



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE SERYUM OKSİT –
SU VE ÇİNKO OKSİT-SU NANOAKIŞKANLARI KULLANIMININ
ISIL VERİME ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Süleyman PERÇİN

**Kasım-2024
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE SERYUM OKSİT –
SU VE ÇİNKO OKSİT-SU NANOAKIŞKANLARI KULLANIMININ
ISIL VERİME ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK
İNCELENMESİ**

Süleyman PERÇİN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI**

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Vedat ORUÇ Prof.Dr. Hüseyin AYDIN Prof. Dr. Atilla G.DEVECİOĞLU

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

**Kasım -2024
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Süleyman PERÇİN tarafından hazırlanan “Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Seryum Oksit – Su ve Çinko Oksit-Su Nanoakışkanları Kullanımının Isıl Verime Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 13/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Vedat ORUÇ

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

Dr.Öğr.Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Üye

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Üye

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Atilla G.DEVECİOĞLU

Üye

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından BTÜBAP-2022-DOKTORA-06 nolu proje ile desteklenmiştir.

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Süleyman PERÇİN

Tarih: 13.11.2024

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE SERYUM OKSİT – SU VE ÇİNKO OKSİT-SU NANOAKIŞKANLARI KULLANIMININ ISIL VERİME ETKİSİNİN DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Süleyman PERÇİN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

2024, 122 Sayfa

Bu çalışmada düzlemsel güneş kollektörlerinde %0.01, %0.1, %1 konsantrasyonlarda Seryum oksit (CeO_2), Çinko Oksit-Su (ZnO) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) ve farklı saatlerde (07:30-17:30) verim, sıcaklık-ışınım-saat, ekserji kaybı gibi parametreler açısından deneysel ve sayısal olarak mukayesesi yapılmıştır.

Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara ilave olarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak analiz çalışmaları yapılmış ve deneysel olarak elde edilen verilerle karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel çalışma ile HAD ile edilen bulguların sayısal analiz sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre suya kıyasla verimdeki en fazla artış %1 ZnO -su nanoakışkanında, 250 lt/h debide gerçekleşmiş olup; bu artış %28'dir. Suyu kıyasla verimdeki en az artış ise 50 lt/h debide %0.01 CeO_2 -su nanoakışkanında gerçekleşmiş olup; bu artış %8'dir. En yüksek entropi üretimi 50 lt/h debide su için 6.72 W/K olurken, en düşük entropi üretimi %1 ZnO nanoakışkanı için 250 lt/h debide 5.57 W/K olmuştur. En yüksek ekserji yıkımı 50 lt/h debide su için 1235 W olurken, en düşük ekserji yıkımı 250 lt/h debide %1 ZnO nanoakışkanı için 1005 W olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çinko Oksit-Su (ZnO) Nanoakışkanları, Düzlemsel Güneş Kollektörü, Ekserji, Entropi, Isıl Verim, Seryum oksit (CeO_2) Nanoakışkanları

ABSTRACT

DOCTORAL THESIS EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USING CERYUM OXIDE –WATER (CeO_2 -WATER) AND ZINC OXIDE-WATER (ZnO -WATER) NANOFLUIDS ON THERMAL EFFICIENCY IN A FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS

Süleyman PERÇİN

Batman University Graduate Education Institute

Department of Mechanical Engineering

Advisor: Assis. Prof. Dr. Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

2024, 122 Pages

The aim of this study is to experimentally and numerically compare in terms of various parameters such as efficiency, temperature-radiation-hour and exergy loss, a system using environmentally friendly, technologically advanced flat plate solar collectors with 0.01%, 0.1%, and 1% concentrations of Cerium oxide (CeO_2) and Zinc Oxide-Water (ZnO) nanofluids at different flow rates (250 liters/hour, 150 liters/hour, 50 liters/hour) and different times (07:30-17:30).

In addition to the results obtained from the experimental study, numerical analysis studies were conducted using Computational Fluid Dynamics (CFD) and these numerical results were compared with the experimental data. The findings from the experimental study are consistent with the numerical analysis results obtained through CFD. According to the results obtained from the experiments, the highest increase in efficiency compared to water occurred with 1% ZnO -water nanofluid at a flow rate of 250 liters/hour, with an increase of 28%. The lowest increase in efficiency compared to water occurred with 0.01% CeO_2 -water nanofluid at a flow rate of 50 liters/hour, with an increase of 8%. The highest entropy production was 6.72 W/K for water at 50 lt/h flow rate, while the lowest entropy production was 5.57 W/K at 250 lt/h flow rate for 1% ZnO nanofluid. The highest exergy destruction was 1235 W for water at 50 lt/h flow rate, while the lowest exergy destruction was 1005 W for 1% ZnO nanofluid at 250 lt/h flow rate.

Keywords: Cerium Oxide (CeO_2) Nanofluid, Exergy, Entropy, Flat Plate Solar Collector, Thermal Efficiency, Zinc Oxide Nanofluid (ZnO)

ÖN SÖZ

Dünya genelinde enerjiye talebin arttığı bu dönemde fosil yakıtların olumsuz etkilerini sınırlamak için yenilenebilir enerji kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerjinin sayısız formu vardır, bunlardan biri de güneş enerjisidir.

Çinko oksit (ZnO) ve Seryum Oksit (CeO₂) geleceğin malzemeleri olarak gösterilmektedir. Bazı nanoakışkanların kümeleşip oluşturduğu kararsızlıklar araştırmacıları yeni arayışlara sürüklemiştir. Metal oksit bazlı nanoakışkanlar, birçok araştırmacının dikkatini çekmeye başlamıştır. Daha yüksek termal iletkenlik, geniş yüzey alanı, düşük maliyet, kolayca bulunabilen ve uzun süre stabil bir süspansiyon olarak kalabilmesi bu nanoakışkanları son zamanlarda güneş enerji sistemleri için uygun çalışma akışkanları olmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, beni her zaman büyük özveriyle destekleyen, bilgi ve birikimlerini bana aktaran değerli tez danışman hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Neşe Budak ZİYADANOĞULLARI'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde ve tez savunmamda yer alarak, çalışmamda değerlendirmeleri ve yönlendirmeleriyle bana destek veren Sayın Prof. Dr. Hüseyin AYDIN, Sayın Prof. Dr. Vedat ORUÇ, Sayın Prof. Dr. Atilla G.DEVECİOĞLU, Sayın Prof. Dr. Bahattin İŞCAN hocama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı BTÜBAP-2022-DOKTORA-06 kapsamında destekleyen, BAP Koordinasyon Birim Yönetimi'ne teşekkürlerimi borç bilirim.

Benim bu günlere gelmemde büyük emek ve fedakarlık gösteren; hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme ve eşime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Süleyman PERÇİN
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Nanoakışkanlar.....	2
1.1.1. Nanoakışkan çeşitleri	6
1.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri	7
1.2.1. Tek adım yöntemi	7
1.2.2. İki adım yöntemi	8
1.3. Nanoakışkanların Uygulama Alanları	9
1.3.1. CeO ₂ nanoakışkanının kullanım alanları	10
1.3.2. ZnO nanoakışkanının kullanım alanları	11
1.4. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	12
1.4.1. Isıl iletkenlik	13
1.4.2. Yoğunluk	15
1.4.3. Özgül ısı	15
1.4.4. Viskozite	15
1.5. Nanoakışkan Kararlılığı	15
1.5.1. Nanoakışkanın kararlılığını artırma yöntemleri.....	17
1.6. Nanoakışkanın Kararlılığını Ölçme Yöntemleri	17
1.7. Türkiye’ de güneş enerjisi	21
1.8. Dünyada güneş enerji santralleri	24
1.9. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri	24
1.9.1. Devre şekline göre güneş enerji sistemleri	25
1.9.2. Kollektör tipine göre güneş enerji sistemleri	26
1.9.3. Sirkülasyon şekline göre güneş enerji sistemleri	28
1.10. Güneş enerjisi uygulama alanları	29
1.10.1. Isıl uygulamalar	29
1.10.2. Fotovoltaik uygulamalar	33
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	36
2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD).....	43
3. YÖNTEM	46
3.1. Nanoakışkan	46
3.2. Deney Düzenegi ve Kullanılan Malzemeler	46
3.2.1. Düzlemsel güneş kollektörü.....	48
3.2.2. Sirkülasyon pompası.....	49
3.2.3. Boyler.....	50

3.2.4.	Elektromanyetik debimetre	50
3.2.5.	Şamandıralı debimetre	51
3.2.6.	J tipi termokupl	52
3.2.7.	4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı	53
3.2.8.	Piranometre	54
3.2.9.	Çok fonksiyonlu ölçüm aleti	55
3.2.10.	Anemometre	56
3.2.11.	Nanoakışkan	57
4.	ENERJİ ANALİZİ DENKLEMLERİ	59
4.1.	Güneş Kollektörlü Sistemlerin Termodinamik Analizi Denklemleri	59
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA	62
5.1.	Kollektör Verim Deneyleri	62
5.1.1.	Gün içerisinde sıcaklık-ışınım-saat değişimleri	62
5.1.2.	Kollektör verim – $[(T_G - T_0) / G_T]$ değişimleri	73
5.1.3.	Verim –ışınım grafikleri	78
5.1.4.	Debi – entropi üretimi - ekserji yıkımı grafikleri	80
5.2.	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi	83
5.2.1.	Sayısal model ve fluent kod programı	83
5.2.2.	Boussinesq yaklaşımı ve çözüm	85
5.2.3.	Sayısal analizin doğrulanması	85
5.2.4.	Sınır şartları	87
5.2.5.	CeO ₂ için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) sıcaklık dağılımı sonuçları	88
5.2.6.	ZnO için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) sıcaklık dağılımı sonuçları	94
5.3.	Sayısal Analizin Doğrulanması	99
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
6.1.	Sonuçlar	101
6.2.	Öneriler	104
	KAYNAKLAR	105
	EKLER	121

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. 1 CeO ₂ termofiziksel özellikleri	11
Çizelge 1. 2 ZnO'nun termofiziksel özellikleri	12
Çizelge 1. 3 Çeşitli sıvıların ve katıların ısı iletkenliği	13
Çizelge 1. 4 Isı iletkenlik artırım deneysel çalışmalarının özeti.....	14
Çizelge 1. 5 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi	22
Çizelge 1. 6 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı	23
Çizelge 1. 7 2021 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.....	24
Çizelge 3. 1 Nanopartikül özellikleri	46
Çizelge 3. 2 Sirkülasyon pompasının teknik özellikleri	49
Çizelge 3. 3 Boyler teknik özellikleri	50
Çizelge 3. 4 Ifm DN 15 elektromanyetik debimetre teknik özellikleri	51
Çizelge 3. 5 Şamandıralı debimetre teknik özellikleri.....	52
Çizelge 3. 6 Cem DT-3891G 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı	53
Çizelge 3. 7 CEM marka DT 1307 piranometre cihazı teknik özellikleri	54
Çizelge 3. 8 Geratech DT 8820 ölçüm cihazı	55
Çizelge 3. 9 Meitav M 4000 ölçüm cihazının teknik özellikleri	56
Çizelge 5. 1 Yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen borunun geometrisi.....	85
Çizelge 5. 2 Sayısal çalışmada kullanılan sınır şartları ve açıklamaları	87
Çizelge 5. 3 CeO ₂ -su nanoakışkanı için deneysel analiz ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması	99
Çizelge 5. 4 ZnO-su nanoakışkanı için deneysel analiz ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması	99

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1 CeO ₂ 'nin hazırlandıktan a) 12 saat sonra b) 24 saat sonra SEM görüntüsü...	3
Şekil 1. 2 Nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri	3
Şekil 1. 3 Nanoparçacık üretiminde kullanılan yöntemler	3
Şekil 1. 4 Nanopartiküllerin termal iletkenlikleri	5
Şekil 1. 5 Nanoakışkan uygulama alanları.....	5
Şekil 1. 6 Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre nanomateriyallerin sınıflandırılması..	6
Şekil 1. 7 Tek adım hazırlama yöntemi	8
Şekil 1. 8 İki adım hazırlama yöntemi	8
Şekil 1. 9 Seryum elementi toz partiküllerinin görünümü.....	10
Şekil 1. 10 ZnO nanopartiküllerinin görünümü.....	12
Şekil 1. 11 Nanoakışkanın ısı iletkenliğini etkileyen faktörler.....	13
Şekil 1. 12 Elektrostatik kuvvet ile Van der Waals kuvvetlerinin partiküller arası mesafeye bağlı olarak engellenmesinin grafiksel gösterimi	16
Şekil 1. 13 Zeta potansiyel ölçme yöntemi	18
Şekil 1. 14 ZnO nanopartiküllerinin SEM görüntüleri	19
Şekil 1. 15 CeO ₂ nanopartiküllerinin farklı tanecik boyutlarında SEM görüntüleri	19
Şekil 1. 16 Mart 2023 dönemi lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı ...	20
Şekil 1. 17 Dünya'ya ulaşan güneş ışığı dağılımı.....	20
Şekil 1. 18 Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli.....	21
Şekil 1. 19 Türkiye'de güneş enerjisi kullanımının yıllara göre değişimi.....	23
Şekil 1. 20 Güneş enerjisi sistemleri.....	25
Şekil 1. 21 Düzlemsel güneş kollektörü	26
Şekil 1. 22 Düz plakalı kollektörün ayrıntılı görünüşü.....	26
Şekil 1. 23 Bir kollektörün ısı kazanç ve kayıpları	27
Şekil 1. 24 Vakum tüplü güneş kollektörü	27
Şekil 1. 25 Doğal dolaşımli sistem örneği	28
Şekil 1. 26 Pompa dolaşımli sistem örneği.....	29
Şekil 1. 27 Düşük sıcaklıktaki güneş havuzlarından elektrik üretmek için kurulmuş organik Rankine Çevrimi ile çalışan bir elektrik üretim santrali.....	30
Şekil 1. 28 Güneş bacası şematik gösterimi	31
Şekil 1. 29 Güneş ocağı	31
Şekil 1. 30 Sera uygulaması.....	32
Şekil 1. 31 Kendi enerjisini kendi üreten Nef stadyumu güneş mimarisi.....	32
Şekil 1. 32 Pv çalışma prensibi	33
Şekil 1. 33 Pv sistem örneği.....	34
Şekil 1. 34 On-Grid sistemler	34
Şekil 1. 35 Off-Grid sistemler.....	35
Şekil 3. 1 Paneli taşıyacak sac konstruksiyonu.....	47
Şekil 3. 2 Deney düzeneği	47
Şekil 3. 3 Deney düzeneği şematik görünümü	48
Şekil 3. 4 Düzlemsel güneş kollektörü	49
Şekil 3. 5 Welko sirkülasyon pompası.....	49
Şekil 3. 6 a) Boyler dijital termometre b) Erc marka tek serpantinli boyler.....	50
Şekil 3. 7 Ifm DN 15 elektromanyetik debimetre.....	51
Şekil 3. 8 LZS 101 model şamandıralı debimetre	52
Şekil 3. 9 J tipi termokupl.....	53
Şekil 3. 10 Cem DT-3891G 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı	54
Şekil 3. 11 CEM DT 1307 piranometre	55
Şekil 3. 12 Geratech DT 8820 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı	56
Şekil 3. 13 Mertav M 4000 ölçüm cihazı.....	57
Şekil 3. 14 Deney düzeneğinde kullanılan CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanları.....	58
Şekil 3. 15 Deney düzeneğinde kullanılan ZnO-su nanoakışkanı	58
Şekil 5. 1 % 0.01 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 50 lt/saat debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	62

Şekil 5. 2 % 0.01 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	63
Şekil 5. 3 % 0.01 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	63
Şekil 5. 4 % 0.1 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	64
Şekil 5. 5 % 0.1 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	65
Şekil 5. 6 % 0.1 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	65
Şekil 5. 7 % 1 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	66
Şekil 5. 8 % 1 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	67
Şekil 5. 9 % 1 CeO ₂ -su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	67
Şekil 5. 10 % 0.01 ZnO-su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	68
Şekil 5. 11 % 0.01 ZnO-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	68
Şekil 5. 12 % 0.01 ZnO-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	69
Şekil 5. 13 % 0.1 ZnO-su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	70
Şekil 5. 14 % 0.1 ZnO-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	70
Şekil 5. 15 % 0.1 ZnO-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	71
Şekil 5. 16 % 1 ZnO-su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	71
Şekil 5. 17 % 1 ZnO-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	72
Şekil 5. 18 % 1 ZnO-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi.....	72
Şekil 5. 19 50 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verim değerleri.....	75
Şekil 5. 20 150 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verim değerleri.....	76
Şekil 5. 21 250 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verim değerleri.....	77
Şekil 5. 22 50 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verimin ışıınım miktarına bağlı değişimi.....	78
Şekil 5. 23 150 l/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verimin ışıınım miktarına bağlı değişimi.....	79
Şekil 5. 24 250 l/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO ₂ -su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verimin ışıınım miktarına bağlı değişimi.....	80
Şekil 5. 25 Ekserji Yıkımı- Entropi üretiminin debiye bağlı değişimi	81
Şekil 5. 26 Yutucu plaka ve içinden akışkan geçen borunun ağ yapısı	84
Şekil 5. 27 İçinden akışkan geçen borunun giriş ve çıkış noktaları.....	84
Şekil 5. 28 Sayısal çalışmaya ait Mesh yapısı	86
Şekil 5. 29 50 lt/h debide, %1 ZnO-su nanoakışkanının panel içindeki sıcaklık dağılım profili	86
Şekil 5. 30 Yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen borunun sınır şartları	87
Şekil 5. 31 50 lt/h debi, % 0.01 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	88
Şekil 5. 32 150 lt/h debi, % 0.01 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili ..	88
Şekil 5. 33 250 lt/h debi, % 0.01 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili ..	89
Şekil 5. 34 50 lt/h debi, % 0.1 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	90
Şekil 5. 35 150 lt/h debi, % 0.1 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	90

Şekil 5. 36 250 lt/h debi, % 0.1 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	91
Şekil 5. 37 50 lt/h debi , % 1 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	92
Şekil 5. 38 150 lt/h debi, % 1 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	92
Şekil 5. 39 250 lt/h debi, % 1 CeO ₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	93
Şekil 5. 40 50 lt/h debi, % 0.01 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili.....	94
Şekil 5. 41 150 lt/h debi, % 0.01 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili....	94
Şekil 5. 42 250 lt/h debi, % 0.01 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili....	95
Şekil 5. 43 50 lt/h debi, %0.1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili.....	95
Şekil 5. 44 150 lt/h, %0.1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili	96
Şekil 5. 45 250 lt/h debi, % 0.1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili.....	96
Şekil 5. 46 50 lt/h debi, % 1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili.....	97
Şekil 5. 47 150 lt/h debi, %1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili.....	97
Şekil 5. 48 250 lt/h debi, %1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili.....	98
Şekil 5. 49 % 0.01 CeO ₂ ve % 0.01 ZnO nanoakışkanları için 3 farklı debide deneysel ve sayısal analiz çıkış sıcaklık sonuçları	100



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$T_{\text{ç}}$	: Kollektör çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{g}	: Kollektör giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ng}	: Nanoakışkan kollektör giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{k}	: Güneşin yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{o}	: Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_{nc}	: Nanoakışkan kollektör çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
F_{R}	: Kollektör ısı kazanç faktörü
U_{L}	: Kollektördeki ısı transfer kayıp katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
G_{T}	: Işınım miktarı (W/m^2)
A	: Kollektör yüzey alanı (m^2)
C_{p}	: Sıvının özgül ısısı (J/kgK)
F_{R}	: Kollektör ısı transfer faktörü
k	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
$\dot{Q}_{\text{o}}$	: Toplam ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_{\text{k}}$	: Güneşten kollektör yüzey alanına aktarılan ısı miktarı (W)
μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi (kg/ms)
ρ	: Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)
ϕ	: Hacimsel oran
η	: Kollektör verimi
$E\dot{x}_{\text{kayıp}}$	: Tersinmezliklerden meydana gelen ekserji kaybı (W)
$E\dot{x}_{\text{ısı}}$	: Sisteme gelen ısı ekserjisi (W)
$E\dot{x}_{\text{iş}}$	: Sistemden çıkan iş ekserjisi (W)
$E\dot{x}_{\text{kütle,giriş}}$	: Sisteme giren akış ekserjisi (W)
$E\dot{x}_{\text{kütle,çıkış}}$	: Sistemden çıkan akış ekserjisidir (W)
C_{ph}	: Sıcak akışkanın özgül ısısı (J/kgK)
C_{pc}	: Soğuk akışkanın özgül ısısı (J/kgK)
Ψ	: Tersinmezlik
ν	: Kinematik viskozite (m^2/s)
h	: Ortalama ısı taşınım katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

p_p	: Nanopartikülün yoğunluğu (kg/m^3)
p_n	: Nanoakışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
S_{gen}	: Entropi üretimi (W/K)
$\emptyset$	: Enlem
n	: Gün sayısı
β	: Optimum kollektör eğim açısı
$h_{\text{çıkış}}$	: Kollektörden çıkan entalpi (kJ/kg)
$h_{\text{giriş}}$	: Kollektöre giren entalpi (kJ/kg)
$s_{\text{çıkış}}$	: Kollektörden çıkan entropi (kJ/kg)
$s_{\text{giriş}}$	: Kollektöre giren entropidir (kJ/kg)
$[F_R(\tau\alpha)]$	: Absorbe edilen enerji
F_{RUL}	: Kollektörden ayrılan enerji kayıp parametresi (Wm^2K^{-1})
T^*	: İndirgenmiş sıcaklık parametresi

Kısaltmalar

b_f	: Temel akışkan
n_f	: Nanoakışkan
p	: partikül
g	: giriş
ϕ	: çıkış

1. GİRİŞ

Dünya genelinde ekonomik ve sosyal yönden kalkınmış ülkeler incelendiğinde enerji potansiyeli bakımından gelişmiş oldukları açıkça görülmektedir. Enerji bir ülkenin yaşam standartlarını yükseltebilmek için sahip olması gereken önemli kaynaklardan bir tanesidir (Dixit ve ark., 2015). Bir ülkenin sürdürülebilir kalkınabilmesi için kendi enerji kaynaklarına sahip olması ve bu kaynaklardan kendi ihtiyacını karşılayabilmesi gerekir. Hem sivil hem de endüstriyel uygulamalarda fosil yakıtlara olan yüksek talep, enerjiye olan ihtiyacı daha da artırmıştır. Bu artışın bir sonucu olarak küresel ısınmanın en önemli sebebi olan hava kirliliğini azaltmak için fosil yakıt kullanımı azaltılmalıdır (Kumar ve ark., 2017). Dünya genelinde enerjiye talebin arttığı bu dönemde fosil yakıtların olumsuz etkilerini sınırlamak için yenilenebilir enerji kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Fosil yakıtlardan yayılan karbondioksit emisyonları nedeniyle çevre kirliliği arttıkça, fosil yakıtların yerini almak ve olumsuz etkilerini azaltmak için yenilenebilir enerjiye olan talep artmaktadır (Hasan ve ark., 2019). Yenilenebilir enerjinin sayısız formu vardır, bunlardan biri de güneş enerjisidir. Düzlemsel güneş kolektörleri en temiz ve en verimli ısıtma sistemlerinden biridir. Bununla birlikte, güneş kolektörlerinin kurulumu hala pahalıdır ve enerji dönüşüm verimliliği zayıftır; bu nedenle güneş kolektörlerinin kurulum maliyetini düşürmek ve verimliliğini artırmak için güneş kolektörünün yapısal değişimi üzerine ve güneş kolektörlerinde kullanılan çalışma akışkanları üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Kaygusuz ve ark., 2002).

Güneş kolektörlerinde çalışma sıvısını değiştirerek güneş kolektörünün performansını artırmak mümkündür. Çalışma sıvısına daha yüksek ısı iletkenliğine sahip nanopartiküller eklenerek verimi iyileştirmek yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (Bektaş ve ark., 2019).

Metal oksit bazlı nanoakışkanların kullanımı son zamanlarda giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmada daha yüksek termal iletkenlik, geniş yüzey alanı, düşük maliyet, kolayca bulunabilen, uzun süre stabil bir süspansiyon olarak kalabilmesi ve geleceğin malzemeleri olarak gösterilmesi nedeniyle ZnO (çinko oksit) ve CeO₂ (seryum oksit) metal oksit nanoakışkanları kullanılmıştır.

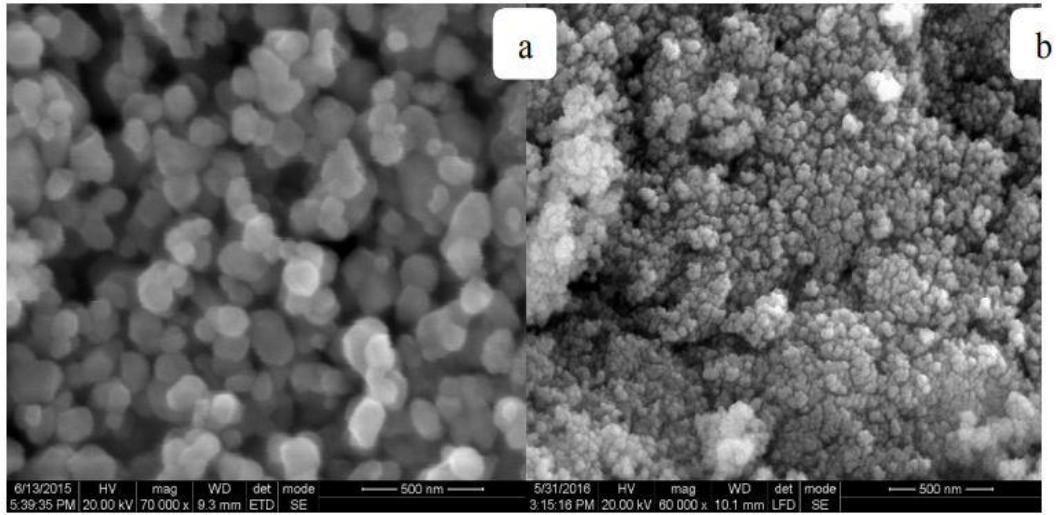
Yukarıda bahsedilen birçok olumlu özellik nedeniyle ZnO (çinko oksit) ve CeO₂ (seryum oksit) nanoakışkanları son zamanlarda güneş enerji sistemleri için uygun çalışma akışkanları olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Düzlemsel güneş kolektörlerinde gelen güneş ışıını sayesinde yüksek miktarda enerji girişı ve ekserji girişı olur. Bu nedenle düzlemsel güneş kolektörlerinde Ekserji ve Entropi analizi yapılması tersinmezlikleri minimize etmek ve verimin artırılması için önemli bir yöntemdir. Yapılan bu analiz sayesinde daha verimli sistemlerin tasarlanabilmesi mümkün kılınmaktadır.

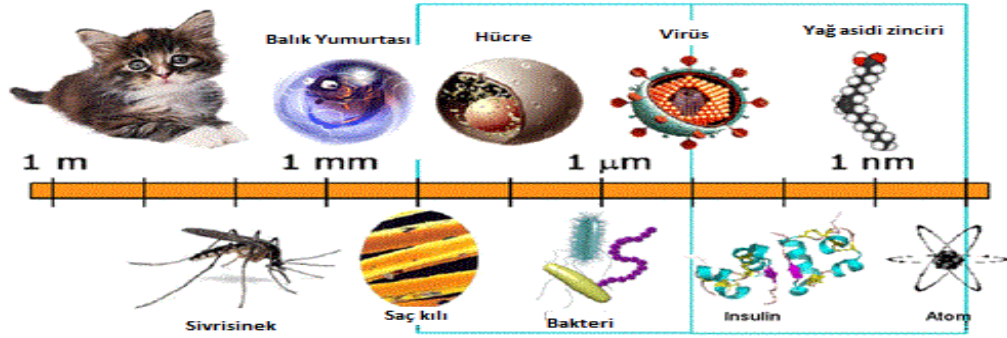
Bu çalışmanın amacı düzlemsel güneş kolektörlerinde çevre dostu, gelişen teknolojiye tam uyumlu kararlı %0.01, %0.1, %1 hacimsel konsantrasyonlarda Seryum oksit (CeO_2) ve Çinko Oksit (ZnO) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) ve farklı saatlerde (07:30-17:30) verim, sıcaklık-ışınım-saat, entropi üretimi, ekserji kaybı gibi parametreler açısından mukayese etmektir. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara ilave olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak analiz çalışmaları yapılmış ve deneysel olarak elde edilen verilerle karşılaştırma yapılmıştır.

1.1. Nanoakışkanlar

Yirmi birinci yüzyıl teknolojik devrim yılı olarak bilinmektedir. Dünyada var olan tüm sektörler bu yüzyılda birçok devrim sayılabilecek değişiklikle karşılaşmıştır. 1974'te ünlü bilim insanı Norio Taniguchi ilk olarak "Nanoteknoloji" kavramını kullanmıştır. Nano kelimesi latince kökenli olup cüce anlamına gelmektedir (Johal, 2011). 1995 yılında Argonne Laboratuvarı (ABD) bilim adamı Choi başarıyla nanoakışkan sentezini gerçekleştirmiştir (Lee ve Mudawar, 2007). Choi'nin devrim sayılabilecek bu başarısından sonra, tarihte birçok araştırmacı bu dönüm noktası sayılacak gelişmeyi kendilerine referans olarak kabul etmişlerdir (Chein ve Chuang, 2007). Nanoakışkan çalışmaları bu gelişmelerden sonra oldukça fazlalaşmaya başlamıştır (Mukherjee ve ark., 2013). Şekil 1.1'de CeO_2 nanoakışkanının hazırlandıktan 12 ve 24 saat sonraki SEM görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 1.2'de bazı nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir.

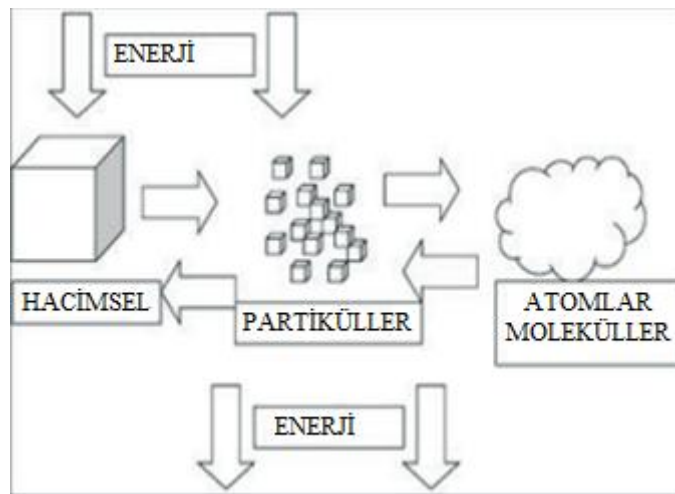


Şekil 1. 1 CeO₂'nin hazırlandıktan a) 12 saat sonra b) 24 saat sonra SEM görüntüsü (Liveri ve ark., 2006)



Şekil 1. 2 Nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri (Saidur ve ark., 2011)

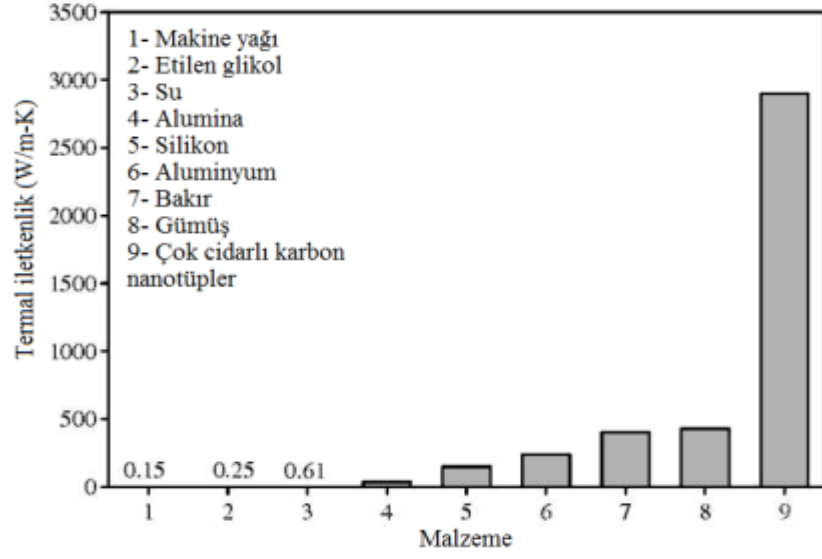
Şekil 1.3'de nanoparçacık üretiminde kullanılan yöntemler gösterilmiştir.



Şekil 1. 3 Nanoparçacık üretiminde kullanılan yöntemler (Saidur ve ark., 2011)

Termal sistemlerin kullanımı sırasında harcanan enerji ve harcanan bu enerjiye karşılık enerji kaynaklarının yetersizliği birçok endüstriyel uygulamada önemli sorundur. Son birkaç yılda elektronik, iletişim ve bilgisayar gibi teknolojik alanlarda devasa bir büyüme ile karşılaşmakla beraber, bu alanlarda büyüme hızla devam etmektedir. Hibrit elektrikli araçlar (HEV) , havacılık uygulamaları, mikro kanallarda ısı akışı gibi yüksek güç gerektiren sistemlerin termal yönetimi zorlu konulardır ve yüksek enerji performansı gerektirmektedir. Gelenekselleşen ısı transferi yöntemleri enerji kaynaklarının yetersiz olması ve ortaya çıkan enerji kayıpları nedeniyle yönetilmesi zor bir enerji konusudur (Chakraborty, 2018). Su gibi konvansiyonel sıvılar, etilen glikol ve mineral yağlar zayıf ısı iletkenliğine sahiptir. Bu nedenle, sahip olunan yeni teknolojilerin soğutma sıvılarının termal özelliklerini iyileştirme potansiyeli araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Geleneksel sıvılarda ısı transferi performansını artırmanın etkili bir yolu, geleneksel sıvılara metalik ve metalik olmayan küçük katı parçacıklar eklemektir (Wusiman ve ark., 2013). Nanoteknoloji ve ilgili üretim tekniklerindeki son gelişmeler, nano boyutlu parçacıkların üretilmesini mümkün kılmıştır. Nanoakışkanların temel amacı, mümkün olan en küçük nanopartikül konsantrasyonundan mümkün olan en yüksek termal iletkenlik değerini elde etmektir. Nanoakışkanların moleküler zincir davranışı nedeniyle baz akışkanda düzgün bir şekilde dağılmış nanopartiküller, daha yüksek ısı iletimi, mikrokanal soğutma gibi önemli faydalar sağlamıştır. Nanoakışkanlar endüstriyel uygulamalarda kullandıklarında tıkanma özelliklerinin az olmasından dolayı erozyon ve pompalama gücü olasılığını azaltır, karışımın ısı iletkenliğinde ve stabilitesinde artış gösterir. Genel olarak, nanoakışkanların yukarıda bahsedilen özellikleri bize nanoakışkan teknolojisinde yeni bir araştırma alanı sağlar ve bu teknolojiyi daha ileriye taşımak ve geliştirmek için bize fırsatlar sunar (Suleimanov ve ark., 2018).

Nanoakışkanlar araç radyatörleri, ulaşım, soğutma, küçültülmüş sensörler, motorlar, valfler, yakıt hücreleri, enerji üretimi, savunma, nükleer, uzay, mikroelektronik ve biyomedikal cihazlarda ısı transferi ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla kullanılır (Zhang ve ark., 2014).

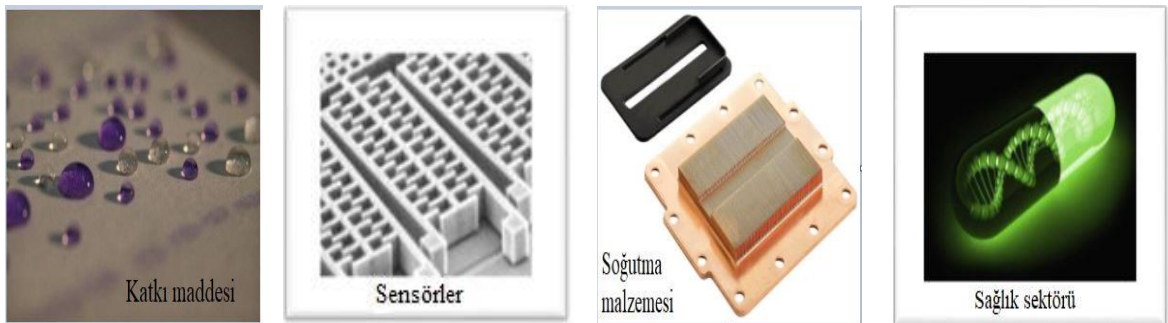


Şekil 1. 4 Nanopartiküllerin termal iletkenlikleri (Murshed et al. 2008)

Şekil 1.4’de bazı nanopartiküllerin termal iletkenlikleri gösterilmiştir. Nanoakışkanları mühendislik uygulamalarında popüler yapan özel niteliklerinden bazıları şunlardır (Yu ve ark., 2012):

- Termal iletkenliği artırır,
- Stabilitesi yüksektir,
- Mikrokanallarda daha az tıkanır ve daha az erezyona uğrar,
- Pompalama gücünde azalma sağlarlar,
- Sürtünme kat sayısını azaltır,
- Yağlayıcılık özellikleri iyidir,
- Enerji verimliliğine katkıda bulunur,
- Isıl verimi iyileştirir,

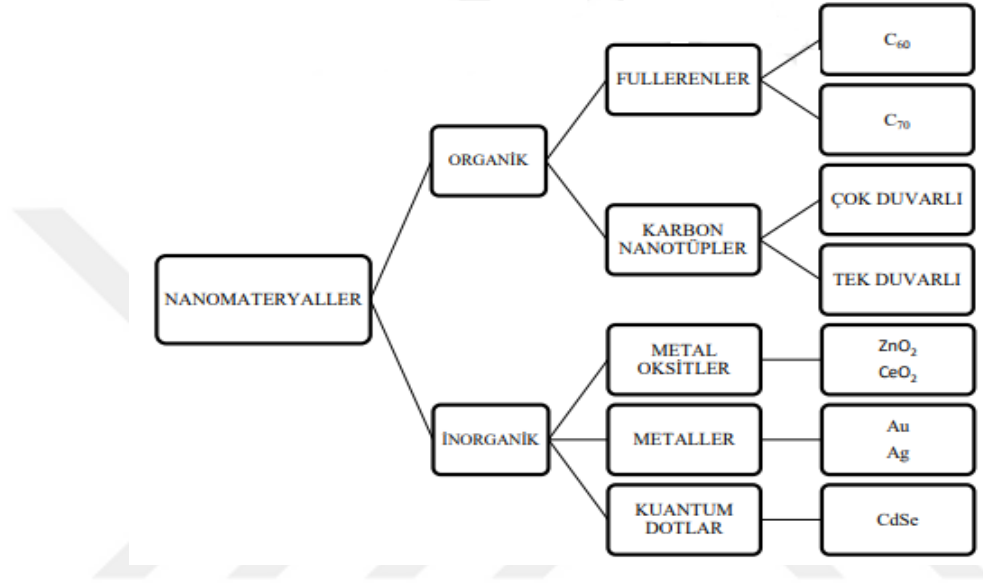
Şekil 1.5’de nanoakışkanların bazı uygulama alanları gösterilmiştir.



Şekil 1. 5 Nanoakışkan uygulama alanları

1.1.1. Nanoakışkan çeşitleri

Nanoakışkan sentezi için kullanılan nanopartikül türlerine bağlı olarak nanoakışkanlar dört farklı kategoriye ayrılabilir: Bunlar saf metalik, metal oksit, karbon tabanlı ve hibrid nanoakışkanlardır (Gupta ve ark., 2015). Şekil 1.6’da nanomateriyaller fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. 6 Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre nanomateriyallerin sınıflandırılması (Gupta ve ark., 2015)

1.1.1.1 Metal oksit nanoakışkanlar

Üretimi ve kimyasal kararlılıkları fazla olduğu için metal oksit nanopartiküller (TiO_2 , Fe_3O_4 , ZnO , Al_2O_3 , CeO_2 , ZnO vb.) endüstriyel ve enerji uygulamalarında sıkça kullanılır. Nanopartiküller arasında en fazla Al_2O_3 , TiO_2 kullanılır. Nanoalüminanın üstün özellikleri sayesinde güzel sonuçlar elde edilir (Boey ve ark., 2006). Titanyum dioksit (TiO_2) son derece kullanışlı bir malzeme olup; ısı değiştirici ve güneş enerjisi uygulamalarında çokça tercih edilen yarı iletken bir geçiş malzemesidir (Leal ve ark., 2009).

1.1.1.2 Metal bazlı nanoakışkanlar

Metalik nanopartiküller (Cu, Ag, Au, Zn, Mg vb.) bazlı partiküllerdir. İki aşamalı yöntem ve uygun stabilizatörler kullanılarak kararlı metal bazlı nanoakışkanlar hazırlanabilir (Khoshvaght ve ark., 2016).

1.1.1.3 Karbon bazlı nanoakışkanlar

Karbon bazlı nanoakışkanlar baz sıvıya kıyasla termal özelliklerde önemli bir iyileşme göstermektedirler. Ancak yüksek maliyetleri ticari olarak yaygınlaşmaları önünde ki en büyük engeldir. Karbon bazlı nanoakışkan ile yapılan çalışmaların büyük kısmı (Grafen, GO, CNT vb.) ile alakalıdır. Karbon bazlı nanoakışkanlara (su, etilen glikol, propil glikol, sıvı parafin, oleilamin yağ vb.) gibi katkı maddeleri eklenerek stabilite yönleri artırılabilir (Chen ve Xie, 2010).

1.1.1.4 Hibrid bazlı nanoakışkanlar

Hibrid nanoakışkanlar birden fazla nanopartikül türü bir nanoakışkanda birleştirilir ve tek tipten yapılmış nanoakışkanlara kıyasla üstün termal özellikleri olan nispeten yeni bir nanoakışkan cinsidir. Nine ve ark., (2012) Al_2O_3 -MWCNT-su nanoakışkanını deney düzeneklerinde kullanmak için hazırladılar ve termal iletkenlik değerinde %8'lik bir artış gözlemlediler. Chakraborty ve ark., (2015) birlikte çökeltme tekniğini kullanarak Cu-Al LDH-su nanosıvısını hazırlamış ve %0.8 hacimsel konsantrasyonlu ısıtma işlemde %16.1'lik bir artış tespit etmişlerdir.

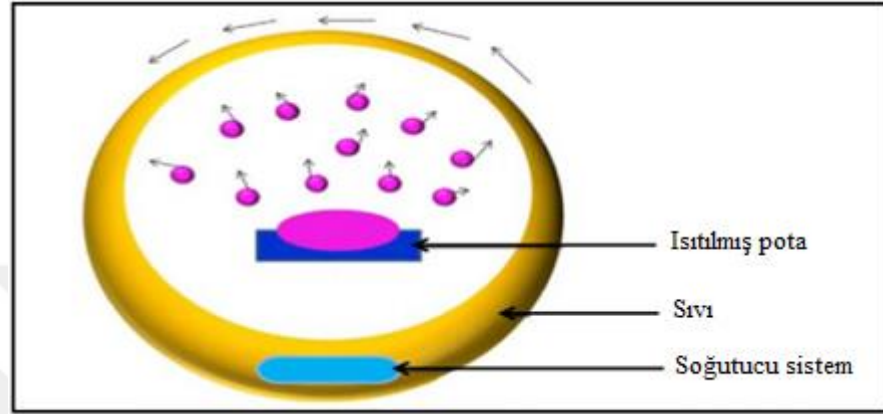
1.2. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri

Literatürde kararlı nanoakışkan meydana getirmek için tek adım yöntemi ve iki adım yöntemi kullanılmaktadır.

1.2.1. Tek adım yöntemi

Tek adım yöntemi, nanoakışkanın temel akışkan ile partikül kurutulması, depolanması ve dağıtılması gibi ara proseslere ihtiyaç duyulmadan doğrudan temel akışkanla ile sentezlenerek nanoakışkanın hazırlanması anlamına gelir. Tek adımlı sentez şeması, baz akışkandaki nanopartikülün eş zamanlı sentezini ve dağılımını sağlar. Bu teknikte partikül aglomerasyonu olasılığı ortadan kalkar. Bu yöntemle nanoakışkanlardan beklenen yüksek homojenlikte ki kararlı durum meydana gelmiş olur. Genel olarak, tek adımlı yöntem nispeten düşük maliyetli bir kimyasal süreç olduğundan dünyada büyük ilgi görmüştür (Özerinç ve ark., 2009). Bu metot ile nanoakışkan yalnızca düşük buhar basıncına sahip

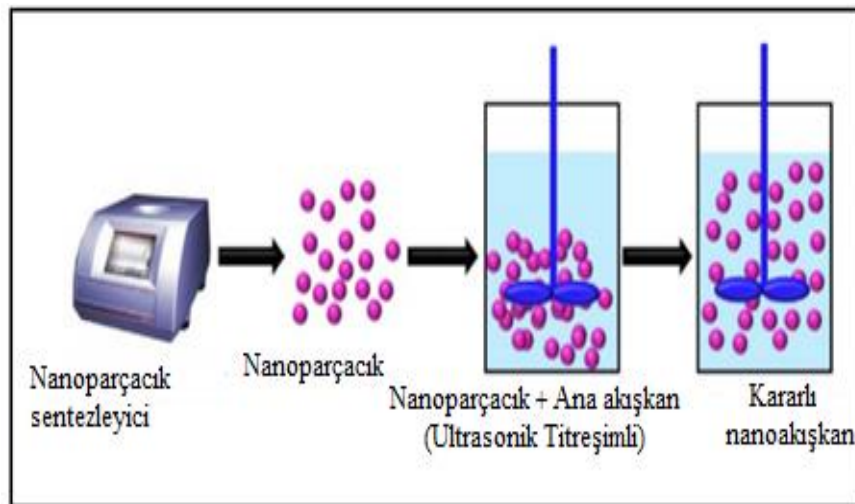
nonoakışkanlar üretilbildiği için bu yöntemin kullanımı kısıtlıdır. Akoh ve ark., (1978) yağ bazlı ferromanyetik (Fe, Ni ve Co) nanoakışkanları kullanarak tek aşamalı bir yöntem olan doğrudan buharlaştırma yöntemini geliştirmiştir. Bu işlem Veros (Çalışan Yağ Substratına Vakum Buharlaştırması) olarak bilinir (Mukherjee ve Paria, 2013). Şekil 1.7’de tek adım hazırlama yöntemi aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1. 7 Tek adım hazırlama yöntemi (Angayarkanni ve ark., 2015)

1.2.2. İki adım yöntemi

En yaygın kullanılan yöntemdir. İki aşamalı metotta partiküller ayrı olarak hazırlanır ve akışkana belirli oranlarda fiziksel eklemeler yapılarak nanoakışkan üretimi gerçekleştirilir (Bigdeli ve ark., 2016). Şekil 1.8’de iki adım hazırlama yöntemi aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1. 8 İki adım hazırlama yöntemi (Angayarkanni ve ark., 2015)

1.3. Nanoakışkanların Uygulama Alanları

Güneş enerjisi uygulamaları: Güneş enerjisine ihtiyaç duyulan alanlarda nanoakışkan kullanımı, çevresel kirliliği azaltmak amacıyla son yıllarda sıkça kullanılmaya başlanan yöntemlerin başında gelmektedir (Mahian ve ark., 2013).

Taşıtlar: Taşıtlarda kullanılan gelenekselleşen akışkanların (motor soğutucuları, makine yağları, otomatik iletim akışkanları, şanzıman yağları) ısı geçiş kapasiteleri zayıftır. Bu akışkanlara az miktarda nanopartikül eklenmesiyle ısı performans artar. Nanoakışkanlar hafif taşıtların üretilmesine olanak sağlayacak, hafif taşıtların üretilmesiyle birlikte yakıttan tasarruf sağlanacaktır (Singh ve ark., 2006).

Soğutma uygulamaları: Elektronik uygulamalarda soğutma sistemi performansını artırmak için gereklidir (Wong ve Leon, 2010). Nanoakışkanların elektronik uygulamalarda kullanılması ve soğutma performansının artırılmasıyla beraber işlemci performansı yüksek daha küçük elektronik cihazlar üretilbilecek ve elektronik cihazların yatırım maliyeti düşürülebilecektir (Jang ve Choi, 2006).

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde: Nanoakışkanlar ısı değiştiricileri, ısı pompaları, ısı boruları ve güneş enerji sistemlerinde kullanılır. Nanoakışkanların bu sistemlerde uygulanmasıyla beraber enerji daha efektif kullanılabilir. Artan enerji performansı ile yatırım maliyeti düşürülebilir, yapılacak Arge çalışmalarıyla yeni tasarımların yapılması sağlanabilir (Erkut, 2012).

Tıbbi uygulamalarda: Nanoakışkanlar sağlık sektöründe terapötik ajan olarak kullanılabileceklerine dair bilimsel çalışmalar yapılmakta olup, kanser hücreleri üzerindeki etkilerinden dolayı kemoterapiye alternatif teşkil edebileceği düşünülmektedir.

Mikro-mekanik cihazlarda: Nanoakışkanlar mikro kanallarda daha az tıkanmaya, çökmeye ve aşınmaya sebep olduklarından iş yapan akışkan olarak kullanılabilir ve böylece efektif ısı uygulama gerektiren teknolojik çalışmalarda uygulanabilir (Saidur ve ark., 2011).

