük ilgi görmektedir. Bu alan, endüstrilerde kullanılan ısı değiştiricilerden yenilenebilir enerji üretimi için güneş kolektörlerine kadar geniş bir yelpazede termal uygulamaları içermektedir (Saidur et al. 2011).



Şekil 4. Farklı boyutlardaki malzemelerin nanometre ölçeğindeki boyutlarla karşılaştırılması (Pabbati, 2021).

2.1. Nano Partikül Katkılı Sıvı Sentezi ve Stabilitesi

Nano partikül katkılı akışkan nanoparçacıklardan oluşan bir tozun uygun bir sıvı içerisine karıştırılmasıyla elde edilebilir. Karışım, karıştırma sırasında oluşan nanoparçacık kümeleşmelerini parçalamak ve iyi dağılmış bir nanoparçacık süspansiyonu oluşturmak için sonikasyona tabi tutulur. Nanopartiküllerin verimli dağılımını sağlamak

ve kümeleşmesini engellemek adına karışıma bir stabilizör ajan eklenir. Stabilizör ajan eklenmesi önemlidir, çünkü nanometre ölçeğindeki birçok malzeme hidrofobiktir ve sıvı içerisinde çökme yaparak aglomerasyon (kümeleşme) eğilimindedir. Buna ek olarak nanoparçacık yüzey reaktivitesi hem sıvı hem de stabilizör ajan ile bir reaksiyon gerçekleştirerek bir ara yüzey tabakası oluşturur. Bu ara yüzey tabakası, nanoakışkanın işlevselliğini doğrudan etkiler. Nanoparçacıkların coulombik itme kuvvetleri, çekici Van der Waals kuvvetlerinden daha büyük olduğu sürece nanoakışkan kararlı kalacaktır. Aksi takdirde, nanoparçacıklar kümeleşir ve flokülantlar veya agregalar oluşturur (Derjaguin et al. 1942; Verwey et al. 1999). Bu nedenle, nanofluidin kendine özgü özelliklerini ve işlevselliğini koruyabilmesi için katı fazın dağılmış durumda kalması gerekmektedir. Öte yandan, stabilizör ajanlar, nanoakışkanın kimyasal yapısını etkileyerek termal, hidrodinamik, ve optik özelliklerini değiştirebileceğinden dolayı nanoakışkanın performansından ödün vermeden bileşenler arasında bir denge sağlanabilmelidir (Hwang, 2007).

2.1.1. Nanoparçacıkların Sentez Teknikleri

Nanoparçacık malzemeler için yıllar içinde iki üretim yaklaşımı gelişmiştir. İlki "top-down" (yukarıdan aşağı) yaklaşımı olup, bu yaklaşım büyük malzemelerin boyutlarını fiziksel veya kimyasal işlemlerle küçültülmeyi amaçlar. Kullanılan işleme tekniği; nihai parçacık boyutu, şekli ve yüzey yapısı üzerinde önemli bir faktördür. Ayrıca, sentez sırasında yüzey kusurları oluşabilir ve bu kusurlar üretilen nanoparçacıkların fiziko-kimyasal özelliklerini etkiler. Bir diğer yöntem ise "bottom-up" (aşağıdan yukarı) yaklaşımıdır ve atom, molekül gibi daha küçük parçacıkların birleştirilmesi ilkesine dayanır. Bu metotlarla nanoparçacıklar farklı ölçü, şekil ve bileşimlerde üretilir.

Örneğin, büyük malzemelerin öğütülerek istenen parçacık boyutuna getirilmesi tipik bir "top-down" sürecidir. Bir başka fiziksel yöntem buharlaştırma ve yoğunlaştırma ilkesine dayanır. Bu yöntemde büyük metaller atıl bir gaz atmosferinde buharlaştırılır ve ardından yoğunlaştırılır. Yoğunlaşma koşulları nanoparçacıkların boyutları ve dağılımı üzerinde belirleyicidir. Metal buharlaştırma kullanan diğer teknikler arasında ark plazma (Treguer et al. 1998), litografi (Zhang ve Wang, 2008), lazer ablasyonu (Mafune et al. 2001), yüksek enerjili ışınlama ve dirençli ısıtma (Hummelgard et al. 2011) yer alır. Nanoparçacık üretiminde, kimyasal işleme teknikleri de alternatif bir seçenek olarak kullanılır. Kimyasal indirgeme (Chen et al. 2001), elektrokimya (Rodriguez-Sanchez et al. 2002) ve fotokimyasal indirgeme (Eustis et. Al. 2005) gibi yöntemler nanoparçacık üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Islak kimyasal sentez, bir stabilizör ajan varlığında metal tuz çözeltilerini indirgeme yöntemidir ve oldukça popülerdir. Bu süreçte işlem parametreleri; parçacık boyutu, boyut dağılımı, şekil ve fiziko-kimyasal özellikler üzerinde önemli bir etkidir. İşlem parametreleri; reaktiflerin başlangıç konsantrasyonları, sıcaklık ve reaksiyon karışımının pH'ı şeklinde sıralanabilir. Buna ek olarak sentez esnasında öncü iyonlar, indirgeme ajanları ve stabilizör ajanın adsorpsiyon kinetikleri arasındaki etkileşimler nanoparçacıkların özelliklerini belirleyen diğer parametreler arasındadır (Wang et al. 2005). Bu dinamik ve rekabetçi parametreler nedeniyle, güncel araştırmalar, spesifik fiziko-kimyasal özelliklere sahip nanoparçacıklar üretmek için oluşum mekanizmalarının tam olarak anlaşılmasına ve etkin bir şekilde kontrol edilmesine odaklanmıştır (You et al. 2013).

Nanoakışkanlar, katı faz (nanoparçacıklar) ve sıvı fazdan oluşan kompozit bir üründür. Nanoparçacıkların geniş yüzey alanı, yüksek reaktivitesi ve sürekli Brownian hareketiyle birbirleriyle çarpışmaları, parçacıkların kümelenmesine yol açar. Bu kümeler

ise hızla çökerek tortu oluşturur. Parçacıkların bu şekilde kümelenmesi, çökmesi ve tortulaşması önemli dezavantajlar yaratır. Ancak, son araştırmalarla bu dezavantajları aşmak adına sıvı içinde nanoparçacıkları üretmek için tek adımlı bir yöntem üzerinde incelemeler yapılmıştır. Örneğin, Eastman ve ark., bakır ve etilen glikol karışımı nanoakışkanlar üretmek için tek adımlı bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde buharlaşma/yoğunlaşma metodu izlenerek 0.3% oranında dağılmış bakır nanoparçacıkları (10 nm'den küçük) elde etmişlerdir (Eastman et al. 2001) Tek adımlı yöntemin en büyük dezavantajı, nanoparçacık sentezi sırasında reaktiflerin tamamının kullanılmaması ve geriye atık ürün bırakmasıdır. Arta kalan bu reaktifler, saflığı bozan birer kirleticiye (kontaminant) dönüşür ve sistemden uzaklaştırılmaları oldukça güçtür. Tek adımlı yöntem, daha geleneksel iki adımlı yöntemlerden farklıdır. İki adımlı yöntemde, önce toz halinde nanoparçacıklar üretilir, sonra bu tozlar bir sıvıda karıştırılır. Bu yöntem ucuzdur ve ticari olarak nanoparçacık tozlarının bulunabilirliği büyük hacimlerde nanoakışkan yapmayı sağlar. (Khullara ve Tyagia, 2012).

2.1.2. Nanoakışkan Kararlılık Değerlendirme Yöntemleri

Nanoakışkanların kararlı (stabil) olması kritik bir öneme sahiptir. Nanoparçacıklar çok küçük ve Brownian hareketi sayesinde yüksek bir kinetik enerjiye sahip olmalarına rağmen sürekli olarak süspansiyon halinde kalamazlar. Yerçekimi etkisiyle parçacıklar zamanla olarak çöker. Aslında bir nanoparçacığın çözelti içindeki davranışı; Van der Waals çekim kuvvetleri, elektriksel çift katman ve sterik etkiler gibi birçok farklı kuvvetin bileşkesidir. Bu kuvvetler arasında hassas bir denge kurarak parçacıkların dağılmış halde kalmasını sağlamak ve böylece kümelenip çökelmelerini önlemek nanoakışkanın stabilitesini belirler.

Temel anlamda, nanoparçacık kümelenmesi ve çökmesi; nanoakışkanın termal ve foto-termal özelliklerinde ciddi kayıplara ve nanoakışkanın kullanıldığı sistemde (örn:

güneş kolektörü) tortu birikmesine neden olur. Dolaşan tortular boru duvarlarında aşınmaya neden olur ve biriken tortular akışı azaltır. Bundan dolayı Nanoakışkanın kararlılığı ve performansı açısından nanoparçacıkları dağılmış halde tutabilmek kritik bir öneme sahiptir. Aşağıda nanoakışkan kararlılığını değerlendirmek için kullanılan çeşitli teknikleri belirtilmektedir (Chamsa-Ard et al. 2017).

2.1.2.1. Zeta Potansiyeli Ölçümü

Nanoakışkanların kararlılığını belirlemede, dağılma ortamı ile parçacığa bağlı duran sabit sıvı tabakası arasındaki elektrik potansiyelinin (zeta potansiyeli) ölçümü metot olarak kullanılabilir. Zeta potansiyeli sıvı içinde dağılık olan parçacıklar arasındaki itme kuvvetlerinin bir göstergesidir. Dağılmış parçacıklar arasındaki kuvvetli Coulomb itme kuvvetleri ve daha zayıf çekici van der Waals kuvvetleri sıvıda yüksek zeta potansiyeli olduğunu gösterir. Bu nanoakışkanlar elektriksel olarak kararlı kabul edilir. Düşük zeta potansiyeline sahip nanoakışkanlarda ise kararlılık daha az olacağından nanoparçacık kümelenmesi ve çökme meydana gelir.

