

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMİ KOLEKTÖRÜNDE
NANOAKIŞKAN KULLANIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Adile ŞENEL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMİ KOLEKTÖRÜNDE
NANOAKIŞKAN KULLANIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Adile ŞENEL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMİ KOLEKTÖRÜNDE
NANOAKIŞKAN KULLANIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**Adile ŞENEL
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2021

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMİ KOLEKTÖRÜNDE
NANOAKIŞKAN KULLANIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Adile ŞENEL
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 09/07/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim ATMACA (Danışman)

Doç. Dr. Ayla DOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Sezgi KOÇAK SOYLU

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMİ KOLEKTÖRÜNDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Adile ŞENEL

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim ATMACA

Temmuz 2021; 70 sayfa

Günümüzde birçok uygulama alanında ısı iletkenliği temel akışkana göre yüksek olan nanopartiküllerin temel akışkan içerisine belirli bir oranla katılmasıyla elde edilen nanoakışkanların kullanımının araştırılması ilgi çeken bir konudur. Bu uygulama alanlarından biri de güneş enerjisinden sıcak su elde etmede kullanılan güneş kolektörü sistemleridir. Bu çalışmada düzlemsel güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe su yerine nanoakışkan kullanımı sayısal olarak incelenmiştir. ANSYS Fluent ile gerçekleştirilen sayısal çalışmada ele alınan problemin çözümü için güneş kolektörü içerisindeki akışkan taşıyan boru ve yutucu yüzey üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modele uygun ağ yapısı oluşturulduktan sonra tek fazlı yaklaşım ile sonuçlar elde edilmiştir. İlk olarak oluşturulan sayısal model deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Ayrıca referans alınan deneysel çalışmada bulunmayan farklı parametrelerin araştırılması yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak giriş hızı, ısı akısı ve giriş sıcaklığındaki değişimin kolektör çıkış sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmada su ve kütlece % 2 konsantrasyona sahip $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ ve ZnO-SiO_2 çekirdek-kabuk nanoakışkanları kullanılmıştır. Akışkanların kolektörden çıkış sıcaklıkları $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) nanoakışkanı için %3.16, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) nanoakışkanı için %3.84 ve ZnO-SiO_2 (NA3) nanoakışkanı için % 3.81 hata ile sayısal olarak hesaplanmıştır. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve ZnO-SiO_2 (NA3) için kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın temel akışkana göre arttığı ancak $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) için net bir artış gözlemlenmediği sonucu elde edilmiştir. Artan ısı akısına bağlı olarak giriş-çıkış sıcaklık farkındaki en büyük artış 1000 W/m^2 ısı akısı uygulanan durumda $16.48 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) için gerçekleşmiştir. Artan kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak en yüksek kolektör çıkış sıcaklığı $65.61 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) nanoakışkanı için tespit edilmiştir. Tüm akışkanlar için artan kolektör giriş hızıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının düştüğü belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: güneş enerjisi, kolektör, nanoakışkan, sayısal inceleme, sıcak su sistemi

JÜRİ: Prof. Dr. İbrahim ATMACA

Doç. Dr. Ayla DOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Sezgi KOÇAK SOYLU

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE USE OF NANOFLUID IN SOLAR WATER HEATING SYSTEM COLLECTOR

Adile ŞENEL

M.Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim ATMACA

July 2021; 70 pages

Nowadays, it is an interesting subject to investigate the use of nanofluids obtained by adding nanoparticles with higher thermal conductivity compared to the base fluid into the base fluid at a certain rate in many application areas. One of these application areas is solar collector systems used to obtain hot water from solar energy. In this study, the use of nanofluid instead of water in the planar solar hot water system collector was numerically investigated. In order to solve the problem addressed in the numerical study carried out with ANSYS Fluent, the fluid carrying pipe and absorber surface in the solar collector are modeled in three dimensions. After creating the mesh structure suitable for the model, results were obtained with a single-phase approach. Firstly, the numerical model created was verified with experimental results. In addition, different parameters not found in the referenced experimental study were investigated. For this purpose, the effects of the change in inlet velocity, heat flux and inlet temperature on the collector outlet temperature were investigated. In the numerical study, with a concentration of 2% by mass $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$, ZnO-SiO_2 core-shell nanofluids and water were used. The outlet temperatures of the fluids from the collector were calculated numerically with 3.16% error for $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) nanofluid, 3.84% for $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) nanofluid, and 3.81% for ZnO-SiO_2 (NA3) nanofluid. It was concluded that the difference between the collector inlet and outlet temperatures for $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) and ZnO-SiO_2 (NA3) increased compared to the base fluid, but no clear increase was observed for $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1). Depending on the increasing heat flux, the greatest increase in the inlet-outlet temperature difference occurred for $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) with a heat flux of 1000 W/m^2 at 16.48°C . Depending on the increasing collector inlet temperature, the highest collector outlet temperature of 65.61°C was determined for $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) nanofluid. It has been determined that the collector inlet-outlet temperature difference decreases with increasing collector inlet velocity for all fluids.

KEYWORDS: solar energy, collector, nanofluid, numerical analysis, hot water system

COMMITTEE: Prof. Dr. İbrahim ATMACA

Assoc. Prof. Dr. Ayla DOĞAN

Asst. Prof. Dr. Sezgi KOÇAK SOYLU

ÖNSÖZ

Atom ve molekül düzeyindeki yapıların inşa edilmesiyle çok daha fonksiyonel özelliklere sahip ürünler elde etmek anlamına gelen nanoteknoloji hayatın her alanında sıklıkla duymaya başladığımız bir kavramdır. Nanoteknolojinin bir kolu olan, uygulama alanına göre istenilen özelliklerin kazandırılabilirdiği nanoakışkanlar ile birçok alanda ilerleme kaydedilmektedir. Çok çeşitli alanları birleştiren tüm dünyanın geleceği ve teknolojinin devamlılığı için nanoteknoloji alanındaki çalışmalar önem arz etmektedir.

Dünyada artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek ve gelecek nesiller için temiz bir çevre bırakabilmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanmak çok önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş enerjisi sıcak su elde etmede yaygın şekilde kullanılmaktadır. Üzerine gelen güneş enerjisinin belirli bir kısmını içerisinde dolaşan akışkana aktararak sıcak su elde etmede kullanılan güneş kolektörlerinden maksimum verimde çalışması beklenmektedir. Bu iki konuyu birleştiren tez çalışmasında güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımı incelenmiştir.

Bilgi ve tecrübesiyle her zaman destek olup yol gösteren, insanlığıyla örnek olan, dünyaya başka bir gözle bakabilmeyi öğreten, uzun cümlelerle hakkını ödemeye imkan olmayan değerli danışman hocam Prof. Dr. İbrahim ATMACA'ya,

Tecrübelerini her zaman samimiyetle aktaran, yapıcı eleştirileriyle konuya daha hakim olmamı sağlayan, çalışmaları ve kişiliğiyle örnek olan, hayatım boyunca minnettar kalacağım Sayın Dr. Ali SAKİN'e,

Çalışmamda kendine ait Ansys programını kullanmama izin veren Prof. Dr. ÖMER CİVALEK'e

Bu süreçte aynı şehirde olduğumuz kendisi de çok yoğun bir tez çalışması yürütmesine rağmen sonsuz sevgisiyle bana güç verdiği için Damla GÜLTEKİN'e,

Hayatta her zaman bana inanan, yoluma ışık tutan, her konuda destek olan çok kıymetli aileme,

Ve son olarak verdiği burs ile yüksek lisansımı tamamlamada TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs programı ile destek olan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
2.1. Güneş Enerjisi	3
2.2. Güneş Enerjisi Toplayıcıları ve Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemleri	4
2.2.1. Düzlemsel güneş toplayıcıları.....	4
2.2.2. Güneş enerjili sıcak su sistemleri	5
2.3. Nanoakışkanlar	7
2.3.1 Nanopartikül ve nanoakışkan üretim yöntemleri.....	8
2.3.2. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri.....	9
2.3.2.1. Isıl iletkenlik	9
2.3.2.2. Viskozite, yoğunluk ve özgül ısı	11
2.3.3. Nanoakışkanların uygulama alanları	11
2.3.4. Nanoakışkanlarda ısı transferini iyileştiren mekanizmalar.....	12
2.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği	13
2.4.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde işlem adımları.....	14
2.4.1.1. Ağ oluşturmak	15
2.4.1.2. Sınır şartı.....	15
2.5. Nanoakışkanların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Sayısal Çözümü.....	16
2.5.1. Tek faz	18
2.5.2. İki faz	18
2.5.2.1. Euler-Euler yaklaşımı	18
2.5.2.2. Euler–Lagrange yaklaşımı	18
2.6. Literatür Özeti	19
3. MATERYAL VE METOD	31

3.1. Modelleme ve Sayısal Çözüm	32
3.2. Sayısal Model	33
3.3. Ağ Yapısı ve Ağdan Bağımsızlık	35
3.4. Sınır Şartları	38
3.5. Boussinesq Yaklaşımı ve Çözüm	39
3.6. Analizlerde Kullanılan Akışkanlar	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Sayısal Analizin Doğrulanması	45
4.2. Sayısal Analiz Bulguları	50
5. SONUÇLAR	63
6. KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemi Kolektöründe Nanoakışkan Kullanımının Sayısal Olarak İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

09/07/2021

Adile ŞENEL

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Kollektör borularının iç yüzey alanı [m^2]
c_p	: Özgül ısı [J/kgK]
g	: Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
h	: Isı taşınım katsayısı [W/m^2K]
k	: Isı iletim katsayısı [W/mK]
T	: Sıcaklık [K]
T_f	: Boru içindeki ortalama akışkan sıcaklığı [K]
T_p	: Yutucu yüzey sıcaklığı [K]
$T_{sc}(TA)$	: Temel akışkan sayısal çıkış sıcaklığı [K]
Φ_m	: Nanoakışkan kütle oran [%]
Φ_v	: Nanoakışkan hacimsel oran [%]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
μ	: Dinamik viskozite [kg/ms]
β	: Isıl genleşme katsayısı [K^{-1}]

Alt indisler

m	: Kütle
na	: Nanoakışkan
p	: Partikül
ta	: Temel akışkan
v	: Hacim

Tezde ondalık ayırıcı olarak “.” kullanılmıştır.

Kısaltmalar

AÜ : Akdeniz Üniversitesi

İLTEM: İleri Teknolojiler Merkezi

ODTÜ : Ortadoğu Teknik Üniversitesi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (Anonim 1)	4
Şekil 2.2. Düzlemsel güneş toplayıcısı (Anonim 2)	5
Şekil 2.3. Doğal dolaşımli açık devreli sistem (Anonim 3).....	6
Şekil 2.4. Doğal dolaşımli kapalı devreli sistem (Anonim 3).....	6
Şekil 2.5. Zorlanmış dolaşımli kapalı devreli sistem (Anonim 4)	7
Şekil 2.6. Temel akışkan içerisine nanopartikül ilavesinin yararları	8
Şekil 2.7. Nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin bağlı olduğu parametreler.....	10
Şekil 2.8. Güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının faydaları	12
Şekil 2.9. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği işlem adımları.....	14
Şekil 2.10. Çok fazlı akışlar: (a) slug akışı (b) parçacık yüklü, kabarcıklı veya damlacıklı akış (c) katmanlı akış/serbest yüzey akışı (d) pnömatik transport, bulamaç akışı, hidrotransport (e) sedimentasyon (f) akışkan yatak.....	17
Şekil 3.1. Yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen borunun sayısal modeli.....	33
Şekil 3.2. Geometriye ait açıklamalar.....	34
Şekil 3.3. Temel akışkanın farklı eleman sayıları için kolektörden sayısal çıkış sıcaklığı değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	36
Şekil 3.4. Sayısal çalışmaya ait ağ yapısı	37
Şekil 3.5. Sayısal çalışmada belirtilen sınır şartları	38
Şekil 3.6. Sayısal çalışmada kullanılan yakınsama kriterleri.....	40
Şekil 4.1. Su için kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi	46
Şekil 4.2. TiO_2-SiO_2 (NA1) kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi	47
Şekil 4.3. $Fe_3O_4-SiO_2$ (NA2) kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi	48
Şekil 4.4. $ZnO-SiO_2$ (NA3) kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi	49
Şekil 4.5. TiO_2-SiO_2 (NA1) ve su kullanılan sayısal analizde kolektör çıkış ve giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi.....	51

Şekil 4.6. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve su kullanılan sayısal analizde kolektör çıkış ve giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi	52
Şekil 4.7. ZnO-SiO_2 (NA3) ve su kullanılan sayısal analizde kolektör çıkış ve giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi	53
Şekil 4.8. Su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının ısı akısına bağlı değişimi.....	55
Şekil 4.9. Su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör çıkış sıcaklığının kolektör giriş sıcaklığına bağlı değişimi.....	56
Şekil 4.10. Su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının giriş hızına bağlı değişimi	57
Şekil 4.11. Su için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C	59
Şekil 4.12. NA1 için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C	60
Şekil 4.13. NA2 için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C	61
Şekil 4.14. NA3 için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sayısal çalışmada kullanılan kolektör borusuna ait boyutlar	34
Çizelge 3.2. Sayısal çalışmada kullanılan sınır şartları ve açıklamaları	39
Çizelge 3.3. Sayısal çalışmada kullanılan nanoakışkanların açıklamaları.....	41
Çizelge 3.4. Akışkanların 25 °C’de ısı iletim katsayısı	42
Çizelge 3.5. TiO ₂ -SiO ₂ (NA1) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler	42
Çizelge 3.6. Fe ₃ O ₄ -SiO ₂ (NA2) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler	43
Çizelge 3.7. ZnO-SiO ₂ (NA3) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler.....	43
Çizelge 3.8. Su için termofiziksel özellikler	44
Çizelge 4.1. Su ve nanoakışkanlara ait ısı taşınım katsayısı değerleri	50
Çizelge 4.2. Su ve NA1’e ait sayısal analizde kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.....	54
Çizelge 4.3 Su ve NA2’ye ait sayısal analizde kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.....	54
Çizelge 4.4 Su ve NA3’e ait sayısal analizde kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi.....	54

1. GİRİŞ

İlk kez 1974’de literatüre girerek büyük ilgi çeken nanoteknoloji terimi en genel anlamda 100 nm’den daha küçük boyutlardaki malzemelerin ihtiyaçları karşılamak amacıyla geliştirilmesini ifade etmektedir (Soylu-Koçak, S 2018). Isıl iletkenliği sıvıya göre daha yüksek olan katı maddelerin temel akışkan içerisine belirli hacimsel oranda katılmasıyla meydana gelen nanoakışkanlar, nanoteknolojinin bir uygulama alanıdır. Nanoakışkanlar ısı iletkenlikleri yüksek olduğu için ısı geçişini artırmaya yönelik birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanları otomotiv sektörü, nükleer reaktörler, elektronik soğutma, yenilenebilir enerji ve biyomedikal uygulamaları olarak sıralanabilir. Otomobillerde radyatör, iklimlendirme, fren sıvısı ve şanzıman yağı gibi önemli kısımlarda nanoakışkan kullanımına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş enerjisi alanında verimliliği artırmak ve ısı transferini iyileştirmek amaçlarına yönelik olarak nanoakışkan kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Nanoakışkanlar kullanım alanına özel olarak üretilmektedir. İstenilen özelliğe göre nanoakışkan içerisindeki nanopartikülün boyutunu ve şeklini belirlemek ayrıca nanopartikül içerisine metal katkısı yaparak elektriksel özellik kazandırmak mümkündür.

Boyutlar 100 nm’den küçük olduğu için nanoteknolojide etkileşimler normal boyutlardaki etkileşimlere göre büyük farklılık gösterir. Bu nedenle nanoteknolojide farklı mekanik, elektriksel, optik özellikler ortaya çıkmaktadır. Böylece birçok alanda nanoteknoloji sayesinde büyük ilerlemeler kaydedilmektedir. Sağlık alanında kanser tedavisinde, görüntüleme tekniklerinde, diş tedavisinde ve daha birçok alanda kullanılan nanoteknolojinin gıda sektöründeki kullanım alanları ise bakteri tespiti ve paketleme sistemleridir (Soylu-Koçak, S 2018).

Kalkınmada oldukça büyük bir yere sahip olan enerji, araştırmacılar tarafından ele alınması gereken konuların en başında yer almaktadır. Günümüzde fosil yakıtların belirli bir zaman sonra tükeneyeceği ve artan enerji ihtiyacını karşılayamayacağı bilindiği için tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının en etkin şekilde kullanımı büyük önem arz etmektedir. Enerji ihtiyacı karşılanırken çevreye zarar verilmemelidir. Tüm bu nedenlerden dolayı enerji verimliliğini artırmak ve gelecekte yaşanılabilir bir çevre için yenilenebilir enerji alanında nanoakışkanların kullanılması önemlidir.

Günümüzde tüm dünyanın ilgisini çeken temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, jeotermal, hidrojen, hidroelektrik, rüzgâr, dalga ve biyokütle şeklinde sıralanabilir. Daha çok sıcak su elde etme, konut ısıtma ve elektrik üretme gibi alanlarda tercih edilen güneş enerjisi en yaygın şekilde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından. Diğer kullanım alanları ise sera ısıtma, kurutma, güneş fırını ve buhar üretimi olarak sıralanabilir.

Üzerine gelen güneş enerjisini içerisinde dolaşan çalışma akışkanına aktararak sıcak su elde etmede güneş kolektörleri ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düzlemsel (düz plakalı), vakumlu (vakum tüplü) ve yoğunlaştıran olmak üzere üç farklı çeşidi bulunmaktadır. En çok kullanılan çeşidi ise düzlemsel güneş kolektörüdür. Güneş

enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmek kolektör verimine bağlıdır. Çünkü kolektör üzerine gelen güneş enerjisinin belirli bir kısmını içerisinde dolaşan akışkana aktarabilmektedir. Geleneksel çalışma akışkanlarının yerine nanoakışkan kullanımı ile daha verimli güneş kolektörleri tasarlanabilir. Verimi etkileyen diğer parametreler ise boru çapı, boru malzemesi, yutucu plaka, izolasyon malzemesi olarak sıralanabilir. Bir kolektörden beklenen özellikler ısı kaybının az, kompakt ve üretim sırasında enerji gereksiniminin az olması olarak sıralanabilir, ancak en önemli beklenti maksimum verimde çalışmasıdır.

Tüm bu nedenlerden dolayı, tez konusu olarak yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmek ve bilime katkı sağlamak amacıyla güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının kolektör performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Var olan buluşların geliştirilmesine katkı sağlayan nanoteknoloji, merak uyandıran ve ümit vadeden bir çalışma alanıdır. Bu tez çalışmasındaki en temel amaç, güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe nanoakışkan kullanımıyla ısı verimin artışı incelemektir. Isıl verim arttığı için güneş kolektörleri daha kompakt hale gelecek ve alan sınırlaması olan yerlerde nanoakışkan kullanılan kolektörlerden faydalanılabilecektir. Kompakt hale gelmesiyle güneş kolektörü üretiminde daha az enerji ve hammadde harcanacağı için çevre üzerinde de olumlu etkileri olacaktır.

Bu tez konusu belirlenmeden önce konuyla ilgili literatür taraması yapılmıştır. İlgili literatür taramasında güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımıyla ilgili çalışmaların yapıldığı ancak çoğunda kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin var olan eşitliklerle belirlendiği görülmüştür. Bu çalışmada ise termofiziksel özellikleri daha önceden deneysel olarak tespit edilmiş nanoakışkanların performansının incelenmiş olması çalışmanın özgün yönlerinden biridir. Literatürdeki güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının incelenmesi ile ilgili çalışmaların daha çok deneysel olarak gerçekleştirildiği görülmüştür. Tüm nanoakışkan çeşitlerini güneş kolektöründe deneysel yolla incelemek için oldukça fazla zamana ve maddiyata ihtiyaç vardır. Bu nedenle çalışmaları sayısal olarak gerçekleştirmek çok daha yararlı olacaktır. Sayısal çalışma hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği bilgisayarda bulunan bir deney laboratuvarı işlevi görerek kişilere sanal olarak deney yapma imkanı vermektedir. Bu ise günümüz şartlarında zamandan ve maliyetten tasarruf sağladığı için oldukça kıymetlidir. Bir çalışma için yapılacak deney sayısı hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile çok aza indirgenebilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde ilk olarak probleme uygun bir modelleme yapılır ardından ağ yapısı oluşturulur. Gerçeğe en yakın şekilde sınır şartları belirlendikten sonra kullanılan akışkanlar ve modeller seçilerek çözüm gerçekleştirilir. Bütün bu nedenlerle bu tezde sayısal modelle çalışma tercih edilmiştir.

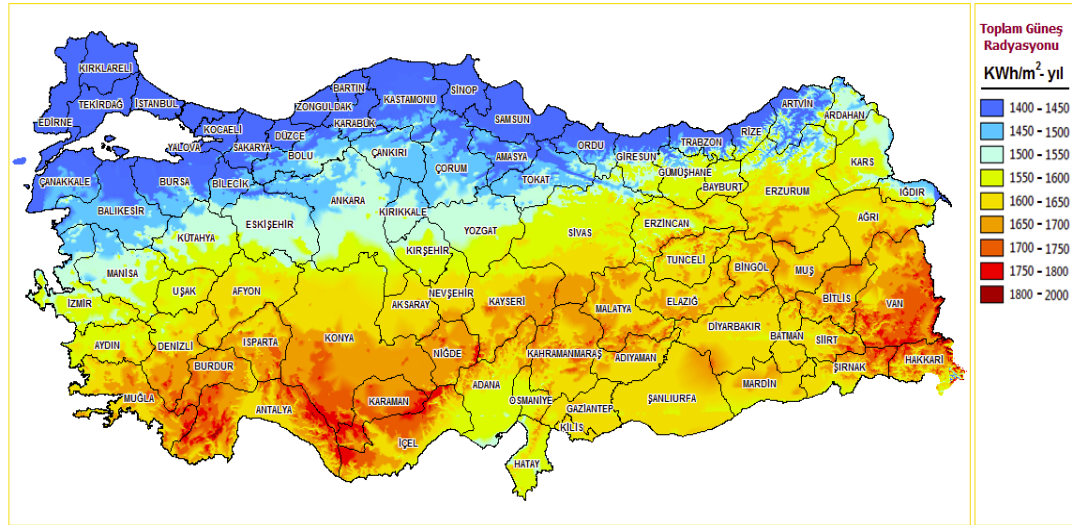
2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Güneş Enerjisi

Hayat için önemli bir unsur olan enerjinin değeri ilk çağlarda insanlar tarafından kavranmış ve hayatın her alanında kullanılmıştır. Günümüzde artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlarla karşılanamayacağının ve fosil yakıtların gelecekte çevre üzerinde negatif etkilere yol açacağına bilinmesi, yenilenebilir enerji kaynakları üzerindeki çalışmalara ivme kazandırmıştır. Bu çalışmalar yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesi için gerçekleştirilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan, tükenmeyen ve çevreye zararı olmayan güneş enerjisi, uygulamada birçok alanda kullanılsa da en yaygın kullanım alanı güneş enerjisinden sıcak su elde etmedir.

İki adet düzlemsel güneş kolektörü bulunan bir güneş enerjisi sistemiyle üretilen sıcak kullanım suyu 3000 kg odun, 765 kg fuel-oil, 720 kg LPG, 960 m³ doğal gaz kullanımı ile elde edilene eşdeğerdir. Ayrıca bu yakıtların kullanımı atmosfere önemli miktarda CO₂ verilmesine yol açmaktadır. CO₂ sera gazı olduğu için küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu nedenle ülkemiz sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarını özellikle de güneş enerjisini her alanda en verimli şekilde kullanmalıdır (Yiğit ve Atmaca 2018).

Ülkeler için güneş enerjisi kullanımı ülkenin bulunduğu konuma, sahip olduğu diğer enerji kaynaklarının çeşitliliğine ve güneş enerjisi sistemlerinin maliyetine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 2.1'den Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli atlasına göre Türkiye'nin en çok güneş ışını alan bölgeleri İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu'dur. Bu nedenle bu dört bölgede güneş enerjisi kaynaklı yatırımlara önem verilmelidir (Özgür 2018). Türkiye'de güneş enerjisi en yaygın olarak kullanım suyu ısıtmasında kullanılırken diğer kullanım alanları bitki kurutma, hacim ısıtma, elektrik üretimi, havuz ısıtma ve buhar üretimidir (Kılıç 2015).



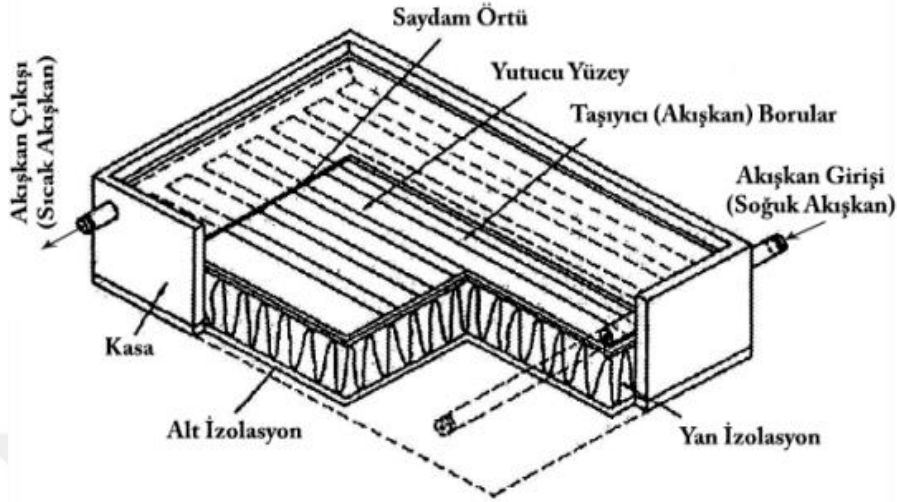
Şekil 2.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (Anonim 1)

2.2. Güneş Enerjisi Toplayıcıları ve Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemleri

Güneş enerjisi kaynaklı ısı sistemlerin kalbi olarak nitelendirilebilen güneş enerjisi toplayıcıları, üzerine gelen güneş enerjisini faydalı enerjiye dönüştürmektedir. Güneş enerjisi toplayıcılarının içinde dolaşan akışkan sıvı veya gaz olabilir. Güneş enerjisi toplayıcıları güneş ışınlarını toplama şekline göre düzlemsel (düz plakalı), vakumlu (vakum tüplü) ve yoğunlaştıran biçiminde sıralanabilir. Bu tez çalışmasında ele alınan güneş enerjisi toplayıcısı düzlemseldir.

2.2.1. Düzlemsel güneş toplayıcıları

Güneş enerjisinden sıcak su elde etmede en yaygın şekilde düzlemsel güneş toplayıcıları kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş toplayıcısı üzerine gelen güneş ışınımını içerisindeki akışkana aktarmaktadır. Düzlemsel güneş toplayıcısı Şekil 2.2'de görüldüğü gibi saydam örtü (genelde cam), absorber (yutucu) plaka, izolasyon, boru ve kolektör kasasından meydana gelmektedir. Saydam örtü güneş ışınlarını geçiren ancak yutucu plakadan yayılan ışınları geri yansıtan maddelerden yapılmaktadır. Genellikle bu özelliklere sahip olduğu için saydam örtü malzemesi camdır. Saydam örtü kolektörü dış etkilere karşı korur. Güneş ışınlarını yutarak boru içerisindeki çalışma akışkanına aktaran yutucu plaka genellikle bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeden imal edilmektedir. Yutucu plaka malzemesi kaynak edilebilme özelliği, fiyatı ve korozyon direncine göre seçilmektedir. Yutucu plakadan aldığı enerjiyle sıcaklığı artan akışkan ya kullanılır ya da çevrimde dolaşmaya devam eder. Düzlemsel güneş toplayıcısında yutucu plakadan sonra izolasyon malzemesi bulunmaktadır. İzolasyon malzemesi ısı iletim katsayısı düşük ve neme karşı dayanıklı olmalıdır. Kasa ise anlatılan tüm bölümleri içerisine alır ve sızdırmaz özelliğe sahiptir (Yiğit ve Atmaca 2018).



Şekil 2.2. Düzlemsel güneş toplayıcısı (Anonim 2)

2.2.2. Güneş enerjili sıcak su sistemleri

Güneş enerjisi konutlarda ve sanayide sıcak su elde etmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni işletme masraflarının düşük, temiz ve çevre dostu olmasıdır. İlk yatırım maliyeti başlangıçta dezavantaj oluştursa da geri ödeme süresi kısadır ve sonrasında çok az masrafla kullanıma devam edilmektedir (Yiğit ve Atmaca 2018).