Uzay ve savunma uygulamalarında: Uzay ve savunma sanayide nanoteknoloji uygulamalarına sıklıkla rastlanmaktadır. Soğutma ihtiyacı gerektiren askeri cihazlarda

nanoakışkanlar bu ihtiyacın giderilmesi konusunda önemli referanslar sunmaktadır (Yu ve ark., 2007).

Malzemelerde: Kesme sıvıları imalat aşamasında oluşan ısı ve sürtünme sorununu azaltmak için sıkça başvurulan yöntemlerin başında gelir. Ancak bu sıvıların fazlaca kullanılması çevreye zarar vermektedir (Srikant ve ark., 2009).

Kameralar ve ekranlar: Yapılacak Arge çalışmalarıyla yeni cep telefonu ekranlarının üretilmesi planlanmaktadır (Saidur ve ark., 2011).

1.3.1. CeO₂ nanoakışkanının kullanım alanları

Seryum oksit 1803 yılında İsveçli bilim insanları ve Alman bilim insanları tarafından bulunduğu düşünülmektedir. Periyodik cetvelin 3-B grubunda yer almaktadır (Lide, 2007).



Şekil 1. 9 Seryum elementi toz partiküllerinin görünümü (Matheswaran ve ark., 2020)

Seryumun doğada çok fazla bulunuyor olması, teknolojik alanda popüler ve çok kullanılır bir malzeme olmasını sağlamıştır (Haynes, 2017). Şekil 1.9'da Seryum elementinin toz partikül görünümü gösterilmiştir. CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanı iyi termal özelliklere sahip olmasına rağmen düzlemsel güneş kolektörlerinde çalışma sıvısı olarak kullanılma fikri yeni bir çalışma ürünüdür (Tiwari ve ark., 2013). Çizelge 1.1'de CeO₂'nin termofiziksel özellikleri gösterilmiştir.

- Kararlılığı yüksek olan nanoakışkanlardır. Hazırlanması diğer metal oksit nanoakışkanlara göre daha kolaydır,

- Fiyatı diğer metal oksit nanoakışkanlara göre daha düşüktür; bu yüzden iyi bir ekonomik potansiyele sahiptir,

- Kullanırken toksisite veya yanıcılık gözlenmemiştir, bu nedenle çevre dostu nanoakışkanlardır,

Seryum oksitin birçok kullanım alanı vardır :

- Yakıt pillerinde,
- Oksijen ve gaz sensörlerinde,
- Optik cihazlarda,
- Aydınlatmalarda,
- Cam malzemeleri parlatmada,
- Otomobillerde katalitik dönüştürücü olarak ve motor performansını artırmada,
- Isı değiştiricileri, güneş panelleri, ısıtma ve iklimlendirme uygulamalarında ısı iletkenlik değeri yüksek olduğu için efektif verimi artırmak için kullanılır (Niu ve diğ, 2007),
- Güneş ışığına maruz kalmış pigmentlerde polimer oluşumunun önlenmesinde (Kargozar ve diğ, 2021; Sun ve diğ, 2010) kullanılır.

Çizelge 1. 1 CeO₂ termofiziksel özellikleri (Sheikh ve ark., 2018)

Moleküler Ağırlık	172 g
Erime Noktası	2600°C
Yoğunluk	7.13 g/cm ³
Özgül Isı	460 J/kgK
Isıl İletkenlik	12 W/mK

1.3.2. ZnO nanoakışkanının kullanım alanları

Çinko oksit son yıllarda bilim adamlarının cazibe merkezi olarak gördükleri, üzerinde çokça araştırma yaptıkları ve bilimsel makalelerde çokça yer verdiği bir malzemedir (Frederickson ve ark., 2005). Şekil 1.10'da ZnO nanopartiküllerinin görünümü gösterilmiştir. Çizelge 1.2'de ZnO'nun termofiziksel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 10 ZnO nanopartiküllerinin görünümü (Vidhya ve ark., 2020)

Bu alanda ki diğer malzemelere göre ZnO yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik özellikleriyle enerji uygulamalarında birçok avantaj sağlamaktadır.

ZnO nanopartikülleri birçok alanda kullanılır (Touam ve ark., 2015).

- Isı değıştiricileri, güneş panelleri, ısıtma ve iklimlendirme uygulamalarında ısı iletkenlik değeri yüksek olduğu için efektif verimi artırmak için,
- Boya sanayisinde, sulu boyalarda beyaz pigment olarak,
- Tekstil sanayinde, dolgu malzemesi olarak,
- Metal kaplama sanayinde, çeşitli metal yüzeylerin kaplaması olarak,

Çizelge 1. 2 ZnO'nun termofiziksel özellikleri (Vidhya ve ark., 2020)

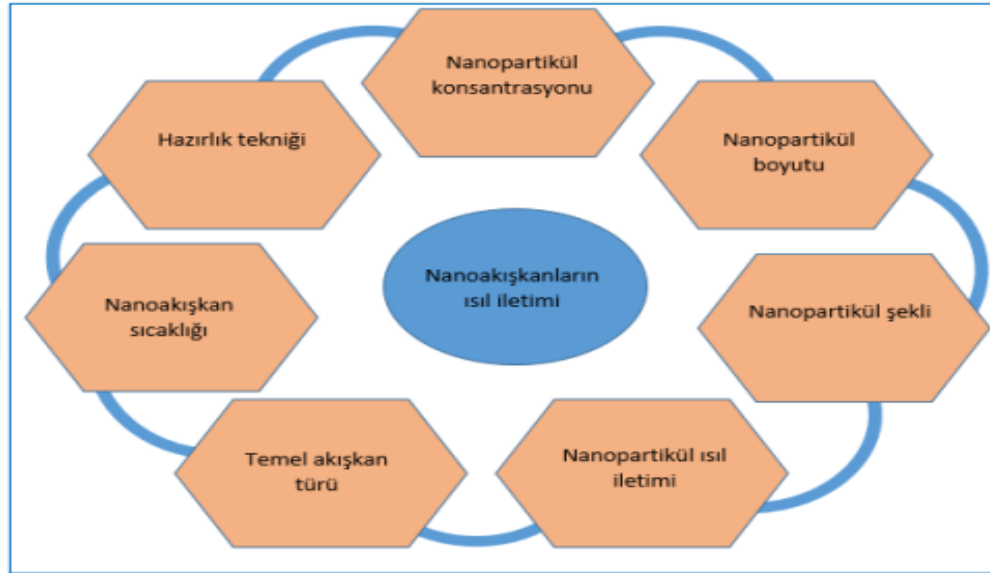
İletim Bant Aralığı	3.4 eV
Optik Dalga Boyu	0.4- 2µ
Ergime Noktası	1975°C
Atom Ağırlığı	81.408 g/mol,
Yoğunluğu	5.606 g/ cm ³
Isı İletim Katsayısı	27 W/mK
Isı Kapasitesi	40.3 J/mol K'dir

1.4. Nanaakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Akışkanların en önemli termofiziksel özellikleri ısı iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı ve viskozitedir (Bhattacharya ve ark., 2011).

1.4.1. Isıl iletkenlik

Temel akışkanlara eklenen nanopartiküllerin akışkanın ısı transferi performansını artırır (Xuan ve Li, 2000). Şekil 1.11’de nanoakışkanın ısı iletkenliğini etkileyen faktörler gösterilmiştir.



Şekil 1. 11 Nanoakışkanın ısı iletkenliğini etkileyen faktörler (Dunn ve ark., 2013)

Nanoakışkanların ısı iletkenlik ölçümünde en çok geçici sıcak tel tekniği kullanılır. Bu düzenleme tel yalıtılarak uygulanır (Beck ve ark., 2009). Çizelge 1.3’de çeşitli sıvı ve katıların ısı iletkenliği gösterilmiştir. Çizelge 1.4’de ısı iletkenlik artırım deneysel çalışmalarının özeti gösterilmiştir.

Çizelge 1. 3 Çeşitli sıvıların ve katıların ısı iletkenliği (Eastman ve ark., 2001)

Metal Oksitler	Isıl İletim Katsayısı (W/mK)
Seryum Oksit (CeO_2)	12
Alüminyum Oksit (Al_2O_3)	40
Çinko Oksit (ZnO)	27
Elmas	3300
Karbon Nanotüpler	3000
Silikon	148
Metalik Olmayan Sıvılar	
Su	0.613
Etilen Glikol (EG)	0.253
Motor Yağı (EO)	0.144

Çizelge 1. 4 Isıl iletkenlik artırım deneysel çalışmalarının özeti (Yu ve ark., 2008)

Yapılan Çalışmalar	Parçacık Tipi	Baz Akışkan	Parçacık Hacimsel Oranı (%)	Parçacık Boyutu (nm)	Maksimum Artış (%)	Notlar
Masuda vd.	Al ₂ O ₃	Su	1.30–4.30	13	32.4	31.85°C
	SiO ₂	Su	1.10–2.40	12	1.1	–
	TiO ₂	Su	3.10–4.30	27	10.8	86.85°C
Lee vd.	Al ₂ O ₃	Su/ EG	1.00–4.30 1.00–5.00	38.4	10 / 18	Oda sıcaklığı
	CuO	Su/ EG	1.00–3.41 1.00–4.00	23.6	12 / 23	
Wang vd.	Al ₂ O ₃	Su/ EG	3.00–5.50 5.00–8.00	28	16 / 41	Oda sıcaklığı
	Al ₂ O ₃	EO/PO	2.25–7.40 5.00–7.10	28	30 / 20	
	CuO	Su/ EG	4.50–9.70 6.20–14.80	23	34 / 54	
Eastman vd.	Cu	EG	0.01–0.56	<10	41	Oda sıcaklığı
Xie vd.	SiC	Su/ EG	0.78–4.18 0.89–3.50	26 küre	17 / 13	Parçacık şekli ve büyüklüğü analiz edildi.
	SiC	Su / EG	1.00–4.00	600 silindir	24 / 23	
Xie vd.	Al ₂ O ₃	Su/ EG	5.00	60.4	23 / 29	Oda sıcaklığı
	Al ₂ O ₃	PO/Gliserin	5.00	60.4	38 / 27	
Chopkar vd.	Al ₂ Cu	Su/EG	1.00–2.00	31/68/101	96/76/61	Parçacık büyüklüğü analiz edildi.
	Ag ₂ Al	Su/EG	1.00–2.00	33/80/120	106/93/75	
Beck vd	Al ₂ O ₃	Su	1.86–4.00	8–282	20	Parçacık büyüklüğü ve şekli analiz edildi.
	Al ₂ O ₃	EG	2.00–3.01	12–282	19	

EG: Etilen Glikol EO: Motor Yağı PO: PompaYağı TO: Trafo Yağı PAO: Poli Alfa Olefin

1.4.2. Yoğunluk

Nanoakışkanların yoğunluğu aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir. Denklem 1.1’de ρ_{nf} nanoakışkan yoğunluğunu, ρ_p partikül yoğunluğunu, ϕ hacimsel oranı, ρ_{bf} temel akışkanın yoğunluğu olarak verilmiştir.

$$\rho_{nf} = \rho_p \phi + \rho_{bf}(1 - \phi) \quad (1.1)$$

1.4.3. Özgül ısı

Nanoakışkanların özgül ısını belirlemek için iki ifade vardır. Xuan ve Roetzel, (2000) yaptıkları çalışmalarda aşağıda ki denklemi elde etmişlerdir. Denklem 1.2’de $c_{p,nf}$ nanoakışkanın özgül ısısı, $c_{p,p}$ partikülün özgül ısısı, $c_{p,f}$ suyun özgül ısısı olarak verilmiştir.

$$c_{p,nf} = \phi c_{p,p} + (1 - \phi)c_{p,f} \quad (1.2)$$

Kumaresan ve Velraj, (2012) yaptıkları çalışmada aşağıda ki denklemi elde etmişlerdir.

$$(\rho c_p)_{nf} = \phi(\rho c_p)_p + (1 - \phi)(\rho c_p)_f \quad (1.3)$$

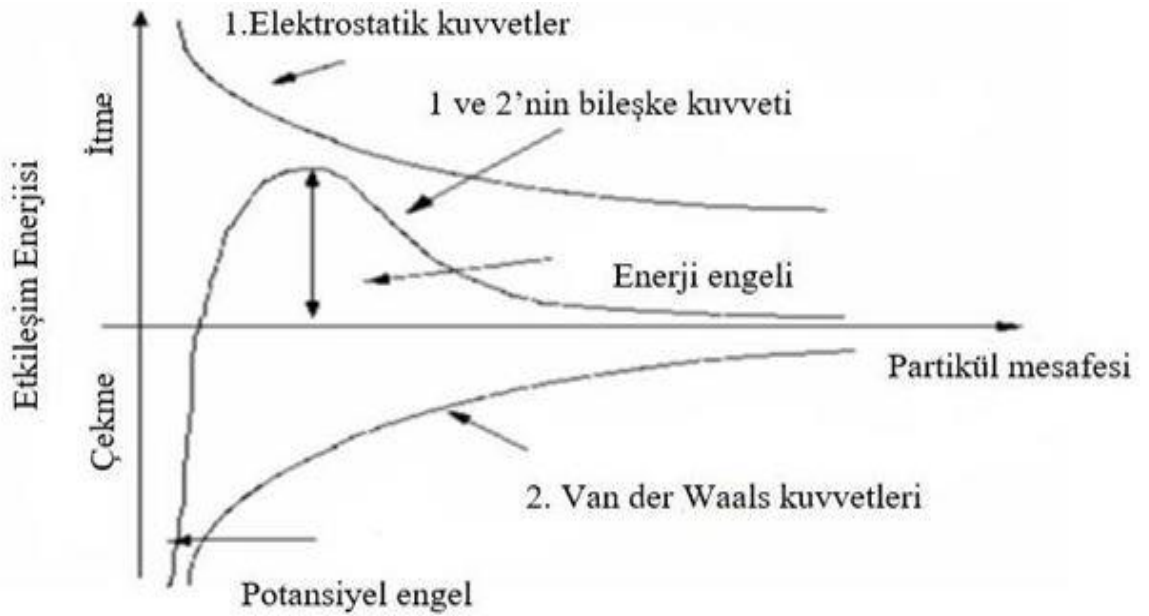
1.4.4. Viskozite

Nanoakışkan viskozitesi enerji uygulamaları için incelenmesi gereken parametrelerin başında gelir. Çünkü viskozite zorlanmış konveksiyondaki basınç düşüşünü doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelir (Kole ve ark., 2012).

1.5. Nanoakışkan Kararlılığı

Nanoakışkan kararlılığı, nanoakışkan alanında çalışan bilim insanlarının önem verdiği bir konudur. Nanoakışkan kararlılığı; temel akışkan içerisine eklenen nanopartiküllerden sonra meydana gelecek yeni nanoakışkanın fiziksel özelliklerini koruması olarak açıklanabilir. Nanoakışkanlar çökelme eğilimleri nedeniyle ısı transferi potansiyelini kaybedebilirler.

Bu nedenle, stabilite araştırması bu süspansiyonların kararlı ve nanoakışkanın özelliklerini kaybetmemesi için gerekli faktörleri analiz etmek için önemli bir yöntemdir (Hwang ve ark., 2007). Topaklanma ve çökme nanoakışkanlarda sıkça karşılaşılan problemlerden olup; bu durum ısı transferini ve nanoakışkanın kararlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Nanopartiküllerin yüzey alanı/ hacim oranları çok yüksektir. Nano boyutta partiküllerin üzerine etkiyen kuvvetlerin yüzey alanı/ hacim oranının yüksek olması nedeniyle bileşke kuvvet yönünün alansal kuvvetlere doğru kaydığı bilinmektedir. Nanoakışkanların kararlılığını artırma yöntemlerinden en önemlisi; Van der Waals kuvvetlerine karşı üstün gelmektir. Akışkan içerisindeki partiküller üzerine etki eden kuvvetler, Van der Waals bağ kuvvetlerine ve yüzeylerin sahip olduğu elektriksel kuvvete bağlıdır. Van der Waals bağ kuvvetleri, aynı cins moleküller arasında meydana gelen, aralarındaki mesafenin azalmasıyla artan ve molekülleri bir arada tutan kuvvettir. Van der Waals kuvvetleri partiküller arasındaki çekim kuvvetinin en belirgin sebebidir. Nanoakışkanların uzun süre kararlı kalabilmesi için partiküller arasındaki etkileşimi azaltmak ve itme kuvvetlerini daha etkin hale getirmek için Van der Waals kuvvetlerinin aşılması gerekmektedir (Missana ve ark., 2002). Şekil 1.12’de Elektrostatik kuvvet ile Van der Waals kuvvetlerinin partiküller arası mesafeye bağlı olarak engellenmesinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. 12 Elektrostatik kuvvet ile Van der Waals kuvvetlerinin partiküller arası mesafeye bağlı olarak engellenmesinin grafiksel gösterimi (Missana ve ark., 2002)

1.5.1. Nanoakışkanın kararlılığını artırma yöntemleri

Nanopartiküllerin topaklanmasını engellemek ve kararlılığını artırmak için bazı yöntemler vardır: Süspansiyonun pH değerini değiştirmek, yüzey aktif madde çözeltilerinin kullanımı, ultrasonik titreşim yöntemleri kullanılarak topaklanmasını engellemek en bilinen yöntemler arasında yer almaktadır (Yu ve ark., 2008).

I. pH değerini değiştirmek: Nanoakışkan stabilitesi elektro-kinetik özellikler ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle nanoakışkanların pH kontrolü, güçlü itici kuvvetler nedeniyle stabiliteyi artırabilir (Lee ve ark., 2003).

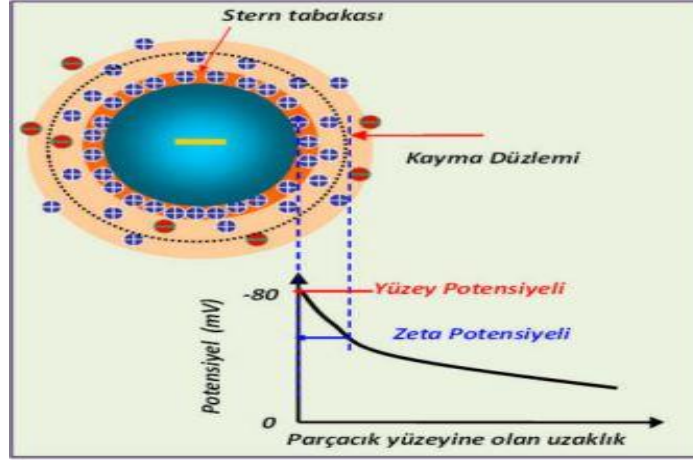
II. Yüzey aktif madde çözeltilerinin kullanımı: Nanoakışkanlar hazırlanma aşamasındayken nanopartiküller ile iş yapan akışkanlar arasında yüzey gerilimleri oluşur. Yüzey aktif maddelerin bu gerilimleri azaltıcı yönde etkileri olduğu bilinmektedir. Araştırmalarda farklı türdeki nanoakışkanlar için çeşitli sürfaktanlar kullanılmıştır. Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) , tuz ve Oleik Asit , Dodesil Trimetil Amonyum Bromür (DTAB) , Hekza Desil Trimetil Amonyum Bromit (HCTAB) , Polivinilpirolidon (PVP) , Arap Zamkı literatürde bilinen sürfaktanlardır (Chandrasekar ve ark., 2010).

III. Ultrasonik titreşim: Topaklanmayı engellemek için kullanılan en etkili yöntemlerin başında gelmektedir. Ultrasonik etki iki çeşit yöntemle uygulanır (Mostafizur ve ark., 2014). Bilinen ilk yöntem bir prop yardımıyla ses dalgası göndermektir. Diğer bir yöntem ise topaklaşmış nanopartikülleri ayrıştırmayı amaçlayan ultrasonik banyodur (Akyürek, 2014).

1.6. Nanoakışkanın Kararlılığını Ölçme Yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılığını ölçmek için bazı yöntemler vardır:

I. Zeta potansiyel ölçme yöntemi: Zeta potansiyeli, nanoakışkanların kararlılığının bir ölçüsüdür. Şekil 1.13’de Zeta potansiyel ölçme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1. 13 Zeta potansiyel ölçme yöntemi (Missana ve ark., 2002)

Yüksek zeta potansiyel değerine sahip koloidal süspansiyon doğada kararlıdır. Daha düşük zeta potansiyel değerine sahip süspansiyon daha hızlı çökelme eğilimindedir ve daha kararsız olarak kabul edilmektedir. Birçok araştırmacı zeta potansiyel değerlerini, kararlılığın bir ölçüsü olarak kabul etmiştir. 40-60 mV zeta potansiyeline sahip nano akışkanların mükemmel bir stabiliteye sahip olduğu söylenmektedir. Au nanoakışkanlar için zeta potansiyel analizi kullanılmış ve stabiliteyi sağlamışlardır (Missana ve ark., 2002).

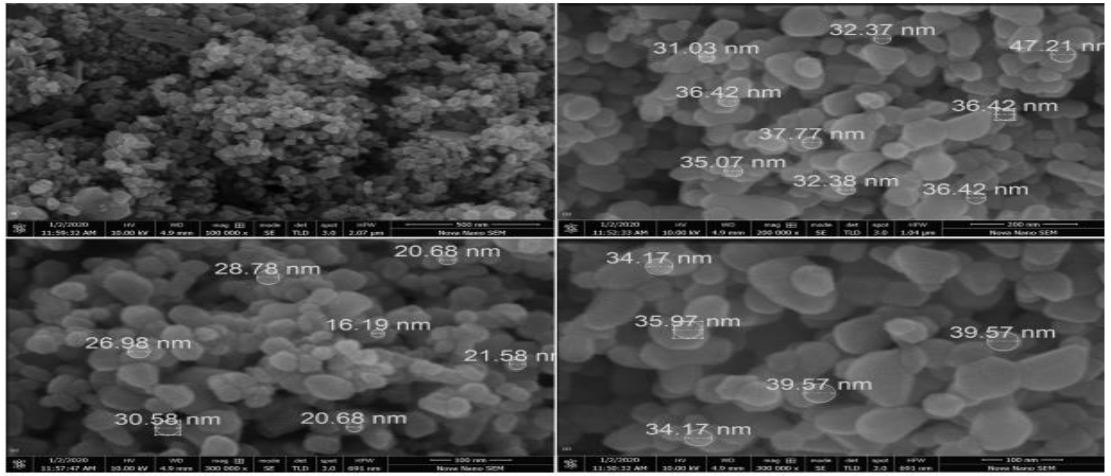
II . Sedimentasyon yöntemi : Derecelendirilmiş bir tüp içerisine önceden belirlenen nanoakışkan ilave edilerek zamanla çökelme hacminin veya miktarının ölçülmesiyle yapılır. Yüzen parçacıkların konsantrasyonu zamanla sabit kalırsa nano akışkanların genellikle stabil olduğu düşünülür. Grafit süspansiyonunun stabilitesini ölçmek için kendi deney düzeneğinde sedimentasyon yöntemini kullanmışlardır (Karımian, 2007).

III. Santrifüj yöntemi : Sedimentasyon yöntemi uzun bir gözlem süresi gerektirmesi nedeniyle, santrifüj yöntemi sedimentasyon yönteminin alternatifi olarak kabul edilir. $AgNO_3$ indirgeyerek ve stabilizatör olarak PVP seçerek hazırlanan gümüş nanoakışkanlarının kararlılığını değerlendirmek için santrifüj yöntemini kullanmışlardır (Singh ve ark., 2008).

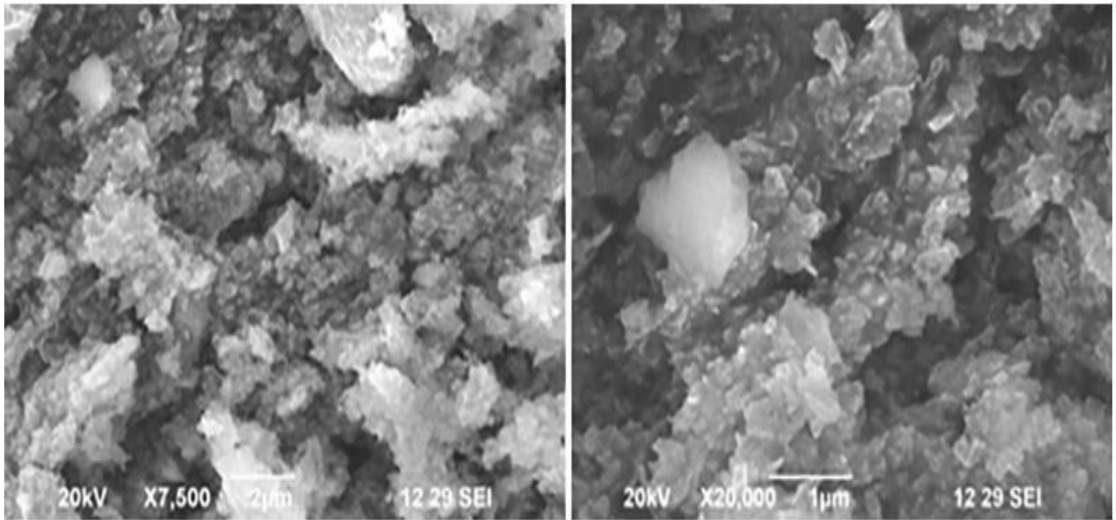
IV . Spektral analiz yöntemi : Işığın yapısını, özelliklerini ve yoğunluğunu gibi ayırt edici özellikleri hakkında analiz ve ölçümler yapan bir yöntemdir. MWNT'nin farklı çöktür sürelerinde spektrofotometrenin MWNT emilimini ölçerek MWNT nano akışkanlarının stabilitesini analiz etmişlerdir (Yu ve ark., 2017).

V. 3 w yöntemi : 3 ω stabilite analizi yöntemi, parçacık aglomerasyonu ve çökmesi nedeniyle nanoakışkanın termal iletkenliğindeki değişimi için kullanır (Sadeghi ve ark., 2014).

VI. Elektron mikroskopisi ve ışık saçılım yöntemleri : Elektron mikrofrafisi olarak bilinen nano parçacıkların dijital görüntüsünü yakalamak için TEM ve SEM gibi çok yüksek çözünürlüklü mikroskop uygulanır. Şekil 1.14’de ZnO nanopartiküllerinin SEM görüntüleri, Şekil 1.15’de CeO₂ nanopartiküllerinin farklı tanecik boyutlarında SEM görüntüleri gösterilmiştir.



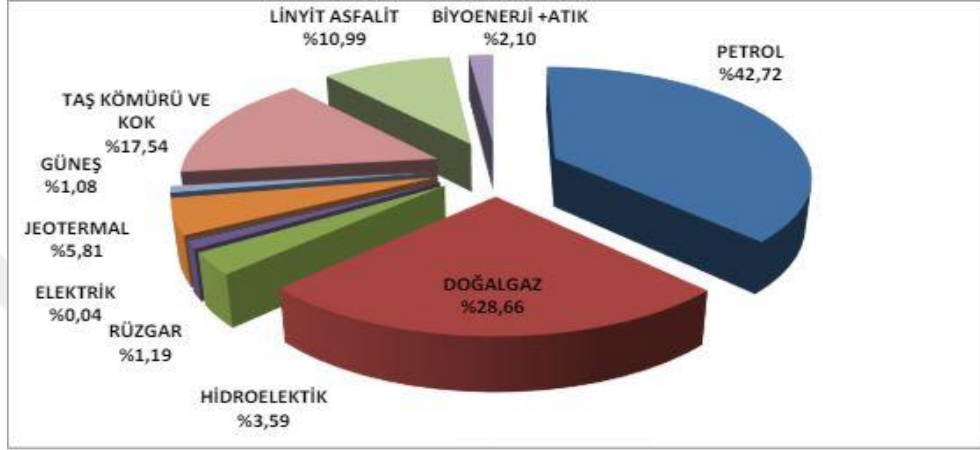
Şekil 1. 14 ZnO nanopartiküllerinin SEM görüntüleri



Şekil 1. 15 CeO₂ nanopartiküllerinin farklı tanecik boyutlarında SEM görüntüleri (Matheswaran ve ark., 2020)

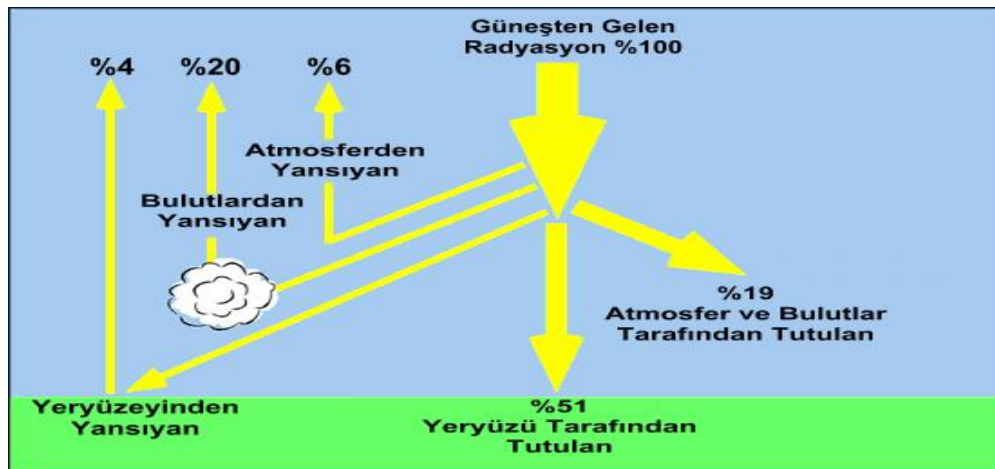
Teknolojinin hızla ilerlediği günümüz coğrafyasında enerji kullanımının da artması kaçınılmaz bir sorundur (Öztürk, 2011).

Günümüzde var olan enerji kaynakları iki başlık altında toplanır: Bu kaynaklar fosil (yenilenemeyen) ve yenilenebilir kaynaklar olarak sınıflandırılabilir (Bayar, 2016). Fosil gazların kullanımı sonucu dünyada küresel ısınma ve iklim değişikliği olmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı çevreye zarar verdiğinden çevre dostu kaynaklara ihtiyacımız vardır (Kannan ve Vakeesan, 2016). Şekil 1.16'da Mart 2023 dönemi lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 16 Mart 2023 dönemi lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı (EPDK, 2023)

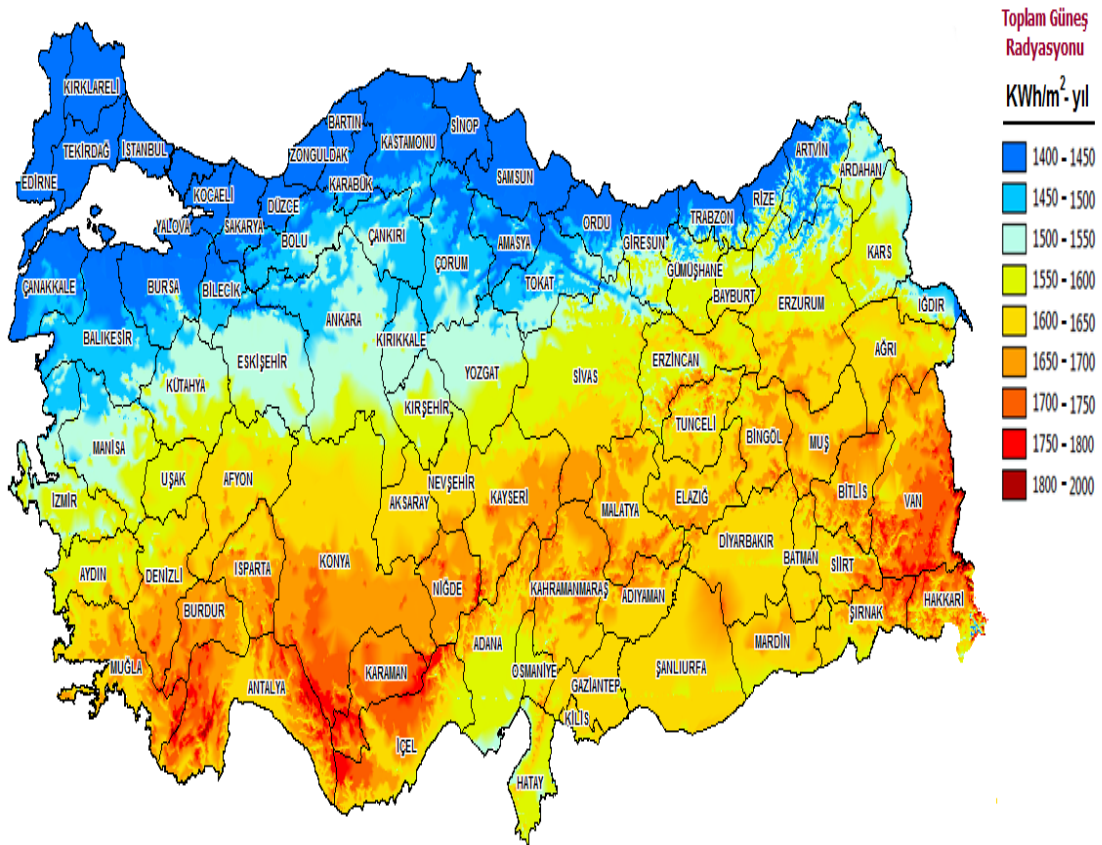
Güneş dünyaya 150 milyon km kat ederek enerjisini aktarır. Güneş'in dünyaya gönderdiği enerji miktarı dünyanın bir yılda harcadığı enerjinin yaklaşık 15 bin katına karşılık gelmektedir (Kılıç ve ark., 2016). Şekil 1.17'de Dünya'ya ulaşan güneş ışığı dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 17 Dünya'ya ulaşan güneş ışığı dağılımı (NASA, 2017)

1.7. Türkiye’ de güneş enerjisi

Ülkemiz 781.000 km² yüzey alanı, coğrafi konumu ve 4 mevsim güneşlenme süresi dikkate alındığında, güneş enerjisi potansiyeli bakımından dünyanın en avantajlı ülkelerinin başında gelmektedir (Yılmaz ve Öziç, 2018). Ülkemizde yaklaşık olarak 20 milyon m² güneş kolektörünün kullanımda olduğu düşünülmektedir (EİGM, 2019). Şekil 1.18’de Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli gösterilmiştir.

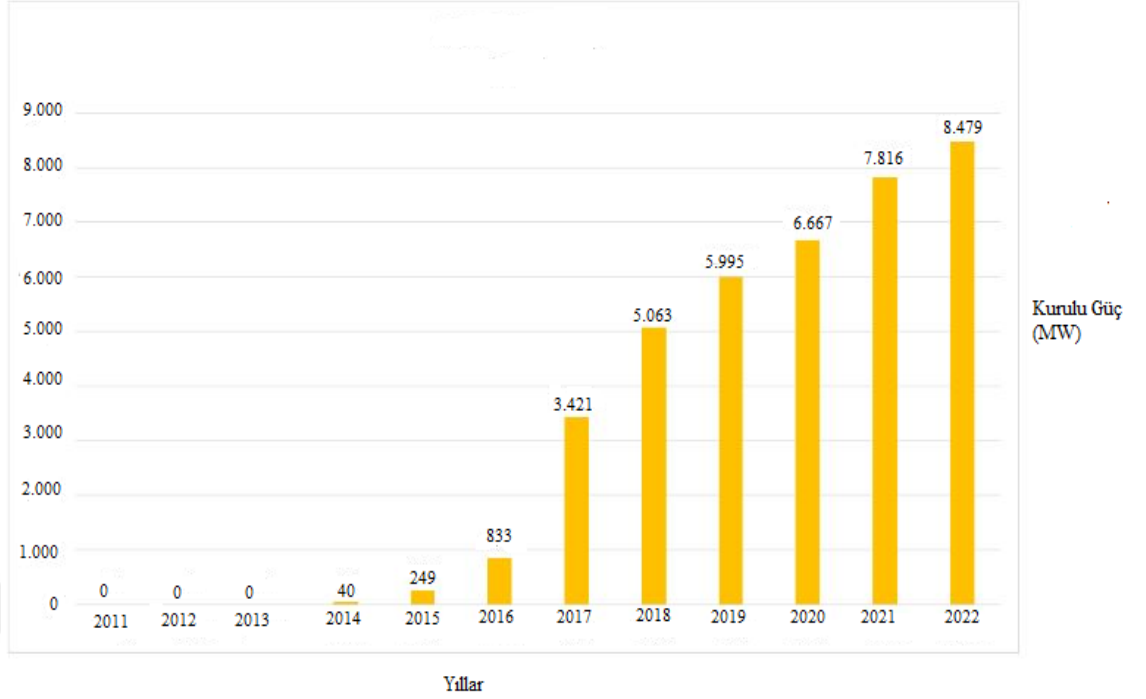


Şekil 1. 18 Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli (Gepa)

Çizelge 1.5’de Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi gösterilmiştir.

Çizelge 1. 5 Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi (Anonim, 2022)

<u>Aylar</u> (12 ay)	<u>Aylık toplam güneş enerjisi</u> (kcal / cm²-ay)	<u>Güneşlenme süresi (saat/ay)</u> (kWh/ m²)	
Ocak	4.45	51.75	103
Şubat	5.44	63.27	115
Mart	8.31	96.65	165
Nisan	10.51	122.23	197
Mayıs	13.23	153.86	273
Haziran	14.51	168.75	325
Temmuz	15.08	175.38	365
Ağustos	13.62	158.4	343
Eylül	10.60	123.28	280
Ekim	7.73	89.9	214
Kasım	5.23	60.82	157
Aralık	4.03	46.87	103
Toplam	112.74	1311	2640



Şekil 1. 19 Türkiye’de güneş enerjisi kullanımının yıllara göre değişimi (Tanbay ve ark., 2018)

Bir yıl boyunca gelen güneş ışıınım şiddeti en fazla olan yerler Akdeniz bölgesi ve Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Çizelge 1.6’da Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı gösterilmiştir. Şekil 1.19’da Türkiye’de güneş enerjisi kullanımının yıllara göre değişimi verilmiştir.

Çizelge 1. 6 Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı (Gepa)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz Bölgesi	1390	2956
Doğu Anadolu Bölgesi	1365	2664
İç Anadolu Bölgesi	1314	2628
Ege Bölgesi	1304	2738
Marmara Bölgesi	1168	2409
Karadeniz Bölgesi	1120	1971

1.8. Dünyada güneş enerji santralleri

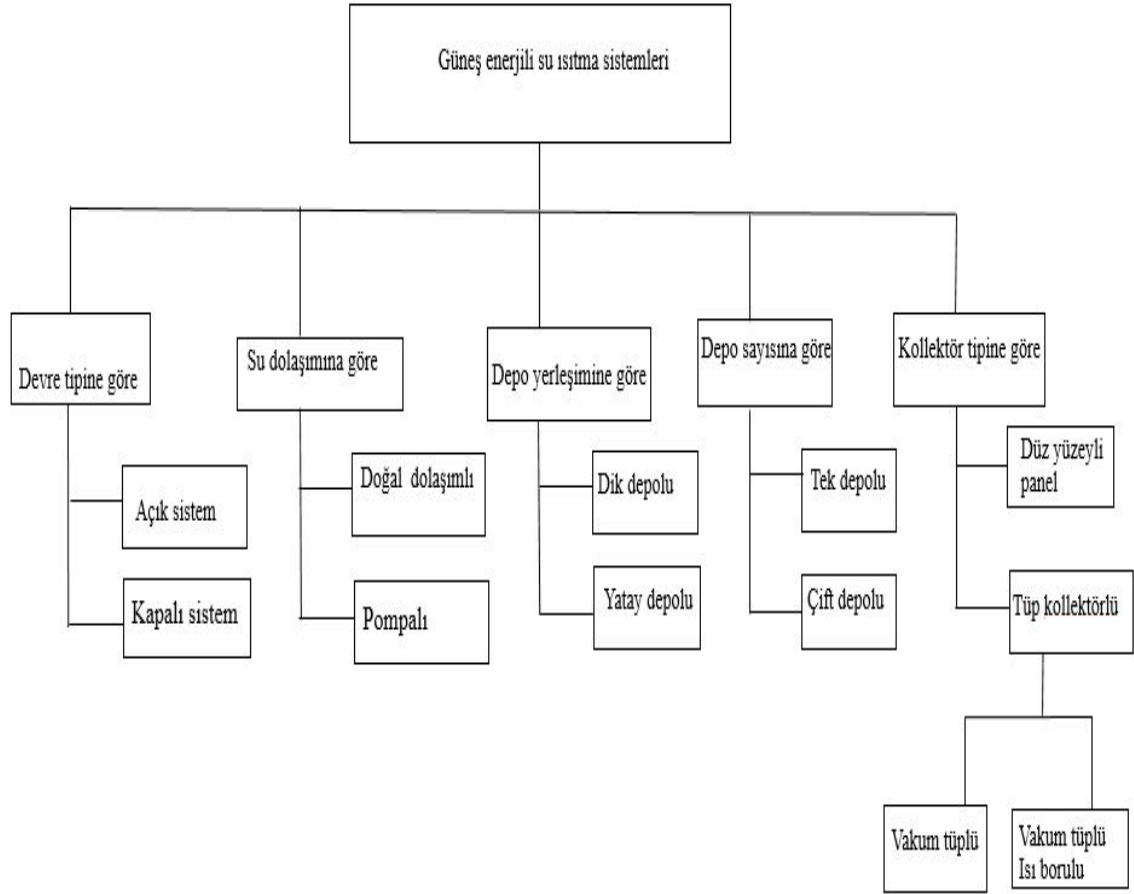
Dünya genelinde teknolojinin gelişmesiyle beraber yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaya başlamış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Çıkılı, 2017). Güneş kuşağında yer alan ülkemiz yenilenebilir enerjiyi en çok kullanan ülkeler sıralamasında ilk 10 da yer almaktadır. Çizelge 1.7’de 2021 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 1. 7 2021 yılı birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı (BP Energy Outlook, 2022)

Ülke	Petrol	Doğalgaz	Kömür	Nükleer Enerji	Hidroelektrik	Yenilenebilir Enerji	Toplam (Exajoules)
Çin	30.60	13.63	86.17	3.68	12.25	1.32	157.75
ABD	35.33	29.76	10.57	7.40	2.43	7.48	92.97
Hindistan	9.41	2.24	20.09	0.40	1.51	1.79	35.43
Rusya	6.71	17.09	3.41	2.01	2.02	0.06	31.30
Japonya	6.61	3.73	4.80	0.55	0.73	1.32	17.74
Kanada	4.17	4.29	0.48	0.83	3.59	0.58	13.94
Almanya	4.18	3.26	2.12	0.62	0.18	2.28	12.64
Fransa	2.91	1.55	0.23	3.43	0.55	0.74	9.41
İngiltere	2.50	2.77	0.21	0.41	0.05	1.24	7.18
Türkiye	1.89	2.06	1.74	0.00	0.52	0.61	6.83
İtalya	2.35	2.61	0.23	0.00	0.41	0.76	6.36
Avrupa Birliği	21.32	14.28	6.74	6.62	2.24	7.92	60.11
OECD	83.62	64.62	29.6	17.27	13.57	21.11	229.89
Dünya Toplamı	184.2	143.35	160.10	25.31	40.26	39.91	595.15

1.9. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri

Sıcak su sistemlerin bu kadar yaygın kullanılma sebebi kurulum maliyetinin düşük olması ve efektif bir şekilde kullanılabilmesidir. Ülkemizin güneş kuşağında olması ve güneşlenme süresinin fazla olması bu sistemi daha verimli ve daha popüler hale getirmiştir. Güneş enerjili sıcak su sistemleri Şekil 1.20’de verildiği gibi sınıflandırılabilir:



Şekil 1. 20 Güneş enerjisi sistemleri (El, 2013)

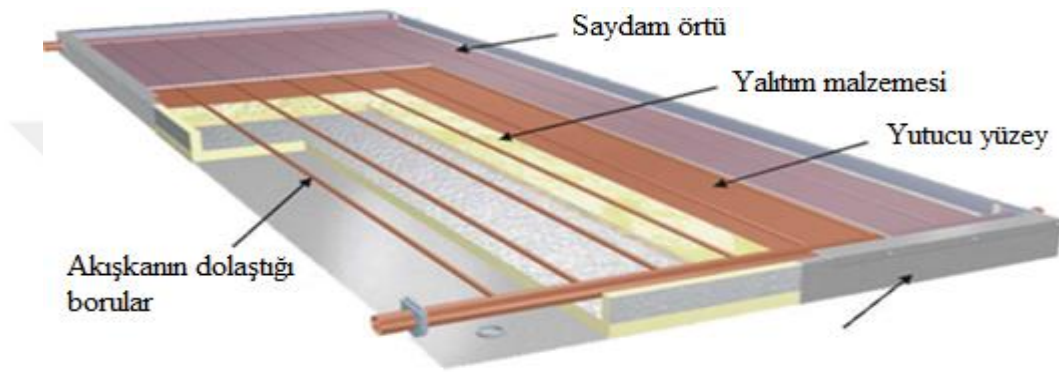
1.9.1. Devre şekline göre güneş enerji sistemleri

a) **Açık sistemler:** Kapalı sistemlere göre daha efektif, daha az bakım gerektiren ve kurulum maliyeti daha düşük olan sistemlerdir. Açık sistemlerde kullanım akışkanı ile sistemde sirkülasyonu sağlanan akışkan aynıdır.

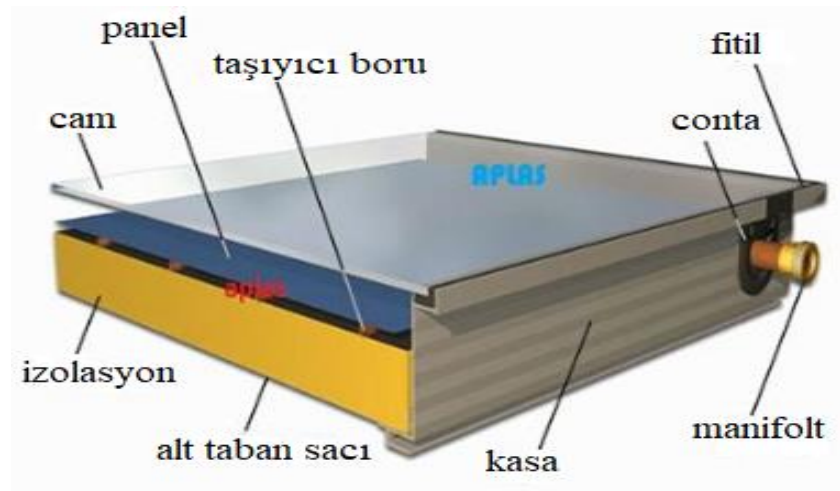
b) **Kapalı sistemler:** Doğal dolaşimli güneş enerji sistemi mantığıyla çalışmaktadır. Kapalı devre olarak antifirizli şekilde çalışır ve yedek su deposuyla şebeke suyu kesintisi olan veya olma ihtimali olan yerlerde kullanılır. Açık atmosfer basıncı ile suyun ağırlığı ve kot farkından dolayı oluşan basınçla sıcak su elde edilmektedir (Kılıç, 1993).

1.9.2. Kollektör tipine göre güneş enerji sistemleri

a) **Düzlemsel güneş kolektörleri** : Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş enerjisini haznesinde toplayan ve biriktirdiği enerjiyi herhangi bir akışkana aktarmak üzere tasarlanan aygıtlardır (Karakoç, 2010). En çok evlerde kullanılır. Evlerde kullanılma sebebi sıcak suyu ısıtmaktır. Türkiye düzlemsel güneş kolektöründen faydalanma konusunda dünyada önemli bir yere sahiptir (Yeşilata ve ark., 2011). Şekil 1.21’de düzlemsel güneş kolektörü, Şekil 1.22’de düz plakalı kolektörün ayrıntılı görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 1. 21 Düzlemsel güneş kolektörü (Yeşilata ve ark., 2011)

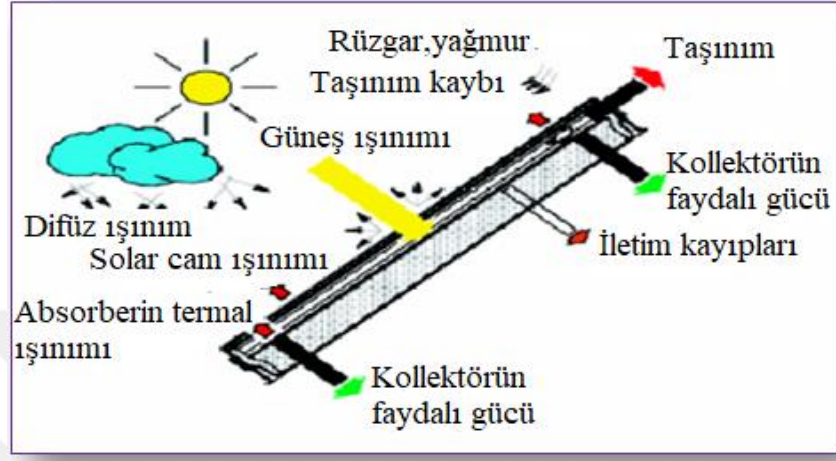


Şekil 1. 22 Düz plakalı kolektörün ayrıntılı görünüşü (Özgen, 2007)

Güneş kolektörleri maksimum güneş enerjisini alabilmesi için bulundukları coğrafyanın enlem derecesine göre uygun bir açıda konumlandırılmalıdır (Karakaya, 2005). Kuzey yarım küre içim kolektör eğim açısı pratik bir yaklaşım ile doğru bir şekilde ayarlanabilir (Şen, 2008).

- Yıl boyunca yaklaşık eğim açısı = Enlem derecesi
- Yaz mevsimi için eğim açısı = Enlem derecesi - 10
- Kış mevsimi için eğim açısı = Enlem derecesi + 10

Bir kollektörün ısı kazanç ve kayıpları Şekil 1.23’de verilmiştir.