Nanoakışkanlar 40 ile 60 mV arasında zeta potansiyeline sahipse kararlı olarak kabul edilirken, 60 mV'dan büyük zeta potansiyeline sahipse mükemmel kararlılığa sahip olarak değerlendirilir. Bu yöntemin basitliği nedeniyle, zeta potansiyel ölçümleri nanoakışkan kararlılığını belirlemek için rutin olarak kullanılmaktadır (Hwang et al. 2008; Wang et al. 2009; Zhu et al. 2009).

2.1.2.2. Sedimentasyon ve Santrifüj Yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılığını üzerine sedimentasyon davranışını incelemek de önemli bir yöntemdir kullanılmıştır. Sedimentasyon, basit bir yöntem olmakla birlikte, partiküllerin yerçekimi etkisiyle çökmesini sağladığından zaman alıcıdır. Bu işlem, toplu kolonlarda partikül çökmesini incelemek için kullanılır. Zaman alan bir yöntem olduğundan, fotoğraf çekimi ile saatler, günler ve hatta aylar boyunca görüntülerin

kaydedilmesi yaygın bir uygulamadır (Ilyas et al. 2014; Li et al. 2009). Nanoakışkanların kararlı olduğu, çökelmenin zaman içinde gerçekleşmediği durumlarda kabul edilir. Birçok araştırmacı, $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Cu-H}_2\text{O}$, ve $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (kaolinit) gibi çeşitli nanoakışkanların uzun vadeli kararlılığını belirlemek için sedimentasyon yönetimini kullanmıştır (Sen et al. 2015; Li et al. 2007; Nasser et al. 2006).

Sedimentasyon yönteminin yerine bazı araştırmacılar nispeten daha hızlı bir yöntem olan santrifüj yöntemini kullanmıştır. Santrifüj sırasında uygulanan merkezkaç kuvveti, normal yerçekiminden çok daha büyük olduğu için çökme çok daha hızlı gerçekleşir (Hidehiro ve Motoyuki, 2010; Gharagozloo ve Goodson, 2010). Örneğin, Singh ve arkadaşları, sedimentasyon yöntemini kullanarak polivinil pirolidon (PVP) stabilizatörü ile gümüş nitratin (AgNO_3) etanolde indirgenmesi yoluyla gümüş (Ag) nanoakışkanları sentezleyerek kararlı nanoakışkanlar elde etmişlerdir. (Singh ve Raykar, 2008).

2.1.2.3. UV-Görünür Spektroskopi Analizi

Bu metot, nanoakışkan kararlılığını tespit etme amacıyla çeşitli araştırmalarda yer bulmuştur. Tekniğin uygulanabilmesi için nanoakışkanın katı fazının 190 ile 1100 nm dalga boyu aralığında absorpsiyon bantları göstermesi gerekir. Nanoakışkanın kararlılığı, zaman içindeki absorpsiyon özelliklerinin takip edilmesiyle belirlenir; bu özellikler sıvıdaki partikül konsantrasyonu ile doğru orantılıdır. Yöntem; $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Au-H}_2\text{O}$, $\text{Ag-H}_2\text{O}$ gibi nanoakışkanların yanı sıra karbon nanotüp ve grafen gibi çeşitli karbon bazlı materyaller için de başarıyla kullanılmıştır (Lotfizadeh et al. 2013; Singh ve Raykar, 2008; Jiang et al. 2003; Kim et al. 2009).

2.1.2.4. Dinamik Işık Saçılımı (DLS) Yöntemi

Dinamik Işık Saçılımı parçacık boyutlarını 1 nm'ye kadar ölçümleyebilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, lazer kullanılarak sıvı içerisinde dağılmış nanoparçacıklar

aydınlatılır. Nanoparçacıklar, baskın Brown hareketi nedeniyle sıvı genelinde hızla hareket ederken bir foton dedektörüyle ışık dalgalanmaları kaydedilir, veriler partikül hızına dönüştürülür ve daha sonra bu verilerden partikül boyutu ve partikül boyut dağılımını hesaplanır. Su ve yağ bazlı olan nano partikül katkılı akışkanların uzun vadeli kararlılığını incelemek için bu yöntemden faydalanılmaktadır. (Kole ve Dey, 2011; Fedele et al. 2011).

2.1.3. Nanoakışkan Kararlılığını Artırma Yöntemleri

2.1.3.1. Fiziksel Yöntemler

Nanoakışkanları daha kararlı hale getirmek için bazı fiziksel yöntemler kullanılır. Bunlar yöntemler; sıvıyı mekanik olarak karıştırmak, çalkalamak ve ultrasonik titreşim uygulamak olarak sayılabilir. (Ghadimi et al. 2011). Birçok araştırmacı, mekanik karıştırma tekniklerini kullanmıştır; bu çalışmalarda, çalışma sıvısı distile su olup, nanoakışkanlardaki katı fazlar titanyum oksit (TiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) olmuştur (Masuda et al. 1993; Wang et al. 1999). Ayrıca, farklı çeşit sıvılarda çeşitli nanoparçacıkları dağıtmak ve süspansiyonda tutmak amacıyla ultrasonik titreşim de birçok çalışmada tercih edilmiştir.

Örneğin, Eastman ve arkadaşları (Eastman et al. 1997), Lee ve arkadaşları (Lee et al. 1999), ve Wang ve arkadaşları (Wang et al. 1999), Al_2O_3 nanoakışkanları üretmek için sonikasyon ve karıştırma etkisi altında iki adımlı sentez yöntemleri kullanarak parçacık kümelenmesini azaltmaya çalışmışlardır. Hong ve arkadaşlarının bir çalışmasında, sonikasyon süresinin artmasıyla demir (Fe)/etilen glikol nanoakışkanlarının sentezi sırasında parçacık kümelenmesinin azaldığı bulunmuştur (Hong et al. 2006). Lotfizadeh Dehkordi ve arkadaşları ise TiO_2 -su nanofluidlerinin kararlılığıyla ilgili bir araştırma yapmış ve sonikasyon süresi ve gücünün kararlılık üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Araştırma sonucunda, sentez sırasında sonikasyon süresi ve gücünün artmasıyla beraber parçacık kümelenmesinin azaldığını rapor etmişlerdir. (Lotfizadeh et al. 2013).

2.1.3.2. Yüzey Aktif Maddelerin (Surfaktant) Etkisi

Fiziksel dağıtma yöntemleri, doğrudan bazı kapalı çevirim sistemlerinde kullanılan nanoakışkanlar için uygun olmadığından dolayı kimyasal yöntemler tercih edilir. Sterik stabilizasyon, nanoakışkana az miktarda yüzey aktif madde ekleyerek nanoparçacıkların yüzey özelliklerini değiştirmeyi amaçlayan kimyasal bir yöntemdir. Yüzey aktif maddeler (surfaktanlar), hem suyu seven (hidrofobik) kuyruk hem de suyu sevmeyen (hidrofilik) polar baş grubu içeren amfifilik bileşiklerdir (Schramm et al. 2003). Hidrofobik kuyruklar doğal olarak hidrofobik olan nanoparçacıklara bağlanırken, hidrofilik başlar dışa doğru yayılır ve çevredeki polar sıvı (örn: su) ile etkileşime giren hidrofilik bir dış katman oluşturur. Böylece surfaktanlar, yüzey gerilimini azaltarak nanoparçacıkların ıslanabilirliğini artırır ve daha fazla sıvı sürekliliği sağlar. Bu nedenle, nanoakışkan üretirken doğru surfaktanın seçilmesi, stabilite açısından oldukça önemli bir faktördür.

Surfaktanlar dört sınıfa ayrılır: amfoterik, katyonik, anyonik ve non-iyonik, bu sınıflandırma baş grubunun bileşimine dayanır (Yu et al. 2012). Genel bir kural olarak, polar çözücülerden oluşan nanoakışkanlarla su içinde çözünebilen surfaktanlar kullanılmalıdır. Non-polar sıvılardan (örn: yağ) oluşan nanoakışkanlarda ise yağda çözünebilen surfaktanlar kullanılmalıdır. Surfaktanların kullanımı ile ilgili literatürde çeşitli sorunlar da bildirilmiştir (Chen et al. 2008). Örneğin, bazı çalışmalar surfaktan konsantrasyonlarının artmasının nanoakışkanın viskozitesini artırabileceğini göstermiştir (Li et al. 2006; Hung ve Wen-Chieh, 2012). Bunun dışında araştırmalarda kapsamında kontaminasyon, köpük oluşumu ve daha düşük ısı transferi gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Özellikle, 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklar için surfaktan bozulması tespit edilmiştir ve

bozulma sonrası surfaktan kullanılamaz hale gelmiştir. Bu bozulma, kararsızlık, parçacık agregasyonu ve çökelme ile sonuçlanır (Wu et al. 2009).

2.1.3.3. Nanoparçacıkların Yüzey Fonksiyonelleştirilmesi

Yüzey fonksiyonelleştirilmesi yaklaşımında surfaktan kullanılmaz ve dolayısı ile surfaktanlarla ilişkili köpürme, kontaminasyon gibi sorunlar olmadan uzun vadeli nanoakışkan stabilitesi sağlanabilir. Literatürde bu yaklaşımla ilgili çeşitli çalışmalar rapor edilmiştir. Örneğin, Joni ve ark. Boncukla nanoparçacıkların öğütülmesi sırasında azot katkılanması kullanarak titanyum dioksit (TiO_2) nanoparçacıkları üretmiştir (Wu et al. 2009). Benzer çalışmalar, nanoakışkanlar ve nanokompozit malzemelerde kullanılmak üzere farklı türdeki nanoparçacıkların yüzeyine polimerik veya fonksiyonel grupların eklenmesini araştırmıştır (Kango et al. 2013; Joni et al. 2013; Baraton, 2003).