Güneş enerjisi sistemleri temelde ikiye ayrılır:

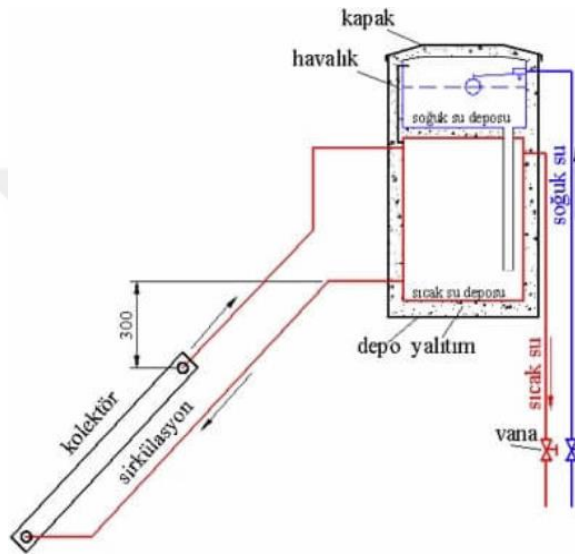
- i. Doğal dolaşimli
- ii. Zorlanmış dolaşimli

Her iki sistem de kendi içerisinde açık ve kapalı dolaşimli sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Ülkemizde bu sistemlerden en çok tercih edileni doğal dolaşimli olanıdır. Bunun nedeni doğal dolaşimli sistemlerin hem basit hem de ucuz olmasıdır.

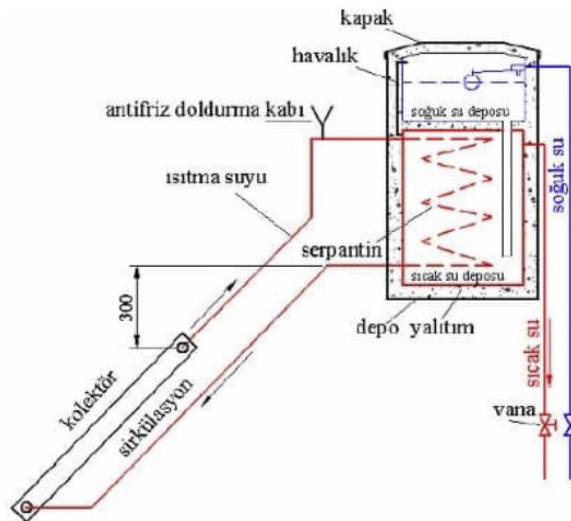
- i. Doğal dolaşimli

Üzerine gelen güneş ışınımını içerisinde dolaşan akışkana aktararak akışkan sıcaklığını artıran sisteme güneş kolektörü denilmektedir (Kırar vd. 2018). Deponun kolektörden daha yukarıda bulunduğu doğal dolaşimli sistemde pompa bulunmamaktadır. Pompa olmadığı için ilk yatırım maliyeti daha düşük olup işletme gideri de yoktur. Doğal dolaşimli sistemler açık ve kapalı devreli olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 2.3'te doğal dolaşimli açık devreli sistemin elemanları yer

almaktadır. Çalışma prensibi doğal taşınımaya dayanan bu sistemde kolektörde dolaşan su ile depodaki su aynıdır. Bu ise sistemin bir dezavantajıdır çünkü soğuk günlerde don olayı yaşanabilir. Bu nedenle sistemde bir hasar meydana gelmemesi için soğuk havalarda sistemdeki su boşaltılarak don olayı engellenmelidir. Şekil 2.4'te yer alan doğal dolaşimli kapalı devreli sistemlerde ise kolektörde dolaşan su ile depoda bulunan su aynı değildir. Kolektörde antifrizli su dolaştığı için don tehlikesi görülebilecek yerlerde tercih edilebilir. Bu sistemde depo içerisinde kullanılan serpantin ısı eşanjörü gibi görev yaptığı için kapalı devreli sistemin verimi açık devreli sisteme göre düşüktür (Yiğit ve Atmaca 2018).



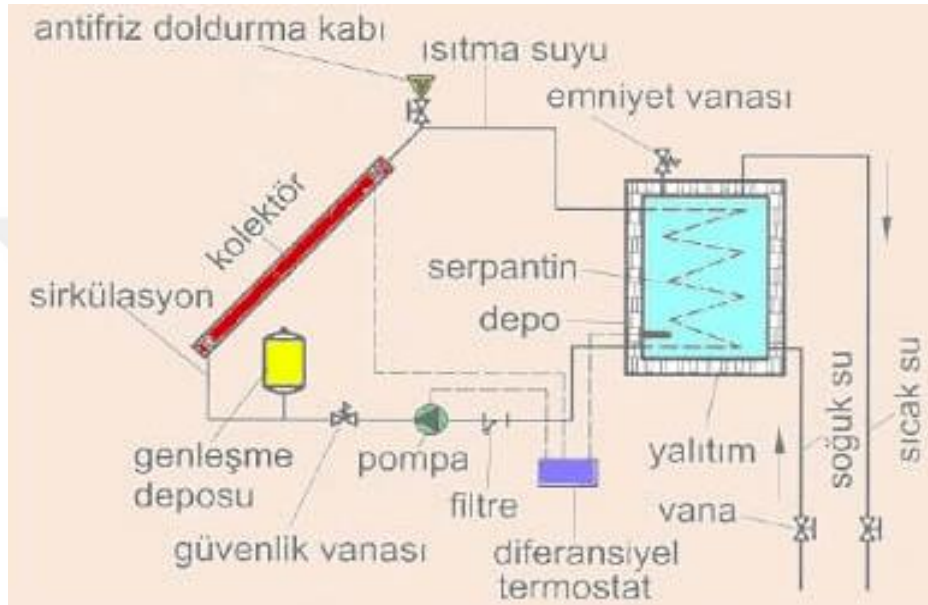
Şekil 2.3. Doğal dolaşimli açık devreli sistem (Anonim 3)



Şekil 2.4. Doğal dolaşimli kapalı devreli sistem (Anonim 3)

ii. Zorlanmış dolaşım

Şekil 2.5'te zorlanmış dolaşım sistem elemanları yer almaktadır. Bu sistemde dolaşım bir pompa yardımıyla sağlandığı için büyük sistemlerde daha uygundur. Deponun kolektörden yukarıda bulunma zorunluluğu yoktur. Ancak pompa nedeniyle işletme gideri vardır. Zorlanmış dolaşım sistemler doğal dolaşım sistemlerde anlatıldığı gibi suyun kolektör ve depoda kullanım durumuna göre açık ve kapalı devreli olarak ikiye ayrılmaktadır (Yiğit ve Atmaca 2018).



Şekil 2.5. Zorlanmış dolaşım kapalı devreli sistem (Anonim 4)

Güneş enerjisinden sıcak su elde edilen uygulamalarda ısı transferi ve verimi artırmaya yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda verimi en çok akışkana olan ısı geçişinin etkilediği belirtilmiştir. Bu ise hem toplayıcıya hem de çalışma akışkanına bağlıdır (Yurddaş 2013).

Bu çalışmada güneş enerjili sıcak su sistemlerinden biri olan düzlemsel güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent ile sayısal olarak incelenmiştir.

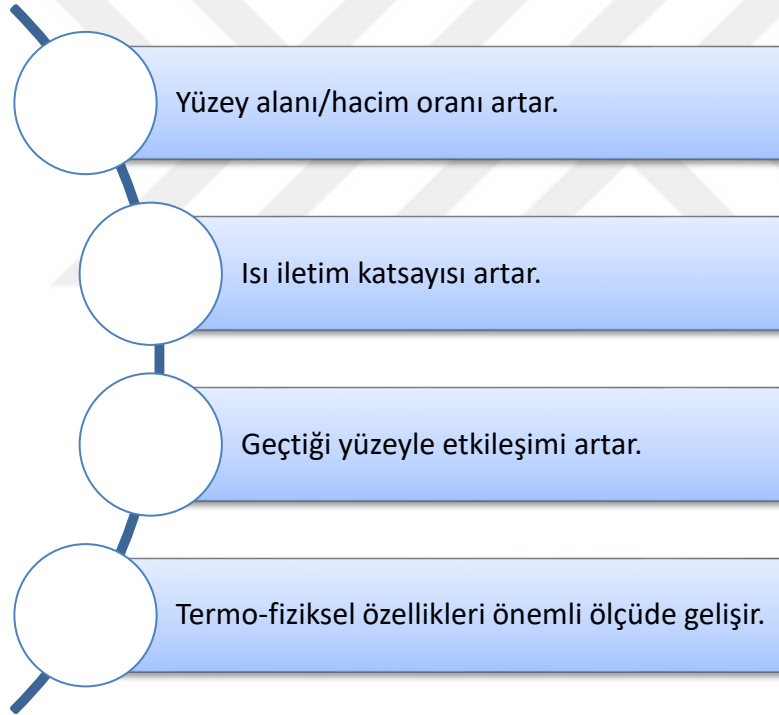
2.3. Nanoakışkanlar

Temel akışkan içerisine belirli bir oranda insan gözüyle görülemeyecek kadar küçük boyuttaki partiküllerin dağıtılması ile meydana gelen akışkana nanoakışkan adı verilmektedir. Bu partiküllerin boyutu 100 nm'den küçüktür. Çok çeşitli partiküller ile nanoakışkan hazırlamak mümkündür. Katı halde bir çekirdek ve kaplamadan meydana gelen nanopartiküller de mevcuttur. Bu tür partiküllerin iç kısmındaki çekirdek

nanoapartikülün ısı özellikleri üzerinde etkiliyken, dış kısımdaki kaplama ise kararlılığı üzerinde etkilidir (Bigdeli vd. 2016).

Yağ, etilen glikol vb. gibi ısı transferinde kullanılan temel akışkanlara yüksek ısı iletim katsayılarına sahip olan bileşiklerin (alüminyum oksit, bakır oksit vb.) eklenmesi ile iyi ısı transfer katsayısına sahip nanoakışkanlar elde edilmektedir (Ünverdi 2016). Temel akışkan içerisine nanopartikül ilavesinin diğer yararları Şekil 2.6'da yer almaktadır.

Nanoakışkan içerisindeki nanopartiküller çeşitli nedenlerden dolayı topaklanarak çökebilir. Bu istenmeyen durumu engellemek amacıyla sodyum dodesil sülfat, sodyum dodesil benzen sülfonat, hekzadesiltrimetil amonyum bromit ve akasya sakızı gibi yüzey aktifleştiriciler kullanılmaktadır (Uysal 2016). Çökmeyi engelleyen diğer yöntemlerden bazıları çözeltinin pH kontrolü, partiküllere yapılan çeşitli modifikasyonlar ve ultrasonik banyo süresidir.



Şekil 2.6. Temel akışkan içerisine nanopartikül ilavesinin yararları

2.3.1 Nanopartikül ve nanoakışkan üretim yöntemleri

Katıların ısı iletkenliklerinin sıvılarınkinden yüksek olduğu bilinmektedir. Bu gerçekten yola çıkarak akışkanın içerisine metal, metal oksit veya yüksek yüzey alanlı karbonik yapıları malzemeden nanopartiküller katılarak ısı iletkenliği yüksek nanoakışkan elde edilmektedir. Nanoakışkanların kararlı yapıda olması nanopartikül üretimindeki işlemlere bağlıdır.

Nanopartiküller yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olarak iki farklı şekilde üretilmektedir. Yukarıdan aşağıya yönteminde kimyasal ve fiziksel yollarla nano boyutta partiküller elde edilir. En çok kullanılan yöntem olan mekanik öğütme yöntemi sırasında plastik deformasyon ve soğuk birleşme meydana geldiği için nanopartikül özelliklerini etkilemektedir. Mekanik öğütle elde edilemeyen nanopartikül üretiminde elektro –patlamalı tel tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntemde malzeme tel haline getirilip tel üzerinden yüksek akım geçirilerek nanopartikül üretilmektedir. Aşağıdan yukarıya yönteminde ise kimyasal yolla nanopartikül üretilmektedir. Hidrojen redüksiyonu yöntemi, asal gaz yoğunlaştırma yöntemi ve sol-jel yöntemi aşağıdan yukarıya nanopartikül üretim yöntemlerinden olup bu yöntemlerde atom ve bileşiklerden kimyasal yollarla nanopartikül elde edilmektedir (Erol 2018).

Nanoakışkanlar tek aşamalı ve iki aşamalı olarak iki farklı metotla hazırlanmaktadır. Sadece düşük buhar basıncına sahip akışkanlara uygulanabilen sentez ve disperse işlemleri aynı zamanda gerçekleşen, maliyeti ve kümeleşme sorunu az olan metot tek aşamalıdır. İki aşamalı metotta ise sentez ve disperse işlemleri farklı zamanda gerçekleşmektedir. Seramik esaslı malzemeler için tercih edilen bu metot çok miktarda nanoakışkan üretimi için ekonomiktir (Soylu-Koçak, S 2018).

2.3.2. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Isı transfer çalışmalarında kullanılan klasik çoğu akışkanın termofiziksel özellikleri bilinmesine rağmen nanoakışkanların termofiziksel özellikleri için ya belirli eşitlikleri kullanmak ya da bu özellikleri deneysel yöntemlerle belirlemek gerekmektedir. Nanoakışkan termofiziksel özellikleri hem temel akışkanın özelliklerine hem de temel akışkan içerisindeki nanopartikülün malzemesine, şekline ve hacimsel oranına bağlıdır.

Nanoakışkanlar ile gerçekleştirilecek olan sayısal çalışmaların daha sağlıklı bir şekilde sonuç vermesi için termofiziksel özelliklerin en iyi şekilde tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır.

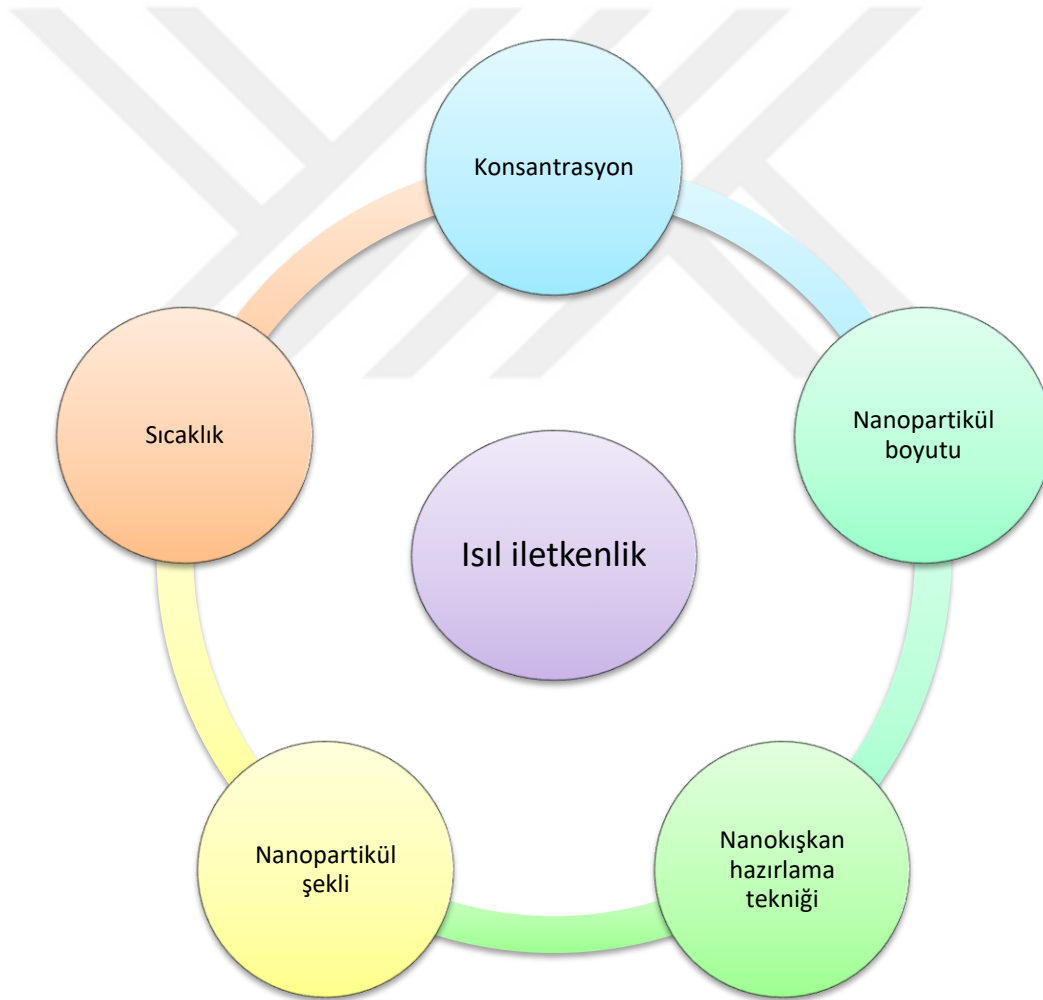
2.3.2.1. Isıl iletkenlik

Nanoakışkan elde etmedeki öncelikli amaç yüksek ısıl iletkenliğe sahip bir akışkan oluşturmaktır. Nanoakışkanların ısıl iletkenliği hem deneysel hem de teorik olarak belirlenebilmektedir. Nanoakışkanın temel akışkana göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmasının nedeni Brownian Hareketi olarak gösterilebilmektedir (Soylu-Koçak, S 2018). Brownian hareketi nanopartiküle uygulanan kuvvetlerin dengede olmaması ve nanopartikülün rastgele hareket etmesinden kaynaklanmaktadır (Ünverdi 2016). Bu rastgele hareketle enerji aktarımı gerçekleşmektedir.

Nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin bağlı olduğu parametreler Şekil 2.7’de belirtilmiştir. Nanoakışkanların fiziksel mekanizması tam netlik kazanamadığı için ısıl

iletkenliği etkileyen parametrelerle ilgili yapılan çalışmalar arasında bazı uyumsuzluklar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri Timofeeva vd. (2009) tarafından gerçekleştirilmiş olup çalışma sonucunda nanoakışkanların ısı iletkenliği nanopartikül şeklinin silindir olduğu durumda yüksek iken sırayla tuğla ve yassı taneciğe doğru düşük olduğu belirtilmiştir. Bir diğer çalışmada ise ısı iletkenlikteki artış nanopartikül boyutunun küçülmesiyle açıklanmıştır (Paul vd. 2010; Teng vd. 2010). Nanoakışan sıcaklığının ısı iletkenliği nasıl etkilediği hakkında ise net bir kanıya varılamamıştır (Soylu-Koçak, S 2018).

Literatürde nanoakışkanların ısı iletim katsayısını belirleyebilmek için çeşitli modeller bulunmaktadır. Bu modellerden bazıları nanopartiküllerin hareketsiz olduğunu bazıları da rastgele hareket ettiğini temel alarak oluşturulmuştur (Ünverdi 2016).



Şekil 2.7. Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin bağlı olduğu parametreler

2.3.2.2. Viskozite, yoğunluk ve özgül ısı

Akışkanların önemli bir özelliği olan viskozite, nanoakışkanlarda temel akışkana göre daha yüksek olmakla birlikte viskoziteyi çeşitli parametrelerin nasıl etkilediği netlik kazanmayan konular arasında yer almaktadır. Literatürde nanoakışkanlar için partikül boyutuna, akışkan türüne, akışkan sıcaklığına bağlı olarak birçok viskozite modeli mevcut olup henüz tek bir viskozite modeli geliştirilememiştir.

Nanoakışkanların yoğunluğunu etkileyen parametreler üzerine yapılan araştırmalar olmakla birlikte yine bu konu hakkında net bilgiler yoktur ve çalışmalar devam etmektedir.

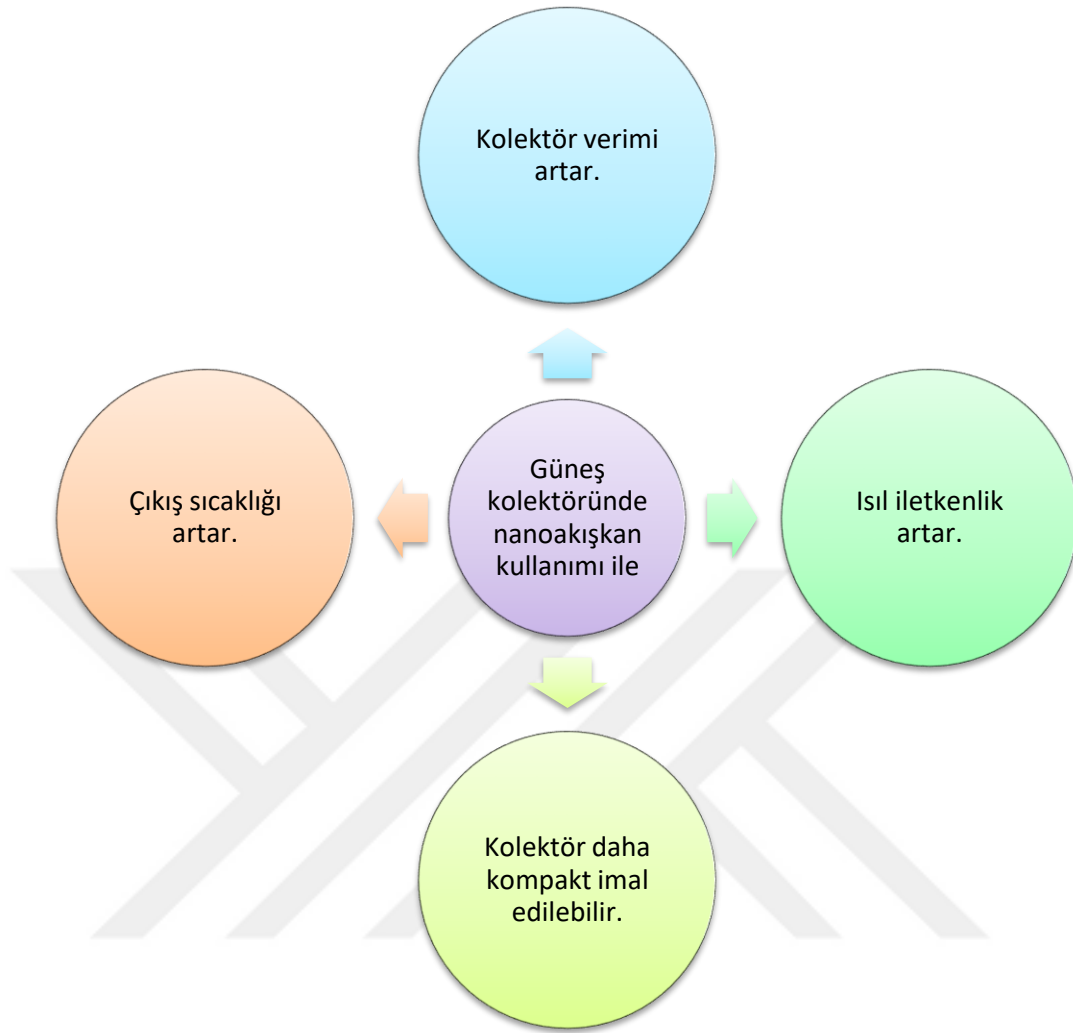
Özgül ısı, soğutma uygulamalarında önemli olduğu için soğutma uygulamalarında kullanılacak nanoakışkanların özgül ısılarının hangi parametrelerden etkilendiği bilinmelidir. Nanoakışkanların özgül ısılarını etkileyen parametreler üzerine Shahrul vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada nanopartikül çapındaki artışın ve nanoakışkana dağıtıcı kimyasallar eklenmesinin özgül ısıyı artırdığı, nanopartikül konsantrasyonundaki artışın ise özgül ısıyı düşürdüğü belirtilmiştir.

Yapılacak çalışmalarda kullanılacak tüm nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini tespit etmeye yarayan belirli bir model olmadığı için her nanoakışkan için deneysel yöntemlerle termofiziksel özelliklerin tespit edilmesi önerilmektedir (Soylu-Koçak, S 2018).

2.3.3. Nanoakışkanların uygulama alanları

Günümüzde nanoakışkanların uygulama alanları güneş enerjisinden savunma sanayine kadar büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Güneş enerjisi alanında çevresel ve ekonomik faydalarından dolayı her çeşit güneş kolektöründe nanoakışkan kullanılmaktadır. Daha kompakt elektronik soğutma cihazı elde etmek amacıyla elektronik soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe daha kompakt radyatör tasarlamak, yakıt tüketimini azaltmak, yakıt verimini artırmak ve yüksek performanslı şanzıman yağı elde etmek amaçlarına yönelik olarak nanoakışkanlar kullanılmaktadır. Sağlık sektöründe kanser tedavisinden diş tedavisine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Nanoakışkanların kullanılabileceği diğer alanlar ise kamera, ekran ve buhar sıkıştırırmalı mekanik çevrim olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinden sıcak su elde etmede yaygın olarak kullanılan güneş kolektörü, üzerine gelen güneş enerjisini içerisinde dolaşan akışkana aktarmaktadır. Güneş kolektörü performansı çalışma akışkanına bağlıdır. Çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımıyla elde edilecek faydalar Şekil 2.8’de belirtilmiştir.



Şekil 2.8. Güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının faydaları

2.3.4. Nanoakışkanlarda ısı transferini iyileştiren mekanizmalar

Nanoakışkanlarda ısı transferini iyileştiren mekanizmalar en az etkiliden en çok etkili olana doğru şu şekilde sıralanabilir; kümelenme-dağılma, incelen akışkan davranışı, ara yüzey sıvı tabaka teorisi ve Brownian hareketi (Sergis ve Hardalupas 2011). Ara yüzey sıvı tabaka teorisinde katı partiküllerin yüzeyi etrafında temel akışkan molekülleri atomik mesafede katmanlaşarak bir etkileşim meydana getirmekte ve bu sıvı katman da ısı iletim katsayısını iyileştirmektedir (Eapen vd. 2007). Nanoakışkanlardaki nanopartiküllerin zincir şeklinde kümelenmesiyle ısı transferinin iyileştiği değerlendirilmektedir (Liao vd. 2003).

Brownian hareketi botanikçi Robert Brown'un sulu bir ortam içerisindeki polenlerden ayrılan çok küçük parçacıkların rastgele hareketini fark etmesi ve bunun üzerine çalışmalar yapmasıyla öğrenildi. Brownian hareketinde mikrometreden daha küçük boyutlardaki parçacıklar akışkan bir ortam içerisinde birbirine benzemeyen bir

şekilde rastgele hareket etmektedir. Bu hareket sonucunda parçacıkların yeri değişmektedir. Parçacık hareketinin kaynağının akışkan olmadığı ve parçacıkların boyutu küçüldükçe hareketin belirginleştiği bilinmektedir. Nanopartiküle uygulanan kuvvetlerin dengede olmamasından kaynaklanan Brownian hareketi ile enerji nanopartikülden akışkana geçmektedir (Turgut 2017).

2.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği bilgisayarda bulunan bir deney laboratuvarına benzetilebilir. Araştırmacılara sanal olarak deney yapma imkanı vermektedir. Sanal olarak deney yapma imkanı ise günümüz şartlarında zamandan ve maliyetten tasarruf sağladığı için oldukça kıymetlidir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ele alınan akışkanın davranışı, ısı transferi, basınç dağılımı, hız dağılımı ve sıcaklık dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Kütle, momentum ve enerji denklemleri bilgisayar aracılığı ile çözülmektedir. Probleme uygun kısmi diferansiyel denklemler hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile çözülerek basınç, hız ve sıcaklık dağılımına ait veriler elde edilmektedir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile akışkan davranışlarıyla ilişkili birçok konu sayısal olarak analiz edilebilmektedir. Bu analizde akış bölgesi birçok elemandan oluşan ağ yapısına ayrılarak iterasyonlar yardımıyla çözüme ulaşılmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile gerçekleştirilebilen renkli grafik çıktıları çok güzel görünen birçok analiz; uygun olmayan ağ yapılarından, analizi gerçekleştiren kişiden, gerçeğe yakın olmayan sınır koşulları tanımlanmasından vb. kaynaklı hatalardan dolayı doğru olmayabilir. Bu nedenle analizi gerçekleştiren kişi akışkanlar mekaniğini çok iyi öğrenmiş olmalıdır. Ancak bu tek başına yeterli olmayacaktır ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği sonuçlarının deneysel verilerle doğrulanması gerekmektedir (Çengel ve Cimbala 2008).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde laminar akış çözümlemeleri tam şekilde yapılmasına karşılık uygulamada akışlar türbülanslı olduğu için elde edeceğimiz sonuçlar seçeceğimiz türbülans modeli kadar iyi olacaktır. En doğru sonuca yaklaşabilmek için akış bölgesi iyi bir şekilde oluşturulmalıdır, sınır şartları titizlikle ele alınmalıdır, ağ en iyi şekilde oluşturulmalıdır ve uygulamaya en yakın model seçilmelidir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği deneysel çalışmaya göre daha az zamana ve daha düşük maliyete, daha az tehlikeye sahip olduğu için araştırmacılar arasında giderek popülerlik kazanmaktadır. Günümüzde hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin kullanım alanları otomotiv, havacılık, medikal, uzay, gemi ve sağlık olarak sıralanabilir.

2.4.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde işlem adımları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde işlem adım sıraları değişiklik gösterebilse de genel olarak Şekil 2.9'da açıklandığı gibidir. İşlem adımlarında iki numarayla belirtilen modelleme ANSYS ile yapılabileceği gibi farklı bilgisayar destekli tasarım programlarıyla da yapıp ANSYS'e aktarılabilir.



Şekil 2.9. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği işlem adımları

Hangi fiziksel modellerin gerekli olduğu, sonuçların ne kadarlık bir hata payına sahip olacağı ve ne kadar süreye ihtiyaç olduğu başlangıçta en iyi şekilde belirlenirse problem o kadar çabuk çözüme ulaşır. Hesaplama bölgesini üç boyuttan iki boyuta indirmek ya da simetrik olarak ele almak çözüm için gerekli olan süreyi azaltabilir.