Şekil 1. 23 Bir kollektörün ısı kazanç ve kayıpları (Kumar ve ark., 1982)

b) **Vakum tüplü güneş kollektörleri:** Şekil 1.24’de görüldüğü gibi aralarında vakum bulunan iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır.

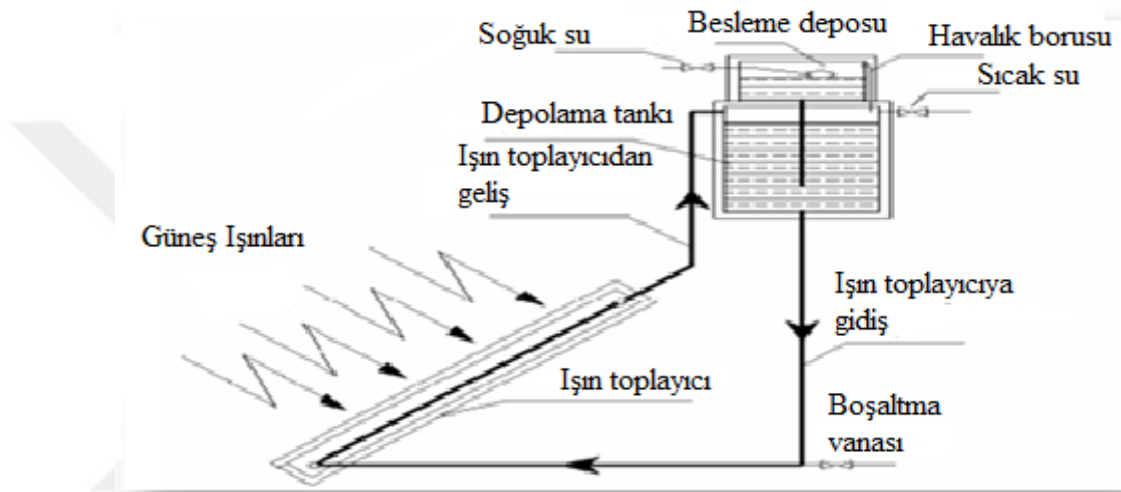


Şekil 1. 24 Vakum tüplü güneş kollektörü (Yeşilata ve ark., 2011)

Kollektöre gelen güneş ışıınımı ısı enerjisine dönüştürülür ve sistem içerisinde depolanır (Mahian ve ark., 2013).

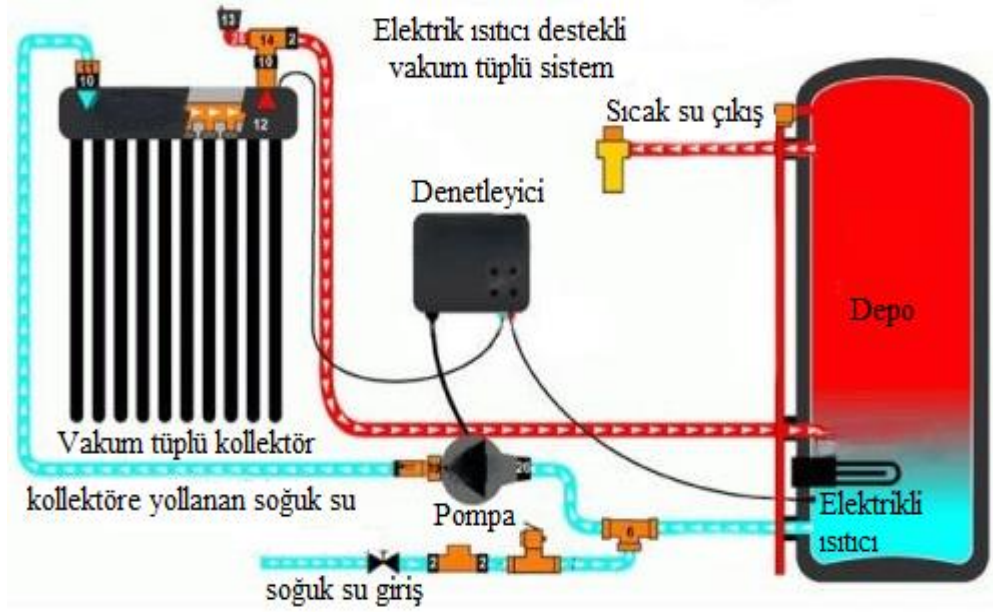
1.9.3. Sirkülasyon şekline göre güneş enerji sistemleri

a) **Tabii (Doğal Taşınımlı Sistemler) :** Isınan akışkan yükselir ve yoğunluğu azalır mantığına dayanarak ısı deposu içinde akışkan kendiliğinden hareket eder. Bu tür sistemlerde depo olarak kullanılacak malzemenin kollektörün en üst noktasından en az 30 cm yukarıda yer alması gerekmektedir. Bu yüzden büyük sistemlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir. Doğal taşınımlı sistemler pek fazla su ihtiyacı gerektirmeyen sistemlerde kullanılır (Bayar, 2016). Şekil 1.25’de doğal dolaşımli sistem örneği gösterilmiştir.



Şekil 1. 25 Doğal dolaşımli sistem örneği (Bayar, 2016)

b) **Zorlanmış taşınımlı (Pompa sistemler):** Isı transferi akışkanının hareketinin pompa vasıtasıyla sağlandığı sistemler zorlanmış taşınımlı sistemler olarak bilinir. Akışkana hareketi veren pompa olduğu için deponun kollektörün en üst seviyesinden daha yukarda olmasına gerek yoktur. Genellikle otomatik kontrol devresi bulunduran termostatlar yer alır. Termostatlar sayesinde pompanın çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Kontrolü doğal taşınımlı sistemlere göre daha zor ve daha fazla kalibrasyon gerektirmektedir. Şekil 1.26’da pompa dolaşımli sistem örneği gösterilmiştir.



Şekil 1. 26 Pompa dolaşımli sistem örneği (Taze, 2010)

1.10. Güneş enerjisi uygulama alanları

Güneş enerjisi uygulamaları sıcaklık referans değerlerine göre sınıflandırılır.

1.10.1. Isıl uygulamalar

Düşük sıcaklık uygulamaları (20 °C -100 °C)

- Sıcak su eldesi,
- Konut ısıtılması veya soğutulması,
- Kurutma,
- Güneş mimarisi,
- Güneş bacası,
- Güneş pilleri sistemleri,
- Güneş pompaları,

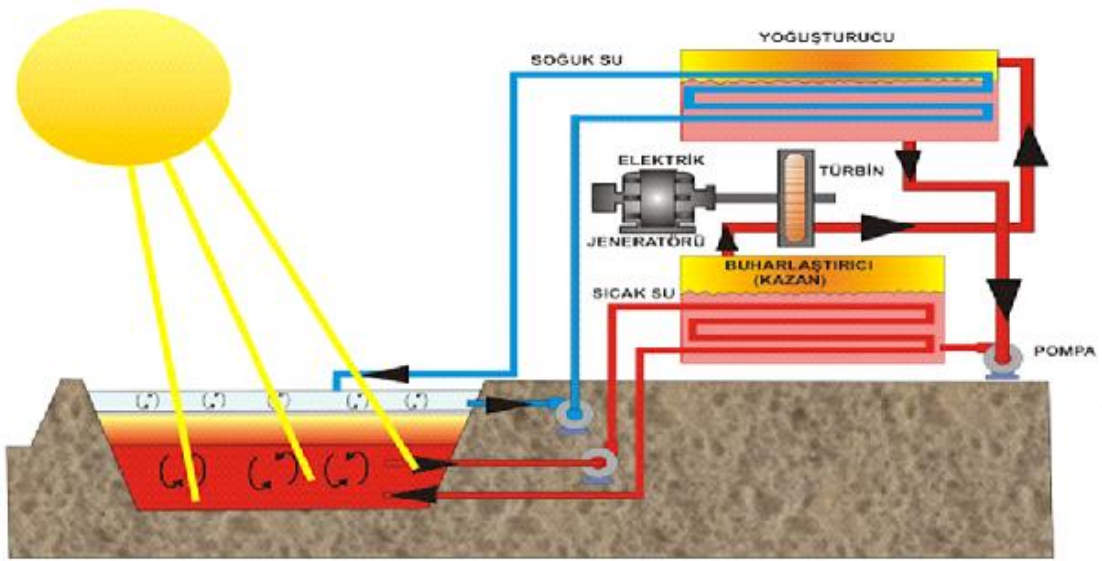
Orta sıcaklık uygulamaları (100 °C- 300 °C)

- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi,
- Büyük kapasiteli ısıtma ve soğutma sistemleri,
- Endüstriyel kullanım için elektrik üretimi,

Yüksek sıcaklık uygulamaları ($> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$)

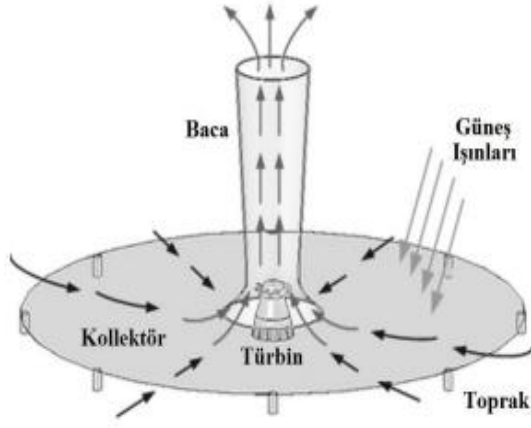
- Parabolik çanak alıcılarla elektrik üretimi,
- Güç santralleri,

Güneş havuzları : Güneş havuzları termal elektrik üretimi ve sıcak su elde edilmesi için kullanılır. Üretilen havuzlarda tuzlu su altta, tatlı su üstte yer alır. Bu havuzlar 90°C sıcaklıkta sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 1.27’de organik Rankine Çevrimi ile çalışan bir elektrik üretim santrali gösterilmiştir.



Şekil 1. 27 Düşük sıcaklıktaki güneş havuzlarından elektrik üretmek için kurulmuş organik Rankine Çevrimi ile çalışan bir elektrik üretim santrali (Yılmaz, 2018)

Güneş bacaları : Güneş bacaları güneşin ısısından dolayı meydana gelen hava hareketinden faydalanarak elektrik meydana getirir. Güneş havuzlarıyla alakalı deneysel çalışma yok denecek kadar azdır (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2015). Şekil 1.28’de Güneş bacasının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. 28 Güneş bacası şematik gösterimi (Koonsrisuk, 2013)

a) Güneş bacasının şematik gösterimi
bacası santralinin genel görünümü

b) Manzaranes güneş
bacası şematik gösterimi

Güneş fırınları ve ocakları : Güneşten gelen ısıyı belli bir bölgede toplayarak yemek pişirme amacıyla kullanılır (Xiaowu, 2005). Şekil 1.29’da güneş ocağı gösterilmiştir.



Şekil 1. 29 Güneş ocağı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2015)

Seralar: Tarım alanında güneş enerjisinden sulama, elektrik üretimi, ısınma ve soğutma amacıyla yararlanılmaktadır. Şekil 1.30’da örnek bir sera uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 1. 30 Sera uygulaması (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2015)

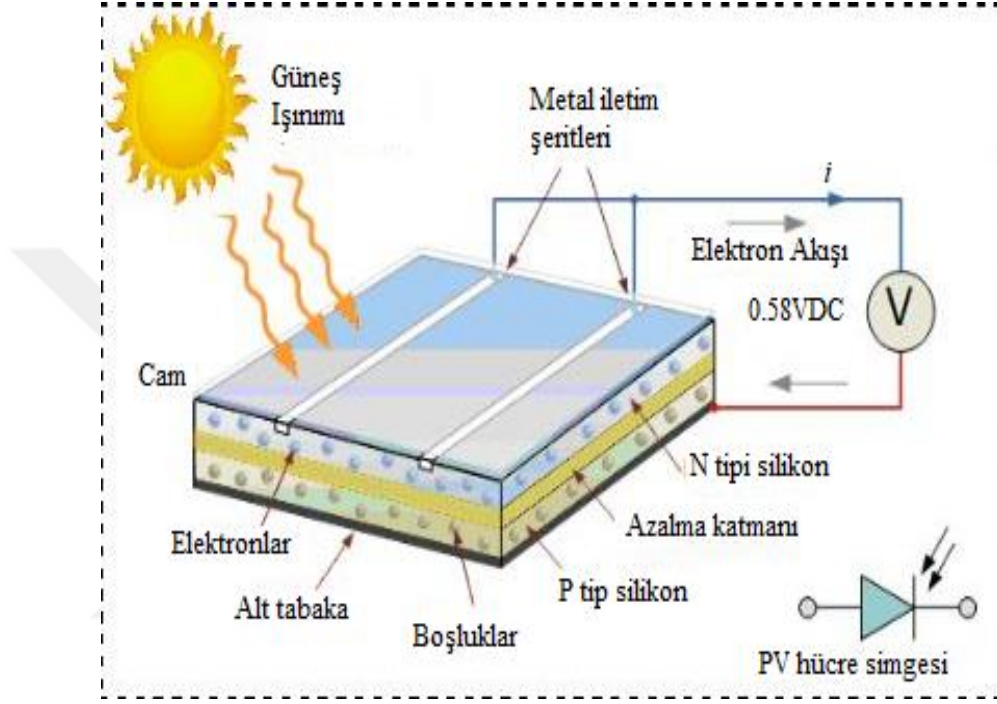
Güneş mimarisi : Gelen güneş ışınımından en verimli şekilde faydalanabilmek amacıyla enerji performansı yönünden efektif tasarımlar gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.31’de kendi enerjisini kendi üreten stadyumun güneş mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 1. 31 Kendi enerjisini kendi üreten Nef stadyumu güneş mimarisi

1.10.2. Fotovoltaik uygulamalar

Güneş radyasyonundan elde edilen enerjiyi, direkt akımlı (DC) elektrik enerjisinden, alternatif akımlı (AC) elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir (Taşcıoğlu, 2015). Şekil 1.32’de Pv çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 1. 32 Pv çalışma prensibi (Solanki ve ark., 2013)

Pv elektrik üretiminin bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Abuşka, 2017).

Pv elektrik üretiminin avantajları

- Kurulması kolay ve çabuktur,
- Sessiz ve temizdir,
- Seri üretim için uygundur,
- Ömrü uzundur (20-25 yıl),
- Sulamada kullanılarak tarımsal alanda geri kalmış yörelerin gelişmesini sağlayabilir,
- Bakım ihtiyacı gereksinimi azdır,
- Ham maddesi silisyumdur. Dünyada en bol bulunan maddelerdendir,
- Kapasite artırımına müsaittir,

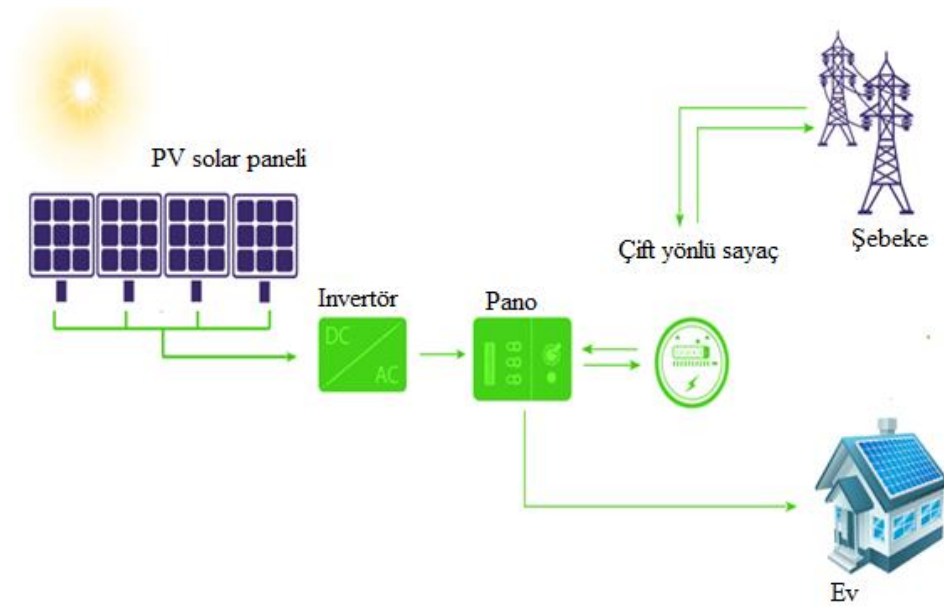
Pv elektrik üretiminin dezavantajları

- Güneşlenme oranı yüksek yerlerde verimli olur,
- Her kW güç için yaklaşık 5 m² alana ihtiyaç vardır,
- Akü ihtiyacı çok fazladır,



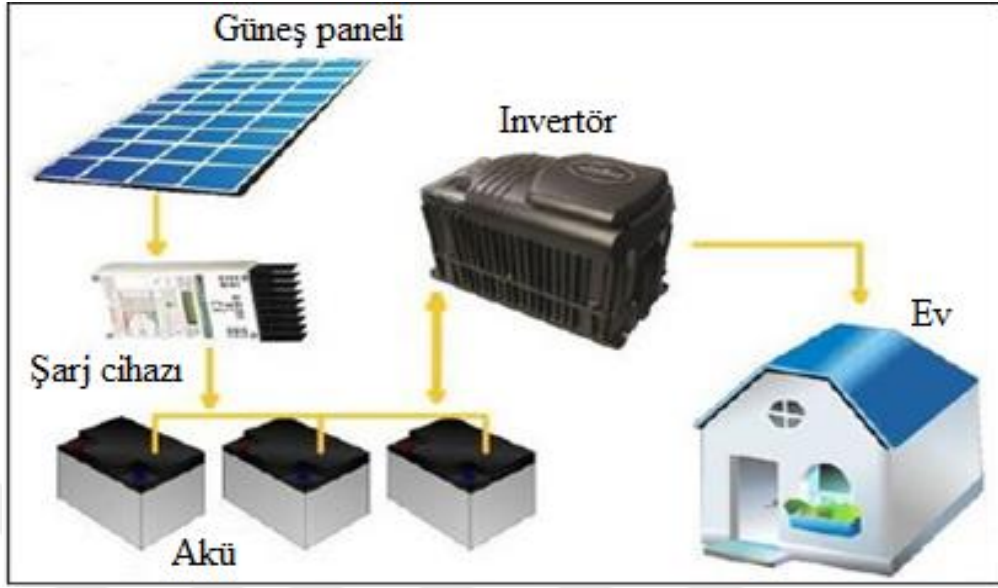
Şekil 1. 33 Pv sistem örneği (Solanki ve ark., 2013)

Fotovoltaik sistemler, şebeke bağlantısı gerektiren (On-Grid) ve şebeke bağlantısı gerektirmeyen (Off-Grid) sistemler olarak iki şekilde uygulanmaktadır. Şekil 1.33’de Pv sistem örneği gösterilmiştir.



Şekil 1. 34 On-Grid sistemler (Solanki ve ark., 2013)

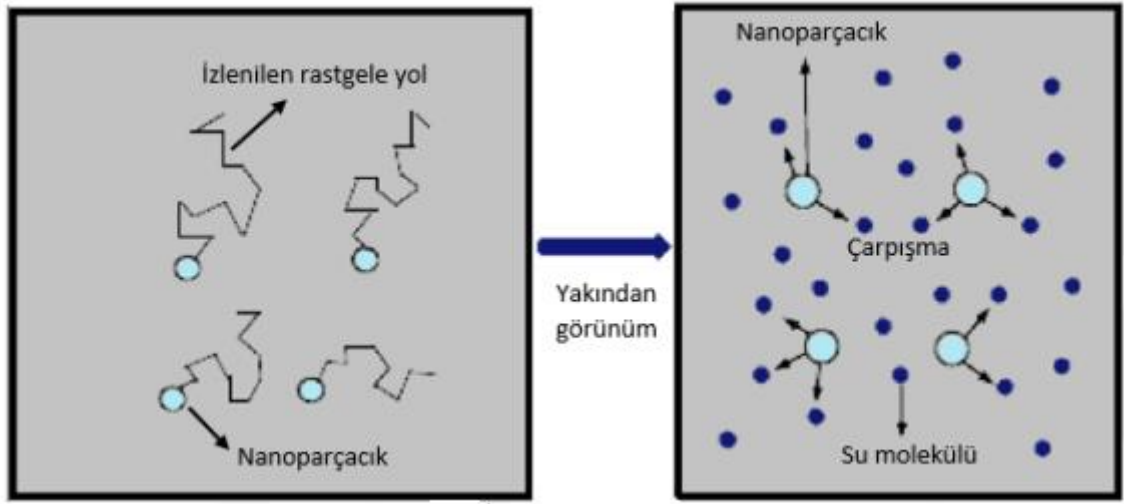
Şekil 1. 34’de On-Grid sistemler, Şekil 1.35’de Off-Grid sistemler gösterilmiştir.



Şekil 1. 35 Off-Grid sistemler (Solanki ve ark., 2013)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

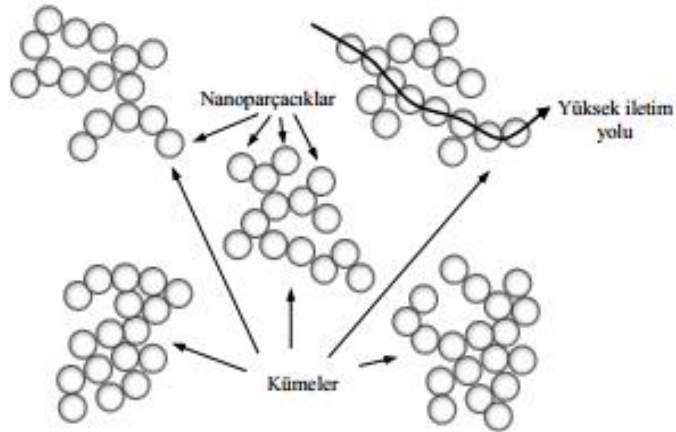
Tez çalışmasının bu bölümünde nanoakışkanların düzlemsel güneş kolektörlerinde kullanımı ve sonuçlarıyla alakalı detaylı bilgiler verilecektir. Sera gazlarına bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği insanlık için büyük bir tehdittir. % 17'lik sera gazlarına bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliğinin sonucu olan ormanlık alanların azalması da insanlık için büyük bir sorundur. Yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber fosil yakıt kullanımı giderek azalacak ve dünya nüfusunda ki artıştan dolayı, yükselen enerji talebi yenilenebilir enerji kaynakları tarafından daha fazla desteklenecektir. Güneş enerjisinin umut verici kullanımlarından biri çalışma sıvısının ısıtılarak doğrudan termal enerjiye dönüştürüldüğü düzlemsel güneş kolektörleri ile ilgilidir. Düzlemsel güneş kolektörü için iyi bir tasarımın amacı güneş enerjisini maksimum faydalı enerjiye dönüştürmektir. Güneş kolektöründe ki performans artış yöntemlerinden bir tanesi su olan çalışma sıvısının, nanoakışkanlarla değiştirilmesidir (Choi ve ark., 2005). Bilimsel çalışmaların ve mühendisliğin ilerlemesiyle beraber ulaşım, mikroelektronik, kimya mühendisliği, havacılık ve imalat dahil olmak üzere birçok farklı endüstride ısı transferini artırma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Geleneksel akışkan sıvılarının (yağ, su, etilen glikol) ısı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle, bu akışkanların ısı transferini geliştirme noktasında sınırlı katkıları olduğu açıktır (Dongsheng ve ark., 2009). Akışkanların ısı iletkenliğini arttırmanın en etkili yolu bir baz sıvıya mikrometre veya milimetre boyutundaki katı parçacık ilave edilmesidir. Her ne kadar bu tür katkı maddelerinin ilaveleri ısı iletkenlik katsayısını iyileştirebilse de partiküllerin çökmesi, boru hatlarının erozyona uğraması, basınç düşüşlerine neden olması ve mikrokanaalları tıkanması nedeniyle pratik uygulama alanları sınırlıdır (Xuan ve ark., 2000). Metal oksit nanoakışkanlar ısı transferini diğer nanopartiküllere oranla daha fazla arttırır. Anormal derecede yüksek ısı iletkenliği, kararlı oluşu, basınç düşüşlerinin daha az olması, daha az tıkanması nedeniyle daha çok tercih edilmektedirler (Xiang ve ark., 2007). Nanoakışkanlar nanopartiküllerin boyut etkisi ve Brownian hareketi nedeniyle mikrometre veya milimetre boyutunda katı parçacıklarla eklenen geleneksel sıvılara kıyasla daha etkili ısı transfer performansları sunar. Şekil 2.1'de Brownian hareketinin şematik görünümü, Şekil 2.2'de nanopartiküllerin kümeleşmesinin şematik görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Brownian hareketinin şematik görünümü (Şahin, 2010)

Akışkan içerisine nanopartiküllerin eklenmesi ile ısı özellikler kayda değer biçimde iyileşmektedir. Bunun sebepleri şunlardır (Gürmen, 2008) :

- Akışkan içerisine katılan nanopartiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini geliştirir,
- Çalışma sıvısı içindeki çalkantı ve türbülans şiddeti artar. Bu nedenle akış yüzeyi büyür,
- İş yapan akışkanlar sıcaklık gradyenini düzleştirir,



Şekil 2. 2 Nanopartiküllerin kümeleşmesinin şematik görünümü (Şahin, 2010)

Budak, (2018) yapmış olduğu deneysel çalışmada % 0.2, % 0.4, % 0.8 hacimsel oranlarında üç farklı konsantrasyonda nanoakışkanlar kullanarak (Al_2O_3 , TiO_2 ve CuO) kollektörün ısı verimini incelemiştir. Deney verilerine göre en yüksek verimi CuO-su nanoakışkanında elde etmiştir.

Sarkar, (2013) düzlemsel güneş kolektörlerini kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmasında CeO_2 nanoakışkanını suyla mukayese ettiğinde % 18 verim artışı olduğunu gözlemlemiştir. Maiga ve ark., (2005) tarafından yapılan deneysel çalışmada 1m uzunluğundaki dairesel boruda Al_2O_3 -etilen glikol ve Al_2O_3 -su nanoakışkanları kullanılmıştır. Duangthongsuk ve Wongwises, (2010) yatay bir boruda TiO_2 -su nanoakışkanını kullanmışlardır. Deney düzeneğinde sürtünme katsayısını ve ısı transfer katsayısını araştırmışlardır. Javadi ve ark., (2013) yaptıkları deneysel çalışmada ısı transferi katsayısı, toplam ısı transferi katsayısı, basınç düşüşü ve entropi üretimini araştırmışlardır. Yapılan deney sonuçlarına göre elde edilen veriler şunlardır: Nanoparçacık ilave edilmesiyle ısı iletkenlik artmaktadır. Nanoparçacık kullanımı ve nanoparçacık konsantrasyonun artması ile beraber entropi üretimi azalmaktadır. Arya ve ark., (2020) yapmış oldukları deneysel çalışmada, gövde borulu ısı değiştiricilerde MgO nanoakışkanı tercih etmişlerdir. MgO nanoakışkanın ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı hacimsel konsantrasyonlar için yapılan çalışmada, ısı değiştiricinin ısı transfer katsayısında % 39'luk bir iyileşme meydana gelmiştir. Kabeel ve Abdelgaied (2016) , yapmış oldukları deneysel çalışmada farklı hacimsel konsantrasyonlarda (% 2, % 4 ve % 6) Al_2O_3 nanoakışkanlarını kullanarak ısı değiştirgecinde nanoakışkanların ısı transfer katsayıları üzerine olan etkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre en yüksek ısı transfer katsayısı % 4 hacimsel konsantrasyonunda elde edilmiştir. Isı transfer katsayısı suya göre % 29.8 oranında artmıştır. Deneysel verilere göre nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonun artması ile basınç kayıplarında % 48 oranında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca hacimsel konsantrasyonun artması ile entropi üretiminin % 10 oranında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Kılıç ve ark., (2018) düz plakalı bir güneş kolektöründe % 2 konsantrasyonunda TiO_2 -su nanoakışkanını kullanarak % 48.67 'lik bir verimlilik artışı elde etmişlerdir. Yousefi ve ark., (2012) düzlemsel güneş kolektöründe termal verimliliği artırmak için nanoakışkanlar kullanmışlardır. Hacimsel konsantrasyonu % 0.2 Al_2O_3 -su partikülünde % 28.3 oranında verimlilik artışı tespit etmişlerdir. Said ve ark., (2015) düzlemsel güneş kolektöründe % 0.1 hacimsel konsantrasyonunda TiO_2 -su kullanarak verimliliğin % 76.6 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Ajiwiguna ve ark., (2016) TiO_2 -su % 0.1-0.3 hacimsel konsantrasyonuna sahip nanopartiküller ile yaptıkları deneysel çalışmada düzlemsel güneş kolektörü verimliliğinin % 3.5 ile % 10.5 arasında arttığını gözlemlemiştir. En yüksek verimlilik, 108 litre /m³ saatlik debi için % 54.57 elde edilmiştir. Eşit akış hızı için kolektör verimliliği nanoakışkanda suya kıyasla % 2.67 oranında iyileştirildiğini ifade etmişlerdir.

Verma ve ark., (2016) düzlemsel güneş kolektörünün ekserji verimliliğinin, MWCNT, Grafen oksit, CuO, Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ nanoakışkanları için sırasıyla % 29.32, % 21.46, % 16.67, % 10.86, % 6.97 ve % 5.74 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Entropi üretimi için yapmış oldukları çalışmada, % 0.75 hacimsel konsantrasyonunda MWCNT, Grafen oksit, CuO, Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ nanoakışkanları için sırasıyla entropi üretimini % 65.55, % 57.89, % 48.32, % 36.84, % 24.49 ve % 10.04 azaldığını gözlemlemişlerdir.

Kaya ve ark., (2018) % 3 hacimsel konsantrasyonda ZnO/EG-su nanoakışkanında güneş kolektörü verimliliğini incelemişlerdir. ZnO/EG-su nanoakışkanının kolektör verimliliğini % 62.87 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Arıkan ve ark., (2018) düzlemsel güneş kolektöründe verimlilik artışının, 0.09 kg/s kütle akış hızında % 0.25 hacimsel konsantrasyonunda Al₂O₃ ve ZnO için suya kıyasla sırayla, % 11.15 ve % 5.81 arttığını gözlemlemişlerdir. Lee ve ark., (2007) deneysel olarak CuO-su nanoakışkanının vakum tüplü güneş kolektörleri üzerindeki etkisini araştırmış ve suya kıyasla verimlilikte % 30'a varan bir iyileşme tespit etmişlerdir. Hawwash ve ark., (2018) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapılan çalışmada Al₂O₃-su nanoakışkanlarının termal verimliliğinin, 28 Pa'lık bir basınç düşüşüyle % 16.67 olduğunu belirlemişlerdir. Said ve ark., (2014) düzlemsel güneş kolektöründe SWCNT-su nanoakışkanlarını kullanarak entropi üretimi, ısı transferi ve basınç düşümü parametrelerini deneysel olarak incelemişlerdir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde yapılan bu çalışmaya göre: Alümina-su % 0.1 hacimsel konsantrasyonunda kolektör verimliliği % 2.16, alümina-demir-su hibrid nanoakışkanında ise kolektör verimliliği % 1.79; ekserji verimlilikleri ise Alümina-demir-su hibrid nanoakışkanında % 6.9 ve alümina-su nanoakışkanında % 5.7 olduğunu tespit etmişlerdir. Sharafeldin ve ark., (2018) düzlemsel güneş kolektörlerinde CeO₂-su nanoakışkanlarını % 0.06 hacim konsantrasyonunda kullanmışlardır. CeO₂-su nanoakışkanı suya kıyasla % 10.74 termal verimlilik artışı göstermiştir. Verma ve ark., (2016) düzlemsel güneş kolektörlerinde CuO- MWCNT ve MgO - MWCNT hibrid nanoakışkanlarının ekserji verimliliğini ve kolektör verimliliğini %2 hacimsel konsantrasyonunda incelemişlerdir. MgO-MWCNT için ekserji verimliliği % 71.54, kolektör verimliliği % 70.55 olarak bulunmuştur. CuO-MWCNT nanoakışkanları için ekserji verimliliği % 70.63 ve kolektör verimliliği % 69.11 bulunmuştur. Tong ve ark., (2020) CuO-su, Fe₃O₄-su ve MWCNT-su nanoakışkanlarını kullanarak kolektör verimliliğini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre en yüksek verimlilik MWCNT-su nanoakışkanında % 87 elde edilmiştir. Otanicar ve ark., (2009) CNT-su, grafit-su ve gümüş- su nanoakışkanlarını düzlemsel güneş kolektöründe çalışma akışkanı olarak kullanmışlardır.

Deney sonuçları suyla karşılaştırıldığında % 5'lik bir maksimum termal verimlilik artışı tespit edilmiştir. Mohamed ve ark., (2020) düzlemsel güneş kolektörlerinde ZnO-su nanoakışkanını kullanmışlardır. Sırasıyla % 0.05 ve % 0.1 hacim konsantrasyonları için kolektör verimliliğinde % 4.87 ve % 6.57 oranında artış sağlamışlardır. Choudhary ve ark., (2020) düzlemsel güneş kolektöründe % 50:50 hacimsel oranlarda EG-su-ZnO nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre en yüksek kolektör verimliliği % 1 konsantrasyonda, 60 lt/h akış hızı için, % 19.2 olmuştur. Hussein ve ark., (2018) düzlemsel güneş kolektörlerinde su bazlı MWCNT nanoakışkanlarını kullanarak deneyler yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre 4 lt/dk debide % 85'lik bir verimlilik elde etmişlerdir. Karami ve ark., (2015) düzlemsel güneş kolektörlerinde su ve etilen glikol bazlı nanoakışkanları % 70:30 hacimsel oranlarda hazırlamış ve kolektör verimliliğini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre suya kıyasla nanoakışkan kullanılan sistemde kolektör verimliliğinde % 17'ye varan bir artış meydana gelmiştir. Farajzadeh ve ark., (2017) düzlemsel güneş kolektörlerinde % 0.1 hacimsel konsantrasyonda, 2.5 lt/dk debide Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve Al_2O_3 - TiO_2 -su nanoakışkanlarını çalışma akışkanı olarak kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre nanoakışkanlarda sırasıyla % 19, % 21 ve % 26 kolektör verimlilik artışı meydana gelmiştir. Said ve ark., (2016) düzlemsel güneş kolektöründe Al_2O_3 -su nanoakışkanını kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre enerji verimliliği ve ekserji verimliliğinin sırasıyla % 73.7 ve % 20.3 olduğunu tespit etmişlerdir. Said ve ark., (2015) başka bir çalışmada düzlemsel güneş kolektörlerinde CNT - su ve TiO_2 -propilen glikol nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre nanoakışkan kullanılan sistemde enerji ve ekserji verimliliğinde artış tespit edilmiştir. Veeranna ve Lakshmi, (2014) ZnO nanoakışkanının üretim yöntemini ve termal iletkenlik artışına etkisini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre ZnO nanoakışkanının ısı transferi geliştirme çalışmaları için uygun bir nanoakışkan olduğunu tespit etmişlerdir. Abuşka ve Şevik, (2017) alüminyum ve bakır borulu düzlemsel güneş kolektörleri için enerji, ekserji ve ekonomi analizleri yapmışlardır. Elde edilen deney sonuçlarına göre ortalama termal verimliliğin % 6 oranında arttığı ve ortalama ekserji verimliliğinin ise % 6-% 12 olduğunu tespit etmişlerdir. Gorji ve Ranjbar., (2017) düzlemsel güneş kolektörlerinde üç farklı nanoakışkan kullanmışlardır. Farklı nanoakışkanlar için deneysel olarak enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Maksimum enerji ve ekserji verimliliği Manyetit-su nanoakışkanında elde edilmiştir. Meibodi ve ark., (2015) düzlemsel güneş kolektörlerinde SiO_2 - EG-su nanoakışkanını kullanarak termal verimlilik üzerine deneyler yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre SiO_2 -EG-su nanoakışkanı düşük ısıda bile kullanıldığında güneş

kollektörünün verimliliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Mirzaei ve ark., (2019) yapmış oldukları deneysel çalışmada % 0.1 hacim konsantrasyonuna sahip Al_2O_3 nanoparçacıklarının düzlemsel güneş kollektöründe farklı debilerde (1 l/dk, 2 l/dk, 4 l/dk) güneş kollektörünün ısı verimine etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir.

Stalin ve ark., (2020) yapmış oldukları deneysel çalışmada konsantrasyonları % 0.01 ile % 3 arasında değişen 5 farklı solüsyon hazırlamışlardır. % 0.3 hacim fraksiyonlu CeO_2 -su nanoakışkanlarının ısı iletkenliğinin, % 0.01 hacim konsantrasyonuna kıyasla % 35.97 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Sheikh ve ark., (2018) düzlemsel güneş kollektöründe yapmış oldukları deneysel çalışmada, CeO_2 ve Al_2O_3 çalışma sıvısının sistemde ısı transferi performansını iyileştirilmesinde ki etkilerini incelemişlerdir. Ramesh ve ark., (2017) yapmış oldukları deneysel çalışmada % 0.01 hacimsel konsantrasyona sahip CeO_2 –su –PVP (polivinil pirolidin) nanoakışkan ile saf suyun performansını çeşitli kütleli debide incelemişlerdir. Nanoakışkan kullanılan sistemin veriminin saf suya oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Sharma ve ark., (2019) yapmış olduğu deneysel çalışmada CeO_2 –su ve saf su kullanarak kollektör verimini incelemişlerdir. Maksimum kollektör verimi artışı % 1.5 CeO_2 –su nanoakışkanın kullanıldığı sistemde % 41.7 olmuştur. Yu ve ark., (2012) yapmış olduğu çalışmada, EG (Etilen glikol-su) karışımına % 3 hacimsel konsantrasyonda ZnO ilave ederek termal iletkenlik özelliklerinde % 26.5'lik bir iyileşme gözlemlemişlerdir. Kole ve ark., (2010) EG-su akışkanına % 3.75 ZnO ilave ederek termal iletkenlik özelliklerinde % 40'lık bir iyileşme gözlemlemişlerdir. Kargozar ve ark., (2021) yapmış oldukları çalışmada düzlemsel bir güneş kollektörünün performansını incelemişlerdir. Çalışma akışkanı olarak üç kütle fraksiyonu (% 0.01, % 0.03, % 0.06) ve (dakikada 0.2, 0.5, 0.8 litre) akış hızına sahip ZnO-su nanoakışkan kullanılmışlardır. % 0.06 oranında ZnO-su nanoakışkanın kullanılması, hacimsel debinin maksimum değerinde (0.8 lt/dk) güneş kollektörünün verimliliğini % 12 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Kashyap ve ark., (2018) yapmış oldukları çalışmada, ZnO bazlı etilen glikol (EG)-su nanoakışkanın çalışma akışkanı olarak kullanıldığı düz plakalı güneş kolektörü kurulumunun ekserjetik performansı, EG-suya göre karşılaştırılmıştır. Nanoakışkanın kullanıldığı sistemde düzlemsel güneş kollektörünün ekserji verimliliği % 73.81 artmıştır. CeO_2 -su nanoakışkan ve ZnO-su nanoakışkanları iyi termal özelliklere sahip olmasına rağmen düzlemsel güneş kollektörlerinde çalışma sıvısı olarak kullanılma fikri yeni bir çalışma ürünüdür (Tiwari ve ark., 2013).

Ekserji, geri dönüşümlü bir sistemin belirli bir ortamda gerçekleştirebileceği ve ölçülebilen iş miktarıdır (Dizaji, 2015).

Tong ve ark., (2019) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları çalışmada, Al_2O_3 -su ve Cu-su nanoakışkanlarını kullanarak suya kıyasla nanonakışkanın entropi üretimi, ekserji verimi gibi parametreler açısından mukayesesini yapmışlardır. Entropi üretimi su için en yüksek, en az ise % 1 Al_2O_3 -su nanoakışkanı için ölçülmüştür. Hacimce % 1 Al_2O_3 ve hacimce % 0.5 CuO nanoakışkanı kullanan güneş kolektörünün ekserji verimliliği, suya kıyasla sırasıyla % 56.9 ve % 49.6 oranında artmıştır. Sundar ve ark., (2021) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları deneysel çalışmada, Nanoelmas-su (ND-su) nanoakışkanını kullanarak, kolektörün ısı verimini, ekserji verimliliğini, entropi oluşumunu incelemişlerdir. % 0.2, % 0.4, % 0.6, % 0.8 ve % 1 hacim konsantrasyonlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek ekserji verimliliği % 1 ND-su nanoakışkanında gerçekleşmiştir. Saidur ve ark., (2013) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları çalışmada, hacimsel konsantrasyonları % 1- % 4 arasında değişen Al_2O_3 , CuO, SiO_2 , TiO_2 nanopartiküllerini suya ilave ederek bir dizi deneyler yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre en az entropi üretimi CuO nanoakışkanında % 4 hacimsel konsantrasyonda gerçekleşmiş, suya kıyasla % 4.34 daha az entropi meydana gelmiştir. Mahian ve ark., (2014) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları çalışmada, Al_2O_3 -su nanoakışkanını kullanmışlardır. Yapılan deney sonuçlarından elde edilen verilere göre, nanoakışkanın hacimsel oranı arttıkça entropi üretimi azalmış, ekserji verimliliği artmıştır. Ekserji ve entropi analizi çoğu zaman ikinci yasa analizi olarak adlandırılır (Esfahani ve ark., 2017). Ekserji analizi, düz plakalı bir güneş kolektörünün termal performansının termodinamik davranışını anlamak için gereklidir (Fayaz ve ark., 2015).

Tez çalışmasının bu bölümünde nanoakışkanlarla ilgili literatürde kabul gören çalışmalardan ayrıntılı bir şekilde bahsedilmiştir. Topaklanma ve çökme nanoakışkanlarda sıkça karşılaşılan problemlerden olup; bu durum ısı transferini ve nanoakışkanın kararlılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan akademik literatür taramaları ışığında, uzun süre stabil kalabilecek, son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan, düzlemsel güneş kolektörlerinde çalışmaya engel teşkil etmeyecek nanoakışkan bulmak literatür taramasının ana amaçlarından biridir. Bu süreçte deneysel çalışmalar sırasında ortaya çıkabilecek problemlere ve bunlara yönelik geliştirilen öneriler araştırılmıştır. Yapılan kaynak taramaları neticesinde metal oksit nanoakışkan kullanımının uygun olacağı kanaati oluşmuştur. Daha yüksek termal iletkenlik, geniş yüzey alanı, düşük maliyet, kolayca bulunabilen ve uzun süre stabil bir süspansiyon olarak kalabilmesi, basınç düşüşlerinin daha az olması, daha az tıkanması nedeniyle metal oksit nanoakışkanları son zamanlarda güneş enerji sistemleri için uygun çalışma akışkanları olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada Çinko oksit (ZnO) ve CeO₂ (Seryum oksit) geleceğin malzemeleri olarak gösterilmektedir. Yapılan bu akademik çalışmayla beraber Çinko oksit (ZnO) ve CeO₂ (Seryum oksit) nanoakışkanlarının geldiği son nokta bilimsel temeller ışığında açıklanacaktır.

2.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği günümüzde çok fazla tercih edilen bir programdır. Programın bu kadar çok tercih edilmesinde ki neden; bilgisayarda bir deney ortamı yaratarak kişilere sanal yoldan veriler elde edebilme imkanı sağlamasıdır. Bu sayede hem zaman, hem de maddi açıdan tasarruf sağlanabilmektedir; çünkü çoğu zaman bir deney düzeneği kurmak ve tek tek deney yapmak maddi açıdan insanları zorlayabilmektedir.

Desisa ve ark., (2023) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları çalışmada laminer akış rejiminde (CuO-su, Ti₂O-su ve Si₂O-su) nanoakışkanlarını kullanarak Nusselt sayısında değişimleri incelemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanmışlardır. Ekramian ve ark., (2014) düzlemsel güneş kolektörlerinde gerçekleştirdiği sayısal çalışmada, su ve MWCNT-su, Al₂O₃-su ve CuO-su nanoakışkanlarını kullanarak kolektör çıkış sıcaklıklarının nanoakışkan konsantrasyonuna bağlı sonuçlarını ANSYS Fluent 14 yazılımıyla incelemişlerdir. Hawwash ve ark., (2018) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışmada, % 0.1 ve %3 konsantrasyonlarında değişen 6 fraksiyonda Al₂O₃-su nanoakışkanını kullanmışlardır. Ansys 17 yazılımı kullanarak Mısırdaki gerçekleştirilen çalışma sonucunda, Al₂O₃-su nanoakışkanının ısı veriminin damıtılmış suya oranla %18 oranında ısı verim artışı kaydettiği görülmüştür. Yurddaş ve ark., (2013) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış olduğu deneysel ve sayısal çalışmada konsantrasyonları % 1- % 5 arasında değişen Al₂O₃-su ve Cu-su nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Ansys programı Fluent yazılımıyla yapılan çalışmada kolektör üst yüzeyine 600 W/m², 700 W/m² ve 800 W/m² olarak üç farklı ısı akısı uygulanmıştır. Yapılan deneysel ve sayısal sonuçlara göre nanoakışkan kullanılan sistemin su kullanılan sisteme göre ısı transferini % 18 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Ghasemi ve ark., (2016) güneş kolektöründe türbülanslı rejimde yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışmada, CeO₂-su ve Al₂O₃-su nanoakışkanını kullanmışlardır. Ansys programı, Fluent yazılımıyla yapılan çalışma sonucunda CeO₂-su ve Al₂O₃-su nano parçacıklarının (ϕ = %3) eklenmesi ile suya kıyasla, ısı transferi sırasıyla % 28 ve % 35 artmıştır.

Farajzadeh ve ark., (2017) düzlemsel güneş kolektörlerinde yapmış oldukları çalışmada, Al_2O_3 -su (20nm, % 0.1) , TiO_2 -su (15nm, % 0.1) ve bu iki nanoakışkanın karışımından oluşan nanoakışkanları kullanmanın ısı verimliliğe etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Ansys programı, Fluent yazılımıyla yapılan çalışmada hacimsel akış hızları 1.5 l/dak, 2 l/dak ve 4 l/dak olan bu deneyler sonucunda, termal verimliliğin sırasıyla yaklaşık % 19, % 21 ve % 26 arttığı tespit edilmiştir. Sultana ve ark., (2012) su kullanarak düzlemsel güneş kolektöründe termal performansı araştırmak için Ansys Fluent yazılımını kullanmışlardır. Yapmış oldukları sayısal çalışmada, kolektör içindeki ısı kaybını, radyasyonu ve konvektif ısı transfer katsayısını tahmin ederek termal verimliliği en üst düzeye çıkarmaya çalışmışlardır. Selmi ve ark., (2008) su kullanarak yapmış oldukları çalışmada suyun çıkış sıcaklığını tahmin etmek için Ansys Fluent yazılımını kullanmışlardır. Sayısal sonuçların ölçülen deneysel verilerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Al-Ansary ve ark., (2011) yapmış oldukları çalışmada kolektörün yüzeyinden gelen iletim ve konvektif ısı kayıplarının hesaplanması için Ansys Fluent yazılımını kullanmışlardır. Martinopoulos ve ark., (2010) yapmış oldukları çalışmada akış hızı, sıcaklık, güneşe maruz kalma gibi parametrelerin termal verimlilik üzerindeki etkisini deneysel olarak gözlemlemiş, yapılan deneylerle Ansys Fluent yazılımı sonuçları arasında iyi bir uyum bulmuşlardır. Gertzos ve ark., (2008) düzlemsel güneş kolektöründe su kullanarak deneyler yapmışlardır. Suyun çıkış sıcaklığını tahmin etmek için Ansys Fluent yazılımını kullanmışlardır. Sayısal ve deneysel sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Sarode ve ark., (2016), düzlemsel güneş kolektöründe yüzey alanı artışı ile ısı transferi arasındaki ilişkiyi açıklamak için Ansys Fluent yazılımında kolektör tasarlamışlardır. Maouassi, (2017) iki ayrı düzlemsel güneş kolektöründe SiO_2 -su nanoakışkanı ile suyun ısı transfer performansını karşılaştırmak için Ansys Fluent yazılımı yardımıyla bir simülasyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Farklı hacimsel konsantrasyonlarda SiO_2 nanoakışkanın ısı transfer performansı, suya göre ortalama %10'luk bir artış göstermiştir. Mahian ve ark., (2014) düzlemsel güneş kolektöründe bir Al_2O_3 -su nanoakışkanının entropi üretimi üzerinde ki etkileri ile ilgili bir bir simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun artışına bağlı olarak entropi üretiminin azaldığı görülmüştür. Aly ve ark., (2014) ısı değiştirgecinde %0.5, %1.0 ve %2.0 konsantrasyonlarında Al_2O_3 -su nanoakışkanlarını kullanarak yapmış oldukları çalışmada, nanoakışkanın ısı transferi ve basınç düşüşünü Ansys programı, Fluent yazılımında incelemişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonunun artışına bağlı olarak ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür.