Örneğin, Tang ve ark., polimetakrilik asit (PMAA) kullanarak çinko oksit (ZnO) nanoparçacıklarının yüzeyini fonksiyonelleştirmiş ve nanoparçacık yüzeylerinde bulunan hidroksil gruplarının polimetakrilik asit karboksil gruplarıyla etkileşime girdiğini bulmuşlardır. Bu etkileşimler, polimerik çinko metakrilat kompleksleri oluşturarak daha iyi dağılım sağlamış ve parçacık kümelenmesini önlemiştir (Tang et al. 2006). Son yıllarda, karbon materyalleri (karbon nanotüpler, karbon siyahı, grafen, grafit) ve çeşitli sıvılar (su, yağlar, glikoller, alkoller ve bu sıvıların karışımları) nanoakışkan üretimi için incelenmiştir (Choi et al. 2011; Halefadi et al. 2014; Vander Wal et al. 2009). Hidrofobik özelliklere sahip karbon materyalleri suda kümelenmeye ve çökelmeye eğilimlidir. Yüzey fonksiyonelleştirilmesi açısından, Hwang ve ark. karbon nanotüplere hidrofobik fonksiyonel gruplar yerleştirerek agregasyonu önlemek için mekanik/kimyasal reaksiyon teknikleri kullanmıştır (Hwang et al. 2007).

2.1.3.4. Nanoakışkan Stabilizasyonunda pH Kontrolü

Nanoparçacıkların yüzey yükü, sıvının pH'ını ayarlayarak kontrol edilebilir. Yüzey yükünün kontrol edilmesi nanoakışkan stabilitesini artıran bir teknik olarak rapor edilmiştir. Yüzey yükü yüksek olan nanoparçacıklarda, parçacık etrafında bir elektriksel çift katman oluşturulur ve bu da güçlü itici Coulomb kuvvetleri üretir ve böylece parçacıkların dağılması sağlanmış olur (Ghadimi et al. 2011). Son on yılda, pH değişikliklerinin dağılım stabilitesi ve nanoakışkanın diğer özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen birçok araştırma yapılmıştır. Örneğin, Xian-Ju ve arkadaşları, Al_2O_3 ve Cu bazlı nano partikül katkılı sıvıların stabilitesi ve viskozitesi üzerinde pH parametresinin etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında surfaktan olarak sodyum dodesilbenzen sülfonat (SDBS) kullanılırken hidroklorik asit (HCl) veya sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek ilgili nanoakışkanların pH ayarlaması yapılmıştır. Sonuçlar, aynı ağırlık fraksiyonu ve pH değeri için alümina bazlı sıvıların viskozitesinin Cu bazlı sıvılardan genel olarak daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ancak pH değeri asidik özellik gösterdiğinde, nanoakışkanlarda aglomerasyon ve hızlı çökelmeler görülmüştür (Wang ve Li, 2009).

3. Nanoakışkan Çeşitleri

3.1. Saf Metaller, Metal Oksitler, Karbür Nanoakışkanlar

Nanoakışkanların termal özelliklerinin iyileştirilmesi, ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanoparçacıkların sıvılara dahil edilmesi önerisiyle başlamıştır. Bu formülasyonda, nano boyuttaki metalik parçacıkların karıştırılmasıyla baz akışkanın termo-fiziksel özellikleri önemli ölçüde iyileştirilmiştir (Choi et al. 1995).

Nanoakışkan, baz sıvı içerisinde nanometre boyutunda (1–100 nm) parçacıklar içeren bir sıvıdır. Deneylerde en yaygın kullanılan nanopartiküller; alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır oksit (CuO), titanyum dioksit (TiO_2) ve çinko oksit (ZnO) olarak

sıralanabilir. Bilindiği gibi, bu nanopartiküllerin termal iletkenliği, bilindik sıvılara göre daha yüksektir ve bu katı parçacıkların baz sıvılara eklenmesiyle termal iletkenliğin artırılması, yıllardır araştırma konusu olmuştur. Bazı araştırmacılar, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin (stabilite, termal iletkenlik, viskozite, yoğunluk, özgül ısı kapasitesi vb.) hesaplanması için çeşitli hazırlama yöntemleri, özellikler ve farklı modeller uygulamışlardır (Xie et al. 2017). Al_2O_3 , CuO, ZnO (Kumar et al. 2016; Vajjha ve Das, 2009; Lam ve Prakash, 2016), çok katmanlı karbon nanotüpler (MWCNT'ler) (Hwang et al. 2006; Moghadam et al. 2014; Shandebi et al. 2012; Askari et al. 2016), silisyum dioksit (SiO_2) (Yousefi et al. 2012), Cu (Eastman et al. 2001) ve Al (Mintsa et al. 2009) içeren nanoakışkanların termofiziksel özellikleri sistematik olarak araştırılmıştır. Mevcut literatür, düşük nanopartikül konsantrasyonuna (1–5 wt %) sahip nanoakışkanların termal iletkenliğinin baz sıvıdan daha yüksek olduğunu ve bunun kütle fraksiyonu ile nanopartikül türüne bağlı olarak büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir (Xuan ve Li, 2000; Yu et al. 2007; Kakac ve Pramuanjaroenji, 2009)

3.2. Karbon nanomalzeme bazlı nanoakışkanlar

Karbon elementi genellikle doğada oksijen ve hidrojen ile birleştirilerek geniş bir yelpazede organik bileşikler oluşturmuştur. Ayrıca, karbon atomları kendileriyle farklı şekillerde bağlanarak çeşitli karbon malzemeleri veya karbon allotropları oluşturabilir. Bu allotroplar, malzeme özellikleri açısından farklıdırlar. Grafit, elmas ve amorf karbon en çok bilinen çeşitleridir. Karbon allotropları ayrıca farklı yapılar ve morfolojilere sahip olabilir, örneğin kristalin yapılar (elmas, üç boyutlu, 3D), grafit levhalar (2D) ve karbon nanotüpler (1D).

1980'lerin ortalarında Kroto ve arkadaşları tarafından keşfedilen Buckminsterfullerenler ya da Bucky ball'lar (Kroto et al. 1985), yeni karbon bazlı malzemelerin araştırılmasını teşvik etmiştir. Karbon nanomalzemeler, özellikle siyah renkleri nedeniyle

güneş enerjisi absorpsiyon uygulamaları için idealdir. Ayrıca, çok yüksek termal iletkenlikleri, bu malzemeleri nanoakışkan katkı maddeleri için de uygun hale getirir (Poncharal et al. 2002; Singer, 2007; Yang et al. 2008). Örneğin, karbon nanotüplerin termal iletkenliği, Au ve Cu gibi metallerin ve Al_2O_3 ve CuO gibi metal oksitlerin termal iletkenliklerinden daha yüksektir.

Karbon katkılı nanomalzemeler:

1. Tek ve çok katmanlı karbon nanotüpler (SWCNT ve MWCNT) (Iijima, 1991),
2. Nanotoplar (Karami et al. 2013),
3. Fullerenler (C70, C76, C84, C60 kristal formunda), nanokonlar, nanohornlar, nanofilamentler, nanokapsüller (Dorset ve Fryer, 2001; Kuzuo et al. 1994; Ge ve Sattler, 1994; Yoshitake et al. 2002; Lee et al. 2005; Sano et al. 2003)
4. Grafit nanopartiküller (Ladjevardi et al. 2013),
5. Grafen ve grafen oksit (Dreyer et al. 2010),
6. Karbon siyahı (Yang et al. 2005),
7. Karbon nanoküreler (Poinern et al. 2012)

Bu karbon allotroplarının bir kısmı, karbon bazlı nanoakışkanlarda katkı maddeleri olarak da araştırılmaktadır. Karbon nanomalzemelerin sıvılara dahil edilmesi, güneş termal absorpsiyon kolektörleri gibi sistemlerde doğrudan ısıl performansı artırmada önemlidir.

4. Soğutma Sistemlerindeki Nanoakışkan Kullanımına İlişkin Literatür

Çalışmaları

4.1. Nanoakışkanların Soğutma Kulelerinde Kullanımı

Son yıllarda kapalı tip soğutma kulelerinin soğutma verimliliğini artırmak ve su sarfiyatını azaltmak için pek çok araştırma yapılmıştır. Bazıları, giriş hava akış hızı, işlem

suyu sıcaklığı, sprej suyu ve giriş havası sıcaklığı gibi işletme parametrelerinin optimizasyonuna odaklanmıştır (Jiang et al. 2013; Heyns ve Kröger, 2010). Ayrıca, CWCT'lerin dolgu malzemesi türleri, sprej nozulları ve hava girişi gibi yapısal parametrelerde çalışmalar yapılmıştır (Facao ve Oliveira, 2004).

Bilindiği üzere, geleneksel ısı transfer sıvıları (su, yağ ve glikol veya bunların karışımı) zayıf ısı transfer sıvılarıdır. Bu sıvılar CWCT'lerde düşük ısı transfer kapasitesine ve soğutma sıcaklık aralığının sınırlı seviyede kalmasına yol açar. Yüksek termal iletkenlik değerine sahip bir sprej sıvısı kullanımının, püskürtme suyunun termal iletkenliğini artırdığı ve işlem suyunu da kirletmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, CWCT'lerin soğutma verimliliğini nanoakışkanlar ile artırmak iyi bir seçenektir (Xie et al. 2017).

