



# **ISI DEPOLU PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN PERFORMANS ANALİZİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Burak AKINCI**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Alper ERGÜN**

**ISI DEPOLU PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN  
PERFORMANS ANALİZİ**

**Burak AKINCI**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Alper ERGÜN**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Ekim 2023**

Burak AKINCI tarafından hazırlanan “ISI DEPOLU PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN PERFORMANS ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Alper ERGÜN .....  
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 5/10/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Onur KARAAĞAÇ (SÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Burak AKINCI

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ISI DEPOLU PARABOLİK OLUKLU GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN PERFORMANS ANALİZİ**

**Burak AKINCI**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Alper ERGÜN**

**Ekim 2023, 66 sayfa**

Bugün enerji depolama, sürdürülebilir enerji üretimi ve kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Enerji depolama yöntemleri arasında, ısı depolama kapasitesine sahip olan parabolik oluklu güneş kolektörleri, sürdürülebilir enerji sistemleri alanında dikkat çekici bir yeniliği temsil etmektedir. Bu kolektörler, enerji depolama konseptini güneş enerjisi sistemlerine etkili bir şekilde entegre ederek bir dizi avantaj sunarlar.

Bu çalışma, özellikle ısı depolama kapasitesine sahip olan parabolik oluklu güneş kolektörlerinin performansının iyileştirilmesine yöneliktir. Bu amacı gerçekleştirmek için üç farklı alıcı tüp tasarımı titizlikle geliştirilmiştir. İlk tasarım, dayanıklılığı ve verimli ısı transfer özellikleri ile tanınan bakır borudan oluşturulan bir alıcı tüp kullanmaktadır. İkinci tasarım, bakır bir boruya ısıyı emen siyah bir kaplamanın uygulanmasını içerir ve bu şekilde güneş enerjisi emilimini en üst düzeye çıkarmayı

hedefler. Üçüncü tasarım ise bakır bir borun yüzeyinin parafin mumu malzemesi ile kaplanmasıyla farklı bir yaklaşım sunar ve termal verimliliği artırmayı amaçlar.

Her biri kendi alıcı tüp konfigürasyonu ile ayrılan bu parabolik oluklu güneş kolektörleri, tarafsız ve kesin bir değerlendirme sağlamak amacıyla standartlaştırılmış iklim koşullarında titizlikle hazırlanan testlere sistematik olarak tabi tutulmuştur. Çeşitli parametreler üzerinden performanslarının dikkatli bir şekilde incelenmesi ile, bu çalışma, bu sistemlerin verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından daha derin bir anlayışa ulaşmayı amaçlamaktadır ve böylece sürdürülebilir enerji çözümleri alanında genişleyen bilgi birikimine katkı sağlamaktadır. Bu araştırma bulgularının, ısı depolama ile donatılmış parabolik oluklu güneş kolektörlerinin potansiyelini ortaya koyması, sürdürülebilir enerji alanındaki konumlarını sağlamlaştırarak daha çevre dostu ve enerji verimliliği yüksek bir geleceğin yolunu açması beklenmektedir.

Araştırma sonucunda, şeffaf parafin ve bakır borular içeren ısı depolama sisteminin ortalama termal verimlilik açısından en yüksek performansa sahip olduğu gözlemlendi. Bu sistemin verimliliği, siyah boru sisteminin %10,7 ve düz bakır boru sisteminin ise %30 üzerindedir. Sonuçlar, ısı depolamalı parabolik oluklu güneş kolektör sisteminin istenilen verimliliği tutarlı bir şekilde elde ettiğini göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler :** Güneş Enerjisi, Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü, Isı Deposu, Parafin

**Bilim Kodu :** 92802

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **PERFORMANCE ANALYSIS OF PARABOLIC THROUGH SOLAR COLLECTOR WITH HEAT STORAGE**

**Burak AKINCI**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Alper ERGÜN**

**October 2023, 66 pages**

Today, energy storage has a crucial role in sustainable energy production and use. Among the array of techniques for energy storage, parabolic trough solar collectors, endowed with the capacity for heat storage, represent a compelling innovation in the domain of sustainable energy systems. These collectors, which effectively embed the energy storage concept within solar energy frameworks, offer a multitude of advantages.

The present study is dedicated to the optimization of parabolic trough solar collector performance, particularly those equipped with heat storage capabilities. To achieve this objective, three unique receiver tube designs have been meticulously engineered. The first design employs a receiver tube constructed from copper piping, recognized for its durability and proficient heat exchange characteristics. The second design entails the application of a heat-absorbent black coating to a copper pipe, thereby

maximizing solar energy absorption. The third design introduces a novel approach with a copper pipe whose surface is coated with paraffin wax material, with the intent of further augmenting thermal efficiency.

These parabolic trough solar collectors, each distinguished by its individual receiver tube configuration, have been systematically subjected to rigorous testing under standardized climatic conditions to ensure impartial and precise evaluation. Through meticulous scrutiny of their performance across various parameters, the study seeks to elucidate a deeper understanding of the efficiency and viability of these systems, thereby contributing to the expanding body of knowledge in the realm of sustainable energy solutions. The findings of this research endeavour are anticipated to cast light on the potential of parabolic trough solar collectors equipped with heat storage, solidifying their position within the sustainable energy landscape, and paving the way for a more environmentally responsible and energy-efficient future.

As a result of the research, it was observed that the heat storage system containing transparent paraffin and copper pipes had the highest performance in terms of average thermal efficiency. Its efficiency was 10.7% higher than the black pipe system and 30% higher than the plain copper pipe system. The findings unequivocally demonstrate that the parabolic trough solar collector system, integrated with heat storage, consistently achieves the targeted level of efficiency.

**Key Word** : Solar Energy, Parabolic Through Solar Collector, Heat Storage,  
Paraffin

**Science Code** : 92802



## TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve eşime, tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan danışman hocam Doç. Dr. Alper ERGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
TÜRKİYENİN ENERJİ DURUMU .....	4
2.1. ENERJİ DEPOLAMANIN ÖNEMİ .....	10
BÖLÜM 3 .....	13
LİTERATÜR TARAMASI.....	13
BÖLÜM 4 .....	24
GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI.....	24
4.1. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ .....	26
4.1.1. Düzlem Plakalı Güneş Kolektörü .....	27
4.1.2. Bütün Depolu Kolektörlü Sistemler .....	29
4.1.3. Doğrudan Absorpsiyon Tüplü Güneş Enerjisi Kolektörü .....	29
4.1.4. Boşaltılmış Tüp Güneş Kolektörü .....	31
4.1.5. Solar Çanağı.....	32
4.1.6. Fotovoltaik Termal Sistem .....	33
4.1.7. Solar Pişirici.....	34
4.1.8. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü .....	34

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	37
ENERJİ DEPOLAMANIN AMACI VE YARARLARI .....	37
5.1. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ .....	38
5.1.1. Isıl Yöntemle Isı Enerjisi Depolama.....	38
5.1.2. Duyulur Isı Depolama.....	39
5.1.3. Gizli Isı Depolama.....	40
5.1.4. Kimyasal Yöntemle Isıl Enerji Depolama.....	41
5.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ISI ENERJİSİ OLARAK DEPOLANMASININ GEREKLİLİĞİ.....	43
BÖLÜM 6 .....	45
MATERYAL VE METOT .....	45
6.1. SİSTEMİN TASARIMI VE İMALATI.....	45
6.2. SİSTEMİN TERMODİNAMİK ANALİZİ.....	47
BÖLÜM 7 .....	50
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	50
BÖLÜM 8 .....	55
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	55
KAYNAKÇA.....	56
ÖZGEÇMİŞ .....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye 2021 ve 1985-2022 arası ortalama güneşlenme süreleri. ....	7
Şekil 2.2. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü Açısından Tabii Kaynakların Grafik Dağılımı. ....	10
Şekil 4.1. Düz Plakalı Güneş Kolektörü. ....	28
Şekil 4.2. Doğrudan Absorpsiyon Tüplü Güneş Enerjisi Kolektörü.....	30
Şekil 4.3. Boşaltılmış Tüp Güneş Kolektörü .....	31
Şekil 4.4. Solar Çanağı.....	32
Şekil 4.5. FV/T sistem genel yapısı. ....	33
Şekil 4.6. Parabolik Oluklu Güneş Kolektör (Şekil Araştırmacı Tarafından oluşturulmuştur). ....	36
Şekil 6.1. Emici Boruların Kesitlerinin Gösterimi. ....	46
Şekil 6.2. Sistemin görünümü ve ekipmanları. ....	46
Şekil 6.3. Sistemin deney anındaki görünümü. ....	47
Şekil 7.1. Güneş ışıını değeriinin zamana göre değışimi.....	50
Şekil 7.2. Çevre sıcaklıklarının zamana göre değışimi. ....	51
Şekil 7.3. Tank sıcaklığının zamana göre değışimi. ....	52
Şekil 7.4. Termal enerjisinin zamana göre değışimi.....	53
Şekil 7.5. Termal verimin zamana göre değışimi. ....	54

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Al	: Alüminyum
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum Oksit
Cu	: Bakır
Gl	: Galvanizli Demir
Kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
m <sup>2</sup>	: Metrekare
NaCl	: Sodyum Klorür
R1234yf	: C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> - Tetrafloropropen
R1234ze	: Yeni nesil chiller soğutma sistemlerinde kullanılan çevreci bir soğutucu akışkandır
R134a	: Soğutucularda kullanılan renksiz inert gaz
R245fa	: C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub> - Pentafluoropropane
R407	: Hidroflorokarbon (HFC) soğutucu gaz karışımı
SCO <sub>2</sub>	: Süperkritik Karbondioksit

### KISALTMALAR

BDK	: Bütün Depolu Kolektör
CFD	: Bilgisayar Destekli Akışkanlar Dinamiği
DAGK	: Doğrudan Soğurma Tüplü Güneş Kolektörü
DNI	: Yüzeyde Birim Alana Düşen Isı Miktarı
DPGK	: Düz Plakalı Güneş Kolektörü
EES	: Mühendislik Denklem Çözücü Programı
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

ETSC	: Vakumlu Tüplü Güneş Kolektörü
FTS	: Fotovoltaik Termal Sistem
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LPM	: Dakikadaki Litre Miktarı
NPV	: Net Bugünkü Değer
ORÇ	: Organik Rankine Çevrimi
PCM	: Faz Değiştiren Maddeler
POGK	: Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü
RNG	: Yenilenebilir Doğal Gaz
SAM	: System Advisor Model
TEM	: Termal Enerji Depolama
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YSA	: Yapay Sinir Ağı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Güneş enerjisi, çevreci, ekonomik açıdan verimli olmasıyla yatırımcıların ilgisini çeken yenilenebilir enerji çözümlerinin önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde çevre kirliliğinin giderek artan boyutlara ulaşması ve enerji arzında yaşanan kesintiler ve sıkıntılar, yenilenebilir enerjinin büyük bir stratejik öneme sahip olmasına yol açmıştır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerjiyi teşvik etme amacıyla üretim ve tüketim aşamalarında kamu tarafından çeşitli politika araçları ve düzenlemeler kullanılmaktadır [1].

Türkiye’de coğrafi özelliklerine dayalı olarak son yıllarda Güneş Enerjisi Santralleri (GES) gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkede verimli bir şekilde kullanımı artış göstermiştir. 2022 yılında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerjisi kaynaklı üretilen elektrik miktarı toplam elektrik üretiminin %15’lik kısmını oluşturduğu gözlenmiştir [2]. Ayrıca, bu doğal ve bol enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynakları günlük yaşamda sıcak su üretimi dahil olmak üzere çok yönlü kullanım alanlarına da sahiptir [3]. Özellikle yüksek sıcaklık koşullarında, güneş enerjisi, buhar üretimi ve elektrik üretimi için kullanıma olanağı sunan konsantratör tabanlı parabolik oluklu güneş sistemleri daha da fazla ilgi çekmektedir. Bu gelişmiş sistemler, güneş enerjisini elektriğe dönüştürmek için yenilikçi buhar üretme teknikleri kullanır. Parabolik oluklu güneş kolektörleri (POGK), yansıtıcı yüzeyleri sayesinde güneş ışığını odak noktasına yönlendirerek ışınları yoğunlaştırır ve enerji üretimi için emici borulara ileterek verimli bir enerji üretimine olanak tanır. Ayrıca, binalarda sıcak su üretimi için kullanılan enerji, toplam enerji talebinin %15 ila %40’ını oluşturduğu düşünülürse, güneş enerjisinin bu uygulamalarda kullanılmasının önemini daha da vurgulamaktadır [4]. Bu veriler, güneş enerjisinin sürdürülebilir enerji üretimindeki etkisinin önemli bir göstergesidir.

Otel, hastane, alışveriş merkezi gibi büyük enerji tüketimine sahip kurumların yanı sıra endüstriyel tesisler, üniversite kampüsleri ve konut kompleksleri gibi bir dizi farklı uygulama alanında, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda hızlı ve yüksek sıcaklıkta kullanım suyu sağlama ihtiyacı oldukça önemlidir. Bu bağlamda, güneş enerjili su ısıtma sistemleri, bu tür mekanlarda enerji tüketiminin azaltılması ve çevresel ayak izinin minimize edilmesi için vazgeçilmez bir çözüm sunmaktadır. Bu sistemler arasında, POGK, yüksek verimliliği ve geniş uygulama yelpazesıyla dikkat çekmektedir [5,6]. POGK sistemleri, sayısal modellemeye dayalı olarak geliştirilmekte ve deneysel çalışmalarla desteklenmektedir. Bu alanda birçok araştırma bulunmaktadır ve bu çalışmaların temel hedefi, POGK sistemlerinin maliyet-etkinliğini artırmak, yeni tasarım yaklaşımları geliştirmek ve enerji verimliliğini optimize etmektir [7,8]. Özellikle, bu sistemler sayesinde güneşli günlerde günlük maksimum 36°C ile 65°C arasında yüksek sıcaklıkta su üretmek mümkün hale gelmektedir [9]. Daha da önemlisi, yüksek konsantrasyon oranına sahip konsantre güneş kolektörleri, bu sıcaklık seviyelerine daha hızlı bir şekilde ulaşabilmekte ve enerji verimliliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu sayede, POGK sistemleri bulutlu günlerde dahi yüksek sıcaklık suyu üretme kapasitesini koruyarak güvenilir bir enerji kaynağı olmaya devam etmektedir [10]. Bu nedenle, güneş enerjili su ısıtma sistemleri, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından geniş bir uygulama yelpazesi için vazgeçilmezdir.

POGK verimliliğini artırmak amacıyla yapılan çalışmalar, farklı parametreler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalar, çalışma akışkanının değiştirilmesi, alıcı tüplere kanatçıkların eklenmesi ve alıcı tüp malzemesinin değiştirilmesi gibi çeşitli parametreleri içermektedir [11-12]. Bu gelişmeler, POGK sistemlerinin güneş enerjisinin kesintili doğasından kaynaklanan zorlukları aşma potansiyelini artırmaktadır. Bununla birlikte, POGK sistemlerinin termal enerji depolamalı sistemlerle entegre edilmesi, güneşin olmadığı saatlerde enerji sağlama kapasitesini artırarak daha verimli bir enerji üretimini mümkün kılmaktadır. Bu termal enerji depolamalı sistemler, güneş enerjisi kullanımını daha istikrarlı hale getirmekte ve enerji kaynaklarının daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Yapılan dinamik modelleme sonuçları, FDM kullanımının sayesinde güneş ışığının olmadığı saatlerde soğutma sisteminin enerji tasarrufu açısından %30'a kadar avantaj sağlayabileceğini göstermektedir [13]. Ayrıca, farklı içi boş tüp tasarımlarının



kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar, değiştirilmiş halkalı bükülmüş bant tasarımının geleneksel bükülmüş bantlara kıyasla termal performansını %24 daha fazla artırabildiğini göstermektedir. Bu çalışma, POGK sistemlerinin termal verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir enerji üretimini optimize etmek amacıyla yapılan tasarım değişikliklerinin önemini vurgulamaktadır [14]. Türkiye'de POGK teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanması, güneş enerjisi alanındaki büyümeyi desteklemektedir [15]. Ülkenin güneş enerjisi potansiyeli ile birleştirildiğinde, POGK sistemleri elektrik üretimi, sıcak su üretimi ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda büyük bir potansiyele sahiptir [16]. Türkiye'deki araştırmacılar ve mühendisler, POGK sistemlerinin yerel üretimi ve verimliliği artırılması için çalışmaktadır.

Bu çalışma, güneş enerjisi teknolojilerinin bir bileşeni olan POGK sistemlerinin performansını ısı depolama yöntemiyle artırmaya odaklanmaktadır. Önerilen sistemin verimliliğini iyileştirmek adına emici boruda ısı depolama malzemesi olarak parafin birleşeni kullanılmıştır ve farklı tasarım durumlarında deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma 3 farklı tipte alıcı boruya sahip bir POGK sistemin içermektedir. Bakır boru, siyah boyalı boru ve FDM olarak şeffaf parafin kullanan böylece ısı depolama yeteneğine sahip alıcı borular POGK sisteminde benzer iklim koşullarında test edilmiştir.

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir ülke olarak POGK teknolojisine büyük ilgi göstermektedir. Özellikle ülkemizin güney bölgeleri, güneş enerjisi toplama sistemleri için ideal bir coğrafyaya sahiptir. Bu bağlamda, Türkiye'nin güneş enerjisi sektöründe POGK teknolojilerine daha fazla yatırım yapma potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye'nin POGK sistemlerine olan bu ilgisi, güneş enerjisi alanında inovasyon, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini teşvik etmek için önemli bir fırsat sunmaktadır. Ülkemiz, yerel enerji üretimini artırarak enerji bağımsızlığını güçlendirebilir ve aynı zamanda sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edebilir. Bu bağlamda, yapılan bu tez çalışması Türkiye'nin POGK teknolojileri alanındaki potansiyelini değerlendirmesi ve yerel enerji üretimini artırması, gelecekte enerji sektöründe daha etkili ve sürdürülebilir bir rol oynamasına katkı sağlayabilir.

## BÖLÜM 2

### TÜRKİYENİN ENERJİ DURUMU

Türkiye, hızla büyüyen bir ekonomi olmasına rağmen, enerji tüketimi bu büyümeye paralel olarak artan bir eğilim göstermektedir. Son çeyrek yüzyılda Türkiye'nin yıllık birincil enerji tüketimi, 55 milyon ton petrol eşdeğerinden 155 milyon tona yükselmiştir. Bununla birlikte, Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına yüksek derecede dışa bağımlılığı vardır ve bu durum ülkenin yüksek dış ticaret açıkları ve cari işlemler açığı vermesine neden olmaktadır. Bu nedenle, küresel enerji fiyatlarının değişmesi, Türkiye'nin enerji faturalarını ve dış finansman ihtiyacını doğrudan etkileyerek, Türk finansal varlıkları üzerinde ek baskı oluşturmaktadır [17].

Ülkelerin kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneği, enerji sektöründe stratejik bir husus olarak kabul edilir ve günümüzde bağımsızlıkla eşdeğer bir değer taşır. Türkiye'nin, 2009/11 sayılı Yüksek Planlama Kurulu kararı eki sayılan “Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesi” kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları konusunda 2023 yılı ve sonrasında artan nüfusunun enerji talebini büyük ölçüde yerli kaynaklar ve kapasiteler aracılığıyla karşılayabilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedefleri olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, Türkiye'nin gelecek yıllardaki birincil enerji gereksinimlerinin ayrıntılı bir biçimde hesaplanması ve bu gereksinimin nasıl etkin bir şekilde giderilebileceğine dair ayrıntılı araştırmalar yürütülmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu çerçevede, enerji arz güvenliğini sağlama, alternatif enerji kaynaklarını geliştirme ve enerji verimliliği önlemlerini yaygınlaştırma gibi stratejik adımların atılması gereklidir [18].

Ülkelerin bağımsızlığının belirgin bir göstergesi, enerji arz güvenliğinin sağlanmasıdır. Enerji arz güvenliği alanında, ısı üretimi ve elektrik enerjisi güvencesinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları da önemli bir konumda bulunmaktadır. Enerji sektörünün önemli bir payını, rüzgâr, biyo-yakıt, hidrolik, fotovoltaik gibi yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır ve bu kaynakların en

etkili şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu bağlamda, enerji politikalarının tasarımı ve uygulanması süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının stratejik entegrasyonu, enerji arz güvenliğinin artırılması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin desteklenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır [19].

Enerji arz güvenliği, çeşitli etmenler tarafından şekillendirilmekte olup bunlar arasında petrol fiyatları, birincil enerji kaynaklarının arzı, yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı, karbondioksit emisyonu ve kişi başına düşen enerji tüketimi gibi faktörler yer almaktadır. Bu nedenle, enerji arz güvenliğinin sağlanması için çeşitli yaklaşımlar gereklidir. Bu yaklaşımlar, mevcut enerji kaynaklarının yeni teknolojiler kullanılarak verimliliğinin artırılmasını içerebileceği gibi, çevresel etkilerin azaltılması da hedeflenmelidir. Aynı zamanda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da artırılmalıdır. Bu çerçevede, enerji politikalarının, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği hedeflerini dengeleyecek şekilde tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji alanlarının geliştirilmesi ve bu kaynakların etkin kullanımının teşvik edilmesi, enerji arz güvenliğinin temel taşları arasında yer almaktadır [20].