Şahin ve ark., (2010) içindeki tel bobinlere sahip bir parabolik tüp güneş kolektörünün termal performansını hem deneysel hem de Ansys Fluent simülasyonlarıyla incelemişlerdir. Sonuç olarak, tel bobinlerin Nusselt sayısını (Nu) 2.25 kat artırdığı, sürtünme katsayısını (f) ise 28 kat artırdığını belirtmişlerdir. Chakraborty ve ark., (2023) iç içe geçmiş bir helisel bobin ile entegre edilmiş bir parabolik tüp güneş kolektörünün performansını incelemek için Ansys programı, Fluent yazılımını kullanmışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre termal enerjinin %32.3 oranında arttığı, pompa tarafından yapılan işin ise %13 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Zaboli ve ark., (2021) helisel eksenel kanatların parabolik tüp güneş kolektörü performansı üzerindeki etkisini incelemek için Ansys yazılımını kullanmışlardır. Maksimum termal verimlilik artışı %21.53 olarak belirlenmiştir. Elumalai ve Dasaien, (2017) CuO (Bakır Oksit) bazlı nanoakışkan kullanımının düzlemsel güneş kolektöründe verimlilik artışına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneyler 45° eğimli düzlemsel güneş kolektöründe sürekli rejim ve sabit ısı akısında Ansys Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kolektörün termal performansının nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonunun artışına bağlı olarak arttığı görülmüştür. %0.2 hacimsel konsantrasyonlu CuO nanoakışkan kullanımı ile %5.7 oranında termal performans iyileşmesi sağlanmıştır. Rangababu ve ark., (2015) CuO ve Al₂O₃ nanoakışkanlarını kullanarak ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Isı transferini analiz etmek için Ansys Fluent 14 yazılımını kullanmışlardır. Sayısal sonuçların ölçülen deneysel verilerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sayısal sonuçlara göre CuO nanoakışkanın, su ve Al₂O₃'e kıyasla ısı transferini sırasıyla %22 ve %8 oranında artırdığı görülmüştür. Gadanya ve ark., (2019) yapmış oldukları çalışmada, çalışma akışkanı olarak Al₂O₃, CeO₂, Cu, SiO₂ ve TiO₂'yi içeren beş farklı nanoakışkanın, hacimsel konsantrasyon aralığı % 0.1 ile % 2 arasında değişen düz plakalı bir güneş kolektörünün verimini araştırmak için Ansys Fluent yazılımını kullanmışlardır. Maksimum verim artışı % 2 hacimsel konsantrasyonda SiO₂ nanoakışkanında % 10 oranında gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi farklı hacimsel konsantrasyonlarda ve farklı debilerde CeO₂-su, ZnO-su nanoakışkanlarının çıkış sıcaklıklarını deneysel ve sayısal olarak karşılaştırmaktır. Bu amaçla Ansys Fluent yazılımında bir model geliştirilmiştir. Simülasyon, tam günlük bir deney için yarım saatlik aralıklarla ölçülen verilerin ortalama değerleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler güneş ışınlamı, ortam sıcaklığı, giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı, ortam nemi, debi ve rüzgar hızı gibi değişkenlerle yapılmıştır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanlar Nanoakar firmasından kararlı halde temin edilmiştir. Birebir ölçülerde kurulan iki ayrı sistemde nanoakışkan ve suyun ısı performansları düzlemsel güneş kollektörlerinde karşılaştırılmıştır. Sistemin bir tarafında su, diğer tarafında ise CeO_2 ve ZnO nanoakışkanları kullanılmıştır. Sistemde 2 adet düzlemsel güneş kollektörü kullanılmış ve kullanılan kollektörlerin net yüzey alanları 1 m^2 'dir. Gerçekleştirilen bu çalışmada nanoakışkan ile suyun performansı deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen bulguların grafiklere dönüştürülmesi için SigmaPlot 15.0 kullanılmıştır.

3.1. Nanoakışkan

% 0.01, % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonlarından oluşacak şekilde laboratuvarında üretimi yapılan CeO_2 ve ZnO nanoakışkanları termofiziksel özellikleriyle beraber Nanoakar firmasından temin edilmiştir. Deneylerde nanopartikül olarak kullanılan her bir nanoakışkan konsantrasyonu 2000 ml olup; %50 hacimsel oranda suyla karıştırılarak hazırlanan nanoakışkanlar nanoakışkan haznesine boşaltılarak deney aşamasına geçilmiştir. Çizelge 3.1'de çalışmada kullanılan nanopartiküllerin özelliklerine yer verilmiştir. Çizelge 3.1'den de anlaşılabacağı üzere ZnO 'nun ısı iletkenliği CeO_2 'ye göre yaklaşık 2 kat daha fazladır.

Çizelge 3. 1 Nanopartikül özellikleri (Matheswaran, 2020)

Partikül Adı	Yoğunluk (kg/m^3)	Özgül Isı (J/kgK)	Partikül Boyutu	Isıl İletkenliği 25°C (W/mK)
Seryum Oksit	7132	460	25nm	12
Çinko Oksit	5606	514	25 nm	27

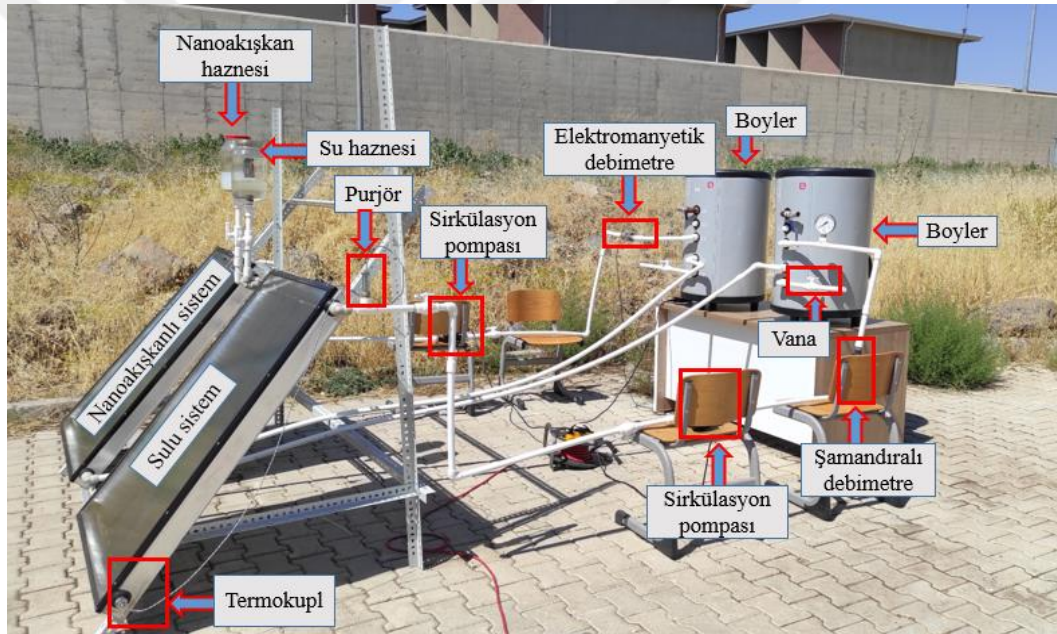
3.2. Deney Düzenegi ve Kullanılan Malzemeler

Deney sisteminde kullanılmak üzere 2 adet 1 m^2 net alana sahip düzlemsel güneş kollektörünü taşıyabilecek demir sac konstrüksiyonu tasarlanmıştır. Şekil 3.1'de paneli taşıyacak sac konstrüksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Paneli taşıyacak sac konstruksiyonu

Deney düzeneğinin resmi ve deneyde kullanılan malzemeler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

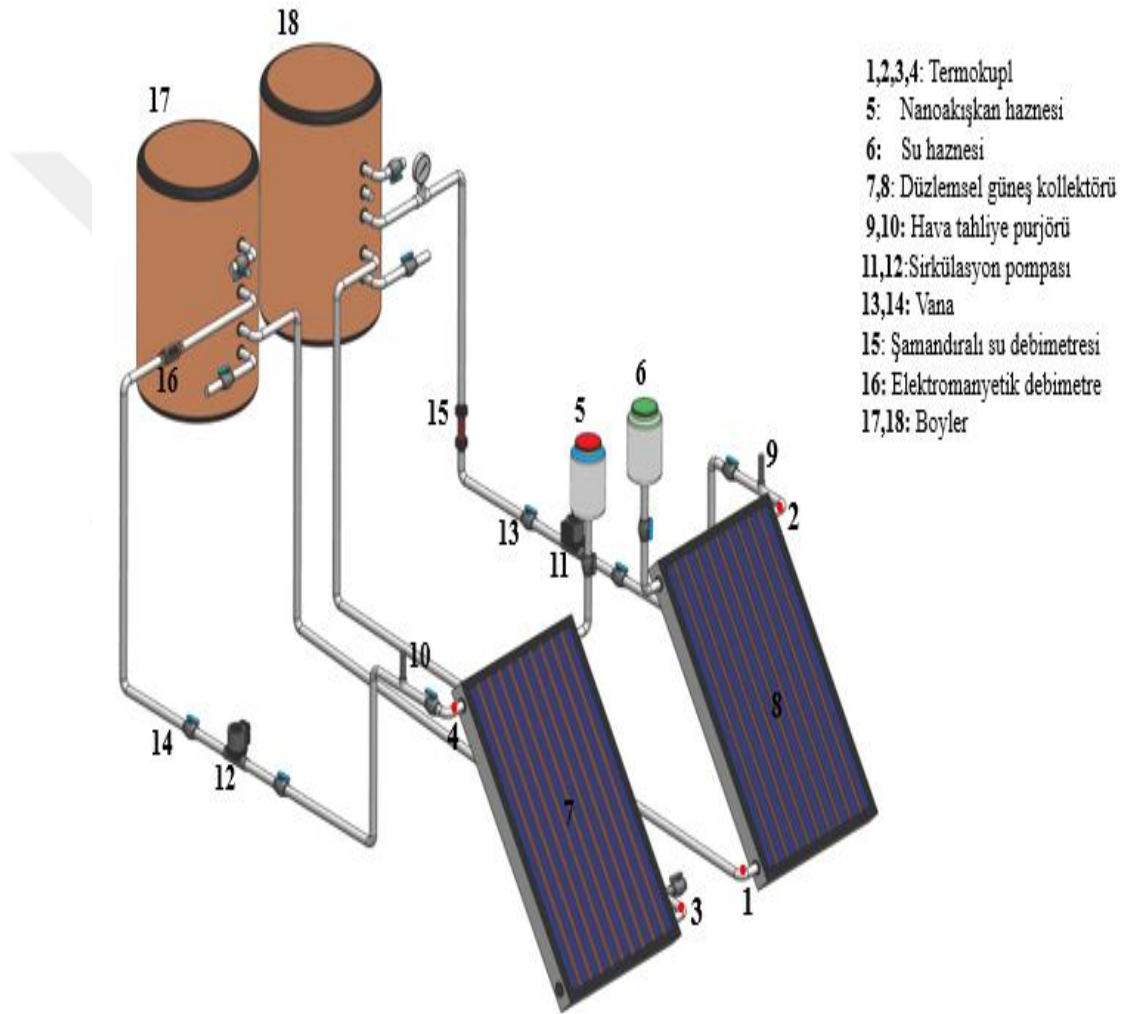


Şekil 3. 2 Deney düzeneği

Deneyler Temmuz- Ağustos aylarında yapılmış, Diyarbakır ili için optimum kollektör açısı 36° olarak bulunmuş ve kollektör bu açıya göre konumlandırılmıştır.

Deney düzeneği zorlanmış taşınımlı güneş enerji sistemidir. Her iki akışkanının hareketi de pompa vasıtasıyla sağlanmaktadır. Akışkanın sistem içindeki sirkülasyonunu ve dolaşımını sağlamak üzere 2 adet sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Nanoakışkanlı sistemdeki debi kontrolü, elle kontrol edilebilen kısma vanaları ve akışa doğrudan müdahale etmeyen ve dişli çark içermeyerek partikül birikmesinden kaçınan elektromanyetik debimetre ile sağlanmıştır.

Hem sulu sistem, hem nanoakışkanlı sistemde kollektörlerin giriş ve çıkışlarına yerleştirilen kalibre edilmiş 4 adet ısıl çift, sıcaklık veri kayıt cihazına bağlanarak yarım saatte bir ölçüm alınmış, sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Boylerlerin üzerinde bulunan dijital termometreler ile depo sıcaklıkları ölçülmüştür. Deneyler 07:30- 17:30 saatleri arasında yapılmıştır. Güneş ışınım değerleri, sulu sistem ve nanoakışkanlı sistemin giriş ve çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklıkları, havanın nemi ve depo sıcaklıkları ölçülmüş, sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.3’de deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3. 3 Deney düzeneği şematik görünümü

3.2.1. Düzlemsel güneş kollektörü

Her iki sistem için 1 m² net alana sahip kollektör kullanılmıştır. Şekil 3.4’de düzlemsel güneş kollektörü gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Düzlemsel güneş kollektörü

3.2.2. Sirkülasyon pompası

Suyun sirkülasyonunu sağlamaktadır. Welko GPA 25-8 130 mm frekans konvertörlü sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Sistem 2 adet sirkülasyon pompasıyla çalışmaktadır. Sirkülasyon pompasının teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Sirkülasyon pompasının teknik özellikleri

Hız Kademesi	3 kademeli
Maksimum basma yüksekliği	8 metre
Maksimum su debisi	4.2 m ³ /h
Akışkan sıcaklığı	2°C- 110°C
Voltaj	230 volt

Şekil 3.5 de sistemde kullanılan sirkülasyon pompası gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 Welko sirkülasyon pompası

3.2.3. Boyler

Erc marka 2 adet tek serpantinli boyler kullanılmıştır. Erc marka boylerin teknik özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Boyler teknik özellikleri

Sıcaklık ayar aralığı	0°C- 120°C
Hacim	100 Litre
Yükseklik	90 cm
Test basıncı	10 Bar
İşletme basıncı	5 Bar

Şekil 3.6 de sistemde kullanılan tek serpantinli boyler gösterilmiştir.



Şekil 3. 6 a) Boyler dijital termometre



b) Erc marka tek serpantinli boyler

3.2.4. Elektromanyetik debimetre

CeO₂ ve ZnO kullanılan sistemde nanoakışkan debisini temas etmeden ölçebilmek amacıyla Ifm DN 15 dişli elektromanyetik debimetre kullanılmıştır.

Döner eleman ve çark içermemesi nedeniyle nanoakışkana temas etmeden ölçüm yapabilmesi bu cihazın en önemli özelliğidir. Bu özellik sayesinde nanopartiküllerde sıkça karşılaşılan çökelme probleminden kaçınılmaktadır. Çizelge 3.4’de elektromanyetik debimetrenin teknik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3. 4 Ifm DN 15 elektromanyetik debimetre teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	6 l/h -1500 l/h
Gösterge	Led
Basınç	16 bara kadar
Voltaj	10 volt

Şekil 3.7’de sistemde kullanılan elektromanyetik debimetre gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 Ifm DN 15 elektromanyetik debimetre

3.2.5. Şamandıralı debimetre

Deneyler yapılırken sulu sistemde suyun debisini ölçebilmek için kullanılmıştır. LZS 101 model şamandıralı debimetre kullanılmıştır. Çizelge 3.5’de şamandıralı debimetrenin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 5 Şamandıralı debimetre teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	25 l/h- 600 lt/h
Boy	216 mm
Basınç	0 - 6 Bar
Çalışma sıcaklığı	0°C - 85°C

Şekil 3.8 de sistemde kullanılan şamandıralı debimetre gösterilmiştir.



Şekil 3. 8 LZS 101 model şamandıralı debimetre

3.2.6. J tipi termokupl

Sulu sistem ve nanoakışkanlı sistemde kollektörün giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için 4 adet ısıl çift kullanılmıştır. Termoelemanlar kollektör tesisatı delinmeden, gerekli tesisat bağlantıları sayesinde uygun bir şekilde kollektör giriş ve çıkışlarına yerleştirilmiştir. Termokuplların boyu 1.5 metre, çalışma sıcaklık aralığı -200°C- 1300°C arasındadır.

Şekil 3.9’da sistemde kullanılan termokupullar gösterilmiştir.



Şekil 3. 9 J tipi termokupl

3.2.7. 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı

Cem DT-3891G 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı ile ısı çiftleriyle ölçülen sıcaklık değerleri kayıt altına alınmıştır. Kutu içerisinden yazılım cdsi ve 1 adet usb kablosu çıkmıştır. Bu cd içinde bulunan program bilgisayara yüklenerek deney sırasında ön belleğe alınan veriler bilgisayarda izlenip yedeklenebilmektedir. Çizelge 3.6’da 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 6 Cem DT-3891G 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı

Kanal sayısı	4
Termokupl tipi	J, K
Kanal başına veri kaydı sayısı	18000
Sıcaklık ölçüm aralığı	-50°C - +250°C

Şekil 3.10’da sistemde kullanılan sıcaklık veri kayıt cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3. 10 Cem DT-3891G 4 kanallı sıcaklık veri kayıt cihazı

3.2.8. Piranometre

Deney yapılan günlerde güneş ışınım şiddetinin ölçümünde CEM marka DT 1307 model piranometre kullanılmıştır. 30 dakikalık zaman aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Çizelge 3.7’de CEM marka DT 1307 model piranometre cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. 7 CEM marka DT 1307 piranometre cihazı teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	5 W/m ² - 2000 W/m ²
Ekran tipi	LED
Ağırlık	176 g
Hassasiyet	± 10 W/ m ²

Şekil 3.11 de sistemde kullanılan piranometre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3. 11 CEM DT 1307 piranometre

3.2.9. Çok fonksiyonlu ölçüm aleti

Ortamin sıcaklığını ve havanın nemini ölçmek için çok fonksiyonlu Geratech DT 8820 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz sayesinde ses, nem, ışık ve sıcaklık ölçülebilmektedir. Çizelge 3.8’de Geratech DT 8820 ölçüm cihazının teknik özellikleri, Şekil 3.12’de ise Geratech DT 8820 ölçüm cihazı gösterilmiştir.

Çizelge 3. 8 Geratech DT 8820 ölçüm cihazı

Ses ölçüm aralığı	35 DB - 130 DB
Işık ölçüm aralığı	20 Lux - 20000 Lux
Sıcaklık ölçüm aralığı	-20°C - +750°C
Nem ölçüm aralığı	% 15 RH - % 90 RH



Şekil 3. 12 Geratech DT 8820 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı

3.2.10. Anemometre

Havanın hızını ölçmek için kullanılmıştır. Meitav M 4000 cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz sayesinde rüzgar hızı ve sıcaklık ölçülebilmektedir. Çizelge 3.9’da Meitav M 4000 ölçüm cihazının teknik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3. 9 Meitav M 4000 ölçüm cihazının teknik özellikleri

Pil	9 V
Prob uzunluğu	1 metre
Rüzgar hızı ölçüm aralığı	0.1 - 45 m/s
Mode fonksiyonu	Sıcaklık ve rüzgar hızı

Şekil 3.13’de sistemde kullanılan anemometre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3. 13 Meitav M 4000 ölçüm cihazı

3.2.11. Nanoakışkan

Deney düzeneğinde kullandığımız %50 hacimsel ZnO-su ve CeO₂-su nanoakışkanları, Nanoakar firmasından kararlı halde % 1, % 0.1 ve % 0.01 hacimsel konsantrasyonlardan oluşacak şekilde tedarik edilmiştir. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de deney düzeneğinde kullanılan CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanları gösterilmiştir.



Şekil 3. 14 Deney düzeneğinde kullanılan CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanları



Şekil 3. 15 Deney düzeneğinde kullanılan ZnO-su nanoakışkanı

4. ENERJİ ANALİZİ DENKLEMLERİ

Ekserji analizi, enerji sistemleri için önemli bir teknik olup; verimsiz alanların tespiti ve düzeltilebilmesi adına bize fırsat sunar (Rosen ve Dinçer 2004). Ekserji kaybı terimi, entropi üretimi sonucunda yaşanan enerji kaybının doğal sonucudur. Ekserji tersinir bir proses sonucunda sistem ile çevre arasında ki denge sağlandıktan sonra edilebilecek maksimum faydalı iş miktarıdır (Kilkis, 1999).

Termodinamiğin birinci yasası sistemlerin verimini analiz etmekte yeterli olmamaktadır (Çengel ve Boles, 1996). İkinci yasa verimi bu eksikliği giderme amacı taşımaktadır. Termodinamiğin birinci yasasının ilgi alanı enerjinin dönüşümü, termodinamiğin ikinci yasası ise bu dönüşümün ne kadar gerçekleşebileceği ile alakalıdır (Bejan ve ark., 1996).

4.1. Güneş Kollektörlü Sistemlerin Termodinamik Analizi Denklemleri

Bu çalışmada ekserji, entropi ve enerji analizi yapılırken bazı varsayımlar yapılmıştır.

- Kinetik ve potansiyel enerji ihmal edilmiştir.
- Şebeke suyunun özgül ısısı sabit varsayılmıştır (4.18 kJ/kg°C).
- Kollektör ile boyler arası ısı kaybı görmezden gelinmiştir.
- Sistem elemanlarındaki, borulardaki sürtünme ve basınç kayıpları görmezden gelinmiştir.

Sürekli şartlarda kütle denge denklemi, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (4.1)$$

Sürekli şartlarda genel enerji dengesi, aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Hepbasli, 2008).

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_ç \quad (4.2)$$

Genel ekserji ifadesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\sum E\dot{x}_{giriş} - \sum E\dot{x}_{çıkış} = \sum E\dot{x}_{kayıp} \quad (4.3)$$

$E\dot{x}_{kayıp}$ tersinmezliklerden meydana gelen ekserji kaybı, $E\dot{x}_{ısı}$ sisteme gelen ısı ekserjisi, $E\dot{x}_{iş}$ sistemden çıkan iş ekserjisi, $E\dot{x}_{kütle,giriş}$ sisteme giren akış ekserjisi, $E\dot{x}_{kütle,çıkış}$ sistemden çıkan akış ekserjisi, T_0 ortam sıcaklığı, T_k (5800 K) güneşin yüzey sıcaklığıdır (Hepbasli, 2008).

$$E \dot{x}_{ısı} - E \dot{x}_{ış} + E \dot{x}_{k\ddot{u}tle,giriş} - E \dot{x}_{k\ddot{u}tle,çıkış} = E \dot{x}_{kayıp} \quad (4.4)$$

$$E \dot{x}_{ısı} = \sum (1 - \frac{T_0}{T_k}) Q_k \quad (4.5)$$

$$E \dot{x}_{ış} = W \quad (4.6)$$

$$E \dot{x}_{k\ddot{u}tle,giriş} = \sum \dot{m}_g \psi_{giriş} \quad (4.7)$$

$$E \dot{x}_{k\ddot{u}tle,çıkış} = \sum \dot{m}_ç \psi_{çıkış} \quad (4.8)$$

Yukarıdaki denklemlerde Q_k güneşin yüzeyinden kollektöre aktarılan toplam ısı miktarı, W iş miktarıdır, ψ özgül akış ekserjisi, h entalpi ve s entropidir. h_o ve s_o çevre sıcaklığındaki ortam entalpisi ve entropisidir. Özgül akış ekserjisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\psi = (h - h_o) - T_o (s - s_o) \quad (4.9)$$

4.9'da ki denklem 4.10 da ki şekilde de yazılabilir (Szargut, 2005).

$$\psi = c_p (T - T_o - T_o \ln \frac{T}{T_o}) \quad (4.10)$$

Genel Entropi denklemi aşağıdaki gibidir (Hepbasli, 2008).

$$\sum \dot{S}_{giriş} - \sum \dot{S}_{çıkış} + \sum \dot{S}_{\ddot{u}retim} = 0 \quad (4.11)$$

Isı (Q_k) ve kütleli debi ($\dot{m}$) ile entropi aktarımı şu şekilde bulunur.

$$\dot{S}_{ısı} = \frac{Q_k}{T_k} \quad \dot{S}_{k\ddot{u}tle} = \dot{m} s \quad (4.12)$$

Eşitlik 4.11 yeniden düzenlenerek genel entropi ifadesi elde edilecek olursa:

$$\sum \dot{S}_{\ddot{u}retim} = \sum \dot{m}_{çıkış} s_{çıkış} - \sum \dot{m}_{giriş} s_{giriş} - \sum \frac{Q_k}{T_k} \quad (4.13)$$

Ekserji kaybı veya tersinmezlik şu şekilde tanımlanabilir (Karsli, 2007; Esen, 2008). $\dot{Q}_u$ kollektöre aktarılan faydalı ısı, $\dot{Q}_s$ güneşten elde edilen toplam enerji miktarı, $\dot{Q}_o$ toplam kaybedilen ısı miktarıdır.

Genel ekserji kayıpları aşağıda verilen ifade gibi hesaplanabilir (Hepbasli, 2008).

$$E \dot{x}_{kayıp} = \sum (1 - \frac{T_0}{T_k}) Q_k - \sum W + \sum \dot{m}_g \psi_{giriş} - \sum \dot{m}_ç \psi_{çıkış} \quad (4.14)$$

$$\dot{S}_{\ddot{u}retim} = \dot{m} c_p \ln \frac{T_{çıkış}}{T_{giriş}} - \frac{\dot{Q}_s}{T_s} + \frac{\dot{Q}_o}{T_o} \quad (4.15)$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_{çıkış} - T_{giriş}) \quad (4.16)$$

$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_s - \dot{m} c_p (T_{çıkış} - T_{giriş}) \quad (4.17)$$

$$\dot{Q}_s = 1 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_s} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_s} \right)^4 \quad (4.18)$$

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (4.19)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = \frac{\dot{m} C_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}})}{A_c G_T} \quad (4.20)$$

İndirgenmiş sıcaklık Eşitlik 4.21’de ki gibi hesaplanabilir:

$$T^* = \frac{\Delta T}{G_T} = \frac{T_g - T_0}{G_T} \quad (4.21)$$

Eşitlik 4.21’de ki T^* indirgenmiş sıcaklığı, T_g giriş sıcaklığını, T_0 ortam sıcaklığını ifade etmektedir (Smith ve ark., 1975).

Isı transferinin ortalama sıcaklığı kullanılması durumunda kollektör verim ifadesi Eşitlik 4.22’de ki gibi tanımlanır. F_R kollektör ısı kazanç faktörü, η kollektör verimini, U_L kollektör ısı transferi kayıp katsayısı, $F_R U_L$ verim eğrisinin eğimini, $F_R(\tau\alpha)$ verim eğrisinin kesme noktasını, G_T kollektör üzerine gelen anlık ışıyım miktarı, C_p (kJ/kgK) akışkanın sabit basınçtaki özgül ısı değeridir.

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{T_g - T_0}{G_T} \quad (4.22)$$

Diyarbakır ili için optimum kollektör eğim açısı Denklem 4.23’de hesaplanmıştır. Denklemden $\emptyset$ enlemi, β kollektör açısını, n gün sayısını belirtmektedir. Diyarbakır için optimum kollektör açısı 36 bulunmuş, düzlemsel güneş kollektörleri bu açığa göre konumlandırılmıştır.

$$\beta = | \emptyset - \delta | \quad (4.23)$$

$$\delta = 23/45 \sin \left(360 \frac{n+284}{365} \right) \quad (4.24)$$

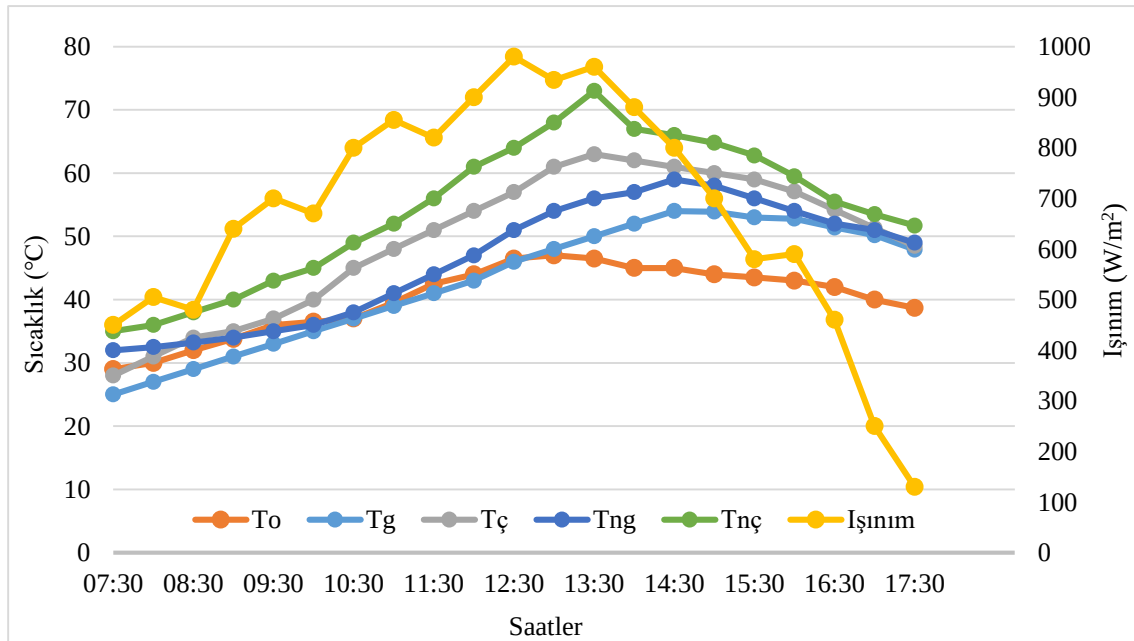
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı düzlemsel güneş kolektörlerinde % 0.01, % 0.1, % 1 hacimsel konsantrasyonlarda Seryum oksit (CeO_2) ve Çinko Oksit (ZnO) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde 250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h ve farklı saatlerde verim, sıcaklık-ışınım-saat, ekserji kaybı gibi parametreler açısından mukayese etmektir.

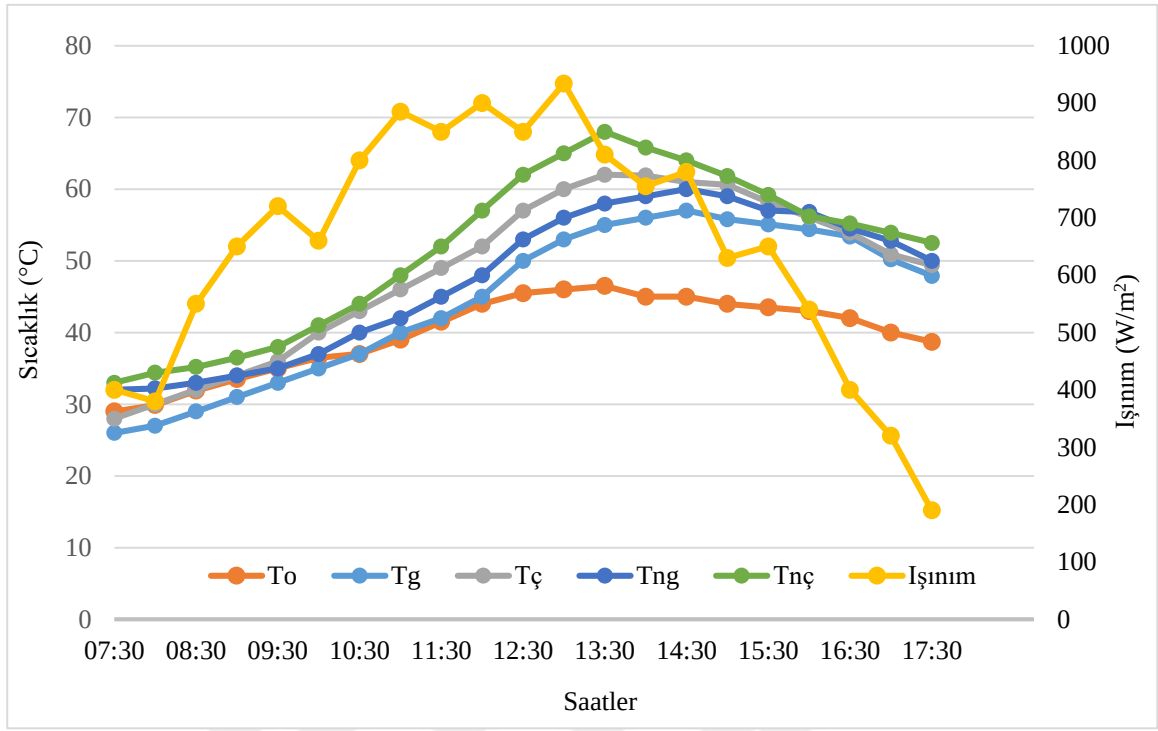
Sistemin bir tarafında su, diğer tarafında ise üç farklı hacimsel oranlarda (% 0.01, % 0.1 ve % 1) hazırlanan Seryum oksit (CeO_2) ve Çinko Oksit (ZnO) nanoakışkanları kullanılmıştır. Debi kontrolleri su kullanılan sistemde şamandıralı debimetreye, nanoakışkan kullanılan sistemde ise akışkan alanına doğrudan müdahale etmeyen ve dişli çark içermeyen elektromanyetik debimetre ile sağlanmıştır. Her iki sistemde belirli bir süre çalıştırılıp kalibrasyon sağlanmıştır. Deneyler ASHRAE standart koşullarını karşılamış; gün içerisinde ölçülen en iyi değerler alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen bütün parametrelerde su ve nanoakışkanın performansları karşılaştırılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan % 50 hacimsel ZnO -su ve CeO_2 -su nanoakışkanları Nanoakar firmasından kararlı halde % 1, % 0.1 ve % 0.01 konsantrasyonlarından oluşacak şekilde tedarik edilmiştir.

5.1. Kollektör Verim Deneyleri

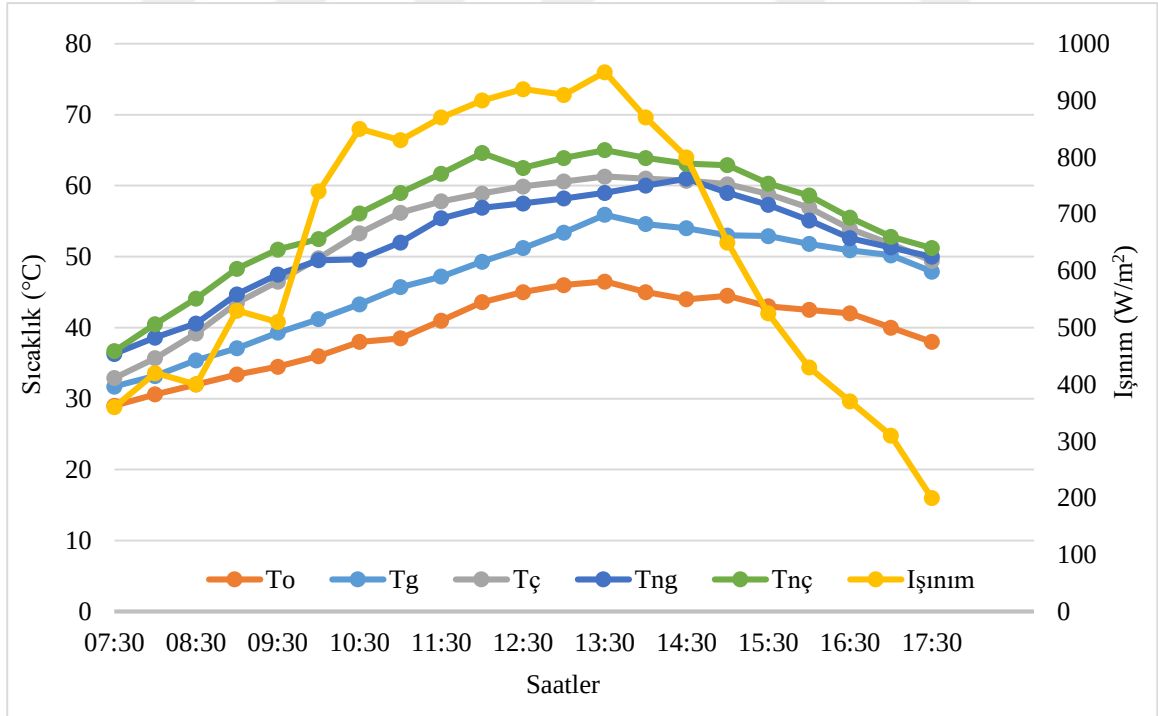
5.1.1. Gün içerisinde sıcaklık-ışınım-saat değişimleri



Şekil 5. 1 % 0.01 CeO_2 -su hacimsel oran ile 50 lt/saat debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

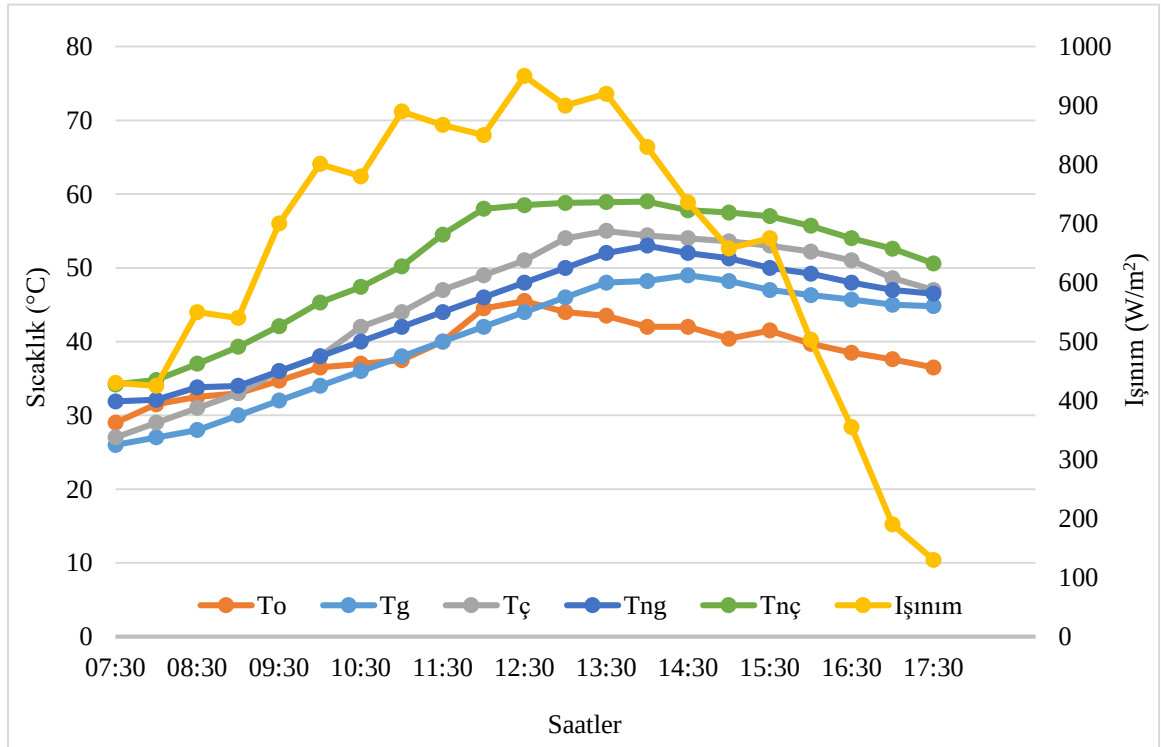


Şekil 5. 2 % 0.01 CeO₂-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

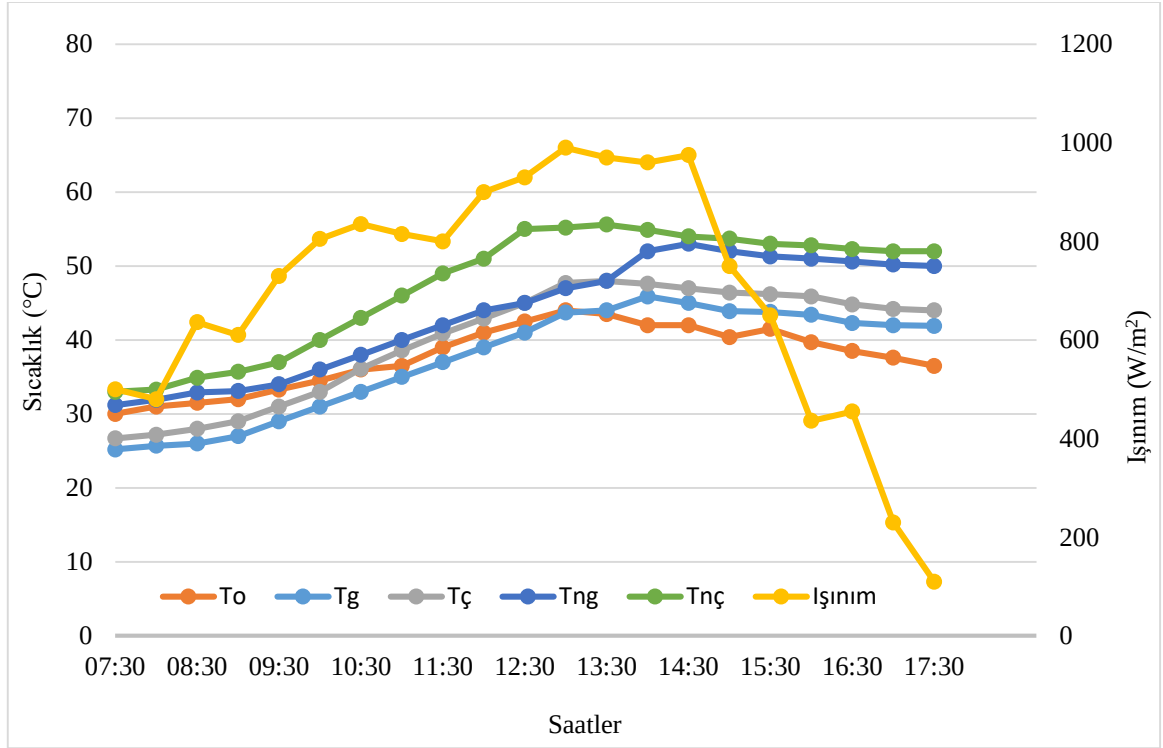


Şekil 5. 3 % 0.01 CeO₂ -su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

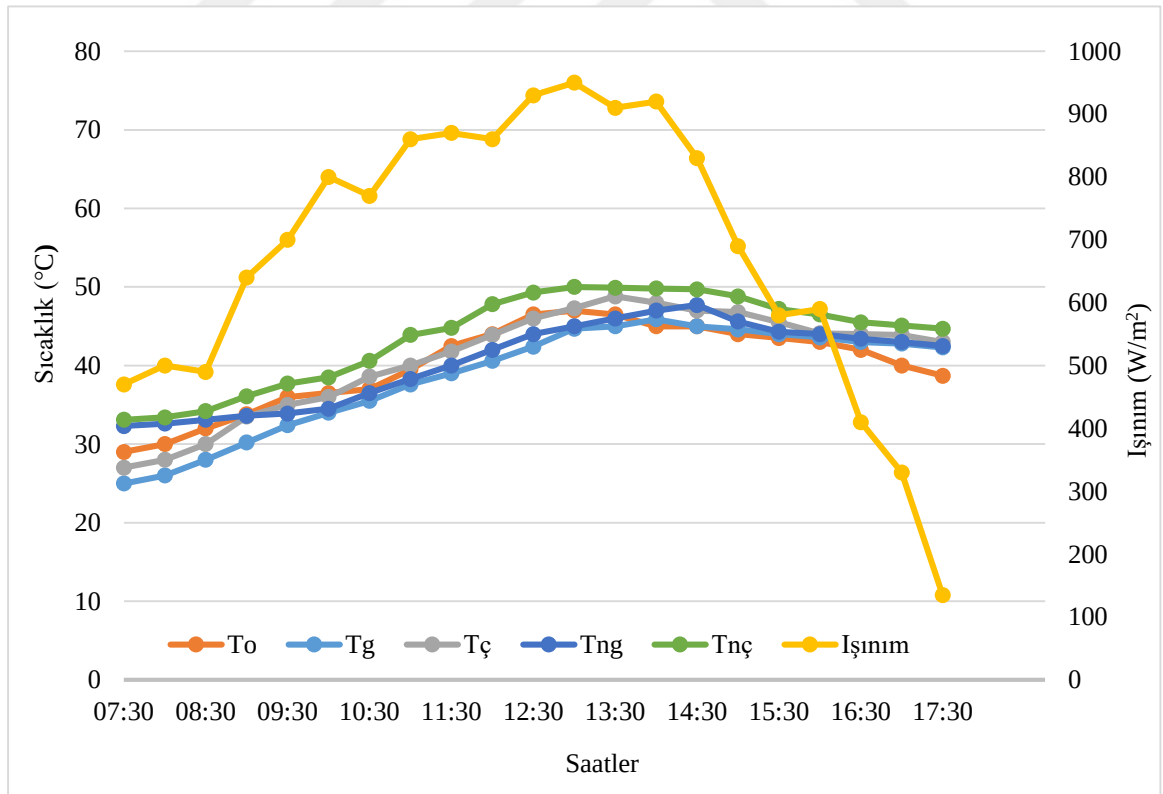
Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3’de % 0.01 Seryum oksit (CeO_2) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) sıcaklık -ışınım-saat grafikleri verilmiştir. Sistem bir süre çalıştırılıp kalibrasyon sağlandıktan sonra, 30 dakikada bir okunan kollektör giriş (T_g), kollektör çıkış ($T_ç$) ve çevre sıcaklıkları (T_o); ısınım, rüzgar hızı, nem verileri ASHRAE standart koşullarını karşılayarak kayıt altına alınmıştır. Debideki artış, akışkanın sistemde daha hızlı hareket etmesine ve akışkanın sistemi daha kısa sürede dolaşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla akışkanın sıcaklığı, ısı transferi için daha az zaman harcar ve bu da giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkının azalmasına neden olur. Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 incelendiğinde debi miktarının artışına bağlı olarak CeO_2 nanoakışkanının giriş-çıkış sıcaklığı ve suyun giriş-çıkış sıcaklıkları arasında ki farkın giderek azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni debi arttıkça enerji kayıp oranı F_{RUL} azalmaktadır. Düşük debilerde akışkanın kollektörde kalma süresi yani güneşi absorbe etme süresi [$F_R(\tau\alpha)$] fazla olduğundan sıcaklık artışı daha fazladır. Şekil 5.1 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50 lt/h de 63°C ölçülürken, CeO_2 nanoakışkanı için yine 50 lt/h de, % 0.01 konsantrasyonda 73 °C ölçülmüştür. Şekil 5.2 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 62°C ölçülürken, CeO_2 nanoakışkanı için 68°C ölçülmüştür. Şekil 5.3’e göre en yüksek çıkış sıcaklığı su için 60°C ölçülürken, CeO_2 nanoakışkanı için 65°C ölçülmüştür.