Nanoakışkanların farklı sistemler üzerindeki ısı transferini artırma potansiyelini değerlendirmek için birçok araştırma yapılmıştır:

Pak ve Cho, Al_2O_3 ve TiO_2 bazlı nanoakışkanlar kullanarak dairesel bir borudaki termal yoğunlaştırma davranışını araştırmıştır. (Pak ve Cho, 1998).

Pantzali ve arkadaşları, plakalı ısı eşanjörlerinde soğutucu olarak nanoakışkanların etkinliğini araştırmışlardır. Farklı akış modellerine göre nanoakışkanların etkinliğinin değiştiğini tespit etmişlerdir (Pantzali et al. 2009).

Imani-Mofrad ve arkadaşları, ZnO /su nanoakışkanın uygulandığı durumda, çapraz akışa sahip bir soğutma kulesinin termal performansı üzerindeki altı farklı dolgu malzemesinin etkisi araştırılmış ve sonunda en uygun dolgu malzemesi tanıtılmıştır. Daha sonra, bu malzeme kullanılarak, ZnO /su nanoakışkanının çeşitli konsantrasyonlarında deneyler yapılmış ve sonuçlar saf su ile karşılaştırılmıştır. Bir başka çalışmada Javadpour ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, çapraz akışlı bir soğutma kulesi inşa edildikten sonra, işletme sıvısı olarak su/MWCNT nanoakışkanı kullanılmış ve merkezi kompozit

tasarım (CCD) baz alınarak yanıt yüzey metodolojisi (RSM) ile deneysel bir tasarım kullanılarak nanoakışkanın konsantrasyonu ve akış hızı gibi faktörlerin kule performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Javadpour et al. 2021).

Askari ve arkadaşları, MWCNT'ler ve nanogözenekli grafen (NPG) nanoakışkanlarının soğutma kulesi ısı performansını üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Raporda nanoakışkan kullanımının soğutma aralığını arttırdığı ve su tüketimini de azalttığı yüzdesel olarak göstermiştir. Nanoakışkanların termal davranışının ilerleyen dönemlerde geliştirilmesi, birçok endüstriyel sektörde büyük ısı transferinin artırılması için bir temel sağlayabilir (Askari et al. 2016).

4.2. Nanoakışkanların Kondenser Sistemlerinde Kullanımı

Yoğuşma, sıvıların buharla sıvı faz değişimini ifade eder ve bu işlem sıvının, sıvı ve gaz halleri arasındaki yüksek iç enerji farkları nedeniyle önemli bir ısı salınımı potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelde endüstride kullanılan pek çok soğutma sisteminde faydalanılmaktadır.

Yoğuşma verimliliğini artırmak için aktif veya pasif çeşitli tekniklere odaklanan birçok araştırma yapılmıştır. Genellikle, termal enerjinin transferi yoğuşma filmi içindeki iletkenlik sayesinde gerçekleşir. Bu nedenle, sıvı içerisine yüksek termal iletkenlik değerlerine sahip malzemelerin eklenmesi, yoğuşurma sisteminin termal verimliliğini artırmak için faydalı bir seçenektir. Pasif bir teknik olarak nanoteknolojinin, yoğuşurma sistemlerinin performansını artırmak için büyük potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Bazı araştırmacılar yoğuşma tekniğini kullanarak nanopartiküller üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Rashidi et al. 2018).

Liu ve ekibi, eğimli ve yatay oluklu ısı borularında nanoakışkanların buhar yoğuşması sırasındaki ısı transferini incelemişlerdir. Nanoakışkanlar kullanarak eğimli oluklu bir ısı borusunun ısı verimliliğinin artırılabilirliğini raporlamışlardır. 1%

konsantrasyonlu bir nanoakışkan için 50 nm boyutunda bakır oksit nanopartikülleri kullanmışlardır. CuO nanoakışkanı kullanarak ısı borusunun maksimum ısı akısını arttırmışlardır (Liu et al. 2010).

Reis Parise ve ekibi, ısı pompalarında soğutma amaçlı nanoakışkanları kullanmışlardır. Araştırmalarının sonuçları, kondenser soğutucu akışkanın termal iletkenliğinin artmasının ısı pompasının verimini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. %2 nanopartikül konsantrasyonu kullanıldığında ısı katsayısında yaklaşık %5,4'lük bir artış gözlenmiştir (Reis Parise, 2012).

Huminic ve Huminic [22], nanoakışkan buharının termosifonlarda yoğunlaşması sırasındaki ısı değişimini sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak, nanopartikül hacim fraksiyonunun buharlaştırıcı ve kondenser arasında oluşturulan sıcaklık farkını azaltmada önemli bir etkisi olduğunu belirtmiştir (Huminic ve Huminic, 2013).

El Mghari ve arkadaşları, yatay düz kare bir mikrokanal içinde nanofluidin yoğunlaşmasını sayısal olarak incelemiştir. Nanoparçacık konsantrasyonunun %0'dan %5'e çıkartarak yoğunlaşma ısı transfer katsayısının yaklaşık %20 arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca, mikrokanal hidrolik çapını azaltarak yoğunlaşma ısı transferinin arttığını keşfetmişlerdir. (El Mghari et al. 2015).

Turkyilmazoglu, dikey bir duvar üzerinde nanoakışkanların film yoğunlaşmasını üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Nanoakışkan olarak ve alümina, bakır, bakır oksit, gümüş ve titanyum oksit nanoparçacıkları kullanmıştır.

Yazar, hidrodinamik sınır tabakası içindeki akış hızlanması nedeniyle nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça yoğunlaşma filmi kalınlığının azaldığını bulmuştur. Ayrıca, Ag nanoparçacıklarının en büyük etkiye sahip olduğu, TiO₂ nanoparçacıklarının ise en az etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. (Turkyilmazoglu, 2015).

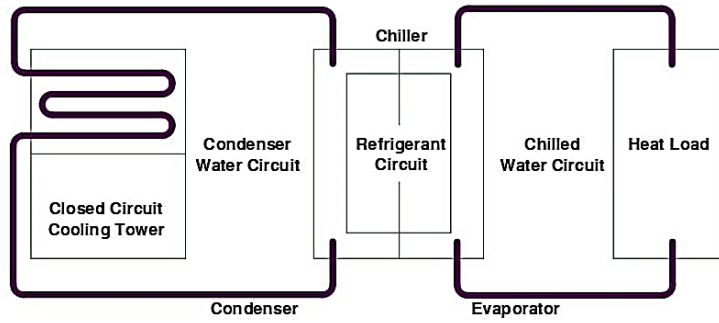
5. Kapalı Tip Kule Kondenser Hattında Nanopartikül Kullanımıyla Isıl

Verimlilik Deneyi

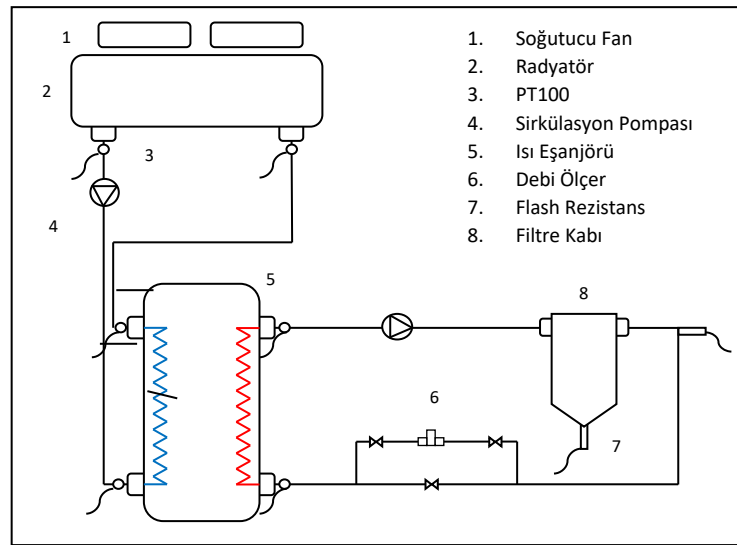
5.1. Materyal ve Yöntem

Bu tez çalışması kapsamında sistem olarak kapalı devre çevrime sahip bir kondenser sistemi modeli üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Birincil devre bir radyatör hattı tarafından soğutularak eşanjöre bağlanmış, ikincil devre de (kondenser devresi) flash rezistans tarafından ısıtılarak bir pompa vasıtasıyla sirküle edilen kapalı devre olarak eşanjöre bağlanmıştır. Nanoakışkan kondenser devresine eklenerek ısı transfer verimliliği deneysel metotla incelenmiştir.

5.1.1. Kapalı Tip Soğutma Kule-Kondenser Modeli



Şekil 5. Kapalı Tip Soğutma Kulesi ve Chiller (Kondenser-Evaporatör) Sisteminin Şematik Gösterimi www.iqsdirectory.com



Şekil 6. Kapalı Tip Soğutma Kule-Kondenser Modeli Şematik Gösterimi



(a)



(b)

Şekil 7. (a),(b) kapalı tip soğutma kulesinin kondenser kısmını simüle etmek için kurulan deney setinin görseli

5.1.2. Deney Düzenekinin Hazırlanışı ve Ekipmanlar

Deney düzenekinde kullanılan plakalı eşanjörün görüntüsü Şekil 8’de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, kombilerde yaygın olarak kullanılan düşük kapasitedeki bir eşanjör seçilmiştir.



Şekil 8. Isı Eşanjörü

Plaka tipi eşanjör Ekin Endüstriyel firmasına ait olmakla beraber, teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Marka:	Ekin Endüstriyel
Model:	MB-01-16-3.0-H
Bağlantı:	F1F2(R1/2”)F3F4/R3/4”)
Çalışma Basıncı(Mpa):	3.0
Test Basıncı(Mpa):	4.5
Çalışma Sıcaklığı (oC)	-196 ~ +225
Isı Transfer Alanı (m2)	0.168
Ağırlık (kg)	1.04

Tablo 1. Isı Eşanjörü Özellikleri

Radyatör olarak ise Leapiture marka, subucu vb. sistemlerde kullanılan mini tip bir sistem seçilmiştir. Böylece, plaka tipi eşanjörün ikinci devresindeki ısı rahatlıkla atmosfere atılabilecektir.