Günümüzde ise artan enerji talebinin önemli bir bölümü, hala yüksek miktarlarda hidrokarbon içeren fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Bu durum, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunlarla mücadele amacıyla dünya genelinde, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları büyük bir öncelik taşımaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kullanımının hem dünya genelinde hem de Türkiye'de hızla artması, yenilenemeyen enerjiye olan talebin hızla azaltılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu durum, çevresel etkilerin azaltılması ve enerji kaynakları çeşitliliği açısından büyük bir önem taşımaktadır [21].

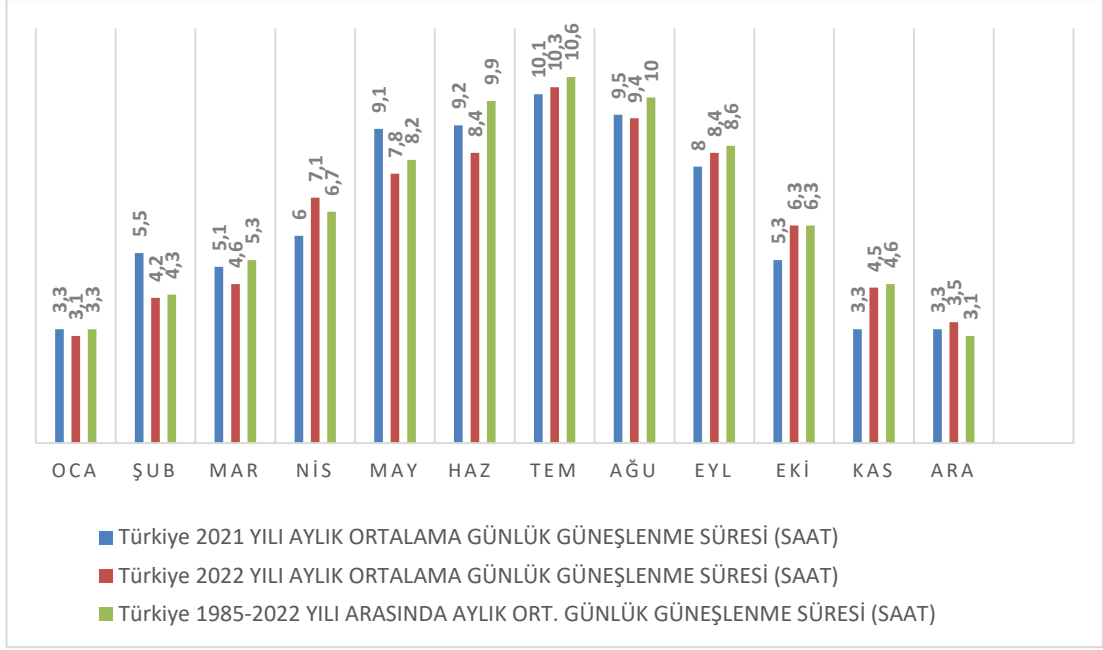
Türkiye'nin enerji kullanımını tüm sektörlerde daha etkili hale getirmek amacıyla, stratejik planlar oluşturması ve enerji verimliliği konusunda finansal araçlar geliştirmesi gerekmektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek için Avrupa Birliği ülkelerinde başlatılan ve piyasa temelli bir enerji verimliliği politikası olan "enerji verimliliği yükümlülükleri" uygulamasının Türkiye'de de benimsenmesi gerektiği görülmektedir.

Bu yaklaşım, enerji verimliliğini artırmada etkili bir araç olarak kabul edilmektedir [22].

2010 yılı öncesinde Türkiye'de yaşayan insanlar yaşadıkları evlerin ve apartmanların çatılarında güneş enerjisini kullanarak sıcak su elde etmekteydiler. Bu durum güneş enerjisinin o senelerde sadece tek bir alanda kullanıldığı anlamına gelmekteydi. Ancak ilerleyen dönemlerde 2010 yılı da dâhil olmak üzere güneş enerjisinden elektrik üretme çalışmaları başladı ve 2014 yılında ilk tesis hizmet vermeye başladı. 2017 yılında ise güneş enerjisinden elde edilen gücün önceki dönemlere göre 50 kat arttığı tespit edildi [23].

Türkiye'nin güneşlenme süresinin ve güneşten aldığı radyasyon değerlerinin çok büyük olmasına rağmen, güneş enerjisinden üretilen enerji miktarı, üretilen diğer toplam enerji miktarlarına göre oldukça azdır. Ancak bu düşük üretim değerlerinin zaman içerisinde artırılacağı tahmin edilmektedir [2]. Güneş enerjisi potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye coğrafi konumu nedeniyle diğer ülkelere göre avantajlı konumdadır. Türkiye için hesaplanan toplam ortalama güneşlenme süresi yaklaşık yılda 2737 saattir [24]. Türkiye'nin farklı bölgelerinde yıllık ortalama güneş enerjisi şiddetlerine bakıldığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi, en yüksek güneş enerjisi şiddetine sahipken, Akdeniz Bölgesi ikinci sırada ve Doğu Anadolu Bölgesi üçüncü sıradadır. Türkiye genelinde yıllık ortalama güneş enerjisi şiddeti 1303 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, güneş enerjisi potansiyelinin coğrafi bölgelere göre değişebileceğini göstermektedir [25].

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 12 ay boyunca elde edilen günlük değerlerden güneş enerjisi dağılımını göstermek amacıyla aylık güneş enerjisi potansiyel atlası hazırlamaktadır. 2022 yılı için Türkiye'nin aylık güneşlenme sürelerinin 2021 ve 1985-2022 arası ortalama güneşlenme süreleri ile karşılaştırılması Şekil 2.1'de gösterilmektedir [26].



Şekil 2.1. Türkiye 2021 ve 1985-2022 arası ortalama güneşlenme süreleri.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel haritasına göz atıldığında, güneşlenme potansiyelinin kuzeyden güneye doğru arttığı görülmektedir. En düşük radyasyon değerleri, genellikle bulutlu günlerin sık olduğu Karadeniz bölgesinde kaydedilirken, güneşli gün sayısı daha azdır. Ege ve Marmara bölgelerinde güneş ışınım seviyeleri orta düzeyde iken, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde maksimum düzeydedir. Ayrıca, Güneydoğu ve Akdeniz bölgeleri yılın 12 ayında sürekli olarak yüksek güneş enerjisi verimliliği elde ederken, diğer bölgeler yaklaşık 8,5 ay boyunca benzer bir verimlilik sağlar [27].

Türkiye, güneşlenme süreleri konusunda coğrafi yapısı itibariyle son derece yüksek bir potansiyele sahip olsa da mevcut potansiyeli yeterli düzeyde kullanmakta sıkıntılar yaşamaktadır. Birincil enerji kaynakları açısından oluşan dışa bağımlılık, çeşitlendirmenin arttırılamaması, Türkiye'de hızla artan nüfus ve gelişen sanayi, gün geçtikçe artan enerji talebini beraberinde getirmekte ancak mevcut enerji kaynakları bu talebi karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu durum, enerji üretimi ile tüketimi arasındaki farkın giderek büyümesine neden olmaktadır [28].

Enerji kaynaklarının giderek azalması bağlamında, yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve özel sektörün bu alana yönelmesi son derece kritik bir önem taşımaktadır. Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimi, sera etkisi, çevre kirliliği, doğal bitki

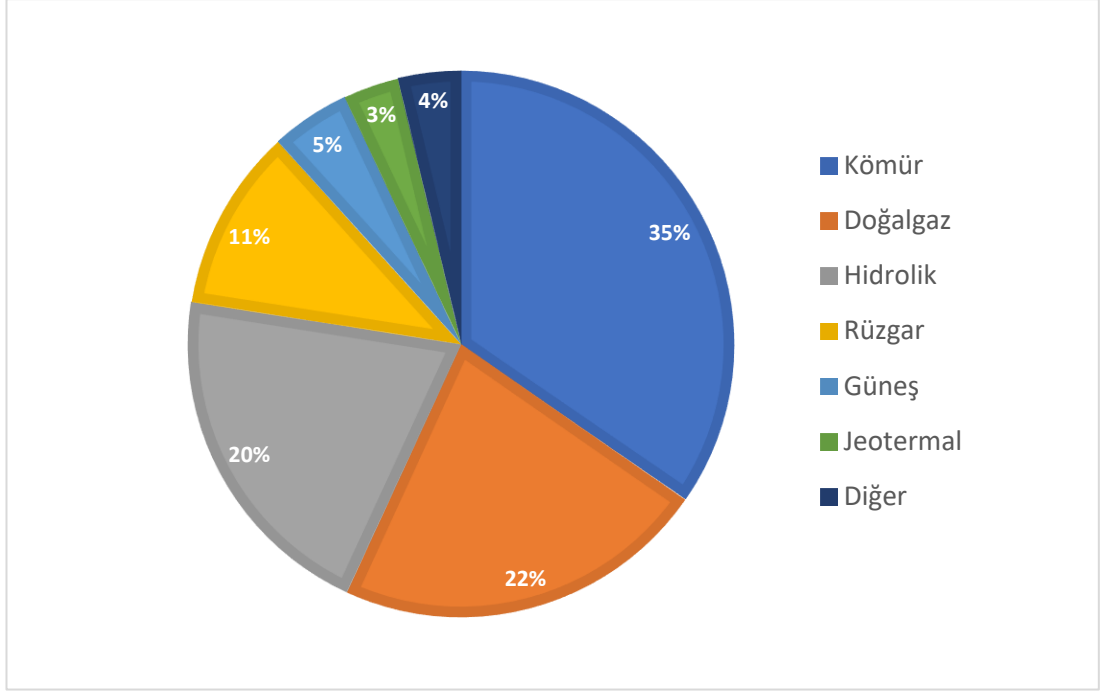
örtüsü ve insan sağlığına yönelik olumsuz etkiler nedeniyle geleceksiz bir yaklaşımdır. Teknolojik gelişmelerle birlikte, çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük maliyet avantajı ile daha geniş bir kullanım alanına sahip olması beklenmektedir. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinin, hem yüksek hacimli enerji üretimine katkı sağlaması hem de bireysel düzeyde enerji üretimine olanak tanınmasıyla öne çıkması beklenmektedir [29].

Ülkemiz genelinde, fosil yakıtlara dayalı enerji kaynakları büyük bir paya sahiptir. Üretim kapasitesi sınırlı olsa da ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli açısından son derece avantajlı bir coğrafyada bulunmaktadır. Yer altı kaynaklarının kısıtlı olması ve yağış düzenindeki belirsizlikler, su kaynaklarımızı elektrik üretiminde dikkatli bir şekilde kullanmayı gerektirse de özellikle güneş ve rüzgâr enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretimi ülke genelinde mümkün hale gelmektedir. Bunun yanı sıra, enerji tedarikini dışa bağımlılıktan kurtulmak ve enerji arz güvenliği oluşturmak amacıyla elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların çeşitlendirilmesi de elzemdir [30].

Türkiye'nin petrol rezervleri üzerine yapılan analizde, Türk Petrolleri Anonim Ortaklığı'nın çalışmalarına göre 2018 yılı itibariyle 366 milyon varil rezerv bulunduğu ancak yeni keşifler olmaması durumunda bu rezervin yaklaşık 18 yıllık bir süreyle yeteceği öngörülmektedir. 2018'de yerli ham petrol üretiminin ham petrol tüketimine oranının %11,9 olduğu, ancak 2019 yılında bu oranın %8,8'e düştüğü görülmektedir, yani petrole olan bağımlılığın arttığı gözlemlenmektedir. 2019 yılı itibariyle Türkiye'nin günlük ortalama 60 bin varil eşdeğer ham petrol üretimi olduğu ancak günlük tüketimin 684 bin varil eşdeğer olduğu görülmektedir. Aynı yıl 624 bin varil eşdeğer ham petrol ithalatı ve 273 bin varil eşdeğer işlenmiş ürün ithalatı gerçekleşmiştir. Türkiye'nin 2019'daki petrol ithalat bağımlılığı %91,2 olarak hesaplanmıştır. Doğal gaz rezervleri açısından, 2018 yılında Türkiye'nin 3,8 milyar metreküp doğal gaz rezervine sahip olduğu ancak yeni kaynaklar bulunmadığı takdirde mevcut üretilebilir doğal gaz rezervinin 9 yıl yeteceği görülmektedir. 2019'da Türkiye toplam 45,7 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz tüketimi gerçekleştirmiş, bunun 45,2 milyar m<sup>3</sup> kısmı ithal edilmiştir [31].

Türkiye'nin kömür rezervlerine baktığımızda, en önemli taşkömürü rezervlerinin Zonguldak Havzası'nda bulunmaktadır. 2020 yılına kadar yapılan rezerv araştırmaları sonucunda -1200 metre derinliğe kadar olan bölgede toplam 1,517 milyar ton jeolojik rezervin tespit edildiği bilinmektedir. Bu rezervin yaklaşık %48'i görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. 2019 yılında Türkiye'de 39.506.000 ton taşkömürü tüketilmiş olup, bunun 1.206.748 tonu yerli üretimden, 38.300.000 tonu ise ithal kaynaklardan temin edilmiştir [32].

Türkiye'nin linyit rezervleri konusuna bakıldığında, 2018 yılı itibarıyla 19.136.809.000 ton linyit rezervine sahip olduğu tespit edilmektedir. Ülkenin yıllık linyit tüketimi ise 2017 yılında yaklaşık 71,7 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Linyit rezervleri, taşkömürüne kıyasla yaklaşık olarak 12,6 kat daha fazladır. Ancak bu linyit rezervlerinin daha etkin bir şekilde çıkarılabilmesi için temiz kömür çıkarma teknolojilerine daha fazla odaklanması büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda küresel olarak büyük ilgi gören kaya gazı, Türkiye açısından önemli rezervlere sahiptir. Yapılan araştırmalara göre Marmara Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi ve Sivas ili çevresinde kaya gazı havzaları bulunduğu bilinmektedir. Türkiye'nin kaya gazı rezervi yaklaşık 13 trilyon m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır, ancak bunun sadece 1,8 trilyon m<sup>3</sup>'ünün üretilebilir olduğu belirlenmiştir. Ülkenin yıllık ortalama 50 milyar m<sup>3</sup> doğal gaz tüketimi göz önüne alındığında, bu rezervin yaklaşık 40 yıllık bir süre için yeterli olduğu söylenebilir [33]. Türkiye, coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi potansiyeli açısından büyük bir avantaja sahip olmasına rağmen bu potansiyeli yeterince kullanamamaktadır. Birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlılık, sınırlı çeşitlendirme ve çevresel etkiler göz önünde bulundurulduğunda, oluşturulacak enerji portföyünde yerli kaynakların etkin bir şekilde kullanılması, enerji çeşitliliğinin artırılması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla alternatif enerji kaynaklarının benimsenmesi son derece kritik bir önem taşımaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) verilerine göre, oranlar Şekil 2.2'de gösterilmiştir [34].



Şekil 2.2. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü Açısından Tabii Kaynakların Grafik Dağılımı.

Bu dağılım, Türkiye'nin elektrik üretim portföyünün farklı enerji kaynaklarına dayandığını ve elektrik talebinin karşılanmasında bu kaynakların çeşitli oranlarda kullanıldığını göstermektedir [34].

## 2.1. ENERJİ DEPOLAMANIN ÖNEMİ

Ülkemizin büyüyen nüfusu ve hızla ilerleyen sanayisi nedeniyle, enerji talebi mevcut üretimle karşılanamamakta ve enerji üretimi ile tüketimi arasındaki fark giderek büyümektedir. Bu bağlamda, var olan enerji kaynaklarımızın daha etkili bir şekilde kullanılması gitgide daha fazla önem kazanmaktadır. Yüksek enerji talebinin karşılanabilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin verimli bir şekilde depolanması ve ihtiyaçları karşılayacak en uygun dönüşümlerin geliştirilmesi yarar sağlayacaktır [35].

Günümüzde dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı, kömür, doğal gaz ve petrol gibi geleneksel enerji kaynaklarının kullanımıyla karşılanmaktadır. Aynı zamanda, küresel enerji talebi zaman içinde artmakta ve bu da konvansiyonel yakıt kullanımını artırmaktadır. Bu durum, konvansiyonel kaynakların gereksinimini artırmaktadır.



Bununla birlikte, bu geleneksel enerji kaynaklarının rezervleri dünya genelinde sınırlıdır ve artan enerji talebi nedeniyle bu rezervler her geçen yıl hızla azalmaktadır. Bu durum gelecekteki üretim ve tüketim dengelemesini tehlikeli bir noktaya taşımaktadır [36]. Bu bağlamda, konvansiyonel yakıtların kullanımı, sera gazı salınımının büyük ölçüde artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi küresel çapta ciddi sonuçların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu sebeple günümüzde özellikle güneş ve rüzgâr gibi alternatif ve yenilenebilir enerji sistemleri, çevre dostu ve sürdürülebilir işletim modelleri sunmaları nedeniyle gelecekteki enerji portföyü planlamalarında öncelikli olarak ele alınmaktadır [37].

Ancak, bahsi geçen alternatif enerji kaynaklarının çoğu doğa koşullarına bağımlıdır. Bu sebeple, bu kaynaklarla elde edilen enerji miktarı anlık, günlük ve mevsimsel olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durum, üretilen enerjinin genel enerji talebi ile tam anlamıyla senkronize olamayabileceği anlamına gelir. Bu açıdan, enerji üretim ve tüketim dengesini sağlamak için enerji depolama sistemleri büyük bir gereklilik arz etmektedir. Bu alternatif kaynaklardan üretilen fazla enerji, farklı türlerdeki enerji depolama birimlerine transfer edilir. Depolanan bu enerji, ana enerji kaynakları yetersiz olduğunda veya mevcut olmadığında enerji talebini karşılamak amacıyla kullanılır. Özellikle bağımsız enerji sistemleri için, enerji depolama birimlerinin araştırılması ve incelenmesi büyük bir öneme sahiptir [38].

Enerji depolama, enerji sektörünün temel bir unsurudur. Bu teknoloji, enerji üretimi ile tüketimi arasındaki dengenin korunmasında, enerji kaynaklarının etkili kullanılmasında, enerji güvenliğinin artırılmasında ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde kilit bir rol oynamaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları, dalgalı ve kesikli bir karaktere sahiptir; rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklar, hava koşullarına ve güneş ışığının mevcudiyetine bağlı olarak enerji üretmektedirler. Bu nedenle, enerji depolama, bu dalgalı üretimi dengelemek, enerji rezervlerini optimize etmek ve sürekli bir enerji arzı sağlamak için gereklidir. Aynı zamanda, enerji depolama, enerji şebekelerinin istikrarını artırırken elektrik kesintilerini azaltarak kullanıcılara kesintisiz enerji temin etmekte önemli bir rol oynar. Bu teknoloji, elektrik maliyetlerini düşürme, enerji kaynaklarını daha etkili kullanma ve karbon ayak izini azaltma amacıyla kritik bir araç sunar. Sonuç olarak, enerji depolama, geleceğin enerji sisteminin temel bir bileşeni olarak kabul edilir ve

sürdürülebilir enerji dönüşümünün başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için hayati bir öneme sahiptir [39].

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR TARAMASI

Parabolik oluklu güneş kolektörünün (POGK) modellemesini ve ekserji analizini dair literatürde birçok çalışma yer almaktadır. POGK alanında yapılan bu çalışmalar daha çok isi değişim mekanizmaları üzerine odaklanmıştır. Çalışmaların geçerliliği ve güvenilirliği MATLAB<sup>®</sup>, Simulink<sup>®</sup> ve MathWorks<sup>®</sup> yazılım programları kullanılıp yeni hesaplama kodları geliştirilerek ve analitik modellemeler yapılarak sağlanmıştır. Sonuçların doğruluğu hazırlanan deney düzeneğinde Isı transfer akışkanı olarak Syltherm 800 kullanılarak sağlanmıştır. Deneysel bulgular, ekserji verimliliğinin ısı transfer akışkanı giriş sıcaklığı ve yüzeyde birim alana düşen isin miktarı (DNI) ile doğru orantılı, kütle akış hızı ve ortam sıcaklığı ile ters orantılı olduğunu göstermiştir [40].

Literatürdeki başka bir çalışmada ise ısı transfer akışkanlarının POGK'nin termal ve hidrolik performansları üzerindeki karşılık gelen etkisi incelenmiştir. Uygulamada üç tip saf akışkan kullanılmıştır; bu akışkanlar su, Therminol VP-1 yağı ve erimiş tuzdur. Her bir akışkanın performansı değerlendirildikten sonra, POGK sisteminin genel termal verimliliği analiz edilmiştir. Sonuçlar, güneş kolektöründeki çalışma sıvısının değiştirilmesinin toplam ısı transferini arttırdığını ve dolayısıyla termal üretkenliği geliştirdiğini doğrulamıştır [41].

Güneş kolektörü, zahmetsiz ve yerel olarak elde edilebilen malzemeler kullanılarak geliştirilen ve nanoakışkanların POGK performansı üzerindeki etkisi araştırılan bir çalışmada ısı transfer akışkanı olarak alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) ve damıtılmış su (DI), beş farklı konsantrasyonda kullanılmıştır. Bu iki akışkanın performanslarını karşılaştırması her gün saat 8:00-16:00 saatler arasında deneyler yapılarak sağlanmıştır. Sonuçlar, öğle saatlerinde gözlemlenen maksimum üretkenliğin DI için

%60,41, %2,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonu için %60,49 ve DI'ye göre verimlilik artışının %3,90 olduğunu göstermiştir [42].