Şekil 5. 4 % 0.1 CeO_2 -su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

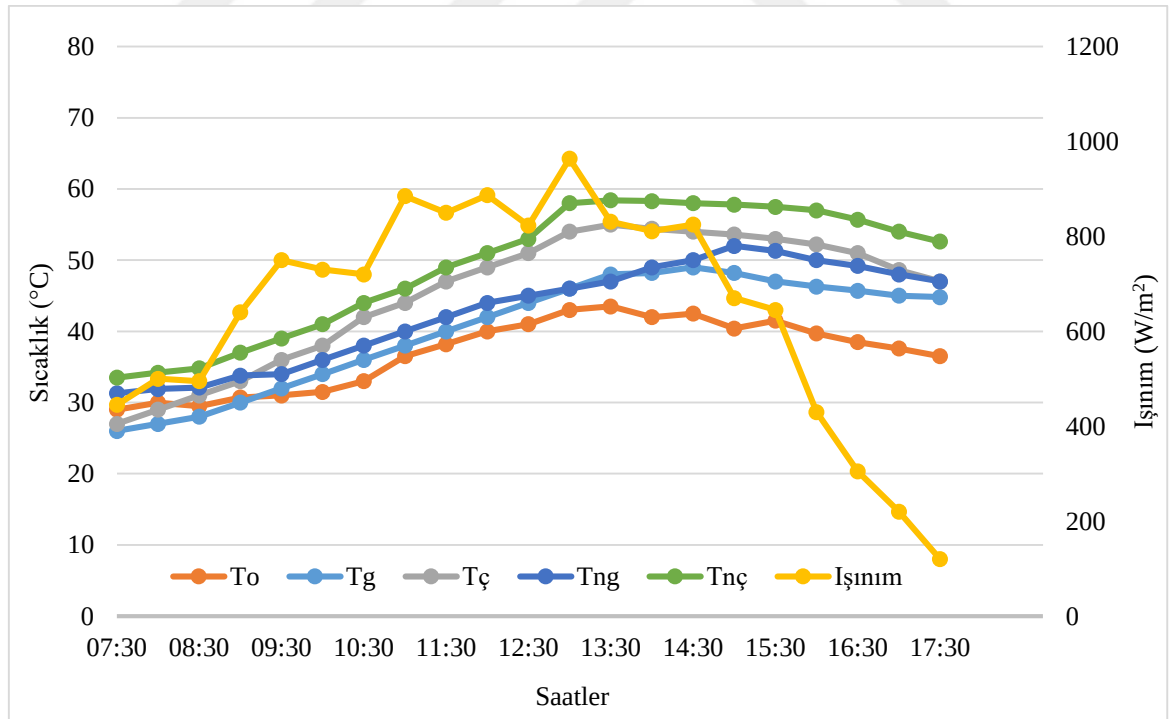


Şekil 5.5 % 0.1 CeO₂-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

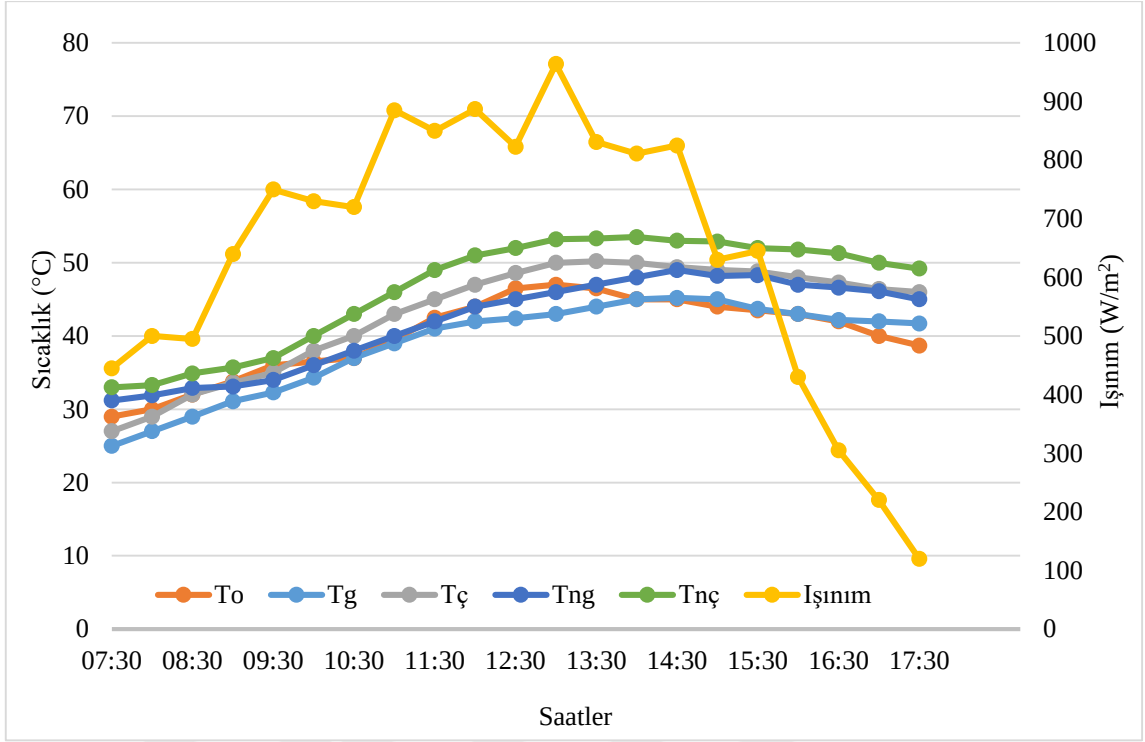


Şekil 5.6 % 0.1 CeO₂-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

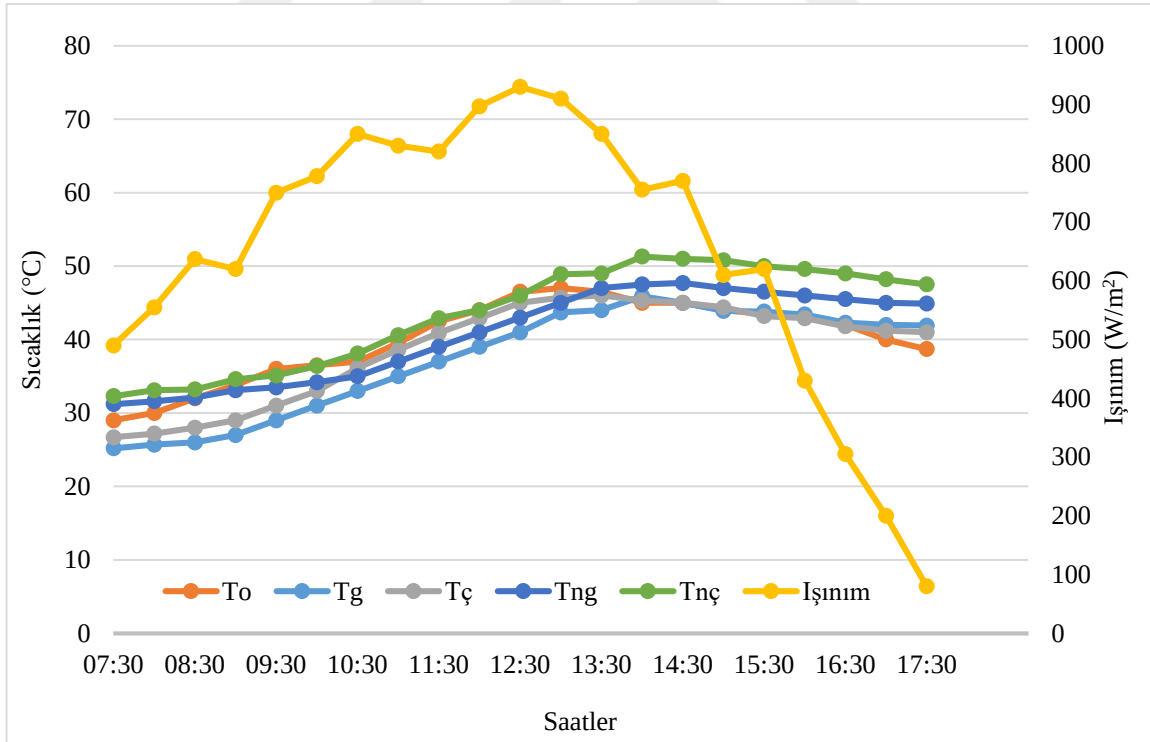
Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6’da % 0.1 Seryum oksit (CeO_2) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) sıcaklık-ışınım-saat grafikleri verilmiştir. Nanoakışkanların ısı iletkenlik artışına neden olan temel unsur partiküller arası rastgele çarpışmalardır (Brownian hareketi). Dolayısıyla hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça ısı iletkenlik artmakta, sıcaklık artışı daha önemli hale gelmektedir (Yousefi ve ark., 2012). Yüksek sıcaklıklar moleküllerin hareket yeteneğini artırdığından nanopartikül ile akışkanın çarpışma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklık farklarında % 1 oran için % 0.01 ve % 0.1’e göre ısı kaybı (U_L) azalmaktadır. Daha yoğun bir malzeme (hacimsel konsantrasyonu daha yüksek), genellikle daha homojen bir sıcaklık dağılım profiline sahiptir. Bu, ısı transferinin daha az sıcaklık farkı arasında gerçekleşmesine sebep olur. Daha az sıcaklık farkı, ısı transferi miktarını azaltır ve dolayısıyla ısı transfer kaybının (enerji kaybını) azalmasına neden olur. Şekil 5.4 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50 lt/h debide 55°C ölçülürken, CeO_2 nanokışkanı için yine 50 lt/h debide, % 0.1 konsantrasyonda 59°C ölçülmüştür. Şekil 5.5 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 48°C ölçülürken, CeO_2 nanokışkanı için 55°C ölçülmüştür. Şekil 5.6 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 46°C ölçülürken, CeO_2 nanokışkanı için 50°C ölçülmüştür.



Şekil 5. 7 % 1 CeO_2 -su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

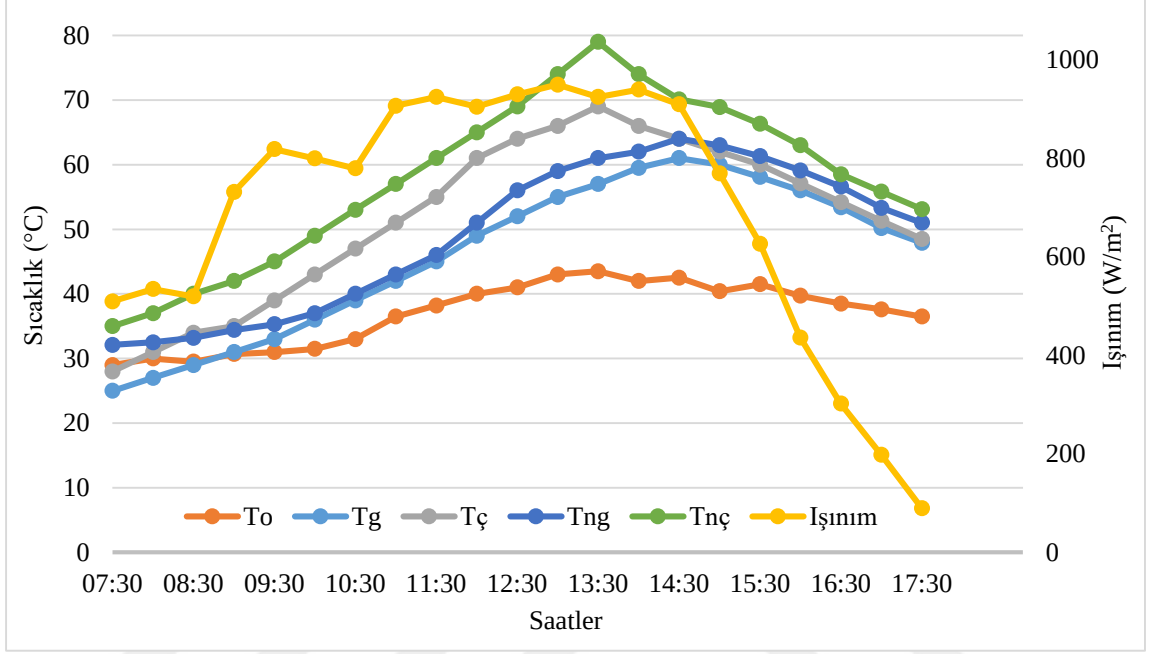


Şekil 5.8 % 1 CeO₂-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

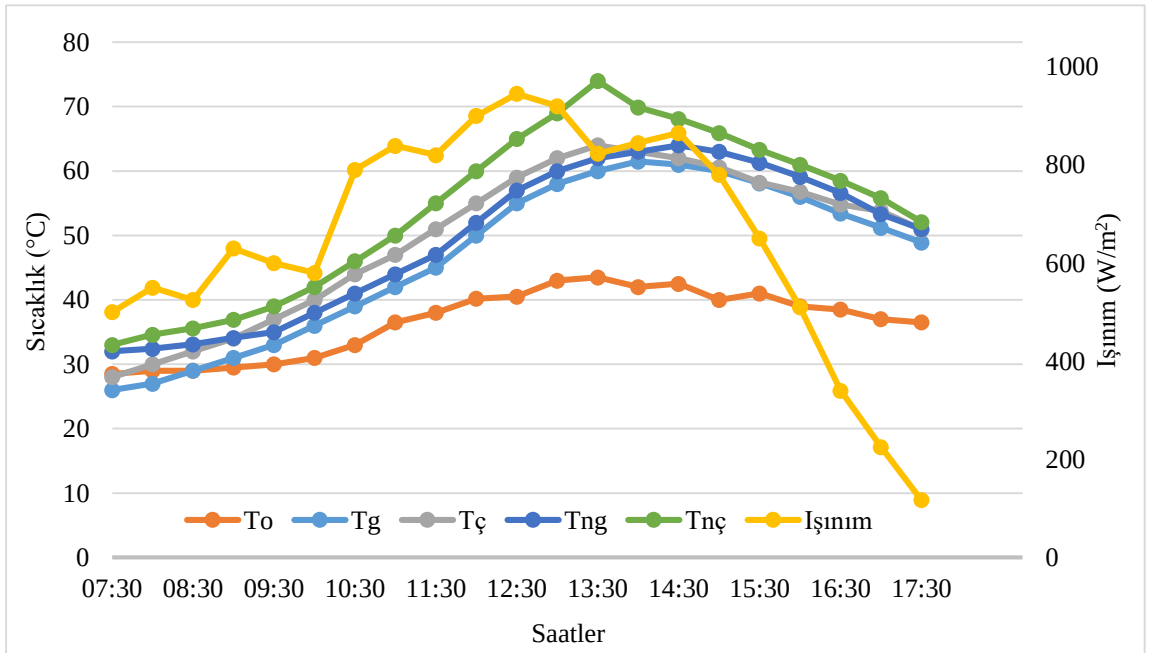


Şekil 5.9 % 1 CeO₂-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

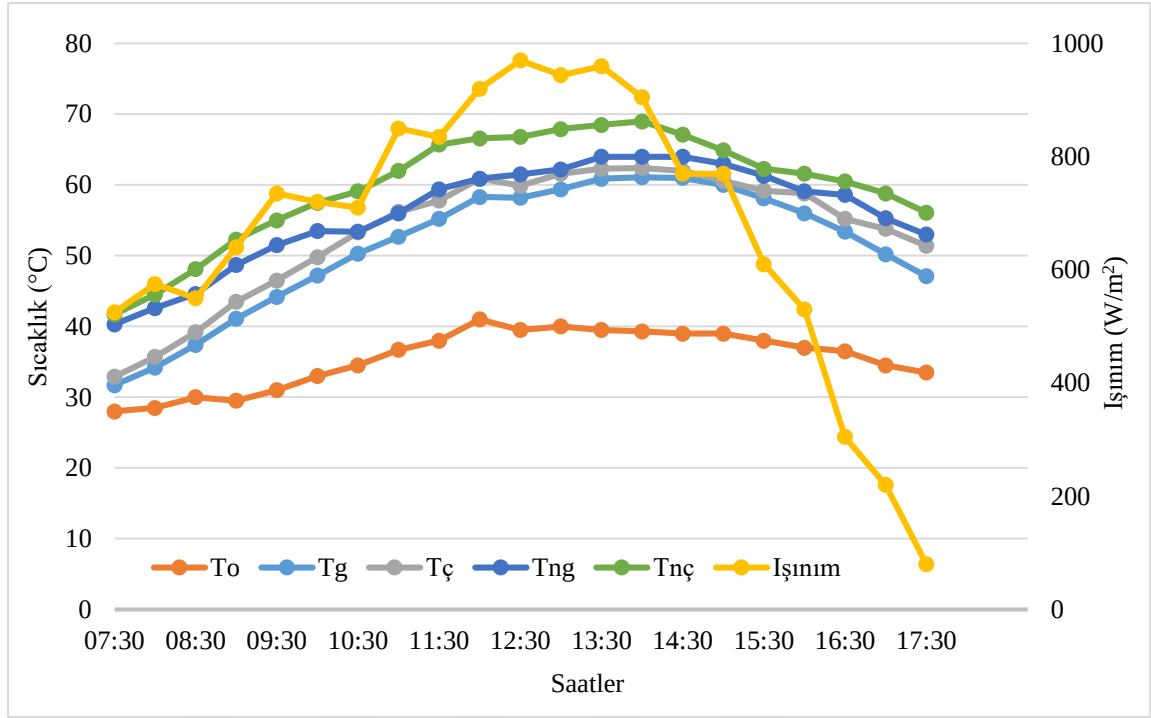
Şekil 5.7 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50 lt/h debide 55°C ölçülürken, CeO₂ nanokışkanı için yine 50 lt/h debide, % 1 konsantrasyonda 58°C ölçülmüştür. Şekil 5.8 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50°C ölçülürken, CeO₂ nanokışkanı için 53°C ölçülmüştür. Şekil 5.9'a göre en yüksek çıkış sıcaklığı su için 46°C ölçülürken, CeO₂ nanokışkanı için 51°C ölçülmüştür.



Şekil 5. 10 % 0.01 ZnO-su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

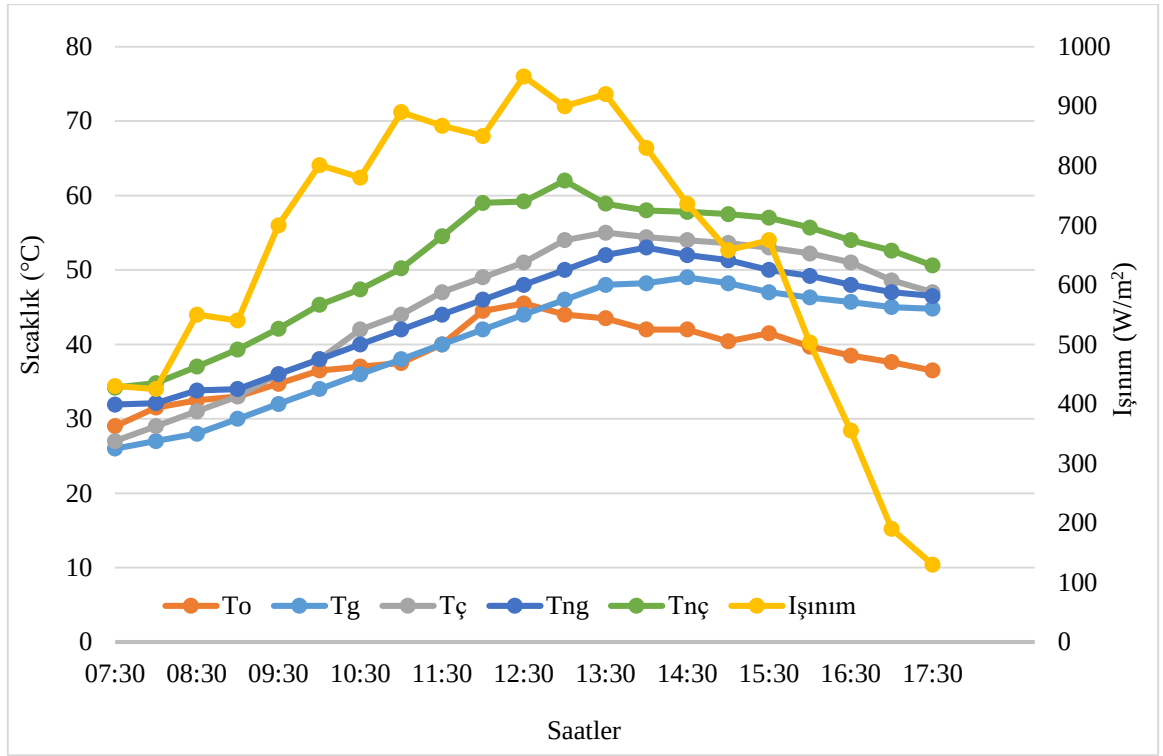


Şekil 5. 11 % 0.01 ZnO-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

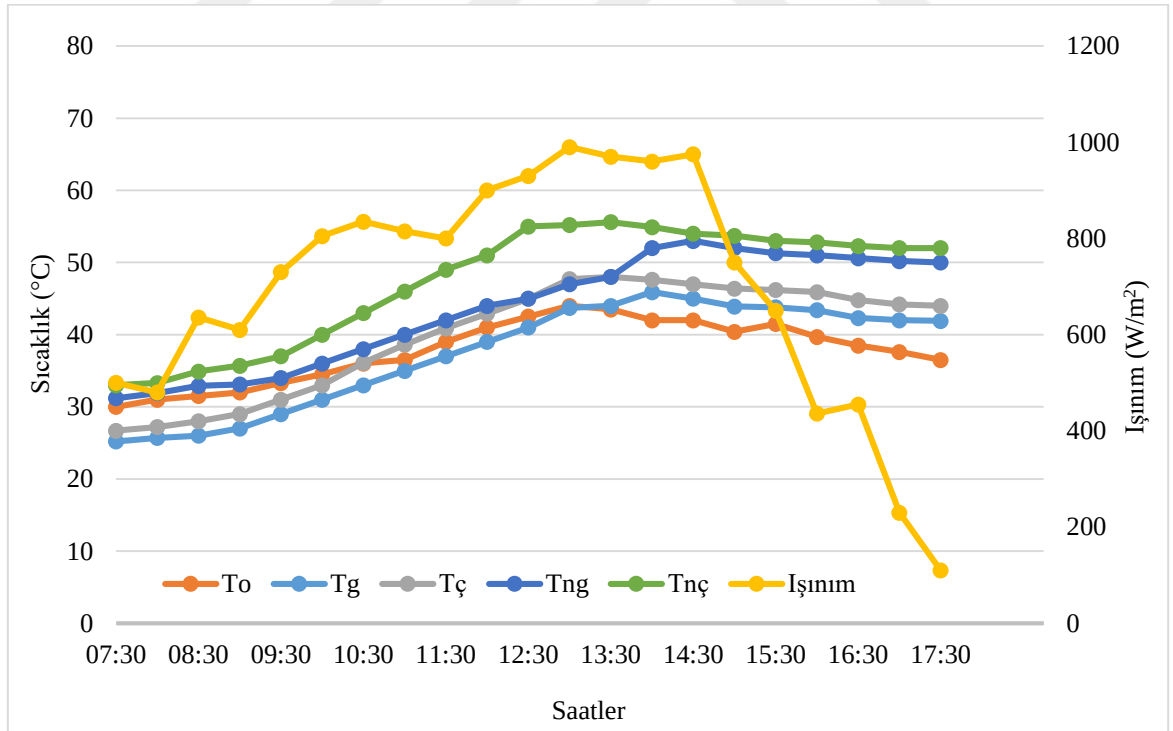


Şekil 5.12 12 % 0.01 ZnO-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

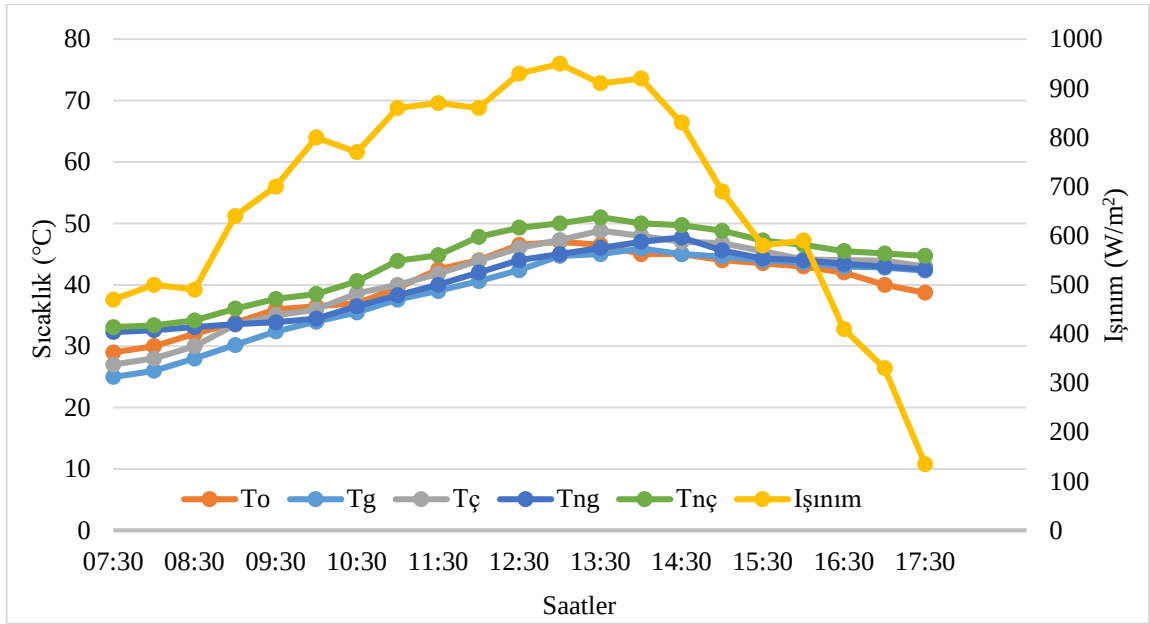
Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12’de %0.01 ZnO (çinko oksit) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) sıcaklık -ışınım-saat grafikleri verilmiştir. Şekil 5.10 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50 lt/h debide, % 0.01 konsantrasyonda 68°C ölçülürken, ZnO nanokışkanı için yine 50 lt/h debide, % 0.01 konsantrasyonda 79°C ölçülmüştür. Şekil 5.11 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 150 lt/h debide, % 0.01 konsantrasyonda 62°C ölçülürken, ZnO nanokışkanı için yine 50 lt/h debide, % 0.01 konsantrasyonda 74°C ölçülmüştür. Şekil 5.12 incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 250 lt/h debide, % 0.01 konsantrasyonda 60°C ölçülürken, ZnO nanokışkanı için yine 250 lt/h debide, % 0.01 konsantrasyonda 69°C ölçülmüştür. İncelenen bütün grafiklerden de anlaşılacağı üzere ZnO-su nanoakışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksektir. Bunun nedeni ZnO-su nanoakışkanın CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip oluşudur.



Şekil 5. 13 % 0.1 ZnO-su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

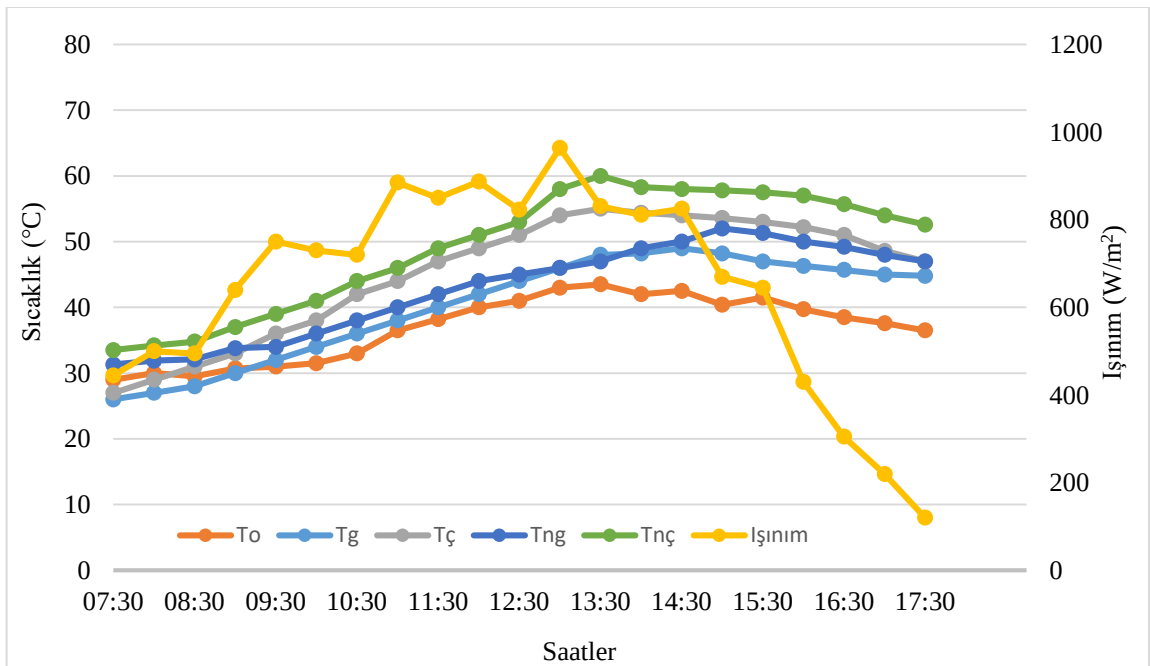


Şekil 5. 14 % 0.1 ZnO-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

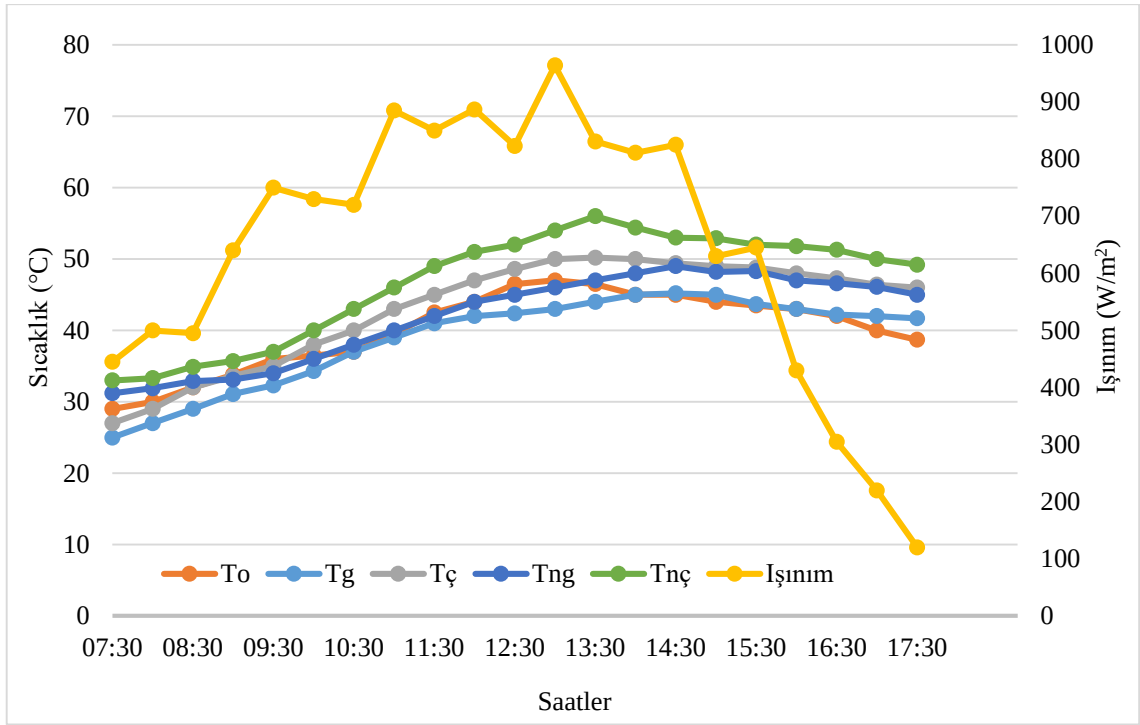


Şekil 5.15 15 % 0.1 ZnO-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

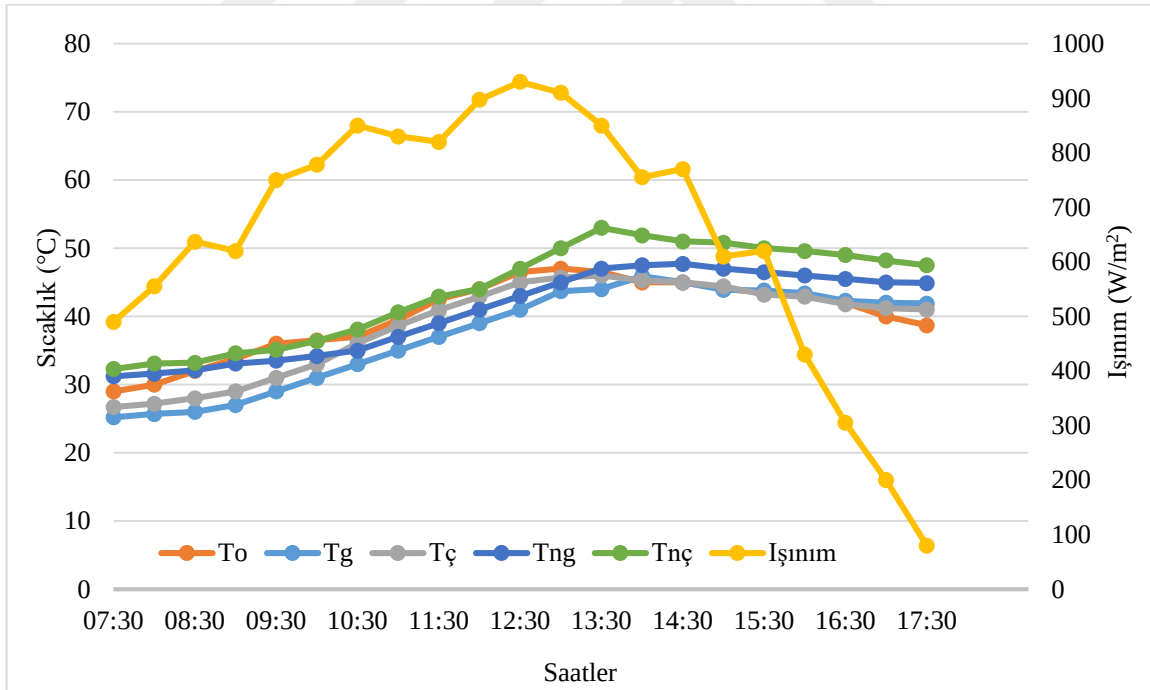
Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15’de % 0.1 ZnO (çinko oksit) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) sıcaklık-ışınım-saat grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50 lt/h debide 55°C ölçülürken, ZnO nanokışkanı için yine 50 lt/h debide, % 0.1 konsantrasyonda 62°C ölçülmüştür.



Şekil 5.16 1 % 1 ZnO-su hacimsel oran ile 50 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi



Şekil 5. 17 % 1 ZnO-su hacimsel oran ile 150 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi



Şekil 5. 18 % 1 ZnO-su hacimsel oran ile 250 lt/h debi için sıcaklık-ışınım-saat değişimi

Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18’de %1 ZnO (çinko oksit) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde (250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h) sıcaklık-ışınım-saat grafikleri verilmiştir.

Grafikler incelendiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı su için 50 lt/h debide % 1 hacimsel konsantrasyonda 53°C ölçülürken, ZnO nanoakışkanı için yine 50 lt/h debide, %1 konsantrasyonda 61°C ölçülmüştür. Deneylerin yapıldığı saatlerde ortam sıcaklığı ortalama 30 °C ile 48 °C arasında değişmektedir. Havadaki nem ortalama % 15 - % 30 değerlerinde, havanın hızı ise 1.5-6 m/s olarak tespit edilmiştir. Isı transfer akışkanı olarak nanoakışkanın kullanıldığı deney sisteminde ortalama kollektör giriş sıcaklıkları 30°C ile 57°C ve kollektör çıkış sıcaklıklarının ise 36°C - 79°C değerleri arasında olduğu yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Su kullanılan deney sisteminde ise bu değerler sırasıyla 26°C-51°C ve 30°C-68°C arasında olduğu tespit edilmiştir. İncelenen bütün grafiklerden de anlaşılacağı üzere ZnO-su nanoakışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksektir.

Sıcaklık-ışınım-saat grafikleri analiz edildiğinde birtakım sonuçlar elde edilmiştir. Sistemin debisi arttıkça su ve nanoakışkanın giriş çıkış sıcaklıkları arası fark azalmaktadır. Bunun nedeni debi arttıkça enerji kayıp oranı $F_R U_L$ azalmaktadır. Düşük debilerde akışkanın kollektörde kalma süresi yani güneşi absorbe etme süresi $[F_R(\tau\alpha)]$ fazla olduğundan sıcaklık artışı daha fazladır. Hacimsel konsantrasyon artışına bağlı olarak U_L (ısı kaybı) azalmaktadır. Verim değerlerini bulmak amacıyla gün içerisinde sonuçları analiz edilerek hazırlanan bütün grafik sonuçlarına göre (bulutsuz ve sabit rüzgar hızında) maksimum ışınım verilerinin 850-990 W/m² aralığında ortalama olarak saat 11:30-13:00 arasında olduğu deney verileri ile tespit edilmiştir.

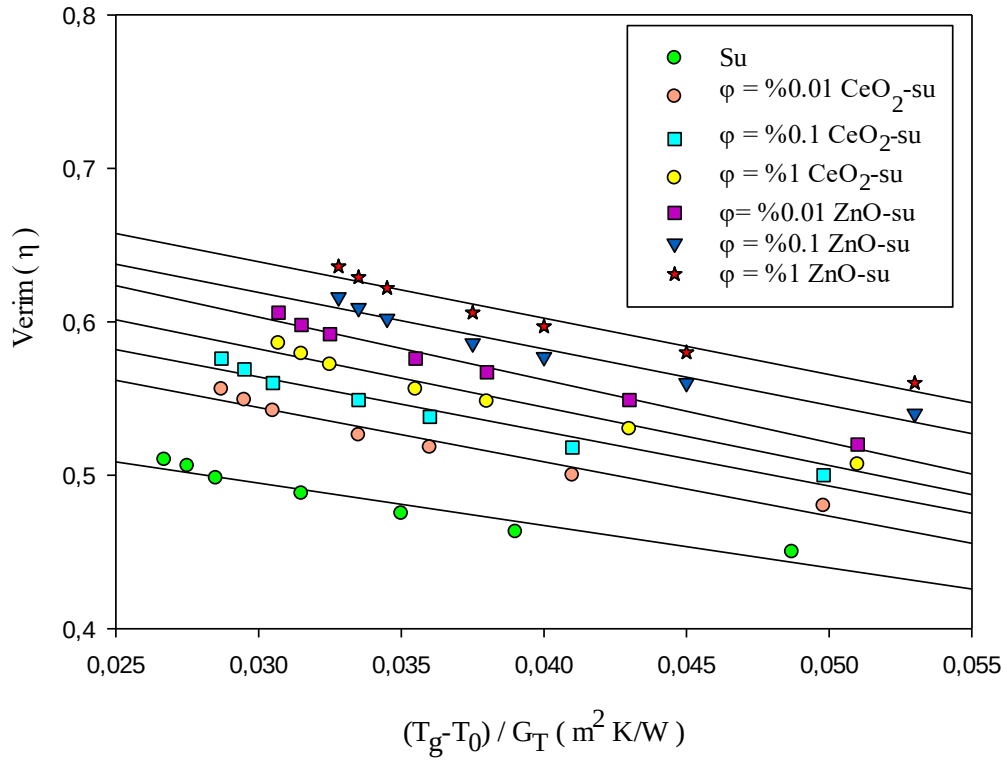
5.1.2. Kollektör verim – $[(T_G - T_0) / G_T]$ değişimleri

Verim- $[(T_G - T_0) / G_T]$ değişim grafiklerinin analizi, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de farklı debi ve hacimsel konsantrasyonlarda karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır. Nanoakışkanların termal iletkenlikleri, özgül ısıları (C_p) ve ΔT (sıcaklık farkı) suya göre daha fazladır. Dolayısıyla $C_p * \Delta T$ nanoakışkanlar için daha yüksektir ve bu da suya göre daha yüksek verimlilik ile sonuçlanır. Deneysel sonuçlar ve grafikler incelendiğinde nanoakışkan kullanılan sistemin su kullanılan sisteme göre bütün konsantrasyon ve debilerde daha fazla verim artışı olduğu tespit edilmiştir. Bu durumu iki performans kriteri açısından değerlendirmek mümkündür. Bu performans kriterlerinden birincisi absorbe edilen enerji $[F_R(\tau\alpha)]$ diğeri ise ısı kaybı olan U'_L dir.

Grafikler incelendiğinde akış hızının artmasıyla beraber, temel akışkan ile benzer şekilde, nanoakışkanların bu üç konsantrasyon için de kolektör verimliliğini artırdığı açıktır. Bu iyileşmenin ana nedeni Brownian hareketidir. Akış hızındaki artış, parçacıkların rastgele hareketini artırır; dolayısıyla moleküller arasındaki çarpışmalar artar, bu da konveksiyon yoluyla ısı transferini artırarak verimliliği iyileştirir. Küçük debilerde yüksek debilere kıyasla akışkanın kolektör içinde dolaşımı ve süresi daha uzun olduğundan sıcaklık daha fazla artmaktadır. Fakat küçük debilerde akışkan daha fazla enerji kaybettiğinden verim yüksek debiye kıyasla daha düşüktür. Grafikler analiz edildiğinde hacimsel konsantrasyonun artırılmasının akışkanların termal iletkenliğini iyileştireceğini ve bu sayede akışkanların ısı kazancını artırarak daha yüksek bir verimlilik yaratacağını göstermektedir.

ASHRAE Standart 93–2003’e göre, güneş kolektörünün verimliliğinin farklı koşullara bağlı olduğunu söylemektedir. İlk koşul, ortam sıcaklığı ve giriş sıcaklığının önemli bir değişim göstermemesi gerektiğini belirtmektedir. ASHREA standartlarına göre indirgenmiş sıcaklık parametresi $T_g - T_o / G_T$ (T^*) ile kolektör verim ifadesi ile ilişkilendirilirse düz bir doğru elde edilmiş olur. Şekil 5.19, Şekil 5.20 ile Şekil 5.21 analiz edildiğinde indirgenmiş sıcaklık (T^*) parametresi arttıkça kolektör verimliliğinin azaldığı görülmektedir. Grafikler incelendiğinde doğrusal eğrinin Y eksenini kestiği nokta $F_R(\tau\alpha)$ akışkan tarafından emilen maksimum ısı enerjisini ifade eden absorbe edilen enerjiyi, doğrunun eğimi ise kolektörden ayrılan enerji parametresi $F_R U_L$ ’yi göstermektedir. Eşitlik 4.22’e göre verim ifadesi için bir grafik çizilirse düz bir çizgi elde edilir. Bu düz çizginin dikey eksenini kestiği nokta verim ifadesine karşılık gelmektedir. Verim ifadesinin karşılık gelen bu noktada kolektör giriş sıcaklığı ortam sıcaklığına eşittir ($T_g = T_o$) ve kolektör verimi maksimumdur. Grafikler ve eşitlik 4.22 analiz edildiğinde absorbe edilen enerji parametresi $F_R(\tau\alpha)$ yüksek iken, kolektörden ayrılan enerji parametresi $F_R U_L$ düşük ise verim artar sonucuna varılabilir.

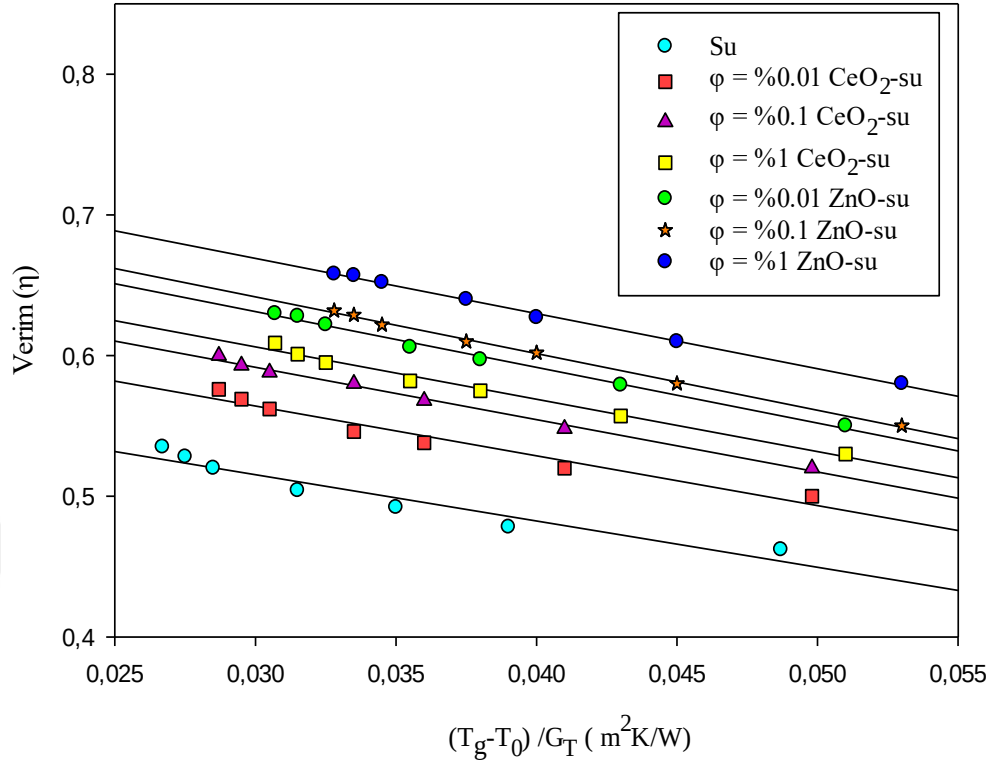
Rüzgar hızının fazla olması termal kaybı etkileyen bir faktör olup istenilmeyen bir durumdur. Deneylerin yapıldığı bütün günlerde rüzgar hızı 1.5 m/s - 6 m/s arasında olup; sistemin verimliliğini etkileyecek boyuta deneylerin yapıldığı hiçbir günde ulaşılmamıştır.



Şekil 5.19 50 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verim değerleri

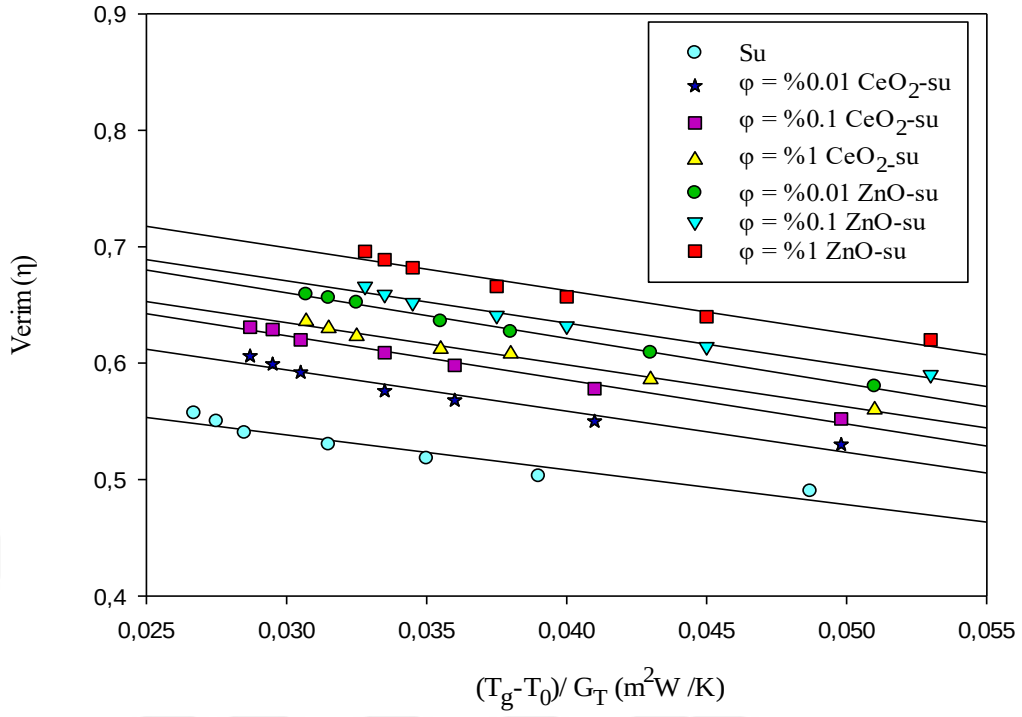
Şekil 5.19 incelendiğinde 50 l/h debide ZnO-su nanoakışkanının kullanıldığı sistemin veriminin CeO₂ nanoakışkanına ve suya kıyasla bütün debi ve konsantrasyonlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ZnO-su nanoakışkanının, CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip oluşudur.

Nanoakışkanların ısı iletkenlik artışına neden olan temel unsur partiküller arası rastgele çarpışmalardır (Brownian hareketi) (Yousefi ve ark., 2012). Yüksek sıcaklıklar moleküllerin hareket kabiliyetini artırdığından nanopartikül ile akışkanın çarpışmalarını olasılığını artırmaktadır. Şekil 5.19 incelendiğinde % 0.01 , % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonlarında 50 lt/h debide CeO₂ nanoakışkanını için verimdeki artış suya kıyasla sırasıyla % 8, % 12, % 17 iken, ZnO nanoakışkanını için verimdeki artış sırasıyla % 17, % 21, % 24 olmuştur.



Şekil 5. 20 150 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verim değerleri

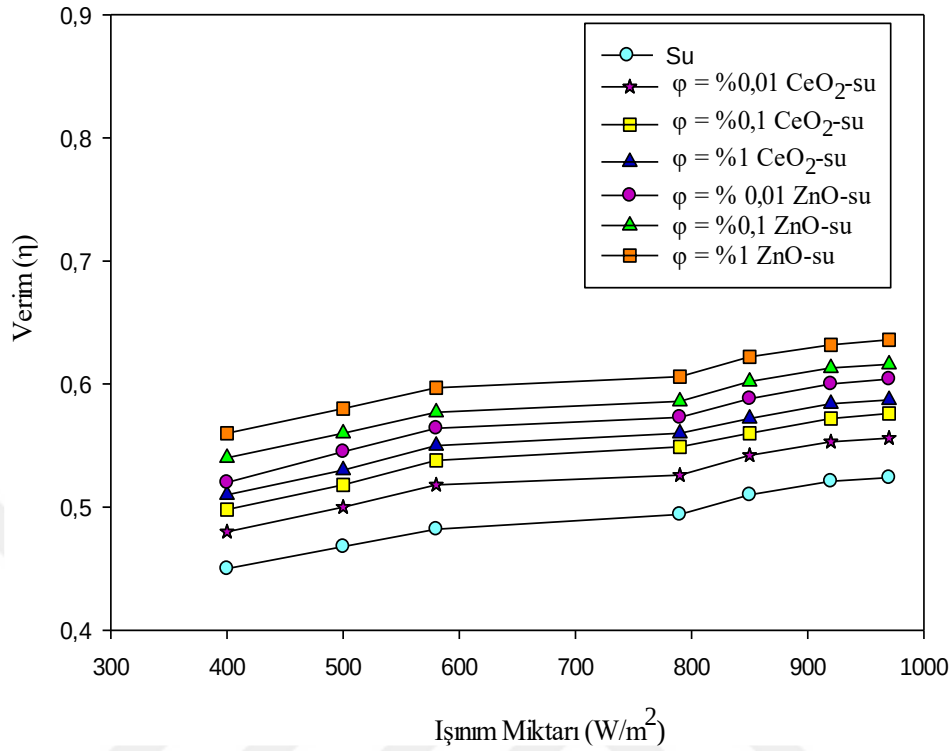
Şekil 5.20 incelendiğinde % 0.01 , % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonlarında 150 lt/h debide CeO₂ nanoakışkanı için verimdeki artış suya kıyasla sırasıyla % 12, % 15, % 18 iken, ZnO nanoakışkanı için verimdeki artış sırasıyla % 20, % 23, % 25 olmuştur.