Şekil 9. Soğutma Radyatörü

Marka:	Leapiture
Malzeme:	Alüminyum
Renk:	Siyah
Boru Hattı Miktarı	18
Ölçüler (mm)	275x118x32

Tablo 2. Soğutucu Radyatör Özellikleri

Leapiture marka radyatörün özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 10’dan da görüleceği üzere, radyatör üzerine ise 120 mm çapında iki adet fan yerleştirilmiştir.



Şekil 10. Fan ve Anemometre

Marka:	Hengtai
Voltaj:	12V
Güç:	6W
Hız (RPM):	2500
Çalışma Sıcaklığı (oC)	-10 ~ +70
Ölçüler (mm)	120x120x25

Tablo 3. Fan Özellikleri

Tablo 3’te fanın özellikleri verilmiştir. Yaygın olarak sunucularda kullanılan eksenel akışlı fan seçilmiştir.

Sistemde kullanılan sirkülasyon pompaları ise Şekil 11’de verilmiştir. 24 V DC motorlu bir santrifüj pompa seçilmiştir.



Şekil 11. Sirkülasyon Pompası

Model:	ZYW680
Voltaj:	24V
Güç:	22W
Kapasite (l/sa)	800
Max Su Yüksekliği	5m

Tablo 4. Sirkülasyon Pompası Özellikleri

Kullanılan pompa, Tablo 4’te verildiği gibi 5 m basma yüksekliğine sahip ve 800 L/h debiye sahiptir.

Şekil 12’den görüleceği üzere, su debisini ölçmek için türbin tipi minyatür debimetre seçilmiştir.



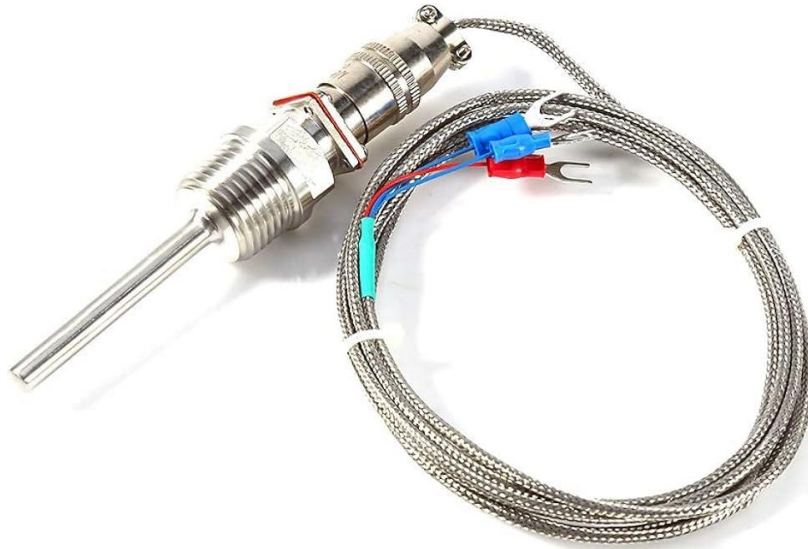
Şekil 12. Türbin Tip Debimetre

Marka:	SMSTORK
Model:	Vision - 1005 2F66
Ölçüm Aralığı l/dk	0.1 – 2.5
K-factor PPL	22
Çalışma Sıcaklığı (oC)	-20 ~ +100

Tablo 5. Debimetre Özellikleri

Debimetre Tablo 5'ten de görüleceği üzere, 0.1 ila 2.5 L/dk aralığında ölçüm gerçekleştirebilmektedir.

Sistemde sıcaklık ölçmek için PT100 tipi sıcaklık algılayıcıları kullanılmıştır. Plaka tipi eşanjör giriş çıkış sıcaklıkları hassas bir şekilde ölçülebilmektedir.



Şekil 13. PT100 Sıcaklık Sensörü

Marka:	Wincal
Model:	RTD PT100
Prob Malzemesi	Paslanmaz Çelik
Ağırlık (g)	100
Çalışma Sıcaklığı (oC)	-50 ~ +300
Uzunluk (mm)	50
Çap (mm)	6
Vida Dişi Boyutu (inch)	1/2

Tablo 6. Sıcaklık Sensörü Özellikleri

Tablo 6’da ise kullanılan PT100 tipi sıcaklık algılayıcısının özellikleri verilmiştir.

Şekil 14’ten de görüleceği üzere, ayarlanabilir laboratuvar tipi DC güç kaynağı ile pompa hızları ayarlanabilmektedir.



Şekil 14. Ayarlanabilir DC Dijital Güç Kaynakları



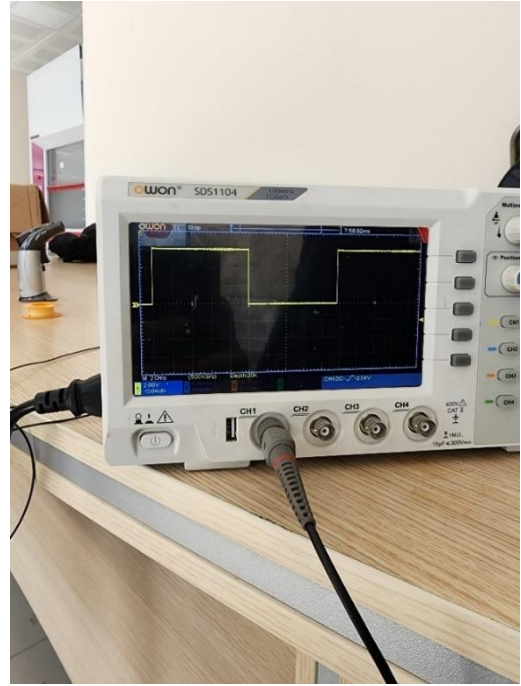
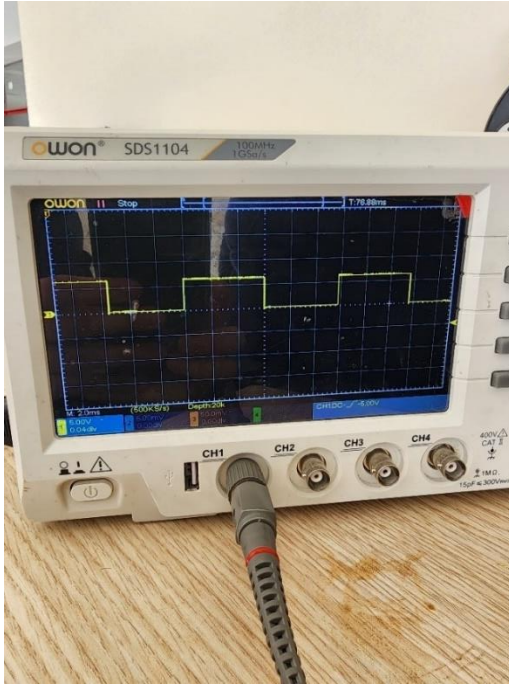
Şekil 15. Deney düzeneği için alınan nanopartiküller

Ürün	Nanopartikül
Safılık	>99,5
Bileşik - 1	TiO ₂
Boyut (nm)	30 - 50
Çözelti İçerisindeki Yüzdesel Ağırlık (gr)	39,3
Bileşik - 2	Al ₂ O ₃
Boyut (nm)	78
Çözelti İçerisindeki Yüzdesel Ağırlık (gr)	37,44
Bileşik - 3	SiO ₂
Boyut (nm)	15 - 35
Çözelti İçerisindeki Yüzdesel Ağırlık (gr)	23

Tablo 7. Nanopartiküllerin Özellikleri ve Derişim Yüzdeleri

Şekil 15'ten de görüleceği üzere Nanografi firmasından nanopartikül tozları satın alınmıştır. Sistem için 4 litrelik solüsyon hazırlanarak 39,3 gr TiO₂, 37,44 gr Al₂O₃, 23 gr SiO₂ nanopartikülleri eklenmiştir. Solüsyon bu oranlara göre %2,5'luk yoğunlukta hazırlanmıştır. Nanopartiküllerin özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

5.2. Bulgular ve Tartışma



Şekil 16. Sirkülasyon Pompası Voltaj Değerlerine Göre Osiloskop Görüntüleri (24V,12V)

İlk olarak Şekil 16'dan da görüleceği üzere, minyatür türbin tipi debimetre sayesinde debiler ölçülmüş ve bir osiloskop yardımıyla okunmuştur. Tablo 8'de farklı pompa gerilim değerlerindeki dolayısıyla farklı ısı ve pompa akış hızlarındaki debi ve ısı transferi değerleri deneysel olarak elde edilmiştir.

