

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TERMODİNAMİK BİLİM DALI**

**NANOAKIŞKANLI VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ
KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL ANALİZİ**

Muhammed MERCAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ali YURDDAŞ**



MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Muhammed MERCAN tarafından hazırlanan **NANOAKIŞKANLI VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL ANALİZİ** adlı tez çalışması 02/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali YURDDAŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Yiğit AKSOY
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Pınar ÇAVDAR
İzmir Demokrasi Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Muhammed MERCAN



İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Güneş Kollektörleri	9
2.1.1. Düzlemsel Plakalı Güneş Kollektörleri.....	9
2.1.2. Bileşik Depolamalı Kollektörler	11
2.1.3 Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri (ETSC)	12
2.1.3.1. Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri.....	14
2.1.3.2. Owens Illionois Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri	14
2.1.3.3. General Electric Tipi Vakum Tüpü Güneş Kolektörleri	15
2.1.3.4. Philips Tipi Vakum Tüplü Güneş Kolektörü	16
2.1.3.5. Vakumun Verime Etkisi.....	16
2.1.4. Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörleri.....	16
2.1.4.1. Doğrusal Fresnel Reflektörler	17
2.1.4.2. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörleri.....	18
2.1.4.3. Parabolik Çanak Güneş Kolektörleri.....	19
2.1.4.4. Güneş Kuleleri.....	20
2.1.5. Hava Akışkanlı Güneş Kollektörleri	21
2.1.6. Güneş Havuzları	21
2.1.7. Düzlemsel Plakalı ve Vakum Tüplü Güneş Kollektörlerinin Karşılaştırılması	22

2.2. Nanoakışkanlar	22
2.2.1. Nanoakışkanların Elde Edilmesi	23
2.2.1.1. Tek Aşamalı Yöntem (Single-Step Method).....	23
2.2.1.2. İki Aşamalı Yöntem (Two-Step Method)	24
2.2.2. Nanoakışkanların Isı Transferine Etkisi.....	24
2.3. Sonlu Hacimler Metodu	25
2.4. Çalışmanın Amacı	27
3. MODELİN TANIMLANMASI.....	28
4. SAYISAL ANALİZ	31
4.1. Çalışmanın Doğrulanması ve Mesh Yapısı.....	31
4.2. Sınır Şartları	32
4.3. Matematiksel Model.....	33
5. ANALİZ SONUÇLARI.....	38
6. SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

HAD Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	β	Isıl Genleşme Katsayısı (1/K)	
c	Özgül Isı (J/kg°C)	ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
g	Yerçekimi İvmesi (m/s ²)	ϕ	Nanopartikül Hacimsel Oran
k	Isı İletim Katsayısı (W/m°C)	ν	Kinematik Viskozite (m ² /s)
P	Basınç (Pa)	μ	Dinamik Viskozite (Pa.s)
T	Sıcaklık (°C)		
T_{in}	Tank Giriş Sıcaklığı (°C)		
T_{out}	Tank Çıkış Sıcaklığı (°C)		
T_0	Akışkan İlk Sıcaklığı (°C)		
q	Sabit Isı Akısı (W/m ²)		
D^*	Boyutsuzlaştırılmış Tüp Çapı		
ρ_0	Akışkanın Yoğunluğu		
α	Kollektörün Eğim Açısı		
u_x, u_y, u_z	Hız Bileşenleri, m/s		
		Alt İndisler	
		f	Akışkan
		nf	Nanoakışkan
		s	Nanopartikül
		BA	Boussinesq Yaklaşımı
		VPT	Sıcaklıkla Özelliklerin Değişimi
		$exp.$	Deneysel

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Düzlemsel Plakalı Güneş Kolektörü.....	10
Şekil 2.2. Tank Tipi ICS Kolektör	12
Şekil 2.3. Vakumlu Kolektörün Görünüş ve Kısımları.....	13
Şekil 2.4. Vakum Tüplü Kolektörün Çalışma Prensibi.....	14
Şekil 2.5. Owens-Illionois Tipi Vakumlu Güneş Kolektörü.....	15
Şekil 2.6. General Elektrik Tipi Toplayıcı	15
Şekil 2.7. Doğrusal Fresnel Reflektör	18
Şekil 2.8. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü	19
Şekil 2.9. Parabolik Çanak Tipi Güneş Kolektörü.....	20
Şekil 2.10. Güneş Kuleleri (Merkezi Alıcı Sistem)	21
Şekil 2.11. Tek Aşamalı Nanoakışkan Elde Edilmesi	23
Şekil 2.12. İki Aşamalı Nanoakışkan Hazırlama Yöntemi	24
Şekil 3.1. Sistemin Çalışma Şeması.....	28
Şekil 3.2. Analizi Yapılan Vakum Tüplü Güneş Kolektörünün Isı Akışı ve Sınır Şartları	29
Şekil 4.1. Mesh Yapısı	32
Şekil 5.1. Tank İçindeki ve Tüp-Tank Geçişindeki Sıcaklık Dağılımı	41
Şekil 5.2. Tank İçindeki ve Tüp-Tank Geçişindeki Hız Dağılımı ve Streamline a)Hız ve b)Streamline.....	43
Şekil 5.3. Tüp-Tank Giriş-Çıkış Bölgesi Vakum Tüplere ve Akışkana Göre Hız Profili (24 Tüp, 30°).....	45
Şekil 5.4. Tüp-Tank Giriş-Çıkış Bölgesi Vakum Tüplere ve Akışkana Göre Sıcaklık Profili (24 Tüp, 30°)	45
Şekil 5.5. Tüp-Tank Giriş-Çıkış Bölgesi Vakum Tüplere ve Akışkana Göre Sıcaklık Profili (24 Tüp, 30°, Vakum Tüp İçinde Su Olması Durumu).....	47

TABLO DİZİNİ

Tablo 3.1. Vakum Tüplü Kollektör Teknik Verileri.....	30
Tablo 4.1. Çalışmanın Doğrulanması	31
Tablo 4.2. Su, Al ₂ O ₃ ve CuO'nun Analizlerde Kullanılan Termofiziksel Özellikleri.....	36
Tablo 4.3. Kullanılan Nanopartiküllerin Hacimsel Oranına Göre Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	37
Tablo 5.1. Kollektör Açılara ve Nanopartikül Hacimsel Oranına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları	38
Tablo 5.2. Vakum Tüp Sayısına ve Nanopartikül Hacimsel Oranına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları.....	39
Tablo 5.3. Nanopartikül Tipi ve Nanopartikül Hacimsel Oranına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları	39
Tablo 5.4. Akış Kütleli Debisine Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları.....	40
Tablo 5.5. Vakum Tüp Sayısına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları	46
Tablo 5.6. CuO-Su Nanoakışkanının ve Suyun Tank Çıkış Sıcaklıkları.....	47

TEŞEKKÜR

Öncelikle tarihi ve mazisi insanlık tarihi ile başlayan yüce Türk milletine. Topraklarımızı kanlarıyla Vatan yapan, Vatanın bölünmez bütünlüğünü borçlu olduğumuz, Mevcudiyetimizin ve İstikbalimizin yegâne müsebbibi olan başta Gazi Mustafa Kemal Atatürk olmak üzere aziz vatan uğruna canlarını hiçe sayan şehit ve gazilerimize ithaf olunur...

Gerek çalışmamın her aşamasında gerekse lisans öğrenciliğim süresince bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve kendisini tanımaktan büyük onur ve gurur duyduğum danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali YURDDAŞ'a ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Muhammed MERCAN

Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANOAKIŞKANLI VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

Muhammed MERCAN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali YURDDAŞ

Bu çalışmada vakum tüplü güneş kollektörlerinde su ve su bazlı nanoakışkanların hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılarak sayısal analizi yapılmıştır. Çalışmanın doğrulaması bir deneysel ve iki farklı nümerik sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Analizler ile su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanlarının farklı hacimsel nanopartikül oranları, farklı kollektör açıları, farklı debiler ve farklı vakum tüp sayıları için suya göre ısı transferine etkileri incelenmiştir. Kollektör tankının çıkışındaki sıcaklık Boussinesq yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Vakum tüplü güneş kollektör sistemlerinde nanoakışkan kullanımının ısı transferinde iyileşme gerçekleştirdiği tespit edilmiş ve en iyi iyileşme CuO-Su nanoakışkanında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakum Tüplü Güneş Kollektörü, Nanoakışkan, HAD, Boussinesq Yaklaşımı

2019, 56 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

NUMERICAL ANALYSIS OF EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS USING NANOFLUIDS

Muhammed MERCAN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Dr. Lecturer Ali YURDDAŞ

In this study, numerical analysis of water and water based nanofluids in ETSCs were made by using CFD. Validation of the study was made by comparing an experimental and two different numerical results. Thanks to the analyzes, the effects of water based $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ and $\text{CuO-H}_2\text{O}$ nanofluids compared to water on heat transfer for different volume fractions of nanoparticle, different collector angles, different mass flow rates and different numbers of evacuated tubes were examined. According to these parameters, the thermal and hydraulic statuses of the collector were examined by using the Boussinesq Approximation and the tank outlet temperatures were determined. It has been determined that the use of nanofluid in ETSC systems has improved heat transfer and the best improvement was obtained with $\text{CuO-H}_2\text{O}$ nanofluid.

Keywords: Evacuated Tube Solar Collectors, Nanofluid, CFD, Boussinesq Approximation

2019, 56 pages

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi sistemleri uygulamalarında su ısıtma amacıyla kullanılan en ekonomik yöntemlerden biri olan güneş kollektörlerinden vakum tüplü güneş kollektörleri; (a) Bir ucu açık vakum tüplü güneş kollektörü, (b) Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörü ve (c) U tipi vakum tüplü güneş kollektörü olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir.

Su ısıtma sistemleri arasında sıkça tercih edilen bir ucu açık vakum tüplü güneş kollektörü sistemlerinin ısı performansını arttırmak amacıyla birçok sistem tasarlanmış ve bu sistemlerin deneysel/nümerik çalışmaları birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır.

Kim ve ark. [1] ve Han ve ark. [2] bir manifolda bağlı ve eş merkezli iki borulu vakum tüplü güneş kollektörünü incelemişlerdir. Çalışmalarında vakum basınç değerinin 5×10^{-3} Pa'dan daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Hazami ve ark. [3] ve Nkwetta ve ark. [4] iyi bir vakum ortamı sağlamanın güneş kollektörlerinin ısı performansını iyileştirmede etkili bir yol olduğunu göstermişlerdir. Zhang ve ark. [5] ısı koruyuculu ya da koruyucusuz doğrudan akışlı bir eşksenli vakum tüplü güneş kollektörünü incelemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar ile ısı performans açısından ısı koruyuculu güneş kollektörünün; korumasız duruma göre ısı kaybının yaklaşık %50.8 daha düşük olması nedeniyle daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Zhang ve ark. [6], poliüretan izolasyon kalınlığını ve tüp uzunluğunu göz önünde bulundurarak, vakum tüplü güneş kollektörünün ısı performansını karşılaştırmışlardır. Wang ve ark. [7], havayı ısıtmak için basitleştirilmiş bileşik parabolik konsantratörü (CPC) olan bir U tipi vakum tüplü güneş kollektörü ile bir çalışma yürütmüşlerdir. Çıkış havası sıcaklığını, ısı gücünü ve verimini bulmuşlardır.

İçinde akışkan bulunan bir ucu açık vakum tüplü güneş kollektörlerinin iç tüpü akışkan (genellikle su) ile doldurulur. Tüpler, kollektör çıkışındaki suyun

sıcaklığını arttıracak gerekli ısı akısını almak için güneş ışınımını soğurmaktadır. Güneş kolektörleri akışkanın sıcaklık artışına bağlı olarak sınıflandırılabilir. Düşük ($<100\text{ }^{\circ}\text{C}$), orta ($100\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$) veya yüksek sıcaklık ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$) olarak ifade edilir. Liu ve ark. [8], düşük sıcaklıktaki ($<100\text{ }^{\circ}\text{C}$) vakum tüplü güneş kolektörlerinin sanayideki potansiyel uygulamalarını açıklamışlardır. Lin ve ark. [9] yurtlar, yüzme havuzları, restoranlar ve üretim tesisleri gibi topluma açık çeşitli uygulamalar için düşük sıcaklıkta güneş kolektörlerini incelemişlerdir.

Güneş kolektörlerinin kullanılması, diğer enerji kaynaklarına göre ortaya çıkan kirletici emisyonları önleyerek daha temiz enerji üretimi sağlamaktadır. Morrison ve ark. [10] içinde su olan cam vakum tüplü güneş enerjili ısıtıcının performansı, çeşitli konumlar için ISO 9459-2 Uluslararası Standart test yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Tüpün sızdırmaz ucu yakınında görünen aktif olmayan bölgenin Rayleigh sayısına ve tüpün en/boy oranına bağlı olduğunu göstermişlerdir. Morrison ve ark. [11] bir ucu açık tüpler içinde su olan vakum tüplü güneş enerjili su ısıtıcılarının özelliklerini değerlendirmişlerdir. Kolektör düzenindeki yan yana tüpler arasında etkileşim olmadığını farz ederek, bir ucu açık bir vakumlu tüp içindeki ısı transferinin ve sıvı akışının sayısal bir modelini oluşturmuşlardır. Sayısal modelin doğrulanması için Partikül Görüntü Velosimetrisi (PIV) kullanılarak akış ölçümü yapılmıştır. Deney düzenekleri bir depolama tankına bağlı bir adet gerçek ölçüsünde tüpten oluşmaktadır. Yayılma reflektörünün üzerine 45° eğimle monte edilmiş tek bir vakumlu tüp vasıtasıyla boyutsuz bir korelasyon geliştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarında tüpteki doğal taşınım akış hızının tankın katmanlaşmasını bozmaya oldukça yeterli olduğunu ve tank sıcaklığının tüpler içindeki dolaşım akış hızını güçlü bir şekilde etkilediğini ifade etmişlerdir. Çevresel ısı dağılımının, tüpteki akış yapısını ve dolaşım hızını etkileyen önemli bir parametre olduğu belirtmişler ve dolayısıyla kolektöre konsantre bir reflektör dahil edildiğinde ayrı bir korelasyon geliştirilmesi gerektiğini açıklamışlardır. Budihardjo ve ark. [12] Yayılma reflektörünün üzerine monte edilmiş tek uçlu içinde su olan vakum tüplerinin içindeki doğal dolaşım debisine bir korelasyon geliştirmek için deneysel ve CFD simülasyonları yapmışlardır. Tüp yüzeyine gelen ısının, tüp içerisindeki akışkanın dolaşımını üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir. Budihardjo ve Morrison [13] içinde su olan vakum tüplü güneş kolektörü sistemlerinin

performansını, çeşitli konumlardaki düz plaka güneş kolektörleriyle karşılaştırmışlardır. Tipik bir 30 tüplü vakum tüplü düzeneğin performansının, Sidney'deki evsel su ısıtması için tipik iki panelli düz plaka düzeneğinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Vakum tüplü güneş kolektör boruları ve manifold içindeki akışkanın hidrodinamik davranışları ile ısı performans etkileri birçok araştırmacıya deneysel ve nümerik olarak inceleme konusu olmuştur. Zhiyong ve ark. [14] cam vakum tüplü kolektörün basitleştirilmiş ısı transferi, tek cam tüpün içindeki doğal taşınımından ve manifold başlığındaki basınçlı akıştan meydana gelmektedir. Böylece tek tüpte suyun ısı denge denklemi ve manifold başlığındaki suyun ısı denge denklemi oluşturulmuşlardır. Bu denklemler çözülerek; kolektörün ortalama sıcaklığı, çıkış sıcaklığı ve doğal taşınım debisi arasındaki ilişkiyi elde etmişlerdir. Runsheng ve ark. [15] iki adet içinde su olan cam vakum tüplü güneş enerjili su ısıtıcısının yatayla 22° ve 46° açıyla buldukları durumları deneysel test yaparak karşılaştırmışlardır. Her iki sistem için de güneş tüplerinin sızdırmaz (kapalı) uçları yakınında göze çarpan durgun bölge gözlemlemişlerdir. Ayrıca kolektör eğim açısının artırılmasının, tüplerin içindeki suyun termosifon dolaşımı üzerinde olumlu bir etkisi olmadığını göstermişlerdir. Waheed ve ark. [16] CFD aracılığıyla manifoldun ve sadece bir çıkış borusunun kesitini çalışmışlardır. Basitleştirilmiş bu model için yan tüplerin etkisinden dolayı manifold boyunca her tüpte meydana gelen gerçek koşulları tanımlanamayacağı sonucuna varmışlardır. Hayek [17], içinde su olan cam vakumlu tüp ve periyodik sınır koşullarını kullanarak manifoldun belli bir bölümü için CFD analizi yapmışlardır. Basitleştirilmiş bu modelin akış hızı ve sıcaklık dağılımı bulmuşlardır. Shah ve Furbo [18], üç farklı tüp uzunluğunu ve beş farklı kütle akış hızını göz önüne alarak yatay tüplü içinde su olan cam tüplü bir güneş kolektörünü incelemişlerdir. CFD analizleri için basitleştirilmiş bir model kullanmışlardır. Tüp uzunluğu en kısa olan modelin en yüksek verim sağladığı sonucuna varmışlardır.

Sakhrieh ve Al-Ghandoor [19] ve Morrison ve ark. [9,10] tarafından beş tür güneş kolektörünün karşılaştırılmasında elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda bir ucu açık olan cam vakum tüplü güneş kolektörünün; düz

plakalı, ısı borulu vakum tüplü, U tipi vakum tüplü kollektörlerden ve entegre kollektörlü depolu tüplerden daha iyi ısı performansının olduğu belirtilmiştir. Bir ucu açık vakumlanmış cam tüp düzeneği basitliği ve düşük imalat maliyeti nedeniyle güneş ışınımlarından ısı alımı yöntemi olarak en etkin ve başarılı olan sistemdir. Arturo ve ark. [20] bir ucu açık vakum tüplü güneş kollektörünün ısı performansını deneysel ve akış hareketi için iki farklı yaklaşım kullanarak sayısal olarak modellemişlerdir. Sistemin hidrodinamik ve ısı durumunu değerlendirmişlerdir.