Şekil 5. 21 250 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verim değerleri

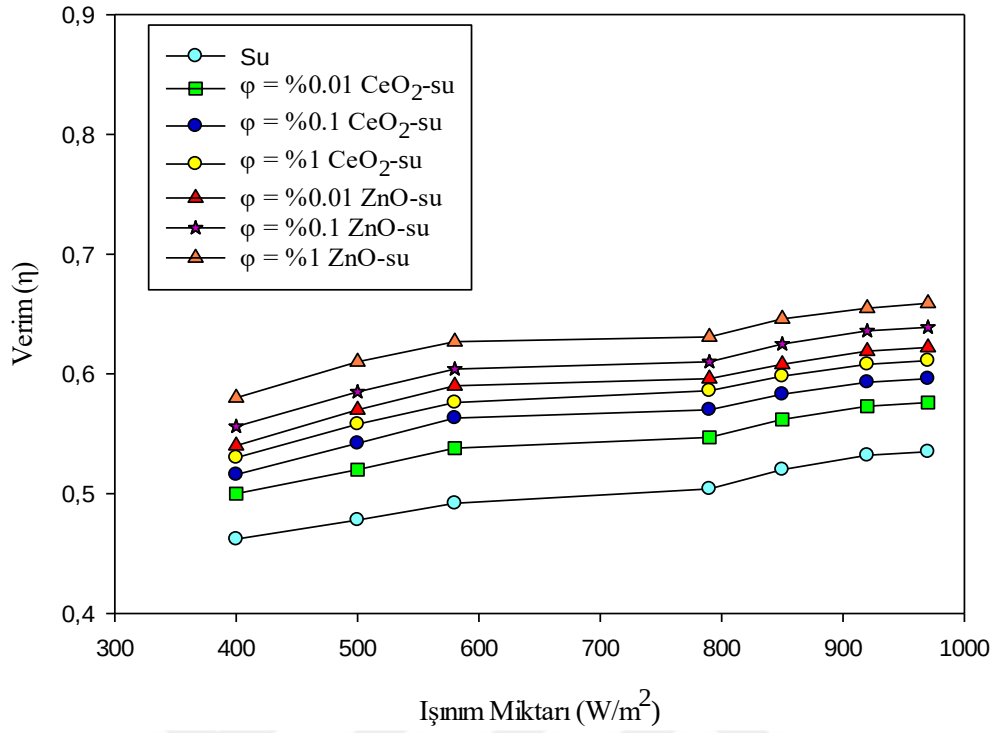
Şekil 5.21 incelendiğinde % 0.01 , % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonlarında 250 lt/h debide CeO₂ nanoakışkanı için verimdeki artış suya kıyasla sırasıyla % 15, % 18, % 21 iken, ZnO nanoakışkanı için verimdeki artış sırasıyla % 22, % 25, % 28 olmuştur. Sistemin debisi arttıkça verimin arttığı deney grafiklerinden anlaşılmaktadır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre nanoakışkan verimindeki en fazla artışın 250 lt/h, % 1 ZnO-su nanoakışkanında, en az artışın ise 50 lt/h, %0.01 CeO₂-su karışımında meydana geldiği söylenebilir.

5.1.3. Verim –ışınım grafikleri



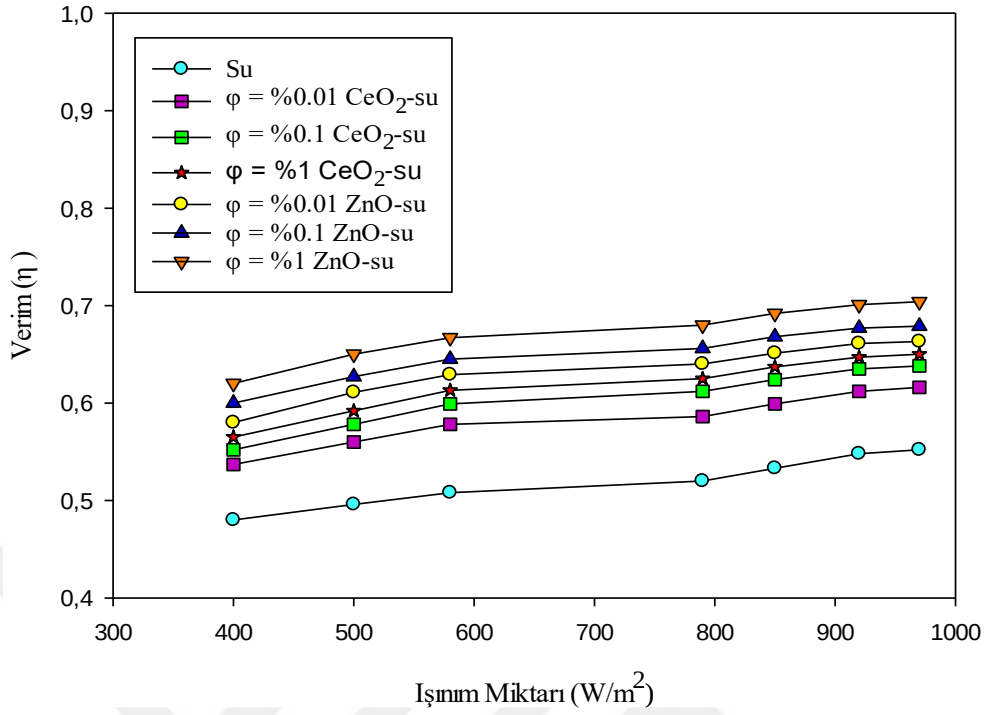
Şekil 5. 22 50 lt/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verimin ışıınım miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 incelendiğinde ZnO nanoakışkanının veriminin, CeO₂ nanoakışkanına ve suya kıyasla, bütün debi ve konsantrasyonlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Grafikler incelendiğinde ışıınım miktarının (W/m^2) artışına paralel olarak verimin de arttığı, literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde grafikte görülen değişimle uyum içinde olduğu görülmüştür. Daha fazla güneş ışığı almak, daha fazla ısı transferi ve daha fazla enerjiyi kollektöre transfer ederek kollektörün verimini artırmaktadır. 50 lt/h debide CeO₂ nanoakışkanı için verimdeki artış suya kıyasla sırasıyla % 8, % 12, % 17 iken, ZnO nanoakışkanı için verimdeki artış sırasıyla % 17, % 21, % 24 olmuştur. Şekil 5.22 incelendiğinde deneylerin yapıldığı günde en yüksek ışıınım miktarı $980 W/m^2$, en düşük ışıınım miktarı ise $400 W/m^2$ ölçülmüştür. Nanoakışkanların termal iletkenlikleri, özgül ısıları (C_p) ve ΔT (sıcaklık farkı) suya göre daha fazla olup; verim artışına neden olan faktörler arasında ışıınımla beraber, sıcaklık farkının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 5. 23 150 l/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verimin ışıınım miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.23 incelendiğinde % 0.01 , % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonlarında 150 lt/h debide CeO₂ nanoakışkanı için verimdeki artış suya kıyasla sırasıyla % 12, % 15, % 18 iken, ZnO nanoakışkanı için verimdeki artış sırasıyla % 20, % 23, % 25 olmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere hacimsel konsantrasyon, debi artışı ve ışıınım miktarına bağlı olarak verim artmıştır. Şekil 5.23 incelendiğinde en yüksek ışıınım miktarı 980 W/m², en düşük ışıınım miktarı ise 400 W/m² ölçülmüştür.

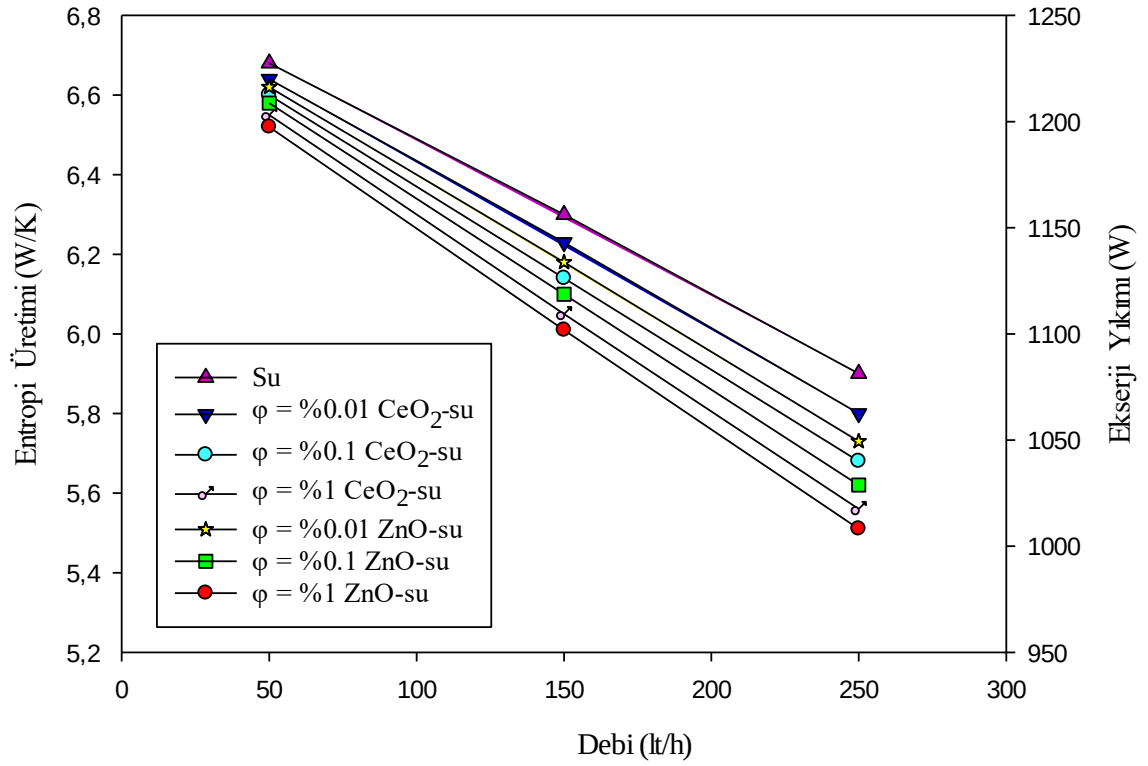


Şekil 5. 24 250 l/h debide farklı konsantrasyonlarda CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanına ait verimin ışınlam miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.24 incelendiğinde % 0.01 , % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonlarında 250 lt/h debide CeO₂ nanoakışkanı için verimdeki artış suya kıyasla sırasıyla % 15, % 18, % 21 iken, ZnO nanoakışkanı için verimdeki artış sırasıyla % 22, % 25, % 28 olmuştur. Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 incelendiğinde, nanoakışkan veriminde ki en fazla artışın 250 lt/h, %1 ZnO-su nanoakışkanında ve en yüksek ışınlamın uygulandığı günde (980 W/m²) elde edildiği, en az verim artışının ise 50 lt/h, % 0.01 CeO₂ nanoakışkanında ve en düşük güneş ışınlamının uygulandığı günde (400 W/m²) elde edildiği söylenebilir.

5.1.4. Debi – entropi üretimi - ekserji yıkımı grafikleri

Bir sistemde entropi üretimini sağlayan iki neden vardır. Birincisi ısı transferi, ikincisi sürtünme kayıplarıdır. Isı transferinden kaynaklanan entropi ısı entropi ($S_{\text{üretim},t}$), sürtünmeden kaynaklı olan entropi ise ($S_{\text{üretim},f}$) olarak ifade edilmektedir. Bir sistemin entropi üretimi sistemin debisinin ve nanoakışkanın konsantrasyonunun artmasıyla birlikte azalmaktadır. Sistemin debisinin artması demek sistemin ısı transferinin artması ve dolayısıyla entropinin azalması demektir.



Şekil 5.25 Ekserji Yıkımı- Entropi üretiminin debiye bağlı değişimi

Şekil 5.25’de su, $\text{CeO}_2\text{-su}$ ve ZnO-su nanoakışkanları için farklı debilerde ekserji yıkımı- entropi üretimi sonuçlarının debiye bağlı değişimi gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere en fazla entropi üretiminin en düşük hacimsel debide 50 lt/h su için 6.72 W/K, en düşük entropi üretiminin ise %1 ZnO-Su nanoakışkanı için 250 lt/h de 5.57 W/K olduğu tespit edilmiştir. 250 litre/h debide %1 ZnO-su nanoakışkanı, 50 lt/h debideki %1 ZnO-su nanoakışkanına göre %17 daha az entropi üretmektedir. ZnO nanoakışkanın en az entropi üretmesinin nedeni CeO_2 nanoakışkanına ve suya oranla daha iyi ısıl iletkenlik değerlerine sahip olmasıdır. Daha iyi ısıl iletkenlik demek, ısı transferini daha fazla artırması dolayısıyla entropi üretiminin azalması demektir. 250 lt/h hacimsel debide % 1 $\text{CeO}_2\text{-su}$ nanoakışkanı, 50 lt/h hacimsel debide % 1 $\text{CeO}_2\text{-su}$ nanoakışkanına göre % 15 daha az entropi üretmektedir. Şekil 5.25’de su, $\text{CeO}_2\text{-su}$ ve ZnO-su nanoakışkanlarının farklı debilerde ve farklı konsantrasyonlarda ekserji yıkımı-entropi üretimi sonuçları karşılaştırılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı üzere bir sistemin ekserji yıkımı sistemin debisinin artmasıyla beraber azalmaktadır.

Şekil 5.25 analiz edildiğinde bütün hacimsel konsantrasyonlarda ve debilerde ZnO nanoakışkanı CeO_2 nanoakışkanına göre daha az ekserji yıkımına neden olmaktadır. En yüksek ekserji yıkımı su için 50 lt/h debide 1235 W olarak, en düşük ekserji yıkımı ise 250 lt/h debide % 1 ZnO nanoakışkanı için 1005 W olarak ölçülmüştür. 250 lt/h debide %1 ZnO nanoakışkanı, 50 lt/h debide %1 ZnO nanoakışkanına göre %17 daha az ekserji yıkımına neden olmaktadır. 250 lt/h debide %1 CeO_2 nanoakışkanı, 50 lt/h debide %1 CeO_2 nanoakışkanına göre % 14 daha az ekserji yıkmaktadır. Şekil 5.25’den anlaşılabacağı üzere entropi üretimleri, ekserji yıkımları ile paralellik göstermiştir.

Şekil 5.25’den anlaşılabacağı üzere bir sistemin entropi üretimi ve ekserji yıkımı hacimsel konsantrasyonun artması ile birlikte azalmaktadır. Hacimsel konsantrasyonun artması ısı iletkenlik artışına neden olmakta, ısı iletkenlik artışı demek, ısı transferini daha fazla artırması dolayısıyla entropi üretiminin azalması anlamına gelmektedir. 250 lt/h hacimsel debide % 1 CeO_2 -su nanoakışkanının ekserji yıkımı 1015 W ölçülürken, 250 lt/h hacimsel debide % 0.01 CeO_2 -su nanoakışkanının ekserji yıkımı 1060 W ölçülmüştür. 250 lt/h hacimsel debide % 1 CeO_2 -su nanoakışkanı, 250 lt/h hacimsel debide % 0.01 CeO_2 -su nanoakışkanına göre % 4.5 daha az ekserji yıkımına neden olmaktadır. 250 lt/h hacimsel debide % 1 CeO_2 -su nanoakışkanının entropi üretimi 5.62 W/K olurken, 250 lt/h hacimsel debide % 0.01 CeO_2 -su nanoakışkanının entropi üretimi 5.92 W/K olmuştur. 250 lt/h hacimsel debide % 1 ZnO-su nanoakışkanının ekserji yıkımı 1005 W ölçülürken, 250 lt/h hacimsel debide % 0.01 ZnO-su nanoakışkanının ekserji yıkımı 1050 W ölçülmüştür. 250 lt/h hacimsel debide % 1 ZnO-su nanoakışkanı, 250 lt/h hacimsel debide % 0.01 ZnO-su nanoakışkanına göre % 4.2 daha az ekserji yıkımına neden olmaktadır. 250 lt/h hacimsel debide % 1 ZnO-su nanoakışkanının entropi üretimi 5.57 W/K olurken, 250 lt/h hacimsel debide % 0.01 ZnO-su nanoakışkanının entropi üretimi 5.83 W/K olmuştur.

5.2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi

Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara ilave olarak, her türlü mühendislik akış analizde deney yapma konforu sağlayan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak analiz çalışmaları yapılmış ve deneysel olarak elde edilen verilerle karşılaştırma yapılmıştır. Sistemin termodinamik dengede olduğu kabul edilmiş; süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sonlu hacimler yöntemine göre yapılmıştır. Bu denklemlerden kartezyen koordinatlarda süreklilik denklemi Eşitlik 5.1’de, momentum denklemi x-bileşeni Eşitlik 5.2’de, momentum denklemi y-bileşeni Eşitlik 5.3’de, momentum denklemi z-bileşeni Eşitlik 5.4’de ve enerji denklemi Eşitlik 5.5’de verilmiştir. Denklemlerde yer alan (u,v,w) hız bileşenlerini, ρ yoğunluğu, p basıncı göstermektedir.

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (5.1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (5.2)$$

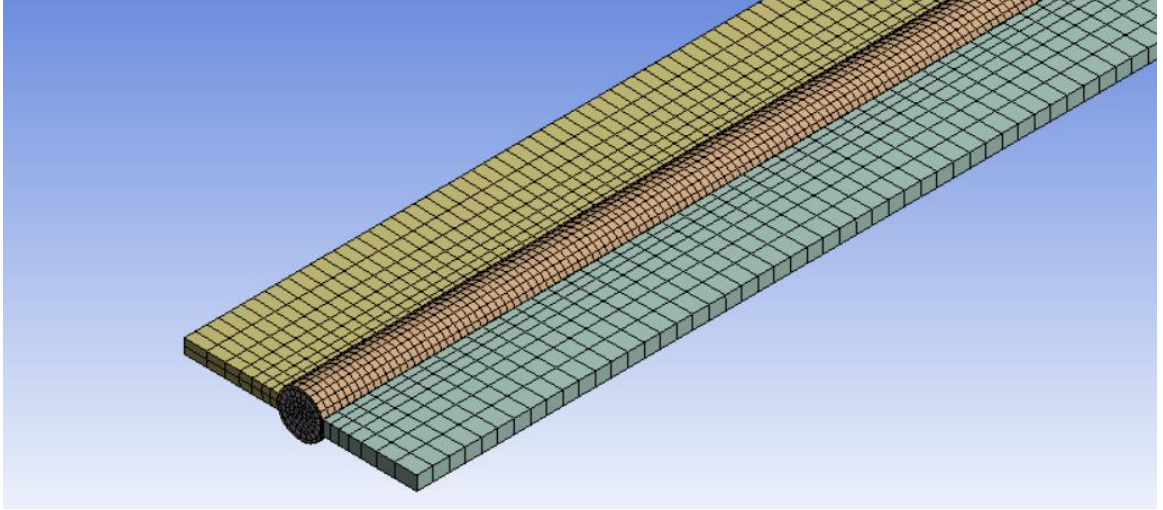
$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5.3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (5.4)$$

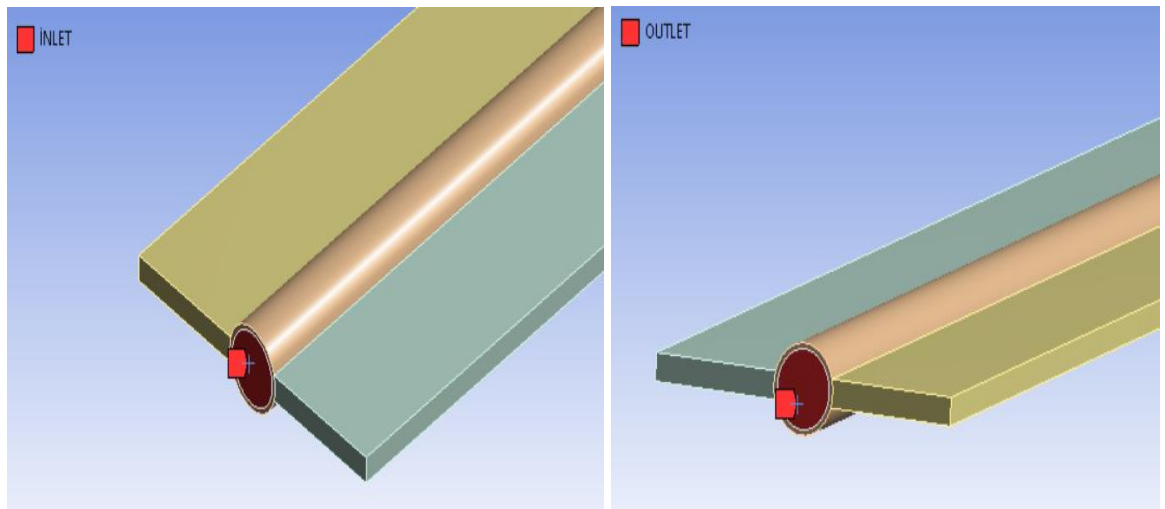
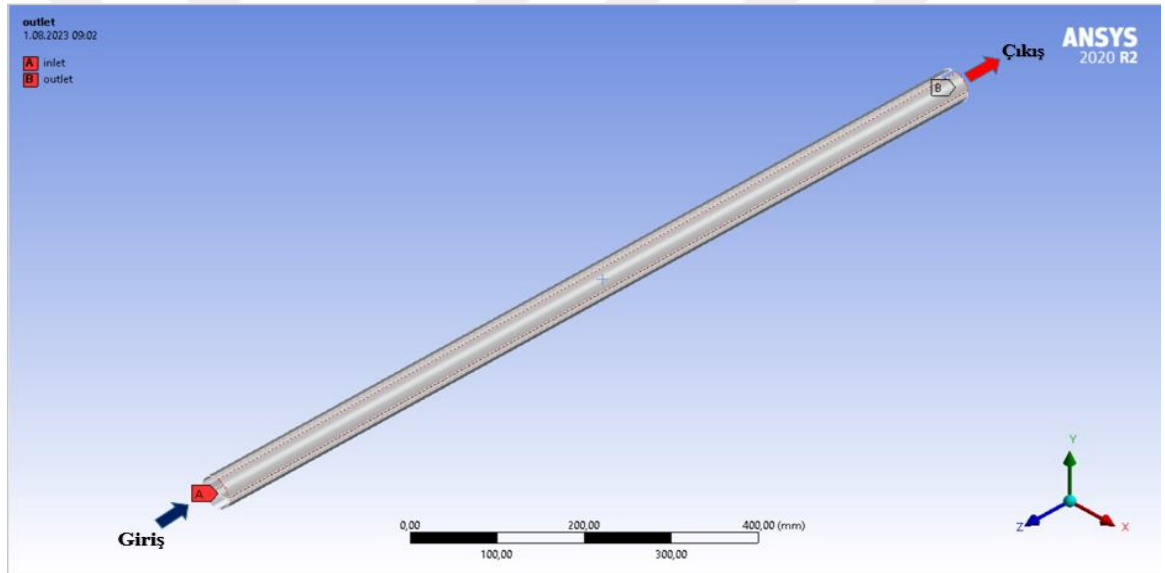
$$\rho c_p \left(v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5.5)$$

5.2.1. Sayısal model ve fluent kod programı

Sayısal çalışmaya başlamanın ilk adımı mevcut problemi gerçeğe en yakın şekilde tasarlamaktır. Şekil 5.26’da açıkça görüldüğü gibi güneş kolektörünün içinden akışkan geçen boru ve yutucu plaka birlikte modellenmiştir. Boru ve yutucu plakanın malzemesi alüminyumdur. Şekil 5.27’de İçinden akışkan geçen borunun giriş ve çıkış noktaları gösterilmiştir.



Şekil 5. 26 Yutucu plaka ve içinden akışkan geçen borunun ağ yapısı



Şekil 5. 27 İçinden akışkan geçen borunun giriş ve çıkış noktaları

Çizelge 5.1’de ise yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen boruya ait geometri verilmiştir.

Çizelge 5. 1 Yutucu plaka ve içerisinden akışkan geçen borunun geometrisi

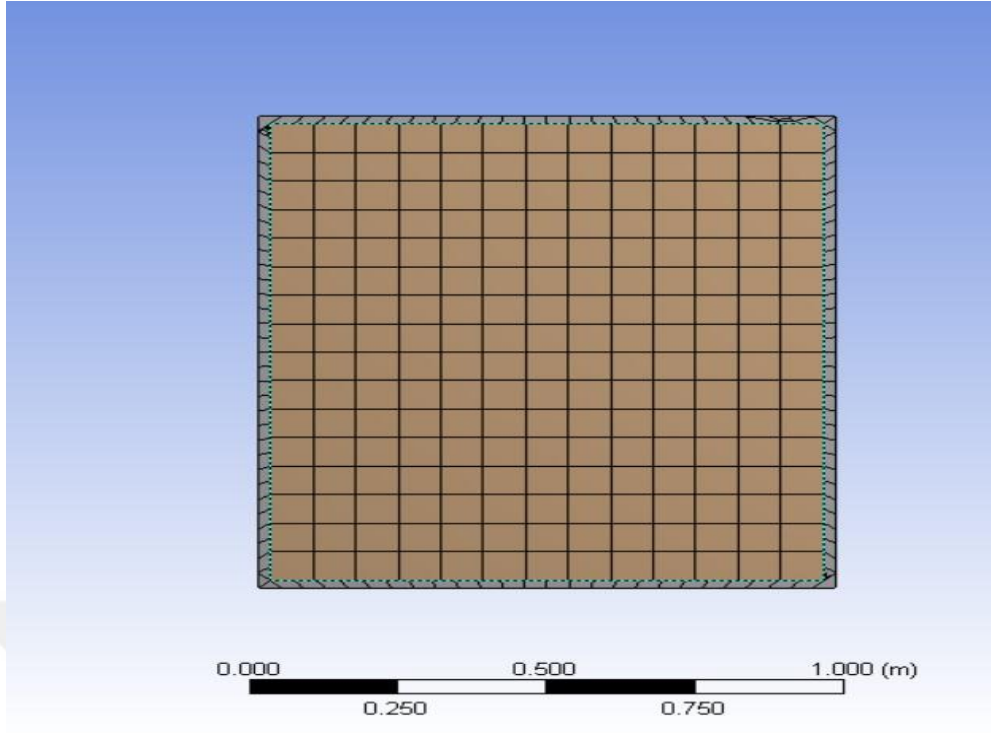
Açıklama	Uzunluk (mm)
Borunun iç çapı (D_1)	13
Borunun dış çapı (D_2)	15
Borunun boyu	930
Yutucu Plaka Kalınlığı (V_y)	1.3
Yutucu Plaka Boyu	930
Boru ve Yutucu Plakanın Toplam Genişliği (H_y)	93

5.2.2. Boussinesq yaklaşımı ve çözüm

Deneysel çalışmada kullanılan düzlemsel güneş kolektörü pompa dolaşımıdır. Bu nedenle akışkanın zamanla değişen yoğunluğunu dikkate alan Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım yoğunluk farkıyla meydana gelen kaldırma kuvvetiyle ilişkili olup; daha hızlı yakınsama sağlar (Gökselkınay, 2015).

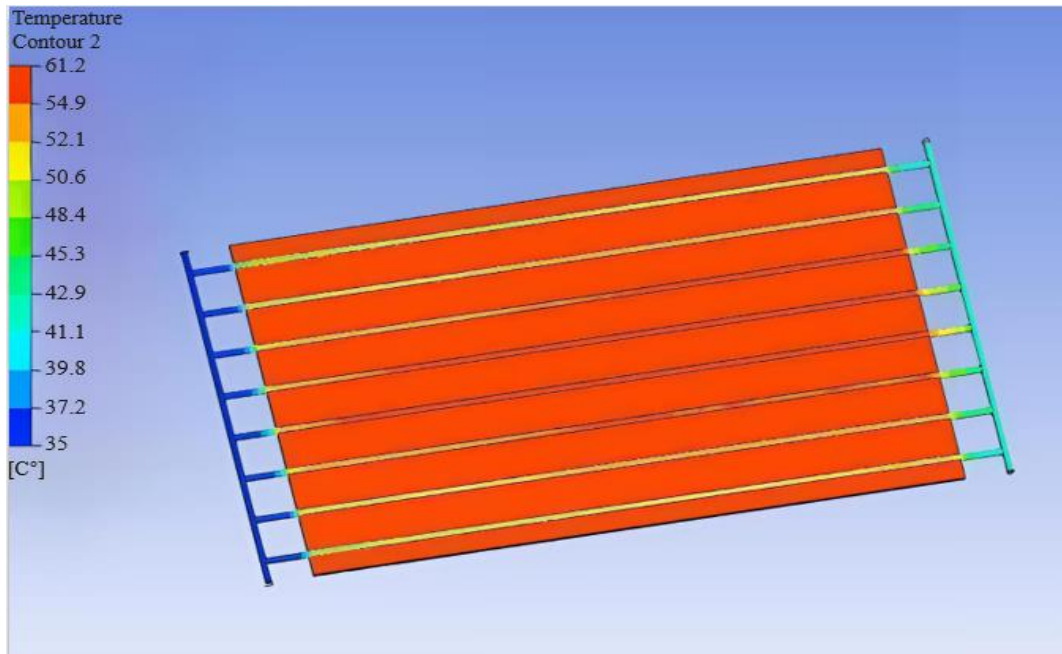
5.2.3. Sayısal analizin doğrulanması

Sayısal analizin doğrulanmasında güneş kolektörü üzerindeki ısı akısı değeri sabit kabul edilmiş; her giriş sıcaklığında elde edilen kolektör çıkış sıcaklığı değerleri tüm akışkanlar için farklı konsantrasyon ve farklı nanoakışkan malzemeleri için grafik şeklinde sunulmuştur.



Şekil 5. 28 Sayısal çalışmaya ait Mesh yapısı

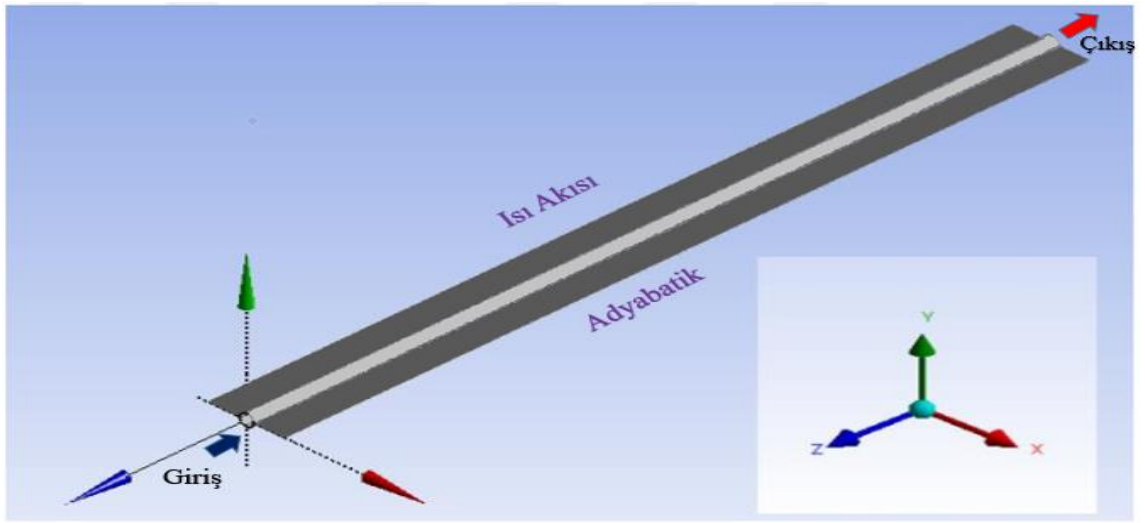
Güneş kolektörü eğim açısı 36° hesaplanmış ve bu eğim açısıyla modele entegre edilmiştir. Şekil 5.28’de sayısal çalışmaya ait mesh yapısı, Şekil 5.29’da ise 50 lt/h debide, %1 ZnO-su nanoakışkanının panel içindeki çıkış sıcaklığı dağılım profili gösterilmiştir.



Şekil 5. 29 50 lt/h debide, %1 ZnO-su nanoakışkanının panel içindeki sıcaklık dağılım profili

5.2.4. Sınır şartları

Süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin sonuçlarının sağlıklı olarak elde edilebilmesi için başlangıç ve sınır şartlarının programa girilmesi gerekmektedir. Giriş sınır şartı olarak akışkana hız ve sıcaklık parametreleri verilmiş, çıkışta ise akışkan tek bir yerden çıkış yapmıştır. Sayısal modelin üst yüzeyinden ısı akısı sınır şartı uygulanmış olup, diğer yüzeylerin ise adyabatik olduğu varsayılmıştır. Güneş kolektörü eğim açısı 36° hesaplanmış ve bu eğim açısıyla modele entegre edilmiştir. Şekil 5.30'da yutucu plaka ve içerisinde akışkan geçen borunun sınır şartları gösterilmiştir.



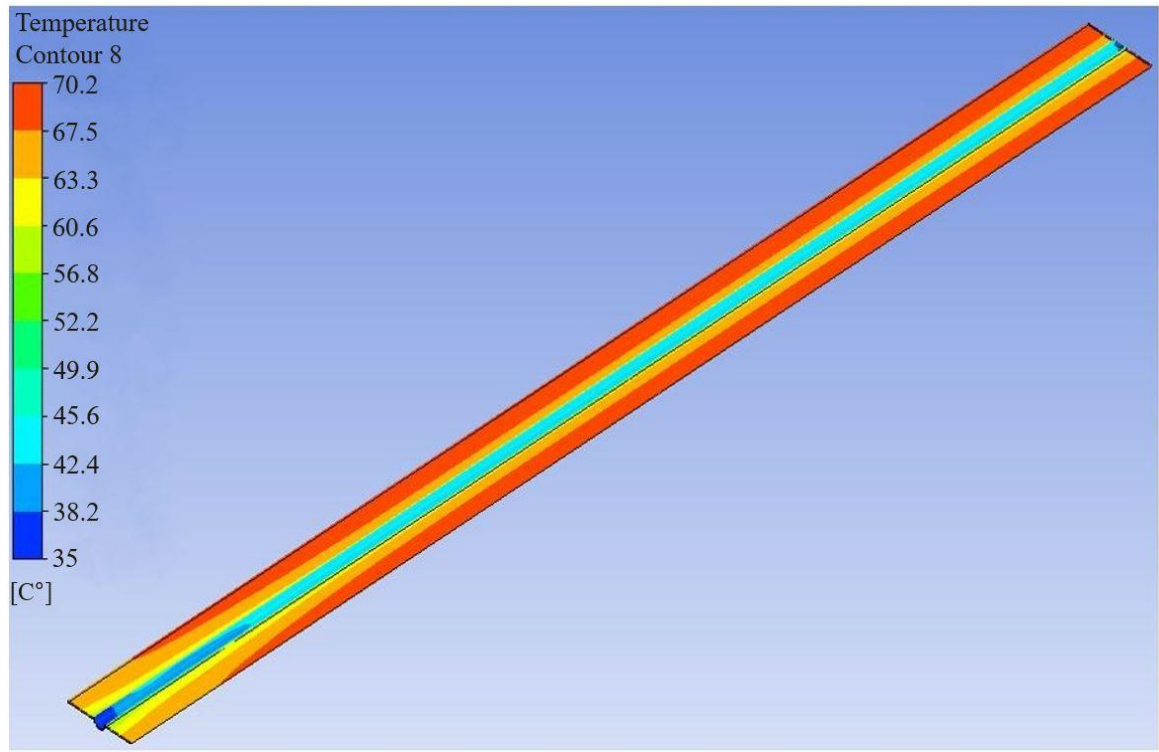
Şekil 5. 30 Yutucu plaka ve içerisinde akışkan geçen borunun sınır şartları

Mevcut sayısal çalışmaya en yakın sınır şartları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

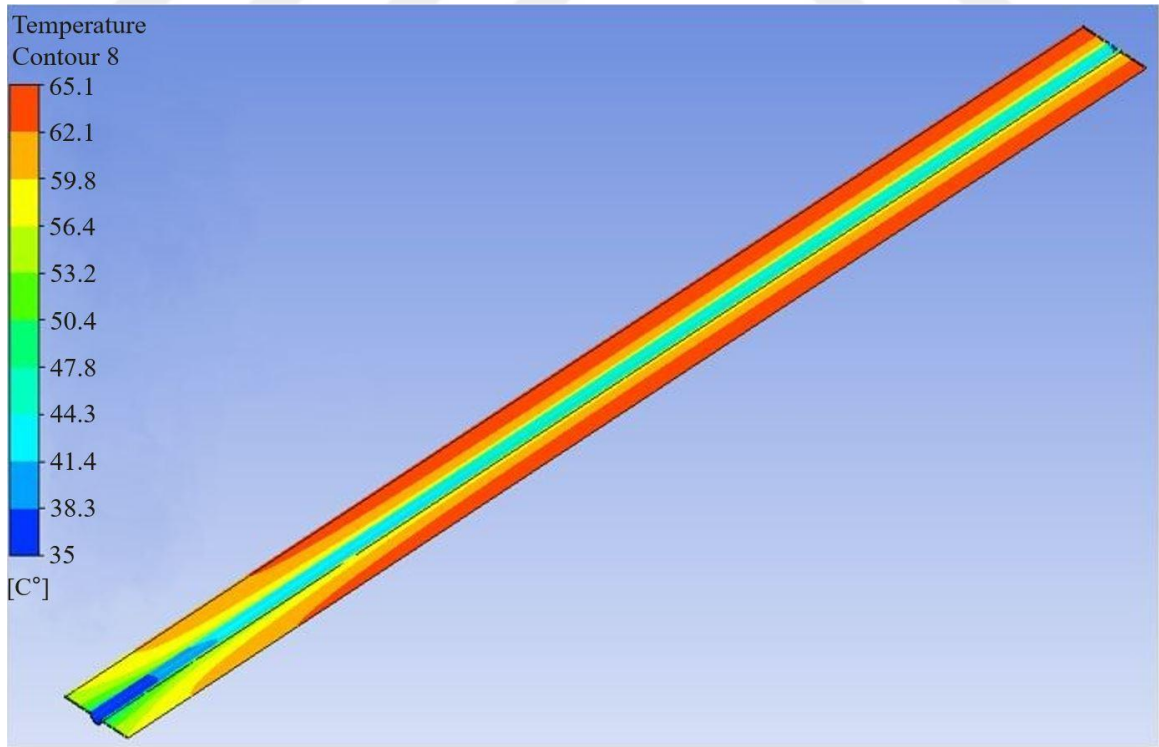
Çizelge 5. 2 Sayısal çalışmada kullanılan sınır şartları ve açıklamaları

Sınır Şartları	
Giriş	Hız ve Sıcaklık
Çıkış	Outflow
Cidarlar	Kaymama Koşulu (No slip condition)
Alt Yüzey	Isı Akısı
Üst Yüzey	Adyabatik

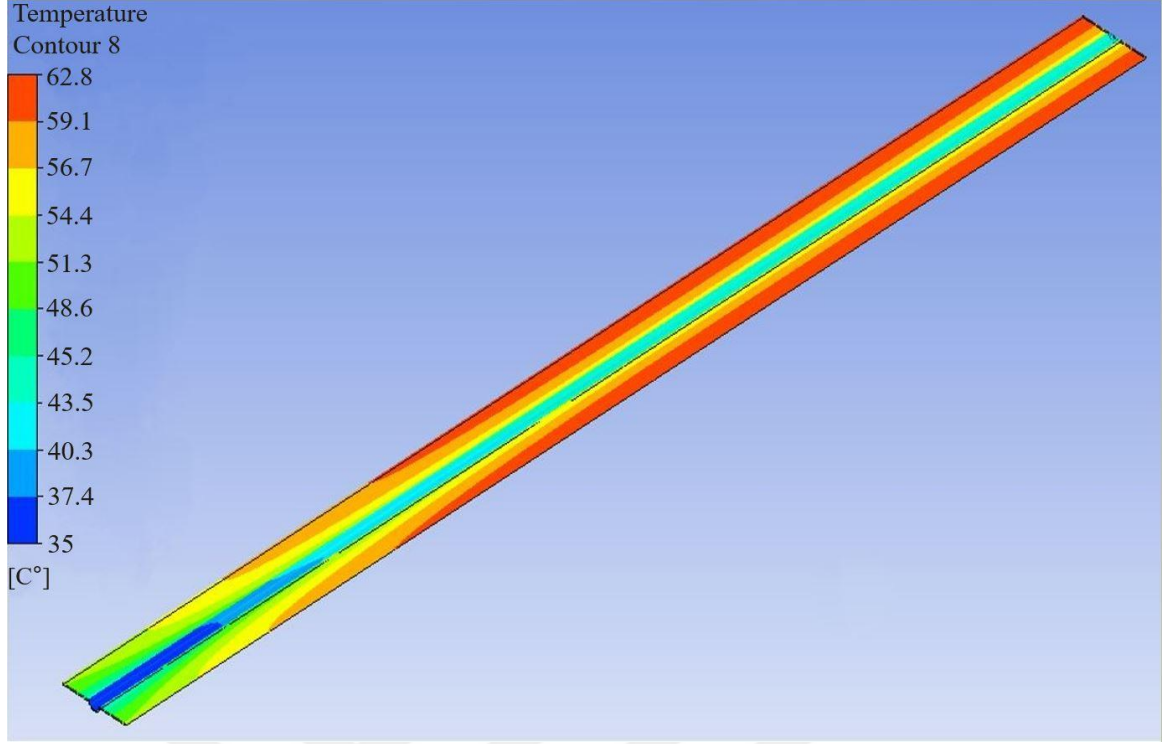
5.2.5. CeO₂ için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 5. 31 50 lt/h debi, % 0.01 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

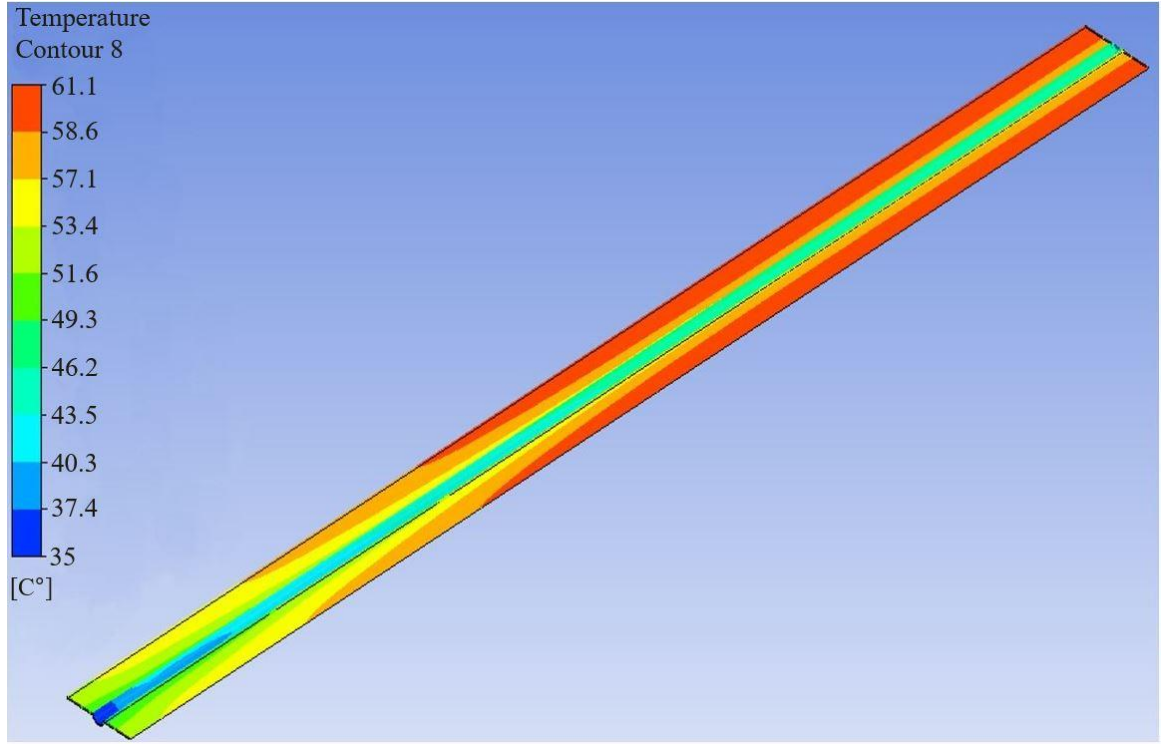


Şekil 5. 32 150 lt/h debi, % 0.01 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

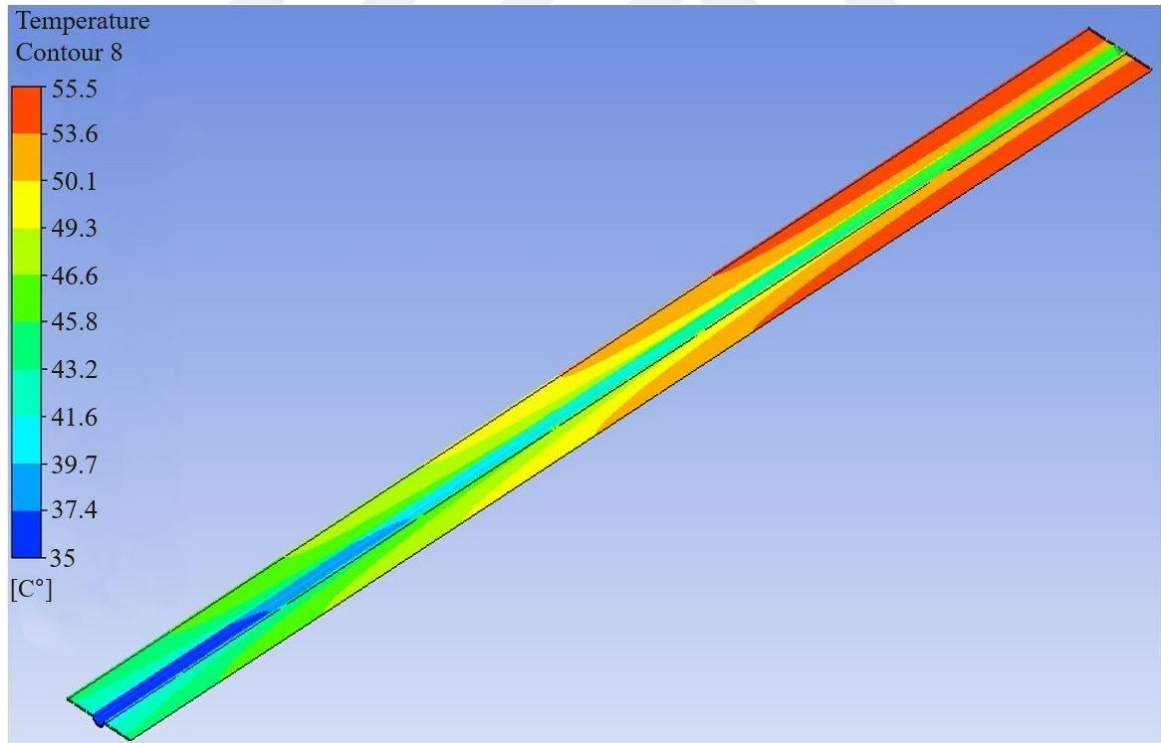


Şekil 5. 33 250 lt/h debi, % 0.01 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

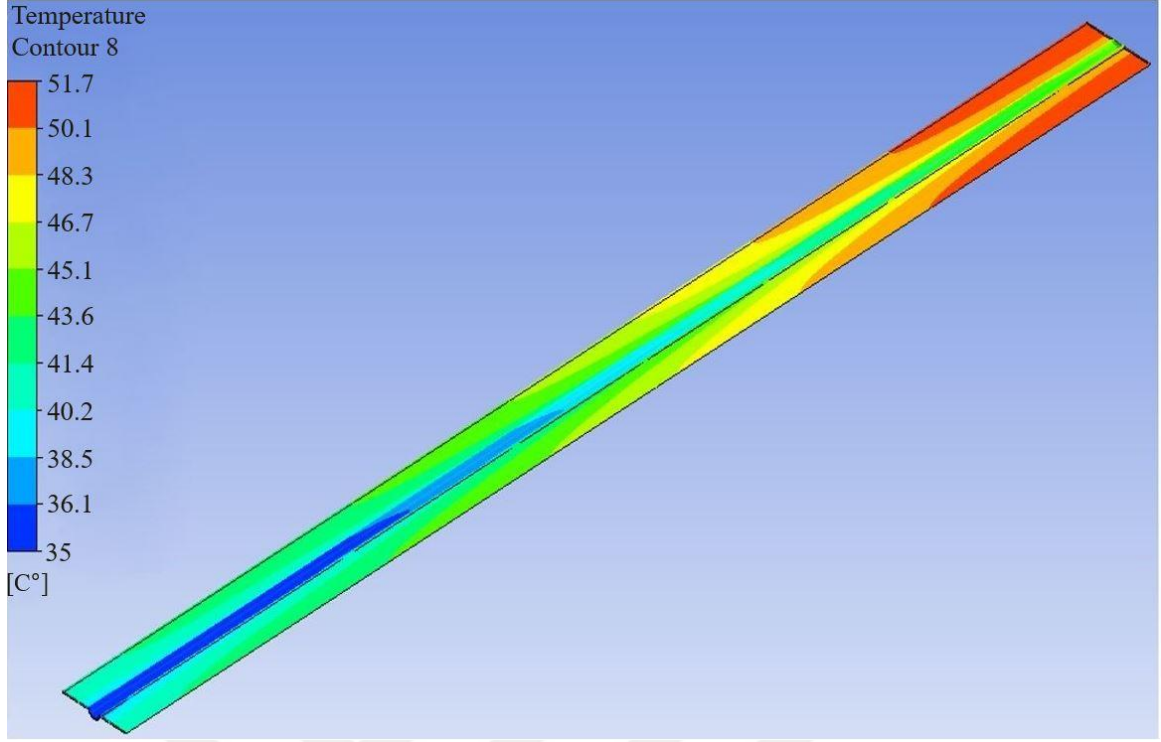
Bu çalışmada düzlemsel güneş kolektöründe 3 farklı konsantrasyonda (%0.01, %0.1, %1) ve 3 farklı debide (50 lt/h, 150 lt/h, 250 lt/h) CeO₂ ve ZnO nanoakışkanlarının çıkış sıcaklıklarını tahmin edebilmek için HAD simülasyonu oluşturulmuş; deneysel çalışmalar ile elde edilen verilerle mukayese yapılmıştır. Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33’de % 0.01 Seryum oksit (CeO₂) nanoakışkanının debiye bağlı çıkış sıcaklık dağılım profilleri gösterilmiştir. HAD simülasyon sonuçlarına göre debideki artış, nanoakışkanın sistem içerisinde daha hızlı hareket etmesine ve akışkanın sistem içerisinde katedeceği mesafeyi daha kısa bir sürede dolaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle akışkanın sıcaklığı, ısı transferi için daha az zaman harcamakta ve bu durum akışkanın giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkının azalmasına neden olmaktadır. Şekil 5.31 incelendiğinde 50 lt/h debide %0.01 konsantrasyonunda CeO₂ nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklığı 70.2°C, Şekil 5.32’ye göre CeO₂ nanokışkanı için 150 lt/h debide 65.1°C, Şekil 5.33’e göre CeO₂ nanokışkanı için 250 lt/h debide en yüksek çıkış sıcaklığı 62.8 °C ölçülmüştür.