Ülkemizde bu alanda Isparta Organize Sanayi Bölgesi'nde POGK kullanımına ilişkin fiyat performans çalışması yapılmıştır. Çalışmada %67 verimliliğe sahip 30 m<sup>2</sup> modül uzunluğunda kolektörü, ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Arsa alanı, maliyet analizi ve istenilen 10000 MW güce ulaşmak için gerekli kolektör sayısı hesaplanmıştır. Çalışma sonunda kolektör sayısı olarak 500, arsa alanı 200.000 m<sup>2</sup>, türbin ve parabolik sistem toplam yatırımı 30.405.000 TL, yıllık geliri 5.570.000 TL olarak belirlenmiştir [43].

Fiyat performanstan farklı olarak enerji verimliliği üzerine yapılan başka bir çalışmada ise 4m<sup>2</sup> POGK tasarlanmış, daha sonra etkinliğini teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Güneş kolektörüne gelen faydalı enerjinin hesaplanmasında Excel programı kullanılmıştır. Çalışma sonunda teorik olarak maksimum enerji ve verimin 880 W/kolektör, deneysel olarak %63 maksimum enerji ve verimin sırasıyla 835 W/kolektör ve %57 olduğu tespit edilmiştir [44].

Yaygın olarak kullanılan yazılım programlarından farklı olarak ve Bilecik şehir koşullarını dikkate alınıp, POGK'nin Yapay Sınır Ağı (YSA) tabanlı optimizasyonunu farklı bir çalışmanın konusu olmuştur. Sistemde ısı transfer akışkanı olarak Therminol-VP1, termal depolama malzemesi olarak eriyik tuz, Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) çevriminde çalışan beş farklı soğutma akışkanı (R-134a, R-141b, R-600a, R-236ea, R1234ze) kullanılmıştır. Her akışkan için farklı sıcaklık ve basınç tespit edilip sonrasında enerji, ekserji ve Net Bugünkü Değer (NPV) analizi yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda enerji verimliliği %32,8, ekserji %41,9 ve sistemden elde edilebilir enerji 186,9 MWh olarak bulunmuştur. Ayrıca POGK'nin NPV değerinin pozitif çıkması sistemin yatırıma uygun olduğu anlamına gelmektedir [45].

Parametre sayısı olarak yapılan daha kapsamlı bir uygulamada faydalı enerji, ısı kaybı, termal-optik üretkenliğini hesaplamak ve giriş-çıkış sıcaklıklarını ölçmek için POGK tasarlanıp ve kurulumu yapılmıştır. Çalışmada ısı transfer akışkanı olarak Renolin Therm 320, reflektör olarak parlatılmış alüminyum levha, Tanpera TDB 160/10 çift

bobin ısı depolama ve ısı eşanjörü olarak kazan tankı, akış ölçümü için K tipi termokupl, ASTM A160 GR ve yağ döngüsünün borulanması için B dikişsiz karbon çelik boru kullanılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum sıcaklık 14:20'de 65 °C, maksimum verimlilik 15:30'da %14,5 olarak bulundu. Ayrıca sıcaklık 60 °C iken alıcıda geçiş ve türbülanslı akış gözlenmiştir [46].

Ortaya çıkan problemleri çözmek veya farklı yaklaşımlar elde etmek için matematiksel modellemeler kullanılarak, ısı transferini hesaplamak için radyal ve aksel sıcaklık dağılımının elde edildiği POGK'nin indirgenmiş sıralı sistem oluşturulmuştur. Farklı akışkanlar olarak termal yağ, su ve nanoakışkan kullanılmıştır. Model, şematik görsellik oluşturmak için Phyton yazılımı ve OpenGL kullanılarak çözülmüştür. Sonuç olarak, nanoakışkanda kullanılan toplayıcıda 0,04 ve 0,02 hacim fraksiyonu için sırasıyla %80 ve %79 oranında daha yüksek ısı verim gözlenmiştir [47].

Kullanılan malzemelerden farklı olarak sistemin en önemli parçalarından biri olan cam kapak üzerinden ısı transfer akışkanın giriş sıcaklığı ve rüzgar hızı parametrelerini değiştirerek parabolik oluk güneş kolektörü üzerinde Hesaplamalı Akışkanlar dinamiği (CFD) çalışması gerçekleştirmiştir. Isı transfer akışkanındaki sıcaklık artışı ve basınç düşüşü hesaplanarak toplayıcının alıcı performansının, emici tüp ve cam kapak üzerindeki ortam sıcaklık dağılımının analizi yapılmıştır. Çevre sıcaklığı farkının büyük ölçüde ısı transfer akışkanının giriş sıcaklığına bağlı olduğu sonucuna varılmıştır [48].

2019 yılında yapılan bir çalışmada parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı-yansıtıcı yüzeyin matematiksel modellemesi incelenmiştir. Bu çalışmada, dikey koordinat düzlemindeki bilinmeyen bir eğri kullanılarak güneş ışığının fiziksel özellikleri ve sistemin geometrisi göz önünde bulundurulmuş, bu verilerle doğrusal olmayan bir diferansiyel denklem türetilmiş ve başarılı bir şekilde çözülmüştür. Sonuç olarak, parabolik eğrinin denklemi analitik olarak elde edilmiştir [49].

2018 yılında yapılan bir çalışma POGK ve güneş enerjisi kulesinin enerji üretim analizini ve uygulamalarını içermektedir. Bu çalışma, POGK ve merkezi alıcılı güneş kuleleri konularına ayrıntılı bir şekilde odaklanmış olup, bu sistemlerin

uygulanabilirliği hibrit ve Bilecik bölgesi için bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Güneş enerjisi kulesi-POGK analizi, System Advisor Model (SAM) programı kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve daha sonra bu iki sistemin hibrit kullanım senaryolarında yıllık üretilebilecek enerji miktarları belirlenmiştir. SAM programının sonuçlarına göre, Bilecik bölgesinin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2320 saat olarak hesaplanmış, yıllık küresel yatay güneş ışınımı 1361,45 kWh/m<sup>2</sup> ve direkt ışınım ise 920 W/m<sup>2</sup> olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, POGK ve güneş enerjisi kulesi sistemlerinin bir arada kullanıldığı durumlarda Bilecik'in önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu ve bu hibrit sistemlerin toplam verimliliğinin %18 olduğu sonucuna varılmıştır [50].

Parabolik oluk güneş kolektörünün çift eksenli izleme sisteminin performans değerlendirmesini içeren bir çalışma 2018'de literatüre girmiştir. 24 konsantrasyon oranlı güneş kolektörü iyileştirilmiş ve tek ve çift eksen izleme modlarının optik performans üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kolektörün ısıl performansı deneysel olarak %0,813 olarak belirlenmiş ve yıllık ortalama değer %14,3 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, yıllık ortalama değerin sırasıyla %14,3 ve %40,9 olarak Doğu-Batı ve Kuzey-Güney izleme modlarından daha yüksek olduğunu göstermektedir [51].

2018 yılında gerçekleştirilen başka bir çalışmada, POGK sisteminin performans ve ısı transferi özelliklerini artırmak amacıyla Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Deneysel inceleme sırasında çalışma akışkanını olarak su ve soğurucu malzeme olarak Cu (Bakır), Al (Alüminyum) ve GI (Galvanizli Demir) kullanılmıştır. Çalışma sürecinde, kütle akış hızı, absorban tüpü ve malzemesi gibi önemli faktörler dikkate alınmıştır. Deneylein sonuçları, MINITAB 17 yazılımını kullanılarak optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Cu malzemesinin kullanıldığı durumda, 0,026 m çapındaki absorban boru üzerinde 0,001756 kg/sn'lik kütle akış hızında faydalı ısının maksimum değerine ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, suyun çıkış sıcaklığının 0,030 m çaplı soğurucu üzerinde maksimum olduğu tespit edilmiştir [52].

POGK kombine SCO<sub>2</sub> (Süperkritik Karbondioksit) ve ORÇ'nin performans analizinin incelendiği bir çalışmada enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Güç elde etmek için

SCO<sub>2</sub> ve ORÇ kullanıldı. ORÇ için organik çalışma sıvısı olarak R134a, R1234yf, R407c, R1234ze ve R245fa kullanılmıştır. 0,95 kW/m<sup>2</sup>'de 78,07 olan R407c kombine çevrim maksimum ekserji üretkenliğinin, 0,95 kW/m<sup>2</sup>'de %43,49 maksimum termal verimliliğe sahip olduğu gözlemlendi. Bu kombine çevrimin maksimum çıkışının 3740 kW olduğu, minimum tükenme oranının ise 0,2583 olduğu sonucuna varılmıştır [53]. Sistemin ısı verimliliğinin artırılması hedeflenen bir uygulamada suyla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkanın farklı hacim konsantrasyonlarını kullanarak POGK'nin performans analizini incelenmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-akışkanın %0,5'i suda çözündüğünde, sistemin ısı performansının %63,52'den %73,12'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. Buna dayanarak, nanoakışkanın POGK'nin termal performansını yaklaşık %10 oranında artırdığı sonucuna varılmıştır [54].

Sıcak su üretimi amacıyla POGK'nin tasarımı, imalatı ve performans değerlendirmesi üzerine çalışma yürütülmüştür. Deney düzenlemesinde, yansıtıcı yüzey olarak 2 metre uzunluğunda, 1,22 metre genişliğinde ve 0,32 mm kalınlığında bir akrilik ayna kullanılmış ve sisteme 2,12 metre uzunluğunda bir soğurucu boru entegre edilmiştir. Nisan ayında, sistemin performansı bir tam gün boyunca detaylı bir şekilde incelenmiştir. Saat 12:30'da elde edilen verilere göre, maksimum güneş şiddeti 1200 W/m<sup>2</sup> ve maksimum çıkış sıcaklığı ise 59,9 °C olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, POGK'nin su ısıtma maliyetlerini azaltmak amacıyla daha etkili bir alternatif olduğunu göstermektedir [55].

Farklı parametrelerin matematiksel analizi temelinde POGK'nin performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Performans değerlendirmesinin sonuçlarını elde etmek için, C++ programı kullanılarak matematiksel ifadeler oluşturulmuştur. Yapılan simülasyonlar sonucunda ısı uzaklaştırma faktörü ve verim değişimi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, çıkış sıvısı sıcaklığı ile ışımsal ve termal kayıp parametrelerinin sabit değeri arasındaki ilişki, kütle akış hızının bir fonksiyonu olarak ele alınmış ve bu parametrelerin, boyutsuz güneşlenmeye karşı çeşitli çıkış ve giriş sıvısı sıcaklıklarının modifikasyonu üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir [56].

5 metre uzunluğundaki bir POGK'nin performansını araştırılmıştır. Çalışma akışkanı olarak su ve ısı toplama elemanı olarak paslanmaz çelik seçilmiştir. Deneysel, 0,4 0,8 ve 1,2 LPM gibi farklı akış hızlarında gerçekleştirilmiş ve buna bağlı olarak Reynolds sayıları hesaplanmıştır. Daha yüksek çıkış sıcaklıkları Mart ile Mayıs ayları arasında elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, sıvı akışının laminar olduğunu ve Şubat ile Mayıs ayları arasında diğer aylara kıyasla daha iyi bir çıkış ve yüzey sıcaklığı sergilediğini göstermiştir [57].

Jeotermal enerji ile desteklenen süperkritik ORÇ (Organik Rankine Çevrimi) sistemine POGK'nin entegrasyonunun termal modellemesini incelediği çalışma kapsamında, POGK ve ısı değiştirici için ayrıntılı termal modeller geliştirilmiştir. Sistem performansı, ORÇ ve POKG'nin her bileşenini kullanarak değerlendirilmiştir. Termal modeli oluşturan denklemler EES (Engineering Equation Solver) yazılımı ile çözülmüştür. Model sonuçları, jeotermal santralden elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve model doğruluğu doğrulanmıştır. Ardından, POGK'nin sisteme entegrasyonunun çeşitli parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu parametrik çalışmalar sonucunda, kombine sistem için en uygun çalışma parametreleri ve en yüksek performans gösteren çalışma akışkanı belirlenmiştir [58].

Güneş enerjisinin endüstriyel kullanımının, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmanın ötesinde, endüstriyel verimliliği ve rekabet gücünü artırma potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisinin endüstriyel sektörde ekonomik ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için termal enerji depolama (TED) sistemlerinin entegrasyonunun kaçınılmaz bir gereklilik olduğu belirtilmektedir. TED sistemleri, endüstriyel güneş enerjisi uygulamalarının verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, endüstriyel kullanımlarda TED sistemlerinin performansı, kullanılan teknolojiye, endüstriyel süreç türüne ve uygulama sıcaklık aralığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çalışmada, güneş enerjisinin endüstriyel uygulamaları ve TED sistemleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Güneş enerjisi ve TED sistemlerinin entegre edilebileceği endüstriyel prosesler, güneş enerjisi teknolojileri ve bu teknolojilerin sürdürülebilirliği üzerine kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Örnek olarak, süt pastörizasyon prosesi incelenerek, güneş enerjisinin ve TED sisteminin nasıl entegre edilebileceği analiz edilmiştir. Ayrıca, yıkıntı



atıklarından geliştirilen duyulur ısı depolama malzemelerinin kullanıldığı bir TED sistemi entegrasyonu ile %52,5 verim artışı sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır [59]. Kuveyt'teki POGK'nin performansı üzerinde karakteristik özelliklerin ve çalışma koşullarının çeşitli etkilerini araştırmak amacıyla sayısal bir model geliştirmiştir. Bu modelde, konvektif ısı transfer kayıplarının denklemleri incelenmiş ve yeni denklemler türetilerek kullanılmıştır. Güneş enerjili ısıtma ve soğutma sistemlerinin çevresel etkileri, Kuveyt'in iklim koşulları dikkate alınarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, soğurucu boru ve destek elemanları arasındaki taşınım kaybının radyasyon ve iletme göre en yüksek olduğunu ortaya koymaktadır [60].

POGK sistemi üretimi gerçekleştirilerek, farklı tarihlerde sistemin ısıl performansını gözlemlemek üzere Tarsus'ta deneyler yapılmıştır. Deneylerde 103 x 200 cm<sup>2</sup> yüzey alanına ve 3 mm kalınlığına sahip bir reflektör kullanılmış, elde edilen deneysel sonuçlara göre, günlük ortalama verimlilik değerinin %32 olduğu, bu günler için en yüksek verimliliğe 11:00 ile 13:00 saatleri arasında ulaşıldığı saptanmıştır. Sistemin en yüksek ve en düşük verimlilik değerleri sırasıyla 24 Ağustos'ta %47,1 ve öğle saatlerinde %36,5 olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca, en düşük verimlilik değeri bile ortalama verimliliğin üzerinde kaldığı görülmüştür [61].

İki bölümlü halkalı parabolik oluklu güneş kolektörünün ısı transfer özelliklerini sayısal olarak incelemiş ve bu iki parçalı halkanın gözenekli arasındaki uzaklığın etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ısı transfer akışkanı olarak Therminol 66 tercih edilmiş ve HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kullanılarak RNG k- $\epsilon$  türbülans modeli ile bir model geliştirilmiştir. Sayısal simülasyon sonuçları, boru şeklindeki güneş emicisinin iki segmental halkayla kullanılmasının POGK'nin ısı transfer özelliklerini artırdığını göstermektedir [62].

Kırsal bölgelerde kullanılmak üzere Güneşle Isıtılan Termodinamiksel Soğutma sistemi ile çalışan bir tasarım yapılmıştır. Ayrıca bu sistemin üretimi, testi ve ısıtma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Deneylerde üç farklı çalışma akışkanı kullanılmıştır. Bu deneylerde artırmış su, saf suya %50 hacim konsantrasyonunda antifriz (etilen glikol) karışımı ve saf suya %20 kütle konsantrasyonunda NaCl karışımlarından yararlanılmıştır. Deneyler, Temmuz 2011'in güneşli günlerinde 10:00-15:00 saatleri

arasında toplam 18 gün boyunca yürütülmüştür. Bu sürecin sonunda elde edilen deneysel sonuçlar, teorik hesaplamalarla karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir [63]. Bir başka araştırmada ise parabolik oluk güneş kolektörü üzerinde sistemin cam kapağı, yansıtıcı yüzeyi ve emici tüpü termal deneyler için özel olarak tasarlanmıştır. Optik ve termal verim, ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı enerji üzerinden hesaplanmıştır. Bu faydalı enerji kullanılarak ORÇ'de (Organik Rankine Çevrimi) elektrik üretim simülasyonu yapılmış ve ORÇ'nin ekserji ve termodinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Birinci yasa ve ikinci yasa verimleri sırasıyla %9 ve %45 olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre sistemin ortalama optik verimi %20, ortalama ısı verimi %85 ve cam kaplama optik verimi %25 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, buhar türbininin net güç çıkışı 50 W olarak hesaplanmıştır [64].

Parabolik toplayıcıların birleştirilmiş versiyonlarını incelenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, bir toplayıcı tasarlamak, ardından sistemin matematiksel modelini oluşturmak, deneysel çalışmalarını gerçekleştirmek ve performans analizini yapmak ve son olarak matematiksel modelin doğruluğunu test etmektir. Elde edilen veriler, simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılarak modelin doğruluğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sistemin başarılı bir şekilde çalıştığını ancak optik verimin ve matematiksel modelin geliştirilmesi gerektiği yönündedir [65].

Elektrik üretimi için buhar ve buhar türbini kullanılan POGK'nin teorik incelemesini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında sistemin soğurucu borusu, cam kapağı, yansıtıcı kısmı ve güneş takip mekanizması detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Parabolik sistem teorik olarak tasarlanmış ve Denizli'de 2009-2010 güneş verileri temel alınarak saha testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, sistemin buhar türbinine kadar olan veriminin %67 olduğu ve sistemin gereksinim duyduğu buhar türbininin kapasitesinin 300-500 kW arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır [66].

Lityum bromür+su solüsyon temelli absorpsiyonla soğutma sistemlerinin tasarımı ve performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, 57,6m<sup>2</sup> güneşlenme alanına sahip parabolik güneş kolektörleri kullanılarak 17,5 kW soğutma enerjisi gereksinimine sahip bir evin enerji ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Simülasyonlar, farklı hava koşulları ve güneşlenme açıları altında sistemin nasıl

çalıştığını incelemek için kullanılmıştır. Bu araştırma, lityum bromür+su absorpsiyonu soğutma sisteminin gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Bu tür güneş enerjisi temelli soğutma sistemleri, sürdürülebilir enerji kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük potansiyele sahiptir. Araştırma, bu sistemlerin tasarım ve performansını anlamamıza yardımcı olarak, güneş enerjisiyle soğutma teknolojisinin gelecekteki kullanımını desteklemektedir [67].

Parabolik kolektörlerle doğrudan buhar jeneratörü sistemlerinin uzun vadeli deney sonuçlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu sistemlerin megawatt seviyesinde güç üretme yeteneklerine odaklanarak avantajlarını ve dezavantajlarını aydınlatmaktadır. 4000 saat süren deneyler, sistemin performansının farklı çalışma koşullarında nasıl etkilendiğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma, megawatt seviyesinde güç üretebilen bu tür sistemlerin enerji üretimindeki potansiyelini vurgulamakta ve bu sistemlerin genel avantajlarını ve karşılaştırmalı dezavantajlarını sunmaktadır. Bu tür sistemler, temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi için önemli bir adımı temsil etmektedir. Araştırma, megawatt ölçeğinde güç üretimi konusunda değerli bilgiler sunarak, gelecekteki enerji üretim stratejilerine rehberlik etmeyi amaçlanmaktadır [68].

Parabolik kolektörlerin odaklama verimlerinin sistem üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Odaklama verimleri, güneş enerjisinin ne kadar etkili bir şekilde toplandığını belirlemek açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında, Parabolik Akım Tarayıcısı Metodu ve Kamera Hedefleme Metodu gibi yöntemler kullanılarak odaklama verimleri ölçülmüştür. Bu yöntemler, parabolik kolektörlerin odaklama performansını farklı çalışma koşullarında ve farklı zaman dilimlerinde değerlendirmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, parabolik kolektörlerin güneş enerjisini ne kadar etkili bir şekilde odaklayabildiği konusunda değerli bilgiler sunmaktadır. Bu tür çalışmalar, parabolik kolektör teknolojisinin geliştirilmesi ve verimliliğinin artırılması için önemli bir adımdır. Aynı zamanda, güneş enerjisinin daha etkili bir şekilde toplanmasını sağlayarak sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlama potansiyelini vurgulanmıştır [69].

Güney Kıbrıs da yapılan başka bir çalışmada ise bir parabolik güneş tarlası modellemesini sunulmuştur. Bu model, 300 metrekare güneşlenme alanı, saatte 54kg debi ve 25m<sup>3</sup> depolama kapasitesine sahip bir sistem üzerine odaklanmaktadır. Söz konusu sistem, yüksek sıcak su taleplerini karşılamak amacıyla özel olarak tasarlanmıştır ve bu sistemden saatte 2000 kg sıcak su çekilebilmektedir, ki bu sonuçlar parabolik güneş tarlasının Güney Kıbrıs'ın enerji ihtiyaçlarını karşılamada potansiyelini göstermektedir. Bu tür modeller, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve verimliliği konusunda önemli bilgiler sunmakta ve sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunmaktadır [70].

Parabolik oluklu güneş tarlalarının termal ve akış davranışlarını değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada hem tek geçişli hem de çift geçişli sistemler için nümerik simülasyonlar yürütülmüştür. Tek geçişli sistemlerin verileri, Sandia Ulusal Laboratuvarları'ndan temin edilmiş ve ardından nümerik simülasyonlarla analiz edilmiştir. Benzer şekilde, çift geçişli sistemler için de simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, parabolik güneş tarlalarının farklı geçişli sistemlerdeki termal ve akış özelliklerini anlama ve optimize etme konusunda katkı sağlarken, güneş enerjisi teknolojisinin gelişimine önemli bir katkı sunmaktadır [71].