Isı sistemlerin performansını arttırmak için yöntemlerden biriside sistem içindeki akışkanın durumudur. Birçok ısı sistemin performansını arttırmak amacıyla nanoakışkan kullanımının etkisi incelenmiştir. Nanoakışkan, temel akışkan içerisine nano boyutlarda katı nanopartiküllerin ilave edilmesiyle oluşturulmuş akışkandır.

Isı transferi akışkanları olarak; su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılmaktadır. Bilindiği gibi katı metallerin ısı iletkenlikleri temel akışkanın ısı iletkenliğinden daha iyidir. Bu yüzden temel akışkanın ısı iletkenliğini iyileştirmek için pasif iyileştirme yöntemi olan temel akışkan içine katı partiküller katılır. Temel akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarında katı metal parçacıkları katılması fikrini ilk olarak Maxwell [21,22] önermiştir. Milimetre veya mikrometre boyutlarında ki katı partiküllerinin katılmasıyla oluşturulan akışkanın ısı iletkenliğinde artış meydana gelir. Ancak; bu tür karışımlar daha az kararlı yapıda olduklarından çökmeye ve mikro kanalların tıkanmasına sebep olduğundan dolayı aşınmaya ve basınç kaybına sebep olur. Bu sebeple bu tür akışkanlar tercih edilmemiştir.

Ayrıca; iki fazlı karışımlar için ısı iletkenlik katsayıları için değişik modeller kullanılmıştır. Bu modellerden bazıları Bruggeman [23], Hamilton ve Crosser [24], Wasp [25] ve Wang ve ark. [26] tarafından geliştirilen modellerdir. Bu modeller klasik modeller olarak adlandırılmaktadır. Bu modeller tarafından belirlenen ısı iletkenlik katsayıları deneysel sonuçlardan daha düşüktür.

Malzeme bilimindeki ve modern üretim tekniklerindeki gelişmeler sayesinde nanometre boyutlarında partiküller üretilmiş ve temel akışkan içine partikül katılmaya tekrar başlanmıştır. Bu nanometre boyutlarındaki partiküller nanopartikül olarak adlandırılmaktadır. Nanopartikül olarak genellikle bakır, gümüş, alüminyum oksit, bakır oksit ve titanyum oksit kullanılmaktadır. Lee ve ark. [27] nanopartiküllerin; mekanik aşındırma, gaz yoğunlaştırma ve kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemlerinden birisiyle üretilebileceğini belirtmişlerdir. Choi [28] tarafından Argonne National Laboratory'de nanopartiküller temel akışkan içerisine karıştırılarak üretilen bu yeni akışkana nanoakışkan denilmiştir. Üretilen bu nanoakışkanlar ısıl özelliklerde iyileşme meydana getirmiştir. Ayrıca; nanoakışkanlar da milimetre ve mikrometre boyutlardaki partiküllerin katılmasıyla oluşturulan akışkanlarda ki gibi çökme meydana gelmemekte ve basınç kaybı olmamaktadır. Ortalama çapı 10 nm'den daha küçük ve yaklaşık olarak % 30 civarında Cu nanopartiküllerinden oluşan Cu-Etilen Glikol nanoakışkanının etkin ısıl iletkenliği % 40'a kadar artış göstermektedir.

Wang ve Mujumdar [29] temel akışkana karıştırılan nanopartiküllerin akışkanın ısı transferi karakteristiğini ve taşınım özelliğini önemli bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Xuan ve Li [30], temel akışkan içerisine katılan nanopartiküllerin akışkanın ısı transferi kabiliyetinin iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Nanoakışkanlarda taşınım ısı transferi; tek(homojen) ve iki fazlı yaklaşım kullanılarak modellenebilir. Tek fazlı yaklaşımda; temel akışkanın ve nanopartiküllerin ısıl ve hidrodinamik dengede oldukları varsayılır. Bu yaklaşım basit ve çözüm için daha az hesaplama zamanı gerektirir. Ayrıca bu yaklaşım sayesinde nanoakışkan homojen kabul edilerek, klasik ısı transferi denklemleri uygulanabilir duruma gelmektedir. Tek fazlı yaklaşım bu özelliklerinden dolayı birçok çalışmada kullanılmıştır (Khanfer ve ark. [31], Maiga ve ark. [32], Palm ve ark. [33], Akbari ve Behzadmehr [34], Bianco [35]). İki fazlı yaklaşımda ise temel akışkan ile nanopartiküller iki ayrı faz olarak değerlendirilmekte ve böylece bu iki faz arasında ki kayma hızı da denklemlerde dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır ve tek fazlı yaklaşıma göre deneysel sonuçlar ile

daha uygun bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir (Behzadmehr ve ark. [36], Mirmasoumi ve Behzadmehr [37], Akbarinia ve Laur ve ark. [38], Fard ve ark. [39], Lotfi ve ark. [40]).

Isı transferi kabiliyetini arttıran nanoakışkanlar için birçok çalışmada nümerik analiz yapılmıştır. Allahyari ve ark. [41], üst tarafından ısı akısına maruz, alt tarafı ise adyabatik olan yatay bir boruda ki Al_2O_3 -Su nanoakışkanının laminer akış koşullarında karışık taşınım analizini nümerik olarak yapmışlardır. Akbari ve ark. [42], sabit ısı akısı altındaki yatay ve eğimli borularda nanoakışkanın tam gelişmiş bölgede ki karışık taşınım analizini nümerik olarak incelemiştir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; nanopartikül hacimsel oranının hidrodinamik akış parametrelerinin üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Hwang ve ark. [43], Al_2O_3 nanoakışkanlarının tam gelişmiş laminer akış bölgesinde taşınım ile ısı transferini incelemiştir. Nanopartikül hacimsel oranı % 0.3 olması durumunda ısı transfer katsayısında %8 kadar bir artış meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Nanoakışkanların ısı transferi kabiliyetini artırması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi uygulamalarında da kullanılmaktadır. Liu ve ark. [44] vakumlu boru tipi havalı güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının ısı performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada CuO-Su nanoakışkanı kullanılmıştır. Yurddaş ve Çerçi [45] düzlemsel güneş kolektörlerinde nanoakışkanın ısı transferine etkisini nümerik olarak incelemiştir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 ve Cu kullanmışlardır.

Javad ve Nor Azwadi [46] Al_2O_3 -su nanofluidinin çalışma akışkanı olarak kullanıldığı vakum tüplü güneş kolektörü için yatay tankın içinde küresel bobinin ısı verimindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Nanopartikül hacimsel oranındaki artışın kolektör verimliliğini arttırdığını ve vakum tüplü güneş kolektörleri için uygun bir çalışma akışkanı olduğunu belirtmişlerdir. Liu ve ark. [47] Yüksek ve orta sıcaklıkta hava sağlamak amacıyla CuO-Su nanoakışkanının

kullanıldığı vakum tüplü güneş kolektörü tasarlamışlardır. Açık termosifon ve eşmerkezli tüplü kolletörlerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır ve açık termosifonlu entegre edilmiş güneş kolektörünün çok daha iyi bir toplama performansına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, nanoakışkan kullanımının suya göre toplama performansını daha iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Verm ve Tiwari [48] güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının gelişimi üzerine bir inceleme yapmışlardır. Birçok sistemde ısı ıtransferini arttırmak amacıyla kullanılan nanoakışkanların güneş enerjisi sistemleri içinde performansı arttıracaklarını açıkça belirtmişlerdir. Sabiha ve ark. [49] Tek cidarlı karbon nanotüp nanoakışkanının vakum tüplü güneş kolektörlerinde enerji performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak karbon nanotüplü nanoakışkanının güneş enerjisinden emilen güneş ışınımının ısı enerjisiye verimli bir şekilde dönüştürdüğünü belirtmişlerdir. Sharafeldin ve Grof [50,51] yapmış oldukları çalışmalarda nanoakışkanların ısı transfer sistemlerinin performansını arttırıcı en çekici araçlardan birisi olduğunu belirtmişler ve vakum tüplü güneş kolektöründe CeO_2/Su ve WO_3/Su nanoakışkanlarının kullanımının ısı performansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Nanoakışkan kullanımının vakum tüplü güneş kolektörlerinde ısı performansını arttırdığını açıklamışlardır. Javad ve ark. [52] doğal taşınımlı vakum tüplü güneş kolektörlerinde CuO/Su nanoakışkanının ısı performansını manifolda içinde sarılı bir bobinli sistem için incelemişlerdir. CuO/Su nanoakışkanının sistemin ısı performansını suya göre arttırdığını ifade etmişlerdir.

Güneş kolektörlerinde geometrileri basitleştirilmiş çalışmaların tümünde sonuçlar deneysel veriler ile uygunluk göstermektedir. Nanoakışkan kullanımının kolektör sistemlerinde ısı performansını arttırdığı görülmüştür. CFD analizlerinin, güneş enerji sistemlerinin verimliliğini artırmanın yollarını belirlemede etkili olduğuna ve geometrik konfigürasyonları optimize etmek ile akışkan etkisini görebilmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada bir ucu açık nanoakışkanlı vakum tüplü güneş kolektöründe ısı transferi HAD aracılığıyla incelenmiştir. Al_2O_3-Su ve $CuO-Su$ nanoakışkanlarının ısı performansına etkileri birbirlerine ve suya göre karşılaştırılmıştır. Kolektör 12, 24

ve 36 adet vakum tp olarak, 30°, 45° ve 60° olarak modellenmiştir. Vakum tüplerin bağlı olduğu tankın içinden geçen borunun akışkan çıkış sıcaklıkları incelenmiş olup, farklı kütlesel debi durumlarına da bakılmıştır. Bir deneysel ve iki nümerik sonuçlar ile doğrulaması yapılmış olan matematiksel modellememiz sonucunda parametrelerin ısıl performansa etkileri sonlu hacimler metodu kullanılarak hesaplanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörleri, güneş ışınım enerjisini ısı enerjisine dönüştüren bir ısı değiştiricisidir. Genel olarak farklı hava koşullarına maruz kaldıkları için sağlam olmalıdır.

Güneş kolektörlerinde güneşten alınan enerjiyi toplamak ve kullanılan akışkanı ısıtmak için akışkanı çevreleyen siyah bir malzeme vardır. Bu siyah malzeme yüksek absorbe özelliğine sahiptir ve ışığı absorbe edip ısı enerjisine çevirir. Ancak basit olmayan güneş kolektörü sistemleri de vardır. Yüksek sıcaklık artışına ihtiyaç duyulan sistemlerde reflektif (yansıtıcı) malzeme kullanılır. Daha düşük sıcaklık artışlarında ise emici plakalar tercih edilir.

Temelde güneş kolektörleri, enerji toplama özelliklerine göre düz, yoğun ve düz-yoğun olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Isı aktarma akışkanlarının cinsine göre sıvılı ve gazlı olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar [53].

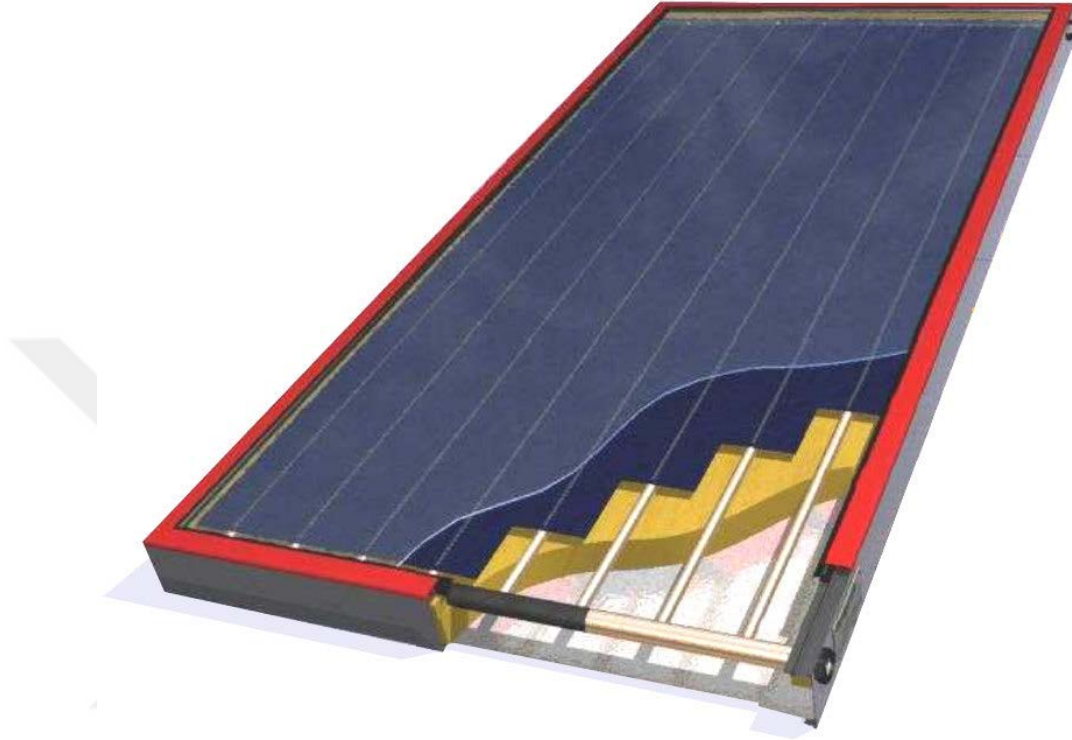
2.1.1. Düzlemsel Plakalı Güneş Kolektörleri

Düzlemsel plakalı güneş kolektörleri, güneş enerjisini toplayıp bir akışkan vasıtası ile ısı enerjisine dönüştüren en basit ve en sık kullanılan kolektör tipidir. Bu kolektörler düşük sıcaklık aralıklarında daha etkili çalışmaktadır.

Çalışma sistemleri ise düzlemsel kolektörün üzerine camdan geçen güneş ışınımı düşer ve kolektörün emici yüzeyi tarafından soğurulan enerji yüzey sıcaklığını artırır. Yüzey sıcaklığının artması ile ısı depolanır ve ısı iletimi meydana gelir. Böylece bu enerji akışkana aktarılmış olur.

Düzlemsel plakalı güneş kolektörleri taşıyıcı akışkan olarak gaz ve sıvı kullanabilir. Hava iyi bir ısı taşıyıcı değildir. Bu nedenle sıvı kullanılan düzlemsel

plakalı güneş kolektörleri büyük binaların ısıtılmasında ve endüstriyel alanda kullanılır. Gaz kullanılan düzlemsel plakalı güne kolektörleri ise daha küçük konut ve binaların ısıtılmasında kullanılır.



Şekil 2.1. Düzlemsel Plakalı Güneş Kolektörü [54]

Şekilde görüldüğü gibi en üst kısımda saydam yüzey bulunur. Bu saydam yüzey çoğunlukla cam olup plastik esaslı malzemeler de kullanılabilir. Bu saydam kısmın görevi ısı iletimini olduğu siyah bölgenin çevre etkilerinden korumaktır. Bu rüzgar durumunda ısı iletiminin düşmemesini sağlamak gibi.

Bir diğer kısım ise saydam bölgenin altında bulunan yutucu yüzeydir. Yutucu plaka güneş ışınlarını absorbe ederek ısıya dönüştürür ve borularda dolaşan akışkana aktarır.

Güneş ışığını absorbe edip ileten bu plakalar koyu bir renge genellikle siyaha boyanırlar. Kullanılan boyanın yutma katsayısının yüksek, uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle de bu özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. İdeal bir yutucu yüzeyin seçici yüzeyli olarak yapılması verimi artırmaktadır. Mat siyah boyanın yutuculuğu 0.95 gibi yüksek bir rakam iken yayıcılığı da 0.92 gibi istenmeyen bir değerdedir. Yapılan seçici yüzeylerde yayma katsayısı 0,1'in altına inmiştir. Seçici yüzey kullanılması halinde toplayıcı verimi artar [55].

Akışkan taşıyıcı borular ise kolektörde toplanan ısıyı akışkan vasıtası ile dolaştıran ve böylelikle ısının iletilmesini sağlayan elamanlardır.

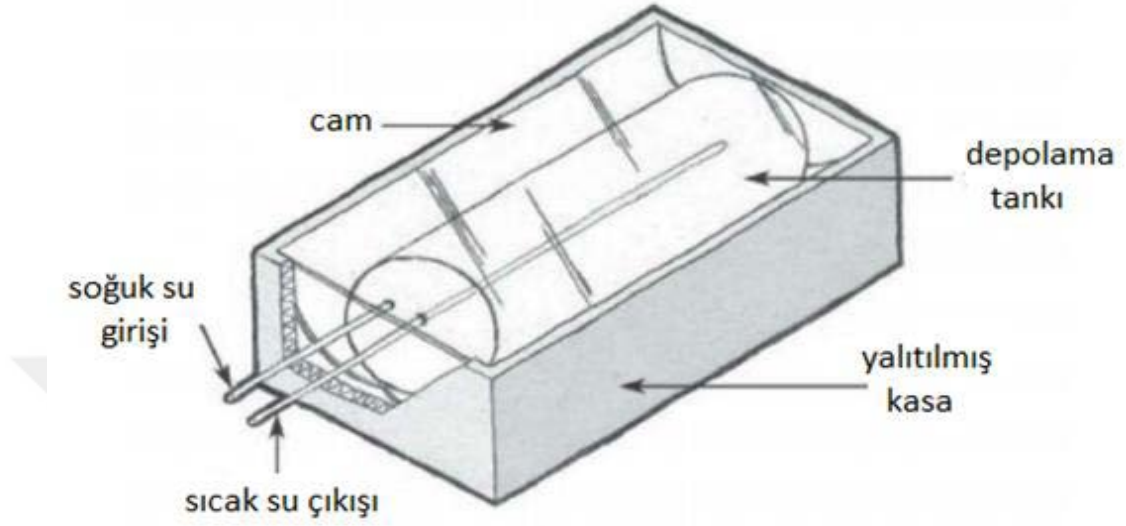
Kolektörün en alt kısmında bulunan ısı yalıtımı malzemesi ise kolektörün güneş görmeyen alt kısmında olabilecek ısı kaybını minimuma indirmek için kullanılan malzemedir. Yalıtım malzemesi olarak genellikle cam yünü, polyester, taş yünü kullanılıp farklı malzemeler de kullanılır. En dışta ise kolektör kasası bulunur.