Volt	ms	Debi (L/dk)	Msu
24	11,4	5,2	0,085973
20	13,6	4,58	0,075723
16	16	3,75	0,062
12	19,6	3,06	0,050592
8	26,5	2,26	0,037365
6	38	1,57	0,025957

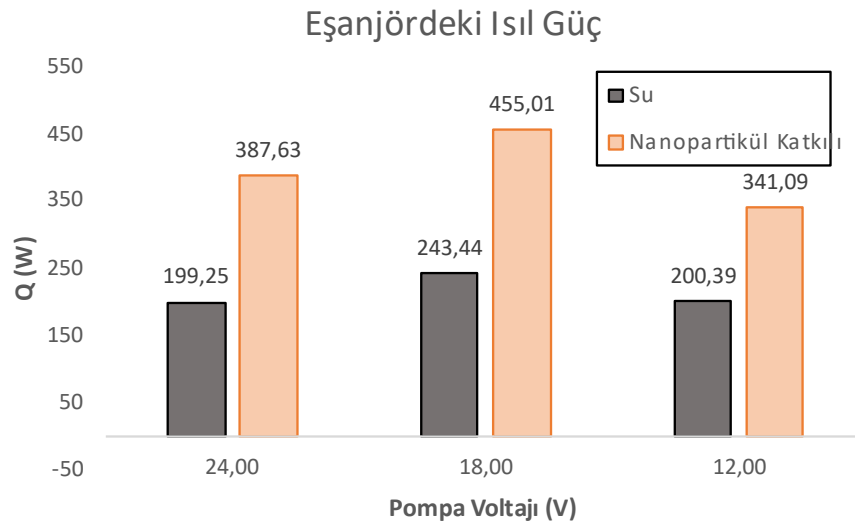
Tablo 8. Pompa Gerilim Değerlerine Debi Verileri Tablosu

Tablo 9’da hassasiyet ve ölçüm belirsizliği verilmiştir. Kline–McClintock yönteminden yararlanılmıştır. Sıcaklık ölçer, debi ölçer gibi ekipmanların ölçüm hassasiyetinden yola çıkılarak toplam belirsizlik hesaplanmıştır.

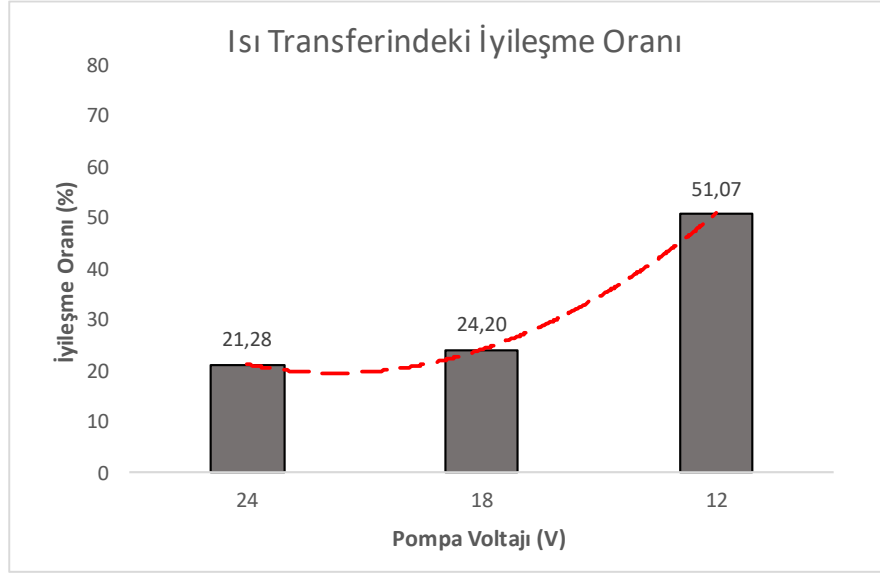
Parametre	Birim	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet	Belirsizlik
Giriş Çıkış Sıcaklığı	°C	-200°C ila	± 0.5 °C	
		+350°C	$\pm \%3$	
Hacimsel akış debisi	L/d	0.1 L/d ila 5.2	± 0.25 L/d	
		L/d		
UxA	W/K	-	-	$\%4,7$

Tablo 9. Hassasiyet ve ölçüm belirsizliği tablosu

Şekil 17’den de görüleceği üzere, su ve nanopartikül katkılı soğutma sıvısı sistemi için eşanjörün ısıl gücü deneysel olarak elde edilen veriler yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 17. Pompa Akış ve Eşanjör Isıl Güç Grafiği



Şekil 18. Pompa Akış Değerine Göre Isı Transferindeki İyileşme oranı Grafiği

Isı transferindeki iyileşme oranı Şekil 18’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, nanopartikül ilavesiyle ısı transferinde %51’e varan iyileşme meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu sonuçta, nanopartikül ilavesiyle hem konveksiyon hem de konveksiyon ısı transferinde önemli miktarda iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

5.3. SONUÇ

Kapalı tip soğutma kulesi kondenser kısmını simüle etmek için, mini bir düzenek kurulmuştur. Kurulan düzenekte, plaka tipi kombi eşanjörü, sunucularda kullanılan radyatör ve fan soğutma sistemi, mini sirkülasyon pompası, elektrikli ısıtıcı ve PT100 sıcaklık algılayıcıları kullanılmıştır. Aracı akışkan olarak nano partikül katkılı su kullanılmıştır. Nanoakışkan, 4 litrelik solüsyona 39,3 gr TiO_2 , 37,44 gr Al_2O_3 , 23 gr SiO_2 oranında nanopartiküller eklenerek yaklaşık %2,5 derişimde hazırlanmıştır. Isı transfer verimi soğutucu sıvı olarak nanoakışkan ve sadece su kullanılarak kıyas yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, nanopartikül ilavesi ile ısı transferinde %51 değerine varan iyileşme meydana geldiği ve eşanjörün ısıl gücünün önemli ölçüde arttırılabildiği sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAK

Hosoz, M. U. R. A. T., Ertunç, H. M., & Bulgurcu, H. (2007). Performance prediction of a cooling tower using artificial neural network. *Energy Conversion and Management*, 48(4), 1349-1359.

KARA, Eser Can. "DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING."

<https://www.baltimoreaircoil.eu/en/products/PTE-principle-of-operation>

<https://www.baltimoreaircoil.eu/en/products/PTE-construction-details>

<https://www.baltimoreaircoil.eu/en/products/FXVT-principle-of-operation>

Choi, S. U. S., Singer, D. A., & Wang, H. P. (1995). Developments and applications of non-Newtonian flows. *Asme Fed*, 66, 99-105.

Elcock, D. (2007). *Potential impacts of nanotechnology on energy transmission applications and needs* (No. ANL/EVS/TM/08-3). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).

Saidur, R., Leong, K. Y., & Mohammed, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1646-1668.

Pabbati, R., Kondakindi, V. R., & Shaik, F. (2021). Applications of Nanomaterials in Biomedical Engineering. In *Nanotechnology for Advances in Medical Microbiology* (pp. 51-86). Singapore: Springer Nature Singapore.

Jiang, J. J., Liu, X. H., & Jiang, Y. (2013). Experimental and numerical analysis of a cross-flow closed wet cooling tower. *Applied thermal engineering*, 61(2), 678-689.

Heyns, J. A., & Kröger, D. G. (2010). Experimental investigation into the thermal-flow performance characteristics of an evaporative cooler. *Applied Thermal Engineering*, 30(5), 492-498.

Facao, J., & Oliveira, A. (2004). Heat and mass transfer correlations for the design of small indirect contact cooling towers. *Applied thermal engineering*, 24(14-15), 1969-1978.

Xie, X., Zhang, Y., He, C., Xu, T., Zhang, B., & Chen, Q. (2017). Bench-scale experimental study on the heat transfer intensification of a closed wet cooling tower using aluminum oxide nanofluids. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(20), 6022-6034.

Wang, X., Xu, X., & Choi, S. U. (1999). Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *Journal of thermophysics and heat transfer*, 13(4), 474-480.

Li, C. H., & Peterson, G. P. (2006). Experimental investigation of temperature and volume fraction variations on the effective thermal conductivity of nanoparticle suspensions (nanofluids). *journal of applied physics*, 99(8).

Kumar, V., Tiwari, A. K., & Ghosh, S. K. (2016). Effect of chevron angle on heat transfer performance in plate heat exchanger using ZnO/water nanofluid. *Energy Conversion and Management*, 118, 142-154.

Vajjha, R. S., & Das, D. K. (2009). Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations. *International journal of heat and mass transfer*, 52(21-22), 4675-4682.

Lam, P. A. K., & Prakash, K. A. (2016). Thermodynamic investigation and multi-objective optimization for jet impingement cooling system with Al₂O₃/water nanofluid. *Energy Conversion and Management*, 111, 38-56.

Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P., & Roetzel, W. (2003). Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids. *J. Heat Transfer*, 125(4), 567-574.

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.

Hwang, Y. J., Ahn, Y. C., Shin, H. S., Lee, C. G., Kim, G. T., Park, H. S., & Lee, J. K. (2006). Investigation on characteristics of thermal conductivity enhancement of nanofluids. *Current Applied Physics*, 6(6), 1068-1071.

Moghadam, A. J., Farzane-Gord, M., Sajadi, M., & Hoseyn-Zadeh, M. (2014). Effects of CuO/water nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 58, 9-14.

Shanbedi, M., Heris, S. Z., Baniadam, M., Amiri, A., & Maghrebi, M. (2012). Investigation of heat-transfer characterization of EDA-MWCNT/DI-water nanofluid in a two-phase closed thermosyphon. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(3), 1423-1428.

Askari, S., Lotfi, R., Seifkordi, A., Rashidi, A. M., & Koolivand, H. (2016). A novel approach for energy and water conservation in wet cooling towers by using MWNTs and nanoporous graphene nanofluids. *Energy conversion and management*, 109, 10-18.

Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., & Thompson, L. J. (2001). Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied physics letters*, 78(6), 718-720.

Mintsa, H. A., Roy, G., Nguyen, C. T., & Doucet, D. (2009). New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids. *International journal of thermal sciences*, 48(2), 363-371.

Lee, S., Choi, S. S., Li, S. A., & Eastman, J. A. (1999). Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles.

Xuan, Y., & Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of heat and fluid flow*, 21(1), 58-64.

Yu, W., France, D. M., Choi, S. U., & Routbort, J. L. (2007). *Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications* (No. ANL/ESD/07-9). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).