Sayısal çalışmanın doğruluğu çözüm için kullanılan modele, yapılan kabullere ve ağ yapısına bağlıdır. Ağ bazen ızgara veya grid olarak isimlendirilebilir. Seçilen ağ yapısı ile hesaplama bölgesi çok küçük elemanlara bölünür. Bu kısımlar hücre olarak adlandırılır (Çengel ve Cimbala 2008). Hesaplama akışkanlar dinamiği ile yapılan bir çalışma için ağ yapısı, eleman sayısı ve sınır şartları çok önemlidir. Geometrinin basit ya da karmaşık olmasına göre kullanılacak ağ yapısı değişkenlik göstermektedir. Bu konudaki öneriler basit geometriler için dikdörtgen ya da altıgen, az karmaşık geometriler için yapılandırılmamış dikdörtgen ya da altıgen, karmaşık geometriler için üçgen ya da dört yüzlü prizmalar ve son olarak çok karmaşık geometriler için kusursuz üçgen ya da dört yüzlü ağlar şeklindedir. Başarılı bir simülasyon için ağ yapısı kontrolü yapılmalıdır. Hücre çarpıklığı 0.98'in aşağısında olmalıdır. Bu nedenle yukarıda anlatılan işlem adımları tamamlandıktan sonra sonucun yakınsayıp yakınsamadığı kontrol edilmelidir. Son olarak sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak çalışmanın doğruluğu belirlenmelidir (Anonymous 1).

2.4.1.1. Ağ oluşturmak

Ağ yapısı hesaplama akışkanlar dinamiği çözümlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ağlar yapılandırılmış ve yapılandırılmamış olmasına göre ikiye ayrılmaktadır. Yapılandırılmış ağlarda hücrelerin düzlemsel şeklinin bozulmasının önemi yoktur çünkü hücreler indislerle belirtilir. Yapılandırılmamış ağlarda ise hücreler program tarafından farklı şekilde numaralandırılarak belirtilmektedir. Ağ ister yapılandırılmış ister yapılandırılmamış olsun önemli olan ağın niteliğidir. Ağda bulunan çarpıklıklar çözümde hata oranını artırmaktadır. Bir geometri hem yapılandırılmış hem de yapılandırılmamış ağlardan oluşuyorsa bu ağ yapısına melez ağ denilmektedir. Ağ oluştururken ani boyut değişimlerinden kaçınılmalıdır. Çok küçük açılı keskin köşelerde ağ oluşturmak çarpıklığın önüne geçilemediği için zordur. Bu nedenle köşeler yuvarlatılır ya da kesilirse çözüm daha doğru elde edilmektedir. Hesaplama akışkanlar dinamiğinde ağ için iyi bir zaman ayırmak çok değerlidir çünkü yüksek nitelikli ağ doğru çözüm için vazgeçilmezdir. Ayrıca hesaplama akışkanlar dinamiğinde çözümlerin ağdan bağımsız olduğu kontrol edilmelidir. Bunun için aralık sayısı her yönde iki kat artırılabilir ancak bazı durumlarda bu işlemi yapmak bilgisayarı çok zorlayacağı için en az yüzde yirmi artırarak ağdan bağımsızlık kontrol edilmelidir. Ağ sayısı artırıldığında sonuç değişmemelidir. Eğer sonuç farklıysa ilk ağ yapısının uygun olmadığı bilinmelidir (Çengel ve Cimbala 2008).

2.4.1.2. Sınır şartı

Hesaplama akışkanlar dinamiğinde ağ oluşturmak kadar önemli olan diğer bir konu da probleme en uygun sınır şartının belirlenmesidir. Çeper sınır şartında kaymama koşulundan dolayı hız sıfır alınır. Problemin durumuna göre çeper sıcaklığı, çeper pürüzlülüğü ya da ısı akısı belirtilir. Hesaplama bölgesine giriş ve çıkışlarda yine probleme bağlı olarak akışkanın sıcaklık, hız veya basınç değerleri sınır şartı olarak

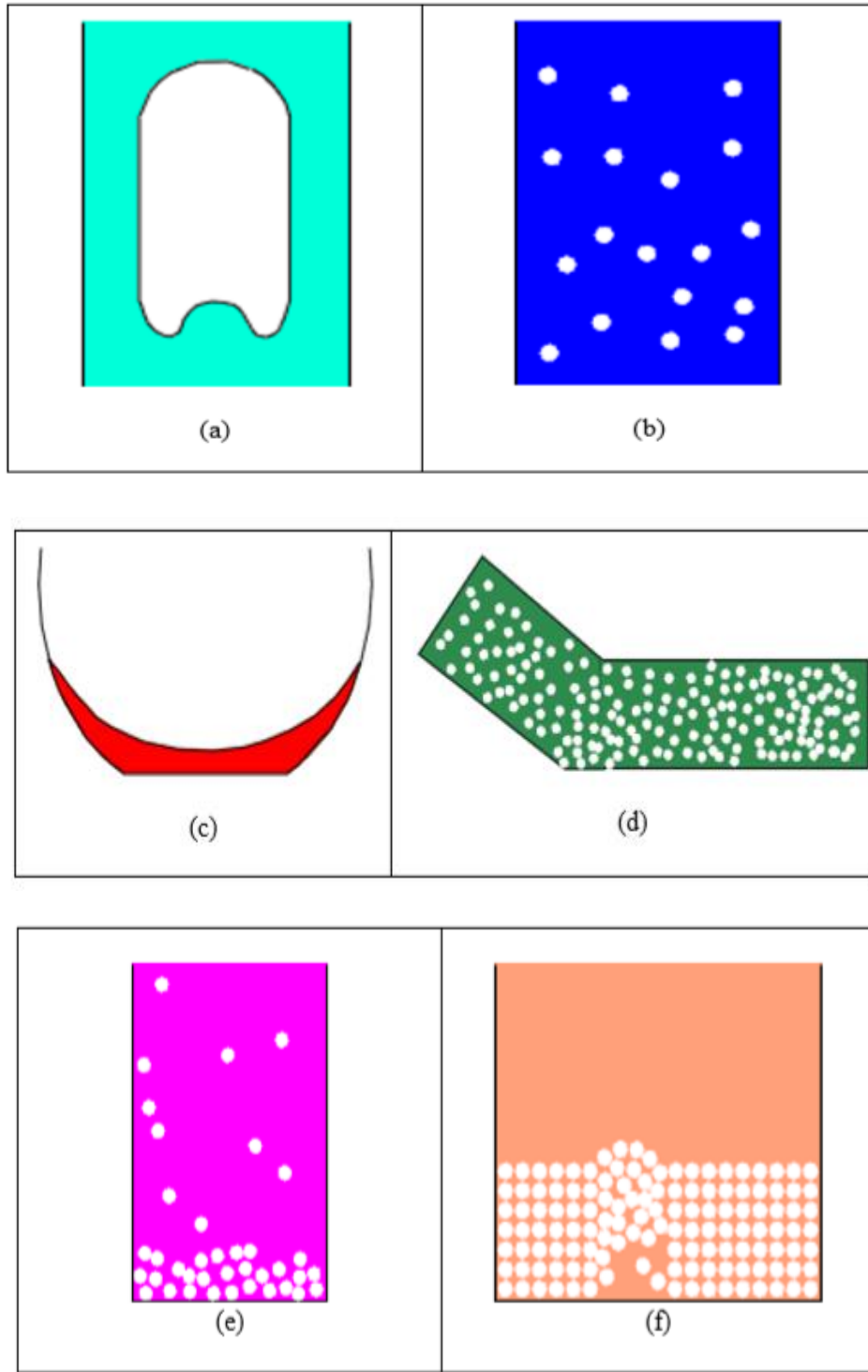
belirtilir. Çeper, giriş ve çıkış sınır şartlarından farklı olarak periyodik, simetri, iç ve fan gibi sınır şartları da vardır. Değişkenler belirli bir periyotta tekrarlanıyorsa periyodik sınır şartı uygulanarak bilgisayar zorlanmamış olur. Hesaplama bölgesinin ayna görüntüsü olacak şekilde simetri sınır şartı uygulanabilir. Hesaplama bölgesi ayrı bloklara bölündüğünde iç sınır şartı belirtilir. Ani basınç değişikliklerinde fan sınır şartı belirtilir eğer basınç artışı sıfır olursa bu sınır şartı iç sınır şartına dönüşmektedir (Çengel ve Cimbala 2008).

2.5. Nanoakışkanların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Sayısal Çözümü

Ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları gün geçtikçe daha da gelişmektedir. Sonlu hacimler yöntemini kullanan ANSYS Fluent, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde dünyada en çok tercih edilen yazılımların başında gelmektedir. Fluent yazılımı modellemeyen çözüme kadar olan tüm aşamaları kapsamaktadır. İçerisinde farklı problemlerin çözümüne uygun laminar akış, türbülanslı akış, radyasyon, manyetik, faz değişim ve çok fazlı akış gibi birçok model bulunmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar ve mühendisler için tasarım esnasındaki güvenilir araçlarından biri olmaya adaydır (Gedik 2012).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde nanoakışkanlar tek ve iki fazlı olarak çözülebilmektedir. Bu tip problemlerin sayısal çözümünde genel-geçer bir model bulunmasa da hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent çözüm için farklı yaklaşımlar sunmaktadır. Problemin en doğru şekilde çözülmesi için hangi yaklaşımın probleme en uygun olduğu belirlenmelidir.

Gaz-sıvı, sıvı-sıvı, gaz-katı, sıvı-katı ve gaz-sıvı-katı şeklinde beş farklı çok fazlı akış bulunmaktadır. Şekil 2.10'da çok fazlı akışlara örnekler verilmiştir. Şekil 2.10.a slug akışı, Şekil 2.10.b kabarcıklı veya damlacıklı akış, Şekil 2.10.c katmanlı akış/serbest yüzey akışı gaz-sıvı ve sıvı-sıvı iki fazlı akışları içerisinde yer almaktadır. Şekil 2.10.b parçacık yüklü akış, Şekil 2.10.d pnömatik transport, Şekil 2.10.f akışkan yatak gaz- katı akışları içerisinde yer almaktadır. Şekil 2.10.d bulamaç akışı, Şekil 2.10.d hidrotransport, Şekil 2.10.e sedimentasyon sıvı-katı akışları içerisinde yer almaktadır (Bir 2012).



Şekil 2.10. Çok fazlı akışlar: (a) slug akışı (b) parçacık yüklü, kabarcıklı veya damlacıklı akış (c) katmanlı akış/serbest yüzey akışı (d) pnömatik transport, bulamaç akışı, hidrotransport (e) sedimentasyon (f) akışkan yatak

2.5.1. Tek faz

Gerçekte nanoakışkanlar katı ve sıvı fazlardan oluşan iki fazlı akışkanlar olmalarına rağmen hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde tek fazlı akış gibi ele alınabilmektedirler. Bunun sebebi temel akışkan içerisindeki nanopartikül boyutlarının 100 nm'den küçük ve hacimsel oranlarının çok düşük olmasıdır. Tek faz çözümünde temel akışkan ile içerisindeki nanopartiküllerin ısı dengede olduğu ve aralarındaki kayma hızının ihmal edildiği varsayılarak tek bir akışkan gibi ele alınmaktadır. Bu nedenle tek fazlı akışkanlarda kullanılan yöntemler ile çözüm gerçekleştirilmektedir.

2.5.2. İki faz

İki faz için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent'te temelde iki farklı yaklaşım vardır. Bunlar Euler-Euler ve Euler-Lagrange yaklaşımlarıdır. Bu yaklaşımlar da kendi içlerinde farklı çözüm metodları içermektedir. Euler-Euler ve Euler-Lagrange yaklaşımları içerisinde probleme uygun modeli belirleyebilmek için gerekli olan sınırlama ve öneriler alt bölümlerde açıklanmıştır.

2.5.2.1. Euler-Euler yaklaşımı

Euler-Euler yaklaşımında iki fazın hacim fraksiyonları toplamı 1 olarak kabul edilmektedir. Euler-Euler yaklaşımında VOF, Mixture (Karışım) ve Euler olarak 3 farklı model kullanılabilir. Birbirine karışmayan iki ve daha fazla sayıda sıvıların çözümünde VOF modeli kullanılabilir. Basitleştirilmiş çok fazlı çözüm yöntemi olan Mixture (Karışım) modelinde sıvı ve katı fazın karıştığı kabul edilerek tek fazlı modelde olduğu gibi süreklilik, momentum ve enerji denklemleri karışım için çözülmemektedir. Termodinamik özellikler de yine karışımın ortak özelliklerini içermektedir. Ancak bu denklemlere partikül (ikincil faz) için hacimsel fraksiyon denklemi eklenir. Mixture modelinde kullanılan her fazın hızı farklı olsa da bölgesel olarak dengede oldukları varsayılmaktadır. Eğer hızlar aynıysa bu model tek fazlı akış gibi çözülür (Akgül 2013). En karmaşık iki fazlı model olan Eulerian'de ise her bir faz için momentum ve süreklilik denklemleri ayrı olarak çözülmemektedir. Sıvı, katı ve gaz fazlarının tüm kombinasyonları için bu model kullanılabilir. Kabarcıklı, damlacıklı ya da partikül yüklü akışlarda hacimsel oran %10'u geçtiğinde Mixture (Karışım) ve Eulerian model tercih edilebilir. Ele alınan problem basitçe daha az efor harcanarak çözülmek isteniyorsa Mixture modeli tercih edilebilir. Ancak sonuçların daha az hataya sahip olması isteniyorsa Eulerian model tercih edilebilir (Anonymous 3).

2.5.2.2. Euler-Lagrange yaklaşımı

Discrete Phase (ayrık faz) modeli Euler-Lagrange yaklaşımını izler. Temel akışkan için Navier-Stokes denklemleri çözülmemektedir. İkincil faz ise (partikül, kabarcık ve damlacık) tek tek izlenerek çözülmemektedir. Discrete phase modelinde ikincil fazın (katı partikül, damlacık, kabarcık) kütlesi ($\dot{m}_{partikül} \geq \dot{m}_{akışkan}$) temel akışkandan

fazla olabilir ancak hacimsel fraksiyonu temel akışkandan küçük olmalıdır. Hacimsel fraksiyonun %10-12'den az olduğu durumlarda tercih edilebilir. Discrete phase modelinde parçacık etkileşimleri ihmal edilir. Bu modelde akışkan (sıvı faz) içerisindeki damlacıkların, kabarcıkların ve parçacıkların hareketi tek tek izlenerek yörüngeleri belirlenir (Anonymous 2).

Özellikle partikül yüklü akışlarda kullanılan Discrete Phase modelinde temel akışkan (sıvı faz) için Navier-Stokes denklemleri çözülmektedir. Temel akışkan ile ikincil faz (partikül, kabarcık) momentum, kütle veya enerji transferinde bulunabilir. İkincil faz Newton'un ikinci hareket kanununa dayanan Lagrangian yaklaşımıyla ele alınmaktadır. Temel akışkan ile ikincil faz (partikül, kabarcık) arasındaki bağlantı Newton'un üçüncü hareket kanunuyla sağlanmaktadır. Bu yaklaşım pnömatik transport, sıvı yakıtlı yanma reaksiyonları, partikül yüklü akışlar ve sprey kurutucular için uygun bir iki fazlı akış modelidir (Bir 2012).

Discrete Phase modeli sürekli faz içerisine enjekte edilmiş parçacıkların iyi tanımlanmış giriş şartı ve çıkış şartı bulunan durumlar için uygundur. Öte yandan akışkan yataklar ve karıştırma tankları gibi partiküllerin süreklilik içinde süresiz olarak süspansiyon haline getirildiği durumlar için iyi sonuç vermeyebilir.

2.6. Literatür Özeti

Tez çalışmasına başlamadan önce nanoakışkanların güneş kolektöründe kullanımı incelenmiştir. Nanoakışkanların güneş kolektöründe incelendiği çalışmalar kolektör tipine göre düz plakalı (düzlemsel), parabolik oluk ve vakum tüplü olarak üç farklı şekilde sunulmuştur. Her kolektör çeşidi de yapılan çalışmanın sayısal, deneysel ve hem sayısal hem deneysel olma durumuna göre kendi içerisinde gruplandırılmıştır.

- Düz plakalı (düzlemsel) güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik sayısal çalışmalar;

Nanoakışkan kullanılan güneş kolektörünün sayısal olarak incelenmesi Yurddaş (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanımı oldukça yaygın olan düzlemsel güneş kolektörü ele alınmıştır. İncelenen düzlemsel güneş kolektöründe Al_2O_3 -su ve Cu-su nanoakışkanları %1 ile %5 olmak üzere iki farklı hacimsel oranda tek fazlı olarak analiz edilmiştir. Kullanılan nanoakışkanın viskozitesini hesaplamak için Brinkman (1952) tarafından oluşturulan, ısıl iletkenliğini hesaplamak için Maxwell (1873) tarafından oluşturulan ifadelerden yararlanılmıştır. Ansys programı Fluent yazılımıyla yapılan çalışmada kolektör üst yüzeyine 600 W/m^2 , 700 W/m^2 ve 800 W/m^2 olarak üç farklı ısı akısı uygulanmıştır diğer yüzeyler ise adyabatik olarak ele alınmıştır. Güneş kolektöründe nanoakışkanların ısı transferi karışık ve zorlanmış olmak üzere iki ayrı taşınım durumu için incelenmiştir. Kolektör eğim açısının etkisi ve Re sayısının farklılığı çalışmada ele alınan diğer faktörlerdir. Yapılan sayısal çalışma hem deneysel hem de nümerik bir çalışmayla doğrulanmıştır. Su ve nanopartiküllerin ısı dengede ve eşit hızlarda olduğunu varsayan tek fazlı yaklaşımla analiz edilen sayısal

çalışmada verimin deneysel çalışmalara göre daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının suya göre ısı transferini %1 ile %8 oranlarında iyileştirdiği belirtilmiştir. Ayrıca kolektörde doğal taşınımın azımsanamayacak kadar etkili olduğu belirtilmiştir. Hem karışık hem de zorlanmış taşınım analizinde en iyi ısı taşınım katsayısı değerinin % 5 hacimsel orana sahip Al_2O_3 -su ya ait olduğu belirtilmiştir.

Colangelo vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen sayısal çalışmada da düz plakalı güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının etkisi araştırılmıştır. RadTherm ThermoAnalytics, 10.5 yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen bu çalışmada nanoakışkan hacimsel konsantrasyonunun güneş kolektörü verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Güneş kolektöründe Al_2O_3 -su nanoakışkanı %0 ile %3 arasında değişen hacimsel konsantrasyonlarda çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Kullanılan Al_2O_3 nanoparçacık nominal çapının 45 nm olduğu belirtilmiştir. Kullanılan nanoakışkanın ısı iletkenlik özelliği için, Colangelo vd. (2012) tarafından yapılan deneysel çalışma dikkate alınmıştır. Çalışma kolektör girişinde sıcaklığın sabit olduğu, kullanılan nanoakışkanın homojen bir karışım olduğu ve kolektör üzerinde gölgeleme olmadığı varsayımları ile yapılmıştır. Gerekli olan ısıtım ve diğer çevresel veriler deney düzeneğinin bulunduğu konum olan Lecce (Güney İtalya)' den alınmıştır. Yapılan sayısal çalışmanın karşılaştırıldığı deneysel testlerde güneş kolektörünün giriş ve çıkış sıcaklığı Pt100 sensörleri kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca deney sırasındaki güneş ışımasını piranometrelerle ölçülmüştür. Yapılan sayısal çalışma deneysel verilerle doğrulandıktan sonra, farklı nanoakışkan hacimsel konsantrasyonları üzerinde çalışılarak ısı verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yaz ve kış gündönümü için dört farklı kolektör giriş sıcaklığı ve %1, %2, %3 olmak üzere üç farklı hacimsel oranda nanoakışkan kullanımıyla sayısal çalışma tamamlanmıştır. Yaz gündönümü 30°C ortam sıcaklığı ve 920W/m² güneş ışımasını için incelenen dört ayrı kolektör giriş sıcaklıklarının tümünde ısı verim artışı en fazla % 3 hacimsel konsantrasyona sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanında olduğu belirtilmiştir. Tek tek belirtmek gerekirse; kolektör giriş sıcaklığı 30°C olduğu durumda en fazla verim artışı %7.384, 45°C için en fazla verim artışı %6.829, 55°C için en fazla verim artışı %6.431 ve 65°C için en fazla verim artışı %5.038 olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımıyla suya göre ısı verimindeki maksimum artış düşük giriş sıcaklığı ve yüksek hacimsel konsantrasyon için %7.54 olduğu belirtilmiştir. Al_2O_3 nanoakışkanı için hacimsel konsantrasyon arttıkça verimin de arttığı belirtilmiştir.

Ekramian vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen sayısal çalışmada güneş kolektöründe su ve nanoakışkan kullanımı sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal çalışmada kolektör giriş sıcaklığının ve nanoakışkan konsantrasyonunun değişimi incelenmiştir. Çalışma ANSYS Fluent 14. yazılımıyla nanoakışkanların tek fazlı kabülüyle yapılmıştır. Düz plakalı güneş kolektöründe Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp MWCNT-su, Al_2O_3 -su ve CuO-su nanoakışkanları; % 1, %2 ve % 3 kütleli

oranlarında çalışma akışkanları olarak kullanılmıştır. Nanopartiküllerin temel akışkanla ısı ve hidrodinamik olarak dengede olduğu kabulü yapılmış ve çalışma üç boyutlu olarak modellenmiştir. Yapılan sayısal çalışma deneysel verilerle doğrulanmıştır. Gerçekleştirilen sayısal çalışmanın sonucunda nanoakışkanların ısı performansının temel akışkana göre iyi olması Brownian hareketi ve termal özelliklerinin iyi olmasıyla açıklanmıştır. Artan konsantrasyonla ısı veriminde arttığı belirtilmiştir. Kolektör giriş sıcaklığı yükseltildiğinde ısı kayıpların artmasıyla düz plakalı güneş kolektörünün ısı veriminde düşüş meydana geldiği belirtilmiştir. Kullanılan nanoakışkanlar arasında en düşük özgül ısıya sahip olan CuO-su nanoakışkanının ısı veriminin en iyi olduğu belirtilmiştir.

Tomy vd. (2016), tarafından gerçekleştirilen çalışmada nanoakışkan kullanılan bir düz plakalı güneş kolektörü analizi MATLAB programında Yapay Sinir Ağları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gümüş-su nanoakışkanı düz plakalı güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Güneş ışıması (900 W/m^2 , 1000 W/m^2), Reynolds sayısı (5000-25000) ve hacimsel konsantrasyon değerlerindeki (%0.01, %0.03, %0.04) değişimin çıkış sıcaklığı ve verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sayısal çalışma deneysel sonuçlarla doğrulanarak %2 gibi bir sapma gösterdiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda Re sayısının 10000 ve ısı akısının 1000 W/m^2 olduğu durum için artan hacimsel konsantrasyonla çıkış sıcaklığının arttığı ve maksimum sıcaklığın da %0.04 hacimsel konsantrasyon için 86°C olduğu belirtilmiştir. Yine aynı ısı akısı için %0.04 hacimsel konsantrasyondaki gümüş-su nanoakışkanı için Re sayısının 25000 olduğu durumda çıkış sıcaklığı 83.4°C olurken sadece su için çıkış sıcaklığı 78.1°C olduğu belirtilmiştir. 1000 W/m^2 ısı akısında Reynolds sayısı 5000'den 25000'e değişim gösterirken en yüksek verimin %80 ile %0.04 hacimsel konsantrasyondaki gümüş-su nanoakışkanına ait olduğu belirtilmiştir.

-Düz plakalı (düzlemsel) güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik deneysel çalışmalar;

Sharafeldin vd. (2017)'de yapmış oldukları deneysel çalışmalarında WO_3 -su nanoakışkanının düz plakalı güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak kullanımını incelemişlerdir. Ele alınan nanoakışkanın %0.0167, %0.0333 ve %0.0666 olmak üzere üç farklı hacimsel fraksiyonu için gerçekleştirilen deneyler sırasında nanoparçacık boyutunun 90 nm olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda düz plakalı güneş kolektörünü verim artışının maksimum %13.48 ile %0.0666 hacimsel fraksiyonda elde edildiği belirtilmiştir.

Sharafeldin ve Gróf (2018) tarafından gerçekleştirilen bir diğer deneysel çalışmada da düz plakalı güneş kolektöründe CeO_2 -su nanoakışkanın hacim fraksiyonundaki değişiminin kolektör verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma akışkanı olarak kullanılan CeO_2 -su için nanopartikül boyutu sabit tutulmuştur. Güneş kolektöründe CeO_2 -su nanoakışkanı için üç farklı hacimsel fraksiyonda (%0.0167,

%0.0333, %0.0666) gerçekleştirilen deneysel çalışmada suya göre en iyi verim artışı %10.74 olarak %0.0666 fraksiyon için bulunmuştur. Çalışma sonucunda artan hacimsel fraksiyon ve kütleli debiyle verimin iyileştiği belirtilmiştir.

Düz plakalı güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik bir başka deneysel çalışma Faizal vd. (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, nanoakışkan kullanımının sadece kolektör verimi üzerindeki etkisini değil aynı zamanda çevre ve ekonomi üzerindeki etkilerini de incelemişlerdir. Bu çalışmada düz plakalı güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak %0.2 ve %0.4 hacimsel fraksiyonda SiO₂ nanoakışkanı kullanılmıştır. Yapılan çalışmayla az miktarda nanoparçacık bulunduran akışkanın ısı transfer katsayısı, enerji ve ekserji veriminin nanoparçacık bulundurmeyen akışkana göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. %0.2 hacimsel konsantrasyonda SiO₂ nanoakışkanı kullanımıyla kolektör veriminde %23.5 lik bir artış olduğu belirtilmiştir. Nanoakışkan kullanılan güneş kolektörü sağladığı verim artışından kaynaklı olarak su kullanılan güneş kolektörüne göre daha kompakt olacağı için 280 MJ enerji tasarrufu sağlayabileceği belirtilmiştir. Çevresel açıdan değerlendirildiğinde CO₂ emisyonunu 170 kg azaltacağı belirtilmiştir. Güneş kolektöründe SiO₂ nanoakışkan kullanımı ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise amortisman süresini 0.12 yıl azaltacağı belirtilmiştir.

Devarajan ve Munuswamy (2016), aynı temel akışkan için Al₂O₃, CuO ve ZrO₂ nanopartiküllerinin düz plakalı güneş kolektöründe performansını deneysel olarak karşılaştırmıştır. Çalışma nanoakışkanların %0.4 ve %0.2 olarak iki farklı kütle fraksiyonu ve 40 nm nanopartikül boyutu için yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda düz plakalı güneş kolektörü veriminin nanoakışkan kullanımıyla arttığı belirtilerek %0.4 kütle fraksiyonunda Al₂O₃ için verim % 55, CuO için verim %51.3 ve ZrO₂ için verim %47 olarak bulunmuştur. Deneysel verilerle bu çalışma için suya göre en iyi verim artışı %17 ile %0.4 kütleli fraksiyonda Al₂O₃ nanoakışkanına ait olduğu belirtilmiştir.

Noghrehabadi vd. (2016), tarafından yapılan deneysel araştırmada SiO₂/su nanoakışkanının düz kare plakalı bir güneş kolektöründe kullanımı incelenmiştir. Deneysel çalışma ASHRAE 93-86 Standardına göre 45° eğim açısındaki güneş kolektörü için 08.00 ile 17.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda %1 kütleli orandaki SiO₂/su kullanımıyla verim artışı olduğu ve artan debiyle kolektör giriş ve çıkış sıcaklık farkındaki düşüşün nanoakışkan kullanıldığında suya göre daha az olduğu belirtilmiştir.

-Düz plakalı (düzlemsel) güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik deneysel ve sayısal çalışmalar;

Güneş simülasyonu altında çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanılan bir güneş kolektörünün sayısal ve deneysel analizi Shareef and Dibs (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için ilk olarak otomatik bir güneş simülasyonu

tasarlanmıştır. Deneyler saat 11 ile 13 arasında Kerbela konumu için yapılmıştır. Yapılan bu çalışma için %0.2, %0.4 ve %0.6 olmak üzere üç farklı hacimsel fraksiyona sahip Al_2O_3 - saf su nanoakışkanı kullanılmıştır. Sayısal çalışma ise COMSOL 5.2a yazılımıyla CFD modeli kullanılarak laminer akış durumu için üç boyutlu olarak yapılmıştır. Sayısal çalışma sıkıştırılamaz akış ve termofiziksel özelliklerin sıcaklıktan bağımsız olduğu varsayımıyla gerçekleştirilmiştir. Düz plakalı güneş kolektörünün sayısal analizi farklı giriş sıcaklıkları ve güneş radyasyon değerleri için yapılmıştır. Su ve %0.2, %0.4 ve %0.6 üç farklı hacimsel fraksiyona sahip Al_2O_3 - saf su olmak üzere dört farklı çalışma akışkanı deneysel olarak incelendiğinde giriş çıkış arasındaki maksimum sıcaklık farkı 15.343°C ile %0.6 hacimsel fraksiyondaki Al_2O_3 - saf su kullanıldığında meydana gelmiştir. Deneysel ve sayısal çalışma arasındaki maksimum bağıl hatanın %6.2 olduğu belirtilmiştir.