2.1.2. Bileşik Depolamalı Kolektörler

Birleşik depolamalı kolektör sistemleri (ICS) çalışma akışkanını ileri bir dereceye kadar ısıtmadan veya kullanmadan önce akışkanın bir noktaya kadar ısıtılmasında kullanılırlar. Bu sistemler oldukça efektif olmalarına rağmen imalat ve montaj aşamalarının yüksek maliyetli olmasından dolayı pahalıdır. Bir ICS kolektörü üzerinde cam tabaka ve altına yerleştirilmiş taban plakası bulunan bir tank sisteminden meydana gelmektedir [56]. Bu tip sistemlerde güneş kolektörü ve depolama tankı Şekil 'de görüldüğü gibi tek bir üniteye entegre edilmiştir.

ICS tipi kolektörlerde kullanılan su bizzat kolektör içerisinde ısıtıldığı için doğrudan kolektör sistemi olarak da adlandırılırlar. Sistemde akışkanın geçtiği tüm kanallar yeterince büyüktür ve kolektör akışkan içerisindeki minerallerin çözünmesine neden olabilecek kadar ısınmaz, bu yüzden taşmalı (sistemde sürekli su bulunan) kolektörlerde olduğu kadar kireçli su problemiyle karşılaşmaz. Sadelikleri

sayesinde oldukça ekonomiktirler. ICS tipi kolektörler don olayı yaşanmayan iklim koşullarında oldukça verimlidirler ve bu özelliklerinden dolayı dünya çapında yaygın olarak kullanılırlar.



Şekil 2.2. Tank Tipi ICS Kolektör [57]

Kamp sahaları ve yazlık evler gibi mevsimlik uygulamalarda da rahatlıkla tercih edilebilirler, ancak dondurucu hava şartları oluşmadan önce kolektör suyu tahliye edilmelidir. Düzgün bir tahliyenin sağlanması için kolektöre belirli bir eğim verilmelidir. Aynı zamanda bu kolektörler ağır olduklarından çatıların bu yükü çekememe ihtimaline karşı monte edilmeden önce gerekli önlemler (çatının güçlendirilmesi gibi) alınmalıdır [57]. Bu tip kolektörlerde ısı kayıpları fazladır, ayrıca kireçlenme problemi de görülebilmektedir.

2.1.3 Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri (ETSC)

Vakum tüplü güneş kolektörleri (ETSC) yüksek sıcaklıkta çalışabilen, güneşi her yönden alabilen, kaynak bakımından zengin ve yüksek maliyetli sistemlerin başında gelmektedir. Vakum tüplü kolektörler, aşırı soğuk iklimlerde $50-95^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklık değerlerinde çalışmaya uygundur. Düzlemsel plakalı güneş kolektörleri (FPSC) gibi mahal ısıtma veya soğutma, dâhili yüzme havuzu, endüstriyel tesis ısıtma vb. uygulamalarda elverişli olmakla birlikte daha geniş kullanım alanına

sahiptir. Sıcaklığı toplama kabiliyetinin yüksek olması sayesinde konutların soğutulması için takviye bir çevrimle soğutma potansiyeli vardır. Bu tip kolektörler güneş ışınımını toplayan vakumlanmış bir tüple karakterize edilmiş, kaliteli ve absorbe edici bir materyale sahiptir [58].

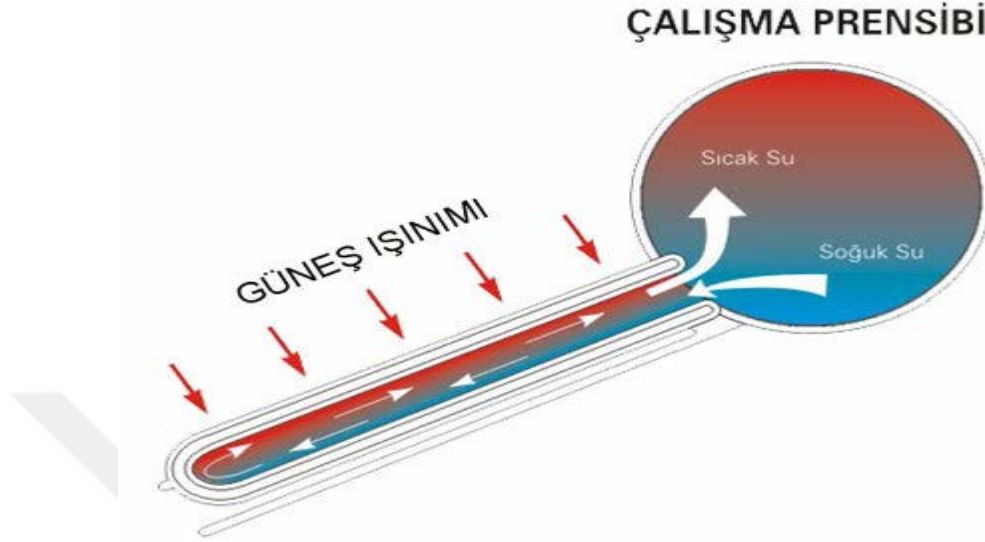
Kolektördeki iç tüpler vakum yoluyla birbirinden ayrılmış, iç içe geçmiş, borosilikat yapıdaki iki cam tüpten meydana gelmektedir. Kolektör daima cam tüp grubundan oluşur. Vakumlama mükemmel bir yalıtıktır, çünkü özellikleri gereği en kısa dalga radyasyonunun bile kaçmasına izin vermediğinden diğer yöntemlerden daha üstündür. Boru içerisinde hava olmadığında ısı kaybı en aza ineceğinden emici plaka yüksek sıcaklıklara ulaşır ve böylece iyi bir yalıtım gerçekleşmiş olur. Bu tip kolektörlerde fazla ısı kaybı olmadan radyan enerjinin boru içerisine geçtiği noktada vakumla ayrılmış iki tane tüp vardır. ETSC sistemi bilinen en güçlü iletken olan bakırdan bile daha iyi ısı transferi gerçekleştiren ısı borularına sahiptir. İçeride oluşan ısı dışarıya kaçmadığı için yaklaşık %50-60 oranında bir kolektör verimiyle çalışılabilir [59].



Şekil 2.3. Vakumlu Kolektörün Görünüş ve Kısımları

Çalışma prensibi ise dış kısımdaki cam boru veya plaka güneş ışınlarının iç boruya gelmesini sağlar. İç kısımda bulunan ve yüzeyi siyah renkte olan boru aracılığıyla güneş ışığını toplar ve içinden geçen akışkanı ısıtır. Isınarak hacmi artan ve yoğunluğu azalan akışkan yukarı doğru hareket eder ve depoya ulaşır. Buradan ise

tesisat aracılığı ile ısıtılmak istenen bölgeye taşınır. Ve bu sistemde 120-150 °C gibi sıcaklıklar elde etmek mümkündür.



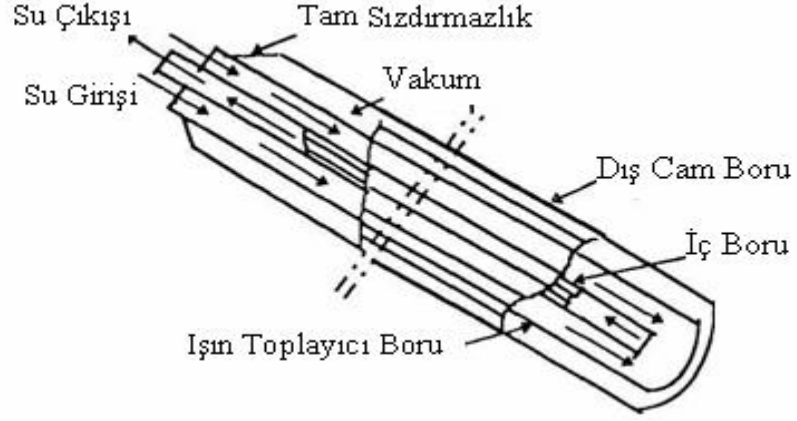
2.1.3.1. Isı Borulu Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri

Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinde tüpün içerisine aksel bir şekilde ısı borusu daldırılır. Tüp boyunca ısı borusu güneş ışınlarının etkisi ile ısınır ve tüp içerisindeki akışkanın sıcaklığı artarak kaynamaya ve buharlaşmaya başlar.

Boru içerisinde ısınarak yükselen akışkan yukarıya doğru çıkarak kondensere ulaşır ve oradan kullanılmak istenilen tesisatta hareket eder.

2.1.3.2. Owens Illionois Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri

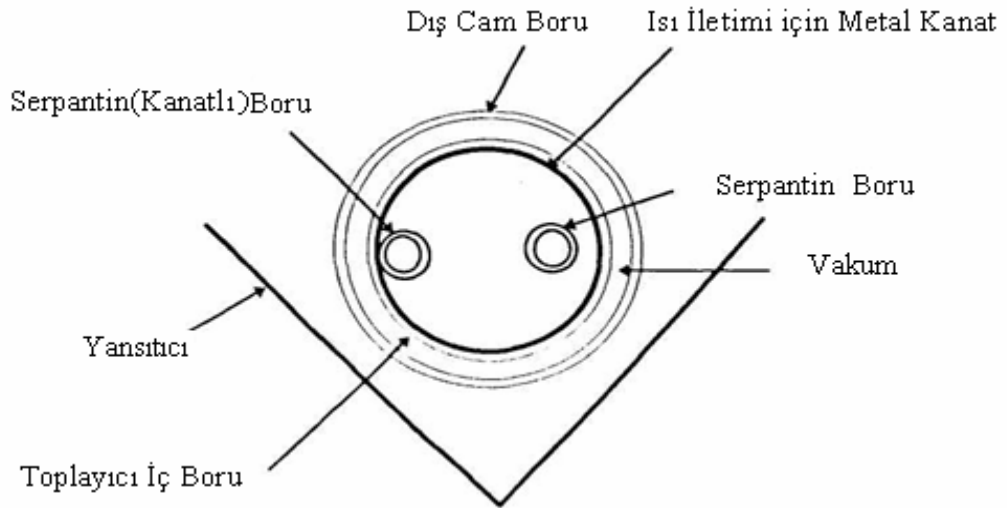
Owen Illionois tipi vakum tüplü kolektörlerde dıştaki vakum tüpün içinde aksel durumda iki adet iç içe geçmiş boru bulunmaktadır. Orta kısımda kalan ve akışkan girişinin olduğu kısımda ısınan akışkan iç borudan çıkarak kullanıma sunulur.



Şekil 2.5. Owens-Illinois Tipi Vakumlu Güneş Kolektörü

2.1.3.3. General Electric Tipi Vakum Tüpü Güneş Kolektörleri

Bu tip güneş kolektörlerinde toplayıcının dış borusu saydam camdır ve iç yüzeydeki toplayıcı boru ile temas halinde ısı iletimi yüksek bir kanat kullanılmaktadır. Bu kanat vakum tüpün içerisine yerleştirilmiş U şeklindeki borularla temas halindedir. Vakum tüpün güneş ışınlarını alması ve ısınması ile birlikte kanat ısınır ve iletim ile ısınıp serpantin boruya aktarır. Böylece U borunun içinden geçen akışkan ısınır. En altta bulunan yansıtıcı ise vakum tüpün alt taraftan da güneş ışını almasını sağlar.



Şekil 2.6. General Electric Tipi Toplayıcı

2.1.3.4. Philips Tipi Vakum Tüplü Güneş Kolektörü

Cam dış borunun içinde serpantin şeklinde toplayıcı borular mevcuttur. Bu boruların üzerinde siyah katman vardır. Bunların içinden geçen sıvı ısınır. Güneş ışınları dış cam borudan geçtikten sonra doğrudan serpantin borular üstüne geldiği gibi aynı zamanda alttaki yansıtıcıdan da yansıtılarak toplayıcı boruları ısıtır. Genellikle vakum borulu toplayıcıların montajı kolaydır. Sızdırmazlıkla ilgili sorunlar, seri üretim yöntemi ile çözülmüştür. Vakum borulu toplayıcılardan yüksek verim sağlandığı gerçektir. Aynı zamanda elde edilen yüksek sıcaklıklar, doğrudan buhar üretilmesi mümkün kılacak seviyededir. Buna karşın cam kırılması bazı hallerde sistemi çalışmaz hale getirmektedir. Borular arasına biriken kar örtüsü toplayıcının çalışmasını engelleyebilir. Bütün bu sakıncalara rağmen vakum borulu toplayıcılar güneş enerjisi dalında çok olumlu bir aşamadır [60].

2.1.3.5. Vakumun Verime Etkisi

Vakum tüplü güneş kolektörlerinde vakumun verime etkisi azımsanmayacak kadar önemlidir. Bunun en büyük sebebi ise sıfır vakum ortamında ısı kaybının minimum olmasıdır. Yutucu plaka ve dış cam tüp arasında kalan bölgeye vakum ortamı denir. Vakum ortamında hava olduğu durumda; yutucu plakadan vakum ortamına doğru olan ısı kaybı, yutucu plakanın sıcaklığına bağlı olarak artış gösterir. Bahsedilen durumdan da anlaşılacağı üzere, vakumun sıfır olması halinde tüp içerisindeki vakum ortamının iyi bir yalıtkan (izole) özelliğini taşıdığını gösterir.

2.1.4. Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kolektörleri

Güneş enerjisi sistemlerinde düzlemsel plakalı güneş kolektörünün çalıştığı sıcaklık aralığının üzerine çıkabilmek için yoğunlaştırıcı tip güneş kolektörleri tercih edilmektedir, çünkü birçok uygulamada yüksek sıcaklıklarda enerjinin iletilmesi arzu edilir. Enerjiyi absorbe edici yüzeyle ışınım kaynağı arasında optik bir cihaz yerleştirilerek, ısı kayıplarının meydana geldiği alan daraltılır ve böylece enerji iletim sıcaklıkları arttırılmış olur [61]. Çünkü küçük bir emici optik cihaz düzlemsel plakalı kolektöre göre daha düşük ısı kayıpları verir.

Yoğunlaştırıcı tip kolektörlerde optik cismin görevi güneş ışığını yoğunlaştırmak, alıcının görevi ise bu ışını yutmak ve enerjiye dönüştürmektir.

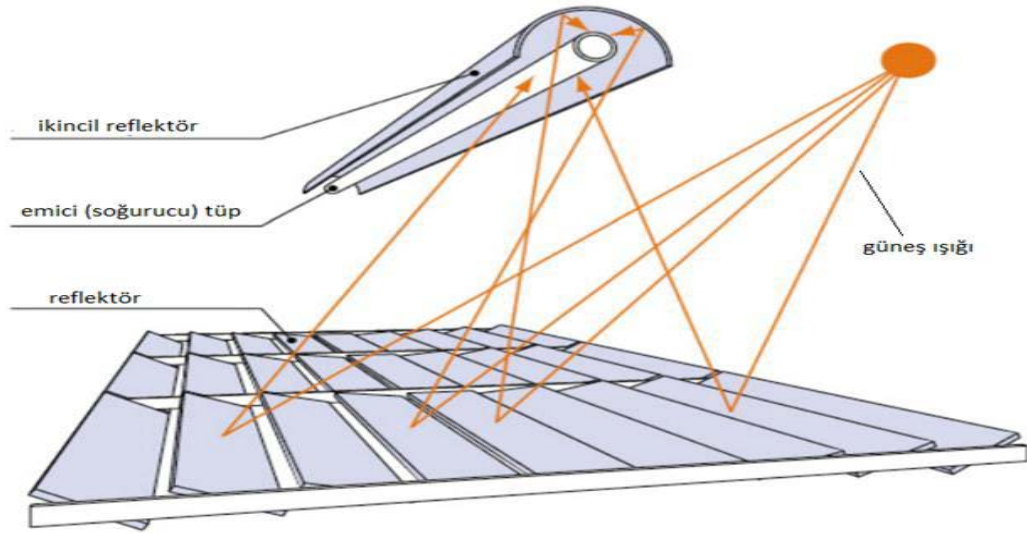
Bu toplayıcılar güneş enerjisinden elde edilen enerjinin, özellikle ısı enerjisinin sıcaklık seviyesini artırdığı ve toplayıcıda ısı kaybı olan yüzeyi azaltarak verimi arttırdığı için tercih edilirler.

Yoğunlaştırıcı tip kolektörlerle ilgili birçok tasarım yapılmıştır. Temel olarak bu kolektörleri dört ana başlıkta inceleyebiliriz.

2.1.4.1. Doğrusal Fresnel Reflektörler

Doğrusal fresnel reflektörler (LFR) Şekil'da görüldüğü gibi şerit aynalardan meydana gelmektedir. Yansıtıcıların üzerine yerleştirilmiş, zeminden birkaç metre yukarıda (genellikle 3–5 m) ve çalışma esnasında sabit kalan alıcıya güneş ışınımını iletmek için her bir şerit ayna uzun eksen etrafında dönmektedir. Kolektörler ise kuzey-güney doğrultusunda uzanmaktadır [62].

LFR sistemleri orta ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilen (400°C'ye kadar), düşük maliyetli ve düşük yoğunlaşmalı cihazlardır. Reflektör boyutunun küçük olması, uygun kurulum maliyeti, karmaşık bir mekanizma olmaması, alıcı pozisyonunun sabit konumlandırılması ve ısı taşınım kayıplarını azaltan bir geometride olması kolektörün avantajları arasındadır. LFR'ye özgü alıcılar (reseptör)güneş ışığını daha fazla soğurmak için ikincil bir reflektör içermektedir (Şekil2.7). İlk yani ana reflektörler yere yakın konumlandırılmış doğrusal, düz veya eğimli şeritlerdir. Bu tip güneş enerjisi sistemleri ilk (birincil) reflektörlerin hareket ettiği tek eksenli bir mekanizma ile çalışmaktadır. [62].