Şekil 5. 34 50 lt/h debi, % 0.1 CeO₂ -su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

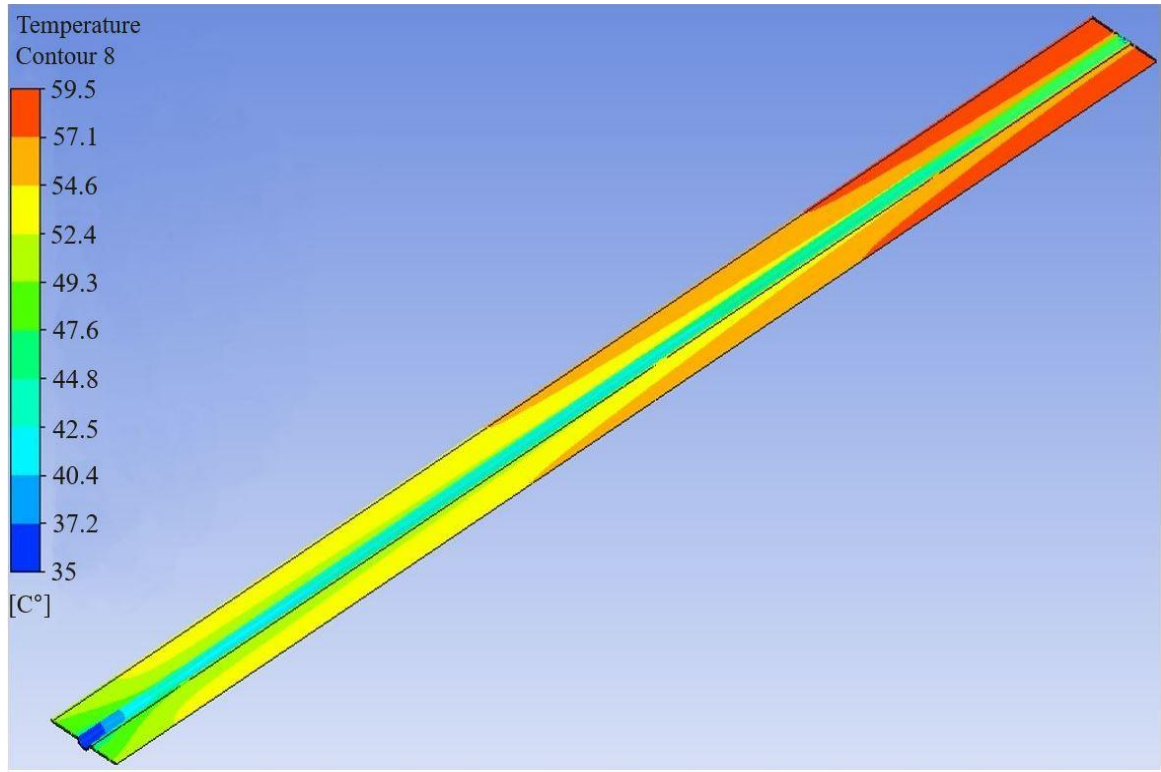


Şekil 5. 35 150 lt/h debi, % 0.1 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

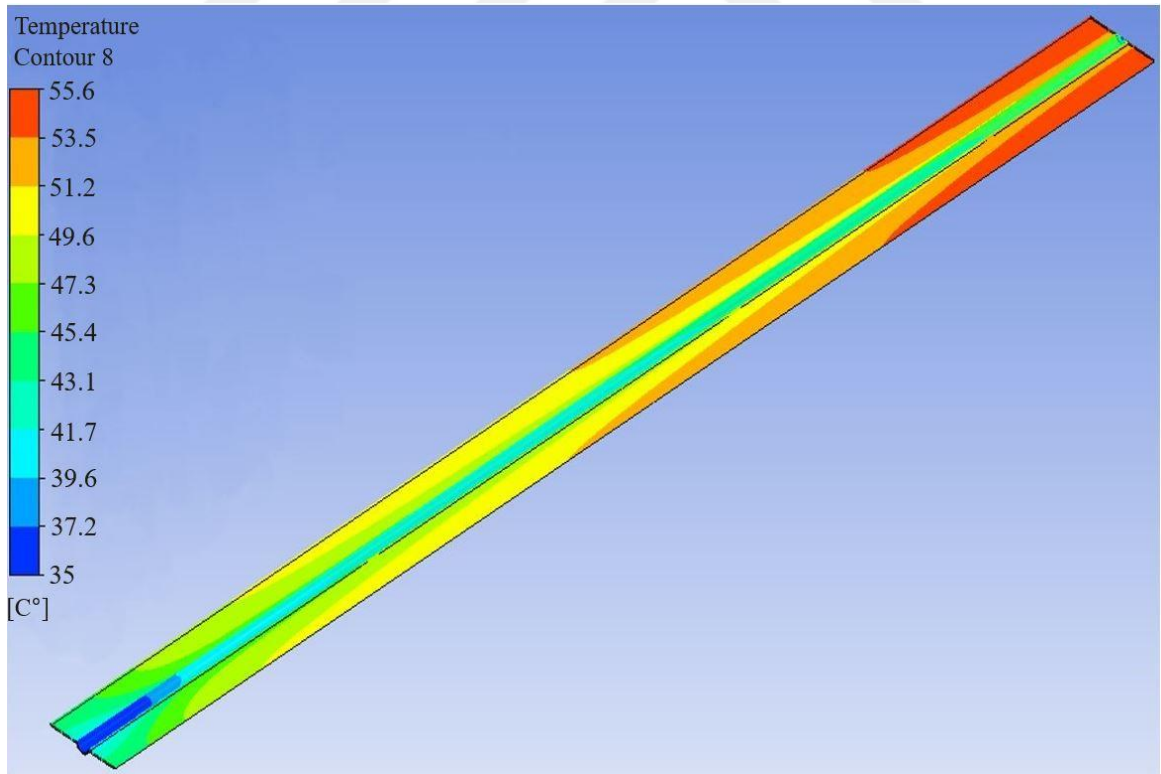


Şekil 5. 36 250 lt/h debi, % 0.1 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

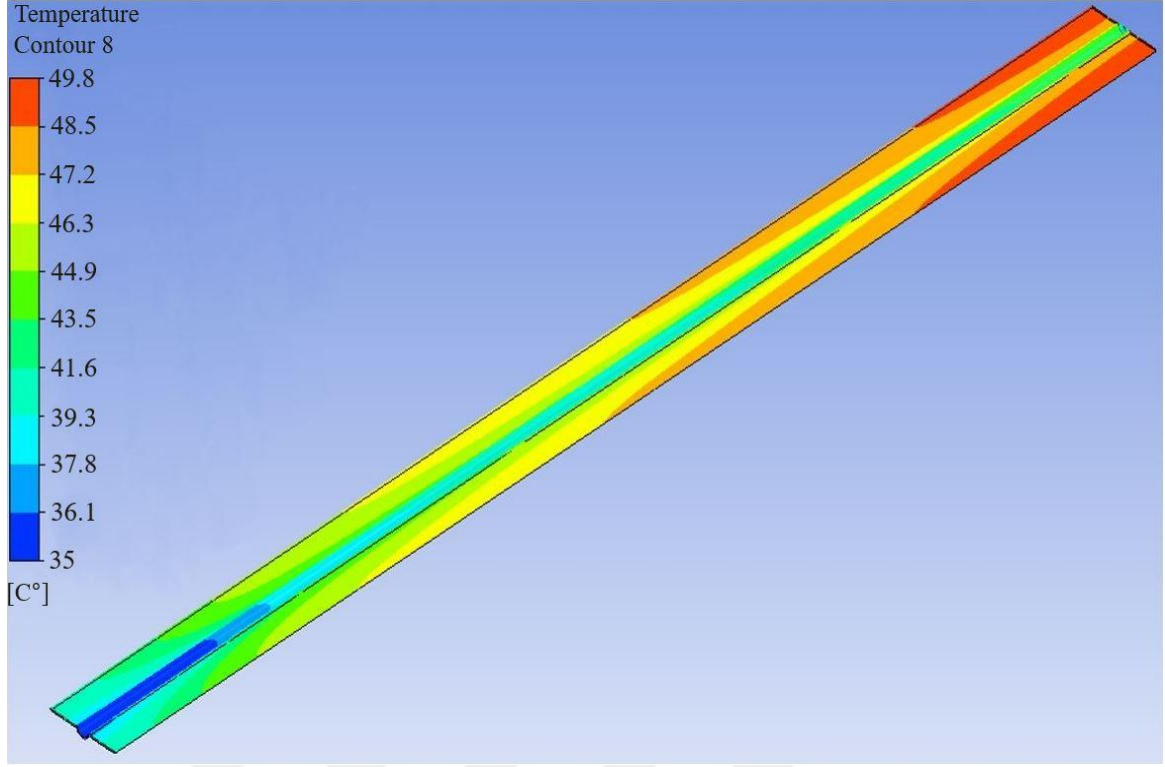
Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36’da % 0.1 Seryum oksit (CeO₂) nanoakışkanının debiye bağlı çıkış sıcaklık dağılım profilleri gösterilmiştir. Hacimsel konsantrasyon oranı arttıkça ısıl iletkenlik artmakta, malzeme daha yoğun hale gelmektedir. Daha yoğun bir malzeme (hacimsel konsantrasyonu daha yüksek), genellikle daha homojen bir sıcaklık dağılım profiline sahiptir. Bu durum, ısı transferinin daha az sıcaklık farkı arasında gerçekleşmesine sebep olur. Daha az sıcaklık farkı, ısı transferi miktarını azaltır ve dolayısıyla ısı transfer kaybının (enerji kaybının) azalmasına neden olur. Şekil 5.34 incelendiğinde 50 lt/h debide % 0.1 konsantrasyonunda CeO₂ nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklığı 61.1°C, Şekil 5.35’e göre CeO₂ nanokışkanı için 150 lt/h debide 55.5°C, Şekil 5.36’ya göre CeO₂ nanokışkanı için 250 lt/h debide en yüksek çıkış sıcaklığı 51.7 °C ölçülmüştür.



Şekil 5. 37 50 lt/h debi , % 1 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili



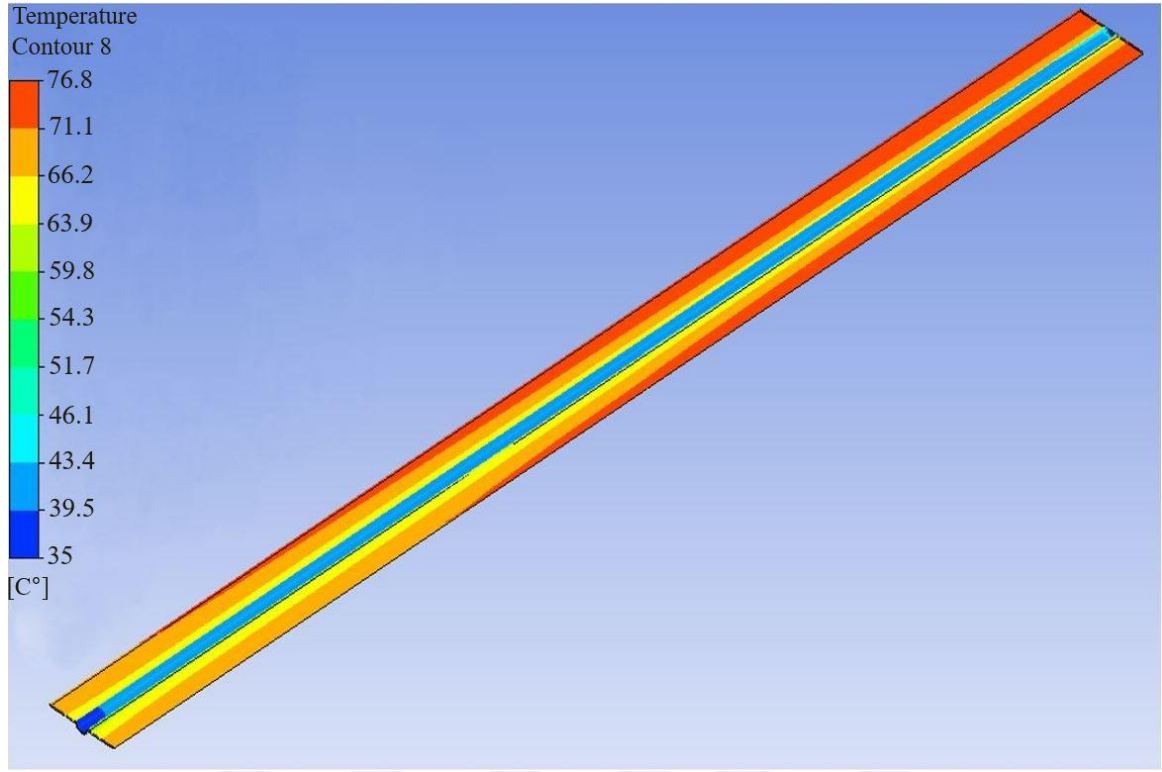
Şekil 5. 38 150 lt/h debi, % 1 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili



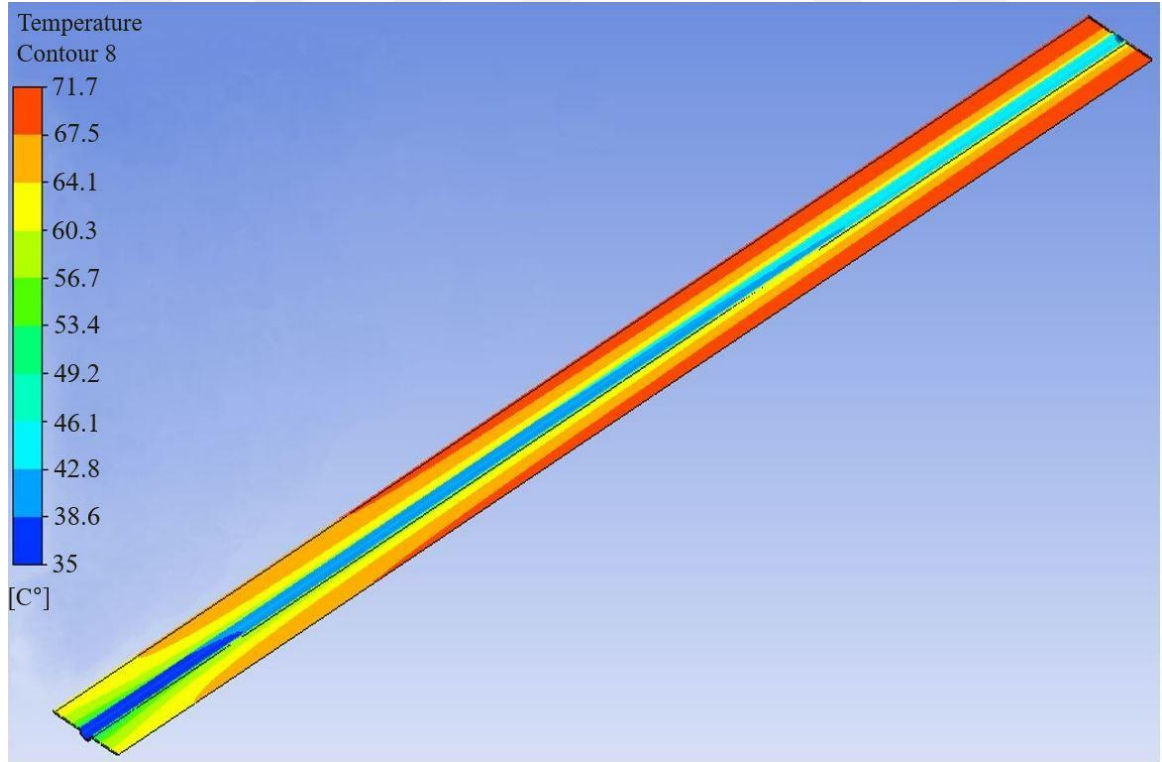
Şekil 5. 39 250 lt/h debi, % 1 CeO₂-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

Şekil 5.37 incelendiğinde 50 lt/h debide % 1 konsantrasyonunda CeO₂ nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklığı 59.5°C, Şekil 5.38'e göre CeO₂ nanokışkanı için 150 lt/h debide 55.6°C, Şekil 5.39'a göre CeO₂ nanokışkanı için 250 lt/h debide en yüksek çıkış sıcaklığı 49.8 °C ölçülmüştür. HAD analizi ile oluşturulan sıcaklık konturlarında CeO₂-su nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklık değerine 70.2°C ile % 0.01 hacimsel konsantrasyonda ve 50 lt/h debide ulaşılırken, en düşük çıkış sıcaklık değerine 49.8°C ile %1 hacimsel konsantrasyonda ve 250 lt/h debide ulaşılmıştır. HAD analizi ile oluşturulan sıcaklık konturları incelendiğinde, en yüksek sıcaklık değerine en düşük hacimsel konsantrasyon ve en düşük debide ulaşıldığı görülmüştür. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara ilave olarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak analiz çalışması yapılmış, deneysel sıcaklık değerleri hesaplanan CeO₂-su ve ZnO-su değerleri, Ansys R18.1 de yapılan sayısal çalışma ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma ile HAD ile edilen bulguların sayısal analiz sonuçları ile birbirleriyle uyumludur.

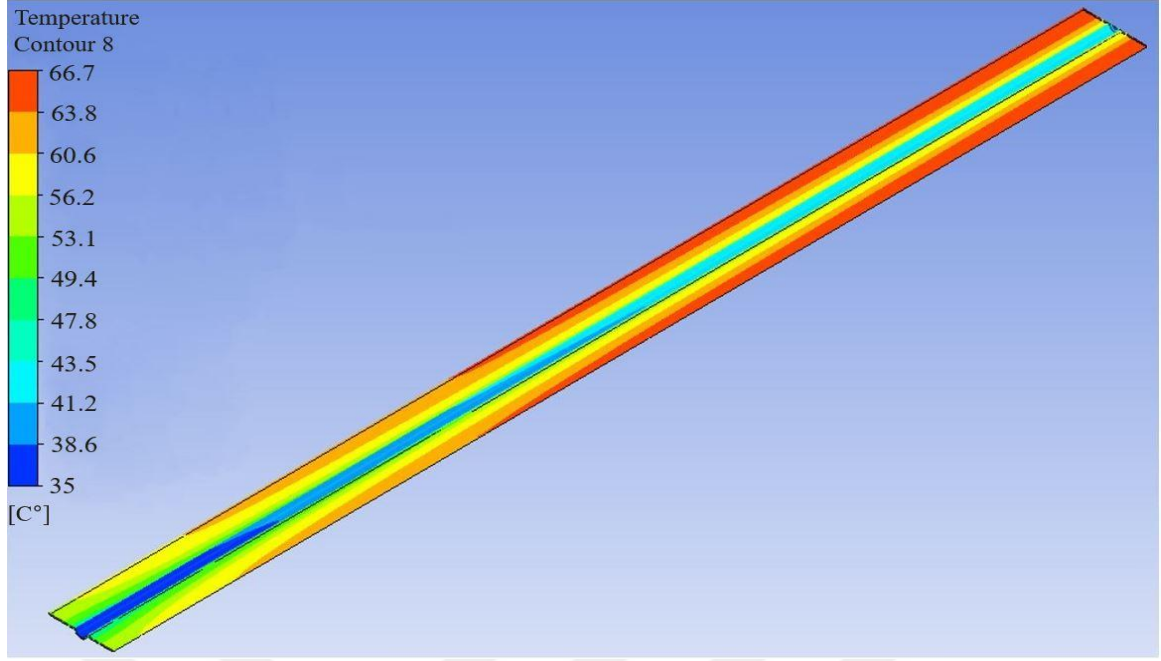
5.2.6. ZnO için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) sıcaklık dağılımı sonuçları



Şekil 5. 40 50 lt/h debi, % 0.01 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

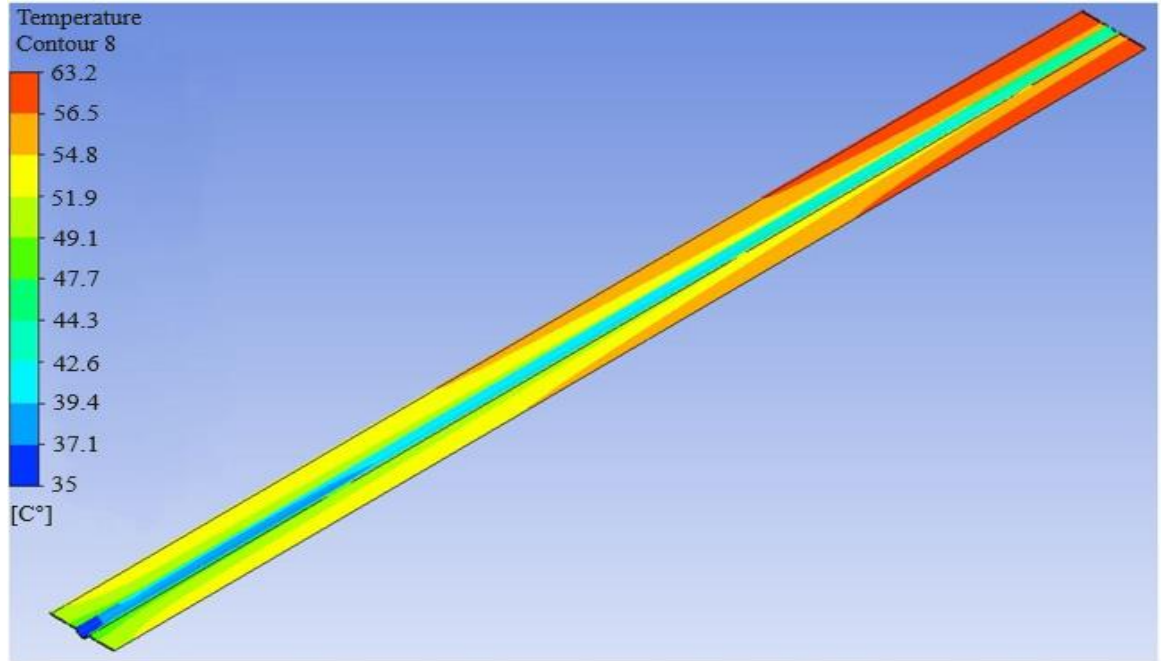


Şekil 5. 41 150 lt/h debi, % 0.01 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

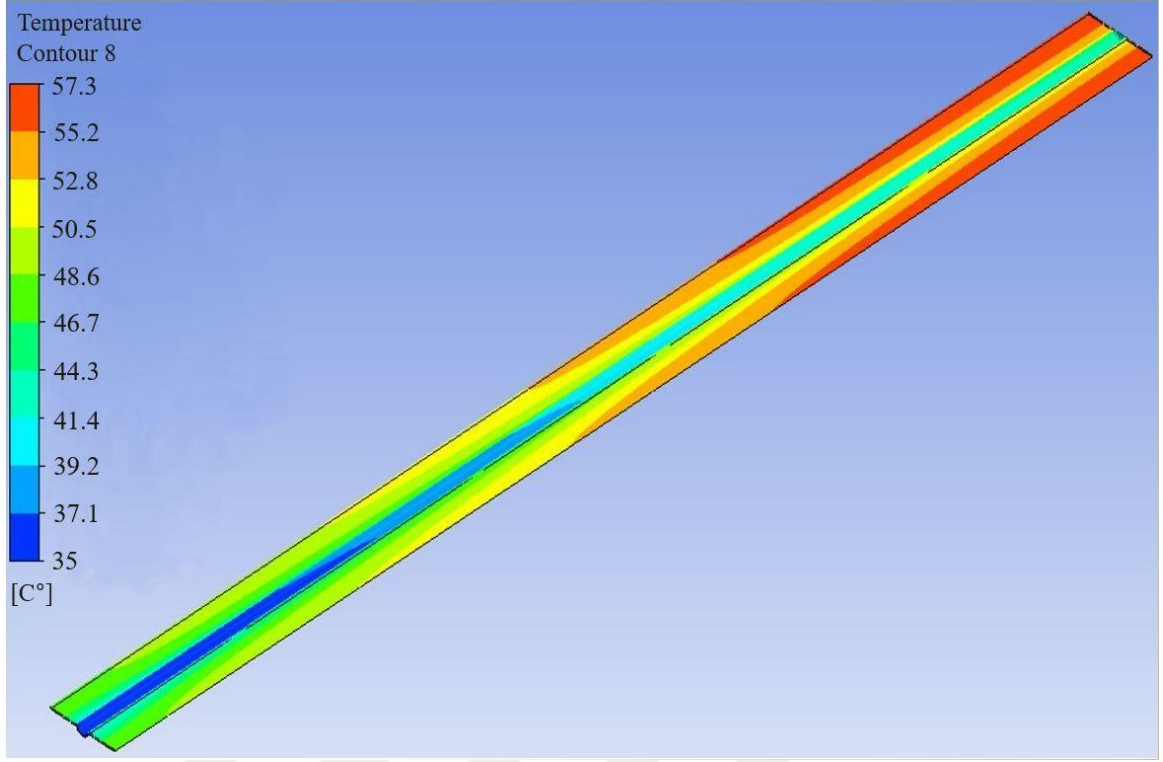


Şekil 5. 42 250 lt/h debi, % 0.01 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

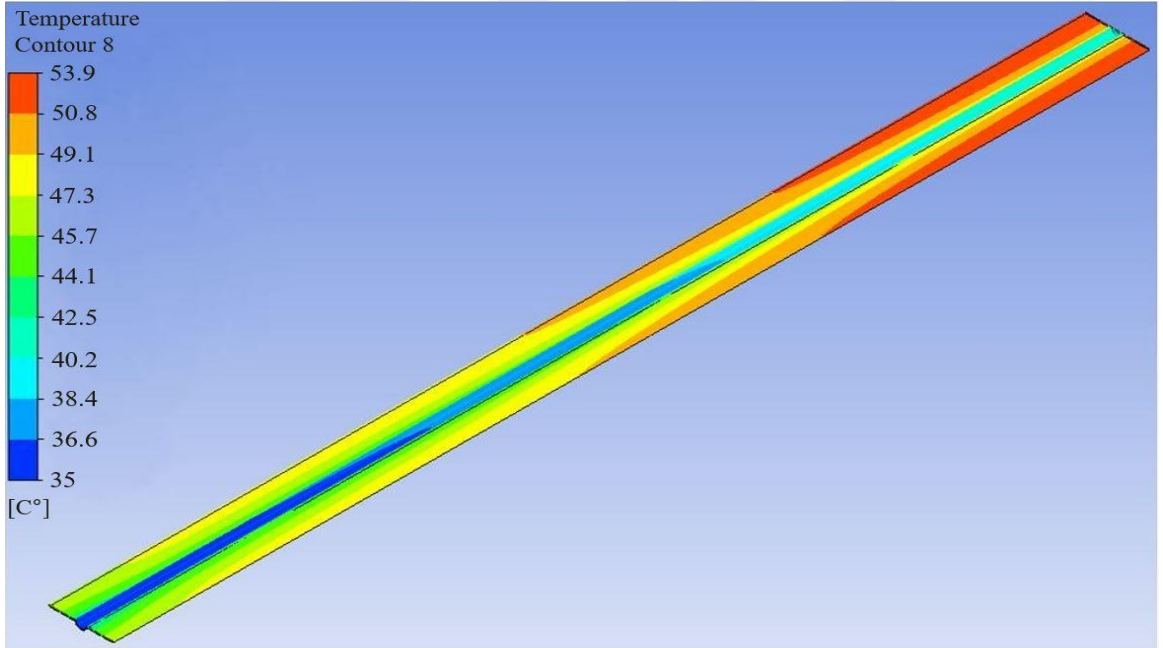
Şekil 5.40, Şekil 5.41, Şekil 5.42’de % 0.01 Çinko oksit (ZnO) nanoakışkanının debiye bağlı çıkış sıcaklık dağılım profilleri gösterilmiştir. Şekil 5.40 incelendiğinde 50 lt/h debide % 0.01 konsantrasyonunda ZnO nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklığı 76.8°C, Şekil 5.41’e göre ZnO nanokışkanı için 150 lt/h debide 71.7°C, Şekil 5.42’ye göre ZnO nanokışkanı için 250 lt/h debide en yüksek çıkış sıcaklığı 66.7 °C ölçülmüştür.



Şekil 5. 43 50 lt/h debi, %0.1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili



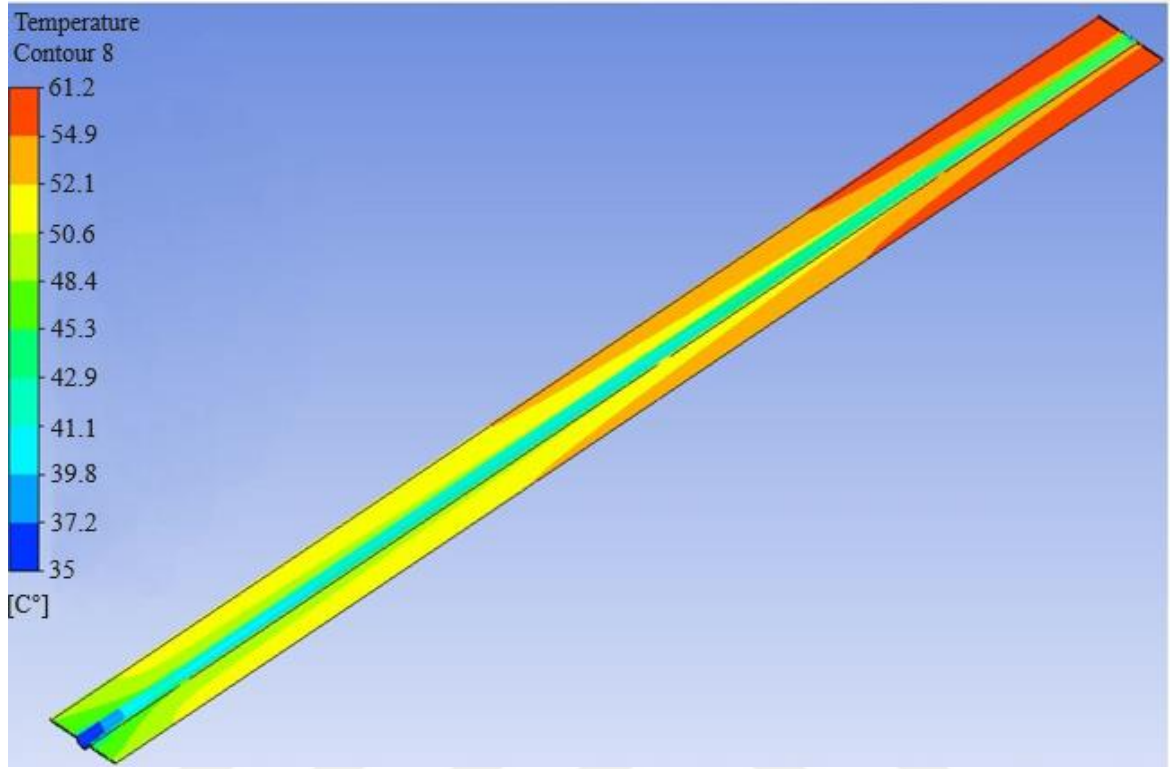
Şekil 5. 44 150 lt/h, %0.1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili



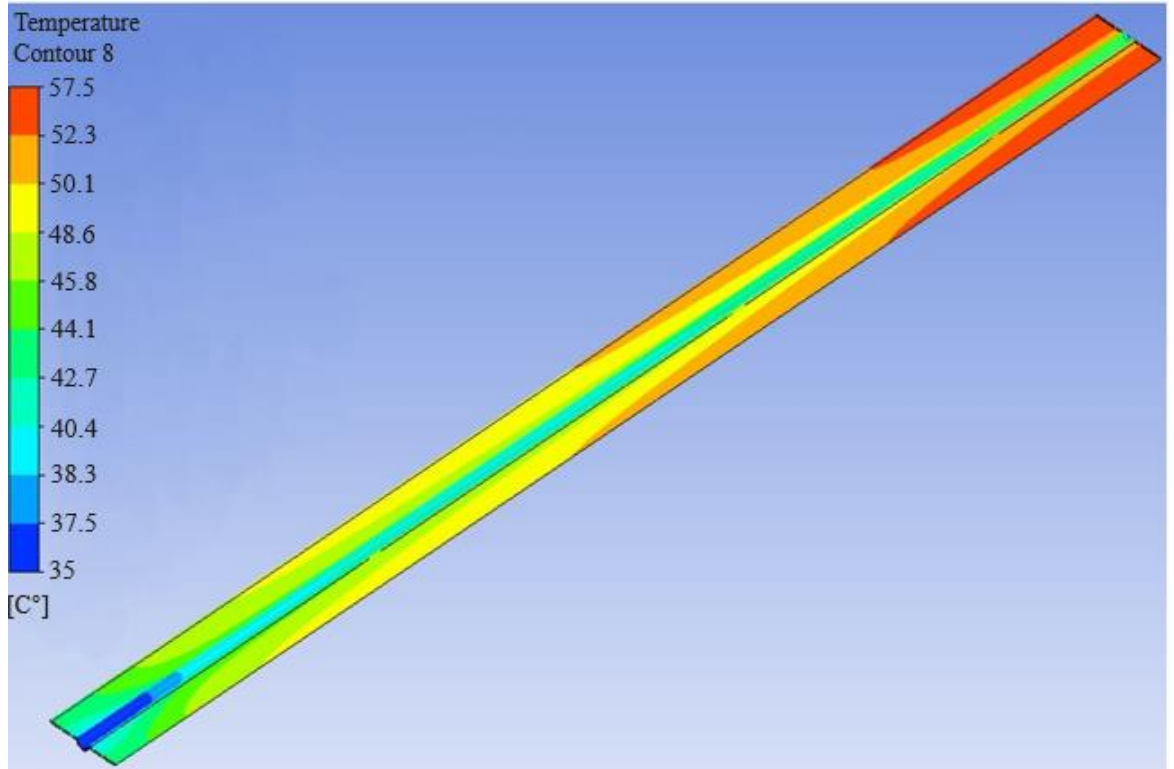
Şekil 5. 45 250 lt/h debi, % 0.1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

Şekil 5.43, Şekil 5.44, Şekil 5.45’de % 0.1 Çinko oksit (ZnO) nanoakışkanının debiye bağlı çıkış sıcaklık dağılım profilleri gösterilmiştir. Şekil 5.43 incelendiğinde 50 lt/h debide % 0.1 konsantrasyonunda ZnO nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklığı 63.2°C, Şekil

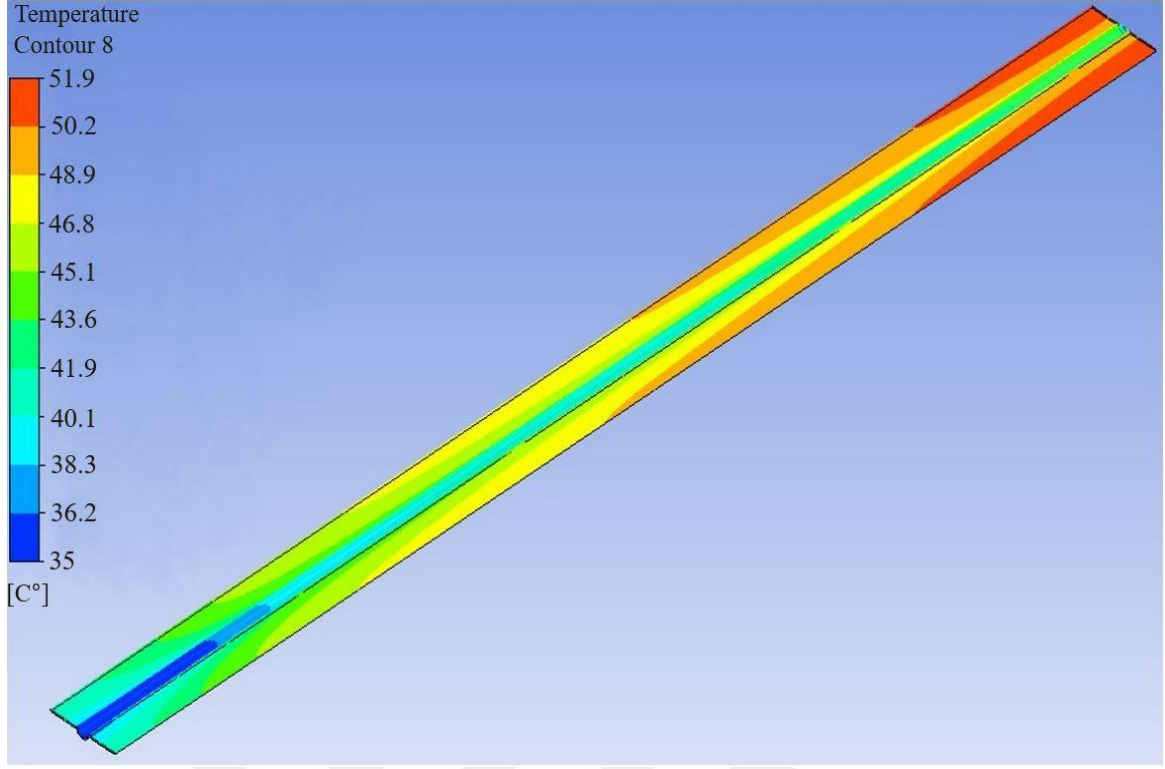
5.44'e göre ZnO nanokışkanı için 150 lt/h debide 57.3°C, Şekil 5.45'e göre ZnO nanokışkanı için 250 lt/h debide en yüksek çıkış sıcaklığı 53.9 °C ölçülmüştür.



Şekil 5. 46 50 lt/h debi, % 1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili



Şekil 5. 47 150 lt/h debi, %1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili



Şekil 5. 48 250 lt/h debi, %1 ZnO-su nanoakışkanı için sıcaklık dağılımı profili

Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48’de % 1 Çinko oksit (ZnO) nanoakışkanının debiye bağlı çıkış sıcaklık dağılım profilleri gösterilmiştir. Şekil 5.46 incelendiğinde 50 lt/h debide % 1 konsantrasyonunda ZnO nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklığı 61.2°C, Şekil 5.47’ye göre ZnO nanoakışkanı için 150 lt/h debide 57.5°C, Şekil 5.48’e göre ZnO nanoakışkanı için 250 lt/h debide en yüksek çıkış sıcaklığı 51.9 °C ölçülmüştür.

HAD analizi ile oluşturulan sıcaklık konturlarında ZnO-su nanoakışkanı için en yüksek çıkış sıcaklık değerine 76.8°C ile % 0.01 hacimsel konsantrasyonda ve 50 lt/h debide ulaşılırken, en düşük çıkış sıcaklık değerine 51.9°C ile %1 hacimsel konsantrasyonda ve 250 lt/h debide ulaşılmıştır.

HAD simülasyonu ile elde edilen sıcaklık dağılım profillerinden anlaşılabacağı üzere ZnO-su nanoakışkanının çıkış sıcaklığı CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksektir. Bunun nedeni ZnO-su nanoakışkanın CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip oluşudur.

5.3. Sayısal Analizin Doğrulanması

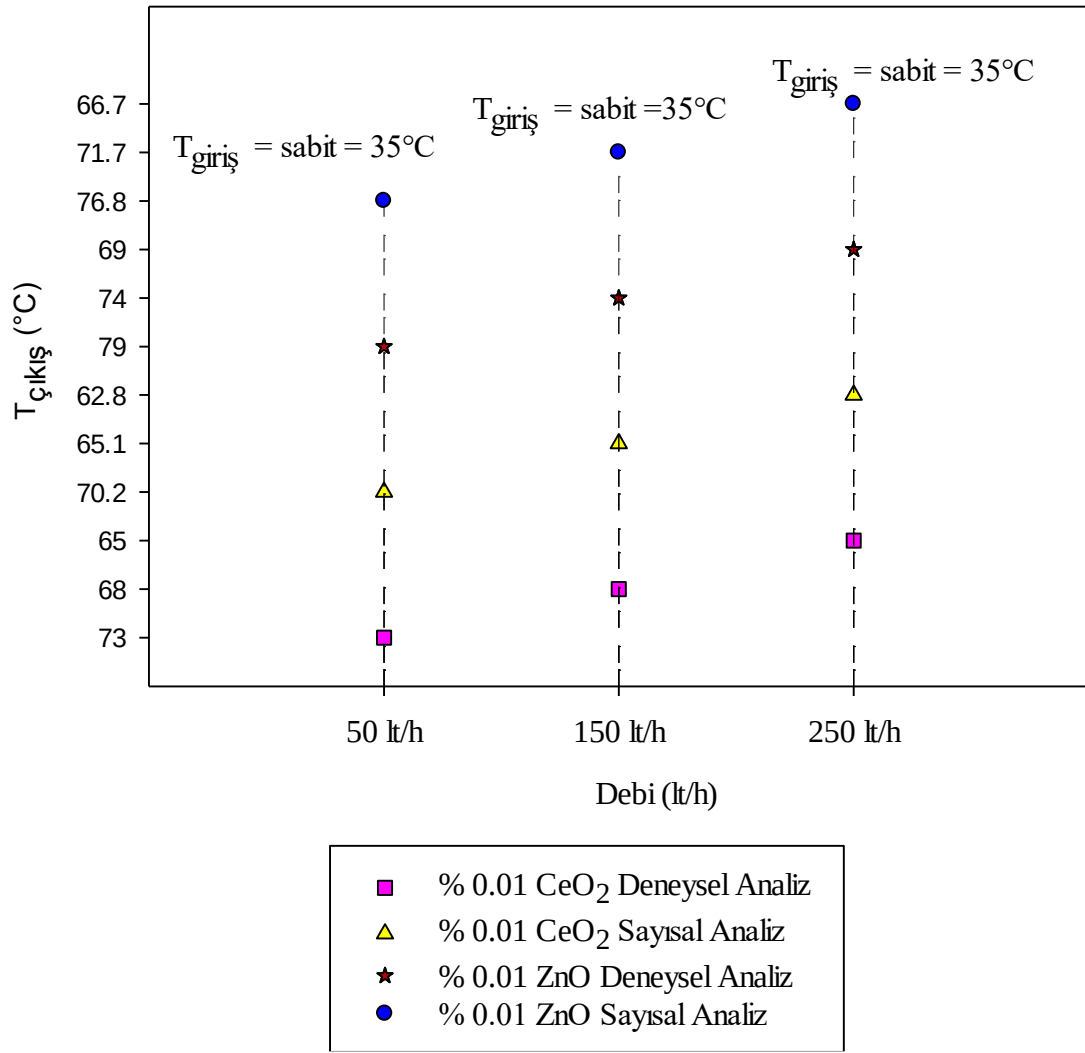
Bu çalışmada düzlemsel güneş kolektörlerinde % 0.01, % 0.1, % 1 hacimsel konsantrasyonlarından oluşan Seryum oksit (CeO_2) ve Çinko Oksit (ZnO) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin verim, sıcaklık-ışınım-saat, entropi üretimi, ekserji kaybı sonuçlarını görebilmek adına deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara ilave olarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal olarak analiz çalışmaları yapılmış ve deneysel olarak elde edilen verilerle karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de nanoakışkanlar için deneysel analiz ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. 3 CeO_2 -su nanoakışkanı için deneysel analiz ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

$T_{ng} = 35$ (°C) (Sabit)		Çıkış Sıcaklıkları (°C)			Çıkış Sıcaklıkları (°C)		
		Deneysel Analiz			Sayısal Analiz		
Debi	% 0.01 CeO_2 -su	% 0.1 CeO_2 -su	%1 CeO_2 -su		% 0.01 CeO_2 -su	% 0.1 CeO_2 -su	%1 CeO_2 -su
50 lt/h	73	59	58		70.2	61.1	59.5
150 lt/h	68	53.2	53		65.1	55.5	55.6
250 lt/h	65	49.7	49		62.8	51.7	49.8

Çizelge 5. 4 ZnO -su nanoakışkanı için deneysel analiz ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

$T_{ng} = 35$ (°C) (Sabit)		Çıkış Sıcaklıkları (°C)			Çıkış Sıcaklıkları (°C)		
		Deneysel Analiz			Sayısal Analiz		
Debi	% 0.01 ZnO -su	% 0.1 ZnO -su	%1 ZnO -su		% 0.01 ZnO -su	% 0.1 ZnO -su	%1 ZnO -su
50 lt/h	79	62	60		76.8	63.2	61.2
150 lt/h	74	57	55		71.7	57.3	57.5
250 lt/h	69	51	53		66.7	53.9	51.9



Şekil 5. 49 % 0.01 CeO₂ ve % 0.01 ZnO nanoakışkanları için 3 farklı debide deneysel ve sayısal analiz çıkış sıcaklık sonuçları

Şekil 5.49’da % 0.01 CeO₂ ve % 0.01 ZnO nanoakışkanları için 50 lt/h, 150 lt/h, 250 lt/h debide deneysel ve sayısal analiz çıkış sıcaklık sonuçları incelenmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere % 0.01 ZnO nanoakışkanın kıyaslanan bütün debilerde hem deneysel, hem de sayısal analiz çıkış sıcaklık sonuçları % 0.01 CeO₂ nanoakışkanına göre daha yüksektir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı düzlemsel güneş kolektörlerinde % 0.01, % 0.1, %1 hacimsel konsantrasyonlarda Seryum oksit (CeO_2) ve Çinko Oksit (ZnO) nanoakışkanları ile suyun kullanıldığı sistemin farklı debilerde 250 lt/h, 150 lt/h, 50 lt/h ve farklı saatlerde verim, sıcaklık-ışınım-saat, ekserji kaybı gibi parametreler açısından mukayese etmektir. Her iki sistemde belirli bir süre çalıştırılıp kalibrasyon sağlanmıştır. Sulu sistem ve nanoakışkanlı sistemin giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçebilmek için toplamda 4 adet ısı çifti kullanılmıştır. Deneyler ASHRAE standart koşullarını karşılamış; gün içerisinde ölçülen en iyi değerler alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanlar Nanoakar firmasından kararlı halde temin edilmiştir. Birebir ölçülerde kurulan iki ayrı sistemde nanoakışkan ve suyun ısı performansları düzlemsel güneş kolektörlerinde karşılaştırılmıştır.

Sistemde 2 adet düzlemsel güneş kolektörü kullanılmış ve her iki kolektörün net yüzey alanı 1 m^2 'dir. Sistemin bir tarafında su, diğer tarafında ise üç farklı hacimsel oranlarda (% 0.01, % 0.1 ve % 1) hazırlanan Seryum oksit (CeO_2)- su ve Çinko Oksit (ZnO)- su nanoakışkanları kullanılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen bulguların grafiklere dönüştürülmesi amacıyla SigmaPlot 15.0 kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen nanoakışkan çıkış sıcaklık sonuçlarına ilave olarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile sayısal analiz çalışması yapılmış, Ansys R18.1 de yapılan sayısal çalışma ile deneysel olarak ölçülen nanoakışkanların çıkış sıcaklıkları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma ile HAD ile edilen bulguların sayısal analiz sonuçları ile birbirleriyle uyumludur.

- Deney yapılan günlerde ortamın bağıl nemi % 15 - % 30 aralığında, havanın hızı 1.5m/s - 6m/s aralığında değişmektedir. Deney yapıldığı esnada nemin belli değerler arasında olması önem teşkil etmektedir. Nemin artması ile beraber panel üzerinde su damlacıkları meydana gelmekte; su damlacıklarının oluşumuyla beraber güneş ışınları panel üzerine kırılarak gelir ve verimin azalmasına neden olur. Deney yapıldığı esnada rüzgar hızının belli değerler arasında olması önemlidir. Rüzgar hızı termal kaybı etkileyen bir faktördür.

- Verim değerlerini bulmak amacıyla gün içerisinde sonuçları analiz edilerek hazırlanan bütün grafik sonuçlarına göre (bulutsuz ve sabit rüzgar hızında) maksimum ışıınım verilerinin $850\text{-}980 \text{ W/m}^2$ aralığında ortalama olarak saat 11:30-13:00 arasında olduğu

deney verileri ile tespit edilmiştir. Deneylerin yapıldığı saatlerde ortam sıcaklığı ortalama 30 °C ile 48°C arasında değişmektedir.

- Hacimsel konsantrasyon arttıkça verim artar. Sistemin debisi arttıkça verimin arttığı deney grafiklerinden anlaşılmaktadır.

- CeO₂-su ve ZnO-su nanoakışkanın kullanıldığı sistemin veriminin su kullanılan sisteme kıyasla kıyasla bütün debi ve konsantrasyonlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. İncelenen bütün grafiklerde ZnO-su nanoakışkanının verimi, CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksektir. Bunun nedeni ZnO-su nanoakışkanın CeO₂-su nanoakışkanına göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip oluşudur.