Düz plakalı güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik deneysel ve sayısal bir çalışma da Hawwash vd. (2018) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma akışkanı olarak çift damıtılmış su ve %0.1 ile %3 arasında değişen altı farklı hacimsel fraksiyonda Al_2O_3 -su nanoakışkanı kullanılmıştır. Deneysel çalışma ASHRAE 86-93 standardına göre Mısır'da yapılmıştır. ANSYS 17 yazılımı kullanılarak tek fazlı modelle yapılan sayısal çalışmada nanoakışkan viskozitesi için nanoakışkanlar için önerilen eşitlik, ısı iletim katsayısı için sıvı içinde asılı mikrometre büyüklüğündeki partiküller için kullanılan ve nanoakışkanlar için de uygun olan bir eşitlik kullanılmıştır. ANSYS programıyla üç boyutlu modelleme yapılarak su ve nanoakışkan için zorlanmış taşınım analizi türbülanslı ve laminer akış durumları için incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda düz plakalı güneş kolektöründe Al_2O_3 -su nanoakışkanının çift damıtılmış suya göre ısı verimi düşük sıcaklık farklarında %3, yüksek sıcaklık farklarında ise %18 artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda kullanılan Al_2O_3 -su nanoakışkanının hacim fraksiyonunun %0.5'e kadar artırıldığı durumda termal verimin de arttığı ancak %0.5'in üzerine çıkıldığında bu artışın verim üzerinde negatif bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Basınç düşüşü açısından değerlendirildiğinde hacim fraksiyonundaki artışın basınç düşüşünü artırdığı belirtilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle sayısal analiz sonuçları çıkış sıcaklığı açısından karşılaştırıldığında su için maksimum bağıl hata %10 iken nanoakışkan için maksimum bağıl hata %29.4 olarak bulunmuştur.

Al_2O_3 -su nanoakışkanın düz plakalı güneş kolektöründe ekserji verimi araştırılmıştır (Shojaeizadeh, vd. 2015). Deneysel ve sayısal olarak gerçekleştirilen bu çalışmada kütleli debi, hacimsel konsantrasyon, akışkan sıcaklığı ve düz plakalı güneş kolektörü üzerine gelen güneş ışınlamı gibi değişkenlerin ekserji verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma MATLAB programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan tüm akışkanlar açısından düz plakalı güneş kolektörü üzerine gelen güneş ışınlamı miktarındaki artışın ekserji verimini pozitif yönde etkilediği belirtilmiştir.

Al_2O_3 -su nanoakışkanın güneş kolektöründe değişik hacimsel oranlarda kullanılmasıyla ekserji verimi en çok %0.72 artış göstermiştir.

-Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik sayısal çalışmalar;

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle parabolik oluk tip güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımı Kaloudis vd. (2016) tarafından incelenmiştir. ANSYS yazılımıyla gerçekleştirilen sayısal çalışmada iki fazlı olarak modelleme yapılmıştır. İki fazlı çözümde bir Euler-Euler yaklaşımı olan mixture modeli kullanılmıştır. %0.5, %1, %2 ve %4 olacak şekilde hacimsel konsantrasyondaki değişikliğin kolektör verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gerçekleştirilen sayısal çalışma test sonuçlarıyla doğrulanarak çıkış sıcaklığı için maksimum hatanın %0.3 ve kolektör verimi için maksimum hatanın %7.3 olduğu belirtilmiştir. Çalışmada parabolik oluk tip güneş kolektöründe %4 konsantrasyonda Al_2O_3 -Syltherm 800 nanoakışkanının kullanımı sonucunda %10 a yakın verim artışı olduğu belirtilmiştir.

Parabolik oluk tip güneş kolektöründe hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemiyle gerçekleştirilen bir diğer çalışma Mwesigye and Meyer (2017)'e aittir. Güneş kolektöründe Therminol VP-1 baz sıvısına bakır, gümüş ve Al_2O_3 katkılanarak oluşturulan nanoakışkanlar kullanılmıştır. Çalışmada nanoakışkanların hacimsel konsantrasyonu %1 ile %6 arasında değişmektedir. Sayısal analiz ANSYS Fluent 16.2 yazılımı kullanılarak tek fazlı yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada incelenen üç farklı nanoakışkandan gümüş- Therminol VP-1 en iyi ısıl performansı gösterirken en düşük ısıl performansı Al_2O_3 - Therminol VP-1 nanoakışkanı göstermiştir. Parabolik oluk tip güneş kolektöründe gümüş- Therminol VP-1 kullanımıyla ısıl verimin %13.9 arttığı belirtilmiştir.

Kasaeian vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen sayısal çalışmada da Al_2O_3 -sentetik yağ nanoakışkanının parabolik oluk tip güneş kolektöründe kullanımı üzerinde durulmuştur. Al_2O_3 -sentetik yağ nanoakışkanının hacimsel fraksiyonundaki değişimin (%1, %3 ve %5) ısı taşınım katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Nanoakışkanın tek fazlı olduğu ve termofiziksel özelliklerin sıcaklığa bağlı olduğu kabulü yapılmıştır. Sayısal çalışma üç boyutlu olarak modellenmiştir. Hacimsel fraksiyonun ısı taşınım katsayısı üzerindeki etkisinin 300 K sıcaklıkta diğer sıcaklık değerlerine göre (400K ve 500K) daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Buradan ısı taşınım katsayısının artan hacimsel fraksiyonla arttığı ancak artan sıcaklıkla bu etkinin zayıfladığı sonucuna varılmıştır.

Quezada-García vd. (2019)'da parabolik oluk tip güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma akışkanı olarak su, termal yağ ve %4, %2 hacimsel fraksiyonlarında Al_2O_3 nanoakışkanı kullanılmıştır. Hesaplamalar için Python yazılımı, görselleştirme ve grafik kısmı içinse OpenGL

kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrulandığında maksimum hatanın %10'dan az olduğu belirtilmiştir. Sayısal çalışma sonucunda en az verime (%76) sahip olan akışkanın termal yağ olduğu bulunmuştur. En yüksek verimin %80 ile %4 hacimsel konsantrasyondaki Al_2O_3 e ait olduğu ve nanopartikül fraksiyonunun artışıyla parabolik oluk tip güneş kolektörü verimininde arttığı belirtilmiştir.

Gerçekleştirmiş oldukları çalışmada Bellos ve Tzivanidis (2017), parabolik oluk tipi güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımını sayısal olarak incelemiştir. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe Syltherm 800, Al_2O_3 / Syltherm 800 ve CuO/ Syltherm 800 çalışma akışkanı olarak kullanılmıştır. Engineering Equator Solver yazılımıyla gerçekleştirilen sayısal çalışma deneysel verilerle doğrulanmıştır. Giriş sıcaklığı, debi ve konsantrasyon oranı değişiminin ısı verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Giriş sıcaklığı 25 °C ile 325 °C arasında, debi 3 m³/h ile 7 m³/h arasında, konsantrasyon oranı da 10 ile 40 arasında değişim göstermektedir. Nanoakışkan hacimsel konsantrasyonu ise %4 olarak sabit tutulmuştur. CuO/ Syltherm 800 nanoakışkanın en büyük konsantrasyon için ısı verimi %1.26'a kadar artırabildiği belirtilmiştir. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımıyla ısı taşınım katsayısının ve Nu sayısının yaklaşık %50 arttığı belirtilmiştir. Yine nanoakışkan kullanıldığında en iyi performansın yüksek konsantrasyon oranı ve düşük debi durumunda gerçekleştiği belirtilmiştir.

-Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik deneysel çalışmalar;

De los Rios vd. (2018), çalışmalarında Al_2O_3 -su nanoakışkanının parabolik oluk tipi güneş kolektöründe performansını incelemişlerdir. Nanoakışkan deiyonize su içerisine %1 ve %3 hacimsel oranlarında 10nm çapındaki Al_2O_3 nanopartiküllerinin katılmasıyla oluşturulmuştur. Ardından nanoakışkanların termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Farklı ortam koşullarında ve geliş açılarında yapılan deneysel çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımıyla ısı verimde iyileşme olduğu belirtilmiştir.

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe $TiO_2/DI-H_2O$ kullanımı ASHRAE 93(2010) standardına göre deneysel olarak incelenmiştir (Subramani vd. 2018). Çalışmada kullanılan nanopartikül boyutlarının yaklaşık 20 nm, baz akışkanın deiyonize su ve nanoakışkan hacimsel konsantrasyonlarının da %0.05, %0.1, %0.2, %0.5 olduğu belirtilmiştir. Deneyler dört farklı hacimsel konsantrasyon ve farklı kütleli debi için direkt ışınının 800 W/m² den büyük ve rüzgar hızının 2 ile 4 m/s aralığında olduğu durumda gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda parabolik oluk tipi güneş kolektöründe $TiO_2/DI-H_2O$ nanoakışkan kullanımıyla ısı taşınım katsayısının %22.76 arttığı belirtilmiştir. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü verimindeki maksimum artışın ise %8.66 olduğu belirtilmiştir. Bu artış hacimsel konsantrasyonun %0.2 ve kütleli debinin 0.0667 kg/s olduğu durum için bulunmuştur.

-Vakum tüplü güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik sayısal ve deneysel çalışmalar;

Sadeghi vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen sayısal ve deneysel çalışmada vakum tüplü güneş kolektörü verimini etkileyen farklı parametreler üzerinde durulmuştur. Bu parametrelerden biri doğal sirkülasyonlu vakum tüplü güneş kolektöründe 0.01 ile 0.08 arasında değişen hacimsel fraksiyonlarda CuO/saf su nanoakışkan kullanımınıdır. Diğerleri de düz bir reflektör ve parabolik bir yoğunlaştırıcı kullanımınıdır. Bu çalışmada nanoakışkan özellikleri literatürde bulunan eşitliklerle hesaplanmıştır. Deneysel çalışma yaz aylarında saat 9 ile 18.00 arasında gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma COMSOL yazılımı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda çalışma akışkanı olarak saf su kullanıldığında reflektör bulunmayan, düz reflektör bulunan ve parabolik yoğunlaştırıcı bulunan olmak üzere üç farklı durum incelendiğinde maksimum verimin parabolik yoğunlaştırıcı kullanıldığında elde edildiği belirtilmiştir. Bu maksimum değerler de enerji verimi için %74, ekserji verimi için de %20.9 olarak belirtilmiştir. Parabolik yoğunlaştırıcılı vakum tüplü güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak CuO/saf su kullanıldığında en iyi değerler 0.08 hacim fraksiyonu için elde edilmiştir. 0.08 hacim fraksiyonuna sahip CuO/saf su kullanımıyla sistemin enerji veriminin %10 ve ekserji veriminin %12.7 arttığı belirtilmiştir.

Bir başka sayısal çalışmada Mercan ve Yurddaş (2019), su ve nanoakışkanların vakum tüplü güneş kolektöründe kullanımını incelemişlerdir. Sayısal çalışma ANSYS Fluent yazılımıyla tek fazlı olarak gerçekleştirilmiştir. Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır. Nanoakışkan özellikleri literatürde yer alan eşitliklerle hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen sayısal çalışma deneysel ve sayısal çalışmalarla doğrulanmıştır. Vakum tüplü güneş kolektöründe Al_2O_3 -su ve CuO-su nanoakışkanları %1,%3 ve %5 hacimsel oranlarda incelenerek ısı transferindeki en iyi iyileşmenin CuO-su da gözlemlendiği ve hacimsel oranın artmasıyla ısı transferinin arttığı belirtilmiştir. Çalışmada farklı kolektör açıları(30°, 45°, 60°) incelenerek en iyi açının 30° olduğu belirtilmiştir. Kütlesel debi 0.025 kg/sn, 0.050 kg/sn ve 0.075 kg/sn olarak değiştirilmiş ve en iyi çıkış sıcaklığının 0.025 kg/sn kütlesel debide gözlemlendiği belirtilmiştir.

Kaya (2018)'de yapmış olduğu deneysel ve sayısal çalışmada güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımını incelemiştir. Farklı hacimsel konsantrasyonlarda (%1.0, %2.0, %3.0 ve %4.0) nanoakışkan kullanımının vakum tüplü güneş kolektörü verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca kolektör üzerine gelen güneş ışıını miktarı ve vakum tüplü güneş kolektöründe kullanılan akışkan debisi değişiminin verime etkileri üzerinde de durulmuştur. Bu çalışmada nanoakışkan olarak 30 nm partikül çapında ZnO (%50:%50) Etilen glikol-saf su kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada en yüksek verim artışının %26.42 olduğu belirtilmiştir. Bu verim artışı %3.0 hacimsel konsantrasyon içindir. Hacimsel konsantrasyon %3.0'ın üzerine çıktığında (%4.0) nanopartüküllerin topaklanmasından kaynaklı olarak verimin daha düşük olduğu

belirtilmiştir. 0.02 kg/s, 0.03 kg/s ve 0.045 kg/s kütleli debiler için yapılan deneysel çalışmada en iyi verimin 0.045 kg/s deki kütleli debi için bulunduğ u belirtilmiştir. ANSYS Fluent 17.0 yazılımıyla gerçekleştirilen sayısal çalışmada ise en yüksek verim artışının %24.93 ile %4.0 hacimsel konsantrasyondaki nanoakışkan için olduğ u belirtilmiştir. Bu durumun sebebi nümerik çalışmada kullanılan akışkanın fiziksel kararlılığ ının ölçülememesi ile açıklanmıştır.

Vakum tüplü güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik deneysel çalışmalar;

Sharafeldin ve Gróf (2018), çalışmalarında su ve farklı fraksiyonlarda CeO_2 /su nanoakışkanının cebri sirkülasyonlu vakum tüplü güneş kolektöründeki performansını deneysel olarak incelemişlerdir. %0.015, %0.025 ve %0.035 olmak üzere üç farklı hacimsel fraksiyondaki nanoakışkanlar için ortalama nanopartikül çapı 25 nm dir. Budepeşte’de gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada kütleli debi ve hacimsel fraksiyondaki değ işikliğ in kolektör performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Vakum tüplü güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımıyla giriş ve çıkış sıcaklık farkının arttığı ve en fazla sıcaklık farkı atışının en yüksek kütleli debi (0.017 kg/s) ile en yüksek hacimsel fraksiyon (%0.035) için %37.3 olduğ u belirtilmiştir. Nanoakışkan için hacimsel fraksiyonun artması sıcaklık farkını, ısı transferini ve termo-optik özelliğ i artırarak olumlu bir etki oluştururken termal kayıp katsayısını artırması negatif bir etkiye neden olduğ undan vakum tüplü güneş kolektöründe en iyi performansın %0.025 hacimsel fraksiyon için elde edildiğ i belirtilmiştir.

Sharafeldin and Gróf (2019)’e ait bir diğ er deneysel çalışmada cebri sirkülasyonlu vakum tüplü güneş kolektöründe WO_3 /su nanoakışkanı ve su kullanımı karşılaştırılmış tır. WO_3 /su nanoakışkanı için ortalama nanopartikül çapı 90 nm dir. Deneysel çalışmada kütleli debi ve hacimsel fraksiyondaki (%0.014, %0.028 ve %0.042) değ işikliğ in kolektör performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda sıcaklık farkının en fazla artışı; çalışmadaki en büyük hacimsel fraksiyon olan %0.042 ve çalışmadaki en yüksek kütleli debi olan 0.017 kg/s için %21 olduğ u belirtilmiştir. Nanoakışkan kullanımıyla vakum tüplü güneş kolektörü termal-optik veriminin maksimum %72.83’e ulaşarak suya göre %19.3 arttığı belirtilmiştir.

-Nanoakışkanların sayısal iki fazlı incelenmesinde farklı çalışmalar;

Akgöl (2013)’e ait bir çalışmada da ısı transferini attırmak amacıyla pasif yöntemler içerisinde yer alan çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı mikrokanalda incelenmiştir. Farklı hacimsel fraksiyonlarda (%0.1-%4) Al_2O_3 -su nanoakışkanının zorlanmış ve karışık taşınım analizi, tek fazlı ve çift fazlı yaklaşımlar (ayrık faz modeli, karışım modeli ve Eulerian model) ile değ erlendirilmiştir. Nanoakışkanın laminar akış durumunda zorlanmış taşınım analizi iki boyuta indirgenerek ilk olarak homojen model I ve homojen model II olmak üzere temel

akışkanla katı parçacıkların eşit hızlarda ve ısı dengede olduğu, daha kısa zamanda sonuç alınabilen tek fazlı yaklaşımla yapılmıştır. İkinci olarak da katı faz ile sıvı faz arasındaki kayma hızını dikkate alan; Euler-Lagrange yaklaşımına dayanan ayrık faz, Euler-Euler yaklaşımına dayanan karışım ve Eulerian olmak üzere çift fazlı yaklaşımlardan üç farkı model kullanılmıştır. Çalışmada yapılan tek fazlı analizin ilk modeli homojen I için nanoakışkanın ısı iletkenliği ve viskozitesini belirlemede süspansiyonlar için önerilen ifadeler kullanılırken, homojen II için nanoakışkanlar için geliştirilmiş ifadeler kullanılmıştır. Ancak çalışma sonucunda bu ifadelerin farklı olması ısı performans için önemli bir fark ortaya koymamıştır. Tüm yaklaşımların deneysel çalışmalarla karşılaştırılması sonucunda nanoakışkanlar için en iyi modelin çift fazlı bir yaklaşım olan Eulerian olduğu belirtilmiştir. Karışık taşınım analizinde de homojen model I ile Eulerian modeli karşılaştırılarak yine nanoakışkanlar için en iyi sonuç veren modelin Eulerian olduğu belirtilmiştir. Isı transferi açısından Eulerian modelinin deneysel sonuçlarla düşük hacimsel fraksiyonlarda daha iyi sonuç verdiği yüksek hacimsel fraksiyonlarda ise deneysel sonuçlardan daha yüksek değerler verdiği belirtilmiştir. Nanoakışkanların hidrodinamik davranışı açısından ise her iki modelinde iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Ayrık faz modelinin ise deneysel verilerle tutumlu sonuçlar vermediği belirtilerek bu durumun sebebi olarak nanopartiküller için ayrık faz modelinin uygun olmadığı gösterilmiştir.

Al_2O_3 -su nanoakışkanının araştırıldığı bir diğer sayısal çalışma, Sert (2012) tarafından yapılmıştır. Çalışmada silindirik kanallarda nanoakışkanlarla zorlanmış taşınım ile ısı geçişi, farklı sınır koşullarında sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal modelleme homojen tek fazlı ve iki fazlı (karışım modeli) olarak iki farklı şekilde yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde Fortran programlama diliyle oluşturulan özgün kod sayesinde ısı transferi analizi yapılmıştır. İkinci kısımda ise Fluent ile bir Euler-Euler yaklaşımı olan iki fazlı karışım modeli kullanılarak farklı hacimsel oranlardaki (%1-%4) nanoakışkanların ısı transferi analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda karşılaştırma yapıldığında genel olarak tek fazlı model ile çift fazlı karışım modelin deneysel sonuçlarla tutarlı olduğu belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak fazlar arasındaki

kayma hızlarının iki fazlı karışım modelinde çok düşük çıkmasından kaynaklandığı belirtilerek, gelecek çalışmalarda Brownian difüzyonu vb. önemli etkileri hesaba dahil eden ayrık faz modeli kullanımının daha iyi olacağı belirtilmiştir. Çalışmada incelenen bir diğer konuya nanoakışkanlar için literatürde yer alan viskozite ve ısı iletim katsayısı modellerinin hangilerinin daha iyi sonuçlar verdiğidir. Bu nedenle ele alınan farklı modeller incelenerek deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında nanoakışkanlar için Brownian Hareketini dikkate alan Koo-Kleinstreuer ısı iletim katsayısı modelinin diğer modellere göre daha iyi değerler verdiği belirtilmiştir.

Bedir (2013), gerçekleştirmiş olduğu sayısal çalışmada %1 ile %4 arasında değişen hacimsel oranlardaki su- Al_2O_3 ve su-CuO nanoakışkanlarının sabit ısı akısı uygulanan yatay bir boruda türbülanslı zorlanmış akışını incelemiştir. Türbülanslı akış

için k-ε türbülans modeli ile ANSYS-Fluent 6.3 programıyla tek fazlı ve iki fazlı çözüm yapılmıştır. İki fazlı çözümde bir Euler-Euler yaklaşımı olan Mixture (karışım) modeli kullanılmıştır. Yapılan sayısal çalışmada nanoakışkanın termofiziksel özelliklerinden viskozite ve ısı iletim katsayısı için deneysel verilerden elde edilen denklemler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan nanoakışkanların hacimsel konsantrasyonundaki ve Re sayısındaki artışın, ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı hacimsel konsantrasyondaki (%4) CuO ile Al₂O₃ karşılaştırıldığında CuO’da ısı transferinde daha iyi bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Hacimsel oran %4 ve Re sayısı 20000 için ısı transfer katsayısındaki artış suya göre incelenerek; CuO için %31 ve Al₂O₃ için %21 olarak bulunmuştur. Tek faz ve iki fazlı Mixture (karışım) modelleri %1 hacim oranı için sıcaklık değerleri açısından karşılaştırıldığında bir biriyle örtüşen değerler verirken, %4 hacimsel oranı için iki model arasındaki farkın arttığı tespit edilmiştir.

Filiz (2017)’de yapmış olduğu çalışmada, Al₂O₃-su nanoakışkanı sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada dairesel kesite sahip bir boru içerisinde geçirilen nanoakışkana sabit ısı akısı uygulanmıştır. Dairesel kesitli boruda analiz laminar akış ve türbülanslı akış durumlarının her ikisi içinde yapılmıştır. Sayısal analiz ANSYS paket programında sadece tek fazlı incelenmeyerek iki fazlı durumu da ele alan Euler-Euler yaklaşımıyla da yapılmıştır. Euler-Euler yaklaşımını ele alan üç farklı model içerisinde bu çalışmada karışım ve Eulerian modelleri tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda deneysel ve sayısal veriler kıyaslandığında nanoakışkan özellik verileri deneysel korelasyonlarla hesaplandığında tek fazlı modelin deneysel verilere daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Her ikisinde Euler-Euler yaklaşımı içerisinde yer alan iki farklı çift fazlı sayısal çalışma incelendiğinde ise deneysel verilere yakınsama açısından kullanılan nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonlarının önemli olduğu anlaşılmıştır. Hacimsel konsantrasyonun fazla olduğu durum için karışım modeliyle daha iyi yakınsama sağlanırken, hacimsel konsantrasyonun az olduğu durum için Eulerian modelin daha iyi yakınsama sağladığı belirtilmiştir.

Gerçekleştirilen literatür taramasında farklı güneş kolektörü çeşitlerinde nanoakışkan kullanımının incelenmesine yönelik sayısal ve deneysel çalışmalar bulunduğu belirtilebilir. Bu çalışmalar nanoakışkanların hacimsel ve kütsel oranlarındaki, türlerindeki, güneş kolektörü üzerine gelen ısı akılarındaki ve güneş kolektörü eğim açısındaki değişikliklerin güneş kolektörü performansı üzerinde etkilerini incelemeye yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışmalar farklı yazılımlar kullanılarak gerçekleştirildikten sonra literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılıp doğruluğu değerlendirilmiştir.

Güneş kolektöründe verimi en çok çalışma akışkanına ısı geçişi etkilediği için bu tez çalışmasında güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe daha önce deneysel olarak incelenen su ve üç farklı nanoakışkan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent ile sayısal olarak incelenmiştir. Tezde ilk olarak oluşturulan sayısal model su ve nanoakışkan kullanılan durum için deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.

Sayısal modelin su ve üç farklı nanoakışkanın ısı analizinde gerçek sonuçlara ne kadar yakınsayabildiği araştırılmıştır. Ayrıca referans alınan deneysel çalışmada bulunmayan farklı parametrelerin araştırılması yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak giriş hızı, ısı akısı ve giriş sıcaklığındaki değişimin kolektör çıkış sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

Güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik çalışmaların bir çoğu deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda çeşitli nanoakışkanları, değişik parametreleri incelemek için çok fazla zamana ihtiyaç vardır ve bu da maliyetleri arttırmaktadır. Bu nedenle çalışma sanal olarak deney yapma imkanı sunan hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Konuyla ilgili yapılan literatür taramasında güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının sayısal olarak incelendiği çalışmalarda nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirli eşitliklerle tespit edildiği görülmüştür. Bu çalışmada ise daha önce deneysel çalışmalar ile tespit edilen nanoakışkan termofiziksel özellikleri kullanıldığı için bu yönüyle literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında daha önceden Özdemir (2019) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışma referans alınarak, güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe su ve üç farklı nanoakışkan kullanımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent ile sayısal olarak incelenmiştir. İlk olarak oluşturulan sayısal model su ve nanoakışkan kullanılan durum için deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Sayısal modelin su ve üç farklı nanoakışkanın ısı analizinde gerçek sonuçlara ne kadar yakınsayabildiği araştırıldıktan sonra deneysel çalışmadan farklı olarak giriş hızı, ısı akısı ve giriş sıcaklığındaki değişimin kolektör çıkış sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Analizi gerçekleştirilen güneş kolektörü doğal dolaşım ve kapalı devre sistemine sahiptir. Üzerine gelen ışınmı içerisindeki çalışma akışkanına aktararak akışkanın sıcaklığını yükselten doğal dolaşım sistemlerde pompa yer almamaktadır. Kapalı devreli güneş kolektörü sisteminde depo ve kolektörde dolaşan su farklıdır. Bu tip sistemler don tehlikesinin görülebileceği yerlerde daha çok tercih edilmektedir. Depo içerisinde yer alan serpantinden dolayı verimi açık devreli sistemlere göre daha düşüktür. Ancak kapalı devre güneş kolektörü içerisindeki çalışma akışkanı, kullanım suyuyla karışmadığı için çeşitli akışkanlar bu tip sistemlerde denenebilir. Bu nedenle bu tez çalışmasında güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının ısı performans etkileri incelenmiştir. Güneş kolektörü içerisindeki akışkan taşıyan boru ve yutucu plaka birlikte modellenerek kolektör borusu içerinden su ve üç farklı nanoakışkan geçirilmesiyle ısı transferindeki değişim gözlemlenmiştir. Nanoakışkanlar katı (nanopartikül) ve sıvı (temel akışkan) fazdan meydana gelen çift fazlı akışkan olmasına rağmen içerisindeki katı faz 100 nm’den küçük boyutta olduğu için tek fazlı akışkan olarak kabul edilebilmektedir. Bu kabul Pak and Cho (1998)’nin deneyleri ile gerçeklik göstermiştir (Xuan and Li 2003).

Nanoakışkanların hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile çözümünde temel akışkan ile nanopartikül arasındaki kayma hızının ihmal edildiği ve termodinamik dengede olduğu tez faz yaklaşımı kullanılmıştır. Nanoakışkanın tek faz olarak ele alındığı bu sayısal çalışmada süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sonlu hacimler yöntemine göre çözülmüştür. Bu denklemlerden kartezyen koordinatlarda süreklilik

denklemleri Eşitlik 3.1’de, momentum denklemleri x-bileşeni Eşitlik 3.2’de, momentum denklemleri y-bileşeni Eşitlik 3.3’de, momentum denklemleri z-bileşeni Eşitlik 3.4’de ve enerji denklemleri Eşitlik 3.5’de verilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3.3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.4)$$

$$\rho c_p \left(v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.5)$$

3.1. Modelleme ve Sayısal Çözüm

Ele alınan bir çalışma deneysel, teorik ve sayısal olarak gerçekleştirilebilir. Sayısal çalışmalarda sonlu hacimler yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi uygulanabilir. ANSYS-Fluent yazılımı kullanılan bu sayısal çalışmada ele alınan problemin çözümünde sonlu hacimler yöntemi kullanılmıştır. Sayısal çalışma ile elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak doğruluğu kanıtlanmıştır.

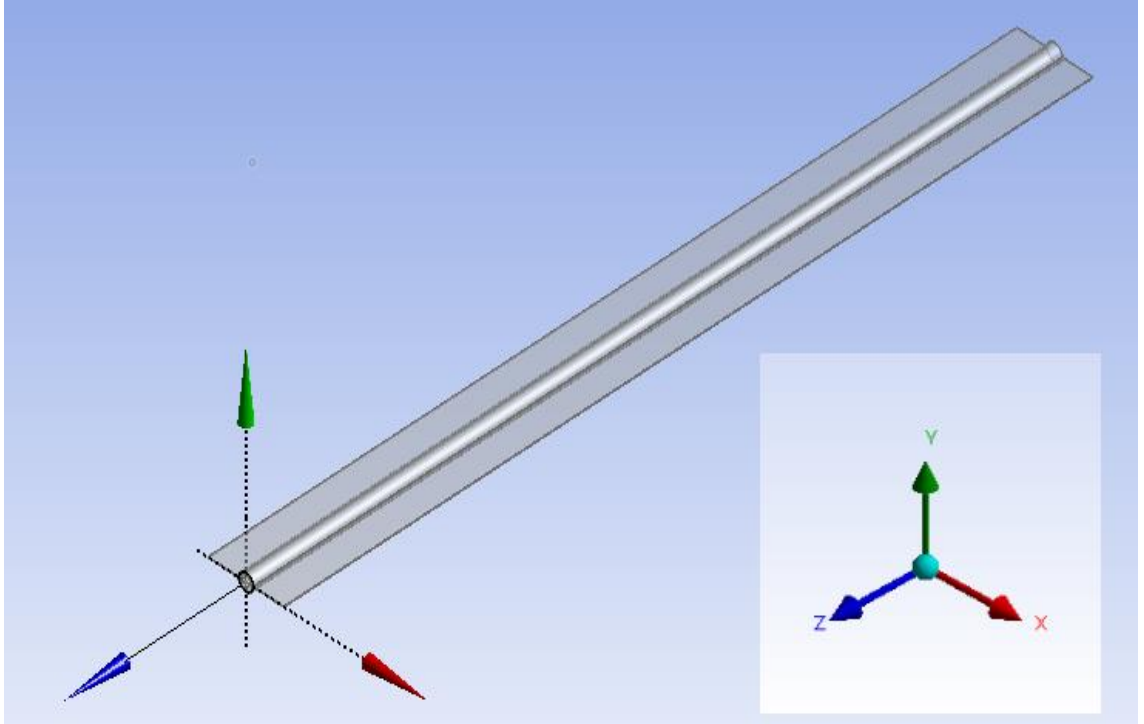
Sonlu hacimler yönteminde en önemli noktalardan biri ağ yapısı ve eleman sayısı olarak öne çıkmaktadır. Ağ yapısındaki eleman boyutlarını değiştirmek elde edilecek sonuçtaki hata oranını etkilemektedir. Ancak artan eleman sayısı belirli bir değerden sonra çözüm üzerinde önemli bir etkiye sahip olmayacak aksine çözüm için gerekli olan süreyi artıracaktır. Bu nedenlerden dolayı en ideal ağ yapısı ile sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. (Ünverdi 2016).