Kakaç, S., & Pramuanjaroenkij, A. (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International journal of heat and mass transfer*, 52(13-14), 3187-3196.

Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Thompson, L. J., & Lee, S. (1996). Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 457, 3.

Yu, W., France, D. M., Choi, S. U., & Routbort, J. L. (2007). *Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications* (No. ANL/ESD/07-9). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).

Masuda, H., Ebata, A., & Teramae, K. (1993). Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. Dispersion of Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles.

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

Pantzali, M. N., Mouza, A. A., & Paras, S. V. (2009). Investigating the efficacy of nanofluids as coolants in plate heat exchangers (PHE). *Chemical Engineering Science*, 64(14), 3290-3300.

Imani-Mofrad, P., Saeed, Z. H., & Shanbedi, M. (2016). Experimental investigation of filled bed effect on the thermal performance of a wet cooling tower by using ZnO/water nanofluid. *Energy conversion and management*, 127, 199-207.

Javadpour, R., Heris, S. Z., & Mohammadfam, Y. (2021). Optimizing the effect of concentration and flow rate of water/MWCNTs nanofluid on the performance of a forced draft cross-flow cooling tower. *Energy*, 217, 119420.

Hasan, A., & Siren, K. (2003). Performance investigation of plain and finned tube evaporatively cooled heat exchangers. *Applied thermal engineering*, 23(3), 325-340.

Zheng, W. Y., Zhu, D. S., Song, J., Zeng, L. D., & Zhou, H. J. (2012). Experimental and computational analysis of thermal performance of the oval tube closed wet cooling tower. *Applied thermal engineering*, 35, 233-239.

Xia, Z. Z., Chen, C. J., & Wang, R. Z. (2011). Numerical simulation of a closed wet cooling tower with novel design. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(11-12), 2367-2374.

Sarker, M. M. A., Shim, G. J., Lee, H. S., Moon, C. G., & Yoon, J. I. (2009). Enhancement of cooling capacity in a hybrid closed circuit cooling tower. *Applied thermal engineering*, 29(16), 3328-3333.

Milosavljevic, N., & Heikkilä, P. (2001). A comprehensive approach to cooling tower design. *Applied thermal engineering*, 21(9), 899-915.

Singh, K., & Das, R. (2016). An experimental and multi-objective optimization study of a forced draft cooling tower with different fills. *Energy Conversion and Management*, 111, 417-430.

Lucas, M., Ruiz, J., Martínez, P. J., Kaiser, A. S., Viedma, A., & Zamora, B. (2013). Experimental study on the performance of a mechanical cooling tower fitted

with different types of water distribution systems and drift eliminators. *Applied Thermal Engineering*, 50(1), 282-292.

Gu, H., Wang, H., Gu, Y., & Yao, J. (2016). A numerical study on the mechanism and optimization of wind-break structures for indirect air-cooling towers. *Energy conversion and management*, 108, 43-49.

Naphon, P. (2005). Study on the heat transfer characteristics of an evaporative cooling tower. *International communications in heat and mass transfer*, 32(8), 1066-1074.

Smrekar, J., Oman, J., & Širok, B. (2006). Improving the efficiency of natural draft cooling towers. *Energy conversion and management*, 47(9-10), 1086-1100.

Muangnoi, T., Asvapoositkul, W., & Wongwises, S. (2008). Effects of inlet relative humidity and inlet temperature on the performance of counterflow wet cooling tower based on exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 49(10), 2795-2800.

Lu, Y., Guan, Z., Gurgenci, H., Hooman, K., He, S., & Bharathan, D. (2015). Experimental study of crosswind effects on the performance of small cylindrical natural draft dry cooling towers. *Energy Conversion and Management*, 91, 238-248.

Mondal, P. K., Mukherjee, S., Kundu, B., & Wongwises, S. (2015). Investigation of the crosswind-influenced thermal performance of a natural draft counterflow cooling tower. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 1049-1057.

Ma, Y., Rashidi, M. M., Mohebbi, R., & Yang, Z. (2020). Nanofluid natural convection in a corrugated solar power plant using the hybrid LBM-TVD method. *Energy*, 199, 117402.

Samadzadeh, A., Heris, S. Z., Hashim, I., & Mahian, O. (2020). An experimental investigation on natural convection of non-covalently functionalized MWCNTs nanofluids: effects of aspect ratio and inclination angle. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 111, 104473.

Rashidi, S., Mahian, O., & Languri, E. M. (2018). Applications of nanofluids in condensing and evaporating systems: a review. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(3), 2027-2039.

Liu, Z. H., Li, Y. Y., & Bao, R. (2010). Thermal performance of inclined grooved heat pipes using nanofluids. *International journal of thermal sciences*, 49(9), 1680-1687.

Parise, J. A. R. (2012). A simulation model for the application of nanofluids as condenser coolants in vapor compression heat pumps.

Huminic, G., & Huminic, A. (2013). Numerical study on heat transfer characteristics of thermosyphon heat pipes using nanofluids. *Energy Conversion and Management*, 76, 393-399.

El Mghari, H., Louahlia-Gualous, H., & Lepinasse, E. (2015). Numerical study of nanofluid condensation heat transfer in a square microchannel. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 68(11), 1242-1265.

Turkyilmazoglu, M. (2015). Analytical solutions of single and multi-phase models for the condensation of nanofluid film flow and heat transfer. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 53, 272-277.

Derjaguin, B. V. (1941). Theory of the stability of strongly charged lyophobic sol and of the adhesion of strongly charged particles in solutions of electrolytes. *Acta phys. chim. URSS*, 14, 633.

Verwey, E.J.W.; Overbeek, J.T.G.; Mineola, N.Y. Theory of the Stability of Lyophobic Colloids; Dover Publications: Mineola, NY, USA, 1999.

Hwang, Y. J., Lee, J. K., Lee, C. H., Jung, Y. M., Cheong, S. I., Lee, C. G., ... & Jang, S. P. (2007). Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids. *Thermochimica Acta*, 455(1-2), 70-74.

Treguer, M., De Cointet, C., Remita, H., Khatouri, J., Mostafavi, M., Amblard, J., ... & De Keyzer, R. (1998). Dose rate effects on radiolytic synthesis of gold– silver bimetallic clusters in solution. *The Journal of Physical Chemistry B*, 102(22), 4310-4321.

Hummelgård, M., Zhang, R., Nilsson, H. E., & Olin, H. (2011). Electrical sintering of silver nanoparticle ink studied by in-situ TEM probing. *PloS one*, 6(2), e17209.

Mafuné, F., Kohno, J. Y., Takeda, Y., & Kondow, T. (2001). Dissociation and aggregation of gold nanoparticles under laser irradiation. *The Journal of Physical Chemistry B*, 105(38), 9050-9056.

Zhang, G., & Wang, D. (2008). Fabrication of heterogeneous binary arrays of nanoparticles via colloidal lithography. *Journal of the American Chemical Society*, 130(17), 5616-5617.

Chen, W., Cai, W., Zhang, L., Wang, G., & Zhang, L. (2001). Sonochemical processes and formation of gold nanoparticles within pores of mesoporous silica. *Journal of colloid and interface science*, 238(2), 291-295.

Rodriguez-Sanchez, L., Blanco, M. C., & López-Quintela, M. A. (2000). Electrochemical synthesis of silver nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry B*, 104(41), 9683-9688.

Eustis, S., Hsu, H. Y., & El-Sayed, M. A. (2005). Gold nanoparticle formation from photochemical reduction of Au^{3+} by continuous excitation in colloidal solutions. A proposed molecular mechanism. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109(11), 4811-4815.

Wang, L., Chen, X., Zhan, J., Chai, Y., Yang, C., Xu, L., ... & Jing, B. (2005). Synthesis of gold nano-and microplates in hexagonal liquid crystals. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109(8), 3189-3194.

You, H., Yang, S., Ding, B., & Yang, H. (2013). Synthesis of colloidal metal and metal alloy nanoparticles for electrochemical energy applications. *Chemical Society Reviews*, 42(7), 2880-2904.

Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., & Thompson, L. J. (2001). Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied physics letters*, 78(6), 718-720.

Khullar, V., & Tyagi, H. (2012). A study on environmental impact of nanofluid-based concentrating solar water heating system. *International Journal of Environmental Studies*, 69(2), 220-232.

Saidur, R., Meng, T. C., Said, Z., Hasanuzzaman, M., & Kamyar, A. (2012). Evaluation of the effect of nanofluid-based absorbers on direct solar collector. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(21-22), 5899-5907.

Chamsa-Ard, W., Brundavanam, S., Fung, C. C., Fawcett, D., & Poinern, G. (2017). Nanofluid types, their synthesis, properties and incorporation in direct solar thermal collectors: A review. *Nanomaterials*, 7(6), 131.

Ghadimi, A., Saidur, R., & Metselaar, H. S. C. (2011). A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *International journal of heat and mass transfer*, 54(17-18), 4051-4068.

- Masuda, H., Ebata, A., & Teramae, K. (1993). Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles. Dispersion of Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles.
- Wang, X., Xu, X., & Choi, S. U. (1999). Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *Journal of thermophysics and heat transfer*, 13(4), 474-480.
- Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Thompson, L. J., & Lee, S. (1996). Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 457, 3.
- Hong, K. S., Hong, T. K., & Yang, H. S. (2006). Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles. *Applied Physics Letters*, 88(3).
- LotfizadehDehkordi, B., Ghadimi, A., & Metselaar, H. S. (2013). Box–Behnken experimental design for investigation of stability and thermal conductivity of TiO₂ nanofluids. *Journal of nanoparticle research*, 15(1), 1369.
- Schramm, L. L., Stasiuk, E. N., & Marangoni, D. G. (2003). 2 Surfactants and their applications. *Annual Reports Section" C"(Physical Chemistry)*, 99, 3-48.
- Yu, W., & Xie, H. (2012). A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *Journal of nanomaterials*, 2012(1), 435873.
- Chen, L., Xie, H., Li, Y., & Yu, W. (2008). Nanofluids containing carbon nanotubes treated by mechanochemical reaction. *Thermochimica acta*, 477(1-2), 21-24.
- Li, Q., Xuan, Y., & Wang, J. (2006). Measurement of the viscosity of dilute magnetic fluids. *International journal of thermophysics*, 27(1), 103-113.
- Hung, Y. H., & Chou, W. C. (2012). Chitosan for suspension performance and viscosity of MWCNTs. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 3(5), 347.