Parabolik güneş tarlalarının kontrol sistemleri üzerine yapılan farklı bir çalışma da ise temel olarak 1000 m uzunluğundaki kolektör sistemi baz alarak, sistemdeki buhar sıcaklığı, sıvı seviyesi ve geri bildirim verim üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmanın merkezinde bu parametrelerin verim üzerindeki kritik rolü anlamak ve bu parametrelerin kontrol sistemlerini tasarlamak bulunmaktadır. Bu bağlamda, kolektör sisteminin performansını artırmayı hedefleyen buhar sıcaklığı, sıvı seviyesi ve geri bildirim kontrolünü yönlendiren kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışma, parabolik güneş tarlalarının verimliliğini optimize etmek ve enerji üretimini artırmak için kontrol sistemlerinin önemini vurgulamaktadır [72].

Parabolik güneş kolektörü üretim sürecine yoğunlaşmış ve bu kolektörlerin performansını etkileyen kritik faktörleri, termal verimlilik, malzeme seçimi, yüzey yansıtıcılığı gibi detaylarıyla incelemiş ve analiz edilmiştir. Bu özellikle absorbe boru

uzunluğu, boru çapı ve kütlesel debi gibi değişkenlerin sistemin verimine olan etkisini araştırmıştır. İnceleme, farklı parametre değerlerinin kolektörün verimine nasıl etki ettiğini açıklamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu alışma ayrıca, sistemin iki eksenli hareket yeteneğine sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu özellik, kolektörün güneş ışınlarını en iyi şekilde yakalayabilmek için pozisyonunu optimize etmesine olanak tanır. Bu sayede, sistem güneş ışığını en etkili şekilde yakalayarak enerji üretimini artırılabilir [73].

## BÖLÜM 4

### GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

Dünya genelinde elektrik üretiminde fosil yakıtların payı %76 iken, yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) payı %24 olarak sınırlıdır. Bu yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisinin payı ise yalnızca %2 düzeyindedir. Türkiye'de ise benzer bir durum söz konusudur. Elektrik üretiminde fosil yakıtların ağırlığı devam ederken, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sınırlı kalmaktadır. Güneş enerjisinin toplam enerji üretimindeki payı da oldukça düşüktür [30]. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi, dünya genelinde şebeke bağlantılı sistemler göz önüne alındığında, Çin Halk Cumhuriyeti'nin Aralık 2020 yılı itibarıyla 254355 MW kurulu güç ile öncü konumda olduğu görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Aralık 2020 itibarıyla 75572 MW ve Japonya'da Aralık 2020 itibarıyla 67000 MW kurulu güç ile sırasıyla ikinci ve üçüncü sıralarda yer almaktadır. Türkiye ise Haziran 2022 verilerine göre 8275 MW kurulu gücü ile bu sıralamada 14. Sırada bulunmaktadır [74].

Türkiye'de faaliyet gösteren güneş enerji santralleri aracılığıyla elektrik üretimi sürekli olarak artmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik üretimi, 2014 yılı Ocak-Mayıs döneminde 4,5 GWs seviyesinde iken, 2015 yılı aynı döneminde 32,3 GWs, 2016'da 266,6 GWs ve 2017'de 844,56 GWs gibi yüksek değerlere ulaşmıştır. Ayrıca, güneş enerji santrallerinin sayısına bakıldığında, 2014 yılında devreye alınan santral sayısındaki büyümenin bir önceki yıla göre %223 oranında arttığı görülmektedir. Bu santrallerin tamamı, lisanssız üreticiler tarafından kurulmuş ve işletmeye alınmıştır. Yapılan araştırmalarda Lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımına baktığımızda, farklı kaynak türlerine dayalı kurulu güçlerin ve oranlarının şu şekilde olduğunu görebiliriz:

- Güneş (Fotovoltaik): 4358,51 MW %96,64
- Doğalgaz: 121,92 MW, %2,54

- Biyokütle: 79,18 MW, %1,65
- Rüzgâr: 46,20 MW, %0,96
- Hidrolik: 8,69 MW, %0,18
- Güneş (Yoğunlaştırılmış): 1 MW, %0,02

Türkiye ekonomisindeki cari açık durumuna baktığımızda, 2016 yılında 33,1 milyar dolar ve 2017 yılında 47,1 milyar dolar olarak gerçekleştiğini görmekteyiz. Bu cari açıkların büyük bir kısmının enerji ithalatından kaynaklandığı bilinmektedir [75].

Ülkemizde enerji ithalatı genellikle fosil yakıtlar olan petrol, doğalgaz ve ithal kömür gibi kaynaklardan gerçekleşmektedir. Bu durum, enerji arz güvenliği ve çevresel etkiler açısından önemli zorluklar ortaya koymaktadır. Özellikle Türkiye'de karbondioksit emisyonları 1990 yılından itibaren %141,6 oranında artarak büyük şehirlerde yerel hava kirliliğine neden olabilecek düzeylere ulaşmıştır (International Energy Agency verilerine göre). Bu bağlamda hem cari açığın azaltılması hem de karbon emisyonlarının düşürülmesi amacıyla Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK'ler) kullanımı büyük bir önem taşımaktadır. Ülkemizde enerji sektöründe özel sektörün rolü de giderek artmaktadır. Özel sektör tarafından gerçekleştirilen enerji üretim tesislerinin sayısı gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu gelişme, enerji sektöründe çeşitliliğin ve rekabetin artmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, enerji üretiminde özel sektörün etkinliği ve katkısının arttığını göstermektedir [76].

Ülkemizdeki enerji yatırımlarında devlet tarafından sağlanan teşviklerin büyük bir rolü olduğu gerçeği göz ardı edilemez bir durumdur. Bu teşvikler, enerji kaynaklarının çeşitliliğini artırarak enerji güvenliğini sağlamayı, enerji ithalatını azaltarak cari açığın büyümesini engellemeyi amaçlamaktadır. Özellikle enerji sektöründe yaşanan bu yatırımlar, ülkemizin enerji politikalarını ve ekonomisini etkileyen önemli bir faktördür. 2018 yılında gerçekleştirilen enerji yatırımlarına bakıldığında, bu yatırımların büyük bir kısmının hidroelektrik santrallere yönlendiği görülmektedir. Toplam yatırımların yaklaşık %55'ine denk gelen bu hidroelektrik santrallar, enerji üretiminde önemli bir paya sahiptir. Ayrıca rüzgâr enerjisi yatırımlarının da %15 oranında olduğu gözlemlenmektedir. Yine güneş enerjisi yatırımlarının oranı ise %0,54 düzeyindedir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle

hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi alanında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu yatırımlar, sürdürülebilir enerji üretimi ve çevre koruması hedefleriyle uyumlu olarak gerçekleştirilmektedir [77].

#### **4.1. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ**

Güneş kolektörleri, güneşten gelen güneş ışınımını kullanarak ve onu ısı şeklinde iç enerjiye dönüştürmek ve çalışma sıvısı (genellikle yağ, hava veya su) ile sistem içinde dolaşmak için kullanılan cihazlardır [78].

Herhangi bir güneş sisteminin temel bileşeni olarak tanımlanır. Emilen güneş enerjisi, ısı transfer akışkanından bir termal enerji depolama tankına veya mahallinde şartlandırılmış donanıma taşınır ve bulutlu günlerde veya geceleri kullanıma sunulur. Güneş kolektörlerinin yüksek verimlilik, uzun ömürlü, uygun maliyetli ve kolay montaj özelliklerine sahip olması beklenmektedir. Kolektörlerin verimli olmasında beklenen özellikler üzerine düşen güneş ışınımının yüksek miktarını absorbe etmek, absorbe ettiği enerjiyi içindeki ısı taşıyıcı yüksek verimlilikle aktarabilmek ve kolektörlerden çevreye olan ısı kayıplarını minimum seviyede olmalıdır. Yıllık üretilen sıcak su miktarı, güneş kolektörü dizisinin boyutuna ve tipine, depolama tankı boyutuna ve güneş ışığı yüzdesine bağlıdır [79].

Güneş kolektörleri genellikle iki ana kategoriye ayrılır:

Konsantre olmayan toplayıcılar, güneş radyasyonu için aynı açıklığa ve soğurucu alana sahiptir. Düz levha toplayıcılar olarak da anılırlar ve tipik olarak ticari binalarda ve konutlarda kullanılırlar. Konsantre olmayan toplayıcılar, güneşin konumunu takip etmeden sabit bir yönde kurulur. Düz plaka toplayıcılar, vakumlu tüp toplayıcılar ve bileşik parabolik toplayıcılar, sabit güneş kolektörlerinin tipik örnekleridir. Konsantre güneş kolektörü, soğurucu alandan çok daha geniş bir açıklık alanı ile gelen radyasyonu en üst düzeye çıkarmak için güneş takibi gerektirir. Konsantre toplayıcılar, yüksek sıcaklık uygulamaları için arzu edilir ve performansları, ısı kaybı alanını azaltarak arttırılır [80].



Bu toplayıcıların kullandığı takip sistemleri kurulum ve bakım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu toplayıcı, silindirik oluk, parabolik oluk ve lineer Fresnel kolektör gibi tek eksenli bir tip veya parabolik kule, parabolik çanak, dairesel Fresnel güneş kolektörü vb. gibi iki eksenli güneş takip kolektörü olabilir. Amaçlanan evsel ve endüstriyel uygulamalar, mevcut güneş kolektörü tiplerinden hangisinin en çok arzu edildiğini belirler [81].

Güneş kolektörü, güneş enerjisi depolama ve su ısıtma sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olmaya devam etmektedir. Güneş enerjisi sistemlerini daha verimli ve ekonomik hale getirme isteği bu alandaki araştırmaların artmasına neden olmaktadır [82]. Güneş enerjisi sistemlerindeki araştırmacılar, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için ciddi çaba sarf edildiğinden, güneş kolektörlerinin performansını artırmak için farklı bileşenleri veya ekipmanları değiştirir [83].

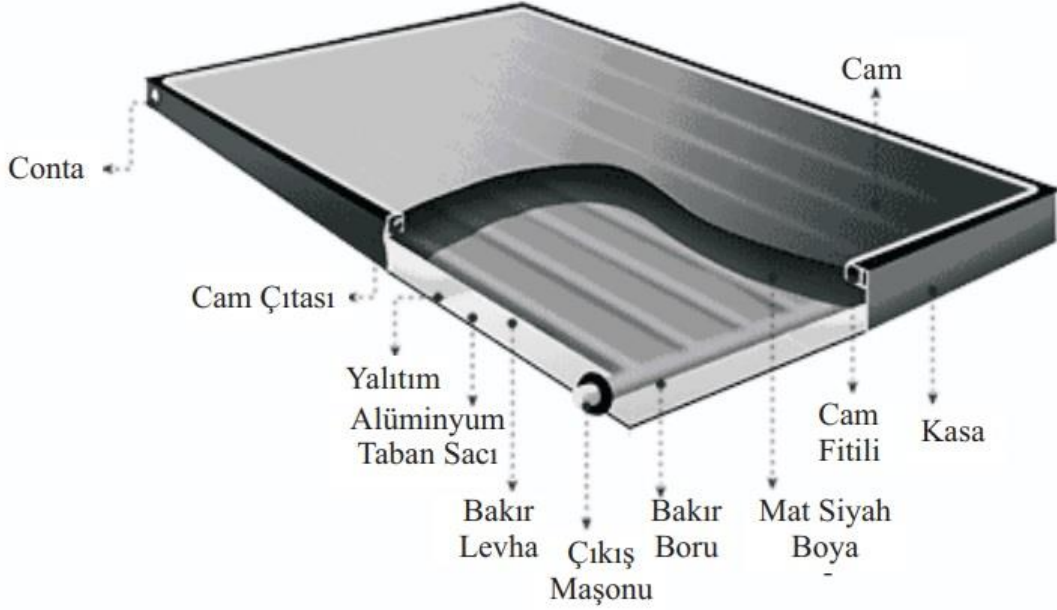
Kabul edilen teknikler arasında, nanoakışkanların güneş kolektörüne konveksiyonel sıvı yerine baz sıvı olarak eklenmesi, performansını artırmanın en umut verici ve verimli yöntemi olmaya devam etmektedir. Nanoakışkanlar, güneş kolektörü içindeki ısı transferini iyileştirmek için kullanılır. Nano teknolojidaki son gelişmeler, nano boyutlu parçacıkların üretimini desteklemiştir. "Nanoakışkan" terimi Choi tarafından icat edildi ve nanoparçacıklardan (boyutu <100 nm olan) ve konveksiyonel sıvıdan oluşan kolloidal bir karışım olarak tanımlandı. Çok küçük bir nanopartikül konsantrasyonunda yüksek termal iletkenlikleri ile bilinirler [84].

#### **4.1.1. Düzlem Plakalı Güneş Kolektörü**

Düzlem plakalı güneş kolektörü (DPGK), güneşten gelen güneş enerjisini kullanmak için kullanılan yeni bir teknoloji değildir. İlk olarak 1950'lerde Benedict de Saussure (Butti ve Perlin,1980) tarafından tanıtıldı ve bina ısıtma, endüstriyel işleme, evsel ısıtma ve mahsul kurutma için en çok keşfedilen güneş enerjisi termal kolektör sistemi olarak kabul ediliyor. DPGK'nın verimliliği ve ısı transfer performansı, nispeten basit olan ve enerji emiliminden (cam kaplamalar, alüminyum raylar, siyah yüzey), iletimden (yükselticiler ve başlık boruları) ve kayıp azaltmadan sorumlu çeşitli

bileşenlerden oluşan farklı yöntemler DPGK tasarım konfigürasyonunu benimseyebilir. (İzolatör kaplaması, arka sac) [85].

Düz plakalı bir güneş kolektörünün ve yapılan bileşenin tipik bir diyagramı Şekil 4.1'de Düz Plakalı Güneş Kolektörü Gösterilmiştir [86].



Şekil 4.1. Düz Plakalı Güneş Kolektörü.

Sistemler maksimum verimlilik için 30 ila 80 °C sıcaklık aralığında çalışır ve daha yüksek bir sıcaklık ( $\leq 100^{\circ}\text{C}$ ) elde etmek için vakum yalıtımı dahil edilebilir. Tasarım konfigürasyonlarındaki basitlik nedeniyle, DPGK'ler, ışın emilimi ve yayılan radyasyon gibi çeşitli avantajlar sunar. İmalat kolaylığı, nispeten ucuz ve düşük işletme maliyeti. Kolektör performansını artırmak için soğuruculara seçici kaplamalar uygulanabilir. DPGK, diğer toplayıcılara göre nispeten ucuz olması ve basitleştirilmiş bir tasarım ve kurulum olması nedeniyle evlerde ve ofislerde yaygın olarak kullanılmaktadır. DPGK'nin verimliliği, çevreye ısı kaybı önlenerek iyileştirilebilir. Ek olarak, güneşten gelen güneş radyasyonunu optimize etmek için en iyi soğutma yöntemini benimseyerek kolektörlerin yüzey veya dış sıcaklığı düşürülmelidir [87].

#### **4.1.2. Bütün Depolu Kolektörlü Sistemler**

Bütün Depolu Kolektörlü (BDK) sistemler, doğal (tabii) dolaşimli sistemler olarak kabul edilir. Bu sistemler, güneş enerjisinden doğrudan yararlanan sistemlerdir. Doğal dolaşimli sistemler olarak sınıflandırılırlar. Bu sistemde pompa yoktur. Kullanım sırasında sıcak su musluğu açıldığında su, BDK içerisinde geçerek depolama tankına gelir ve ısınır. Eğer su sıcaklığı istenilen sıcaklıktan düşük ise suyun ısınması ek bir ısıtıcı ile sağlanır. İstenilen sıcaklık yüksekse eğer elektrikli ısıtıcı kullanıma girmez [88].

Sıcak iklim koşullarında ek bir ısıtıcı ihtiyacı gerektirmediğinden dolayı kullanımı daha uygundur. Deponun soğuk havada donma olasılığı yüksek olduğundan boşaltma vanaları ile sistemden su boşaltılır ve kolektör kullanımı devre dışı bırakılarak yalnızca elektrikli ısıtıcıyla su ısıtılır. Suların kireçli olduğu yerler için uygun değildir. Kolektörün içerisindeki depolama tankından doğrudan yararlanıldığından, zamanla kireçlenme görülür ve kolektörden alınan verim azalır. Suyun kireçsiz olan bölgeler ve ılıman iklim bölgeleri için daha uygun sistemlerdir. Yaklaşık olarak 160 litreye kadar depolu sistemler yapılabilir. Bu yüzden diğer kolektörlere göre daha ağır ve daha büyüktür. Bu nedenle de izolasyon yapılmasında zorluklar beraberinde gelir. Benzer şekilde montajlaması da zordur [89].

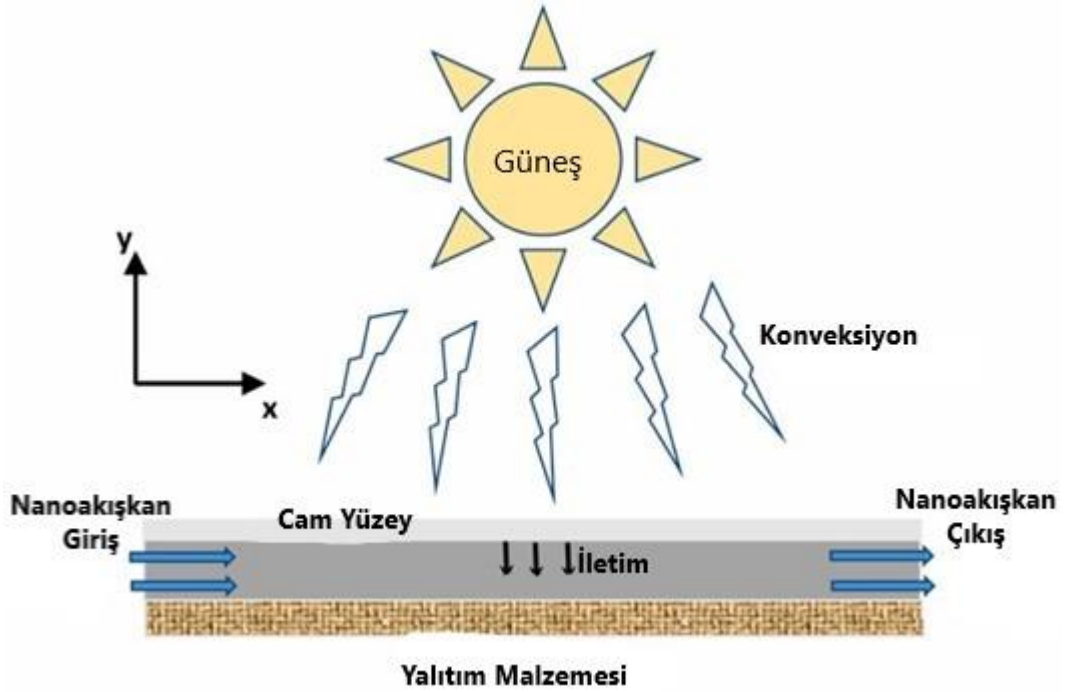
#### **4.1.3. Doğrudan Absorpsiyon Tüplü Güneş Enerjisi Kolektörü**

Doğrudan Soğurma tüplü Güneş Kolektörü (DAGK), güneşten gelen güneş radyasyonunu bir taşıma ortamı aracılığıyla verimli bir şekilde kullanmanın basitleştirilmiş bir yöntemidir. Bu güneş kolektörü tipinde, gelen güneş radyasyonu, çalışma akışkanına aktarılmadan önce alıcı plaka tarafından ısı absorpsiyonu gerektiren geleneksel kolektörlerin aksine, içine bazı partiküller ekilerek doğrudan ısı transfer akışkanı tarafından emilir [90].

Enerjiden yararlanma potansiyellerini iyileştirmek için bir güneş kolektörünün en son şekli olarak kabul edilir. Nanoakışkan tabanlı DAGK, çeşitli uygulamalar için önerilmiş ve bunların çalışma sıcaklıklarına göre tahmin edilmiştir. Sıcaklık

sınıflandırması, çalışma sıvısında kullanılan katı temel malzemelerin boyutlarını belirler. Katı parçacıkların DAGK için kullanımına ilişkin son araştırmalar, en azından <100 nm boyutundaki parçacıkları hedefliyor. DAGK'nin olağanüstü potansiyeli, birçok araştırma ve ticari fırsatın doğmasına neden oldu. DAGK, etkili güneş enerjisi için mükemmel yetenekler sergilemiştir [91].

Nanoakışkan, DAGK'de güneş soğurma ortamı ve çalışma sıvısı ve alıcı plakanın olmaması için kullanılır. Şekil 4.2'de Doğrudan Absorpsiyon Tüplü Güneş Enerjisi Kolektörü Gösterilmiştir [92].