Sayısal çözümlemede ilk olarak, ele alınan probleme uygun bir model oluşturulur. Oluşturulan modele uygun ağ yapısı belirlenir. Ağ yapısı üç boyutlu çözümde hacimlerden meydana gelmektedir. Oluşturulan ağ yapısı için eleman sayısı

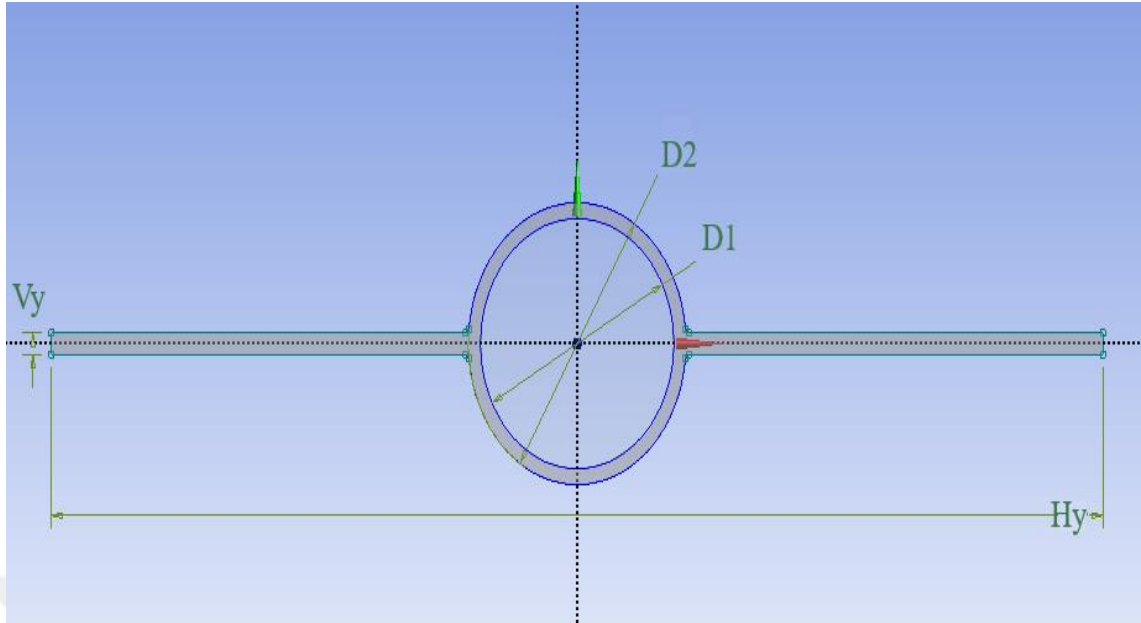
değiştiğinde sonuçların değişmediğini görmek amacıyla ağdan bağımsızlık çalışması yapılır. Gerçeğe yakın sınır şartları ve çözüm yöntemiyle sonuçlar elde edilir. Sayısal çözüm belirli bir hassasiyet içermektedir. Çözümün çok hassas olması istendiğinde çok iyi oluşturulmuş bir ağ yapısına ve ileri teknolojik donanımına sahip bilgisayara ihtiyaç vardır.

3.2. Sayısal Model

Sayısal çalışmanın ilk adımı ele alınan problemi gerçeğe en yakın şekilde modellemektir. Bunun için Özdemir (2019)'e ait deneysel çalışmaya en uygun şekilde modelleme yapılmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere güneş kolektöründe içerisinden akışkan geçen boru ve yutucu plaka birlikte modellenmiştir. Boru ve yutucu plaka malzemesi alüminyumdur. Şekil 3.2'de yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen boruya ait geometri verilmiştir. Bu geometri üzerinde sembollerle gösterilen büyüklüklerin sayısal değeri ve açıklamaları Çizelgede 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen borunun sayısal modeli



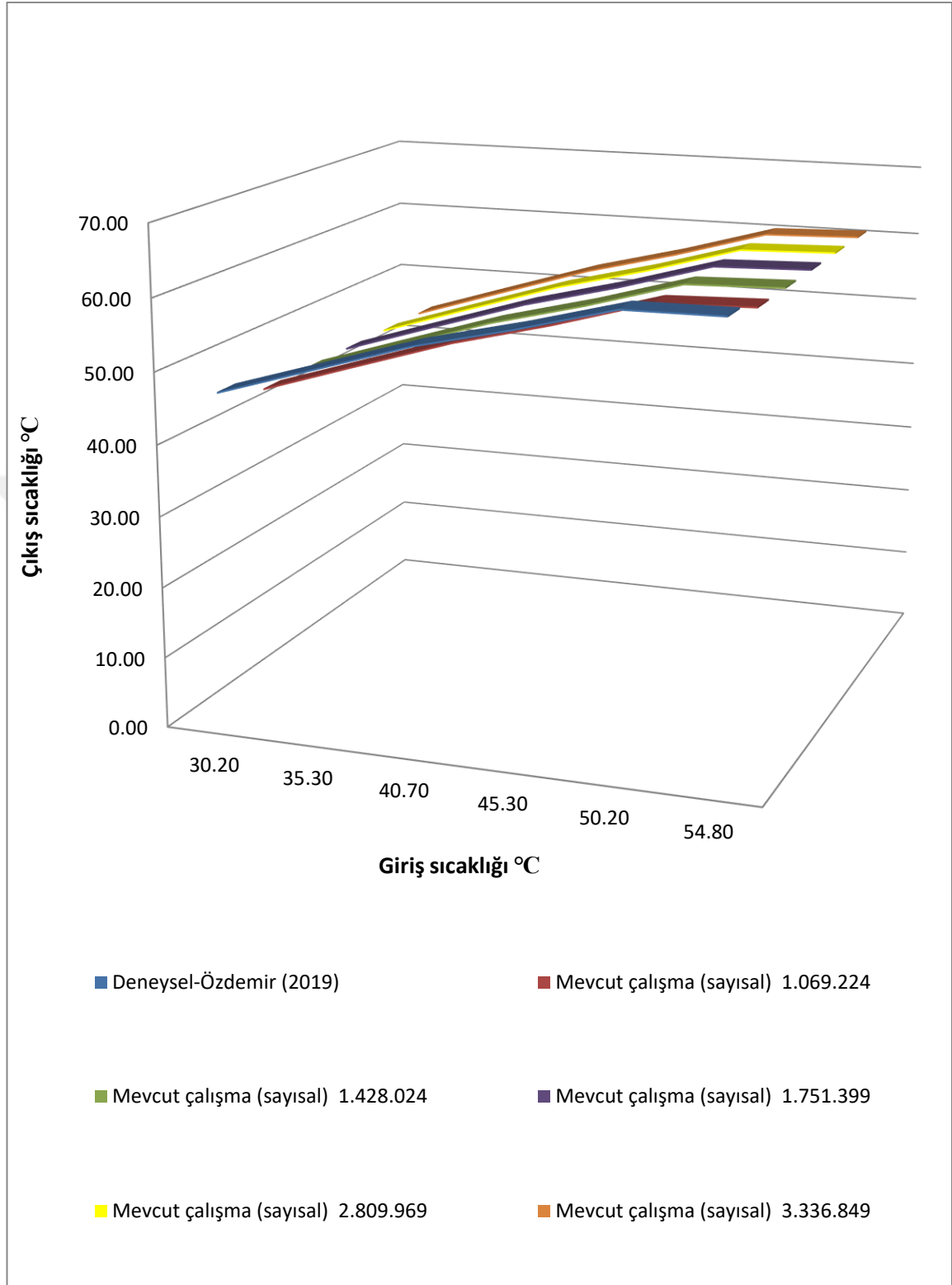
Şekil 3.2. Geometriye ait açıklamalar

Çizelge 3.1. Sayısal çalışmada kullanılan geometriye ait boyutlar

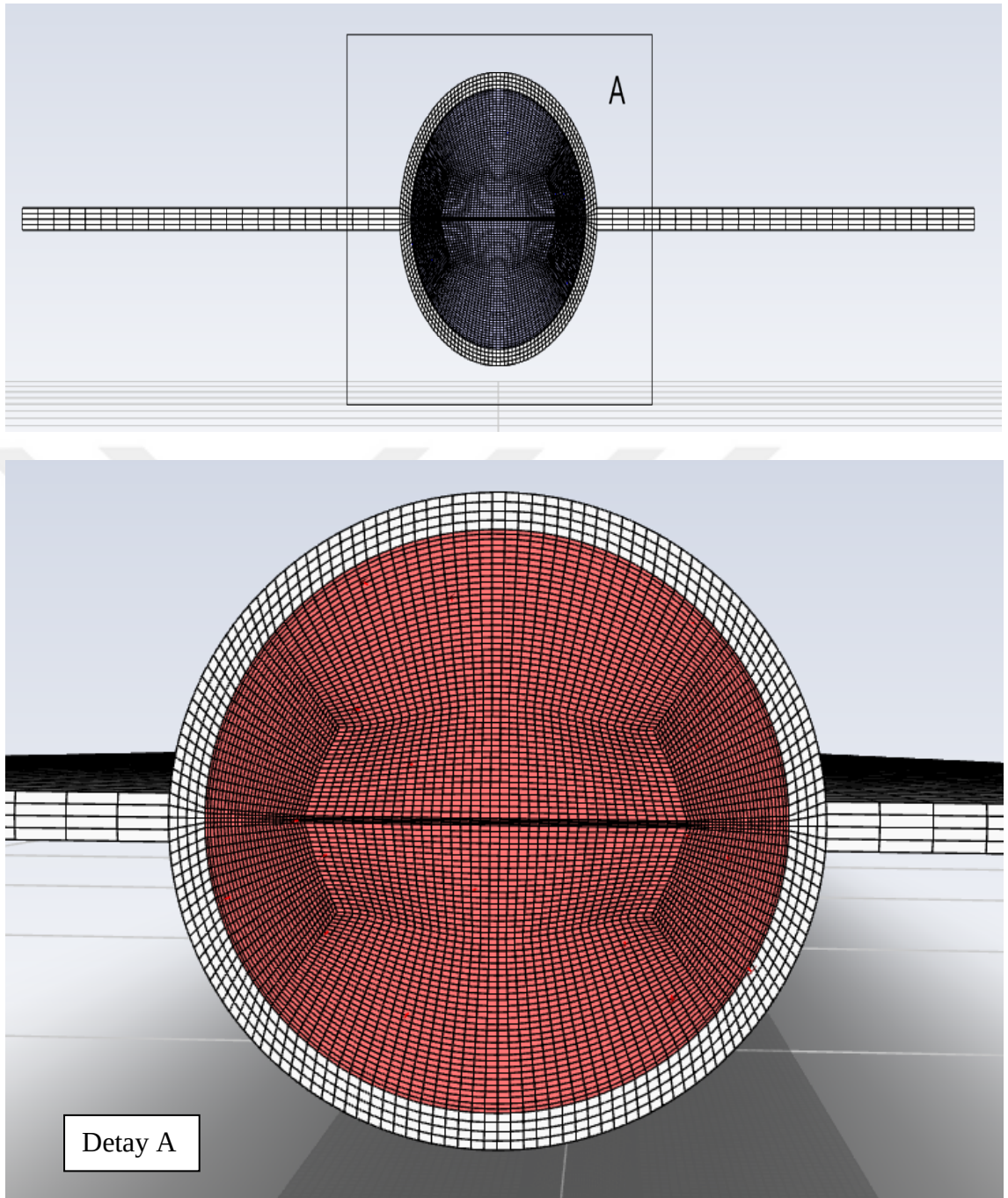
Açıklama	Uzunluk (mm)
Borunun iç çapı (D1)	14.2
Borunun dış çapı (D2)	16
Borunun boyu	825
Yutucu plaka kalınlığı (Vy)	1.2
Yutucu plakanın boyu	825
Buru ve yutucu plakanın toplam genişliği (Hy)	77.2

3.3. Ağ Yapısı ve Ağdan Bağımsızlık

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde çözümün büyük oranda bağlı olduğu ağ yapısı önem arz etmektedir. Sonuçların doğruluğu üzerinde etkisi yüksek olduğu için sayısal çalışmalarda ağ yapısı oluşturulurken büyük zaman harcanmaktadır. Ağ yapısı oluşturma bir aralığı küçük elemanlara bölme işlemi olarak açıklanabilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde analiz süreleri uzun olduğu için mümkün olan en az sayıda elemanla doğru ağ yapısı oluşturmak çözüme ulaşmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca sonuçların değişen eleman sayısından bağımsız olması gerektiği için eleman sayısı en az yüzde yirmi oranında artırılarak ağdan bağımsızlık kontrol edilmelidir. Buradaki amaç eleman sayısı değiştiğinde sonuçların etkilenmediğini gösterebilmektir. Sayısal çalışmada farklı eleman sayıları için analizler gerçekleştirilerek ağdan bağımsızlık kontrol edilmiştir. Böylece en ideal ağ yapısı ile sonuçlar elde edilmiştir. Düzgün sayısal ağ oluşturabilmek amacıyla elde edilen verilerin geçişinde sıçramayı en aza indiren hexagon şeklinde geometriye sahip hexa eleman kullanılarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Böylece difüzyon ve kesme hataları en aza indirilerek çözüm daha az sayıda eleman ile gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısı oluşturulduktan sonra ağdan bağımsızlığı incelemek amacıyla 5 farklı eleman sayısına sahip model oluşturulmuştur. Bu modeller sırasıyla 1.069.224, 1.428.024, 1.751.399, 2.809.969, 3.336.849 eleman sayısına sahiptir. Temel akışkan için bu eleman sayılarına sahip modellerle elde edilen güneş kolektörü sayısal çıkış sıcaklığı değerleri ve referans alınan Özdemir (2019)'e ait deneysel çalışmadan elde edilmiş olan çıkış sıcaklığı değerleri Şekil 3.3'de verilmiştir. En düşük eleman sayısına sahip model ile deneysel verilerle tutarlı sonuçlar edilebilir. Ancak parametre değişimine bağlı olarak ortaya çıkabilecek yakınsama problemlerini engellemek amacıyla en az eleman sayısının bir üstünü kullanarak güvenli bir alanda sonuçların elde edilmesi önemlidir. Bu nedenle deneysel çalışmadaki sınır şartları kullanılarak elde edilen sayısal çalışma sonuçlarına göre en uygun eleman sayısı 1.428.024 olduğundan sayısal çalışma bu modelle gerçekleştirilmiştir. Bu eleman sayısından sonra sonuçlar kayda değer şekilde değişmemekle birlikte analiz süresi artmaktadır. Sayısal modelin ağ yapısı Şekil 3.4'de verilmiştir.



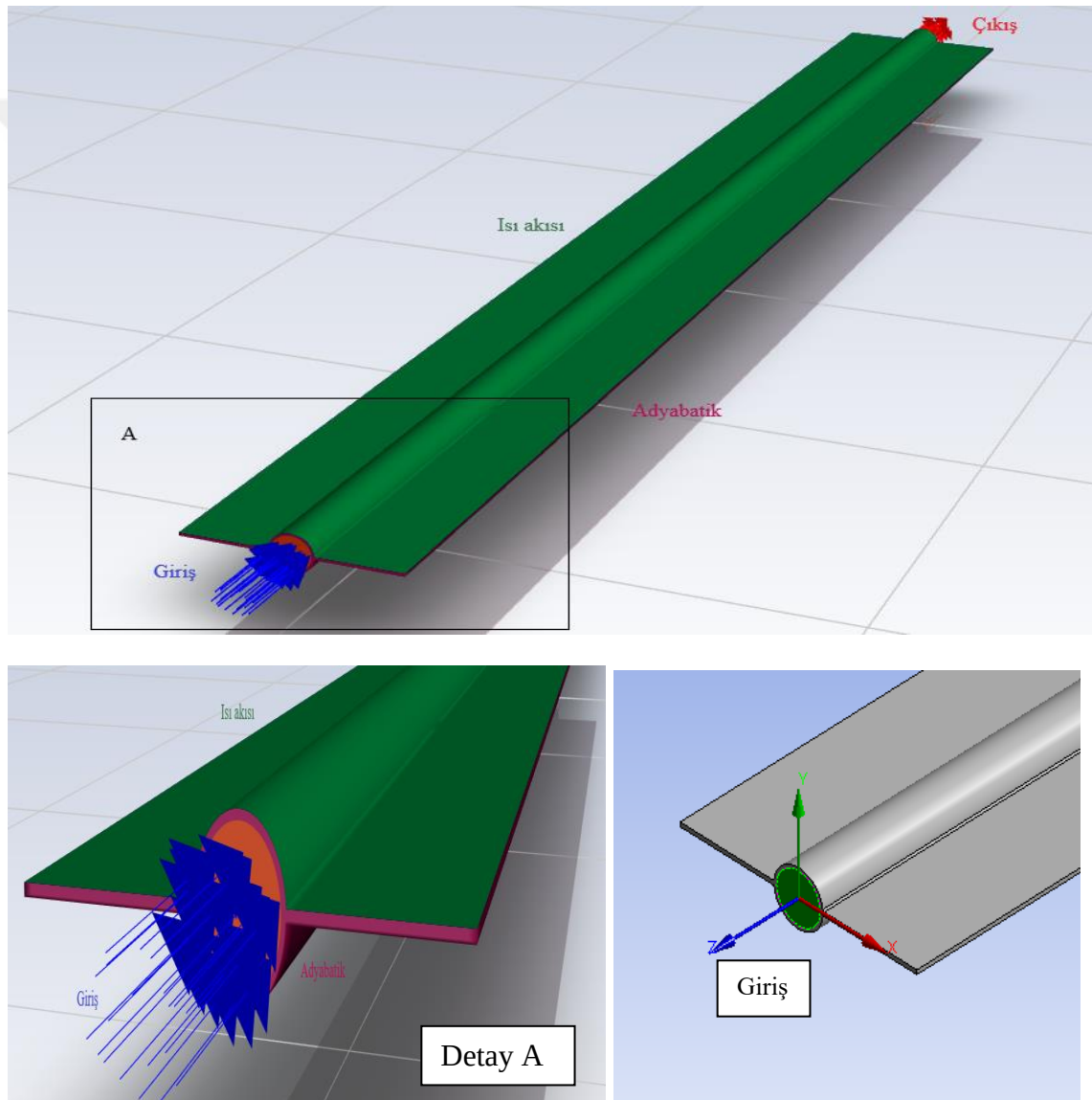
Şekil 3.3. Temel akışkanın farklı eleman sayıları için kolektörden sayısal çıkış sıcaklığı değerlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 3.4. Sayısal çalışmaya ait ağ yapısı

3.4. Sınır Şartları

Süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözülebilmesi için başlangıç ve sınır şartlarının programa girilmesi gerekmektedir. Ağ yapısı oluşturulduktan sonra sınır ve başlangıç şartlarını programa girebilmek için yüzeylere ve hacimlere belirli tanımlamalar yapılmıştır ve Şekil 3.5’de bu tanımlamalar belirtilmiştir. Sayısal çalışmada gerçeğe en yakın sınır şartları Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi kullanılmıştır. Giriş sınır şartı olarak akışkana hız ve sıcaklık değeri verilmiş, çıkışta ise akışkanın tamamının tek bir yerden çıktığı belirtilmiştir. Sayısal modelin üst yüzeyinden ısı akısı sınır şartı uygulanmıştır. Diğer yüzeylerin ise adyabatik olduğu belirtilmiştir. Güneş kolektörü eğim açısı 35° olduğu için yerçekimi bu doğrultuda modele dahil edilmiştir.



Şekil 3.5. Sayısal çalışmada kullanılan sınır şartları

Çizelge 3.2. Sayısal çalışmada kullanılan sınır şartları ve açıklamaları

Sınır Şartları	
Giriş	Hız ve sıcaklık
Çıkış	Outflow
Cidarlar	Kaymama koşulu (no slip condition)
Üst yüzey	Isı akısı
Alt yüzey	Adyabatik

3.5. Boussinesq Yaklaşımı ve Çözüm

Dış enerji kaynağı olmadan sıcaklığa bağlı olarak akışkanın yoğunluğunda meydana gelen değişiklikler ortaya çıkan kaldırma veya indirme kuvveti sonucu akışkanın hareket etmesi doğal taşınım olarak adlandırılır. Yoğunluk farkından dolayı oluşan kaldırma kuvveti, yerçekimi kuvvetini yendiği zaman akışkan yukarı yönde hareket eder. Bu tür akışlar ANSYS-Fluent'te yer alan Boussinesq yaklaşımıyla ile çözülebilir. Çalışmada kullanılan güneş kolektörü doğal dolaşimli olduğu için akışkanın zamanla değişen yoğunluğunu göz önüne alan Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım yoğunluk farkıyla oluşan kaldırma kuvvetiyle ilişkili olup yoğunluk sıcaklığın fonksiyonu olarak ele alındığından daha hızlı yakınsama sağlanmaktadır. Boussinesq yaklaşımında yoğunluktaki değişim Eşitlik 3.6 ile ifade edilmiş olup, ρ akışkanın son ρ_0 ise akışkanın ilk yoğunluğudur (Gökselkınan 2015).

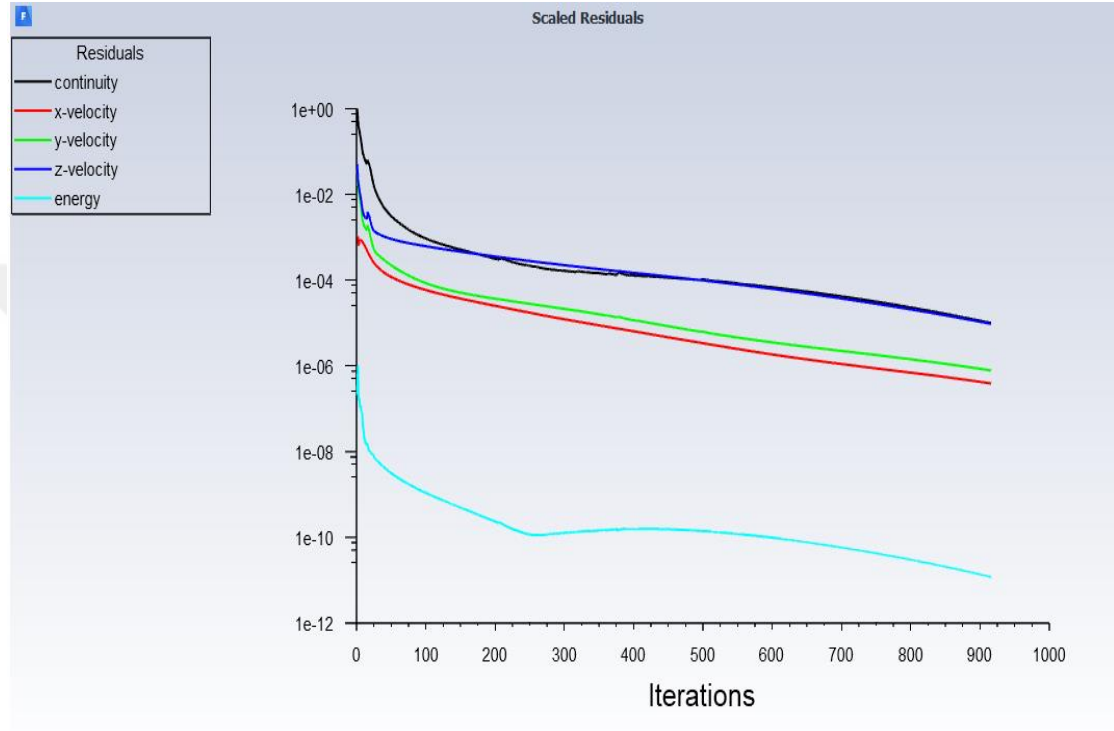
$$(\rho - \rho_0)g \approx -\rho_0\beta(T - T_0)g \quad (3.6)$$

Sayısal çalışma sonlu hacimler yöntemini kullanan ve bir hesaplama akışkanlar dinamiği yazılımı olarak dünyada çok tercih edilen ANSYS Fluent ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma nanoakışkanların tek faz kabülüyle gerçekleştirilmiştir. Akış sıkıştırılmaz kabul edildiği için bu denklemler sürekli şartlarda Pressure Based (basınç bazlı) çözücünde ayrıklaştırma şemaları kullanılarak çözülmüştür.

Enerji denklemi ve laminar model aktifleştirilmiştir. Malzemeler kısmında kullanılan akışkanların termofiziksel özellikleri; sınır şartları kısmında ise gerçeğe en yakın şekilde sınır şartları programa girilmiştir. Yerçekimi modele 35 ° eğim açısında dahil edilmiştir. Sayısal çalışmada basınç-hız ilişkilendirmesinde Simplec (Basınç Bağlantılı Denklemler için Tutarlı Yarı İmplicit Yöntem) algoritması, basınç için Presto, momentum ve enerji denklemleri için Second Order Upwind şeması kullanılmıştır. Şekil 3.6'da verildiği gibi yakınsama kriterleri süreklilik ve momentum

denklemleri için 10^{-5} enerji denklemi içinse 10^{-7} olarak belirtilmiştir. Deneysel çalışmadaki malzemelerin termofiziksel özellikleri girilerek analizler 8 adet paralel işlemci kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ANSYS-Fluent yazılımı ile sonuçlar elde edildikten sonra akışkanların ortalama ısı taşınım katsayıları Eşitlik 3.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$Q_f = hA(T_p - T_f) \quad (3.7)$$



Şekil 3.6. Sayısal çalışmada kullanılan yakınsama kriterleri

3.6. Analizlerde Kullanılan Akışkanlar

Güneş kolektörlerinde genellikle çalışma akışkanı olarak saf su kullanılmaktadır. Bu çalışmada doğal dolaşimli kapalı devre güneş kolektörü sisteminde saf su yerine nanoakışkan kullanımıyla ısı performansının hangi yönde değiştiği incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak doğal dolaşimli güneş kolektöründe kullanılan nanoakışkanlar Çizelge 3.3'de belirtilmiştir. Sayısal analizde kullanılan nanoakışkanlara ait termofiziksel özellikler Özdemir (2019)'dan alınmıştır. Özdemir (2019)'da nanoakışkanlar hazırlanırken katkı maddesi ve yüzey etken madde kullanılmadığı belirtilmektedir. Çizelge 3.3'de üç nanoakışkanın özelliklerini iyileştirmek üzere çekirdek-kabuk yapıdaki nanopartiküllerin temel akışkan olarak su içerisine ilave edilmesiyle oluşturulduğu görülmektedir. Tüm nanoakışkanlar kütlece % 2 konsantrasyona sahiptir. Nanoakışkanların tanımlandığı kısaltmalar Çizelge 3.3'de belirtilmiştir (Özdemir 2019).

Çizelge 3.3. Sayısal çalışmada kullanılan nanoakışkanların açıklamaları

Nanopartikül	Temel Akışkan	Kısaltma	Φ_m	Φ_v
TiO ₂ çekirdek SiO ₂ kabuk	H ₂ O	NA1	%2	%1.033
Fe ₃ O ₄ çekirdek SiO ₂ kabuk	H ₂ O	NA2	%2	%0.458
ZnO çekirdek SiO ₂ kabuk	H ₂ O	NA3	%2	%0.994

Özdemir (2019)'da hazırlanan nanoakışkanlar için aşağıdaki bilgiler sunulmuştur;

TiO₂-SiO₂, Fe₃O₄-SiO₂ ve ZnO-SiO₂ çekirdek-kabuk nanopartiküllerin sentezinde sol-jel reaksiyonları temeline dayanan “reflux ve hidrotermal yöntem” kullanıldığı belirtilmektedir. İncelenen farklı çalışmalarda termofiziksel özelliklerin belirli eşitliklerle hesaplandığı görülmüştür. Ancak nanoakışkanlar için termofiziksel özellikleri belirlemede en hassas yöntem deneysel olarak tespit etmektir. Bu nedenle sayısal çalışmada kullanılan üç farklı nanoakışkanın termofiziksel özellikleri sıcaklığa bağlı olarak deneysel yöntemlerle ölçüldüğü belirtilmiştir. Sayısal çalışmada kullanılan üç farklı nanopartikülün yoğunluk değerleri ODTÜ Ar-Ge Eğitim ve Ölçme Merkezi'nde yer alan “Quanto Krom Ultra Piknometresinde”, özgül ısı değerleri farklı sıcaklık değerleri için Dumlupınar Üniversitesi İLTEM'de bulunan “Setaram marka LABSYS Evo model TGA (Cp rodu aksesuarlı)” cihazında elde edildiği belirtilmiştir.