Wu, D., Zhu, H., Wang, L., & Liu, L. (2009). Critical issues in nanofluids preparation, characterization and thermal conductivity. *Current Nanoscience*, 5(1), 103-112.

He, Y., Jin, Y., Chen, H., Ding, Y., Cang, D., & Lu, H. (2007). Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of TiO₂ nanoparticles (nanofluids) flowing upward through a vertical pipe. *International journal of heat and mass transfer*, 50(11-12), 2272-2281.

Ghadimi, A., & Metselaar, I. H. (2013). The influence of surfactant and ultrasonic processing on improvement of stability, thermal conductivity and viscosity of titania nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 51, 1-9.

Kango, S., Kalia, S., Celli, A., Njuguna, J., Habibi, Y., & Kumar, R. (2013). Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic–inorganic nanocomposites—A review. *Progress in polymer science*, 38(8), 1232-1261.

Joni, I. M., Ogi, T., Iwaki, T., & Okuyama, K. (2013). Synthesis of a colorless suspension of TiO₂ nanoparticles by nitrogen doping and the bead-mill dispersion process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(2), 547-555.

Baraton, M. I. (2003). Surface chemistry and functionalization of semiconducting nanosized particles. In *Nanostructures: Synthesis, Functional Properties and Applications* (pp. 427-440). Dordrecht: Springer Netherlands.

Tang, E., Cheng, G., Ma, X., Pang, X., & Zhao, Q. (2006). Surface modification of zinc oxide nanoparticle by PMAA and its dispersion in aqueous system. *Applied Surface Science*, 252(14), 5227-5232.

Choi, C., Jung, M., Choi, Y., Lee, J., & Oh, J. (2011). Tribological properties of lubricating oil-based nanofluids with metal/carbon nanoparticles. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 11(1), 368-371.

Halelfadl, S., Maré, T., & Estellé, P. (2014). Efficiency of carbon nanotubes water based nanofluids as coolants. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 53, 104-110.

Vander Wal, R. L., Mozes, S. D., & Pushkarev, V. (2009). Nanocarbon nanofluids: morphology and nanostructure comparisons. *Nanotechnology*, 20(10), 105702.

Xian-Ju, W., & Xin-Fang, L. (2009). Influence of pH on nanofluids' viscosity and thermal conductivity. *Chinese Physics Letters*, 26(5), 056601.

Hwang, Y., Lee, J. K., Lee, J. K., Jeong, Y. M., Cheong, S. I., Ahn, Y. C., & Kim, S. H. (2008). Production and dispersion stability of nanoparticles in nanofluids. *Powder technology*, 186(2), 145-153.

Wang, X. J., Li, X., & Yang, S. (2009). Influence of pH and SDBS on the stability and thermal conductivity of nanofluids. *Energy & Fuels*, 23(5), 2684-2689.

Zhu, D., Li, X., Wang, N., Wang, X., Gao, J., & Li, H. (2009). Dispersion behavior and thermal conductivity characteristics of Al₂O₃-H₂O nanofluids. *Current Applied Physics*, 9(1), 131-139.

Ilyas, S. U., Pendyala, R., & Marneni, N. (2014). Preparation, sedimentation, and agglomeration of nanofluids. *Chemical Engineering & Technology*, 37(12), 2011-2021.

Li, Y., Zhou, J. E., Tung, S., Schneider, E., & Xi, S. (2009). A review on development of nanofluid preparation and characterization. *Powder technology*, 196(2), 89-101.

Sen, S., Govindarajan, V., Pelliccione, C. J., Wang, J., Miller, D. J., & Timofeeva, E. V. (2015). Surface modification approach to TiO₂ nanofluids with high

particle concentration, low viscosity, and electrochemical activity. *ACS applied materials & interfaces*, 7(37), 20538-20547.

Li, X., Zhu, D., & Wang, X. (2007). Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions. *Journal of colloid and interface science*, 310(2), 456-463.

Nasser, M. S., & James, A. E. (2006). Settling and sediment bed behaviour of kaolinite in aqueous media. *Separation and Purification Technology*, 51(1), 10-17.

Kamiya, H., & Iijima, M. (2010). Surface modification and characterization for dispersion stability of inorganic nanometer-scaled particles in liquid media. *Science and technology of advanced materials*, 11(4), 044304.

Gharagozloo, P. E., & Goodson, K. E. (2010). Aggregate fractal dimensions and thermal conduction in nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 108(7).

Singh, A. K., & Raykar, V. S. (2008). Microwave synthesis of silver nanofluids with polyvinylpyrrolidone (PVP) and their transport properties. *Colloid and Polymer Science*, 286(14), 1667-1673.

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

Jiang, L., Gao, L., & Sun, J. (2003). Production of aqueous colloidal dispersions of carbon nanotubes. *Journal of colloid and interface science*, 260(1), 89-94.

Kim, H. J., Bang, I. C., & Onoe, J. (2009). Characteristic stability of bare Au-water nanofluids fabricated by pulsed laser ablation in liquids. *Optics and Lasers in Engineering*, 47(5), 532-538.

Kole, M., & Dey, T. K. (2011). Effect of aggregation on the viscosity of copper oxide–gear oil nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(9), 1741-1747.

Fedele, L., Colla, L., Bobbo, S., Barison, S., & Agresti, F. (2011). Experimental stability analysis of different water-based nanofluids. *Nanoscale research letters*, 6(1), 300.

Yu, W., Xie, H., Chen, L., & Li, Y. (2009). Investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluid. *Thermochimica Acta*, 491(1-2), 92-96.

Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., & Smalley, R. E. (1985). C60: Buckminsterfullerene. *nature*, 318(6042), 162-163.

Poncharal, P., Berger, C., Yi, Y., Wang, Z. L., & de Heer, W. A. (2002). Room temperature ballistic conduction in carbon nanotubes. *The Journal of Physical Chemistry B*, 106(47), 12104-12118.

SINGER, P. (2007). CNTs attractive alternative for interconnects. *Semiconductor international*, 30(5), 26-26.

Yang, Z. P., Ci, L., Bur, J. A., Lin, S. Y., & Ajayan, P. M. (2008). Experimental observation of an extremely dark material made by a low-density nanotube array. *Nano letters*, 8(2), 446-451.

Iijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *nature*, 354(6348), 56-58.

Karami, M., Raisee, M., Delfani, S., Akhavan Bahabadi, M. A., & Rashidi, A. M. (2013). Sunlight absorbing potential of carbon nanoball water and ethylene glycol-based nanofluids. *Optics and Spectroscopy*, 115(3), 400-405.

Dorset, D. L., & Fryer, J. R. (2001). Quantitative Kuzuo, R.; Terauchi, M.; Tanaka, M.; Saito, Y.; Shinohara, H. Electron-energy-loss spectra of crystalline C 84. *Phys. Rev.* 1994, 49, 5054–5057. electron crystallographic determinations of higher

fullerenes in the hexagonal close packed polymorph. *The Journal of Physical Chemistry B*, 105(12), 2356-2359.

Kuzuo, R., Terauchi, M., Tanaka, M., Saito, Y., & Shinohara, H. (1994).

Electron-energy-loss spectra of crystalline C 84. *Physical Review B*, 49(7), 5054.

Ge, M., & Sattler, K. (1994). Observation of fullerene cones. *Chemical physics letters*, 220(3-5), 192-196.

Yoshitake, T., Shimakawa, Y., Kuroshima, S., Kimura, H., Ichihashi, T., Kubo, Y., ... & Iijima, S. (2002). Preparation of fine platinum catalyst supported on single-wall carbon nanohorns for fuel cell application. *Physica B: Condensed Matter*, 323(1-4), 124-126.

Lee, S. Y., Yamada, M., & Miyake, M. (2005). Synthesis of carbon nanotubes and carbon nanofilaments over palladium supported catalysts. *Science and Technology of Advanced Materials*, 6(5), 420-426.

Sano, N., Akazawa, H., Kikuchi, T., & Kanki, T. (2003). Separated synthesis of iron-included carbon nanocapsules and nanotubes by pyrolysis of ferrocene in pure hydrogen. *Carbon*, 41(11), 2159-2162.

Ladjevardi, S. M., Asnaghi, A., Izadkhast, P. S., & Kashani, A. H. (2013).

Applicability of graphite nanofluids in direct solar energy absorption. *Solar Energy*, 94, 327-334.

Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of graphene oxide. *Chemical society reviews*, 39(1), 228-240.

Yang, R., Qiu, X., Zhang, H., Li, J., Zhu, W., Wang, Z., ... & Chen, L. (2005).

Monodispersed hard carbon spherules as a catalyst support for the electrooxidation of methanol. *Carbon*, 43(1), 11-16.

Poinern, G. E. J., Brundavanam, S., Shah, M., Laava, I., & Fawcett, D. (2012).
Photothermal response of CVD synthesized carbon (nano) spheres/aqueous nanofluids
for potential application in direct solar absorption collectors: a preliminary
investigation. *Nanotechnology, science and applications*, 49-59.
<https://www.iqsdirectory.com/articles/cooling-tower/open-loop-and-closed-loop-cooling-towers.html>