Şekil 2.7. Doğrusal Fresnel Reflektör [63]

2.1.4.2. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörleri

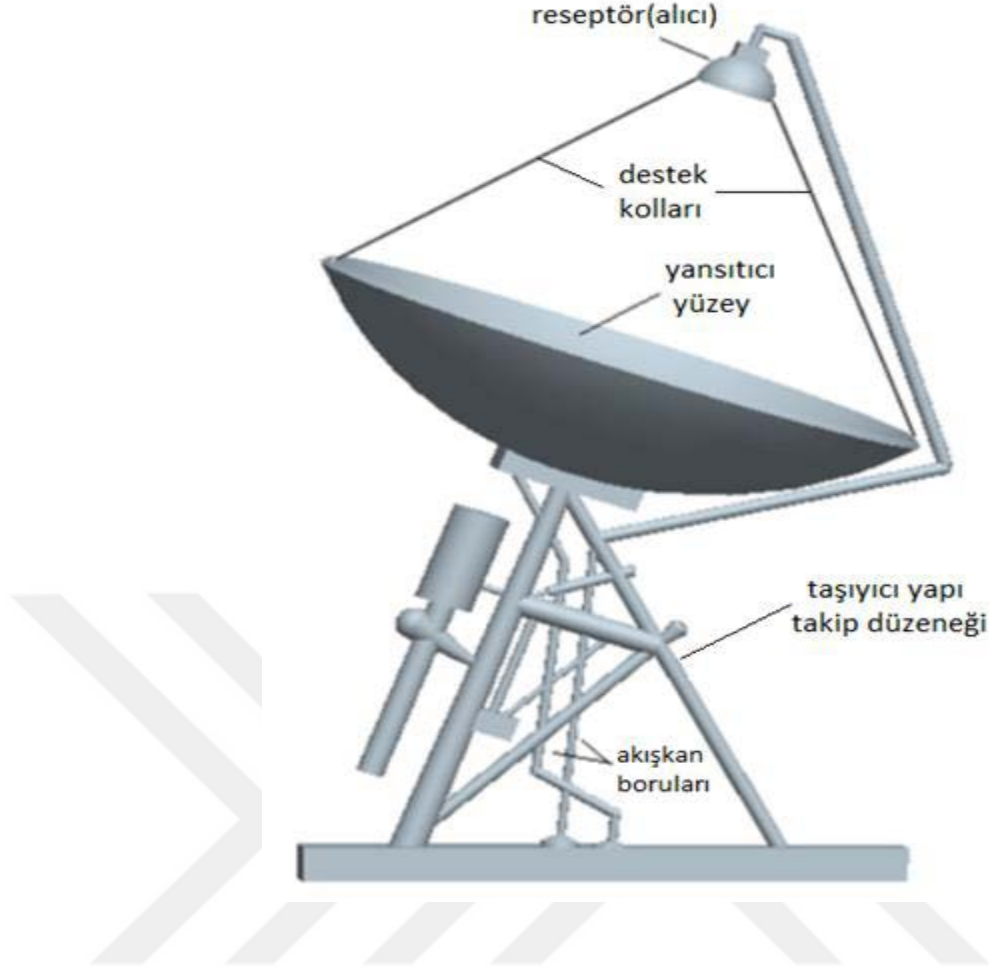
Parabolik toplayıcılar yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan ve güneş enerjisini belirli bir merkeze yoğunlaştırma yapan ısı sistemleridir. Yoğunlaştırıcı sistemlerle direkt güneş ışınımından yararlanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretilebilmekte ve elektrik üretiminde veya yüksek sıcaklık ihtiyacı duyulan sistemlerde kullanılabilir. Yoğunlaştırıcı ısı sistemlerin en yaygını silindirik parabolik oluk toplayıcılarıdır. Bu toplayıcılarda 400 °C sıcaklıklara kadar buhar elde edilebilmektedir. Kesiti parabolik olan toplayıcıların iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını odakta yer alan siyah bir yutucu boruya veya borulara odaklanır. Yutucu boruda dolaştırılan sıvıda toplanan ısı ile elde edilen buhardan elektrik üretilir. Sistem doğu-batı, kuzey-güney ve polar ekseninde yerleştirilebilmekle beraber, güneşi doğu-batı veya kuzey-güney yönünde tek ekseninde takip etmektedir.



Şekil 2.8. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü

2.1.4.3. Parabolik Çanak Güneş Kolektörleri

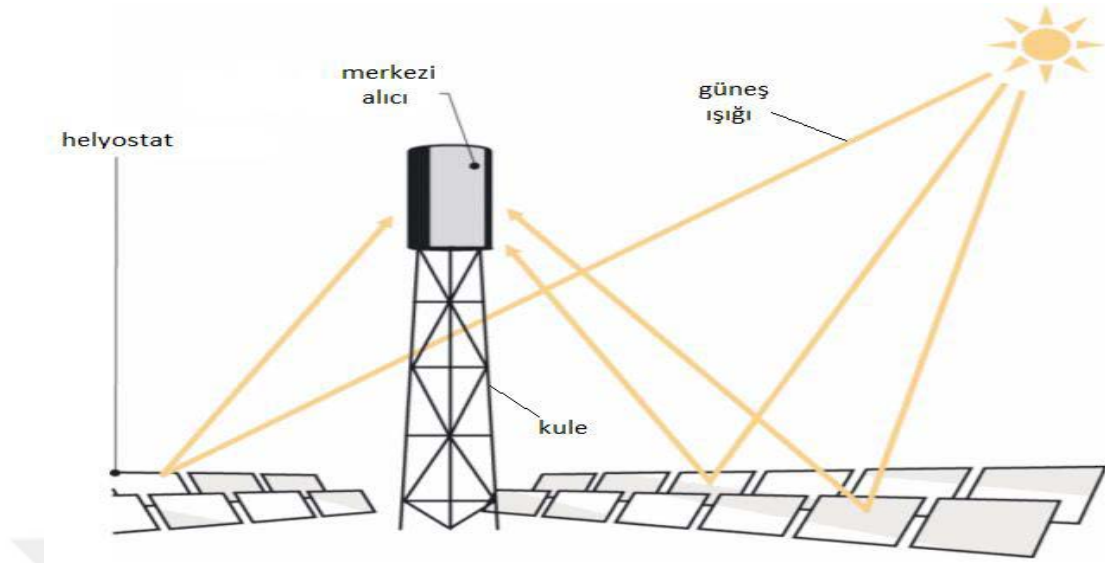
Parabolik çanak kolektörler, yüzeylerine gelen güneş radyasyonunu noktasal olarak odaklarında yoğunlaştırırlar. Gelen güneş enerjisi aynalar vasıtası ile odaktaki Stirling motoru üzerine yoğunlaştırılır. Stirling motoru ısı enerjisini elektrik jeneratörü için gerekli mekanik enerjiye dönüştürür. Parabolik çanak kolektörler küçük modüllerden oluştuğu için, enerji ihtiyacı duyulan yerlerin yakınında ve ihtiyaç duyulan kapasitede tesis edilebilirler. Çoğunlukla diğer yöntemlerle elektrik üreten santrallere destek amacıyla ve maden ocakları, radar istasyonları ya da uzak köylerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Günümüzde henüz ekonomik olmayan parabolik çanak kolektörlü sistemlerin araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir.



Şekil 2.9. Parabolik Çanak Tipi Güneş Kolektörü

2.1.4.4. Güneş Kuleleri

Güneş ışığından elde edilen enerjiyi güneş enerjisi santrallerinde kullanmak için güneş kulelerinden (genelde merkezi alıcı sistemler olarak da bilinen) faydalanmak alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi güneş kulelerinde, kolektör alanı helyostat (gün düşürücü) dizisinden oluşur. Aynı alanın merkezindeki kulenin tepesinde güneşten gelen ısıyı toplamak için dizayn edilmiş bir alıcı vardır. Güneş ışığının merkez kuledeki alıcıya iletilmesini sağlamak için aynı hizada sıralanan helyostatların her biri hedef takip sistemine sahiptir. Yüksek toplama kabiliyeti korunmak isteniyorsa, güneş gökyüzünde kaldığı sürece aynalar (helyostat) da hareket halinde olmak zorundadır. Alıcı, güneş ışığından gelen enerjiyi absorbe ederek onu kolektördeki ısı transferi akışkanına (saf su, erimiş tuz, hava vb.) aktaracak şekilde tasarlanmıştır. Güneş kulelerinin tasarımı enerji depolamaya elverişlidir ve günün 24 saati aralıksız çalışabilirler [63].



Şekil 2.10. Güneş Kuleleri (Merkezi Alıcı Sistem) [63]

2.1.5. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörleri

Bu tip güneş kolektörlerinde sıvı akışkan yerine, hava yardımıyla güneş enerjisi ısı enerjisine dönüştürülür. Sistemde ısıtılan hava doğrudan kullanılabilir veya depolanabilir. Sıvı ve hava güneş kolektörlerinin çalışma prensipleri aynı olmasına rağmen akışkanın ısıyı taşıma kapasitesi ve termodinamik özellikleri arasındaki farklılıklar nedeniyle birbirlerinden ayrılırlar.

2.1.6. Güneş Havuzları

Güneş havuzları, dünyadaki aktif güneş enerjili ısıtma sistemlerinin bilinen en geniş uygulamasıdır. Yüzme havuzları uzun yıllardan beri güneş enerjisi ile ısıtılmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğu havuz tabanından toprağa doğru iletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybının çok az olduğunu göstermiştir, fakat açık havadaki yere gömülmüş bu havuzlardan hem taşınım hem de buharlaşma yoluyla çevreye ısı kaybı gerçekleşmektedir [57].

2.1.7. Düzlemsel Plakalı ve Vakum Tüplü Güneş Kolektörlerinin Karşılaştırılması

- Vakum tüplü güneş kolektörlerinde borular arasında sağlanan vakum sayesinde ısı kaybı minimuma indirilir. Düzlemsel kolektörlere göre daha yüksek verimde çalışır.
- Vakum tüpler silindir biçiminde olmalarında dolayı güneş ışığını absorbe etme oranı yüksek, yayma oranı düşüktür. Böylece ışınımın geri yayılması en aza indirilir.
- Vakum tüplü kolektörde günün büyük bölümünde güneş ışıkları yüzeye dik gelirken, düzlemsel plakalı kolektörde ise sadece gün ortasında dik gelir.
- Düzlemsel plakalı kolektörlere nazaran tamir, bakım ve gereksinimleri daha düşüktür.
- Sıfırın altındaki sıcaklıklarda (-18°C), rüzgârlı ve karlı hava şartlarında bile antifriz konulmasına gerek duyulmadan yüksek verimde çalışabilirler. Düzlemsel plakalı kolektörlerde ise antifriz kullanımı zorunludur, ayrıca soğuk havalarda ısı kaybı yüksek olacağından kolektörden verim alabilmek pek mümkün değildir [64].

2.2. Nanoakışkanlar

Isı transferi, birçok endüstriyel ve tüketim ürünlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli süreçlerden birisidir. Ancak geleneksel akışkanların ısı iletkenliklerinin doğal olarak yeterli olmayışı ısı transferine temel bir sınır koymaktadır. Bu nedenle İskoç, teorik fizikçi ve matematikçi Maxwell'den (1873) beri bilim insanları ve mühendisler, milimetre hatta mikrometre boyutundaki parçacıkları sıvılar içerisine dağıtarak bu temel sınırı yıkmak için büyük çaba harcamışlardır. Bu parçacıkların kullanımıyla ilgili asıl sorun ise sıvı içerisinde hızlıca çökmesi olmuştur. Genişletilmiş yüzey teknolojisi, termal sistemlerin tasarımlarında kendi limitlerine uyum sağlamış olduğundan akışkanın ısı özelliklerini iyileştirme potansiyeline sahip teknolojilerde büyük ilgi görmektedir. Nanoakışkanın ortaya çıkışı ve kavramı, minyatürcülük ve nanoteknolojideki konularla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca kararlı (sürekli) halde ve yüksek iletkenlikte nanoakışkanların geliştirilmesindeki en önemli etken parçacık boyutunun tespit

edilmesidir; Maxwell'in görüşü eskide olsa bu nanoakışkan kavramında yeniliklere açık bir fikirdir [65].

Birçok maddenin ısı iletkenliğinin düşük olmasından dolayı ısı transferi yüksek malzemeler elde edilmek istenmiştir. Bu da küçük boyutlardaki katı parçacıkların akışkanların içerisinde askıda kalması sağlanarak ısı iletkenliği artırılmış olur. Bu şekilde elde edilen akışkana nanoakışkan adı verilir.

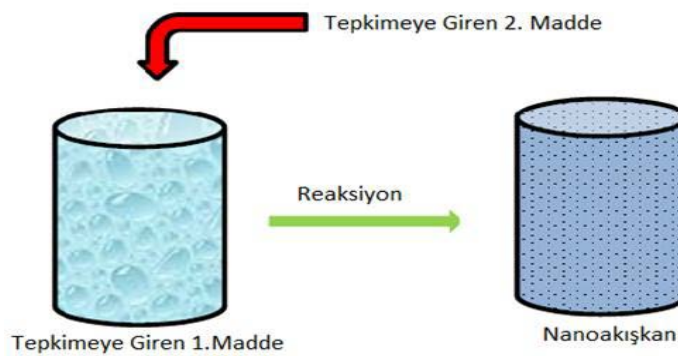
2.2.1. Nanoakışkanların Elde Edilmesi

Nanoakışkanların elde edilmesinde tek aşamalı (single-step method) ve iki aşamalı (two-step method) olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır.

2.2.1.1. Tek Aşamalı Yöntem (Single-Step Method)

Bu yöntemde nanoakışkanların hazırlanması nanoparçacıklarla aynı anda olur. Bu yöntemde parçacıkların bir araya toplanması yani kümelenme problemi minimuma iner. Bu da akışkanın kararlılığını artırır. Endüstriyel bazda üretime uygun olmadığı için küçük çaplı üretimlerde kullanılır.

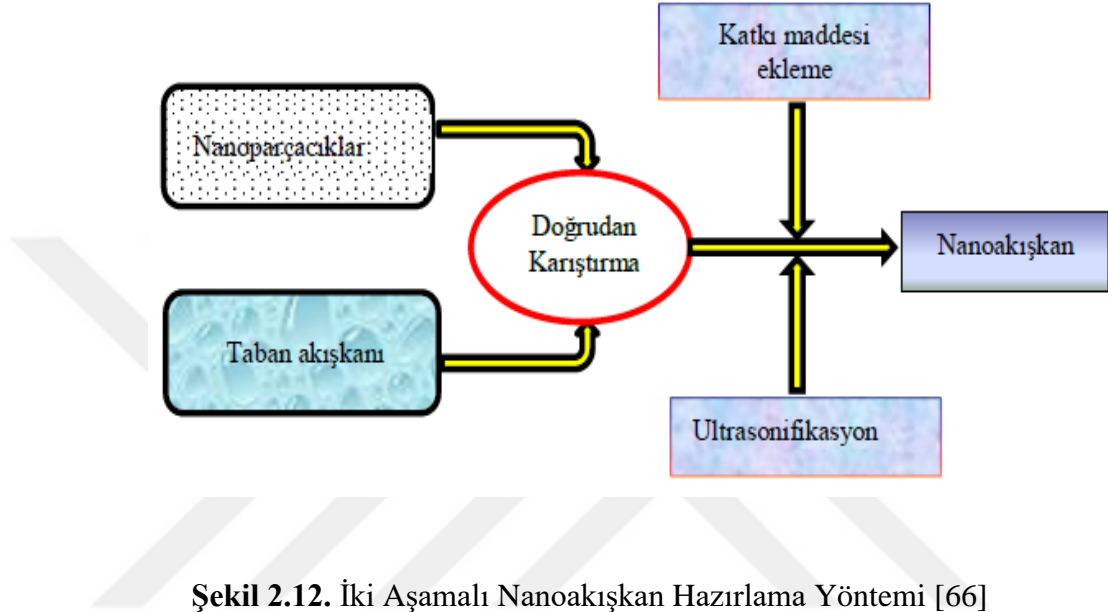
Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise yüksek maliyetli olmasından dolayı büyütülmesinin imkansız olması ve sadece düşük buhar basıncı baz akışkanlarıyla uyumlu olmasıdır.



Şekil 2.11. Tek Aşamalı Nanoakışkan Elde Edilmesi [66]

2.2.1.2. İki Aşamalı Yöntem (Two-Step Method)

Bu yöntemde genellikle iki adım kullanılır. İlk aşamada nanomalzemeler kuru toz biçiminde üretilirler. Diğer adımda ise üretilen bu nanomalzemeler verilen baz akışkanın içerisine karıştırıcı cihazlar yardımı ile atılırlar. Bu yöntem ile büyük ölçekte nanoakışkan hazırlamak mümkündür. En büyük dezavantajı ise kümelenme topaklanma durumunun yüksek olmasıdır.



Şekil 2.12. İki Aşamalı Nanoakışkan Hazırlama Yöntemi [66]

2.2.2. Nanoakışkanların Isı Transferine Etkisi

Kakac ve Pramuanjaroenkij'e (2009) göre yüksek ısıl iletkenliğe sahip 1-100 nm'lik tipik uzunluk skalalarına sahip katı nanopartiküllerin baz sıvısı (düşük ısıl iletkenlik) içerisinde asılı kalması, etkili ısıl iletkenliği ve baz sıvısının konvektif ısı aktarım katsayısını arttırdığı gösterilmiştir. Al_2O_3 , CuO, Cu, SiO, TiO gibi metalik veya metalik olmayan partikül malzemelerinin termal iletkenliği, tipik olarak, düşük konsantrasyonlarda bile baz akışkanlardan daha büyüktür ve ısıl transfer katsayısında belirgin artışlara neden olurlar. Bu nedenle, nanoakışkanların etkin ısıl iletkenliği, geleneksel ısıl transfer sıvıları ile karşılaştırıldığında iyileştirilmiş ısıl transferi beklenir.

2.3. Sonlu Hacimler Metodu

Her türlü akışkan ve akışkan hareketlerini incelemek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin tamamını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) başlığı altında toplayabiliriz. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin deneysel çalışmalara göre büyük avantajları vardır. Maliyetinin düşük olması, daha kısa sürede sonuca ulaşılması, ölçekleme probleminin az olması bunlardan birkaçıdır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde en çok kullanılan sayısal yöntem sonlu hacimler metodudur.

Sonlu hacimler yönteminde kısmi diferansiyel denklemler kontrol hacmi üzerinden integre edilir.