Nanoakışkanların yoğunluk değerleri hesaplanırken temel akışkan ve nanopartiküllerin yoğunluklarından oluşan ve Eşitlik 3.8 ile verilen bağıntı kullanıldığı belirtilmiştir. (Pak ve Cho 1998). Nanoakışkanların özgül ısı değerleri hesaplanırken ise Xuan ve Roetzel (2000) tarafından oluşturulan ve Eşitlik 3.9'de yer alan ifadeden yararlanıldığı belirtilmiştir.

$$\rho_{na} = \rho_p \Phi_v + (1 - \Phi_v) \rho_{ta} \quad (3.8)$$

$$c_{p,na} = \frac{\rho_p \Phi_v c_{p,p} + (1 - \Phi_v) \rho_{ta} c_{p,ta}}{\rho_{na}} \quad (3.9)$$

Nanoakışkanların farklı sıcaklık değerleri için dinamik viskozitelerinin AÜ Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde bulunan “Fungilab Alpha model Viskozimetre” ile ölçüldüğü belirtilmiştir. TiO₂-SiO₂, Fe₃O₄-SiO₂ ve ZnO-SiO₂ nanoakışkanlarının ısı iletim katsayısı tespiti 25°C sabit sıcaklıkta CTherm, TCi Termal İletkenlik cihazında kullanılarak ölçüldüğü görülmektedir.

Akışkanlara ait ısı iletim katsayısı değerleri Çizelge 3.4’de belirtilmiştir. Sayısal çalışmada kullanılan nanoakışkanlardan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) için termofiziksel özellikler Çizelge 3.5’de, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) için termofiziksel özellikler Çizelge 3.6’de, ZnO-SiO_2 (NA3) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler Çizelge 3.7’de ve sunulmuştur. Su ile yapılan analizlerde kullanılan termofiziksel özellikler Çizelge 3.8’de belirtilmiştir (Özdemir 2019).

Çizelge 3.4. Akışkanların 25 °C’de ısı iletim katsayısı (Özdemir 2019)

Nanoakışkan	Isı İletim Katsayısı (k) [W/mK]
Su	0.6165
NA1	0.6055
NA2	0.6320
NA3	0.6185

Çizelge 3.5. $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler (Özdemir 2019)

T [K]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	μ [kg/ms]
313.15	1025.6600	4033.37000	0.00124000
317.00	1022.1642	4033.64335	0.00119765
318.65	1020.6660	4033.76050	0.00117950
320.95	1018.5776	4033.92380	0.00115420
323.15	1016.5800	4034.08000	0.00113000
323.80	1016.5904	4034.31205	0.00112740
327.15	1016.6440	4035.50800	0.00111400
329.75	1016.6856	4036.43620	0.00110360
333.15	1016.7400	4037.65000	0.00109000

Çizelge 3.6. Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler

(Özdemir 2019)

T [K]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	μ [kg/ms]
313.15	1011.3500	4110.63000	0.00124000
313.60	1010.9341	4110.69552	0.00123591
317.70	1007.1913	4111.28520	0.00119905
322.50	1002.8041	4111.97640	0.00155850
323.15	1002.2100	4112.07000	0.00115000
325.62	1002.2495	4112.96414	0.00111789
329.09	1002.3051	4114.22209	0.00107272
331.03	1002.3360	4114.92256	0.00104756
333.15	1002.370	4115.69000	0.00102000

Çizelge 3.7. ZnO-SiO₂ (NA3) nanoakışkanı için termofiziksel özellikler

(Özdemir 2019)

T [K]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	μ [kg/ms]
313.15	1047.8800	4109.80000	0.00124000
313.35	1047.6964	4109.82060	0.00123940
317.35	1044.0244	4110.23260	0.00122740
322.10	1039.6639	4110.72185	0.00121315
323.15	1038.7000	4110.83000	0.00121000
325.17	1038.7323	4111.55518	0.00119788
326.20	1038.7488	4111.92495	0.00119170
330.63	1038.8196	4113.51532	0.00116512
333.15	1038.8600	4114.42000	0.00115000

Çizelge 3.8. Su için termofiziksel özellikler (Özdemir 2019)

T [K]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kgK]	μ [kg/ms]
314.15	991.4230	4178.83000	0.00064188
315.50	990.9000	4179.10000	0.00062560
317.20	990.2200	4179.44000	0.00060724
318.60	989.6600	4179.72000	0.00059212
318.65	989.6400	4179.73000	0.00059158
320.00	989.1000	4180.00000	0.00057700
323.15	987.9030	4181.26000	0.00054613
323.30	987.8460	4181.32000	0.00054466
326.95	986.0690	4182.78000	0.00051279
327.05	986.0110	4182.82000	0.00051201
327.30	985.8660	4182.92000	0.00051006
328.35	985.2570	4183.34000	0.00050187
330.15	984.2400	4184.06000	0.00048792
330.95	983.9200	4184.38000	0.00048216
332.90	983.1400	4185.16000	0.00046812
334.80	982.3800	4185.92000	0.00045444

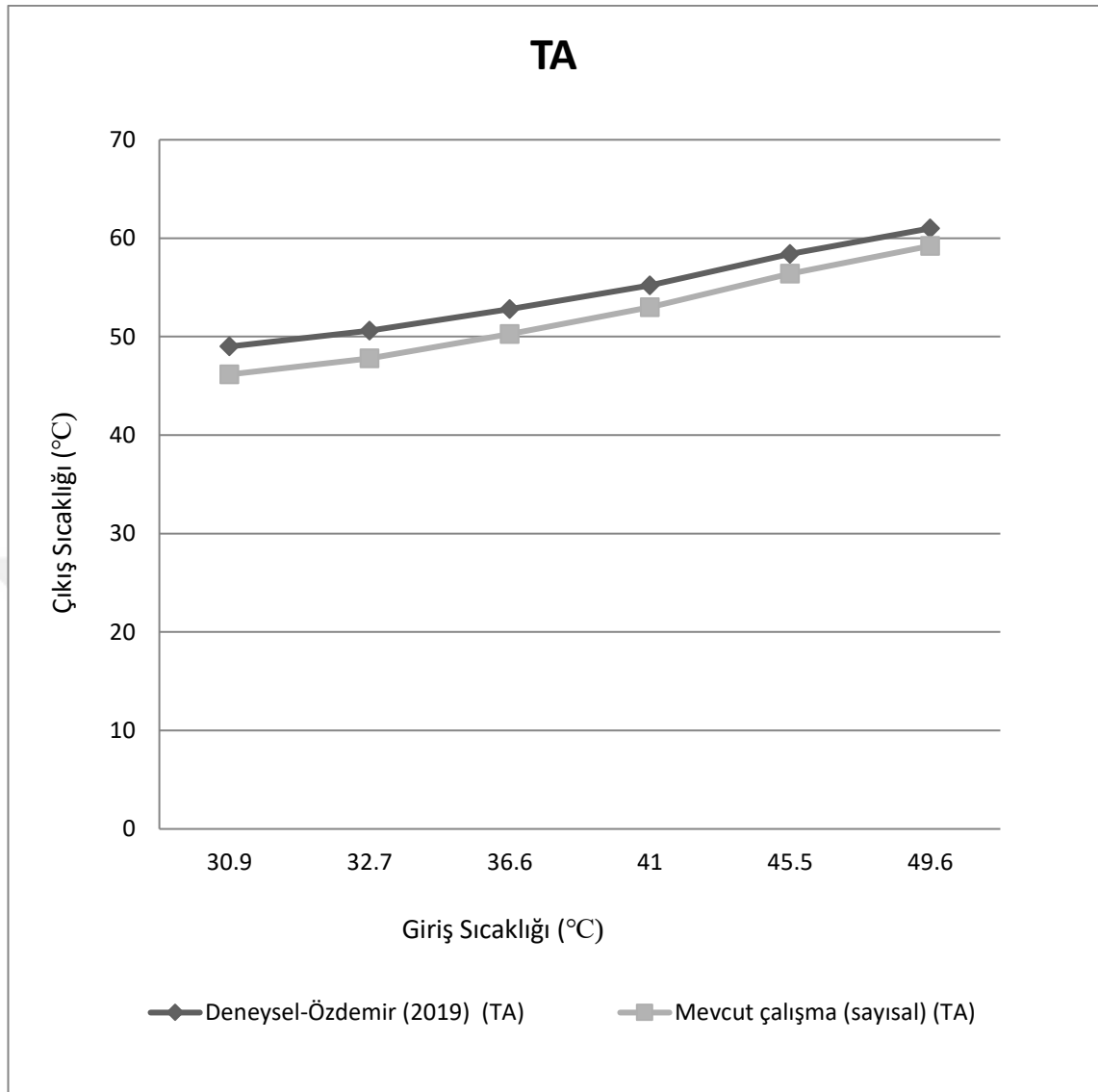
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sayısal Analizin Doğrulanması

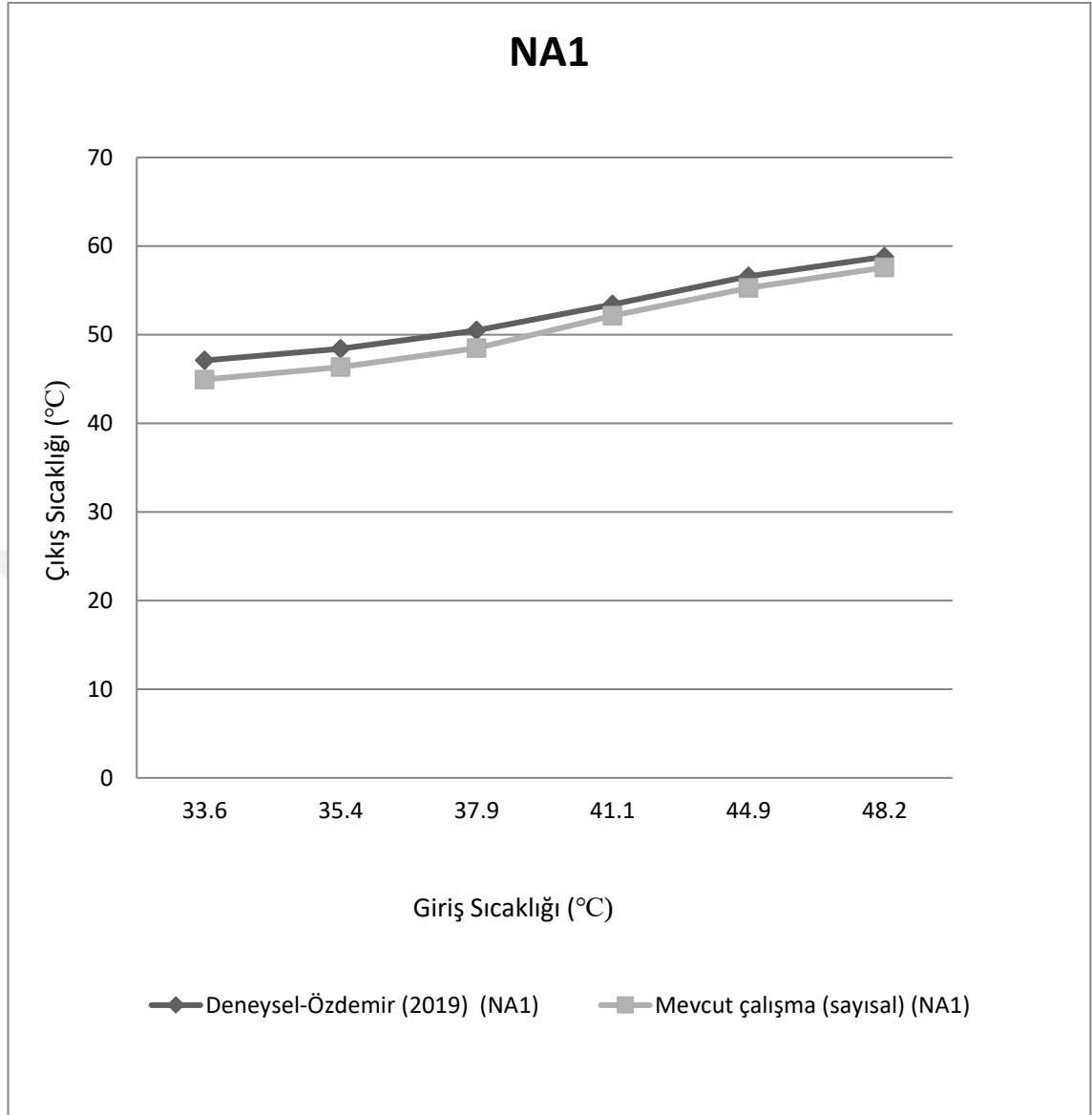
Sayısal çalışmaların doğruluğu ancak deneysel bir çalışmayla elde edilen veriler ile kanıtlanabilir. Bu nedenle sayısal çalışma Özdemir (2019)'un yapmış olduğu deneysel çalışma ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Referans alınan deneysel çalışmada boyut ve kullanılan malzeme açısından eşdeğer iki güneş kolektöründe nanoakışkan kullanımının etkileri incelenmiştir.

Sayısal analizin doğrulanmasında güneş kolektörü üzerine ortalama 400 W/m^2 ısı akısı değeri uygulanmış olup her giriş sıcaklığında elde edilen kolektör çıkış sıcaklığı değerleri tüm akışkanlar için grafik şeklinde sunulmuştur. Grafiklerde akışkanlar Çizelge 3.3'de yer alan kısaltmalarıyla belirtilmiştir.

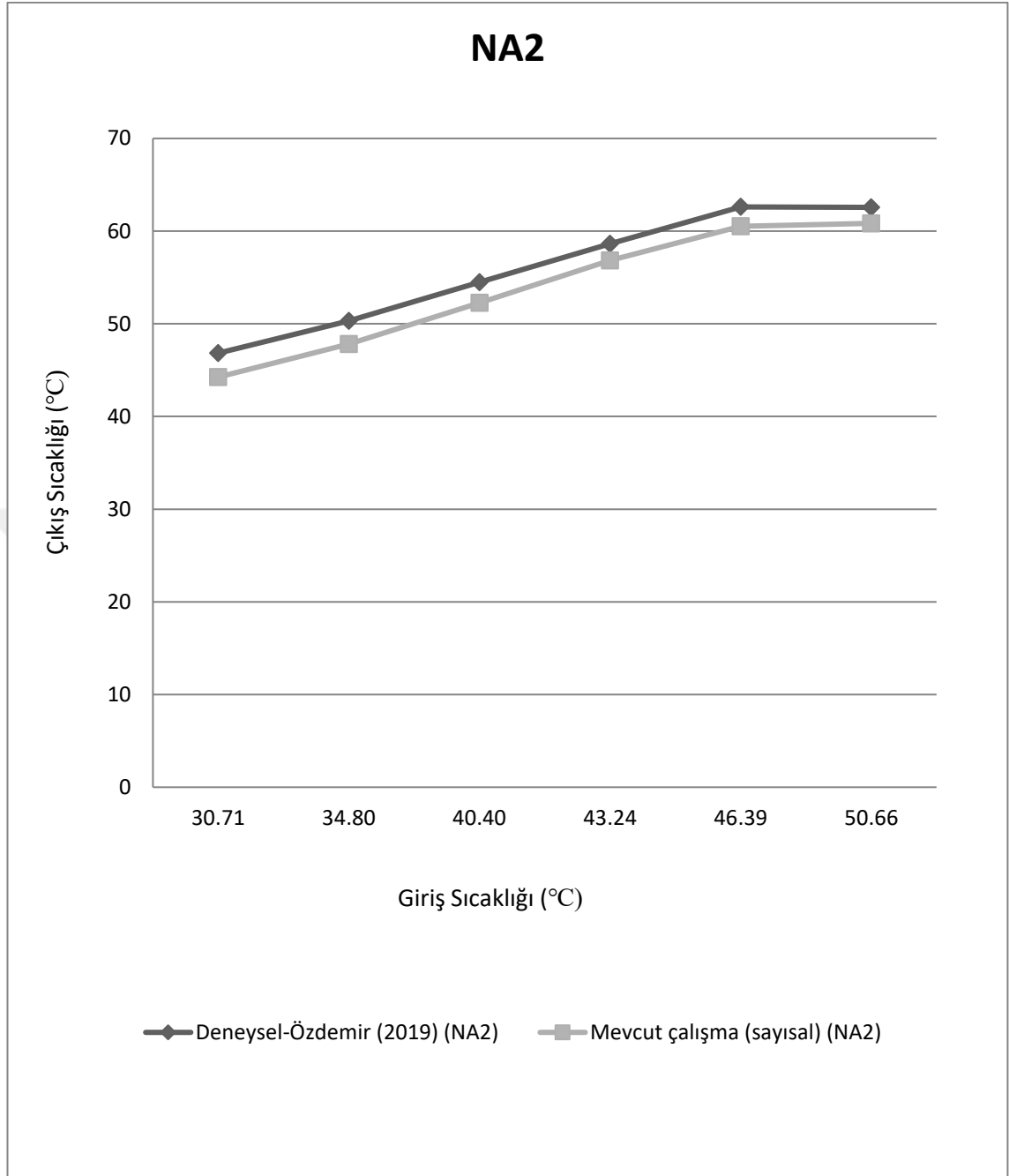
Şekil 4.1'de su, Şekil 4.2'de $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1), Şekil 4.3 'de $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve Şekil 4.4'de ZnO-SiO_2 (NA3) nanoakışkanlarının sayısal analizi ile kolektör giriş sıcaklığına göre elde edilen kolektör çıkış sıcaklığı değerleri Özdemir (2019)'un yapmış olduğu deneysel çalışma ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Elde edilen sayısal sonuçlar incelendiğinde kolektör çıkış sıcaklıklarının su için %4.34, $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) nanoakışkanı için %3.16, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) nanoakışkanı için %3.84 ve ZnO-SiO_2 (NA3) nanoakışkanı için % 3.81 hata ile deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.



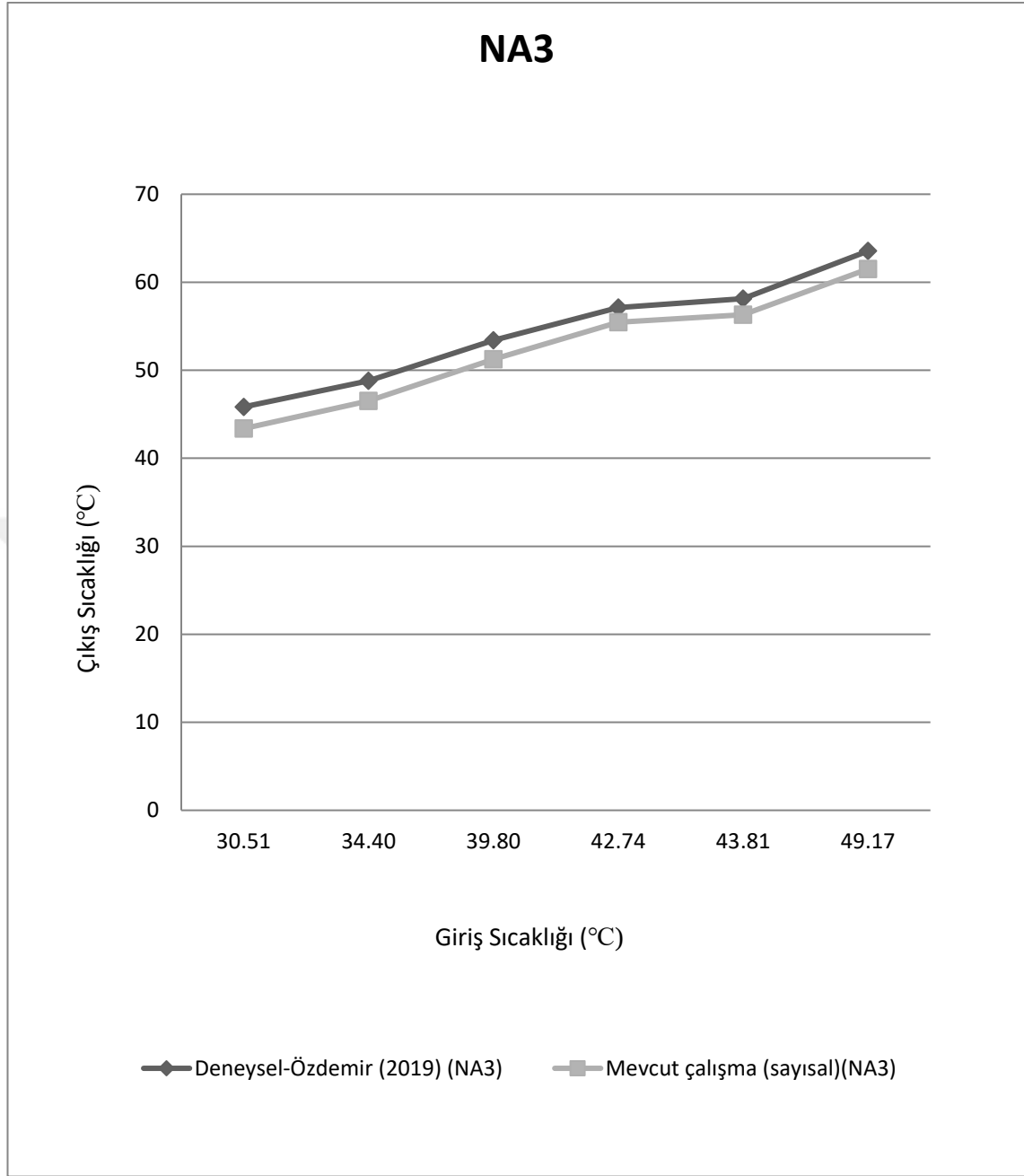
Şekil 4.1. Su için kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi



Şekil 4.2. $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) için kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi



Şekil 4.3. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) için kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi



Şekil 4.4. ZnO-SiO₂ (NA3) için kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör deneysel ve sayısal çıkış sıcaklığı değişimi

Sayısal çalışmadan elde edilen ısı taşınım katsayısı değerleri ve Özdemir (2019)'un yapmış olduğu deneysel çalışmadan elde edilmiş olan ortalama boru içi ısı taşınım katsayısı değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Nanoakışkan olarak TiO₂-SiO₂ (NA1)'in kullanıldığı durum için deneysel çalışmada ısı taşınım katsayısı suya göre % 4.13 daha düşük tespit edilirken sayısal sonuçlarda %3.48 daha düşük bulunmuştur. Nanoakışkan olarak Fe₃O₄-SiO₂ (NA2)'in kullanıldığı durum için deneysel çalışmada ısı taşınım katsayısı suya göre %8,60 daha yüksek tespit edilirken sayısal sonuçlarda %9.84 daha yüksek bulunmuştur. Nanoakışkan olarak ZnO-SiO₂ (NA3)'in kullanıldığı

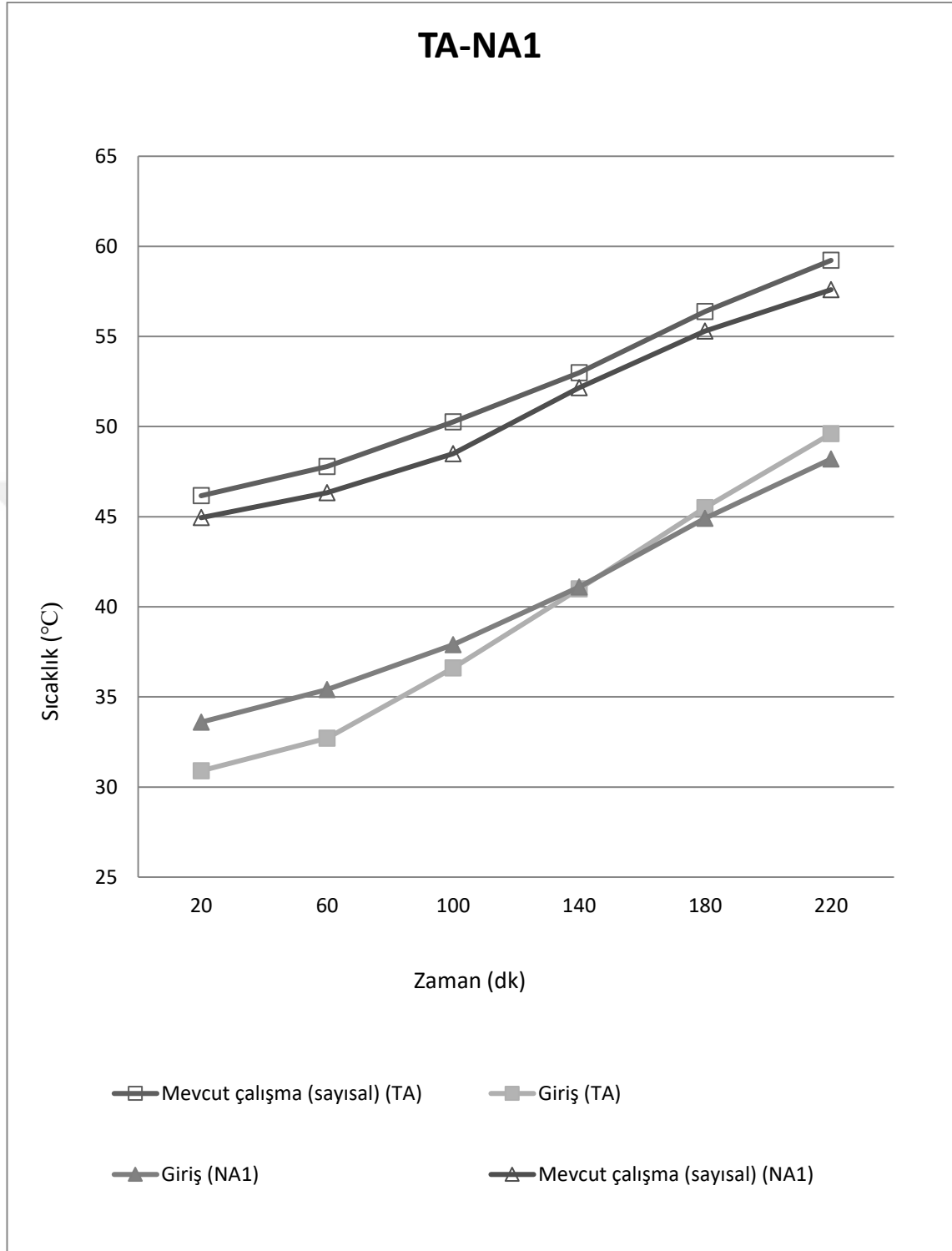
durum için deneysel çalışmada ısı taşınım katsayısı suya göre %3.07 daha yüksek tespit edilirken sayısal sonuçlarda %3.25 daha yüksek bulunmuştur. Isı taşınım katsayısı değerleri deneysel ve sayısal olarak karşılaştırıldığında temel akışkan için sayısal sonuçların ortalama %4.82 hata ile deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Nanoakışkanlar için ısı taşınım katsayısı değerleri deneysel ve sayısal olarak karşılaştırıldığında $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) için %4.69 hata, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) için %3.64 hata ve ZnO-SiO_2 (NA3) için %4.21 hata ile deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1. Su ve nanoakışkanlara ait ısı taşınım katsayısı değerleri