- CeO₂-su nanoakışkanı için 50 lt/h debi için verimdeki artış suya kıyasla % 0.01 , % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla, % 8, % 12, % 17, 150 lt/h de ki debi için verimdeki artış suya kıyasla % 0.01, % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla % 12, % 15, % 18, 250 lt/h debi için verimdeki artış suya kıyasla % 0.01, % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla % 15, % 18, % 21 tespit edilmiştir.

- ZnO-su nanoakışkanı için 50 lt/h debi için verimdeki artış suya kıyasla % 0.01, % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla, % 17, % 21, % 24, 150 lt/h için verimdeki artış suya kıyasla % 0.01, % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla, % 20, % 23, % 25, 250 lt/h debi için verimdeki artış sırasıyla suya kıyasla % 0.01, % 0.1 ve % 1 hacimsel konsantrasyonları için sırasıyla % 22, % 25, % 28 tespit edilmiştir.

- Nanoakışkanların ısı iletkenlik artışıdaki temel neden partiküller arası oluşan çarpışmalardır (Brownian hareketi). Hacimsel konsantrasyon ve debi arttıkça verimin arttığı deney grafiklerinden anlaşılmaktadır.

- Grafikler incelendiğinde ısı iletkenliğinin (W/m^2) artışına paralel olarak verimin de arttığı görülmüştür.

- Bir sistemin entropi üretimi sistemin debisinin ve nanoakışkanın konsantrasyonun artmasıyla birlikte azalmaktadır. Sistemin debisinin artması ısı taşınım katsayısının artması yani sistemin ısı transferinin artması ve dolayısıyla ekserji yıkımının azalması demektir.

- En fazla entropi üretiminin en düşük hacimsel debide 50 lt/h su için 6.72 W/K, en düşük entropi üretiminin ise % 1 ZnO-Su nanoakışkanı için 250 lt/h de 5.57 W/K olduğu tespit edilmiştir. 250 litre/h debide %1 ZnO-su nanoakışkanı, 50 lt/h debideki %1 ZnO-su nanoakışkanına göre %15 daha az entropi üretmektedir.

ZnO-su nanoakışkanın en az entropi üretmesinin nedeni CeO₂-su ve suya oranla daha iyi ısı iletkenlik değerlerine sahip olmasıdır.

- Entropi üretimi hacimsel konsantrasyonun artması ile birlikte azalmaktadır. Hacimsel konsantrasyonun artması ısı iletkenlik artışına neden olmakta, ısı iletkenlik artışı demek, ısı transferinin daha fazla artması dolayısıyla entropi üretiminin azalması anlamına gelmektedir.

- 250 lt/h hacimsel debide %1 ZnO-su nanoakışkanı, 50 lt/h hacimsel debide %1 ZnO-su nanoakışkanına göre % 17 daha az entropi üretmektedir. 250 lt/h hacimsel debide % 1 CeO₂-su nanoakışkanı, 50 lt/h hacimsel debide % 1 CeO₂-su nanoakışkanına göre % 15 daha az entropi üretmektedir.

- En yüksek ekserji yıkımı su için 50 lt/h debide 1235 W olarak, en düşük ekserji yıkımı ise 250 lt/h debide % 1 ZnO nanoakışkanı için 1005 W olarak ölçülmüştür. 250 lt/h debide % 1 CeO₂ nanoakışkanı, 50 lt/h debide % 1 CeO₂ nanoakışkanına göre %14 daha az ekserji yıkımına neden olmaktadır.

- HAD analizi ile oluşturulan sıcaklık konturlarında en yüksek çıkış sıcaklık değerine ZnO-su nanoakışkanı için 76.8°C ile % 0.01 hacimsel konsantrasyonda ve 50 lt/h debide ulaşılrken, CeO₂-su nanoakışkanda ise en yüksek değere 70.2 °C ile % 0.01 hacimsel konsantrasyonda ve 50 lt/h debide ulaşılmıştır.

- HAD analizi ile oluşturulan sıcaklık konturlarında en düşük çıkış sıcaklık değerine %1 ZnO-su nanoakışkanı için 51.9°C ile % 1 hacimsel konsantrasyonda ve 250 lt/h debide ulaşılrken, CeO₂-su nanoakışkanda ise en düşük çıkış sıcaklık değerine 49.8°C ile % 1 hacimsel konsantrasyonda ve 250 lt/h debide ulaşılmıştır.

6.2. Öneriler

- Isıl iletkenlik özellikleri farklı nanoakışkanlar kullanılarak, nanoakışkanların verim, sıcaklık-ışınım-saat, entropi üretimi, ekserji kaybı gibi parametreler açısından mukayesesi yapılabilir.
- Partikül boyutu farklı nanoakışkanlar kullanılarak; partikül boyutunun sistem üzerindeki etkileri tartışılabilir.
- Aynı çalışma farklı aylarda yapılarak ısı verim üzerine etkiler incelenebilir.
- CeO_2 –su ve ZnO -su nanoakışkanları farklı soğutma ve ısıtma sistemlerinde kullanılarak bu nanoakışkanların kullanımı yaygınlaştırılabilir.
- CeO_2 –su ve ZnO -su nanoakışkanlarına tam uyumlu dispersiyon stabilitesini artırdığı bilinen yüzey katkı maddesi PVP (polivinil pirolidin) ilave edilerek deneyler yapılabilir.
- Termal kamera kullanılarak ısı kayıpları, Ansys analiz sonuçlarıyla karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abuşka, M., & Şevik, S. (2017). Energy, exergy, economic and environmental (4E) analyses of flat plate and V-groove solar air collectors based on aluminium and copper, *Solar Energy*, 158, 259-277.
- Ajiwiguna, T.A., Hamonangan T., & Kirom M.R. (2016). Experimental study of thermal efficiency on plate-fin solar thermal collector, *ARNP Journal. Engineering. Applied. Science* 11, p. 809-811, <https://doi.org/10.5539/mas.v7n10p60>.
- Akoh, H., Tsukasaki, Y., Yatsuya, S., & Tasaki, A. (1978). Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate, *J. Cryst. Growth* 45, 495 500.
- Akyürek, E.F. (2014). *Nanoakışkanların ve Türbülatorlerin İç İç Borulu Isı Değiştirici Isıl Performansına Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Al-Ansary, H., & Zeitoun, O. (2011). Numerical study of conduction and convection heat losses from a half-insulated air-filled annulus of the receiver of a parabolic trough collector. *Solar Energy*, 85(11): 3036-45.
- Aly, E., & Wael, I.A. (2014). “Numerical study on turbulent heat transfer and pressure drop of nanofluid in a coiled tube in heat exchangers”, *Energy Conversion and Management*, 79, 304–316.
- Angayarkanni, A., & Philip, J. (2015). “Review on Thermal Properties of Nanofluids: Recent Developments”, *Advances in Colloid and Interface Science*, (225) :146-176.
- Anonim, (2022). <https://enerji.gov.tr> (Erişim Tarihi: 02.07.2024).
- Arıkan, E., Abbasoğlu S., & Gazi M. (2018). Experimental Performance Analysis of Flat Plate Solar Collectors Using Different Metal Oxide Nanofluids, *Energy Environment-Sustainability*, (6) <https://doi.org/10.3390/su10061794>.
- Arya, H., Sarafraz, M.M., Pourmehran O., & Arjomandi, M. (2020). Performance index improvement of a double pipe cooler with MgO/water-ethylene glycol (50:50) nano-suspension. *Propulsion Power Resources* 9 (1): 75–86. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jprr.2019.05.001>.
- Assael, M., Metaxa, J., Arvanitidis, I. N., Christofilos, J.D, & Lioutas, C. (2005). Thermal conductivity enhancement in aqueous suspensions of carbon multi-walled and double-walled nanotubes in the presence of two different dispersants, *Int. J. Thermophys.*, C. 26, S. 3, 647–664. doi: 10.1007/s10765-005-5569-3.

- Ateş, B.M., Demir, H., Üresin, E., Tunç, Ş., & Erdi, E. (2009). *Dünya'da Ve Türkiye'de Güneş Enerjisi*, İstanbul: Ekc Form Ofset, 2-193.
- Bayar, U. (2016). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanılan Bir Yeşil Ev Analizinin Uygulanması*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 179s, Ankara.
- Beck, M., Yuan, Y., Warrier, P., & Teja, A. (2009). The effect of particle size on the thermal conductivity of alumina nanofluids, *J. Nanopart. Res.*, C. 11, S. 5, 1129–1136. doi: 10.1007/s11051-008-9500-2.
- Bejan, A., Tsatsaronis G., & Moran M.J. (1996). *Thermal Design and Optimization*. John Wiley, 533s, Canada.
- Bektaş, B., Hakyemez, C., Yanık, E., & Kavak, K. (2019). *Enerji saktörel görünüm*. TSKB.
- Bhattacharya, P., Fornari R., & Kamimura H. (2011). ‘‘Comprehensive Semiconductor’’ Science and Technology, Six-Volume Set (Cilt 1). Newnes.
- Bigdeli, M. B., Fasano, M., Cardellini, A., Chiavazzo, E., & 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.
- Boey, F. Y. C., Tok A. I. Y., & Zhao X. L. (2006). Novel synthesis of Al_2O_3 nanoparticles by flame spray pyrolysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 270–273.
- BP Energy Outlook conferences (2022). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business web sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022>.
- Brinkman, H. C. (1952). The viscosity of concentrated suspensions and solutions, *J. Chem. Phys.*, C. 20, S. 4, 571. doi: 10.1063/1.1700493.
- Budak Ziyadanogullari, N., Yucel H.L., & Yildiz C. (2018). Thermal performance enhancement of flat -plate solar collectors by means of three different nanofluids, *Thermal Science and Engineering Progress*, 8, 55-65.
- Bulut, H. (2009). *Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar*. Temiz Enerji Teknolojileri Konferansı, 9-13 Şubat, Gaziantep, 39s.
- Chakraborty, O., Roy, S., Das, B., & Gupta, R. (2023). Computational analyses of parabolic trough solar collector in the presence of helical coil-insert, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 20, 683–702.
- Chakraborty, S., Sarkar, I., Ashok, A., Sengupta, I., Pal, S.K., & Chakraborty, S. (2018). Synthesis of Cu-Al LDH nanofluid and its application in spray cooling heat transfer of a hot steel plate, *Powder Technol.* 335, 285–300.

- Chakraborty, S., Sarkar, I., Ashok, A., Sengupta, I., Pal, S.K., & Chakraborty, S. (2015). Synthesis of Cu–Al layered double hydroxide nanofluid and characterization of its thermal properties, *Appl. Clay Sci.* 107, 98–108.
- Chandrasekar, M., Suresh S., & Chandra B.A. (2010). Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid. *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 34 (2), 210-216.
- Chein, R., & Chuang, J. (2007). Experimental microchannel heat sink performance studies using nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*. vol 46, pages 57-66.
- Chen, L., & Xie, H. (2010). Surfactant-free nanofluids containing double and single-walled carbon nanotubes functionalized by a wet-mechanochemical reaction. *Thermochimica Acta*, 497 (1-2), 67-71.
- Chen, M., He, Y., Zhu, J., & Wen, D. (2016). Investigating the collector efficiency of silver nanofluids based flat plate solar collectors, *Applied Energy*, 181, 65-74.
- Choi, C.J., Hong T., & Yang H. (2005). Study of the enhanced thermal conductivity of Fe nanofluids, *J. Appl. Phys.*, C. 97, S. 6 doi: 10.1063/1.1861145.
- Chopkar, M., Sudarshan, S., Das, P., & Manna, I. (2008). Effect of particle size on thermal conductivity of nanofluid, *Metallurgy and Material Transfer*. 1535–1542. doi: 10.1007/s11661-007-9444-7.
- Choudhary, S., Sachdeva A., & Kumar P. (2020). Influence of stable zinc oxide nanofluid on thermal characteristics of flat plate solar collector, *Renewable Energy* 152. 1160–1170.
- Çengel, Y.A., & Boles, M.A. (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*. McGraw-Hill Literatür, İstanbul, 867s.
- Çıkkılı, E. B. (2017). *Güneş Panellerinin Temel Tasarımında Mevcut Yöntemlerin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deshpande, V. (1996). ‘‘A note on Ancient Zinc-Smelting in India and China’’, *Indian Journal of History of Science*, 31:275.
- Desisa, R.T. (2023). Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics in solar flat plate collector using nanofluids. *International Journal of Thermofluids*, Ethiopia.
- Dixit, T., & Ghosh, I. (2015). Review of micro- and mini-channel heat sinks and heat exchangers for single phase fluids. *Renew. Sustainable Energy Review.*, 41:1298–311.

- Dizaji, H.S. (2015). Experiments on Air Bubbles Injection into a Vertical Shell and Coiled Tube Heat Exchanger; Exergy and NTU Analysis, *Energy Convers. Manag.* 103, 973–980.
- Dongsheng, W., Guiping, L., Saeid, V., & Kai, Z. (2009). Review of nanofluids for heat transfer applications, *Particuology* 7, 141–150.
- Duangthongsuk, W., & Wongwises, S. (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime, *Int. J. Heat Mass Trans.* 53, 334–344.
- Duffie, J., & Beckman, W. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley.
- Dunn, P. D., & Reay, D. (2013). *Heat pipes* (3rd Edition). Oxford: Pergamon.
- Eastman, J. A., Choi, S., Li, S., Yu, W., & Thompson, L. (2001). Anomalous increase in effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied Physics Letters*, C. 78, S. 6, 718–720. doi: 10.1063/1.1341218.
- www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. 25 Kasım 2015.
- EİGM, (2019). *Ulusal enerji denge tabloları*. <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (Son erişim tarihi: 15 Mayıs 2022).
- Einstein, A. (1906). *A new determination of the molecular dimensions*, *Ann. Phys.*, C. 324, S. 2, 289–306.
- Ekramian, E., Etemad S.G., & 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.
- El, E. (2013). *Sıcak Su Kollektörü İle Birleştirilmiş Damıtma Sistemi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Elumalai, N. & Dasaein, A., (2017). Performance enhancement studies in a thermosyphon flat plate solar water heater with CuO nanofluid, *Therm. Sci.* 21 (6B), 2757–2768.
- [www https://epdk.gov.tr/](https://epdk.gov.tr/), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. 7 Temmuz 2023.
- Erkut, T. Z. (2012). *Nanoakışkan Kullanarak Elektrikli Radyatörlerin Isıl Veriminin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

- Esen, H. (2008). “Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates”, *Building and Environment*, 43:1046–1054.
- Esfahani, M.R., & Languri, E.M. (2017). Exergy Analysis of a Shell-And-Tube Heat Exchanger Using Graphene Oxide Nanofluids, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 83, 100–106.
- Farajzadeh, E., Movahed S., & Hosseini R. (2017). Experimental and numerical investigations on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ nanofluids on thermal efficiency of the flat plate solar collector, *Renewable Energy*, Iran.
- Fayaz, H. (2015). Energy and Exergy Analysis of the PVT System: Effect of Nanofluid Flow Rate, *Sol. Energy* 169 (2018) 217–230.
- Frederickson, C. J., Koh J. Y., & Bush A. I. (2005). “The Neurobiology of Zinc in Health and Disease”, *Nature Reviews Neuroscience*, 6 (6): 449-462.
- www. <https://gepa.enerji.gov.tr/>, *Elektrik piyasası sektörü raporu*. 7 Temmuz 2024.
- Gadanya, T.S. & Asker, M. (2019). *Performance Assessment of Flat Plate Solar Collector Using Different Nanofluids*, Aydın, 193-200.
- Gertzos, K.P., Pnevmatikakis S.E., & Caouris Y.G. (2008). Experimental and numerical study of a heat transfer phenomena, inside a flat-plate integrated collector storage solar water heater, with indirect heat withdrawal, *Energy Conv. Manag.* 49 (11) 3104-3115.
- Ghasemi, S.E., & Ranjbar, E. (2016). Effect of Nanoparticles in Working Fluid on Thermal Performance of Solar Parabolic Trough Collector. *Journal of Molecular Liquids*.
- Gorji, T.B., & Ranjbar, A.A. (2017). Thermal and exergy optimization of a nanofluid-based direct absorption solar collector, *Renewable Energy*, 106, 274-287.
- Gökselkınay, A.D. (2015). *Kullanılmış Nükleer Yakıt Depolama Kabının Isıl Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.
- Gupta, H.K., Agrawal G.D., & Mathur J. (2015). Investigations for effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanofluid flow rate on the efficiency of direct absorption solar collector, *Case Studies in Thermal Engineering*, 5, 70-78.
- <https://ekolojist.net/turkiyede-gunesenerjisi-kullanimi-potansiyel-degeri>, *Güneş Enerjisi Kullanım Potansiyeli raporu*, 2024.
- Gürmen, S., & Ebin, B. (2008). Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1, *Metalurji Dergisi*, 150, 31-38.

- Ham, J., Kim J., & Cho H. (2016). Theoretical analysis of thermal performance in a plate type liquid heat exchanger using various nanofluids based on LiBr solution, *Applied Thermal Engineering*, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.07.196.
- Hasan, M., Zhao J., & Jiang Z. (2019). Micromanufacturing of composite materials: A review. *Int. J. Extrem Manuf.* 1(1).
- Hawwash, A.A., Rahman, A.K.A., Nada, S.A., & Ookawara, S. (2018). Numerical investigation and experimental verification of performance enhancement of flat plate solar collector using nanofluids, *Appl. Therm. Eng.* 130, 363–374.
- Haynes, W.M. (2017). *Handbook of chemistry and physics: a ready reference book of chemical and physical data*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 20643.
- Hepbasli, A. (2008). “A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 593–661.
- Hussein, A., Otanicar T., & Golden J. (2018). *Experimental performance analysis of flat plate solar collectors using different nanofluids*, Sustainable Climate conference.
- Hwang, Y., Lee J.K., & Lee C. H. (2007). Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids, *Thermochimica Acta*, C. 455, S.1-2, 70–74. doi: 10.1016/j.tca.2006.11.036.
- Jang, S.P., & Choi, S.U.S. (2006). Cooling performance of a microchannel heat sink with nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 26 (17-18), 2457-2463.
- Javadi, F.S., Sadeghipour, S., Saidur, R., Boroumandjazi, G., Rahmati, B., Elias, M.M., & Soheli, M.R. (2013). The effects of nanofluid on thermophysical properties and heat transfer characteristics of a plate heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 58–63.
- Johal, M.S. (2011). *Understanding Nanomaterials*. CRC Press by Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 328 pages.
- Kabeel, A.E., & Abdelgaied, M. (2016). Overall heat transfer coefficient and pressure drop in a typical tubular exchanger employing alumina nano-fluid as the tube side hot fluid. *Heat Mass Transf und Stoffuebertragung*, 52 (8): 1417–24.
- Kamatchi, R., Venkatachalapathy R., & Abhinaya S. B. (2015). "Synthesis, stability, transport properties, and surface wettability of reduced graphene oxide water nanofluids". *International Journal of Thermal Sciences*, Cilt 97. 17-25.
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.

- Karabulut, K. (2015). *Isı değiştiricilerde ısı aktarımının nanoakışkanlar kullanılarak artırılması*. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), 126s, Sivas.
- Karakaya, H. (2005). *Değişik yüzey geometrilerine sahip havalı kollektörlerin tasarlanması ve ısı performansının deneysel olarak araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karakoç, Ş. E. (2010). *Havalı güneş toplayıcıları ile su ısıtma*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Karami, M., Akhavan, M.A., Delfani, S., & Raisee, M. (2015). Experimental investigation of CuO nanofluid-based direct absorption solar collector for residential applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 793–801.
- Kargozar, S., Baido, F., Hoseini, S. J., Hamzehlou, S., Darroudi, M., Verdi, J., Hasanzadeh, L., Kim, H.W., & Mozafari, M. (2021). Biomedical applications of nanocerium: new roles for an old player. *Nanomedicine*, 13 (23) , 3051-3069.
- Karimian, H., & Babaluo, A. A. (2007). "Halos mechanism in stabilizing of colloidal suspensions: Nanoparticle weight fraction and pH effects". *Journal of the European Ceramic Society*, Cilt 27. 1, 19-25.
- Karsli, S. (2007). "Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications", *Renewable Energy*, 32: 1645–1660.
- Kashyap, Y., Singh A., & Raja Sekhar Y. (2018). Exergy analysis of a flat plate solar collector with grooved absorber tube configuration using aqueous ZnO–ethylene glycol, *J. Solar Energy Eng.* 140 (061011)1–10.
- Katircioğlu, İ. (2011). Clean and sustainable energy policies in Turkey I. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (15), 5111-5119.
- Kaya, H., Arslan K., & Eltugral N. (2018). Experimental investigation of thermal performance of an evacuated U-Tube solar collector with ZnO/Ethylene glycol-pure water nanofluids, *Renewable Energy*, pages 329-338.
- Kaygusuz, K. & Kaygusuz, A. (2002). Renewable energy and sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, 25, 431-453.
- Khoshvaght, M., Pazdar S., & Sartipzadeh O. (2016). Experimental investigation of water based nanofluid containing copper nanoparticles across helical microtubes, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 70, 84–92.
- Kılıç, A. (1993). "Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinin Seçimi, Tasarımı ve İşletilmesi" *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 1 (5) : 30-37.

- Kılıç, H., Gümüş B., & Yılmaz M. (2016). Diyarbakır İli İçin Güneş Enerjisi Verilerinin Meteorolojik Standartlarda Ölçülmesi ve Analizi. *Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergisi*, 5 (10) , 47-52.
- Kılıç, F., Menlik T., & Sozen A. (2018). Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector, *Sol. Energy* 164, p.101-108.
- Kilkis, I.B. (1999). “Utilization of wind energy in space heating and cooling with hybrid”, *Energy Buildings*, 30: 147-153.
- Kole, M., & Dey, T.K. (2010). Viscosity of alumina nanoparticles dispersed in car engine coolant. *Exp. Therm. Fluid Sci*, 34 (6), 677-683.
- Kole, M., & Dey, T.K. (2012). Thermochimica Acta Effect of prolonged ultrasonication on the thermal conductivity of ZnO eethylene glycol nanofluids, *Thermochim. Acta* 535, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.02.016>
- Koonsrisuk, A. (2013). “Comparison of Conventional Solar Chimney Power Plants And Sloped Solar Chimney Power Plants Using Second Law Analysis”, *Solar Energy*, 98, 78– 84.
- Kumar, A., Maithani R., & Suri A.R.S. (2017). Numerical and experimental investigation of enhancement of heat transfer in dimpled rib heat exchanger tube. *Heat Mass Transf und Stoffuebertragung*, 53 (12) : 3501–16.
- Kumar, A.B., & Garg, H. P. (1982). “Evaluation of the performance of air heaters of conventional designs”, *Solar Energy* Vol. 29, No. 6, p.p. 523-533.
- Kumaresan, V., & Velraj, R. (2012). Experimental investigation of the thermo-physical properties of water–ethyleneglycol mixture based CNT nanofluids. *Thermochim Acta*, 545 (0) , 180–6.
- Leal, S. H., Longo, E., Matos, J. M. E., Santos, M. R. M. C., Santos, V., Santos J., & Goncalves, J. S. (2009). *Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO₂ nanoparticles*, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro, Brazil.
- Lee, H., Xie, H., Youn W., & Choi, M. (2003). Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities, *J. Appl. Phys.* 94, 4967–4971.
- Lee, J., & Mudawar, I. (2007). Assessment of the effectiveness of nanofluids for single phase and two-phase heat transfer in micro-channels, *Int. J. Heat Mass Transfer*, C. 50, S. (3–4), 442–463. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.001.
- Li, C., Williams, H., Buongiorno, W., Hu, J., & Peterson, L. (2008). Transient and steady-state experimental comparison study of effective thermal conductivity of Al₂O₃-water nanofluids, *J. Heat Transfer*, C. 130, S.4. doi: 10.1115/1.2789719.

- Li, H., Wang, L., He, Y., Hu, Y., Zhu, Z., & Jiang, B. (2014). Experimental investigation of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol based ZnO nanofluids, *Appl. Therm. Eng.* 88, 363- 368, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng>.
- Lide, D. (2007). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. National Institute of Standards and Technology. CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL. USA. 88th. 2640.
- Liveri, V. T. (2006). *Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems*, Springer Science-Business Media Inc., New York.
- Lo, C.H., Tsung T.T., & Chen L.C. (2005). Shape-controlled synthesis of Cu-based nanofluid using submerged arc nanoparticle synthesis system (SANSS), *J. Cryst. Growth* 277, 636–642.
- Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S. A., Pop, I. & Wongwises, S. (2013). A review of the applications of nanofluids in solar energy. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57 (2) , 582–594.
- Mahian, O., Kianifar, A., Sahin, A.Z., & Wongwises, S. (2014) Entropy generation during Al_2O_3 -water nanofluid flow in a solar collector: Effects of tube roughness, nanoparticle size, and different thermophysical models, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78, 64-75.
- Maiga, S.E.B., Palm, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G. & Galanis, N. (2005). Heat Transfer Enhancements by Using Nanofluids in Forced Convection Flows, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26, 530–546.
- Maouassi, B. A. D. S. Z. N A. (2017). Numerical study of nanofluid heat transfer SiO_2 through a solar flat plate collector, *Int. J. Heat Technol.* 5, 619–625.
- Martinopoulos, G., Missirlis, D., Tsilingiridis, G., Yakinthos, K., & Kyriakis, N. (2010). CFD modeling of a polymer solar collector. *Renewable Energy*, 35(7):1499-508.
- Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K., & Hishinuma, N. (1993). Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (Dispersion of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , and TiO_2 ultra-fine particles), *Netsu Bussei*, C. 4, S. 4, 227–233.
- Matheswaran, T., Kumar M., & Sadanandam M.N. (2020). Investigations on thermal properties of CeO_2 -water nanofluids for heat transfer applications. *Materials Today: Proceedings*, 25-31.
- Meibodi, S., Mahian, O., Kianifar, A., Niazmand, H., & Wongwises, S. (2015). Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO_2 -EG–water nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 65, 71-75.

- Missana, T., & Adell, A. (2002). "On the Applicability of DLVO Theory to the Prediction of Clay Colloids Stability". *J Colloid Interface Sci*, Cilt 230. 1, 150-156.
- Mintsu, H.A., Roy, G., Nguyen, C. T., & Doucet, D., (2009). New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids, *Int. J. Therm. Sci.*, C. 48, S. 2, 363–371. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2008.03.009.
- Mirzaei, M., & Kim, K. C. (2019). Effects of a mixture of CuO and Al₂O₃ nanoparticles on the thermal efficiency of a flat plate solar collector at different mass flow rates. *Heat Transfer Research*, 50 (10) , 945–965.
- Mohamed, N.H., & Farahat, M.A. (2020). Energy storage system with flat plate solar collector and water-ZnO nanofluid, *Solar Energy* 202, 25–31.
- Mostafizur, R.M., Abdul Aziz, A.R., Saidur, R., Bhuiyan, M.H.U., & Mahbubul, M. (2014). " Effect of temperature and volume fraction on rheology of methanol based nanofluids". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Cilt 77. 765-769.
- Mukherjee, S., & Paria, S. (2013). Preparation and Stability of Nanofluids, A review *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, C. 9, S.2, 63-69.
- Murshed, S. M. , Leong K., & Yang C. (2008). Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂ - Water Based Nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences* C. 44, 367–373. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2004.12.005.
- NASA, Global Energy Budget, <https://my.nasadata.larc.nasa.gov/whatis-the-earths-radiation-budget/> (Erişim Tarihi: 2017)
- Nine, M. J., Batmunkh, M., Kim, J.H., Chung, H.S., & Jeong, H.M. (2012). Investigation of Al₂O₃-MWCNTs hybrid dispersion in water and their thermal characterization, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 12, 4553–4559.
- Niu, J., Azfer, A., Rogers, L., Wang, X., & Kolattukudy, P. (2007). Cardioprotective effects of cerium oxide nanoparticles in a transgenic murine model of cardiomyopathy. *Cardiovascular Research*, 73 (3) , 549-559.
- Otanicar, T., & Golden, J. (2009). Comparative environmental and economic analysis of conventional and Nanofluid solar hot water technologies, *Environ Sci. Technol.* 43, 6082–6087.
- Öz, E.S., Özbaş E., & Dündar R. (2007). *Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sistemi İle Standart Düz Kolektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Performans Ve Verimlerinin Deneyisel Olarak Karşılaştırılması*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- Özerinç, S., Kakaç S., & Yazıcıoğlu A.G. (2009). "Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review". *Microfluidics and Nanofluidics*, 8 (2), 145-170.

- Özgen, F. (2007). *Yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılmış bir havalı güneş kollektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Öztürk, H. (2011). Antalya iklimi koşullarında sera ısıtma amacıyla güneş enerjisinin duyulur ısı olarak depolanması için tasarım değişkenlerinin belirlenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 129, 38-50.
- Peralta-Videa, J.R., Zhao, L., Lopez-Moreno, M.L., Guadalupe, R., Hong, J., & Gardea-Torresdey, N. J.L. (2011). Nanomaterials and the environment: A review for the biennium Journal of Hazardous Materials, 186: 1–15.
- Polvongsri, S., & Kiatsiriroat, T. (2014). Performance analysis of flat-plate solar collector having silver nanofluid as a working fluid, *Heat Transfer Eng.* 35, 1183–1191.
- Ramesh, R., Arulmozhi P., & Sathiskumar M. (2017). *Experimental Analysis of Flat Plate Solar Water Heater using Cerium Oxide- Water Nano Fluid Under Forced Convection*, International Journal of Engineering Research Process Book & Technology, Volume 06 <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV6IS060190>.
- Rangababu, J.A., & Kumar, K. (2015). Numerical analysis and validation of heat transfer mechanism of flat plate collectors. *Procedia Engineering*, 127, 63-70.
- Ray, D. R., Das D.K., & Vajjha R. S. (2014). Experimental and numerical investigations of nanofluids performance in a compact minichannel plate heat exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer Engineering*, Volume 71, 732–746.
- Rosen, M.A., & Dincer, I. (2004). A Study of Industrial Steam Process Heating Through Exergy Analysis. *International Journal of Energy Research*, 28: 917-930.
- Sadeghi, R., Etemad, S. G., Keshavarzi, E., & Haghshenasfard, M. (2014). "Investigation of alumina nanofluid stability by UV–vis spectrum". *Microfluidics and Nanofluidics*, Cilt 18. 5-6, 1023-1030.
- Saidur, R., Alim, M. A., Abidin, Z., Hepbasli, A., Khairul, M.A., & Rahim, N.A. (2013). Analyses of entropy generation and pressure drop for a conventional flat plate solar collector using different types of metal oxide nanofluids, *Energy Building* 66, 289–296.
- Sahin, H.M., Baysal, E., Dal, A.R., & Sahin, N. (2015). Investigation of heat transfer enhancement in a new type heat exchanger using solar parabolic trough systems, *Int. J. Hydrogen Energy* 40, 15254–15266.
- Said, Z., Sabiha, M.A., Saidur, R., Hepbasli, A., Rahim, N.A., Mekhilef, S., & Ward, T.A. (2015). Performance enhancement of a flat plate solar collector using titanium dioxide nanofluid and polyethylene glycol dispersant, *J. Clean. Prod.* 92.

- Said, Z., Saidur, R., Sabiha, M.A., Hepbasli, A., & Rahim, N.A. (2016). Energy and exergy efficiency of a flat plate solar collector using pH treated Al_2O_3 nanofluid, *J. Cleaner Production* 11, 3915–3926.
- Said, Z., Saidur, R., Rahim, N.A., & Alim, M.A. (2014). Analyses of exergy efficiency and pumping power for a conventional flat plate solar collector using SWCNTs based nanofluid, *Energy Build.* 78, 1–9.
- Saidur, R., Leong K. Y., & Mohammad H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (3) , 1646–1668.
- Sarkar, J. (2013). Performance of a flat-plate solar thermal collector using supercritical cerium oxide as heat transfer fluid, *Int J Sustain Energ.* 32, 531–43.
- Sarode, A.N., Patil A. A., & Patil V. H. (2016). “Experimental and Computational Fluid Dynamics Analysis of a new plate solar collector, *Applied Ther. Eng.* Vol. 130, pp. 455-460.
- Selmi, M., Al-Khawaja M.J., & Marafia A. (2008). Validation of CFD simulation for flat plate solar energy collector. *Renewable Energy*, 33 (3):383-7.
- Sharafeldin, M.A., & Gyula, G. (2018). Experimental investigation of flat plate solar collector using CeO_2 water nanofluid, *Energy Conversion and Management*, 32-41.
- Sharma, S.K., Rajput, N.S., Shukla, D.D., & Rajput, D. (2019). Performance analysis of flat plate solar collector using Al_2O_3 -distilled water nanofluid: An experimental investigation, *Materials Today Proceedings* 10, 52–59.
- Sheikh, N.D., Ali, F., Khan, I., & Gohar, M. (2018). A theoretical study on the performance of a solar collector using CeO_2 and Al_2O_3 -water based nanofluids with inclined plate: Atangana–Baleanu fractional model, *Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena*, 135-142.
- Singh, A., & Raykar, K.V.S. (2008). Microwave synthesis of silver nanofluids with polyvinylpyrrolidone (PVP) and their transport properties, *Colloid and Polymer Science*, C. 286, S. 14-15, 1667–1673. doi: 10.1007/s00396-008-1932-9.
- Singh, D., Toutbort J., & Chen G. (2006). *Heavy vehicle systems optimization merit review and peer evaluation*, Annual Report, Argonne National Laboratory.
- Singh, N., Kayshik S.C., & Misra R.D. (2000). “Exergetic analysis of a solar thermal power system”, *Renewable Energy*, 19: 135-143.
- Smith, C.C., & Thomas, A. W (1975). Design Application Of The Hottel-Whillier-Bliss Equation, *Solar Energy*, Vol. 19, pp. 109-11.

- Solanki, C.S. (2013). *Solar photovoltaics: Fundamentals Technologies and Applications*, PHI Learning Private Limited, New Delhi.
- Srikant, R. R., Rao, D. N., Subrahmanyam, M. S. & Krishna, V. P. (2009). Applicability of cutting fluids with nanoparticle inclusion as coolants in machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 223 (2) , 221– 225.
- Stalin, P.M.J., Arjunan, T.V., Matheswaran, M.M., Dolli, H., & Sadanandam, N. (2020). Energy, economic and environmental investigation of a flat plate solar collector with CeO₂-water nanofluid, *Journal Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08670-2>.
- Suleimanov, B.A., Ismailov F.S., & Veliyev E.F. (2018). Nanofluid for enhanced oil recovery, *J. Petrol. Sci. Eng.* 78, 431–437.
- Sultana, T., Morrison GL., Rosengarten G. (2012). Thermal performance of a novel roof top solar micro-concentrating collector. *Solar Energy*, 86 (7): 1992-2000.
- Sun, C., Hui R., & Roller J. (2010). Cathode materials for solid oxide fuel cells: a revive. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 14(7), 1125-1144.
- Sundar, S.L., Alklaibi A., & Sousa A.C.M. (2021). Experimental analysis of exergy efficiency and entropy generation of diamond/water nanofluids flow in a thermosyphon flat plate solar collector. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Portugal.
- Szargut, J. (2005). “*Calculation of exergy* ”, *Exergy method: technical and ecological applications*, WIT Press, Southampton, 19-22.
- Şahin, B. (2010). *Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Tübitak Proje No: 105M292, Erzurum.
- Şen, Z. (2008). *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*. (36). London/England: 2008 Springer-Verlag London Limited, 246-255.
- Tanbay, T., Kara Y. A., & Karademir A. (2018). “*Türkiye’nin Enerji Yapısı*”, *International Congress of Energy Economy And Security*, 159–177.
- Taşcıoğlu, A. (2015). *Monokristal Ve Polikristal Güneş Panellerinin Bursa Koşullarındaki Güç Performansı Üzerine Bir Araştırma*. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Taze, G. (2010). *Düzlemsel güneş kolektörü verimini etkileyen bazı parametrelerin deneysel incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

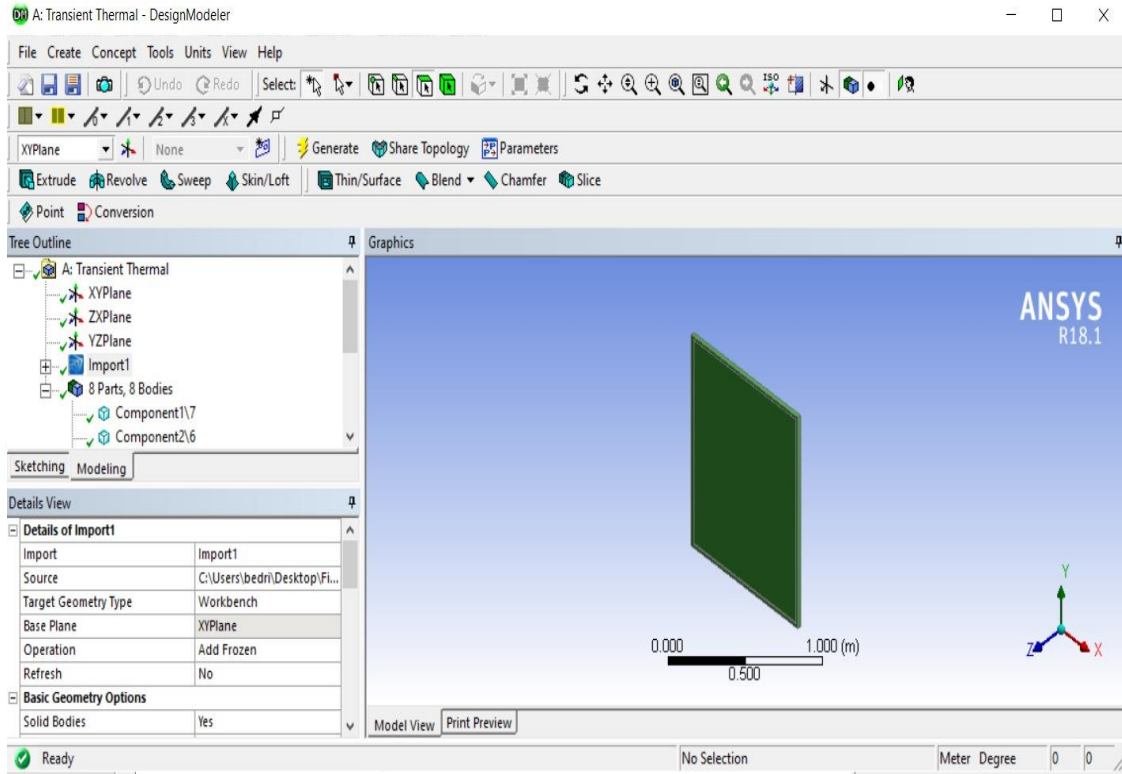
- Tiwari Arun, K., Ghosh P., & Sarkar J. (2013). Heat transfer and pressure drop characteristics of CeO₂-water nanofluid in plate heat exchanger. *Appl Therm Eng*, 57:24–32.
- Tiwari, A.K., & Verma, S.K. (2020). Progress of nanofluid application in solar collectors: a review, *Energy Convers. Manag.* 100, 324–346.
- Tong, Y., Chi, X., Kang, W., & Cho, H. (2020). Comparative investigation of efficiency sensitivity in a flat plate solar collector according to nanofluids, *Applied Thermal Engineering* 174, 15346.
- Tong, Y., Lee, H., Kang, W., & Cho, H. (2019). Energy and exergy comparison of a flat-plate solar collector using water, Al₂O₃ nanofluid, and CuO nanofluid. *Applied Thermal Engineering* 159, 113959.
- Touam, T., Boudjouan, F., Chelouche, A., Khodja, S., Dehimi, M., & Djouadi, D. (2015). ‘‘Effect of Silver Doping on the Structural, Morphological, Optical and Electrical Properties of Sol–Deposited Nanostructured ZnO Thin Films’’, *International Journal for Light and Electron Optics*, 126 (24) :5548-5552.
- Turgut, A., Tavman, I., Chirtoc, M., Schuchmann, Sauter, H., & Tavman, S. (2009). Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO₂ nanofluids, *Int. J. Thermophys.*, C. 30, S. 4, 1213–1226. doi: 10.1007/s10765-009-0594-2.
- Uzunoğlu, M., Yüksel R., & Ok, M. (2001). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri. 89-95.
- Varınca, K.B., & Gönüllü, M.T. (2006). *Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma*. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK), 21-23 Haziran, Eskişehir, 270-275.
- Veeranna, S., & Lakshmi, N.S. (2014). Al₂O₃-based nanofluids: a review, *Nanoscale Research Letters*, 6:456.
- Verma, S.K., Tiwari A.K., & Chauhan D.S. (2016). Performance augmentation in flat plate solar collector using MgO/water nanofluid, *Energy Conversion and Management* 124, p. 607-617, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.007>.
- Vidhya, R., Balakrishnan T., & Kumar S. (2020). Investigation on thermophysical properties and heat transfer performance of heat pipe charged with binary mixture based ZnO-MgO hybrid nanofluids, *Materials Today: Proceedings*.
- Wong, K.V., & Leon, O. (2010). Applications of nanofluids, current and future. *Advances in Mechanical Engineering*, 1-11, Article ID 519659.

- Wusiman, K., Jeong, H., Tulugan, K., Afrianto, H., & Chung, H. (2013). Thermal performance of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) in aqueous suspensions with surfactants SDBS and SDS, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 41, 28–33.
- Xiang Qi, W., Arun S., & Mujumdar A.S. (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *Int. J. Therm. Sci.* 46, 1–19.
- Xiaowu, W., & Hua, B. (2005). Energy analysis of domestic-scale solar water heaters. *Renew. Sustain Energy Rev*, 9 (6) , 638–645.
- Xuan, Y., & Li, Q. (2000). Heat transfer enhancement of nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer* 21, 58-64.
- Xuan, Y., & Roetzel, W. (2000). Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 3701-3707.
- Yearian, H. J. (1935). ‘‘Intensity of Diffraction of Electrons by ZnO’’, *Physical Review*, 48(7): 631.
- Yeşilata, B., Bulut, H., Çetiner, C., & Ersavaş, A. (2011). Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri ve GAP Bölgesine Yönelik Fırsatlar. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 52 (622) , 47-47- 56.
- Yılmaz, E. A., & Öziç, H. (2018). Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 8 (3), 525-535.
- Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., & Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Renewable Energy* 39, p.293-298, <https://doi.org/10.1016/J.Renene.2011.08.056>.
- Yu, F., Chen, Y., Liang, X., Xu, J., Lee, C., Liang, Q., & Taot Deng, P. (2017). "Dispersion stability of thermal nanofluids". *Progress in Natural Science: Materials International*.
- Yu, Q., Kim Y.J., & Ma H. (2008). Nanofluids with plasma treated diamond nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 92 (10), Article ID 103111.
- Yu, W., & Xie, H. (2012). A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications, *J. Nanomater*, <https://doi.org/10.1155/2012/435873>
- Yu, W., France, D., Choi, S., & Routbort, J. (2007). Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications. *Renewable Energy*, Medium: ED.

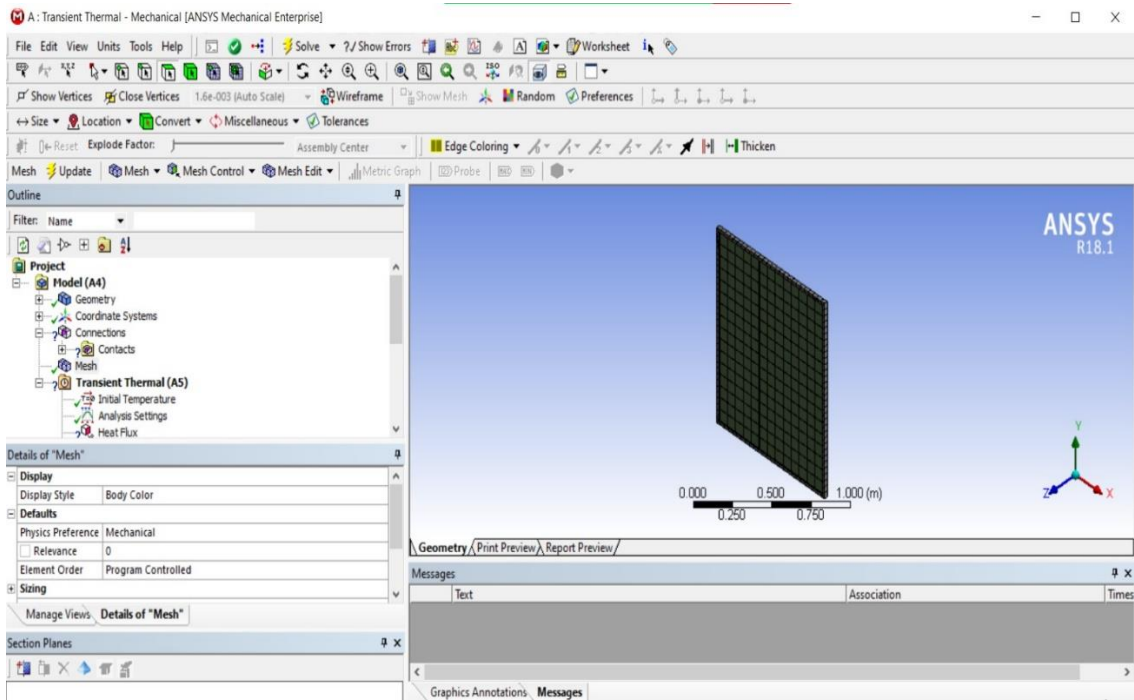
- Yu, W., Xie, H., Chen, L., & Li, Y.(2010). Enhancement of thermal conductivity of kerosene based Fe_3O_4 nanofluids prepared via phase-transfer method, *Colloids Surf.*, 355, 109–113.
- Yurddaş, A. (2013). *Nanoakışkanlı Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Isı Transferinin Sayısal Analizi*. Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 121 s.
- Zaboli, M., Mousavi, S.S., Ajarostaghi, S., & Saedodin, M. (2021). Thermal performance enhancement using absorber tube with inner helical axial fins in a parabolic trough solar collector, *Appl. Sci.* 11, 7423.
- Zhang, H., Nikolov A., & Wasan D. (2014). Enhanced oil recovery (EOR) using nanoparticle dispersions: underlying mechanism and imbibition experiments, *Energy Fuels* 28, 3002–3009.
- Zhao, K., Liu X.H., & Jiang Y. (2013). Application of radiant floor cooling in a large openspace building with high-intensity solar radiation, *Energy and Buildings* 66, p. 246–257.

EKLER

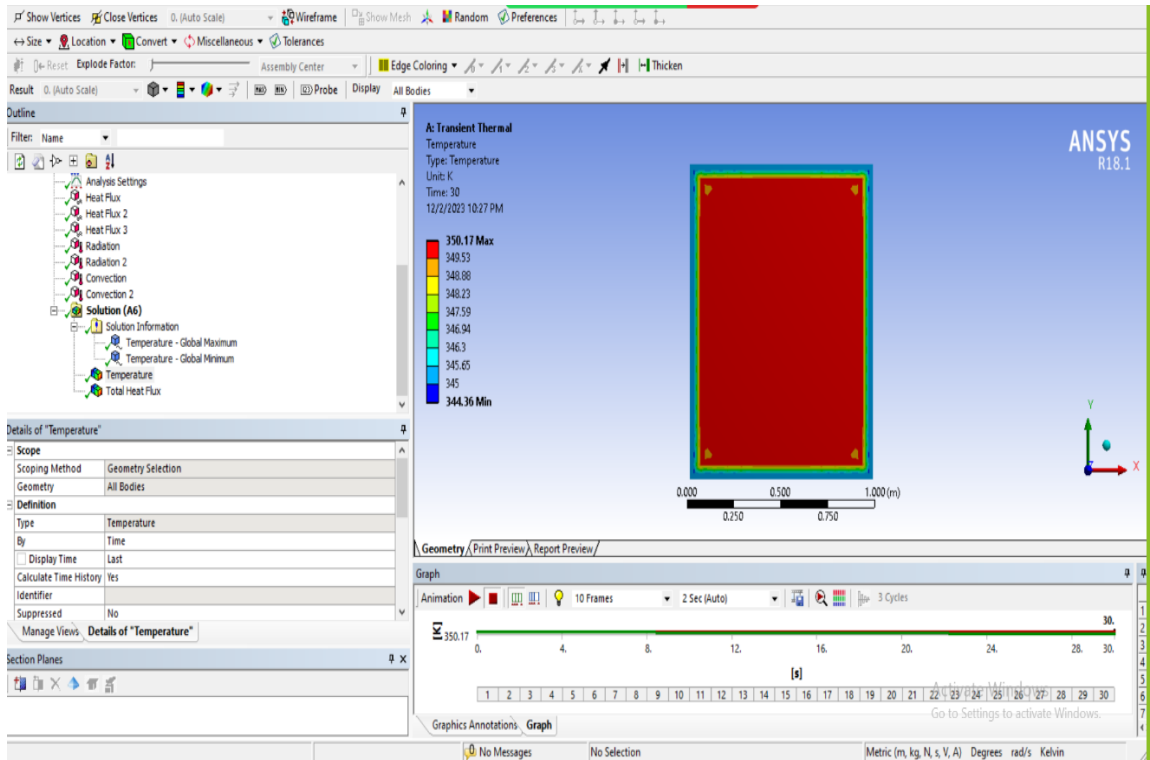
EK-1 Panel Geometresinin Belirlenme Aşaması



EK -2 Mesh Geometrisini Oluşturma Adımı



EK-3 Panelin Ön Yüzeyi Başlangıç- Bitiş Sınır Sıcaklık Sınır Şartları



EK -4 Panelin Arka Yüzeyi Başlangıç- Bitiş Sınır Sıcaklık Sınır Şartları