Genel bir ϕ özelliğinin değişimi sonlu hacim yöntemi (Versteeg ve Malalasekera, 1995) ile incelemek için genel haliyle taşınım denklemi;

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla(\rho\phi U) = \nabla(\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (2.1)$$

Akışkan elemanının ϕ özelliğindeki artış	+	Akışkan elemanından çıkan net ϕ miktarı	=	ϕ özelliğinin difüzyona bağlı artış oranı	+	ϕ 'nin kütleli kuvvetlere bağlı artışı
---	---	--	---	--	---	---

Zamandan bağımsız sürekli akım için zamana bağlı ifade sıfır olacağından (2.1) denklemi tekrar düzenlenirse;

$$\nabla(\Gamma\nabla\phi) + S_\phi = 0 \quad (2.2)$$

Şekline gelir ve kontrol hacmi (K.H.) alınarak integre edilirse,

$$\iiint_{\Delta V} \nabla(\Gamma \nabla \phi) dV + \iiint_{\Delta V} S_{\phi} dV = 0 \quad (2.3)$$

Gauss diverjans teoremi, herhangi bir \vec{a} vektörel büyüklüğü için yazılmış hacim ve alan integrali arasında;

$$\iiint_{\Delta V} \nabla \vec{a} dV = \iint_A \vec{a} \vec{n} dA \quad (2.4)$$

Gauss diverjans teoremi uygulanarak (2.3) denklemi

$$\iint_A (\Gamma \nabla \phi) \vec{a} dA + \iiint_{\Delta V} S_{\phi} dV = 0 \quad (2.5)$$

şeklinde elde edilir.

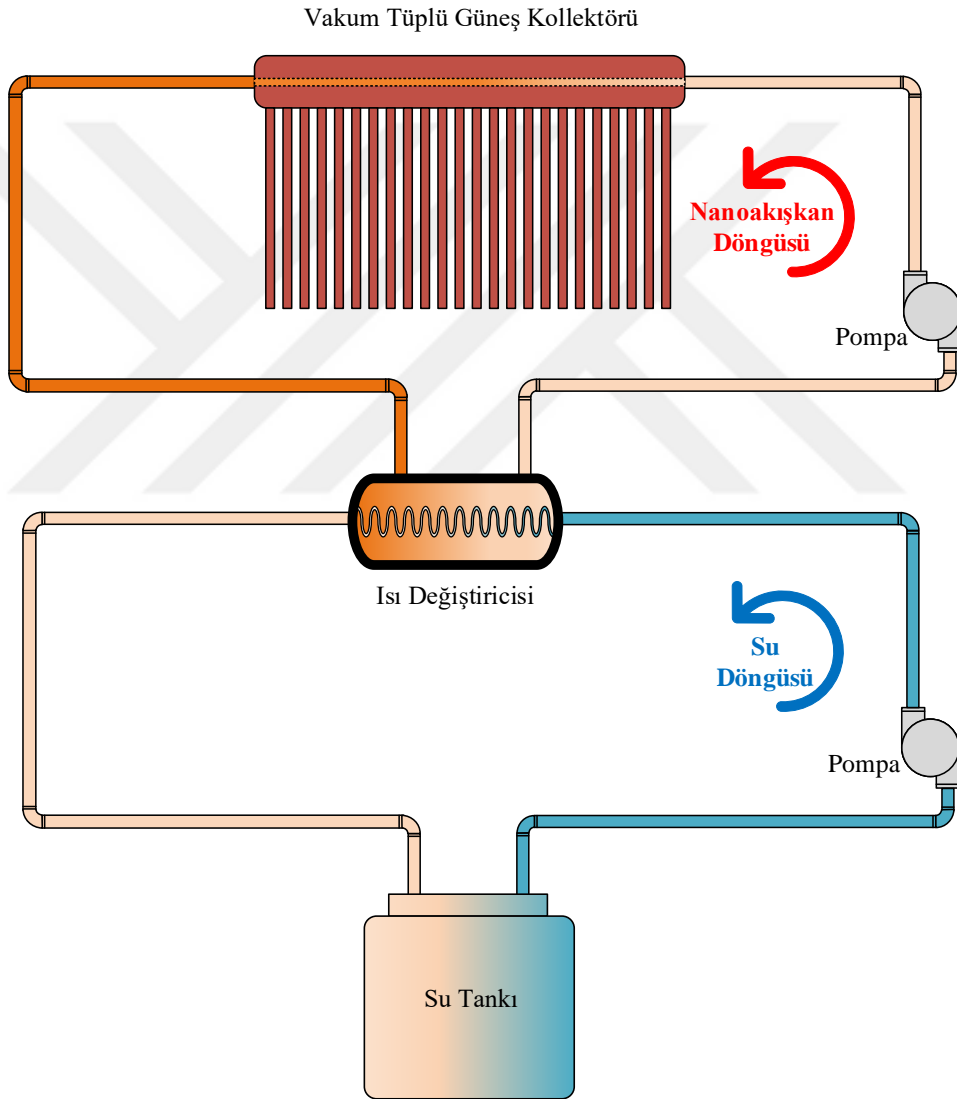
İfadelerde sonlu hacimler metodu kabaca ifade edilmiştir. Formülizasyon net difüzyon akışı ve kontrol hacmindeki ϕ özelliğinin değişimini vermektedir. Ayrıca momentum denklemlerinde basınç-hız çiftini çözmek için; bir basınç alanı tahmin edilir, bu tahmin edilen basınç alanı ile ayrıklaştırılmış momentum denklemleri çözülür ve buna karşılık gelen hızlar bulunur. Daha sonra bir düzeltme basınç alanı tanımlanır. Düzeltme basınç alanı; doğru basınç alanıyla tahmini basınç alanı arasındaki farkı ifade etmektedir. Böylece doğru hız alanı da; tahmini hız alanı ile düzeltme basınç alanına bağlı fonksiyonunun toplamı haline gelir. Bütün bu adımlar sadece bir iterasyon döngüsünü ifade eder ve yakınsama sağlanana kadar bu döngü devam eder. Bu döngüye SIMPLE (Patankar, 1980) iteratif çözüm algoritması denir.

2.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, su ısıtma yöntemlerinden en etkili ve en ekonomik sistemlerinden birisi olan vakum tüplü güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımının sistemin ısı ve hidrodinamik davranışlarını nasıl etkilediği sayısal olarak tespit etmektir. Bu amaç doğrultusunda; bir ucu açık nanoakışkanlı vakum tüplü güneş kolektöründe ısı transferi HAD aracılığıyla incelenmiştir. Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanlarının ısı performans etkileri birbirlerine ve suya göre karşılaştırılmıştır. Kolektör 12, 24 ve 36 adet vakum tüp olarak, 30° , 45° ve 60° olarak modellenmiştir. Vakum tüplerin bağlı olduğu tankın içinden geçen borunun akışkan çıkış sıcaklıkları incelenmiş olup, farklı kütleli debi durumlarına da bakılmıştır. Bir deneysel ve iki nümerik sonuçlar ile doğrulaması yapılmış olan matematiksel modellememiz sonucunda parametrelerin ısı performans etkileri sonlu hacimler metodu kullanılarak belirtilmiştir.

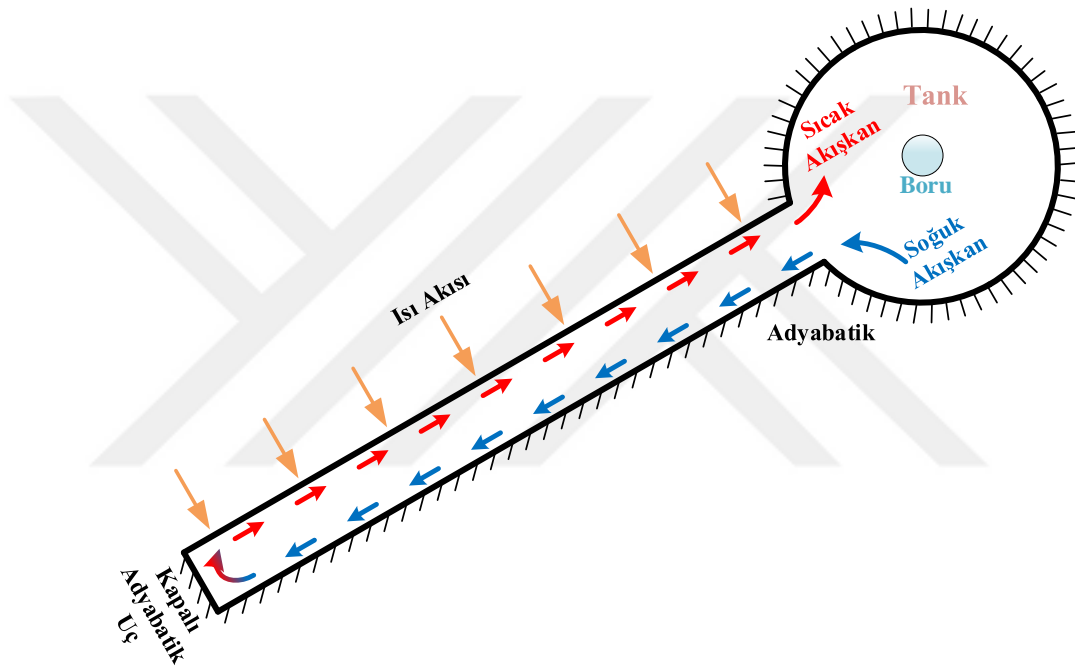
3. MODELİN TANIMLANMASI

Şekil 3.1’de sayısal analizi yapılacak olan sistem şematize edilmiştir. Sistem iki döngüden oluşmaktadır. Üst döngüde güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak amacıyla iş akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı ‘*nanoakışkan döngüsüdür*’. Alt döngü ise nanoakışkan tarafından taşınan ısı enerjiden yararlanmak amacıyla bir ısı değiştiricisi aracılığıyla ısı enerjinin suya aktarılmasıyla suyun tanka aktarıldığı ‘*su döngüsüdür*’.



Şekil 3.1. Sistemin Çalışma Şeması

Şekil 3.2’de Boussinesq Yaklaşımı kullanılarak sonlu hacimler metodu ile analizi yapılan vakum tüplü güneş kolektörünün ısı akışı ve sınır şartları gösterilmiştir. Güneş ışınimleri ile ısının vakum tüp içindeki sıvıya aktarılmasıyla sıcaklığı artan akışkanın yoğunluğu azalarak tanka doğru yukarıya çıkmaktadır. Tank içindeki akışkandan boru içinden geçen akışkana ısı transferi olmasıyla sıcaklığı düşen tank içindeki akışkanın da yoğunluğu arttığından dolayı tüplerden aşağı doğru inmektedir. Böylece yoğunluk farkından dolayı meydana gelen bu doğal taşınım aracılığıyla akış gerçekleşmektedir.



Şekil 3.2. Analizi Yapılan Vakum Tüplü Güneş Kolektörünün Isı Akışı ve Sınır Şartları

Tablo 3.1.’de nümerik analizi yapılan vakum tüplü kolektörün geometrik ve teknik değerleri verilmiştir. Üç farklı vakum tüp sayısı dikkate alındığından dolayı üç farklı tank uzunluğu verilmiştir.

Tablo 3.1. Vakum Tüplü Kollektör Teknik Verileri

<i>Akışkan</i>	Su / Al ₂ O ₃ -Su / CuO-Su
<i>Tüp Uzunluğu</i>	1800mm
<i>Tüp Çapı</i>	37mm
<i>Tüp Sayısı</i>	12/24/36 adet
<i>Tank Uzunluğu</i>	420mm/840mm/1260mm
<i>Tank Çapı</i>	130mm
<i>Tank İçi Boru Çapı</i>	19.05mm
<i>Kollektör Eğim Açısı</i>	30°/45°/60°
<i>Sabit Isı Akısı</i>	800 W/m ²

4. SAYISAL ANALİZ

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) metodlarından Sonlu Hacim Metodunu kullanarak çözüm yapan ANSYS-FLUENT programı, vakum tüplü güneş kollektöründeki düşük sıcaklıkta suyun analizleri için kullanılmıştır. Çözücü olarak *Pressure-Based* olarak seçilmiştir. Bölüm 4.3'de gösterilen süreklilik, momentum ve enerji denklemleri, basınç-hız çiftinin birlikte çözümü için *SIMPLE* algoritması kullanılarak çözülmüştür. Moment ve enerji denklemleri için *Second Order Upwind* ve basınç için *Body Force Weighted* alınmıştır. *Gradient* ayarı *Green-Gauss Node Based* olarak seçilmiştir. Bu çalışmada hesaplamalarda, Boussinesq Yaklaşımı kullanılmış ve akış sürekli, laminar ve sıkıştırılmaz olarak alınmıştır.

4.1. Çalışmanın Doğrulanması ve Mesh Yapısı

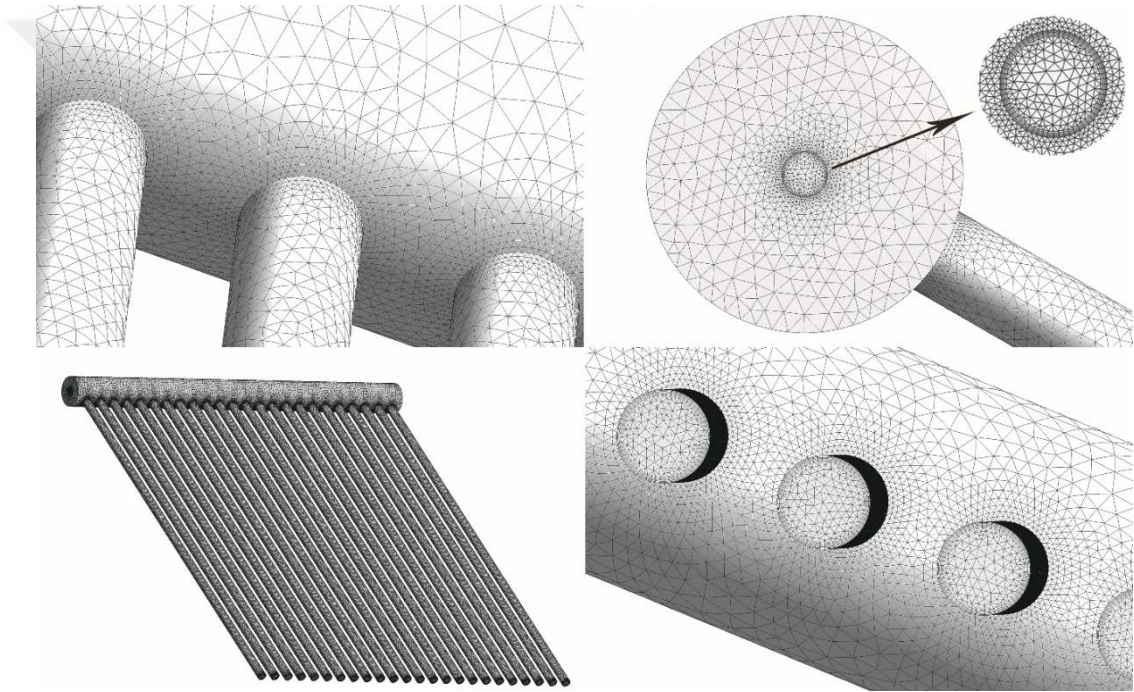
Yapmış olduğumuz sayısal çalışmanın matematiksel modelinin doğruluğunu göstermek gerekmektedir. Bunun içinde Arturo ve ark. [20] yapmış olduğu bir deneysel ve iki farklı nümerik sonuçlar ile modelimizin doğrulamasını yaparak, Tablo 4.1.'de sonuçların karşılaştırmasını gösterdik. Tablo 4.1.'den de görüleceği üzere yapmış olduğumuz sayısal analiz sonucunda elde ettiğimiz değerler, deneysel verilere diğer nümerik çalışmalara göre çok daha iyi yakınsama göstermiştir.

Tablo 4.1. Çalışmanın Doğrulanması

<i>Test</i>	T_{in} (°C)	$T_{out, exp.}$ [20] (°C)	$T_{out, BA}$ [20] (°C)	$T_{out, VPT}$ [20] (°C)	$T_{out, bu}$ [Bu Çalışma] (°C)	% Fark [20]	% Fark [20]	% Fark [Bu Çalışma]
1	27.9	36.70	35.37	33.75	35.91	3.62	8.04	2.15
2	32.9	41.80	41.03	39.20	41.38	1.84	6.22	1.00
3	40.4	48.50	47.01	45.80	47.64	3.07	5.57	1.77
4	46.7	52.50	51.80	50.82	52.29	1.33	3.20	0.40

Modelimizin analizinin doğru gerçekleşmesindeki en önemli adımlardan birisi de mesh yapısı ve ayarlarıdır. Çalışmadaki modelimizde Tetrahedrons mesh

modelini, element order olarak Quadratic yapıyı kullandık ve kullandığımız mesh yapısında 36 tüplü model de eleman sayısı 4413709, nodes sayısı da 8758773 olarak belirlenmiştir. 24 tüplü modelimizde eleman sayısı 3366496, nodes sayısı 6792541 ve 12 tüplü modelimizde de eleman sayısı 1706981, nodes sayısı da 3437412 olarak analizleri yapılmıştır. Şekil 4.1.'de mesh yapısı gösterilmiştir, çok yer kaplamaması için yalnızca 24 tüplü model görüntüleri üzerinden gösterilmiştir. Diğer 12 ve 36 tüplü analizlerde de aynı mesh yapısı kullanılmıştır. Çalışmada 4000 iterasyon yapılarak çözümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Mesh Yapısı

4.2. Sınır Şartları

Simülasyonlarda ana bileşen olarak bir tank, tank içinden geçen bir boru ve güneş ışınımını soğuran tüpler bulunmaktadır. Şekil 4.1'de ifade edildiği gibi sistem içinde düşük sıcaklıkta su ve nanoakışkan bulunduran vakum tüplü güneş kollektörünün geometrisi kullanıldı. Şekil 3.2'de de gösterildiği gibi tank içindeki

boru akışı z yönüne doğru yönlendirilmiştir. Yerçekimi, negatif y yönünde ve kolektörün boruları 30°, 45° ve 60° eğimli olarak incelenmiştir.