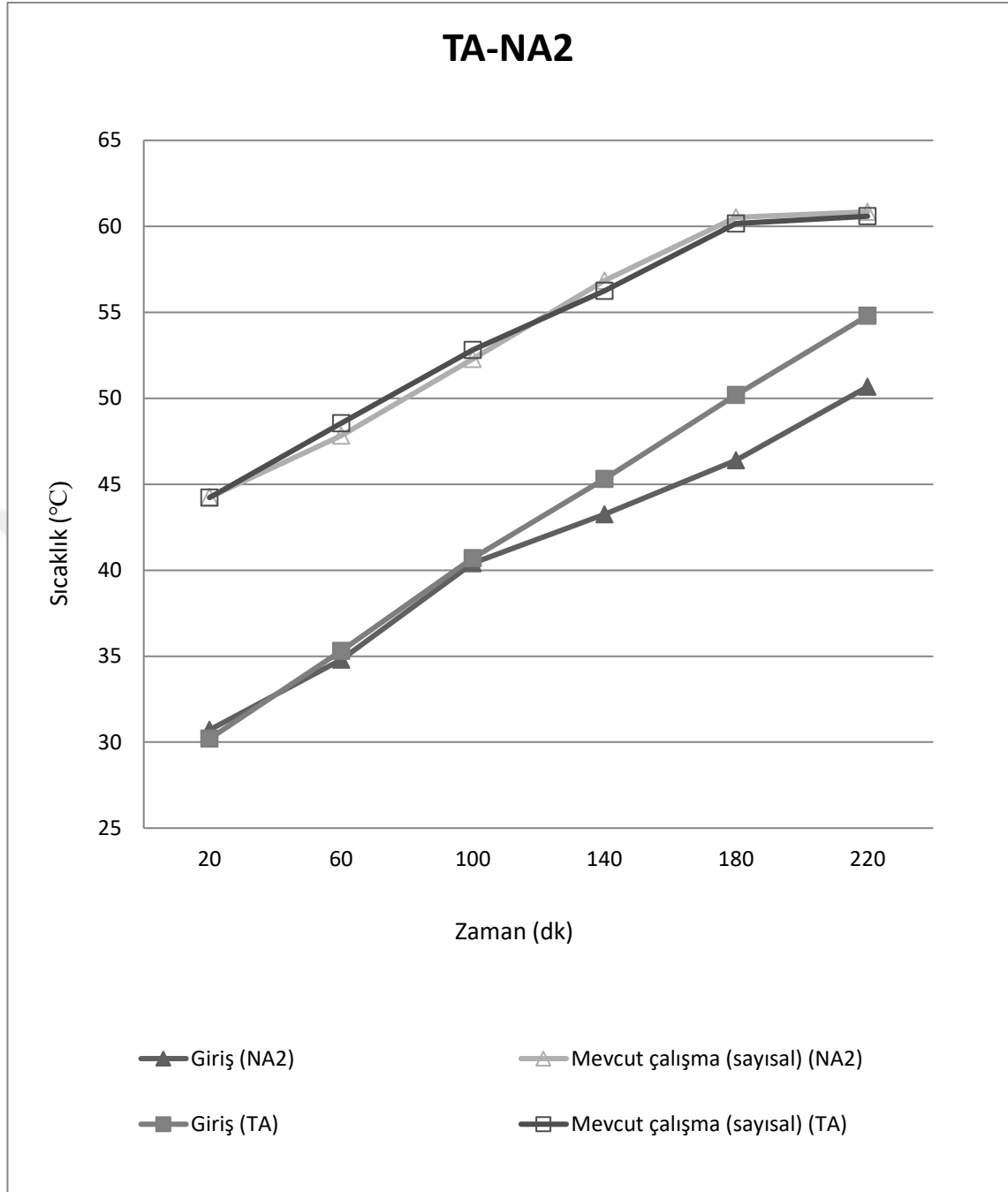
<i>Akışkan</i>	<i>Deneysel ısı taşınım katsayısı h [W/m²K] Özdemir (2019)</i>	<i>Sayısal ısı taşınım katsayısı h [W/m²K] Mevcut çalışma (sayısal)</i>
TA	101.821	96.394
NA1	97.620	93.039
TA	101.675	96.852
NA2	110.414	106.398
TA	101.455	97.002
NA3	104.566	100.163

4.2. Sayısal Analiz Bulguları

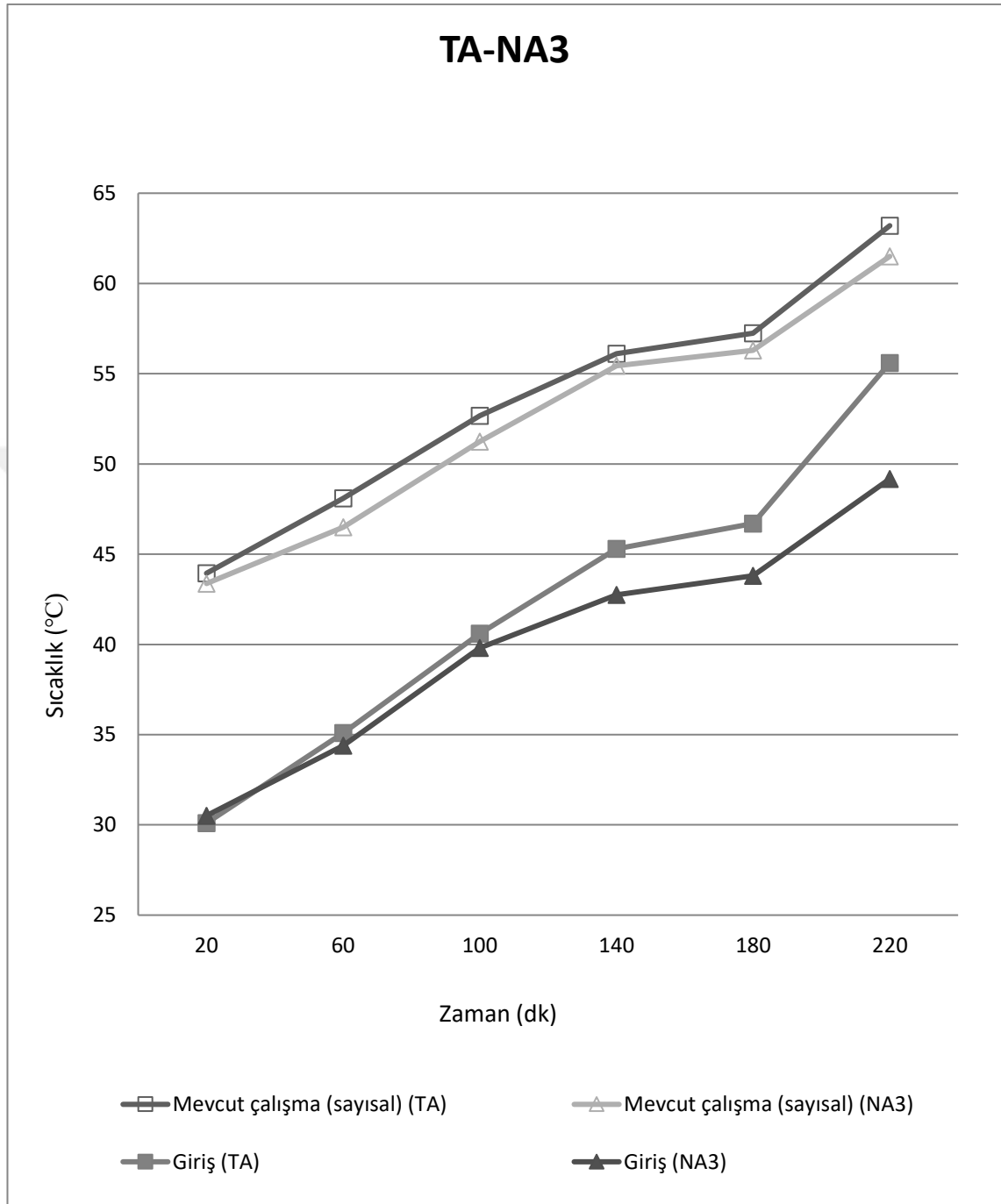
Şekil 4.5'te $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) ve su, Şekil 4.6'de $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve su, Şekil 4.7'de ZnO-SiO_2 (NA3) ve su kullanılarak elde edilen kolektör çıkış sıcaklıkları zamana bağlı olarak kolektör giriş sıcaklıkları ile birlikte belirtilmiştir. Kolektöre giriş ve çıkış sıcaklık farkının nanoakışkan kullanımıyla artışı Şekil 4.6 (NA2) 'de ve Şekil 4.7 (NA3)'da net bir şekilde gözlemlenirken Şekil 4.5 (NA1)'te ise kolektöre giriş ve çıkış sıcaklık farkının nanoakışkan kullanımıyla değişimi gözlemlenememiştir. Kolektöre giriş ve çıkış sıcaklık farkının temel akışkana göre daha fazla olduğu $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve ZnO-SiO_2 (NA3) nanoakışkanları ile daha fazla ısı transferi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5. $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) ve su kullanılan sayısal analizde kolektör çıkış ve giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.6. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve su kullanılan sayısal analizde kolektör çıkış ve giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi



Şekil 4.7. ZnO-SiO₂ (NA3) ve su kullanılan sayısal analizde kolektör çıkış ve giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi

Kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkındaki değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için Çizelge 4.2’de su ve NA1’e, Çizelge 4.3’de su ve NA2’ye ve Çizelge 4.4’de su ve NA3’e ait sayısal analizde elde edilen kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Çizelge 4.2’den NA1 kullanımıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişiminde suya göre net bir değişiklik gözlemlenememiştir. NA2 ve NA3 kullanımıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkında zamana bağlı olarak suya göre 140. dakikadan itibaren artış olduğu Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’den net bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.2. Su ve NA1’e ait sayısal analizde kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi

Zaman (dk)	$\Delta T (TA)$	$\Delta T(NA1)$
20	15.26	11.34
60	15.08	10.93
100	13.66	10.60
140	11.98	11.05
180	10.88	10.39
220	9.62	9.39

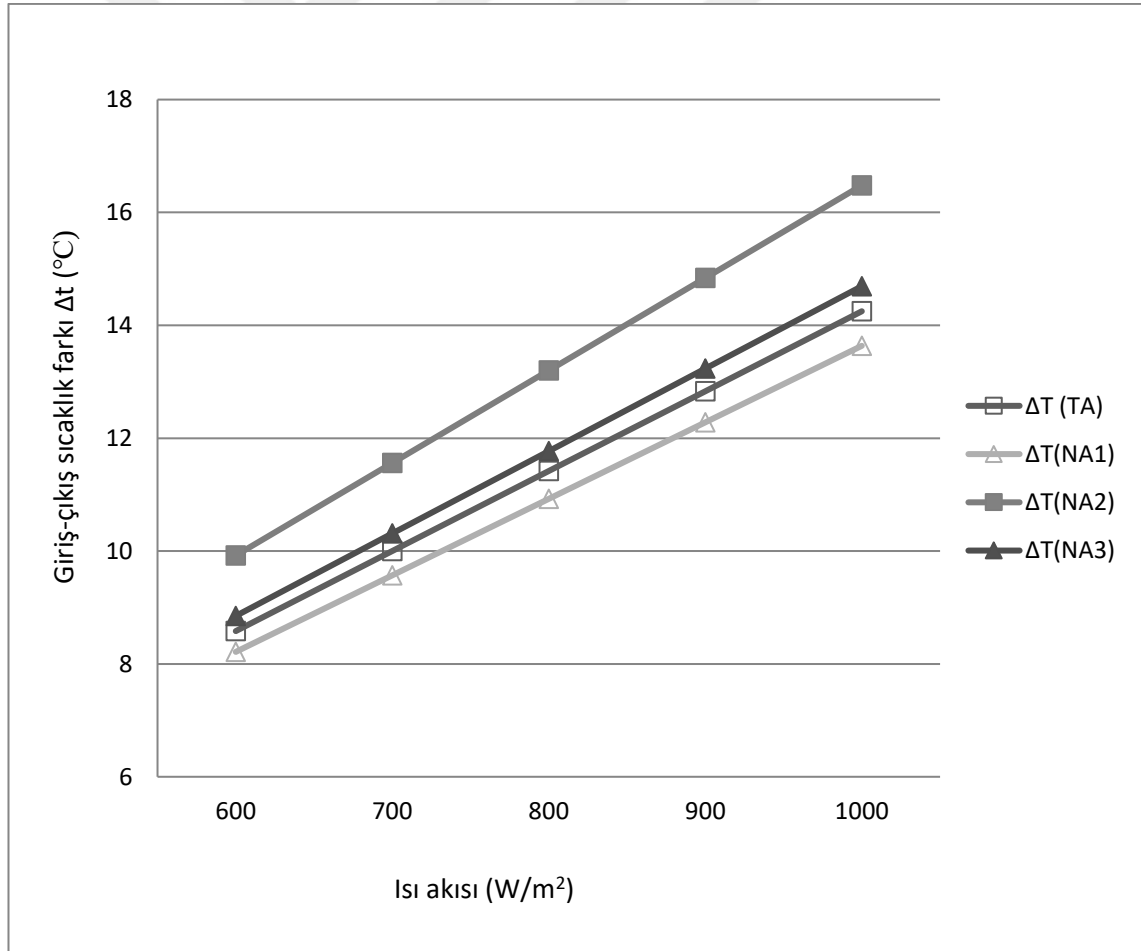
Çizelge 4.3 Su ve NA2’ye ait sayısal analizde kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi

Zaman (dk)	$\Delta T (TA)$	$\Delta T(NA2)$
20	14.02	13.53
60	13.24	13.02
100	12.10	11.87
140	10.94	13.59
180	9.95	14.12
220	5.78	10.17

Çizelge 4.4 Su ve NA3’e ait sayısal analizde kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının zamana bağlı değişimi

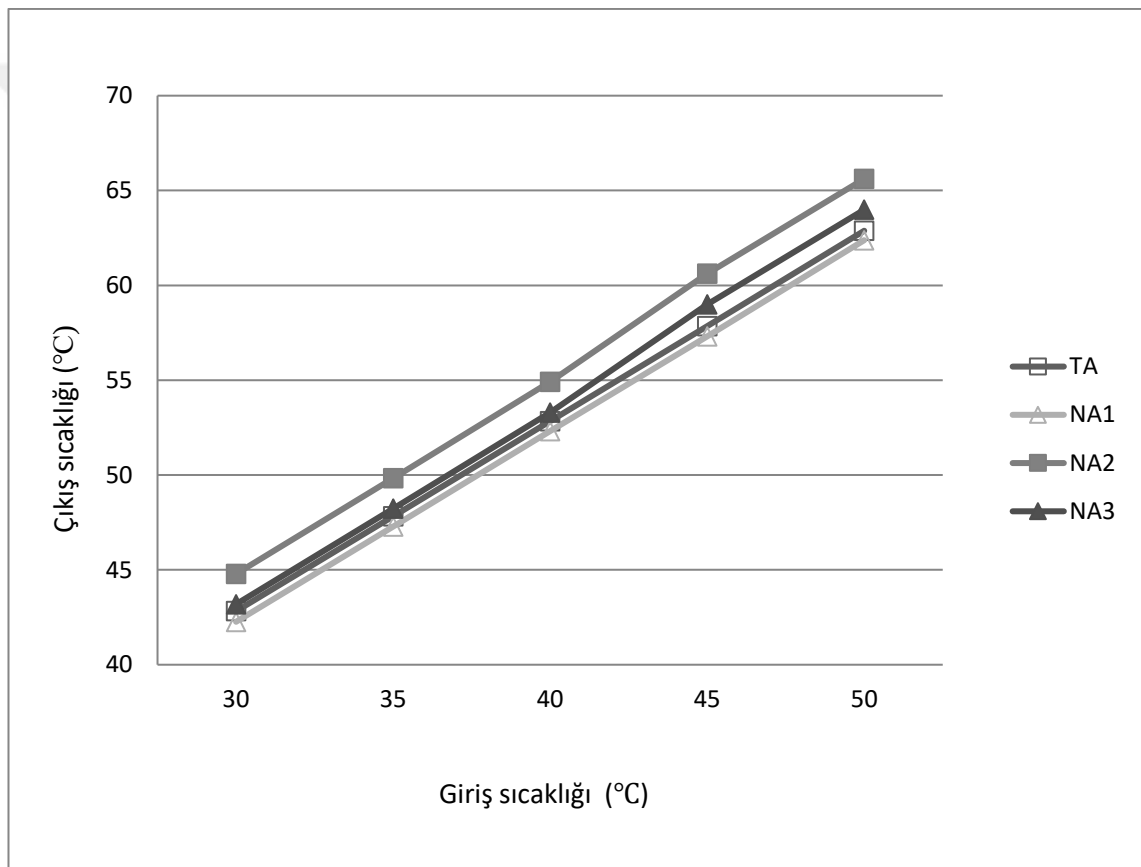
Zaman (dk)	$\Delta T (TA)$	$\Delta T(NA3)$
20	13.84	12.86
60	12.99	12.09
100	12.06	11.43
140	10.80	12.69
180	10.54	12.49
220	7.60	12.33

Şekil 4.8’de güneş kolektöründe kullanılan su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının ısı akısına bağlı değişimi incelenmiştir. Bu analiz için kolektör giriş sıcaklığı 35 °C ve kolektör giriş hızı 0.0035 m/s olarak sabit tutulmuştur. 600 W/m², 700 W/m², 800 W/m², 900 W/m² ve 1000 W/m² şeklinde değişen ısı akısı değerleri için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkı değişimi incelenmiştir. Tüm akışkanlar için artan ısı akısıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının da arttığı tespit edilmiştir. Artan ısı akısına bağlı olarak giriş-çıkış sıcaklık farkındaki en büyük artışın 1000 W/m² ısı akısı uygulanan durumda 16.48 °C ile Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) için gerçekleştiği tespit edilmiştir. Artan ısı akısına bağlı olarak kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkındaki artış 1000 W/m² ısı akısı uygulanan durumda ZnO-SiO₂ (NA3) için 14.69 °C, TiO₂-SiO₂ (NA1) için 13.64 °C ve temel akışkan su için 14.25 °C olarak tespit edilmiştir. Kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın artması, akışkana birim kütlede daha fazla ısı transferi olduğu anlamına gelmektedir. Artan ısı akısına bağlı olarak Fe₃O₄-SiO₂ kullanılan nanoakışkan olan NA2’nin diğer akışkanlara göre kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkındaki artış yönünden en iyi performansa sahip olduğu Şekil 4.8’den tespit edilmiştir.



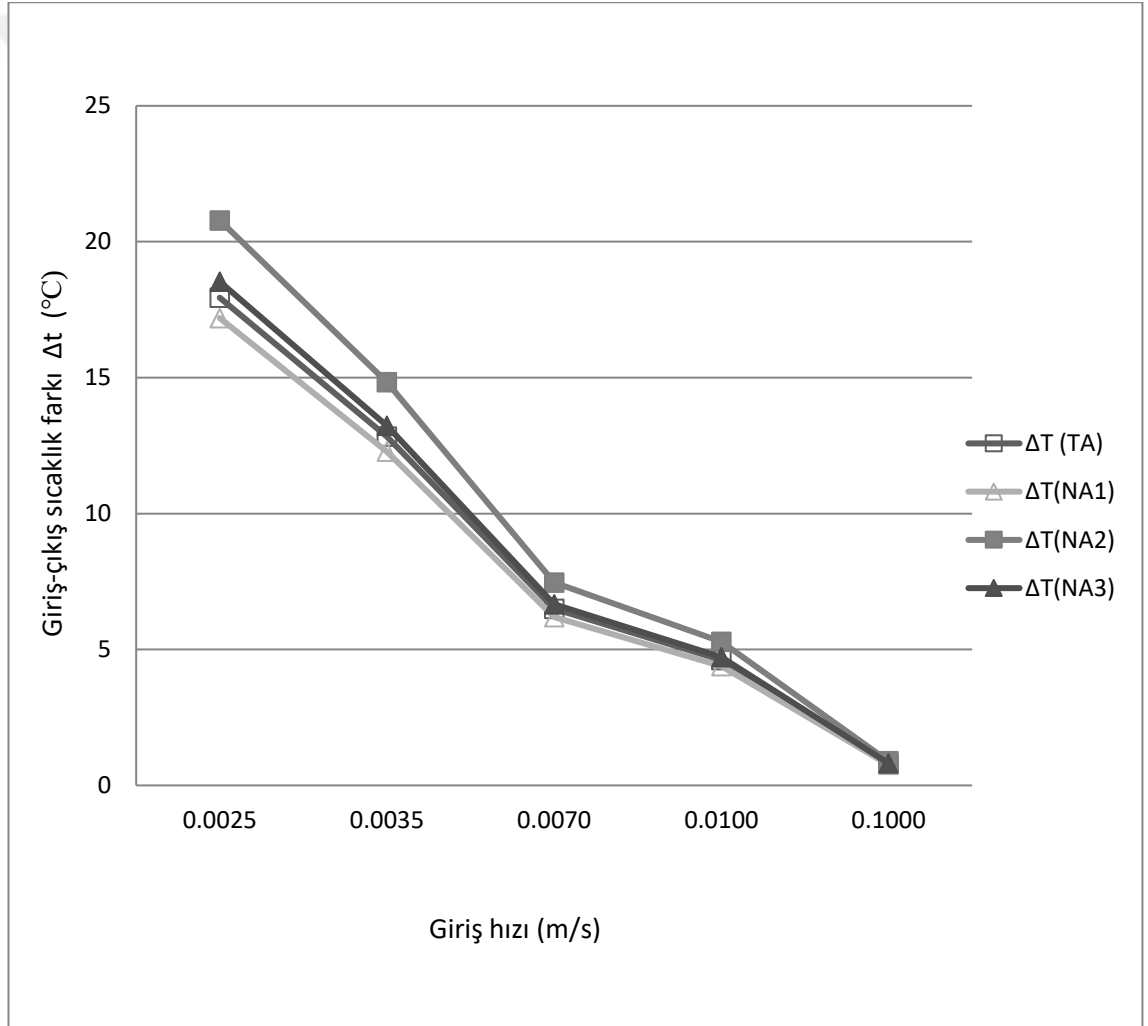
Şekil 4.8. Su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının ısı akısına bağlı değişimi

Şekil 4.9’de güneş kolektöründe kullanılan su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör çıkış sıcaklığının kolektör giriş sıcaklığına bağlı değişimi incelenmiştir. Bu analiz için kolektör giriş hızı 0.0035 m/s ve kolektör yüzeyine uygulanan ısı akısı 900 W/m² olarak sabit tutulmuştur. 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C ve 50 °C şeklinde değişen kolektör giriş sıcaklık değerleri için kolektör çıkış sıcaklık değerleri incelenmiştir. Bu analiz için en yüksek kolektör çıkış sıcaklığı kolektör giriş sıcaklığının 50 °C olduğu durumda 65.61 °C ile Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) nanoakışkanı için tespit edilmiştir. Kolektör çıkış sıcaklık değeri, kolektör giriş sıcaklığının 50 °C olduğu durumda ZnO-SiO₂ (NA3) için 63.98 °C, TiO₂-SiO₂ (NA1) için 62.38 °C ve temel akışkan su için 62.87 °C olarak tespit edilmiştir.



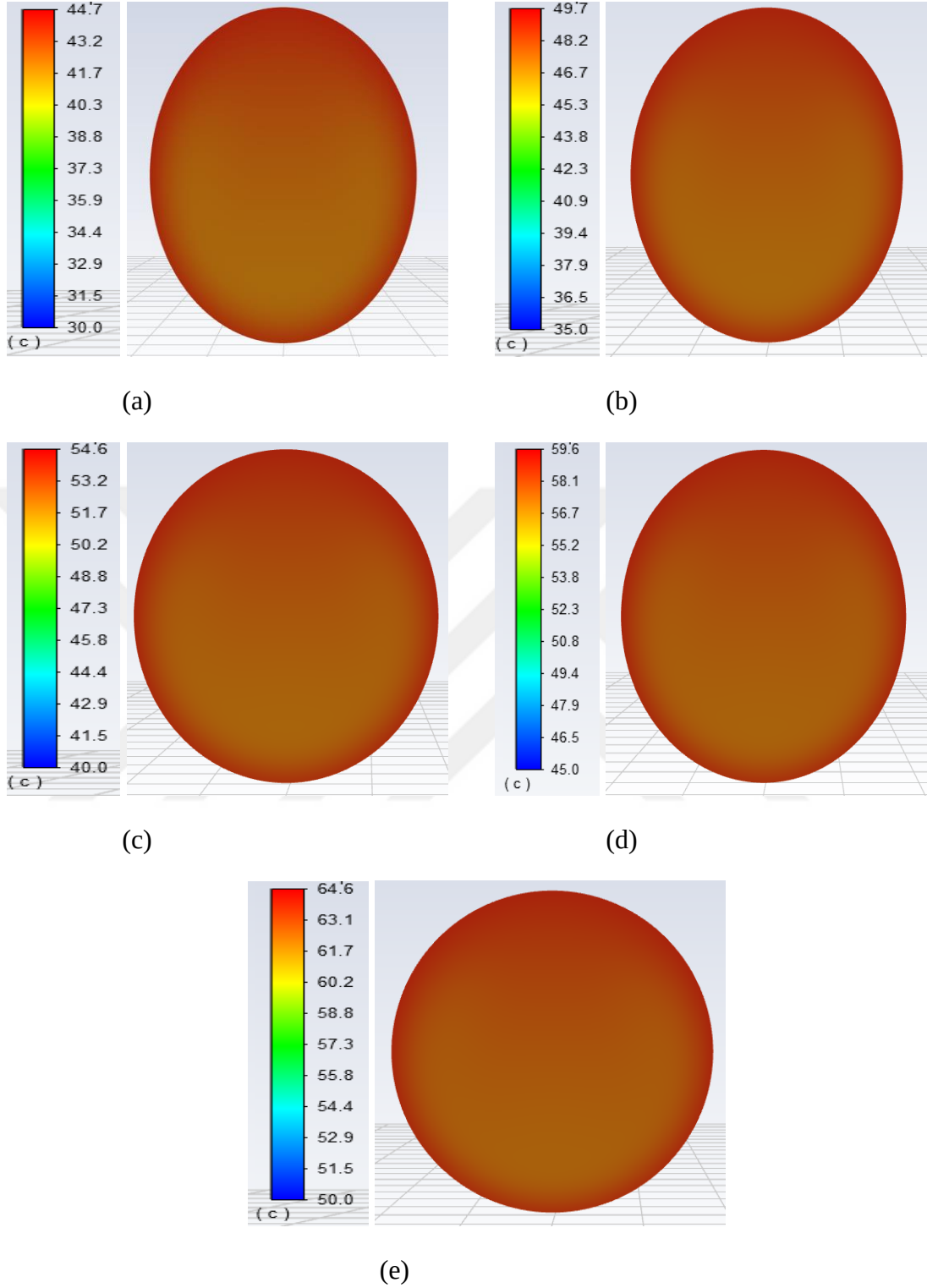
Şekil 4.9. Su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör çıkış sıcaklığının kolektör giriş sıcaklığına bağlı değişimi

Şekil 4.10'da güneş kolektöründe kullanılan su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının giriş hızına bağlı değişimi incelenmiştir. Bu analiz için kolektör giriş sıcaklığı 35 °C ve kolektör yüzeyine uygulanan ısı akısı 900 W/m² olarak sabit tutulmuştur. 0.0025 m/s, 0.0035 m/s, 0.0070 m/s, 0.0100 m/s ve 0.1000 m/s şeklinde değişen giriş hızı değerleri için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkı değişimi incelenmiştir. Tüm akışkanlar için artan kolektör giriş hızıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının düştüğü tespit edilmiştir. Kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının en yüksek değeri giriş hızının 0.0025 m/s olduğu durumda 20.79 °C ile Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) için tespit edilmiştir. Giriş hızının 0.0025 m/s olduğu durumda kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkı ZnO-SiO₂ (NA3) için 18.53 °C, TiO₂-SiO₂ (NA1) için 17.19 °C ve temel akışkan su için 17.94 °C olarak tespit edilmiştir.