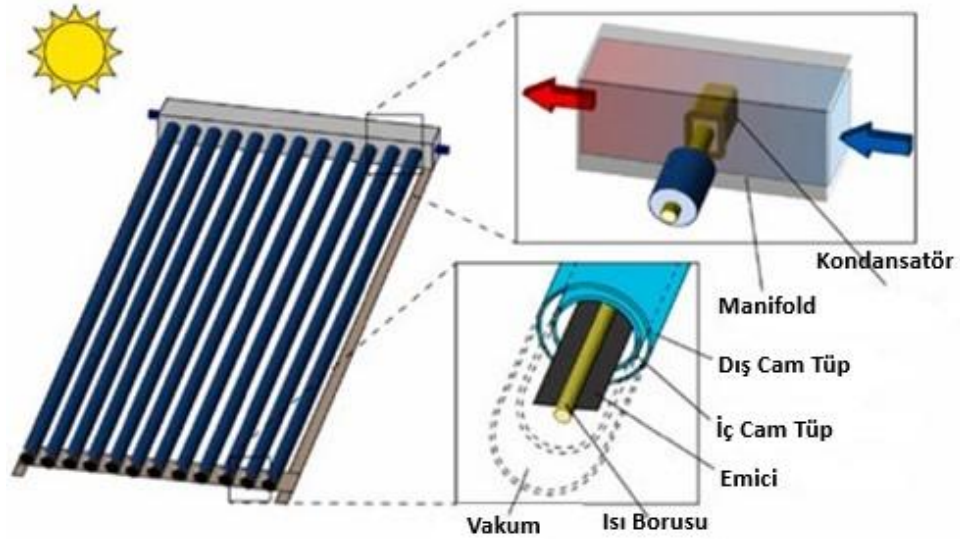


Şekil 4.2. Doğrudan Absorpsiyon Tüplü Güneş Enerjisi Kolektörü.

Bu teknik, ara ısı transfer ortamını ortadan kaldırır ve diğerlerinin yanı sıra doğrusal Fresnel toplayıcı, parabolik oluk ve çanak, heliostat alanı gibi diğer toplayıcılarla entegre edilebilir. DAGK'de sirkülasyon sıvısı olarak kullanılan su gibi konveksiyonel sıvı, DASC uygulamasında yaşanan sınırlı termal verimden sorumlu olan düşük termal iletkenliğe sahiptir. Bu zorluklar, literatürde dolaşan sıvının termofiziksel özelliklerini mükemmel bir şekilde iyileştiren nanoakışkan aracılığıyla ele alınmıştır [93].

#### 4.1.4. Boşaltılmış Tüp Güneş Kolektörü

Vakum tüplü kolektörler olarak da bilinen vakumlu tüplü güneş kolektörü (VTGK), boşaltılmış cam tüpler, alüminyum kanatçıklar ve bir ısı borusundan oluşan bir kolektördür. Boşaltılmış tüplerin içindeki seçici kaplamalar, absorpsiyon optimizasyonunu kolaylaştırır; borudaki ısının bakır ısı borusuna transferi kanatçıklar sayesinde mümkün olmaktadır. Isı, ısı boruları aracılığıyla suya aktarılır. Sistem, birbirine paralel sıralar halinde düzenlenmiş ve çalışma sıvısının dolaşımına ve üretilen ısının tüpler tarafından emilmesine izin veren bir başlık borusuna bağlı şeffaf bir cam tüpten oluşur. Tüplerdeki küçük yansımanın bir sonucu olarak, güneş radyasyonu dış tüpten geçer ve iç tüp ısıyı emer. Şekil 4.3'te Boşaltılmış Tüp Güneş Kolektörü Gösterilmiştir [94].



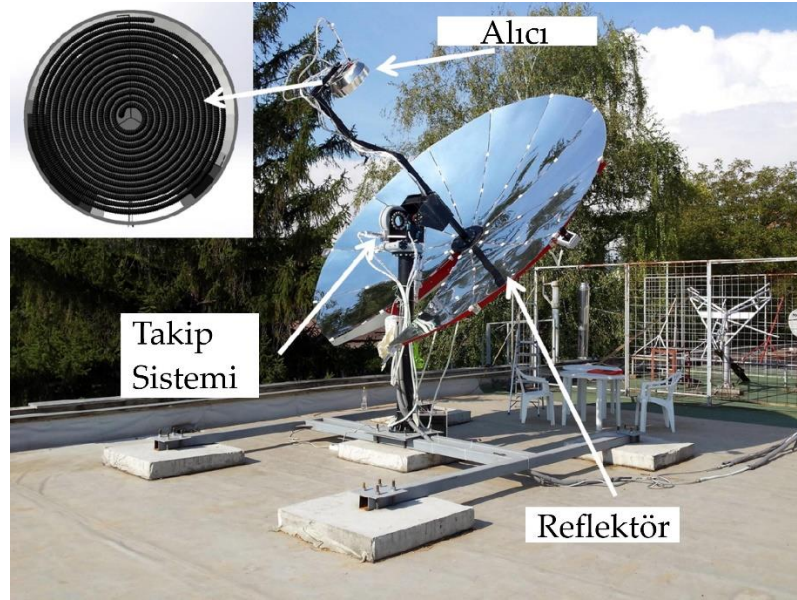
Şekil 4.3. Boşaltılmış Tüp Güneş Kolektörü

Tüpler arasında bir vakum oluşturarak ısı kaybı en aza indirilir. Üst üste kaynaşmıştır. Vakum, VTGK'yi diğer toplayıcılardan ayıran önemli bir faktördür çünkü ısı kaybını önler ve toplayıcıyı güneş enerjisinin verimli bir şekilde emilmesi için geniş bir güneş sistemi yapar. VTGK'nin kurulum maliyeti çok yüksek olmasına rağmen, yatırımlardan daha ağır basan ve evsel ve ticari uygulamalar için dikkate alınmaya değer birçok fayda sunar [95].

VTGK, en pahalı güneş kolektörlerinden biridir. Yine de daha güvenilir, verimli ve uygun maliyetlidirler ve diğer toplayıcıların antifriz nedeniyle performansında düşüş yaşadığı aşırı soğuk koşullarda performans gösterirler. Bu özelliklerinden dolayı VTGK, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzeyi gibi bulutlu kış havalarda çok kullanışlıdır.

#### 4.1.5. Solar Çanağı

Güneş enerjisinin, fosil yakıt üretiminde küresel ısınmanın ve tükenmenin etkisini azaltmak için alternatif bir enerji kaynağı olduğu kanıtlanmıştır. Bu enerjiden yararlanmak için, yeterli termal Enerjiyi tatmin edici verimlilikle üretmek için yoğunlaştırıcı güneş sistemleri uygun bir seçim olarak kullanılır. En yaygın yoğunlaştırıcı güneş sistemleri güneş çanağı, parabolik oluk toplayıcı, doğrusal Fresnel toplayıcıdır ve güneş kulesi, Loni ve diğerlerinin araştırma grubu tarafından kullanılan güneş çanağı yoğunlaştırıcısının tipik bir görünümünü gösterir [96]. Şekil 4.4'te Solar Çanağı gösterilmiştir [97].



Şekil 4.4. Solar Çanağı.

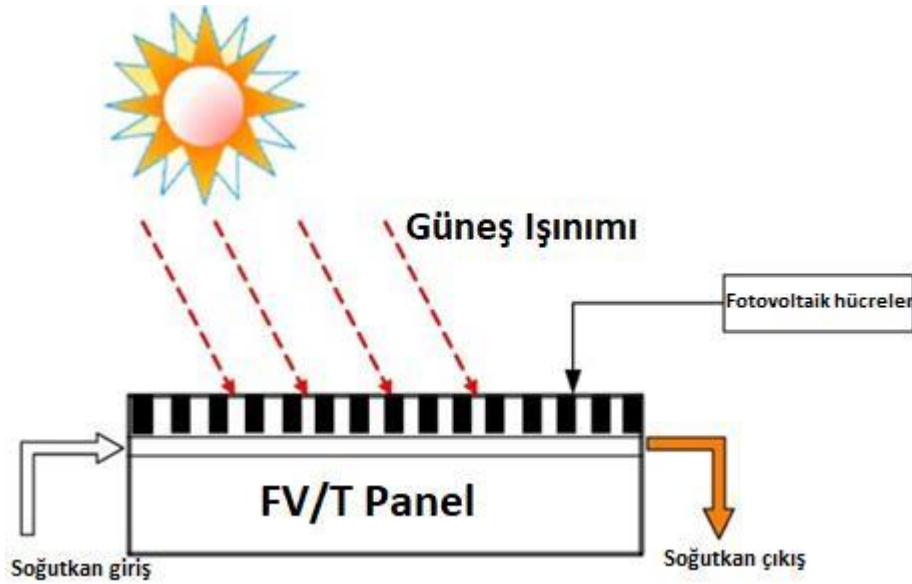
Bir tür yoğunlaştırma teknolojisi olarak güneş çanağı, çok yüksek bir sıcaklıkta (800 °C'ye kadar) tutma ve yüksek verimlilikle çalışma kapasitesine sahiptir. Farklı güneş çanağı boşluk tasarımları, en iyisine dair belirgin bir netlik olmaksızın mevcuttur. Bu

boşluk tasarımları spiral, konik, yarım küre, silindirik, kübik vb. Güneş çanağı kolektörlerinde su ve yağlar gibi baz akışkanlarla karıştırılmış nano akışkanların kullanılması ısı, enerji, ekserji ve çevresel verimliliklerini iyileştirmiştir [98].

#### 4.1.6. Fotovoltaik Termal Sistem

Su ısıtma gibi diğer amaçlar, fotovoltaik hücrelerin sıcaklığını düşürür. Son zamanlarda araştırmacılar, üstün termal iletkenlikleri ve yüksek ısı transfer hızları nedeniyle fotovoltaik termal sistemlerinin performansını artırmak için soğutucu olarak nanoakışkanları kullanmaktadırlar [99].

Fotovoltaik termal (FV/T) sistemler, Güneş'ten gelen enerjinin eş zamanlı olarak fotovoltaik paneller aracılığıyla elektrik ve ısı enerjisi elde edildiği sistemlerdir. Son yıllarda, bu sistemler hem elektrik hem de ısı enerjisinden yararlanabilme yetenekleri nedeniyle araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir. Bu sistemlerin verimini azaltan ısı enerjisi, sistemden uzaklaştırılarak değerli enerjiye dönüştürülebilir. Bu tür bir dönüşüm için FV panellerin entegre termal sistemlerle birleştirilmesi, mantıklı bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir [100]. Bu hibrit FV/T sistemleri, farklı tasarım ve tiplere sahiptir ve genel yapıları Şekil 4.5'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir [39].



Şekil 4.5. FV/T sistem genel yapısı.

Şekilden de görülebileceği üzere, Fotovoltaik (FV) panellerde biriken ısı, herhangi bir soğutucu akışkan aracılığıyla (FV panelin altından geçen akışkanla) hücrenin soğutulması amacıyla aktarılmıştır. Bu yaklaşım, sistemin elektrik verimini artırmayı hedeflemektedir [41].

#### **4.1.7. Solar Pişirici**

Güneş ocağı, güneş enerjisinin birçok uygulamasından ve kullanımından biridir. Yakacak odun, hayvan atıkları vb. kullanılan geleneksel pişirme yöntemlerinin yerini almak için güneş enerjisinden elde edilen enerjisiyle yemek pişirmek için kullanılan bir cihazdır. Güneş fırınının diğer avantajları, ormansızlaşmayı, zararlı hava kirliliğini, çölleşmeyi ve kadın ölümlerini azaltmaktır [100-101].

Kırsal alanlarda güçlendirme Güneş ocağı, doğrudan güneşten pişirme cihazına güneş radyasyonunu kullanan doğrudan güneş ocağı olarak sınıflandırılabilir. Ekonomik olması, ancak daha fazla bakım gerektirmesi ve sıcaklığın nadiren 100 °C'yi aşması nedeniyle kutu güneş fırını en popüler tiptir. Öte yandan, dolaylı güneş ocakları, ısıyı bir toplayıcıdan pişirme cihazına taşımak için bir çalışma sıvısı kullanır. Bu toplayıcılar parabolik oluklar, boşaltılmış tüpler ve lineer fresnel reflektörleri içerir ancak bunlarla sınırlı değildir. Bu tipte pişirme kabı fiziksel olarak toplayıcıdan ayrılmıştır ve yüksek sıcaklık ve hızlı pişirme elde edebilir ancak bir başlangıç yatırım maliyeti ile birlikte gelir [102].

#### **4.1.8. Parabolik Oluklu Güneş Kolektörü**

Parabolik oluk güneş kolektörü POGK yaklaşık 600 C<sup>0</sup> gibi yüksek çalışma sıcaklığı nedeniyle yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) tesislerinde en yaygın kullanılanlardan biridir. POGK'de nanoakışkanların kullanımı, su, erimiş tuzlar, Terminol yağları vb. ile ilgili eksiklikleri ortadan kaldırmıştır [103].

Farklı tip ve konsantrasyonlardaki nanoakışkanların verimliliği artırdığı ve POGK'de daha fazla hissedilir ısıyı emdiği kanıtlanmıştır. Gelen güneş ışığını yoğunlaştırmak ve alıcı tüpe odaklamak için uzun, oluk şeklinde veya kavisli bir ayna kullanan bir

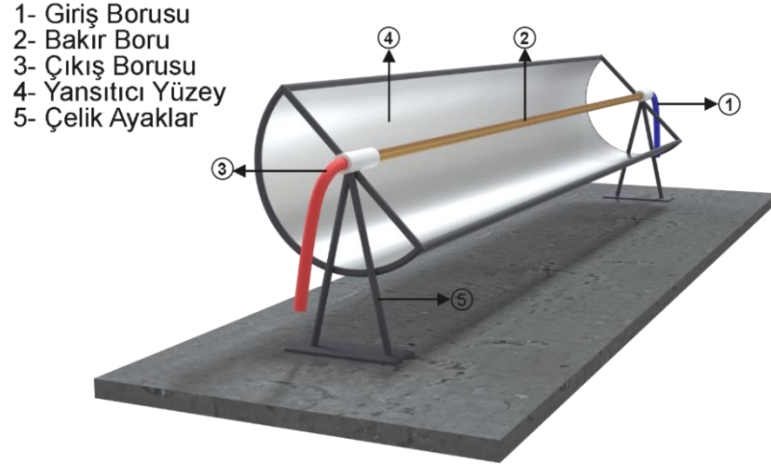


güneş kolektörüdür. Tüpte dolaşan çalışma sıvısının sıcaklığı, emilen güneş enerjisi nedeniyle yükselir. Sıcak ısı transfer sıvısı, enerji üretimi için bir buhar türbininde kullanılabilir [104].

POGK genellikle 100 °C ile 400 °C arasındaki orta sıcaklıktaki uygulamalar için uygundur [40]. POGK, geliştirilmiş depolama sistemi, ikili sistem, uygun bakım maliyeti gibi çok sayıda endüstriyel uygulaması nedeniyle yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojilerinin en iyi şekli olarak kabul edilir ve mevcut diğer toplayıcılara kıyasla çeşitli avantajlar sunar [105].

POGK, güneş termal yoğunlaştırma sistemlerinin odak geometrisi sınıflandırmasının çizgi odaklı yoğunlaştırıcı ailesine aittir. Kolektör eksenini boyunca düşen paralel güneş radyasyonu elde etmek için kolektöre tek eksenli bir güneş izleme tanıtılır. Kolektörler yalnızca doğrudan güneş ışınımını, yani güneşten gelen ışınımın atmosferik etkiden etkilenmeyen kısmını kullanabilir. Alan ısıtma, yüzme havuzu ısıtma ve kullanım sıcak suyu ısıtma gibi diğer evsel uygulamalar, yaklaşık 100 ila 250 °C arasında bir sıcaklık gerektirir. Açıklık uzunluğu ve geometrik konsantrasyon oranları, belirli bir uygulama için sıcaklık gereksinimlerinin bir fonksiyonudur. Ayrıca tuzdan arındırma tesisleri, sulama suyu pompalama, ısıyla çalışan soğutma ve soğutma gibi çeşitli uygulamalarda da kullanılırlar [106].

Güneş hareketini ve POGK'nin kuzey-güney eksenine hizalamasını haritalamak için bir izleme sistemi kullanılır. Bazen tüpün içinde dolaşan ısı transfer sıvısı olarak adlandırılan çalışma sıvısı, POGK'nin en önemli bölümü olarak kabul edilir. Bunun nedeni, verimliliği, üretilen toplam enerjiyi belirleme, sistemden enerji israfını önleme yeteneğidir [107]. POGK'nin şematik gösterimini Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Parabolik Oluklu Güneş Kolektör (Şekil Araştırmacı Tarafından oluşturulmuştur).

Bu kolektör sisteminin avantajları;

- Bileşenlerin (yapı, elektronik bileşenler, anodize aynalar, vb.) imalatından son biriktirmede kullanımlarına kadar, bu toplayıcıların yaşam döngüsünden kaynaklanan çevresel etkileri, fosil yakıt kullanan enerji teknolojilerinden daha düşüktür.
- -Daha küçük boyutlu reaktörler
- Yüksek hacimsel akış (türbülanslı akış)
- Daha iyi kütle transferi
- Düşük katalizör yükü
- Bileşiklerin buharlaşması yok
- Bu kolektör sisteminin dezavantajı;
- Direkt güneş ışını radyasyonuna ihtiyaç duyar
- Yüksek üretim maliyetleri
- Isıl optik kayıpları, Düşük su aşırı ısınması
- Düşük kuantum verimliliği

## BÖLÜM 5

### ENERJİ DEPOLAMANIN AMACI VE YARARLARI

Enerji verimliliğini artırmak amacıyla, enerjinin kullanıldığı sektörlerdeki atık enerji depolanması ve dönüştürülmesi, aynı zamanda düzensiz enerji üreten yenilenebilir kaynakların enerjisinin depolanarak düzenli kullanılması enerji depolama konseptini oluşturur. Bu yaklaşım, enerji arz ve talebinin uyumsuzluğunu düzelterek enerji sistemlerinin daha etkili çalışmasını sağlar ve enerji tüketiminde önemli ölçüde tasarruf elde edilmesine imkân tanır [108].

Enerji üretiminde kullanılan yakıtların çevresel etkilerinin azaltılması, enerji sektörünün sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşır. Fosil yakıtların daha az kullanımıyla birlikte sera gazı emisyonları azalacak ve temiz hava kalitesi artacaktır. Bu durum hem küresel ısınma ile mücadeleye katkı sağlayacak hem de sağlıklı bir çevre oluşturacaktır. Özellikle evlerde elektrikle sağlanan ısı ihtiyacının depolanarak yönetilmesi, enerji tüketiminin daha ekonomik ve verimli bir şekilde yönlendirilmesini mümkün kılar. Bu da bireysel ekonomiye olumlu yansır, zira gündüz kullanılan enerjinin gece kullanılandan daha maliyetli olduğu göz önünde bulundurulursa, enerji depolama stratejileri önemli tasarruflar sağlar. Ülke olarak fosil yakıt ithalatına bağımlılığımızı göz önünde bulundurarak enerji depolama, enerji tasarrufu konusunda büyük fırsatlar sunmaktadır. Bu alan, sadece enerji ihtiyacı dışa bağımlı ülkelerde değil, aynı zamanda gelişmiş ülkelerde de ilgi gören bir alan haline gelmiştir. Enerji depolama teknolojileri, enerji güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemli adımlar atılmasını sağlamakla birlikte, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlayan önemli bir araçtır [109].

## 5.1. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Enerji, ihtiyaç duyulduğu zaman ve istenilen konumda kullanılabilir olmalıdır. Bu nedenle enerjiyi gerektiği zaman kullanabilmek için depolamaya ihtiyaç duyulur. Depolama, farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Örneğin, doğal ekosistemlerde biyokütle, parazitler ve hayvanlar için bir enerji depolama kaynağıdır. Enerji depolama sistemlerinde aranan özellikler arasında yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj/deşarj verimi, minimum enerji kaybı, uzun ömür, düşük maliyet ve yoğun enerji depolama kapasitesi gibi faktörler yer alır. Yani enerji, mümkün olan en düşük ağırlık ve hacimde depolanmalıdır. Enerjinin depolanması için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında ısıl depolama, kimyasal depolama, potansiyel enerji depolama, elektriksel depolama, yerçekimi potansiyel enerjisi ve kinetik enerji depolama gibi farklı yaklaşımlar yer almaktadır [110].

Kimyasal enerji depolama yöntemleri arasında tepkime ısısı, kimyasal ısı pompaları ve termokimyasal ısı pompaları yer alırken, mekaniksel enerji depolama yöntemleri arasında hazneli pompalı sistemler, sıkıştırılmış hava ile enerji depolama ve volanlar bulunur. Isıl enerji depolama yöntemleri ise duyulur ısı ve gizli ısı depolama şeklinde sınıflandırılırken, elektriksel enerji depolama yöntemleri arasında ultra kapasitörler, süper iletken manyetik enerji depolama, yakıt hücreleri, lityum-iyon piller, kurşun asit piller, nikel-kadmiyum piller ve nikel-metal hibrit piller yer almaktadır. Bu yöntemler enerji depolama alanında farklı yaklaşımlar sunarak, enerji sisteminin verimini artırma ve enerji tasarrufu sağlama potansiyeline sahiptir [111].

### 5.1.1. Isıl Yöntemle Isı Enerjisi Depolama

Isıl enerji depolama, enerjinin ısıl olarak depolanması ve gerektiğinde geri kazanılması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, enerji termal olarak depolanır ve ısının sıcaklık farklarından kaynaklanan enerji depolama kapasitesi kullanılır. Isıl enerji depolama, özellikle ısınma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında ve enerji talebi ile arzı dengelemek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Isıl enerji depolama yöntemleri iki ana kategoriye ayrılabilir: duyulur ısı depolama ve gizli ısı depolama. Duyulur ısı depolama, enerjinin sıcaklık farklarından kaynaklanan termal kapasitenin kullanıldığı

yöntemdir. Örneğin, sıcak su depolarında veya termal kütleli depolama malzemelerinde ısının depolanması bu kategoriye girer. Gizli ısı depolama ise, maddenin faz değişimleri sırasında ortaya çıkan ısı kapasitesinin kullanıldığı yöntemdir. Örneğin, suyun donma ve buz çözme gibi faz değişimleri sırasında ortaya çıkan enerji depolama bu kategoriye girer [112].

Isıl enerji depolama, güneş enerjisi sistemlerinde, endüstriyel tesislerde ve binalarda ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılabilir. Bu yöntem sayesinde enerji talep ve arzının dengelenmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve enerji maliyetlerinin azaltılması amaçlanır. Isıl enerji depolama, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak enerji sistemlerinin daha sürdürülebilir hale getirilmesine katkı sağlar [113].

### **5.1.2. Duyulur Isı Depolama**

Duyulur ısı depolama yönteminde, depolama materyali olarak kullanılacak maddenin belirli özelliklere sahip olması gereklidir. Bu özellikler arasında yüksek ısı kapasitesi, alevlenme ve yanma özelliğinin bulunmaması, uzun ömürlü olabilmesi (genellikle 10-15 yıl), zehirli veya korozif olmaması gibi faktörler bulunmaktadır. Ayrıca, depolama malzemesinin kolay bulunabilir ve düşük maliyetli olması da önemlidir. Depolama materyali olarak sıklıkla su ve çakıl taşları tercih edilmektedir. Su, yüksek ısı kapasitesi ve kolay bulunabilirliği nedeniyle tercih edilen bir seçenektir. Çakıl taşları ise ısıyı depolamak ve geri kazanmak için kullanılan katı malzemeler arasında yer alır. Bazı deneylerde bulaşık teli, fındık kabuğu gibi farklı malzemeler de kullanılmıştır [114].

Duyulur ısı depolama yönteminde, depolama materyalinin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan duyulur ısı enerjisi kullanılır. Bu yöntem sıvı, katı veya sıvı-katı karışımı olan hibrit materyallerde uygulanabilir. Depolama ve geri kazanım aşamalarında depolama materyalinin sıcaklığı farklılık gösterebilir. Bu yöntemin avantajları arasında farklı depolama ve geri kazanım süreçlerinin uygulanabilmesi yer alırken, dezavantajı ise daha büyük bir depo hacmine ihtiyaç duyulmasıdır. Duyulur

ısı depolama yöntemi, sürdürülebilir enerji sistemlerinin tasarımında ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır [115].

### 5.1.3. Gizli Isı Depolama

Bir maddenin farklı halleri arasında geçiş yaparken gereken veya açığa çıkan enerji akışı, gizli ısı geçişi olarak adlandırılır. Gizli ısı geçişi sırasında, maddenin sıcaklığı değişmez. Aynı zamanda, gizli ısı geçişi sırasında aktarılan enerji miktarı, duyulur ısı geçişine göre daha yüksektir. Bu durum, depolama sistemlerinin daha kompakt olmasını sağlar. Gizli ısı, madde bir fazdan diğerine geçerken ortaya çıkan ısıdır. Bu tür depolama sistemlerinde kullanılan ve farklı fazlara geçebilen akışkana "Faz Değişim Malzemesi" (FDM) denir. Faz Değiştiren Maddeler (PCM- Phase Change Material), termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayabilen maddelerdir. Isı depolama materyalinin iç enerjisinin büyük ölçüde değişmesi, bu materyalin bir fazdan diğerine geçişini tetikler. Bu sayede enerji depolama ve geri kazanım süreçleri verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir [116].

Faz değişim malzemelerinin ilk uygulaması, 1800'lerin sonlarında İngilizler tarafından arabalarda koltuk ısıtma amacıyla yapılmıştır. Soğutma amaçlı deneysel çalışmalar ise 1970'lerin başında Delaware Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. 1970-1980 yılları arasında birçok organizasyon, güneş enerjisinin depolanması için faz değişim malzemeleri üretimine odaklanmıştır. 1982 yılında ise ilk ötektik tuz depolama sistemi, soğuk depolama amacıyla binalarda kullanılmıştır. Faz değişim malzemeleri genel olarak su ve buz, polimerler, sulandırılmış tuzlar, kafes yapılı karışımlar, karbondioksit ve parafin gibi materyallerden oluşmaktadır. Su ve buz, yaygın olarak bulunan ve termo fiziksel özelliklerinin yanı sıra çoklu özelliklere sahip tercih edilen bir faz değişim malzemesidir [117].

Isı depolamak amacıyla, belirli sıcaklıklarda faz değişimine uğrayan ve yüksek gizli ısı değerlerine sahip materyaller kullanılır. Faz değişimlerinin uygun olduğu durumlar katı-katı ve katı-sıvı faz değişimleridir. Sıvı-buhar faz değişimi ise basınçlı depolama kaplarını gerektiren sorunlar nedeniyle ısı depolamada daha az tercih edilir. Faz değişim malzemeleri, kristalleşme ısısı sırasında ısı depolayabilir. Katı-katı faz

değişimi sırasında ise kristalleşme ısısı şeklinde enerji depolanır ve geri kazanılır. Katı-sıvı faz değişimi ise daha düşük hacim değişimleriyle gerçekleşir ve hacimsel enerji depolama kapasitesi yüksektir. Faz Değiştiren Maddeler (FDM), organik ve inorganik olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Bu malzemeler, enerji depolama sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. İnorganik Faz Değiştiren Maddeler (FDM), tuz hidratları ve klorat hidratları gibi örnekler içerir. Bu tür FDM'lerin avantajları yüksek ergime ısısı, iyi termal iletkenlik, düşük maliyet ve yanıcı olmama özellikleri olarak sıralanabilir. Ancak, korozyon etkileri, faz bozulması, aşırı soğuma ve hidrat sayısında azalma gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Organik Faz Değiştiren Maddeler (FDM), parafinler ve yağ asitleri gibi örnekleri içerir. Organik FDM'lerin avantajları kimyasal açıdan kararlı olmaları, toksik ve korozyon olmamaları, yüksek ergime ısısı, düşük buhar basıncı gibi özellikleri içerir. Dezavantajları ise düşük termal iletkenlik, faz değişimi sırasında büyük hacim değişimi ve yanıcı olmalarıdır [118].

FDM'ler, çeşitli termal enerji depolama uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu uygulama alanları arasında tekstil, ev ısıtma ve sıcak su, taşıtlar için ısı depolama, gıda depolama, medikal alanda (örneğin kan üniteleri), yapı malzemelerinde binaların ısıtma ve soğutma yükünün azaltılması, fotovoltaik elementlerin soğutulması, sıcaklığa duyarlı cihazların soğutulması gibi alanlar yer almaktadır. FDM'ler hem soğutma hem de ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Ötektik karışımlar, yağ alkolleri, parafinler, yağ asitleri, neopentil glikol ve inorganik FDM'ler gibi malzemeler yapı malzemelerinin yalıtım ve ısı transfer özelliklerini artırmak için kullanılabilir. Parafinik hidrokarbonlar, yağ asitleri ve yağ alkolleri su içinde çözünmezler, bu nedenle yapı malzemeleri uygulamaları için tercih edilirler. Bu tür FDM'lerin erime entalpisi genellikle 150-220 kJ/kg arasında değişir [119].

#### **5.1.4. Kimyasal Yöntemle Isıl Enerji Depolama**

Termokimyasal ısı depolama, ısı enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülerek uzun süre boyunca depolanmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemin temel prensibi, ekzotermik tepkimelerin tersinir tepkimeler süresince kimyasal bağlarda depolanan ısıya dayanır. Bu depolama sisteminin ömrü prensip olarak sınırsızdır. Tersinir

tepkimler sırasında kimyasal bağların ayrışması ve birleşmesiyle yüksek ısı değerine sahip tepkimeler gerçekleşir, bu nedenle ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir. Termokimyasal ısı depolama yöntemi, gizli ısı depolama sistemlerine göre daha karmaşıktır ve sistemdeki bileşenlerin etkileşimleri dikkate alınmalıdır. Bu yöntemin önemli bir özelliği, seçilen tepkimenin tersinir olmasıdır. Termokimyasal yöntemle ısı depolama, kimyasal ısı pompası (absorpsiyonlu ısı pompası), tersinir kimyasal tepkimeler ve termokimyasal ısı borularında gerçekleştirilebilir [115].

Tersinir kimyasal tepkimelerle ısı depolamada, endotermik tepkimelerle depolanan ısı, ekzotermik tepkimelerle geri kazanılır. Tepkime sıcaklığında oluşan tepkime ürünleri farklı yerlerde depolanır; ısı gerektiğinde ürünlerin karıştırılması ve katalizör eklenmesiyle geri kazanılabilir. Kimyasal ısı pompası ise, iki alt sistem arasında gaz bileşen transferi ile tersinir tepkimeler yardımıyla çalışır. Bu sistemde buharın yoğunlaşması sırasında açığa çıkan yoğunlaşma ısı geri kazanılır. [120].

Termokimyasal ısı boruları, genellikle kolay yoğunlaşmayan gaz halinde reaktiflerin kullanıldığı tepkimeleri içerir. Bu reaktifler, ısı enerjisinin ısı borusu aracılığıyla uzak mesafelere iletilmesi için kullanılır. Termokimyasal ısı borusu teknolojisi, yüksek sıcaklıkta güneş enerjisi veya nükleer uygulamalarında, aynı zamanda endüstriyel kazanlardaki damıtma çevrimlerinde kullanılmaktadır [115].

Güneş enerjisinin tersinir kimyasal tepkimelerle depolanması, henüz gelişme aşamasında olan yeni bir yöntemdir. Düşük sıcaklıktaki uygulamalar için kimyasal tepkimelerle ısı depolama konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da genel olarak termokimyasal ısı depolama yönteminin yaygın kullanımını sınırlayan önemli sorunlar bulunmaktadır. Adsorpsiyonlu ısı depolama sistemleri, zeolit gibi gözenekli yapılara sahip metal-alumina-silikat malzemelerden yararlanır. Bu sistemlerde, nemli havanın adsorban malzeme üzerinden geçirilerek su buharının adsorbe edilmesi sağlanır. Ardından kuru sıcak hava aynı malzemedan geçirilerek su buharı desorbe edilir ve bu sırada soğur. Bu işlem sırasında desorpsiyon aşaması ısı depolamasını gerçekleştirirken, adsorpsiyon aşaması ısının geri kazanılmasını sağlar [121].



## 5.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ISI ENERJİSİ OLARAK DEPOLANMASININ GEREKLİLİĞİ

Yenilenebilir enerji kaynakları, yeterli enerji talebini karşılayamaması birçok dezavantaja neden olmuştur. Bu dezavantajların arasında ekonomik rekabetçilik eksikliği, düzensiz enerji üretimi, güvenilirlik eksikliği ve teşviklerin yetersiz uygulanması yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları zaman zaman kesintilere uğrayabileceğinden, enerji depolama ihtiyacı önem kazanmıştır. Enerji depolama, yaz aylarında fazla güneş enerjisinin olduğu dönemlerde enerji ihtiyacının düşük olduğu zamanlarda depolayarak, kış aylarında düşük güneş enerjisinin olduğu dönemlerde enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Antik dönemlerden bu yana toprak altında yiyecek depolamanın sabit sıcaklık avantajı kullanılmıştır. Ayrıca donmuş göl ve nehirlerden buz almak gibi basit yöntemler de termal enerji depolama örnekleridir [122].

Termal enerji depolama yöntemleri arasında yeraltında uzun süreli ve kısa süreli depolama yöntemleri yer almaktadır. Bu depolama yöntemleri, ısıtma, soğutma veya hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanılabilir. Termal enerji depolama, fosil yakıt kullanımının azalmasına ve emisyonların düşmesine yardımcı olabilir. Enerji depolama aynı zamanda ısıl sistemlerin verimliliğini artırmak için de kullanılır. Örneğin, yaz aylarında fazla güneş enerjisi depolanarak kış aylarında kullanılabilir, böylece ısıl sistemlerin enerji tasarrufu sağlaması ve daha etkili çalışması mümkün olur [123].

Günümüzde Türkiye'de yeraltında ısı enerjisinin depolanması uygulamaları sınırlıdır. Ancak bu tür uygulamaların yaygınlaşması sayesinde ülke genelinde fosil yakıtlardan sağlanacak tasarruf miktarının büyük olabileceği ve emisyonların azalacağı tahmin edilmektedir [124].

Yer altında ısı depolama, farklı zaman aralıklarında, mevsimsel veya günlük olarak uygulanabilir ve kullanım amacına bağlı olarak şekillenir. Ülkemizde bu tür uygulamaların sayısı oldukça azdır. Isı enerjisi depolama, enerjinin bol olduğu dönemlerde depolanıp, ihtiyaç duyulan veya yetersiz kaldığı dönemlerde

kullanılabilme yeteneği ile büyük önem taşır. Bu amaçla güneş enerjisi, yer altı kaya tabakalarındaki dikey kuyular, ısı yalıtımlı çelik tanklar, yer altı mağaraları, toprağa gömülü yatay ve dikey borular (özellikle toprak kaynaklı ısı pompalarında), akü ferler, yeraltındaki beton tanklar gibi farklı depolama yöntemleri kullanılmaktadır. Isı depolama, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlar. Yer altında yapılan bu tür depolama sistemleri, enerji ihtiyaçları ve iklim koşullarına bağlı olarak tasarlanır ve uygulanır [120].

Isı depolama sistemi tasarımında, fizibilite çalışmaları, termal analizler ve matematiksel modellendirme gibi adımlar oldukça önemlidir. Kuramsal formülasyon ve analizler, sistemin davranışını ve performansını önceden tahmin etmeye yardımcı olur. Bu analizler, ısıl depolama sistemi bileşenlerinin etkileşimini ve enerji akışlarını anlamayı sağlar. Isı depolama sisteminin tasarımı, enerji ihtiyacının, kullanım amacının ve çevresel koşulların göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Tasarım aşamasında kullanılacak malzemelerin ısı depolama kapasiteleri, ısı iletkenlikleri, hacimsel değişimleri gibi özellikler de hesaba katılmalıdır. Kuramsal formülasyon ve analizler, sistemin optimize edilmesi ve maliyet etkin bir şekilde çalışabilmesi için önemlidir. Böylece gereksiz maliyetler ve enerji kayıpları önenebilir. Ayrıca, analizler sayesinde sistemin hangi koşullarda daha iyi performans göstereceği de belirlenebilir. Sonuç olarak, ısıl enerji depolama sistemleri tasarımında deneysel bilgilerin yanı sıra kuramsal formülasyonlar, termal analizler ve matematiksel modellendirme gibi yaklaşımlar kullanılması, daha güvenilir, verimli ve maliyet etkin sistemlerin oluşturulmasına katkı sağlar [124].

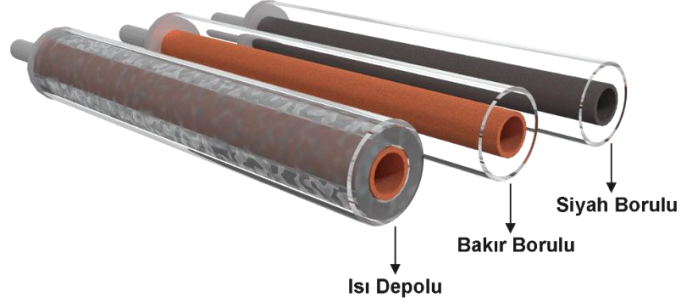
## BÖLÜM 6

### MATERYAL VE METOT

Çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak için geleneksel tasarımlar yerine daha verimli ve enerjiyi depolayabilen sistemlerin pratik uygulamalarını artırmak gerekmektedir. Bu çalışmada parabolik oluklu güneş kolektörünün performansını geliştirmek için alıcı tüp bakır borudan, siyah boyanmış bakır borudan ve içine parafin wax malzemesi doldurulmuş bakır borudan olmak üzere 3 farklı tüp tasarlanmış ve test edilmiştir.

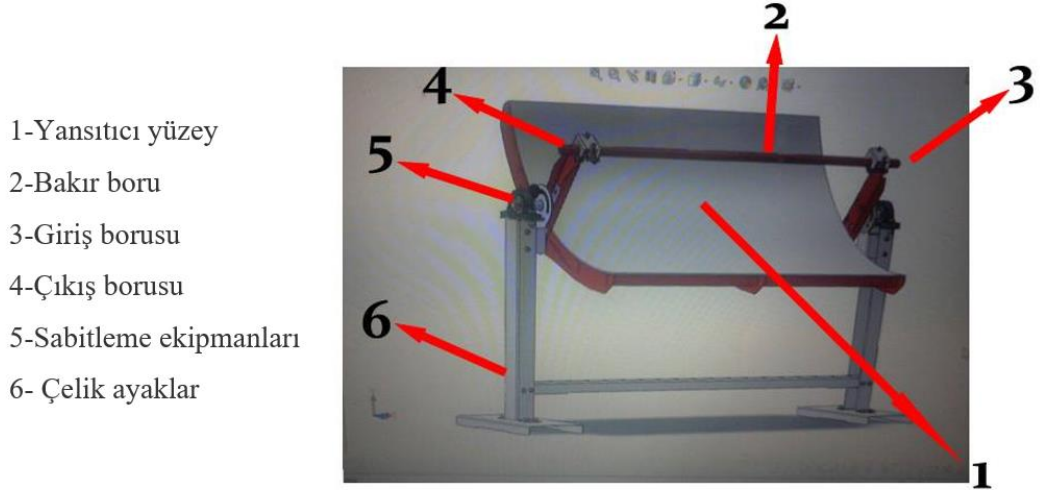
#### 6.1. SİSTEMİN TASARIMI VE İMALATI

Parabolik güneş kolektörü iki ana bileşenden oluşur: parabolik yansıtıcı ve alıcı tüp. Bu düzenekte parabolik yansıtıcı olarak Elokmalı-parlak alüminyum sac malzeme kullanılmıştır. Elokmalı alüminyum malzemedен oluşan yüzey %94 yansıtıcılık özelliğine sahiptir. Ayrıca yansıtıcının altında da mat alüminyum malzeme vardır. İkisinin arasında sandviç olarak kompozit malzeme bulunmaktadır. Alıcı tüp ise iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki cam örtü, ikinci ise emici borudur. Cam örtü malzemesi olarak düşük demirli bora silikat cam kullanılmıştır. Emici boru olarak bakır ve siyaha boyanmış bakır boru olarak iki farklı tipte imal edilmiştir. Ayrıca alıcı tüpte termal enerji depolayabilmek için bakır boru ile cam örtü arasında şeffaf parafin wax malzemesi ile doldurulmuş bir alıcı tüpte imal edilmiştir. Emici boruların kesitleri Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.



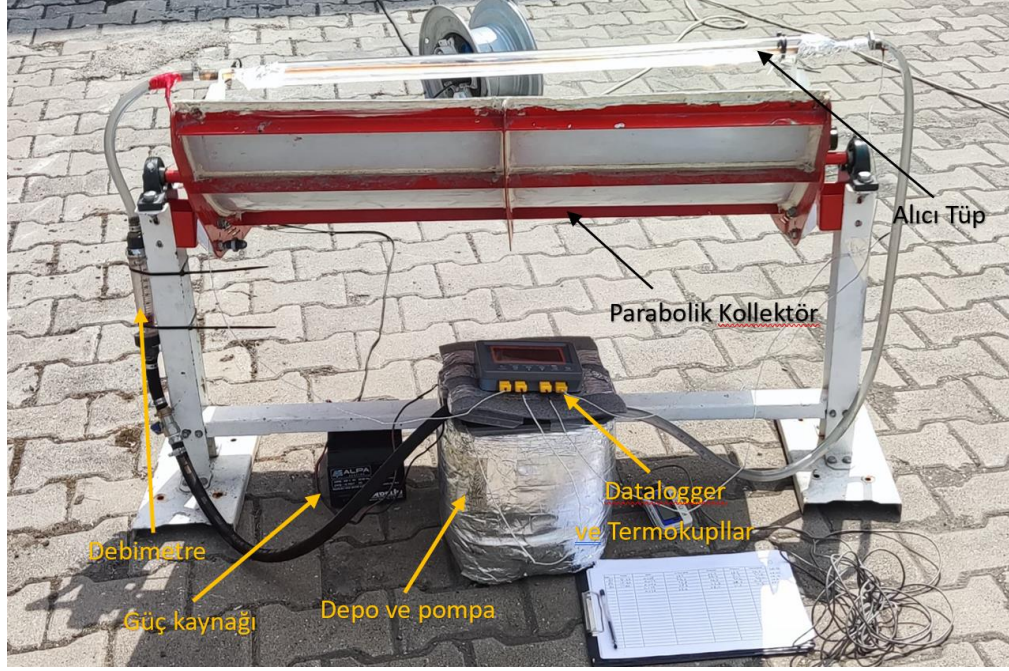
Şekil 6.1. Emici Boruların Kesitlerinin Gösterimi.

Parabolik oluklu kolektör de sıcaklık yükseldiğinde parafin sıcaklığı artacak ve böylece termal enerji depolanmasında da faydalanılmış olacaktır. Parafin wax'ın şeffaflığı sayesinde güneş radyasyonu içinden geçebilecek ve içinde olan bakır boruyu ısıtabilecektir. Tasarımı ve imalatı yapılan deney düzeneği ve parçalarının detaylı görünümü Şekil 6.2.'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Sistemin görünümü ve ekipmanları.

Parabolik oluklu güneş kolektörü kompozit alüminyum malzemeden oluşan %94 yansıtıcılık sahip yüzeyden oluşmaktadır. Çelik konstrüksiyon gövde ile imal edilen kolektör 65x90 cm boyutlara sahiptir. Kolektörün odak noktasına yerleştirilen farklı tasarımlardaki alıcı tüp yardımı ile termal enerji elde edilebilmektedir. İmalatı yapılan sistemin deney anındaki görünümü aşağıdaki şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Sistemin deney anındaki görünümü.

Deneysel düzenek çalışır durumda şu şekildedir; Güneş ışınımı parabolik oluklu kolektöre gelmekte ve odak noktasında bulunan alıcı tüpe yansıtılarak taşıyıcı akışkana geçmektedir. Bu çalışmada çalışır akışkanı olarak su kullanılmıştır. Depo içinde bulunan DC pompa yardımı ile su sürekli kapalı döngüde sirküle ettirilmektedir. Pompa güç kaynağına bağlıdır ve akışın debisi şamandıralı debimetre ile ölçülmektedir. Deneysel esnasında güneş ışınımı piranometre ile ölçülürken, su girişi ve çıkışı, depo ve çevre sıcaklıkları datalogger ile ölçülmüştür. 3 tasarım ısı depolu alıcı tüpe parafin sıcaklığı ise ayrı bir sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Tüm sıcaklık ölçüm cihazları deney başlamadan önce kalibre edilmiştir.

## 6.2. SİSTEMİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Tasarımı ve imalatı yapılan bu sistemin performansının belirlenmesi için termodinamik analizlerin yapılması zorunludur. Bu çalışmada termal sistemlerde sıkça kullanılan enerji dengesi yani birinci kanun analizi yapılmıştır. Termodinamiğin 1. kanunu enerjinin korunumu ilkesine dayanır. Sürekli akışlı açık sistemler için termodinamiğin 1. Kanununa göre kütle korunumu aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\sum \dot{m}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \quad (6.1)$$

Burada  $\dot{m}$  akışkanın kütsel debisidir. Sistemdeki her bir elemana göre termodinamiğin

1. Kanunu uygulandığında enerji dengesi Eşitlik XX halini alır.

$$\dot{Q} + \sum(\dot{m}h)_{giren} = \dot{W} + \sum(\dot{m}h)_{çıkan} \quad (6.2)$$

Bu eşitlikte Q, W ve h sırasıyla, ısı, iş ve entalpi olarak tanımlanmaktadır. Parabolik oluklu kolektör sisteminde enerji dengesi suyun girişi ile çıkışı arasındaki farkla ilişkilidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_D \times c_p \times (T_\zeta - T_g) \quad (6.3)$$

Parafin için duyulur ve gizli ısı enerji arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilir [128].:

$$h_L = \int_{T_{mp}}^T c_L dT \quad T > T_{mp}, \text{ Liquid} \quad (6.4)$$

$$h_S = \int_T^{T_{mp}} c_S dT \quad T \leq T_{mp}, \text{ Solid} \quad (6.5)$$

Denklem 6 ve 7'de katı haldeki entalpi ( $h_S$ ), sıvı haldeki entalpi ( $h_L$ ) erime noktası ( $T_{mp}$ ), katı hal özgül ısı ( $c_S$ ) ve sıvı hal özgül ısı ( $c_L$ ), temsil edilmektedir. FDM tarafından sisteme aktarılan veya çekilen toplam termal enerjinin hesaplanması aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{pw,total} = \dot{Q}_S + \dot{Q}_{LT} + \dot{Q}_L \quad (6.6)$$

Parabolik oluklu kolektörün verimi elde edilen enerjinin yüzeye gelen güneş ışınımına oranı ile hesaplanabilir.

$$\eta_k = \frac{Q_k}{A_T \times I_T} \quad (6.7)$$

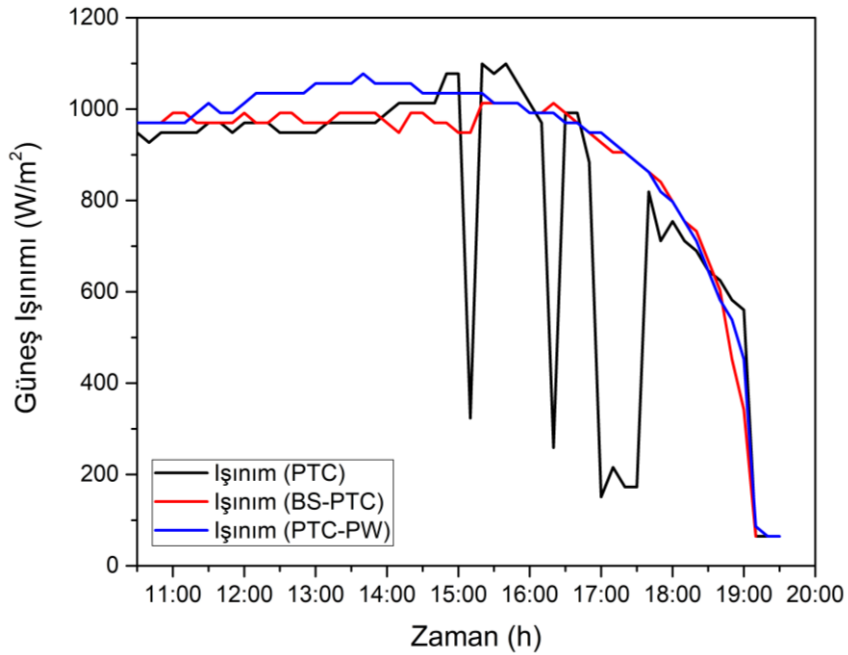
Burada  $I_t$  birim başına düşen toplam güneş radyasyonu,  $A_t$  kolektör yüzey alanı ( $m^2$ ) olarak belirlenmiştir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında 3 farklı alıcı tüpe sahip parabolik oluklu güneş kolektörü benzer iklim şartlarında sırayla denenmiş ve elde edilen sonuçlar bu bölümde grafiksel olarak sunulmuştur. Tüm grafiklerde siyah çizgi ile gösterilen veriler sadece bakır borudan oluşan alıcı tüpü, kırmızı çizgiler ile gösterilen veriler siyaha boyalı borudan imal edilmiş alıcı tüpü ve mavi çizgi ile gösterilen verilerde bakır boru – şeffaf parafin kombinasyonundan oluşan alıcı tüpü göstermektedir.

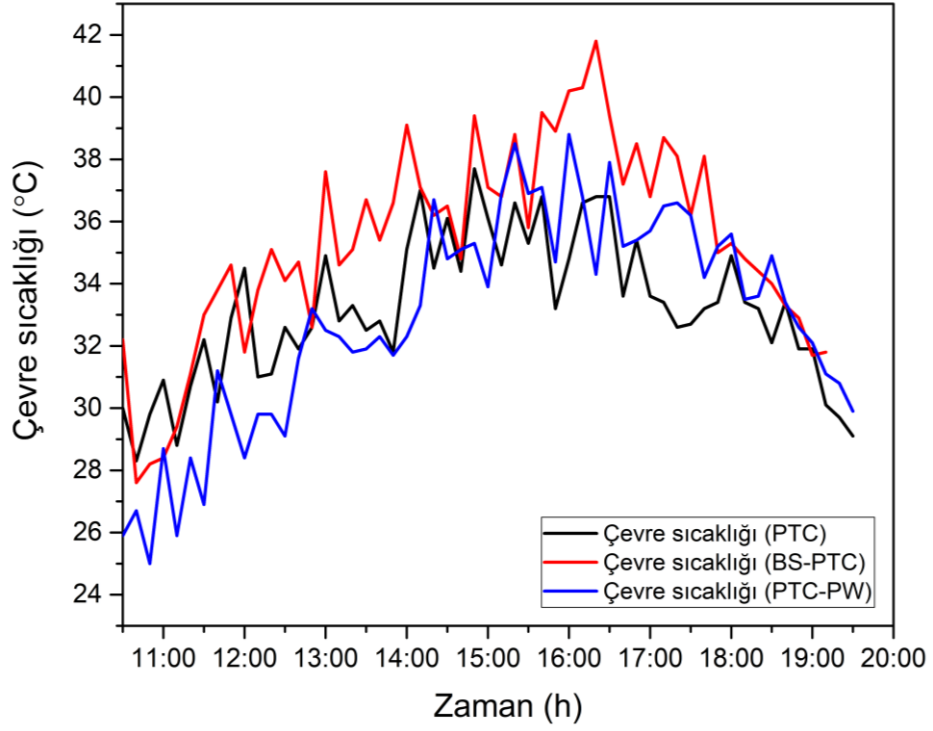
Şekil 7.1.'de gösterilen ilk grafikte deney günlerindeki güneş ışınımının zamana göre değişimi görülmektedir. Ortalama güneş ışınımı değerleri, bakır borulu alıcı tüp ile yapılan deneylerde  $907 \text{ W/m}^2$ , siyah boyalı alıcı tüp ile yapılan deneylerde  $891 \text{ W/m}^2$  ve son olarak bakır boru şeffaf parafin ikilisinden oluşan alıcı tüp ile yapılan deneylerde  $920 \text{ W/m}^2$  olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.1. Güneş ışınımı değerlerinin zamana göre değişimi

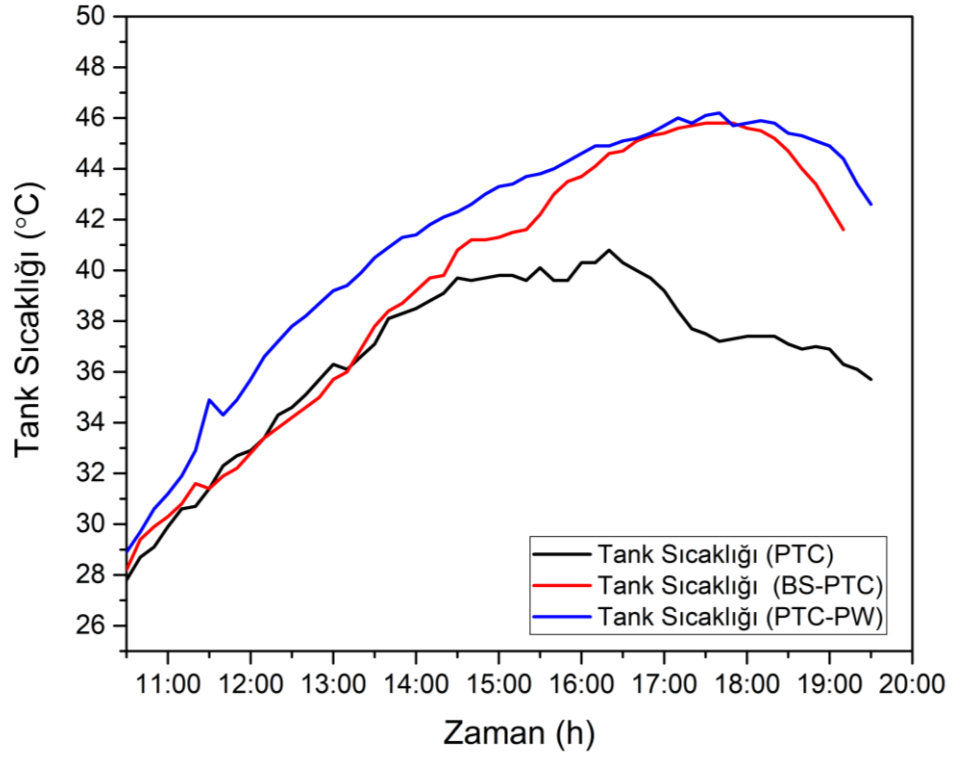


Deney günlerindeki çevre sıcaklığının zamana göre değişimi ise Şekil 7.2.'de verilen grafikte gösterilmiştir. Çevre sıcaklığının ortalama değerleri bakır borulu sistem için 31,2 °C, siyah borulu sistem için 35°C ısı depolu sistem için ise 35,9 °C olarak tespit edilmiştir.



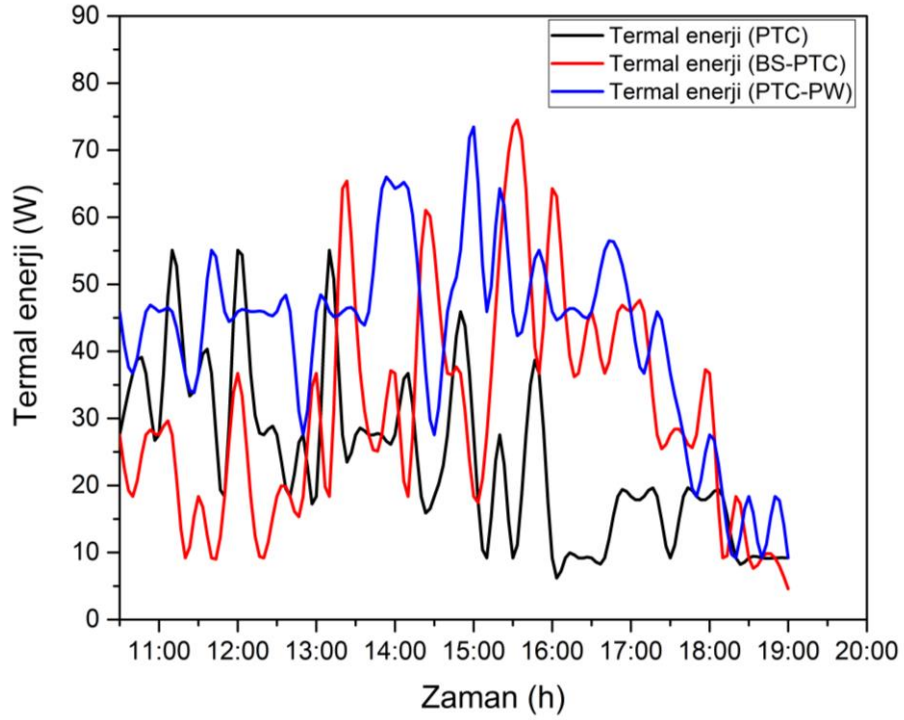
Şekil 7.2. Çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi.

Şekil 7.3'te Tank sıcaklığının her bir alıcı tüp için zamana bağlı değişimi görülmektedir. Bakır borulu sistemde ortalama tank sıcaklığı 37°C, siyah boyalı boruda 39,5 °C, ısı depolu sistemde ise 41,6 °C olarak tespit edilmiştir. En yüksek tank sıcaklığı benzer atmosferik şartlarda olmasına rağmen ısı depolu sistemde elde edilmiştir. Güneş ışınımının düştüğü 16:00'dan sonra bakır borulu sistemde tank sıcaklığı düşük seyrederken, siyah borulu ve ısı depolu sistemde tank sıcaklıkları artmaya devam etmiştir.



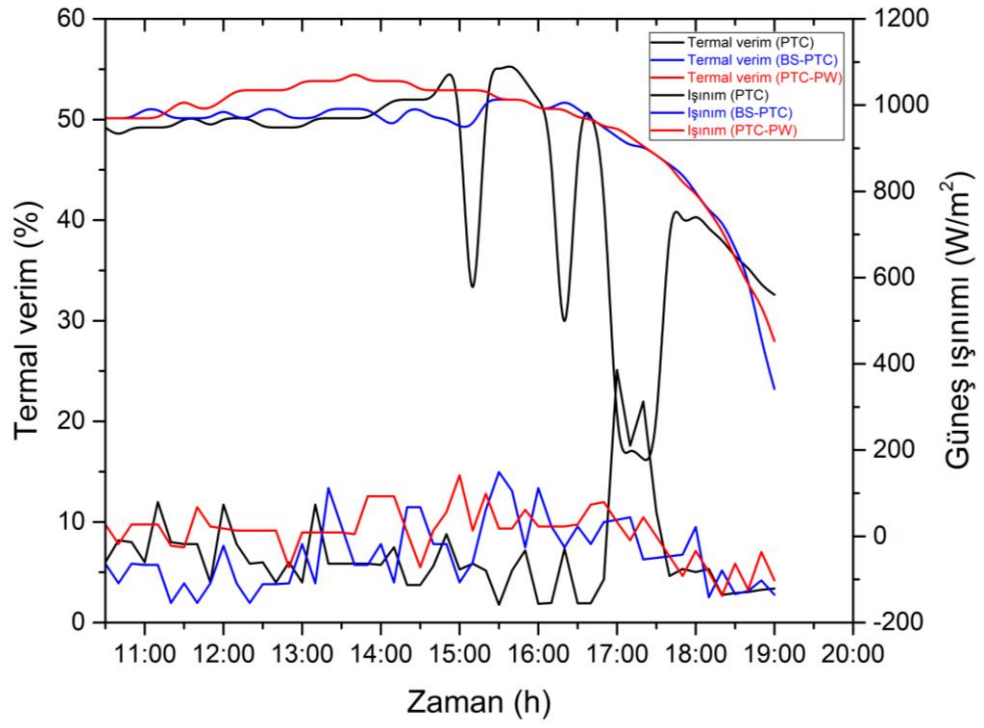
Şekil 7.3. Tank sıcaklığının zamana göre değişimi.

Şekil 7.4.'te alıcı tüplerden elde edilen termal enerjinin zamana göre değişimi görülmektedir. Bakır borulu alıcı tüpte ortalama 23 W enerji elde edilirken, siyah borulu tüpte 29 W, ısı depolu sistemde 33,5 W termal enerji elde edilmiştir. Görüldüğü üzere parafinli yani ısı depolu sistemde diğer sistemlere daha yüksek termal enerji elde edilmektedir bunun sebebi faz değiştiren malzeme olarak kullanılan parafinin zaman içerisinde gizli ısısından yararlanılmasıdır.



Şekil 7.4. Termal enerjinin zamana göre değişimi.

Termal verimin zamana göre değişimini gösteren grafik Şekil 7.5.'te sunulmuştur. Bu grafiğe göre ortalama verim değerleri bakır borulu sistem için %5, siyah borulu sistem için % 6,38 ve ısı depolu sistem için ise %7,15 olarak tespit edilmiştir. Verim değerlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 7.5.'e ikincil eksen olarak güneş ışınımlarında verilmiştir. Siyah borulu sistemde deney gününde ışınım değerlerinde bulutlanmadan dolayı ani düşüşler görülmektedir bu nedenle verim değerlerinde de ani yükselişler olmuştur, bunun sebebi ışınım düşük olmasına termal enerji kazanımını halen devam etmesidir. Siyah boyalı borunun yüzeyi daha yüksek sıcaklık absorbe etme kapasitesine sahiptir ve bu sıcaklığı güneş ışınımı azalsa bile taşıyıcı akışkana aktarabilmektedir. Böylelikle verimlerde ani yükselmeler görülebilmektedir.



Şekil 7.5. Termal verimin zamana göre değişimi.

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu deneysel çalışmada 3 farklı alıcı tüp tasarımına sahip parabolik oluklu güneş kolektörü benzer iklim koşullarında test edilerek termodinamik analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde sunulmuştur.

- Yapılan çalışmanın sonucunda şeffaf parafin ve bakır boruya sahip ısı depolu sistemin ortalama termal verimi % 7,15 ile en yüksek verime sahiptir. Bu sistemin verimi siyah borulu sisteme göre %10,7, düz bakır borulu sisteme göre %30 daha yüksek çıkmıştır.
- Isı depolu sistemde elde edilen termal enerji ısı depolu sistemde siyah borulu sisteme göre %13,4 bakır borulu sisteme göre ise yaklaşık olarak %31,3 daha fazladır.
- En yüksek tank sıcaklığı deneyler sırasında 48,7 °C ile ısı depolu sistemde elde edilmiştir. Ardından 45,8 °C ile siyah borulu, 41,2 °C ile bakır borulu sistem gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar ısı depolu parabolik oluklu güneş kolektörü sisteminin istenilen verimi verdiğini göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda ısı depolu sistemde siyah boru kullanılması ve yüzey alanlarının kanatçıklı yapı ile artırılması gibi çalışmaların yapılması bu sistemi geliştireceği düşünülmektedir. Ayrıca son yıllarda araştırmacıların ısı transferini iyileştirmek için sıklıkla kullandığı nano akışkanların ısı depolu sistemlerle beraber kullanımının verim ve termal enerji değerlerini yükselteceği düşünülmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Değirmenci, T., “Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasında mali araçların etkinliği: AB ülkeleri örneği= The efficiency of fiscal instruments in the spread of renewable energy: The case of EU countries”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Sakarya (2023).
2. Karadağ, A. N., “Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu, Gelecek Öngörüsü ve Özelinde Güneş Enerjisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2023).
3. Lamrani, B., Kuznik, F., And Draoui, A., “Thermal performance of a coupled solar parabolic trough collector latent heat storage unit for solar water heating in large buildings”, *Renewable Energy*, 162: 411-426 (2020).
4. Karasu, E., “Sürdürülebilir yeşil bina sertifika sistemleri kapsamında geliştirilecek iyileştirmelerin bina enerji performansına etkisi: Babaeski Bahçekent konutları örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2023).
5. Sarangi, A., Sarangi, A., Sahoo, S. S., Mallik, R. K., Ray, S., And Varghese, S. M., “A review of different working fluids used in the receiver tube of parabolic trough solar collector”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148(10): 3929-3954 (2023).
6. Goel, A., And Manik, G., “Step towards sustainability: Techno-economic optimization of a parabolic trough solar collector using multi-objective genetic algorithm”, *Thermal Science and Engineering Progress*, 37 (2023).
7. Yılmaz, İ. H., Söylemez, M. S., And Yumrutaş, R., “Experimental analysis and dynamic simulation of a solar-assisted industrial process using parabolic trough solar collectors under outdoor conditions”, *Energy for Sustainable Development*, 72: 212-229 (2023).
8. Assareh, E., Hoseinzadeh, S., Agarwal, N., Delpisheh, M., Dezhdar, A., Feyzi, M., And Lee, M., “A Transient simulation for a novel solar-geothermal cogeneration system with a selection of heat transfer fluids using Thermodynamics analysis and ANN intelligent (AI) modeling”, *Applied Thermal Engineering*, 231 (2023).
9. Herez, A., El Hage, H., Lemenand, T., Ramadan, M., And Khaled, M., “Review on photovoltaic/thermal hybrid solar collectors: Classifications, applications and new systems”, *Solar Energy*, 207 : 1321-1347 (2020).

10. Verma, S. K., Gupta, N. K., And Rakshit, D., "A comprehensive analysis on advances in application of solar collectors considering design, process and working fluid parameters for solar to thermal conversion" *Solar Energy*, 208, 1114-1150 (2020).
11. Alimohammadi, Z., Akhijahani, H. S., And Salami, P., "Thermal analysis of a solar dryer equipped with POGK and PCM using experimental and numerical methods", *Solar Energy*, 201, 157-177 (2020).
12. Biswas, Deepankar, et al., "Designing of parabolic trough solar concentrator using structural steel.", *Proceedings of Industry Interactive Innovations in Science, Engineering And Technology* (I3SET2K19) (2020).
13. Ajbar, W., Hernández, J. A., Parrales, A., And Torres, L., "Thermal efficiency improvement of parabolic trough solar collector using different kinds of hybrid nanofluids.", *Case Studies in Thermal Engineering* , 42, 102759 (2023).
14. Isravel, R. S., Raja, M., Saravanan, S., And Vijayan, V., "Thermal augmentation in parabolic trough collector solar water heater using rings attached twisted tapes", *Materials Today: Proceedings*, 21:127-129 (2020).
15. Yılmaz, İ. H., Söylemez, M. S., Hayta, H., and Yumrutaş, R., "A process heat application using parabolic trough collector.", In International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013) Proceedings, Antalya, 9-12 October 2013, 137-141, *Springer International Publishing* (2014).
16. Kizilkan, O., Kabul, A., And Dincer, I., "Development and performance assessment of a parabolic trough solar collector-based integrated system for an ice-cream factory", *Solar Energy*, 100: 167-176 (2016).
17. İnternet: KPMG, "Sektörel Bakış", <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2019/03/sektorel-bakis-2019-enerji.pdf> (2023).
18. Augutis, J., Martišauskas, L., Krikštolaitis, R., And Augutienė, E., "Impact of the renewable energy sources on the energy security", *Energy Procedia*, 61: 945-948 (2014)
19. Erdal L., "Enerji arz güvenliğini etkileyen faktörler ve yenilenebilir enerji kaynakları alternatifi", Doktora Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Aydın (2011).
20. Tezekici, S., "Türkiye’de Enerji Sektörü ve Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu (Kaynaklar-Politikalar)", Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul (2005).
21. Ellabban, O., Abu-Rub, H., And Blaabjerg, F., "Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Mevcut Durum, Gelecekteki Beklentiler ve Bunların Etkinleştirici Teknolojisi", *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 39: 748-764 (2014).

22. Uzun, İbrahim. "Türkiye'nin enerji görünümü ve enerji verimliliği." *Mühendis ve Makine Dergisi*, 63.707 (2022): 15-23.
23. Duzgun, B., And Komurgoz, G., "Turkey's energy efficiency assessment: white certificates systems and their applicability in Turkey", *Energy Policy*, 65, 465-474 (2014).
24. Kılıç, M. Y., Dönmez, T., And Adalı, S., "Bursa ve Karaman illerinde konutlarda güneş enerji potansiyelinin uygulanabilirliğinin araştırılması", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(2): 421-432 (2021).
25. Akusta, E., "Yenilenebilir enerji, büyüme ve çevre ilişkisi: Türkiye örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kırklareli (2019).
26. İnternet: T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, "Meteoroloji Genel Müdürlüğü" <https://www.mgm.gov.tr/FILES/Resmi-Istatistikler/Parametreanalizi/2022-Gunluk-Guneslenme-Sureleri.Pdf>, (2023).
27. Erkin, E., "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Karabük İli Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2019).
28. Yiğit, A., And Atmaca, İ., "Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları", *Dora Basım Yayın Dağıtım*, Bursa (2018).
29. Bayraktar, B., "Maden sektöründe enerji verimliliği: bir maden işletmesi örneği" Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2021).
30. Yıllankıran, N. ve Doğan H. "Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu." *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10(2) : 77-92 (2020).
31. Çilginoğlu, Ü., "Yenilenebilir Enerji ve Enerji Finansman Kaynakları", Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kastamonu (2017).
32. Sofuoğlu, E., "Kaya gazı devrimi ve olası ekonomik etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü*, Aydın (2014).
33. Gürel, B., "Türkiye'deki güncel biyokütle potansiyelinin belirlenmesi ve yakılmasıyla enerji üretimi iyi bir alternatif olan biyokütle atıklar için sektörel açıdan ve toplam yanma enerji değerlerinin hesaplanması", *mühendislik bilimleri ve tasarım dergisi*, 8(2): 407-416 (2020).
34. İnternet: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (2023).
35. Sezal, I., "Evaluation of the solar energy investments in turkey from behavioral finance", *The Journal Of International Social Research*, 10(51): 1117–1125, (2017).



36. Ertürk, O., Ertürk, A. E., “Türkiye’de yenilebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi ve cari açık üzerindeki etkisi”, *In International Conference On Economic And Social Impacts Of Globalization And Future Of Turkey-Eu Relations*, 103–113, (2018).
37. Citaristi, I., “International energy agency iea”, the europa directory of international organizations, *Routledge*, 701-702 (2022).
38. İnternet: TSKB, “Dünya ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü”, <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf> (2021).
39. Karaağaç, M. O., "Soğutma sistemlerinde fotovoltaiik termal modül destekli defrost uygulaması", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2022).
40. Yahı, F., Belhamel, M., Berdja, M., Ouali, A., Tetbirt, Mokrane, M., And Djebiret, M., “Modelling and exergetic analysis of a parabolic trough solar collector” , *2019 International Conference On Environment, Resources And Energy Engineering*, (2020).
41. Abed, N., Afgan, I., Cioncolini, A., Iacovides, H., And Nasser, A, “Assessment and evaluation of the thermal performance of various working fluids in parabolic trough collectors of solar thermal power plants under non-uniform heat flux distribution conditions”, *Journal of Energies*, 13(15):1–27 (2020).
42. Vijayan, G., And Rajasekaran, K., "Performance evaluation of nanofluid on parabolic trough solar collector," *Journal of Thermal Science*, 24(2):853–864, (2020).
43. Üçgöl, İ., Arslan, Ö., Elibüyük, U., And Emen, Y., “Parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemlerin Isparta organize sanayi bölgesinde kullanımı”, *Journal of Yekarum*, 4(2):40-48 (2019).
44. Alamılı, A. S., “Design and axperimental investigation of the parabolic trough solar collector”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri. (2019).
45. Kılıç, D., “Parabolik oluk tipi güneş toplayıcılı güç santralının YSA tabanlı optimizasyonu: Bilecik uygulaması parabolik oluk tipi güneş toplayıcılı güç santralının YSA tabanlı optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik (2019).
46. Bilgin, E. O, “Design and implementation of a parabolic trough solar collector”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul. (2019).
47. Quezada-García, S., Sánchez-Mora, H., Polo-Labarrios, M. A., And Cázares-Ramírez, R. I., "Modeling and simulation to determine the thermal efficiency of a parabolic solar trough collector system" *Case Studies In Thermal Engineering*, 16 (2019).

48. Sahoo, Sudhansu S., Ray, S., Tripathy, A. K., And Singh, S., "Effect of inlet temperature of heat transfer fluid and wind velocity on the performance of parabolic trough solar collector receiver: a computational study." *International Journal Of Heat And Technology*, 37(1): 48–58 (2019).
49. Dündar, S., "Parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı-yansıtıcı yüzeyin matematiksel modellenmesi." *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi (DÜMF)*: 10(1): 131–138 (2019).
50. İşler, G., "Parabolik oluk kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kuleleri ile enerji üretim analizi ve uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik (2018).
51. Ullah, F., And Min, K., "Performance evaluation of dual-axis tracking system of parabolic trough solar collector, *The 5th Annual International Conference On Material Science And Environmental Engineering (MSEE2017)*: Xiamen, China (2018).
52. Prakash, E. V., And Rai, A. K., "Performance optimization of solar PTC using Taguchi method", *International Journal of Mechanical Engineering And Technology (IJMET)*: 9(2): 523–529 (2018).
53. Singh, H., And Mishra, R. S., "Performance analysis of solar parabolic trough collectors driven combined supercritical CO<sub>2</sub> and Organic Rankine Cycle", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(3): 451–464 (2018).
54. Kolekar, M. S. T., And Patil, M. P. S., "Performance analysis of solar parabolic trough collector system for different concentration of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with water as base fluid", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*: 5(7): 2472–2479 (2018).
55. Mohd, S., Arsalan, Y., Singh, D. P., And Singh, A., "Performance evaluation of solar parabolic trough collector with acrylic mirror sheet as a reflector," *International Journal of Research in Engineering and Social Sciences*, 07(06): 1–7 (2017).
56. Kumar, P., Nayak, Y. K., Sinha, U. K., And Kumar, N., "Performance analysis of parabolic trough collector," *International Journal of Engineering and Technology*, 9(2): 386–394 (2017).
57. Murtuza, S. A., Byregowda, H. V., H, M. M. A., And Imran, M., "Experimental and Simulation Studies of Parabolic Trough Collector Design for Obtaining solar energy," *Journal of Resource-Efficient Technologies*, 3(4): 414–421 (2017).
58. Çakıcı, D. M., "Thermal modeling of a geothermal powered Organic Rankine Cycle integrated with parabolic trough solar collector," *Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences*, İzmir (2016).

59. Koçak, B., and Paksoy, H., "Endüstriyel uygulamalarda güneş enerjisinden termal olarak yararlanma," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3): 769-782 (2020).
60. Ghoneim, A., "Performance analysis of parabolic trough collector in hot climate," *British Journal Of Applied Science and Technology*, 4(14): 2038–2058 (2014).
61. Ercoşkun, G. T., "Parabolik oluk tipi güneş toplayıcısı tasarımı ve deneysel incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin (2013).
62. Ghasemi, S. E., Ranjbar, A. A., And Ramiar, A., "Three-dimensional numerical analysis of heat transfer characteristics of solar parabolic collector with two segmental rings," *Journal of Mathematics and Computer Science*, 07(02): 89–100 (2013).
63. Şimşek, Ö., "Parabolik güneş kolektörü tasarımı, imalatı, test edilmesi ve kırsal bölgelerde ısıtma kullanım alanı fizibilitesi," Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).
64. Cicibıyık, C., "Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile enerji üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).
65. Akkoç, S., "birleşik parabolik yoğunlaştırıcılı güneş kolektörleri ile su ısıtma sisteminin matematiksel modeli, simülasyonu ve performans analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).
66. Şanlı, G., "Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin teorik olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2010).
67. Mazloumi, M., Naghashzadegan, M., and Javaherdeh, K., "Simulation of a solar absorption cooling system with parabolic trough collector for sunshine hours", *In Proceedings of the 47th Conference on Simulation and Modeling*, Helsinki, Finland, 188-193 (2006).
68. Eck, M. and Zarza, E., "Saturated Steam Process With Direct Steam Generating Parabolic Troughs", *Solar Energy*, 80(11): 1424-1433 (2006).
69. Klaus-Jürgen R., Andreas N. and Steffen U., "Performance Enhancement of Parabolic Trough Collectors By Solar Flux Measurement In The Focal Region", *Solar Energy*, 80(10): 1303-1313 (2007).
70. Soteris A. K., "Parabolic trough collectors for industrial process heat in Cyprus", *Energy*, 27(9): 813-830 (2002).
71. O. García-Valladares, N. Velázquez, "Numerical simulation of parabolic trough solar collector: improvement using counter flow concentric circular heat exchangers", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(3-4): 597-609 (2009).

72. Markus Eck, Tobias Hirsch, "Dynamics and control of parabolic trough collector loops with direct steam generation", *Solar Energy*, 81(2): 268-279 (2007).
73. G.C. Bakos, I. Ioannidis, N.F. Tsagas, I. Seftelis, "Design, optimisation and conversion-efficiency determination of a line-focus parabolic-trough solar-collector (PTC)", *Applied Energy*, 68(1): 43-50 (2001).
74. Delihasanlar, E., Yaylaci, E. K., and Dalcali, A., "Dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli, mevcut durumu, teşvikleri, kurulum maliyeti analizi-Karabük ili örneği", *Electronic Letters on Science and Engineering*, 15(1): 12-20 (2019).
75. Tanbay, T., Kara, Y. A., Karademir, A., "Türkiye'nin enerji yapısı", *International Congress of Energy Economy and Security*, 159–177 (2018).
76. Kızılgöl, Ö. A., Kâhya, S., And Kaya, Ö, "Karbondioksit emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi ve ticari açıklık ilişkisinin Türkiye için analizi," *ICEESS Congress*, 366 (2019).
77. İnternet: "Ükelere Göre Güneş Enerjisi", <http://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html>. (2023).
78. Çalışkan, H., "Güneş Kolektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoekolojik, sürdürülebilirlik, termoekonomik ve eksergoekonomik analizleri", *Mühendis ve Makina*, 61(700): 228-240 (2010).
79. Sancar, İ., "Adıyaman iklim şartlarında havalı güneş kolektörleri ile mahal ısıtılmasının araştırılması", Doktora Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa (2014).
80. Dugaria, S., Bortolato, M., And Del Col, D., "Modelling of a direct absorption solar receiver using carbon based nanofluids under concentrated solar radiation", *Renewable Energy*, 128: 495-508 (2018).
81. Kandilli, C., and Ulgen, K., "Review and modelling the systems of transmission concentrated solar energy via optical fibres", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 13(1): 67-84 (2009).
82. Bulut, H., Şahin, H., And Karadağ, R., "güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin tekno-ekonomik analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa (2006).
83. Kaygusuz, K., "Renewable and sustainable energy use in Turkey: a review", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 6: 339–366 (2002).
84. Aydın, D. Y., Aydın, E., and Gürü, M., "Manyetik alan uygulanan manyetik nanoakışkanların ısı transfer sistemlerinde kullanımı", *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar VIII*, 135 (2023).

85. Kumar, Y., Verma, M., Ghritlahre, H. K., Kumar, S., Verma, P., and Shekhar, S., "A review of performance improvements in design features of liquid flat-plate solar collector", *International Journal of Green Energy*, 1-35 (2023).
86. Yıldız, A., Gürlek, G., Güngör, A., Özbalta, N., "Alüminyum ve bakır borulu güneş kolektörlerinin enerji ve ekserji verimlerinin deneysel karşılaştırılması", *Mühendis Makine Dergisi*, 48, 569 (2007).
87. Goje, A. A., Ludin, N. A., Teridi, M. M., Syafiq, U., Ibrahim, M. A., Nawab, F., And Syakirin, A. A., "Design and simulation of lead-free flexible perovskite solar cell using SCAPS-1D", *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 1278(1), 012004 (2023).
88. Demircan, H., "Sıcaklık kontrollü ile doğal dolaşımli güneş enerjili kullanım sıcak suyu hazırlama sistemlerinin karşılaştırılması", *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 3(1): 12-25 (2020).
89. Ceylan, İ. and A. E. Gürel, "Güneş enerjisi sistemleri ve tasarımı", *Dora Yayıncılık*, Bursa, 39-40 (2017).
90. Otanicar, T. P., Phelan, P. E., Prasher, R. S., Rosengarten, G. And Taylor, R. A., "Nanofluid-based direct absorption solar collector", *Journal Of Renewable And Sustainable Energy*, 2(3): 30-100 (2010).
91. Gorji, T. B., and Ranjbar, A. A., "A review on optical properties and application of nanofluids in direct absorption solar collectors (DASCs)", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 72: 10-32 (2017).
92. Karami, M., Akhavan-Bahabadi, M. A., Delfani, S., And Raisee, M., "Experimental investigation of cuo nanofluid-based direct absorption solar collector for residential applications", *Renewable And Sustainable Energy reviews*, 52: 793-801 (2015).
93. Xu G, Chen W, Deng S, Zhang X, Zhao S., "Performance evaluation of a nanofluid-based direct absorption solar collector with parabolic trough concentrator", *Nanomaterials*, 5: 2131–2147 (2015).
94. Raj P, Subudhi S., "A review of studies using nanofluids in flat-plate and direct absorption solar collectors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 84: 54-74 (2018).
95. Rasih R. A., Sidik N.A.C. And Samion S., "Recent progress on concentrating direct absorption solar collector using nanofluids", *J Therm Anal Calorim*, 137: 903–922 (2019).
96. Muhammad M. J., Muhammad I. A., Sidik N.A.C. and Yazid MNAWM., "Thermal performance enhancement of flat-plate and evacuated tube solar collectors using nanofluid: a review", *Int Commun. Heat Mass Transfer*, 76: 6-15 (2016).

97. Pavlović S. R., Bellos E, Stefanović V. P, Đorđević M. M. and Vasiljević D. M., "Thermal and exergetic investigation of a solar dish collector operating with mono and hybrid nanofluids", *Therm Science*, 22: 1383-1393 (2018).
98. Rajendran D. R, Sundaram E. G. And Jawahar P., "Experimental studies on the thermal performance of a parabolic dish solar receiver with the heat transfer fluids sic+ water nanofluid and water", *J Therm Sci*, 26: 263–272 (2017).
99. Loni R, Asli-Ardeh E. A, Ghobadian B, Kasaeian A. B. and Bellos E., "Energy and exergy investigation of alumina/oil and silica/oil nanofluids in hemispherical cavity receiver: experimental study", *Energy*, 164: 275–287 (2018).
100. Hissouf M, Najim M. And Charef A., "Numerical study of a covered photovoltaic thermal collector (pvt) enhancement using nanofluids", *Sol Energy*, 199: 115–127 (2020).
101. Hissouf M, Najim M. And Charef A., "Numerical study of a covered photovoltaic thermal collector (pvt) enhancement using nanofluids", *Sol Energy*, 199: 180–195 (2020).
102. Kundapur A., "A treatise on solar cookers," *Int Altern Energy Trust Udupi*, 576102 (2018).
103. Şanlı, G., "Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerin teorik olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2010).
104. Al-Rashed, A. A., Alnaqi, A. A., and Alsarraf, J., "Energy-saving of building envelope using passive pcm technique: a case study of kuwait city climate conditions", *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, 46: 101254 (2021).
105. Jamshed, W., Shahzad, F., Safdar, R., Sajid, T., Eid, M. R., and Nisar, K. S., "Implementing renewable solar energy in presence of maxwell nanofluid in parabolic trough solar collector: a computational study", *Waves In Random And Complex Media*, 1-32 (2021).
106. Kalogirou, S. A., "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy And Combustion Science*, 30(3) : 231-295 (2004).
107. Khatri R., Goyal R., and Sharma RK., "Advances in the developments of solar cooker for sustainable development: a comprehensive review", *Renew Sustain Energy Rev*, 145, 111166 (2021).
108. Huggins, R. A., And Huggins, R. A., "Energy Storage: Fundamentals, Materials And Applications 2nd ed.", *Springer*, Stanford (2016).
109. Erdoğan, S., "Enerji, çevre ve sera gazları", *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1): 277-303 (2020).

110. Göktaş, H., "Türkiye için pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin önemi ve durum analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli (2018).
111. Kocaman, B., "Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama teknolojileri", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1): 119-127 (2013).
112. Mert, M. S., Sert M., And Mert, H. H., "Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme", *Journal Of Engineering Sciences and Design*, 6(1): 161-174 (2018).
113. Yılmazoğlu, M. Z., "Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması", *Politeknik Dergisi*, 13(1): 33-42 (2010).
114. Can, A., And Karaçavuş, B., "Güneş enerjisinin duyulur ısı olarak depolanabilirliği", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 92: 23-28 (2006).
115. Kozak, M., And Kozak, Ş., "Enerji depolama yöntemleri", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(2): 17-29 (2012).
116. Mazman, M., "Gizli ısı depolaması ve uygulamaları", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2006).
117. Benlioğlu, M. M., "Isı depolu havalı güneş kolektörlü kurutma sistemi", Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2021).
118. Mert, M. S., Sert M., and Mert, H. H., "Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme", *Journal Of Engineering Sciences and Design*, 6(1): 161-174 (2018).
119. Aslan, O., "Faz değiştiren malzemelerle güneş enerjisinin depolanması", Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2015).
120. Taylor, R. A., Phelan, P. E., Otanicar, T. P., Walker, C. A., Nguyen, M., Trimble, S., and Prasher, R., "Applicability of nanofluids in high flux solar collectors", *Journal Of Renewable And Sustainable Energy*, 3(2), 023104 (2011).
121. Yörükoğulları, E., "Güneş enerjisinin doğal zeolite depolanması," Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2013).
122. Uzun, M. H., "Güneş enerjisi depolama olanakları ve bir yöntemin değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2010).
123. Bayraktar, K. G., "Güneş ülkemizin enerji geleceğidir," *Enerji ve Maden Dergisi*, 21: 50-54 (2016).
124. Lee B.J., Park K., Walsh T., And Xu L., "Radiative heat transfer analysis in plasmonic nanofluids for direct solar thermal absorption", *J Sol Energy Eng*, 134, (2012).

## ÖZGEÇMİŞ

Burak AKINCI ilköğretimini Edirne ve ortaöğrenimini Konya ilinde tamamladı. Ardından lise eğitimine Konya Muhittin Güzelkılıç Lisesinden devam etti. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Lisans eğitimine başladı. 2012 yılında mezun olduktan sonra 2017 yılına kadar özel sektörde çalıştı. 2020 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalından 2023 yılında mezun oldu. 2017 yılında Gümüşhane Üniversitesi Elektrik ve Enerji Bölümü'nde Öğr. Gör. olarak göreve başladı ve hâlen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.