Tank içindeki borudan geçen akışkanın boru girişinde sabit kütleli debi ve çıkışında da serbest çıkış (pressure outlet) olarak belirlenmiştir. Girişteki sabit kütleli debi farklı bir değer belirtilmediği sürece 0.07 kg/s olarak alınmıştır. Tüpler ve tank için tüm dış yüzeyler duvar olarak kabul edilmiştir. Tüplerin duvarları alt ve üst olarak iki eşit parça halinde alınmıştır. Üst yarısı sabit ısı akısının geldiği yüzey, alt yarısı ise adyabatik olarak tanımlanmıştır. Sabit ısı akısı 800 W/m² olarak alınmıştır. Şekil 3.2.'den de görüleceği gibi tüplerin tank tarafındaki uçları açık, diğer alt taraftaki uçları da kapalı ve adyabatiktir. Tankında duvarları adyabatik olarak alınmıştır.

4.3. Matematiksel Model

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonlarındaki kaldırma etkisinin hesaba katılması için Boussinesq yaklaşımı seçilmiştir ve bu yaklaşımda yoğunluk dışındaki tüm fiziksel ve taşınım özellikleri sabit olarak kabul edilir. Boussinesq yaklaşımının kullanıldığı modelimizde, Sonlu Hacimler Metodu çözümlerimizde kullanılacak olan Süreklilik, Momentum ve Enerji Denklemleri aşağıda ifade edilmiştir.

Süreklilik Denklemi:

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.1)$$

Momentum Denklemleri:

x-Bileşeni

$$u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}} \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \quad (4.2)$$

y-Bileşeni

$$u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} = g_y \beta_{nf} (T - T_\infty) + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}} \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \quad (4.3)$$

z-Bileşeni

$$u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf}} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) \quad (4.4)$$

Enerji Denklemi:

$$\rho_{nf} c_{nf} \left(u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4.5)$$

Yukarıdaki denklemlerde g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Yoğunluktaki değişim Boussinesq yaklaşımı kullanılarak ifade edilmiştir ve bu yaklaşım;

$$\rho_{nf} = \rho_{nf_0} [1 - \beta_{nf} (T - T_0)] \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifade de; ρ_0 akışkanın sisteme girişindeki yoğunluğunu, β ısıl genleşme katsayısını ve T_0 ise akışkanın sisteme giriş sıcaklığını göstermektedir.

Nanopartiküllerin akışkan içerisinde homojen olarak dağıldığı kabul edilen tek fazlı yaklaşım modeli kullanılarak analizler ve hesaplamalar yapılmıştır. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlendiği denklemler aşağıda gösterilmiştir.

Nanoakışkanın yoğunluğunun belirlendiği ifade;

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad (4.7)$$

nanoakışkanın ısı kapasitesinin belirlendiği ifade;

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho c_p)_f + \varphi(\rho c_p)_s \quad (4.8)$$

nanoakışkanın viskozitesini belirlemek için Brinkman [67] tarafından belirlenmiş ifade;

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\varphi)^{2.5}} \quad (4.9)$$

nanoakışkanın ısı iletkenliği de Maxwell [21] tarafından küresel nanopartiküller için belirlenmiş olan ifade;

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\varphi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \varphi(k_f - k_s)} \quad (4.10)$$

nanoakışkanın ısı genleşme katsayısını da Khanafer [31] tarafından belirlenmiş olan ifade;

$$\beta_{nf} = \left[\frac{1}{1 + \frac{(1-\varphi)\rho_f}{\varphi\rho_s}} \frac{\beta_s}{\beta_f} + \frac{1}{1 + \frac{\varphi\rho_s}{1-\varphi\rho_f}} \right] \beta_f \quad (4.11)$$

ile nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yukarıda kullanılan ifadelerden ' φ ' nanopartiküllerin akışkan içerisindeki hacimsel oranını, ' n_f ' alt indisi nanoakışkanı, ' f ' alt indisi temel akışkan olan suyu ve ' s ' alt indisi de nanopartikülü ifade etmektedir.

Tablo 4.2.'de; Alümina, Bakır-Oksit ve Suyun bu çalışmada kullanılan termofiziksel özelliklerinin değerleri verilmiştir. Denklemler (4.7-4.11) kullanılarak, Tablo 4.3.'deki nanoakışkanlara ait termofiziksel özellikler elde edilmiştir. Tablo 4.3.'den de görüleceği üzere; nanopartiküllerin hacimsel oranı arttıkça yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve viskozite artmakta, özgül ısı ile ısı genleşme katsayısı azalmaktadır.

Tablo 4.2. Su, Al₂O₃ ve CuO'nun Analizlerde Kullanılan Termofiziksel Özellikleri

	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	β (1/K)
Su (20 °C)	997.78	4076.4	0.60475	0.0009772	0.0034112
Al₂O₃	3970	765	40	-	0.0000085
CuO	6320	531.8	76.50	-	0.0000180

Tablo 4.3. Kullanılan Nanopartiküllerin Hacimsel Oranına Göre Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

φ (%)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	μ (kg/ms)	β (1/K)
% 1 Al₂O₃	1027.5022	3948.45616	0.62226	0.0010021	0.00328
% 1 CuO	1051.0022	3863.25228	0.62264	0.0010021	0.00321
% 3 Al₂O₃	1086.9466	3713.55997	0.65832	0.0010545	0.00304
% 3 CuO	1157.4466	3495.76314	0.65951	0.0010545	0.00285
% 5 Al₂O₃	1146.3910	3503.02416	0.69582	0.0011109	0.00282
% 5 CuO	1263.8910	3190.17358	0.69789	0.0011109	0.00256

5. ANALİZ SONUÇLARI

Tablo 5.1.'de kollektör açısının ısı transferine etkisi gösterilmiştir. Kollektörde 12 tüp olması durumu için değerlendirilmiştir. Akışkan olarak farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 nanopartikülünün kullanıldığı Al_2O_3 -Su nanoakışkanı bulunmaktadır. Kollektör açılarının değiştirilerek yapılan karşılaştırmalarda en yüksek artışı kollektörün 30° olması ve %5 hacimsel oranda Al_2O_3 nanopartikül bulunduran durum için elde edilmiştir. Bu durum için nanoakışkanın çıkış sıcaklığı suya göre %2.49 artış göstermiştir. Diğer durumların suya göre ne düzeyde artış sağladığı sıcaklık değerlerinin yanında yüzdeler olarak ifade edilmiştir.

Tablo 5.1. Kollektör Açılarına ve Nanopartikül Hacimsel Oranına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları

12 Tüp	$T_{\text{çıkış}} (^\circ C)$		
	30°	45°	60°
φ (%)			
Su	25.335621	25.355855	25.351953
%1 Al_2O_3	25.469749 (0.53%)	25.479523 (0.49%)	25.465916 (0.45%)
%3 Al_2O_3	25.702959 (1.45%)	25.708797 (1.39%)	25.710995 (1.42%)
%5 Al_2O_3	25.965290 (2.49%)	25.957769 (2.37%)	25.957063 (2.39%)

Tablo 5.2.'de kollektörde kullanılan vakum tüp sayısındaki değişimin tank çıkış sıcaklığına etkisi farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 nanopartikülü içeren Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için gösterilmiştir. Kollektör açısı 30° olarak alınmıştır. Görüldüğü gibi nanopartikül oranı tüp sayısı arttıkça tank çıkış sıcaklığı da artmaktadır. Ancak; tüp sayılarındaki artışın çıkış sıcaklıklarına etkileri karşılaştırıldığında 12 tüpten 24 tüpe çıktığında meydana gelen artış, 24 tüpten 36 tüpe çıktığında meydana gelen artıştan daha fazladır. Örneğin; %5 hacimsel oranda Al_2O_3 nanopartikül bulunduran Al_2O_3 -Su nanoakışkanı durumu için kollektörde tank çıkış sıcaklığının 12 tüpten 24 tüpe çıktığında artışı %1.47 iken 24 tüpten 36 tüpe çıktığında ise artışı %1.27 olmaktadır. Tüp sayısı arttıkça ısı transferindeki artış aynı düzeyde artmamaktadır, artış daha az olarak gerçekleşmektedir.

Tablo 5.2. Vakum Tüp Sayısına ve Nanopartikül Hacimsel Oranına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları

30°	$T_{\text{çıkış}} (^{\circ}\text{C})$			
	φ (%)	12 Tüp	24 Tüp	36 Tüp
Su		25.335621	28.611471	31.931996
%1 Al_2O_3		25.469749 (0.53%)	28.836891 (0.79%)	32.240344 (0.97%)
%3 Al_2O_3		25.702959 (1.45%)	29.288614 (2.37%)	32.913898 (3.07%)
%5 Al_2O_3		25.965290 (2.49%)	29.743124 (3.96%)	33.602577 (5.23%)

Tablo 5.3.'de farklı hacimsel oranlarda Al_2O_3 ve CuO nanopartiküllerini içeren nanoakışkanların vakum tüp sayısının 24 ve kollektör açısının 30° olması durumu için tank çıkış sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Tablodan da görüldüğü gibi CuO - Su nanoakışkanın ısı transfer kabiliyeti, Al_2O_3 - Su nanoakışkanına göre çok daha yüksektir. Nanopartikül hacimsel oranı arttıkça da tank çıkış sıcaklığındaki artışta CuO - Su nanoakışkanında daha hızlı bir şekilde artmaktadır.

Tablo 5.3. Nanopartikül Tipi ve Nanopartikül Hacimsel Oranına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları

30° - 24 Tüp	$T_{\text{çıkış}} (^{\circ}\text{C})$		
	φ (%)	Al_2O_3 - Su	CuO - Su
Su		28.611471	
%1		28.836891 (0.79%)	28.993199 (1.33%)
%3		29.288614 (2.37%)	29.757360 (4.01%)
%5		29.743124 (3.96%)	30.508184 (6.63%)

Tablo 5.4.'de %5 hacimsel oranda Al_2O_3 nanopartikül bulunduran Al_2O_3 - Su nanoakışkanı, 12 tüp ve 30° olması durumu için tank içindeki borudan giren akışkanın kütleli debisindeki değişimin çıkış sıcaklığına etkisi gösterilmiştir.

Vakum tüplü kollektörlerde genellikle akış debisi 0.025kg/s ile 0.075kg/s arasında kullanılmaktadır. Bu sebeple bu tabloda da 0.025kg/s, 0.05kg/s ve diğer tüm analizlerimizde kullandığımız 0.07kg/s debisi karşılaştırılmıştır. En iyi çıkış sıcaklığı debinin 0.025kg/s olması durumunda görülmektedir.

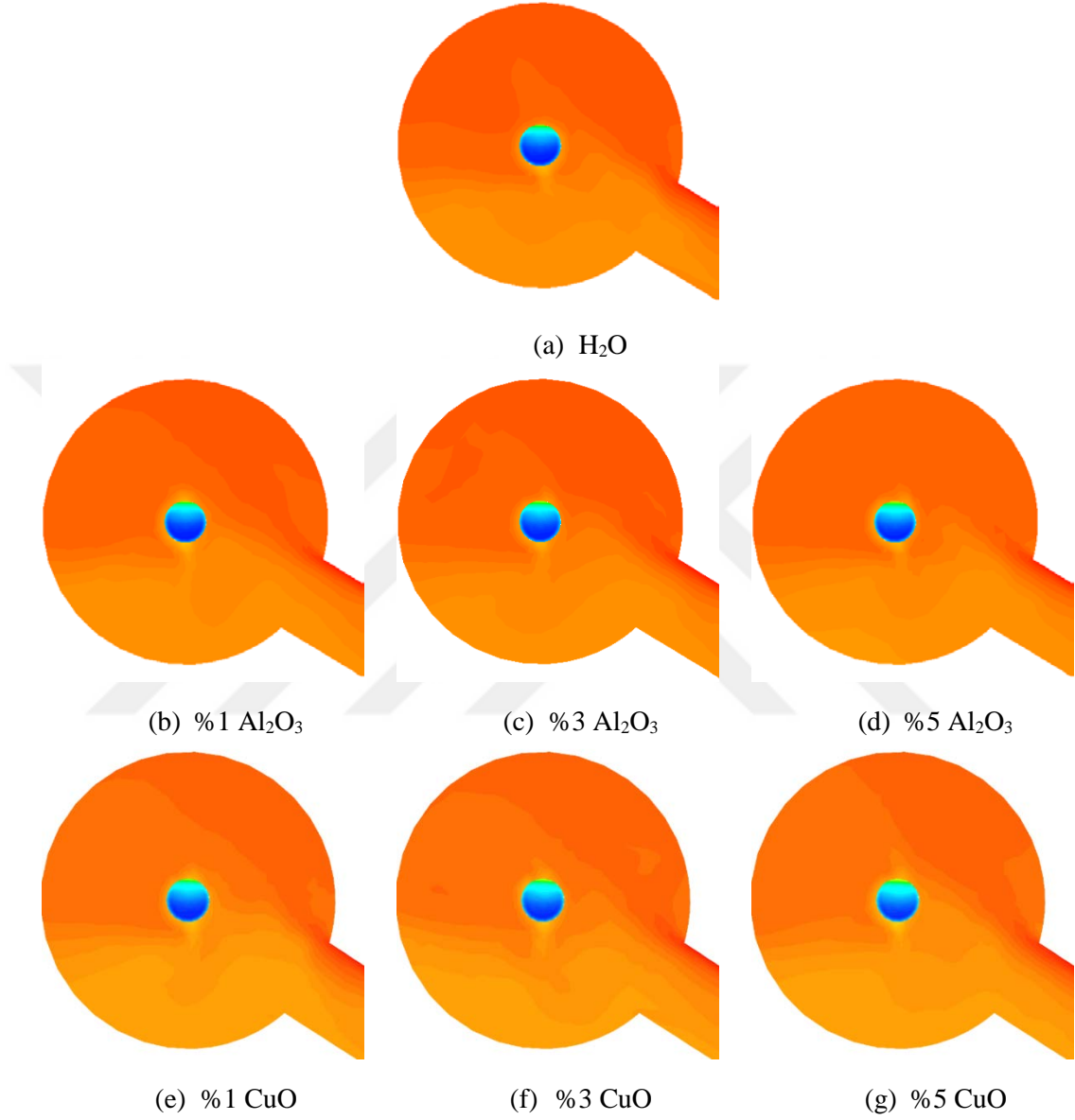
Tablo 5.4. Akış Kütleli Debisine Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları

12 Tüp-30^o-%5Al₂O₃

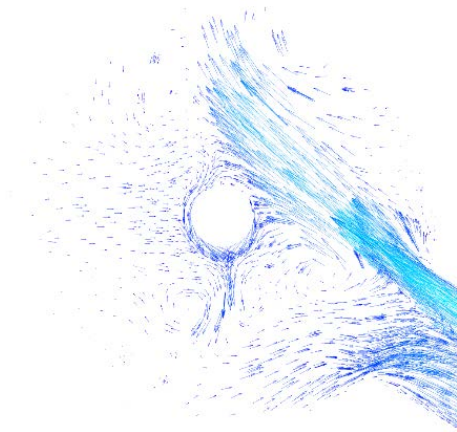
<i>m</i> (kg/s)	T _{çıkış} (°C)
<i>0.07</i>	25.96529
<i>0.05</i>	27.50341
<i>0.025</i>	30.031295

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de 24 tüplü model üzerinden sıcaklık ve hız dağılımları ile streamline yapılarını görmekteyiz. Bu şekillerden de görüleceği üzere vakum tüp içerisinde ısı akısının geldiği yüzeyden sıcaklığı artarak yoğunluğu azalan akışkanın kaldırma kuvveti etkisiyle tüpün üst tarafından tankın içine doğru dolduğu görülmektedir. Tank içindeki akışkan da tankın içindeki borudan geçen akışkana ısı transfer etmesi sebebiyle sıcaklığı azalmakta ve yoğunluğu artmaktadır. Tank içindeki yoğunluğu artan akışkanında tank içinden vakum tüplere doğru yerçekimi etkisiyle alt kısımdan aşağıya doğru aktığını sıcaklık ve hız profillerinden görmekteyiz. Bu sebeple vakum tüpün ısı akısının geldiği yüzeye yakın olan akışkanın hızı diğer bölgelere göre daha yüksektir. Vakum tüp duvarının üst ve alt yarısına yakın akışkan zıt yönlerde aktığından, aralarında bir kayma tabakası oluşur ve bu kayma tabakası en düşük hıza sahiptir. Sıcaklık profillerini incelediğimiz zaman tank içindeki boruya ısı transferi gerçekleştikten sonra sıcaklığı düşük olan akışkan tan dibine doğru inmektedir. Nanopartikül oranı yükseldikçe tank içindeki boruya olan ısı transferinin de daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Aynı nanopartikül oranları için Al₂O₃-Su ve CuO-Su nanoakışkanların karşılaştırıldığında da CuO-Su nanoakışkanının sıcaklık profilinden ısı transferini daha hızlı gerçekleştirdiğini görmekteyiz. Bu sıcaklık durumuyla bağlantılı olarak sıcaklığı yüksek olan akışkanın daha hızlı bir akış gerçekleştirdiği görülmektedir. Çünkü

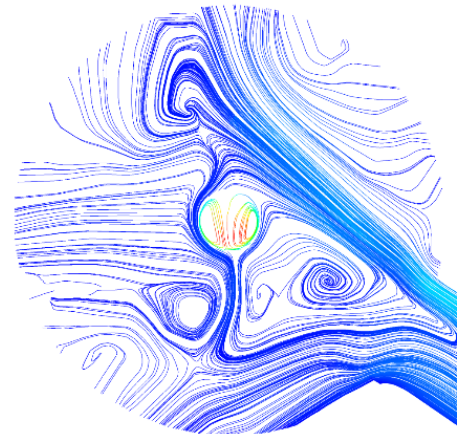
akışkanın viskozitesi sıcaklık artışıyla azalmaktadır. Şekil 5.2'den hız profili ve streamline yapılarını incelediğimizde bu durumu görmekteyiz.



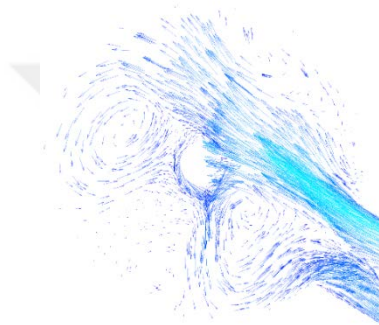
Şekil 5.1. Tank İçindeki ve Tüp-Tank Geçişindeki Sıcaklık Dağılımı



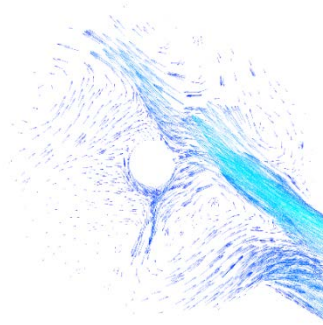
a) H₂O Velocity



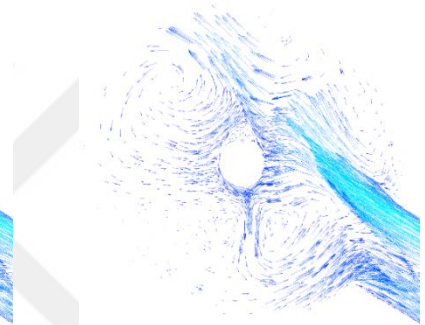
b) Water Streamline



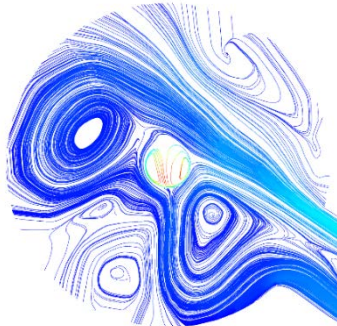
a) %1 Al₂O₃



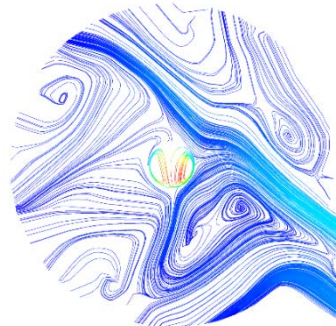
a) %3 Al₂O₃



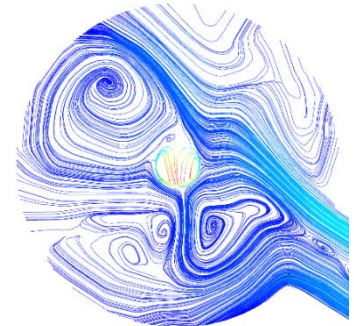
a) %5 Al₂O₃



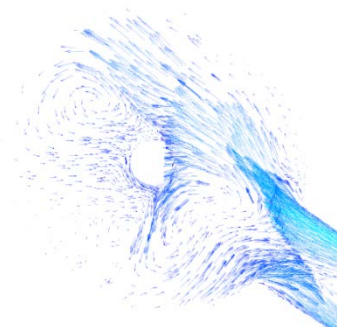
b) %1 Al₂O₃



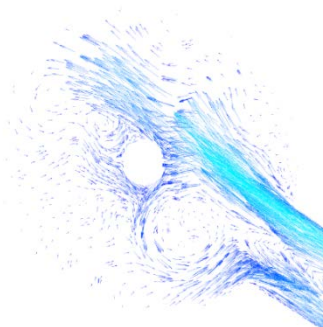
b) %3 Al₂O₃



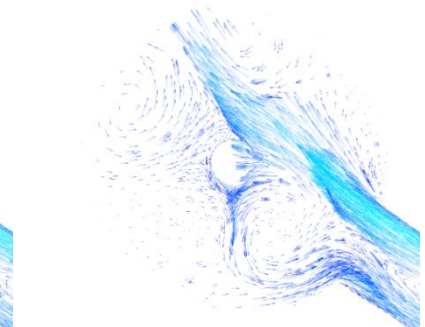
b) %5 Al₂O₃



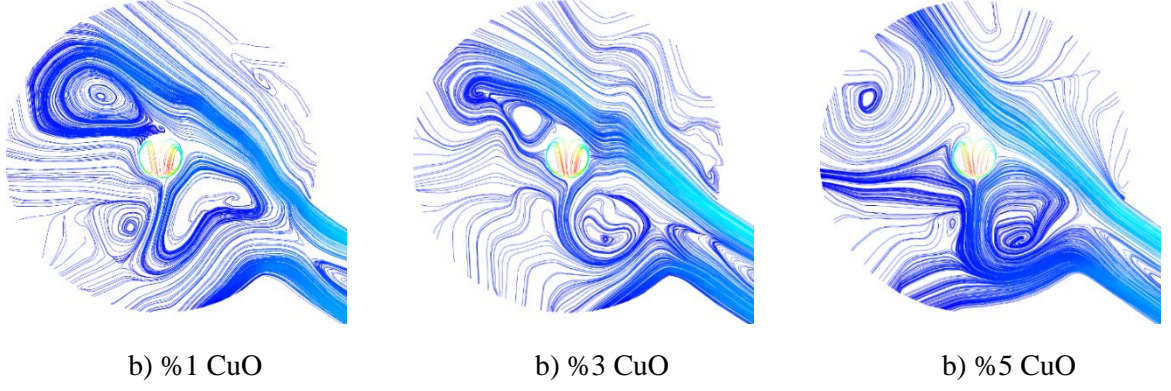
a) %1 CuO



a) %3 CuO



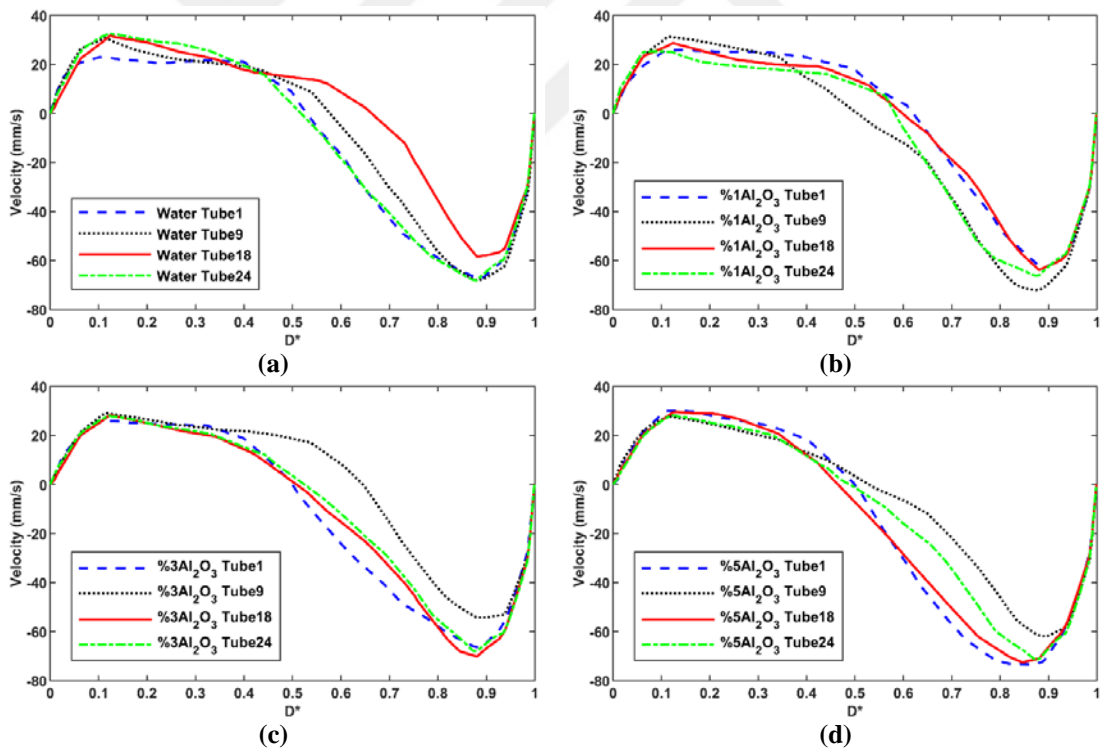
a) %5 CuO

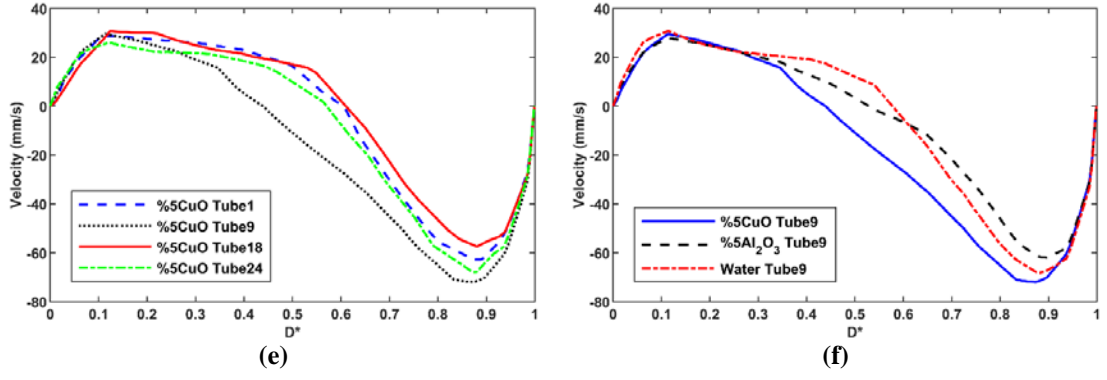


Şekil 5.2. Tank İçindeki ve Tüp-Tank Geçişindeki Hız Dağılımı ve Streamline
a)Hız ve b)Streamline

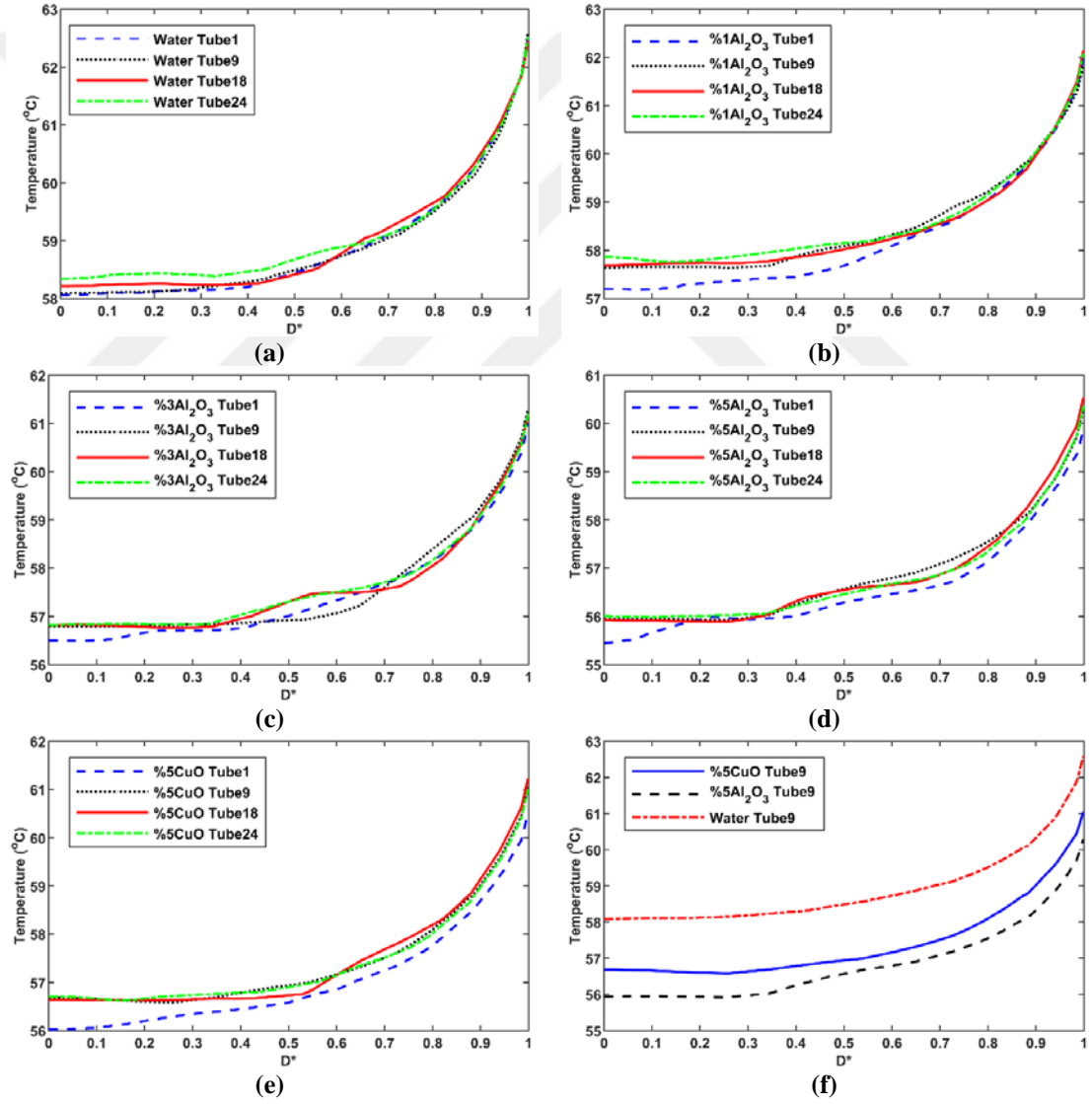
Şekil 5.3.'de normalize tüp çapına (D^*) göre bazı tüplerden tank içine ve tank içinden tüplere doğru olan akış hız profilleri gösterilmiştir. Dört farklı tüp ele alınmıştır. Tank girişi tarafındaki ilk tüpe tüp-1 ve tank çıkışındaki son tüpe de tüp-24 olarak adlandırma yapılmıştır. Karşılaştırmalar 24 vakum tüplü kollektör modelimiz için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3(a)'da suyun, Şekil 5.3(b)'de %1 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü bulunduran Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, Şekil 5.3(c)'de %3'lük Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, Şekil 5.3(d)'de %5'lik Al_2O_3 -Su nanoakışkanı, Şekil 5.3(e)'de %5'lik CuO-Su nanoakışkanı ve Şekil 5.3(f)'de de yalnızca tüp-9 için Su, %5'lik Al_2O_3 -Su ile %5'lik CuO-Su nanoakışkanlarının hız profilleri karşılaştırılmıştır. Hız profillerinin akış yönünde pozitif ve negatif değişimler gözlenmiştir. Pozitif hız, suyun tanktan tüpe doğru akmakta olduğunu ve negatif hız ise tüplerdeki suyun tanka doğru geri aktığı anlamına gelmektedir. Tanktan tüplere doğru olan akış hızları tüplerin hepsinde birbirine çok yakındır, tüplerden tanka geçişlerde ise tüplerin hızlarında farklılık daha fazla gözlenmiştir. Şekil 5.4'de de yukarıda bahsettiğimiz hız profilleri durumları için sıcaklık profilleri gösterilmektedir. Tanktan tüplere akışın olduğu kısımda sıcaklığın düşük, tüplerden tanka akışın olduğu kısımda ise sıcaklığı daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekiller incelendiğinde her bir tüp için giriş ve çıkışta farklı bir hız ve sıcaklığın olduğu görülmektedir, ancak borular ayrı ayrı değerlendirilerek güneş kollektörünün genel performansını değerlendirmek doğru olmaz, çünkü her bir tüpün akışkan sıcaklığının kollektörün genel sıcaklık artışına katkısı vardır. Akışkan yapılarının kollektör

performansına katkısını tank çıkış sıcaklıklarına göre değerlendirmek çok daha sağlıklı sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır. Buradaki hız ve sıcaklık profilleri, vakum tüplü güneş kolektörünün tank-tüp geçiş durumunu göstererek, çalışma prensibi hakkında bize bilgi vermektedir. Ayrıca bu şekillerden Boussiesq Yaklaşımı'nın etkilerini de hız ve sıcaklık profillerinden gözlemlemekteyiz. Bu gözlemlerde en dikkat çekici durum Şekil 5.4(f)'deki durum olmuştur. Bu şekil incelendiğinde vakum tüpler içinde nanoakışkan yerine su kullanılması durumunda sıcaklığı doğal taşınım etkileriyle daha yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla doğal taşınım olması durumunda yoğunluk etkileri akışkan tipinin değişmesinde çok düşük etki göstermekle birlikte, suyun kullanılması hem performans hem de ekonomi açısından çok daha iyi olacağını yorulmayabiliriz. Bu şekilden yola çıkarak vakum tüpler için akışkan olarak suyun, tank içindeki borudan da nanoakışkan aktığı durumu karşılaştırmamız gerektiği kanaatine varılmıştır.





Şekil 5.3. Tüp-Tank Giriş-Çıkış Bölgesi Vakum Tüplere ve Akışkana Göre Hız Profili (24 Tüp, 30°)



Şekil 5.4. Tüp-Tank Giriş-Çıkış Bölgesi Vakum Tüplere ve Akışkana Göre Sıcaklık Profili (24 Tüp, 30°)

Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.'de vakum tüp ve tank içinde bulunan boru içindeki akışkanların aynı tip olması durumları için tüp sayısına ve akışkan tipine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Tasarlayarak matematiksel olarak modellediğimiz Şekil 3.1'de gösterdiğimiz sistem, vakum tüp ve tank içindeki boru da farklı akışkanları dolaştırabilecek tasarıma sahiptir. Her iki durum içinde çalışması mümkündür. Tablo 5.4.'de vakum tüpler içinde su, tank içindeki boru da Al₂O₃-Su nanoakışkanının dolaşması durumu gösterilmiştir. Tablo 5.5. incelendiğinde görüldüğü gibi vakum tüp ve boru içindeki akışkan aynı olduğunda ısı transferindeki artış %2.49 iken vakum tüp içindeki akışkan su, boru içindeki akışkanın Al₂O₃-Su olması durumunda %2.63 oranında bir artış göstermektedir. Benzer şekilde 24 tüp olması durumunda %3.96'dan %4.13'e, 36 tüp olması durumunda da %5.23'den %5.33'e artış göstermektedir. Tablo 5.5.'de CuO-Su nanoakışkanı için bu durum 24 tüp olması durumunda %6.63'den %6.80'e yükselmektedir.

Tablo 5.5. Vakum Tüp Sayısına Göre Tank Çıkış Sıcaklıkları

(Vakum Tüp İçinde Akışkan Tipine Göre)

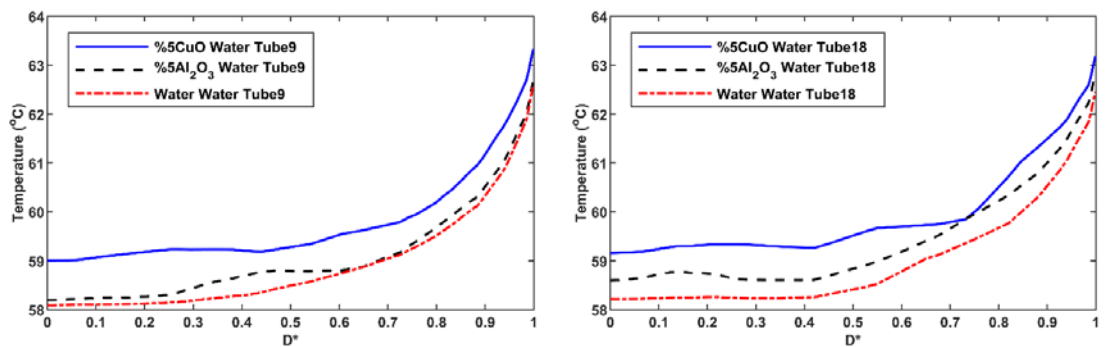
30°	$T_{çıkış} (^{\circ}C)$			
	ϕ (%)	12 Water Tüp	24 Water Tüp	36 Water Tüp
<i>Su</i>		25.335621	28.611471	31.931996
<i>%5 Al₂O₃</i> <i>Vakum Tüp Al₂O₃</i>		25.965290 (2.49%)	29.743124 (3.96%)	33.602577 (5.23%)
<i>%5 Al₂O₃</i> <i>Vakum Tüp Su</i>		25.998793 (2.62%)	29.794306 (4.13%)	33.635218 (5.33%)

Tablo 5.6. CuO-Su Nanoakışkanının ve Suyun Tank Çıkış Sıcaklıkları

(Vakum Tüp İçinde Akışkan Tipine Göre)

<i>24 Tüp-30°</i>	<i>T_{çıkış} (°C)</i>
<i>Su</i>	28.611471
<i>%5 CuO</i> <i>Vakum Tüp CuO</i>	30.508184 (6.63%)
<i>%5 CuO</i> <i>Vakum Tüp Su</i>	30.557448(6.80%)

Şekil 5.4(f)'de bahsettiğimiz durumun tespitinden sonra Şekil 5.5'de gösterildiği gibi vakum tüpler içinde akışkan olarak su, tank içindeki boruda da nanoakışkan dolaştırılması durumu gösterilmiştir. Bu durumda tüp 9 ve tüp 18 incelendiğinde tank çıkış sıcaklıklarından da gördüğümüz gibi en iyi ısı transferi CuO-Su nanoakışkanında, sonra Al₂O₃-Su nanoakışkanında ve son olarak su kullanılması durumunda oluşmaktadır. Vakum tüpler içinde nanoakışkan yerine su kullanılması durumunda daha iyi bir ısı transferinin gerçekleşmesinin sebebi; Boussinesq Yaklaşımı'nda yoğunluk farkından kaynaklanan doğal taşınımın incelenmesinden dolayı yoğunluğu daha düşük olan su ile daha iyi bir sirkülasyon gerçekleşmektedir.

**Şekil 5.5.** Tüp-Tank Giriş-Çıkış Bölgesi Vakum Tüplere ve Akışkana Göre Sıcaklık Profili (24 Tüp, 30°, Vakum Tüp İçinde Su Olması Durumu)

6. SONUÇLAR

Farklı hacimsel oranlarda, farklı tipte nanoakışkan barındıran, farklı açılarda ve farklı tüp sayısına sahip vakum tüplü güneş kolektörünün ısı ve akış analizleri sonlu hacimler metodu kullanılarak incelenmiştir.

Kollektör açısı olarak 30°, 45° ve 60° durumları karşılaştırılmış olup, en iyi sonuç 30° olması durumu için elde edilmiştir.

Vakum tüplü güneş kolektörlerinde akış debisi genellikle 0.025kg/s ile 0.075kg/s arasında kullanılmaktadır. Üç farklı kütleli debi (0.025kg/s, 0.05kg/s ve 0.07kg/s) için yapılan analizlerde en iyi ısı transferi debinin 0.025kg/s olması durumunda gerçekleşmiştir.

Vakum tüp sayısı 12, 24 ve 36 tüp olarak incelenmiş olup ve tüp sayısı arttıkça beklenildiği gibi ısı transferi de artmaktadır. Ancak tüp sayısındaki artış oranında ısı transferindeki artış aynı oranda artış göstermemiştir. Yani 12 tüpten 24 tüpe çıktığında meydana gelen artış, 24 tüpten 36 tüpe çıktığında meydana gelen artıştan daha fazladır.

Vakum tüp ve tank içindeki boruda sirkülasyonu olan akışkanın aynı tip akışkan olması durumuna göre vakum tüp içinde suyun, tank içindeki boruda da nanoakışkanın kullanılması durumunda ısı transferi kabiliyeti çok daha iyidir. Vakum tüpler içindeki akışkan hareketi kaldırma kuvveti etkileri ile gerçekleştiğinden dolayı yoğunluğu daha düşük olan suyun kullanılması durumunda daha iyi bir akış hareketi gerçekleşmektedir. Bu durumda da ısı transferi daha iyi aktarılmaktadır.

Temel akışkan olarak suyun kullanıldığı ve nanopartikül olarak farklı hacimsel oranlarda Al₂O₃ ve CuO kullanılmıştır. Yapılan analizlerde CuO-Su

nanoakışkanı için daha iyi sonuç elde edilmiştir. Suyun içindeki nanopartikül oranları %1, %3 ve %5 alınarak analizler yapılmıştır. Nanopartikül oranı arttıkça ısı transferi de artmaktadır. 24 tüplü kollektör için %5 hacimsel oranında Al_2O_3 nanopartikülü barındıran Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için ısı transferindeki artış %4.13 iken, aynı şartlardaki CuO-Su nanoakışkanı için artış %6.80'dir.



KAYNAKLAR

- [1] Kim JT, Ahn HT, Han H, Kim HT, Chun W. The performance simulation of all glass vacuum tubes with coaxial fluid conduit. *Int Commun Heat Mass Transfer* 2007; 34: 587–97.
- [2] Han H, Tai KJ, Tae AH, Jin LS. A three-dimensional performance analysis of all glass vacuum tubes with coaxial fluid conduit. *Int Commun Heat Mass Transfer* 2008; 35: 589–96.
- [3] Hazami M, Naili N, Attar I, Farhat A. Solar water heating systems feasibility for domestic requests in Tunisia: thermal potential and economic analysis. *Energy Convers Manage* 2013; 76: 599–608.
- [4] Nkwetta DN, Smyth M, Zacharopoulos A, Hyde T. Experimental performance evaluation and comparative analyses of heat pipe and direct flow augmented solar collector. *Appl Therm Eng* 2013; 60: 225–33.
- [5] Zhang X, You S, Ge H, Gao Y, Xu W, Wang M, et al. Thermal performance of direct-flow coaxial evacuated-tube solar collectors with and without a heat shield. *Energy Convers Manage* 2014; 84: 80–7.
- [6] Zhang X, You S, Xu W, Wang M, He T, Zheng X. Experimental investigation of the higher coefficient of thermal performance for water-in-glass evacuated tube solar water heaters in China. *Energy Convers Manage* 2014; 78: 386–92.
- [7] Wang P-Y, Guan H-Y, Liu Z-H, Wang G-S, Zhao F, Xia H-S. High temperature collecting performance of a new all-glass evacuated tubular solar air heater with U-shaped tube heat exchanger. *Energy Convers Manage* 2014; 77: 315–23.
- [8] Liu YM, Chung KM, Chang KC, Lee TS. Performance of thermosyphon solar water heaters in series. *Energies* 2012; 5: 3266–78.
- [9] Lin WM, Chang KC, Liu YM, Chung KM. Field surveys of non-residential solar water heating systems in Taiwan. *Energies* 2012; 5: 258–69.
- [10] Morrison GL, Budihardjo I, Behnia M. Water-in-glass evacuated tube solar water heaters. *Sol Energy* 2004; 76: 135–40.

- [11] Morrison GL, Budihardjo I, Behnia M. Measurement and simulation of flow rate in a water-in-glass evacuated tube solar water heater. *Sol Energy* 2005; 78: 257–67.
- [12] Budihardjo I, Morrison GL, Behnia M. Natural circulation flow through water in glass evacuated tube solar collector. *Sol Energy* 2007; 81: 1460–72.
- [13] Budihardjo I, Morrison GL. Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters. *Sol Energy* 2009; 83: 49–56.
- [14] Zhiyong L, Chao C, Hailiang L, Ye Z, Yaning X. All-glass vacuum tube collector heat transfer model used in forced-circulation solar water heating system. *Sol Energy* 2010; 84:1413–21.
- [15] Runsheng T, Yuqin Y, Wenfeng G. Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles. *Sol Energy* 2011; 85: 1381–89.
- [16] Waheed BA, Buchholz R, Lou Y, Ziegler F. CFD based analysis of flow distribution in a coaxial vacuum tube solar collector with laminar flow conditions. *Int J Energy Environ Eng* 2012; 3: 1–15.
- [17] Hayek M. Investigation of evacuated-tube solar collectors performance using computational fluid dynamics. In: International conference on advances in computational tools for engineering applications (ACTEA). Zouk Mosbeh (Lebanon): IEEE Lebanon Section 2009 July 15–17.
- [18] Shah LJ, Furbo S. Theoretical flow investigations of an all glass evacuated tubular collector. *Sol Energy* 2007; 81: 822–29.
- [19] Sakhrieh A, Al-Ghandoor A. Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors. *Energy Convers Manage* 2013; 65: 715–20.
- [20] J. Arturo A-A, Guillermo M-R, Martín P-N, Agustín R. U-R, Armando G-M. Numerical study of a low temperature water-in-glass evacuated tube solar collector. *Energy Convers Manage* 2015; 94: 472-81.
- [21] Maxwell-Garnett JC. *Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK 1873.
- [22] Maxwell-Garnett JC. Colours in metal glasses and in metallic films, *Philos. Trans. Roy. Soc. A* 1904; 203: 385–420.

- [23] Bruggeman DAG. Berechnung verschiedener physikalischer konstanten von heterogenen substanzen, I. dielektrizitätskonstanten und leitfähigkeiten der mischkörper aus isotropen substanzen, annalen der physik. Leipzig 1935; 24: 636–79.
- [24] Hamilton RL and Crosser OK. Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems, I & EC Fundamentals 1962; 1: 182–91.
- [25] Wasp FJ. Solid–liquid flow slurry pipeline transportation. Trans. Tech. Publ., Berlin 1977.
- [26] Wang BX, Zhou LP and Peng XF. A Fractal model for predicting the effective thermal conductivity of liquid with suspension of nanoparticles. Int J Heat Mass Transfer 2003; 46: 2665–72.
- [27] Lee S, Choi SUS, Li S, Eastman JA. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. ASME J. Heat Transfer 1999; 121: 280–9.
- [28] Choi S.U.S. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, developments and applications of non-newtonian flows, ASME FED 231/MD 1995; 66: 99–105.
- [29] Wang X, Mujumdar AS. Heat transfer characteristics of nanofluids: A review, Int J Therm Sci 2007; 46: 1–19.
- [30] Xuan Y, Li Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. Int J Heat Fluid Flow 2000; 21/1: 58–64.
- [31] Khanafer K, Vafai K, Lightstone M. Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two dimensional enclosure utilizing nanofluids. Int J Heat Mass Transfer 2003; 46: 3639-53.
- [32] Maiga SEB, Palm SJ, Nguyen CT, Roy G, Galanis N. Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows. Int J Heat Fluid Flow 2005; 26: 530–46.
- [33] Palm SJ, Roy G, Nguyen CT. Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties. Appl Therm Eng 2006; 26: 2209–18.
- [34] Akbari M, Behzadmehr A. Developing laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube with uniform heat flux. Int J Heat Fluid Flow 2007; 29: 566-86.
- [35] Bianco V, Manca O, Nardini S. Numerical investigation on nanofluids turbulent convection heat transfer inside a circular tube. Int J Therm Sci 2011; 50: 341-49.

- [36] Behzadmehr A, Saffar-Avval M, Galanis N. Prediction of turbulent forced convection of a nanofluid in a tube with uniform heat flux using a two-phase approach. *Int J Heat Fluid Flow* 2007; 28: 211-19.
- [37] Mirmasoumi A, Behzadmehr A. Numerical study of laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube using two-phase mixture model. *Appl Thermal Eng* 2008; 77: 717-27.
- [38] Akbarinia A, Laur R. Investigating the diameter of solid particles effects on a laminar nanofluid flow in a curved tube using a two phase approach. *Int J Heat Fluid Flow* 2009; 30: 706-13.
- [39] Fard MH, Esfahany MN, Talaie MR. Numerical study of convective heat transfer of nanofluids in a circular tube two-phase model versus single-phase model. *Int Commun Heat Mass Transf* 2010; 37: 91–7.
- [40] Lotfi R, Saboohi Y, Rashidi AM. Numerical study of forced convective heat transfer of nanofluids: comparison of different approaches. *Int Commun Heat Mass Transf* 2010; 37: 74-8.
- [41] Allahyari Sh, Behzadmehr A, Hosseini Sarvari SM. Conjugate heat transfer of laminar mixed convection of a nanofluid through a horizontal tube with circumferentially non-uniform heating. *Int J Therm Sci* 2011; 50: 1963-72.
- [42] Akbari M, Behzadmehr A, Shahraki F. Fully developed mixed convection in horizontal and inclined tubes with uniform heat flux using nanofluid. *Int J Heat Fluid Flow* 2008; 29: 545–56.
- [43] Hwang KS, Jang SP, Choi SUS. Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al_2O_3 nanofluids in fully developed laminar flow regime. *Int J Heat Mass Transfer* 2009; 52: 193–9.
- [44] Liu Z, Hu R, Lu L, Zhao F, Xiao H. Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluid for evacuated tubular high temperature air solar collector. *Energy Convers Manage* 2013; 73: 135-43.
- [45] Yurddaş A, Çerçi Y. Numerical analysis of heat transfer in a flat-plate solar collector with nanofluids. *Heat Transf Research* 2017; 48: 681-714.

- [46] Javad G, Nor Azwadi CS. An experimental investigation on the effect of Al₂O₃/distilled water nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector. *Int J Heat Mass Transfer* 2017; 108: 972–87.
- [47] Liu Z-H, Hu R-L, Lu L, Zhao F, Xiao H-S. Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluid for evacuated tubular high temperature air solar collector. *Energy Convers Manage* 2013; 73: 135–43.
- [48] Verm SK, Tiwari AK. Progress of nanofluid application in solar collectors: A review. *Energy Convers Manage* 2015; 100: 324–46.
- [49] Sabiha MA, Saidur R, Hassani S, Said Z, Mekhilef S. Energy performance of an evacuated tube solar collector using single walled carbon nanotubes nanofluids. *Energy Convers Manage* 2015; 105: 1377–88.
- [50] Sharafeldin MA, Grof G. Evacuated tube solar collector performance using CeO₂/water nanofluid. *J Cleaner Prod* 2018; 185: 347-56.
- [51] Sharafeldin MA, Grof G. Efficiency of evacuated tube solar collector using WO₃/Water nanofluid. *Renewable Energy* 2019; 134: 453-60.
- [52] Javad G, Nor Azwadi CS, Alibakhsh K, Sepideh G, Amir O, Amirabbas P, Syahrullail S, Wira JY. Performance of copper oxide/distilled water nanofluid in evacuated tube solar collector (ETSC) water heater with internal coil under thermosyphon system circulations. *Appl Thermal Eng* 2017; 121: 520–36.
- [53] Uyarel Y, Öz S, Ethem. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi. 1987; 7,70 s. Ankara.
- [54] Tatakoglu K.R (1996) Vakumlu güneş kolektörlerinde verim tespiti ve incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.
- [55] Yargıcı N. Vakum Borulu Kolektörlerin İstanbul Şartlarında Teorik Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 1994, İstanbul.
- [56] Rhodes RO, Integral collector storage system with heat exchange apparatus. United States Patent, San Francisco. 2004; 1-14.

- [57] Ramlow B and Nusz B. Solar Water Heating. New Society Publishers, Canada, 2006.
- [58] Khairi MM. The effect of variable cross sectional tubes on the performance of flat plate solar collectors. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 2018, Gaziantep.
- [59] Kumar SS, Kumar KM and Kumar SRS. Design of evacuated tube solar collector with heat pipe. Materialstoday: Proceedings. 2017; 4 (14): 12641-12646.
- [60] Tatakoglu KR. Vakumlu güneş kolektörlerinde verim tespiti ve incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 1996, Adana.
- [61] Duffie JA and Beckman WA. Solar Engineering of Thermal Processes 4th ed', Wiley, New Jersey. 2013.
- [62] Cumpston J and Mitsos A. Concentrating solar thermal overview, Chemical Engineering Progress. 2017; 113(7): 21-28.
- [63] Poullikkas A, Rouvas C, Hadjipaschalis I. and Kourtis G. Optimum sizing of steam turbines for concentrated solar power plants. International Journal of Energy and Environment. 2012; 3 (1): 9-18.
- [64] Öztürk, H. H. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2008.
- [65] Das, S. K. Choi, S., Yu, W. and Pradeep, T. Nanofluids Science and Tecnology. Wiley, New Jersey, 2007.
- [66] Karabulut, K. Isı değiştiricilerde ısı aktarımının nanoakışkan kullanılarak artırılması. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi 2015, Sivas.
- [67] Brinkman H.C., The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions, J. Chem. Phys. 1952; 20, 571–581.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Muhammed MERCAN
Doğum Yeri ve Yılı : Gaziantep-1993
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : muhammedmercan1071@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Özel İdare Anadolu Lisesi (2007-2011)
Lisans : MCBÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
(2011-2016)
Yüksek Lisans : MCBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD
Termodinamik Bilim Dalı (2016-halen)

Mesleki Deneyim

Özen İş Asansör : 2014-2016
Lale Yapı Denetim : 2016-halen