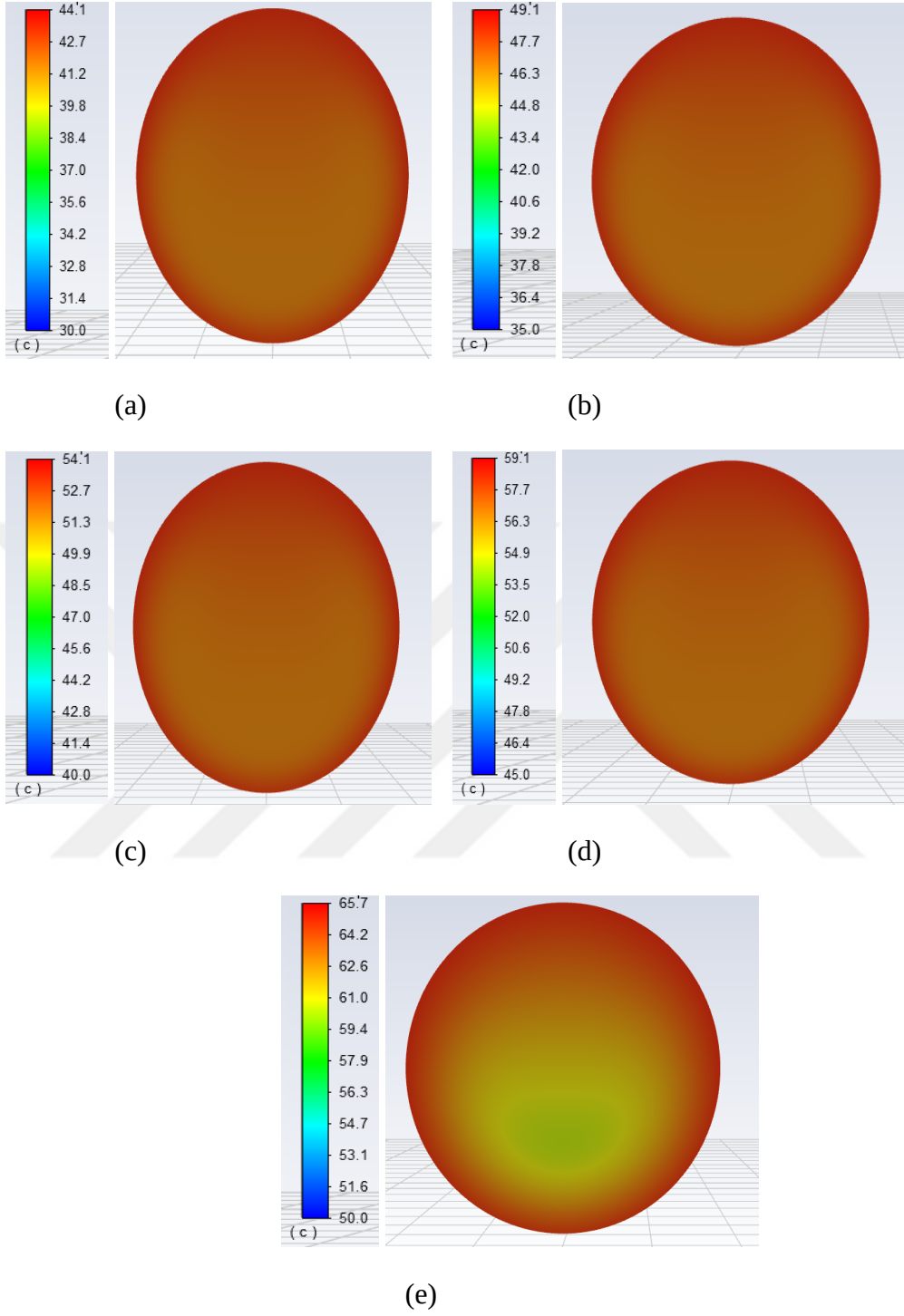


Şekil 4.10. Su ve üç farklı nanoakışkan için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının giriş hızına bağlı değişimi

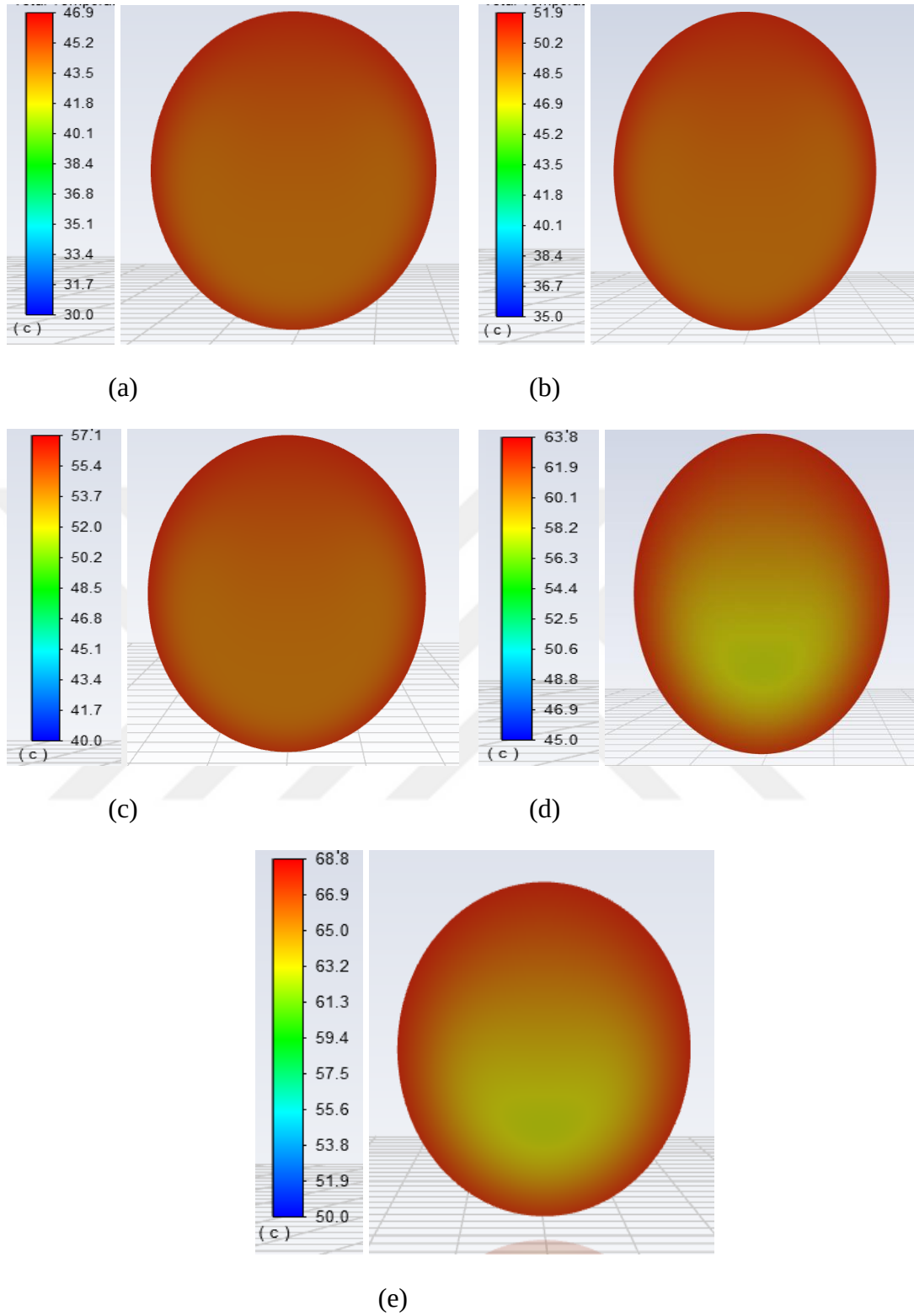
Kolektör giriş hızının 0.0035 m/s ve kolektör yüzeyine uygulanan ısı akısının 900 W/m^2 olarak sabit tutulduğu analizde kolektör giriş sıcaklığının 30°C , 35°C , 40°C , 45°C ve 50°C şeklinde değişmesiyle elde edilen kolektör çıkış sıcaklık değerleri Şekil 4.9’de sunulmuştur. Gerçekleştirilen bu analiz sonucunda tespit edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri su için Şekil 4.11, NA1 için Şekil 4.12, NA2 için Şekil 4.13 ve NA3 için Şekil 4.14’de verilmiştir. Bu analizde artan kolektör giriş sıcaklığına bağlı olarak kolektör çıkış sıcaklığının arttığı sıcaklık konturlerinden tespit edilmektedir. Ayrıca cidara yakın kısımlarda akışkan sıcaklığının merkeze göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



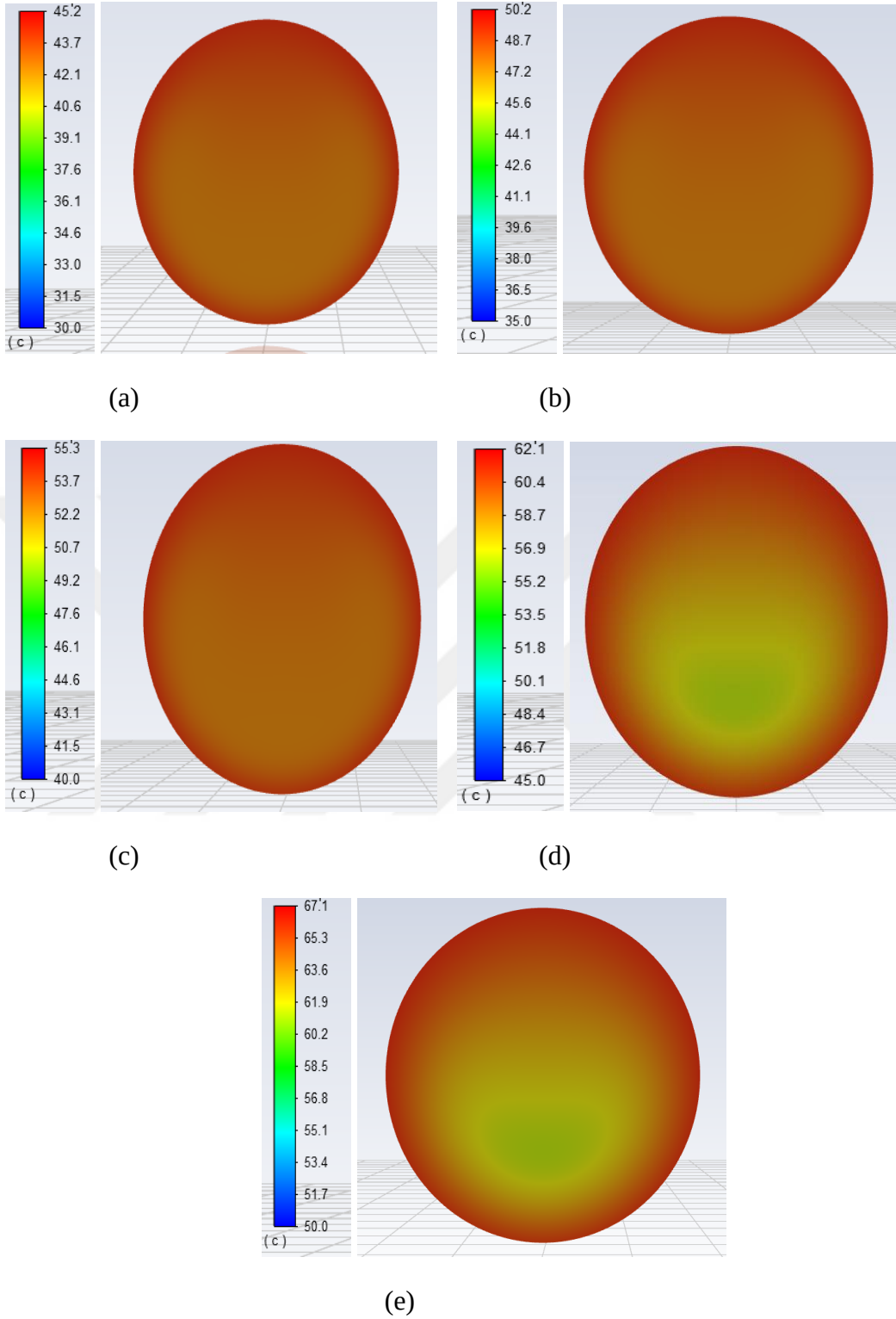
Şekil 4.11. Su için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C



Şekil 4.12. NA1 için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C



Şekil 4.13. NA2 için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C



Şekil 4.14. NA3 için farklı kolektör giriş sıcaklıklarında elde edilen kolektör çıkış sıcaklık konturleri: a) 30°C, b) 35°C, c) 40°C, d) 45°C, e) 50°C

5. SONUÇLAR

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını yaygınlaştırmak adına yeni çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından çok iyi bir konumda yer almaktadır. Ancak gelecekte yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeline sahip olmak yeterli olmayacak var olan bu kaynakların kullanımında enerji verimliliğini artırmak önemli hale gelecektir. Güneş enerjisi ülkemizde çok yaygın olarak güneş kolektörleriyle faydalı ısı enerjisine dönüştürülerek sıcak su temininde kullanılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan güneş enerjisinden daha fazla faydalanabilmek amacıyla doğal dolaşımli güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe geleneksel çalışma akışkanı olan su yerine nanoakışkan kullanımının ısı geçişi üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir.

Güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe nanoakışkan kullanımına yönelik literatürdeki diğer sayısal çalışmalarda nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin var olan eşitliklerle belirlendiği görülmüştür. Bu çalışmada ise termofiziksel özellikleri daha önceden deneysel olarak tespit edilmiş nanoakışkanların performansının incelenmiş olması çalışmanın özgün yönlerinden biridir.

Tez çalışmasında düz plakalı güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe nanoakışkan kullanımının etkileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent ile sayısal olarak incelenmiştir. Güneş kolektöründe boruların her iki tarafında kanatçık görevi gören yutucu plaka yer almaktadır. Bu nedenle sayısal çalışma ısının boruya iletimini sağlayan yutucu plaka ve borunun beraber modellenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Düz plakalı güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak üç farklı nanoakışkan kullanılarak ısı taşınım katsayısı ve çıkış sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Nanopartikül boyutları çok küçük olduğu için nanoakışkan tek fazlı olarak ele alınmıştır. Sayısal çalışma daha önceden Özdemir (2019) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmayla doğrulanmıştır. Ayrıca referans alınan deneysel çalışmada bulunmayan farklı parametrelerin araştırılması yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak giriş hızı, ısı akısı ve giriş sıcaklığındaki değişimin kolektör çıkış sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Özdemir (2019) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadaki sınır şartları kullanılarak akışkanların kolektörden çıkış sıcaklıkları sayısal olarak elde edilmiştir. Kolektörden çıkış sıcaklıkları $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) nanoakışkanı için %3.16, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) nanoakışkanı için %3.84 ve ZnO-SiO_2 (NA3) nanoakışkanı için % 3.81 hata ile sayısal olarak hesaplanmıştır.

Sayısal çalışmada kullanılan üç farklı nanoakışkandan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ (NA2) ve ZnO-SiO_2 (NA3) için kolektör giriş- çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın temel akışkana göre arttığı ancak $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (NA1) için net bir atış gözlemlenmediği sonucu elde edilmiştir. Gerçekleştirilen sayısal çalışmada ısı taşınım katsayısının temel akışkana göre $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ nanoakışkanının kullanıldığı durum için %3.48 daha düşük, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$

nanoakışkanının kullanıldığı durum için %9.84 daha yüksek ve ZnO-SiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı durum için %3.25 daha yüksek bulunmuştur. Referans alınan deneysel çalışmaya göre temel akışkan için ısı taşınım katsayısı değerleri %4.82 hata, TiO₂-SiO₂ (NA1) için %4.69 hata, Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) için %3.64 hata ve ZnO-SiO₂ (NA3) için %4.21 hata ile elde edilmiştir.

Kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının ısı akısına bağlı değişimi kolektör giriş sıcaklığı 35 °C ve kolektör giriş hızı 0.0035 m/s olarak sabit tutularak incelenmiştir. Bu analizde 600 W/m², 700 W/m², 800 W/m², 900 W/m² ve 1000 W/m² olmak üzere beş farklı ısı akısı uygulanmıştır. Tüm akışkanlar için artan ısı akısıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının da arttığı tespit edilmiştir. Artan ısı akısına bağlı olarak giriş-çıkış sıcaklık farkındaki en büyük artışın 1000 W/m² ısı akısı uygulanan durumda 16.48 °C ile Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) için gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu yönüyle Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) ısı akısındaki değişime göre en iyi performansı gösteren akışkan olarak öne çıkmaktadır.

Kolektör giriş hızının 0.0035 m/s ve kolektör yüzeyine uygulanan ısı akısının 900 W/m² olduğu durum için kolektör çıkış sıcaklığının kolektör giriş sıcaklığına bağlı değişimi incelenmiştir. Bu analizde 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C ve 50 °C olmak üzere beş farklı giriş sıcaklığı için sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek kolektör çıkış sıcaklığı kolektör giriş sıcaklığının 50 °C olduğu durumda 65.61 °C ile Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) nanoakışkanı için tespit edilmiştir.

Kolektör giriş sıcaklığının 35 °C ve kolektör yüzeyine uygulanan ısı akısının 900 W/m² olduğu durum için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının giriş hızına bağlı değişimi incelenmiştir. Bu analizde 0.0025 m/s, 0.0035 m/s, 0.0070 m/s, 0.0100 m/s ve 0.01000 m/s olmak üzere beş farklı giriş hızı uygulanmıştır. Tüm akışkanlar için artan kolektör giriş hızıyla kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının düştüğü tespit edilmiştir. Kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının en yüksek değeri giriş hızının 0.0025 m/s olduğu durumda 20.79 °C ile Fe₃O₄-SiO₂ (NA2) için tespit edilmiştir.

Temel akışkana göre ısı iletim katsayısı yüksek nanoakışkan kullanımıyla ısı taşınım katsayısının artışına bağlı olarak incelenen akışkanlar içerisinde Fe₃O₄-SiO₂ nanoakışkanının en üstün performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Fe₃O₄-SiO₂ nanoakışkanı için farklı giriş hızı, giriş sıcaklığı ve ısı akısı değerlerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda Fe₃O₄-SiO₂ nanoakışkanı için kolektör giriş-çıkış sıcaklık farkının en yüksek değeri, giriş sıcaklığının 35 °C, ısı akısının 900 W/m² ve giriş hızının 0.0025 m/s olduğu durumda 20.79 °C olarak tespit edilmiştir. Isı taşınım katsayısını iyileştirmesinden dolayı gelecekte daha kompakt güneş kolektörü üretimine imkan sağlayabilecektir. Böylece enerji tasarrufu sağlarken çevreye de yarar sağlanmış olacaktır.

Çalışmanın geliştirilmesi amacıyla ilerleyen zamanlar için aşağıdaki öneriler sıralanabilir;

- 1- Gerçekleştirilen sayısal çalışmada kullanılan üç farklı nanoakışkanın konsantrasyonları değiştirilerek yeni termofiziksel özelliklere sahip nanoakışkanların sayısal modelde incelenmesiyle kütle oranının sonuçlar üzerindeki etkisi belirlenebilir.
- 2- Sayısal çalışmadaki nanoakışkanlar dışında farklı nanoakışkanların güneş enerjili sıcak su sistemi kolektöründe kullanımı sayısal olarak incelenebilir.
- 3- Literatürde nanoakışkanların sayısal çalışmalarının genellikle tek fazlı olarak ele alındığı ve iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tek faz çözümünde temel akışkan ile içerisindeki nanopartiküllerin ısı dengede olduğu ve aralarındaki kayma hızının ihmal edildiği varsayılarak tek bir akışkan gibi ele alınmaktadır. İki fazlı çözümde ise temel akışkan ile nanopartiküller arasındaki etkileşimler dikkate alınmaktadır. Literatürde nanoakışkanların sayısal olarak incelenmesinde henüz kabul görmüş genel bir model bulunmadığı için nanoakışkanın katı ve sıvı faz olarak beraber ele alındığı çift fazlı modeller ile sayısal çalışma gerçekleştirilebilir. Fakat çift fazlı modeller daha karmaşıktır ve daha iyi bilgisayar donanımı gerektirmektedir.

Nanoakışkanların sahip olduğu termofiziksel özellikler birçok alan için önem arz etse de henüz kabul görmüş ve kullanım alanları belli olan nanoakışkanlar belirli standartlarla belirlenmemiştir. Çalışmanın sonucunda hangi nanoakışkanın ısı taşınım katsayısını daha fazla iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu kapsamda belirtilen nanoakışkanın kullanımıyla ısı taşınım katsayısı iyileştiğinden dolayı bilime yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması açısından katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Akgül, M.B. 2013. Nanoakışkanlarda Isı ve Kütle Transferi Analizi. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 68 s.
- Bedir, Ö. 2013. Sabit Isı Akıllı Yatay Bir Boruda Türbülanslı Akışta Nanoakışkanların Sayısal İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 103 s.
- Bellos, E. and Tzivanidis, C. 2017. Parametric Investigation of Nanofluids Utilization in Parabolic Trough Collectors. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2: 71-79.
- Bigdeli, M. B., Fasano, M., Cardellini, A., Chiavazzo, E. and Asinari, P. 2016. A Review on the Heat and Mass Transfer Phenomena in Nanofluid Coolants with Special Focus on Automotive Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1615– 1633. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.027>
- Bir, G. 2012. Yangın Monitörlerinde Jet ve Su Şemsiyesi Akışının VOF Metodu ile Sayısal Çözümü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 65 s.
- Brinkman, H.C. 1952. The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions, *J. Chem. Phys.* 20. 571–581.
- Colangelo, G., Favale, E., de Risi, A. and Laforgia, D. 2012. Results of Experimental Investigations on the Heat Conductivity of Nanofluids Based on Diathermic Oil for High Temperature Applications, *Applied Energy*; 97:828-833.
- Colangelo, G., Milanese, M. and de Risi, A. 2016. Numerical Simulation of Thermal Efficiency of an Innovative Al₂O₃ Nanofluid Solar Thermal Collector: Influence of Nanoparticles Concentration. *Thermal Science*. 168-168. DOI:10.2298/TSCI151207168C.
- Çengel, Y.A. and Cimbala, J.M. 2008. Akışkanlar Mekanikliği Temelleri ve Uygulamaları. Güven Bilimsel Yayınları, Bölüm 15 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Giriş, İzmir, ss. 818-870
- De los Rios, M.S.B., Rivera-Solorio, C.I. and García-Cuéllar, A.J. 2018. Thermal Performance of a Parabolic Trough Linear Collector Using Al₂O₃/H₂O Nanofluids. *Renewable energy*, 122: 665-673.
- Devarajan, Y. and Munuswamy, D.B. 2016. Analysis on the Influence of Nanoparticles of Alumina, Copper Oxide, and Zirconium Oxide on the Performance of a Flat-Plate Solar Water Heater. *Energy & Fuels*, 30(11): 9908-9913.
- Eapen, J., Li, J., Yip, S. 2007. Beyond the Maxwell Limit: Thermal Conduction in Nanofluids with Percolating Fluid Structures, *Phys. Rev. E*, 76, 062501.
- Ekramian, E., Etemad, S.G. and Haghshenasfard, M. 2014. Numerical Investigations of Heat Transfer Performance of Nanofluids in a Flat Plate Solar

- Collector. *International Journal of Theoretical and Applied Nanotechnology*, 2: 30-39.
- Erol, E. 2018. Borulu Tip Isı Değiştiricilerde Titanyumdioksit(TiO_2) Nanoakışkanı Kullanılarak Isıl İletkenliğin Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 69 s.
- Faizal, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Hepbasli, A. and Mahbubul, I.M. 2015. Energy, Economic, and Environmental Analysis of a Flat-Plate Solar Collector Operated with SiO_2 Nanofluid. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(6): 1457-1473.
- Filiz, D. 2017. Numerical Prediction of Forced Convection and Pressure Drop Characteristics for Turbulent Flow of Al_2O_3 /Water Nanofluid in a Circular Pipe. Master's Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, 89 p.
- Gedik, E. 2012. Silindirik Borularda Manyetohidrodinamik Akışın Deneysel Olarak İncelenmesi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Sayısal Analizi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 126 s.
- Gökselkınay, A.D. 2015. Kullanılmış Nükleer Yakıt Depolama Kabının Isıl Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, A
- Hawwash, A.A., Rahman, A.K.A., Nada, S.A. and Ookawara, S. 2018. Numerical Investigation and Experimental Verification of Performance Enhancement of Flat Plate Solar Collector Using Nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 130, 363-374.
- Kaloudis, E., Papanicolaou, E. and Belessiotis, V. 2016. Numerical Simulations of a Parabolic Trough Solar Collector with Nanofluid Using a Two-phase Model. *Renewable Energy*, 97: 218-229.
- Kasaeian, A.B., Sokhansefat, T., Abbaspour, M.J. and Sokhansefat, M. 2012. Numerical Study of Heat Transfer Enhancement by Using Al_2O_3 /synthetic Oil Nanofluid in a Parabolic Trough Collector Tube. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69: 1154-1159.
- Kaya, H. 2018. Experimental and Numerical Investigation on Thermal Efficiency of an Evacuated Tube Solar Collector Using Nanofluids. PhD Thesis, Karabük University, Karabük, 146 p.
- Kılıç, F. Ç. 2015. Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56 (671) : 28-40.
- Kırar, E., Güven, C., Işiker, Y. ve Aktacir, M.A. 2018. Uluslararası GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi, ss. 104-108, 10-12 Mayıs, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

- Liao, J., Zhang, Y., Yu, W., Xu, L., Ge, C., Liu, J., Gu, N. 2003. Linear Aggregation of Gold Nanoparticles in Ethanol, *Colloid Surf. A. Phsycochem. Eng. Aspects*, 223, 177-183.
- Maxwell-Garnett, J.C. 1904. Colours in Metal Glasses and in Metallic Films, *Philos. Trans. Roy. Soc. A Vol. 203*, pp. 385–420.
- Maxwell, J.C. 1873. Electricity and Magnetism, Clarendon. *Press Oxford UK*.
- Mercan, M. and Yurddaş, A. 2019. Numerical Analysis of Evacuated Tube Solar Collectors Using Nanofluids. *Solar Energy*, 191: 167-179.
- Mwesigye, A. and Meyer, J.P. 2017. Optimal Thermal and Thermodynamic Performance of a Solar Parabolic Trough Receiver with Different Nanofluids and at Different Concentration Ratios. *Applied energy*, 193: 393-413.
- Noghrehabadi, A., Hajidavalloo, E. and Moravej, M. 2016. Experimental Investigation of Efficiency of Square Flat-plate Solar Collector Using SiO₂/water Nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 8: 378-386.
- Özdemir, O.S. 2019. Doğal Sirkülasyonlu Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinde Çekirdek–Kabuk Yapıda Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniveritesi, Antalya, 94 s.
- Özgür E. 2018. Türkiye’de Güneş Enerjisi, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 MMO Oda Raporu No: 691, Ankara.
- Pak, B.C and Cho, Y. 1998. Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particle, *Experimental Heat Transfer*, Vol. 11, pp. 151-170.
- Paul, G., Pal, T. and Manna, I. 2010. Thermo-physical Property Measurement of Nanogold Dispersed Water Based Nanofluids Prepared by Chemical Precipitation Technique. *Journal of Colloid and Interface Science*, 349(1), 434–437. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.05.086>
- Quezada–García, S., Sánchez–Mora, H., Polo–Labarrios, M.A. and Cázares–Ramírez, R. I. 2019. Modeling and Simulation to Determine the Thermal Efficiency of a Parabolic Solar Trough Collector System. *Case Studies in Thermal Engineering*, 16: 100523.
- Sadeghi, G., Safarzadeh, H. and Ameri, M. 2019. Experimental and Numerical Investigations on Performance of Evacuated Tube Solar Collectors with Parabolic Concentrator, Applying Synthesized Cu₂O/distilled Water Nanofluid. *Energy for sustainable development*, 48: 88-106.
- Sergis, A., Hardalupas, Y. 2011. Anomalous Heat Transfer Modes of Nanofluids: a Review Based on Statistical Analysis. *Nanoscale Research Letters*, 6: 391.

- Sert, İ.O. 2012. Silindirik Kanallarda Nanoakışkanlarla Laminer Zorlanmış Taşınım İle Isı Transferinin Sayısal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 89 s.
- Shahrul, I.M., Mahbubul, I.M., Khaleduzzaman, S.S., Saidur, R. and Sabri, M. F. M. 2014. A Comparative Review on the Specific Heat of Nanofluids for Energy Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.081>
- Sharafeldin, M.A., Gróf, G. and Mahian, O. 2017. Experimental Study on the Performance of a Flat-plate Collector Using WO₃/Water Nanofluids. *Energy*, 141: 2436-2444.
- Sharafeldin, M.A. and Gróf, G. 2018. Evacuated Tube Solar Collector Performance Using CeO₂/water Nanofluid. *Journal of cleaner production*, 185: 347-356.
- Sharafeldin, M.A. and Gróf, G. 2018. Experimental investigation of flat plate solar collector using CeO₂-water nanofluid. *Energy conversion and management*, 155: 32-41.
- Sharafeldin, M.A. and Gróf, G. 2019. Efficiency of evacuated tube solar collector using WO₃/Water nanofluid. *Renewable energy*, 134: 453-460.
- Shareef, A.S. and Dibs, A.A.A.A. 2017. Experimental and numerical study the heat transfer of flat plate Solar collector by using nanofluid under Solar Simulation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12. 4045-4054.
- Shojaeizadeh, E., Veysi, F. and Kamandi, A. 2015. Exergy efficiency investigation and optimization of an Al₂O₃–water nanofluid based Flat-plate solar collector. *Energy and Buildings*, 101: 12-23.
- Soylu-Koçak, S 2018. Otomobil Radyatöründe TiO₂ Esaslı Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 148 s.
- Subramani, J., Nagarajan, P.K., Mahian, O. and Sathyamurthy, R. 2018. Efficiency and heat transfer improvements in a parabolic trough solar collector using TiO₂ nanofluids under turbulent flow regime. *Renewable energy*, 119: 19-31.
- Timofeeva, E., Smith, D., Yu, W., Routbort, J. and Singh, D. 2009. Nanofluid development for engine cooling systems.
- Tomy, A.M., Ahammed, N., Subathra, M.S.P. and Asirvatham, L.G. 2016. Analysing the performance of a flat plate solar collector with silver/water nanofluid using artificial neural network. *Procedia Computer Science*, 93: 33-40.
- Turgut, S. 2017. Brown Hareketi ve Atomların Büyüklüğü. *Bilim ve Ütopya*, (279): 18-21.

- Uysal, C. 2016. Dikdörtgen Kesitli Mikrokanallarda ZnO-Etilen Glikol Nanoakışkanının Akış ve Isı Transferi Karakteristiklerinin Sayısal Olarak Modellenmesi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 120 s.
- Ünverdi, M. 2016. Nanoakışkanlı Levhalı Isı Değiştirici Kanallarında Isı Geçişinin DeneySEL ve Sayısal İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 155 s.
- Xuan, Y. and Li, Q. 2003. Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids, Journal of Heat Transfer ,125; 151–155.
- Xuan, Y. and Roetzel, W. 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, 43(19), 3701–3707. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(99\)00369-5](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(99)00369-5).
- Yiğit, A. ve Atmaca, İ. 2018. Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları, Dora Basım-Yayın, Bursa, 263 s.
- Yurddaş, A. 2013. Nanoakışkanlı Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Isı Transferinin Sayısal Analizi. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 121 s.
- Anonim 1: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> [Son erişim tarihi: 05.04.2020].
- Anonim 2: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/90e982518a50e28_ek.pdf [Son erişim tarihi: 06.06.2021].
- Anonim 3: <http://yenilenebiliryasam.com/2011/05/gunes-enerjisi-ile-su-istma-sistemleri.html> [Son erişim tarihi: 07.04.2020].
- Anonim 4: <https://www.thesisat.org/gunes-enerjisi-ile-sicak-su-hazirlama-sistemleri.html> [Son erişim tarihi: 07.04.2020].
- Anonymous 1:
<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node164.htm> [Son erişim tarihi: 27.04.2020].
- Anonymous 2:
<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node239.htm> [Son erişim tarihi: 11.04.2020].
- Anonymous 3:
<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node294.htm> [Son erişim tarihi: 28.04.2020].

ÖZGEÇMİŞ

ADİLE ŞENEL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-2021	Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2017	Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya