T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL AMAÇLI BİR YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Ahmet ERSAVAŞ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA danışmanlığında, Ahmet ERSAVAŞ'ın hazırladığı ''**Endüstriyel Amaçlı Bir Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneysel İncelenmesi**" konulu bu çalışma 21/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA ……..

Üye : Prof. Dr. Hüsamettin BULUT ……..

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Yusuf İŞIKER ……..

Bu Tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doc. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 1053

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No
ÖZET v
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
SİMGELER ve KISALTMALAR x
1. GİRİŞ 11
1.1 Yenilenebilir Enerji 12
1.1.1. Güneş Enerjisi Sistemleri 13
1.1.2. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları 18
1.2. Türkiye'nin yenilenebilir enerji görünümü 20
1.3. Tez Konusunun Amacı ve Önemi 23
1.4. Tez Çalışmasının Kapsamı 23
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 24
3. MATERYAL ve YÖNTEM 41
3.2. Ölçüm Yöntemi 48
3.3. Deneysel Sistemde Kullanılan Temel Denklemler 51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 53
4.1 Deneyler 54
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 64
5.1. Sonuçlar 64
5.2. Öneriler 66
KAYNAKLAR 69
ÖZGEÇMİŞ 74

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL AMAÇLI BİR YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN TASARIMI, İMALATI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

Ahmet ERSAVAŞ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA
Yıl: 2019, Sayfa: 74

Bu tez çalışmasının amacı, güneş enerjisini yoğunlaştırarak faydalı enerjiye dönüştürebilen bir yoğunlaştırıcı güneş kolektörünün, Şanlıurfa iklim koşullarında tasarımı, imalatı ve performans analizini yapmaktır. Bir fresnel lens kullanılarak yoğunlaştırılmış bir güneş enerjisi kolektörü tasarlanmış ve prototipi imal edilmişti. Prototipte 1 m^2 alana sahip çizgisel odaklama yapan bir fresnel lens kullanılmıştır. Lensin odak çizgisi, lensten 1.5 m uzaklıkta, odak kalınlığı 5 cm ve odak uzunluğu 1 m'dir. Lensin odak çizgisine 8 cm çapında, 1.2 m uzunluğunda ve 5 mm et kalınlığında bakır boru, yalıtım oluşturması için borosilikat cam boru (çap 15 cm) içinde yerleştirilmiştir. Borunun yağ tankıyla bağlantısı, yüksek sıcaklığa dayanıklı esnek hortum kullanılarak sağlanmıştır. Esnek hortuma bir yağ pompası da bağlanarak kapalı bir devre oluşturulmuştur. İki boyutlu güneş takibi için manuel kontrol edilen bir mekanizma geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada verileri toplamak için, borunun giriş ve çıkış noktalarına K tipi termal çift yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, güneşten termal yağa aktarılan enerji miktarına bağlı olarak %60 ve üzeri ısıl verimler ortaya çıkmıştır. Yapılan deneylerde ulaşılan çıkış yağ sıcaklığı olarak, en yüksek sıcaklık 96 ^oC olarak ölçülmüştür. Isıl verimi arttırmak için, otomatik güneş takip sistemlerinin, yoğunlaştıran güneş enerjisi sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca bu tür kolektörlerin, güneş enerjisi ile hızlı kurutma yapan bir meyve ve sebze kurutma makinası gibi uygulamada kullanılabilir.

ANAHTAR KELİMELER: Fresnel lens, güneş enerjisi, yoğunlaştırıcı, kurutma.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A CONCENTRATING SOLAR COLLECTOR FOR INDUSTRIAL PURPOSES

Ahmet ERSAVAŞ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA
Year: 2019, Page: 74

The purpose of this study, is to design, manufacture and analyze the performance of a concentrated solar collector, which is able to convert solar energy into useful energy, in Şanlıurfa seasonal conditions. Concentrated solar collector is designed with a fresnel lens and prototype is manufactured. 1 m^2 panel surface area fresnel lens, that is able to focus solar beams in a line, is used in the prototype. Focus line of the fresnel lens is 1.5 m away from the lens upper surface and 5 cm width and 1 m long. A copper pipe is placed to the focus line which has a 8 cm diameter,1.2 m long and 5 mm thickness, also this pipe is placed inside a borosilicate glass, which has a diameter of 15 cm, and isolated from each edges to reduce heat losses. Copper pipe is connected with oil tank with a flexible hose, which is durable to high temperatures. Oil pump is connected to the flexible hose so that, a closed circuit is achieved. A manual controlled mechanism is designed to track the sun in two axes. To collecting temperature data's, two K type thermo couples is placed into inlet and the outlet of the copper pipe and data's are collected. Regarding to the experiment results, transferred solar energy to the thermal oil over 60% thermal efficiencies are observed. Maximum outlet temperature is measured as 96 ^oC . Regarding to experiment results, automatic solar tracking systems are a must for concentrated solar energy systems. Also these systems can be used in drying of fruit and vegetables.

KEY WORDS: Fresnel lens, solar energy, concentrater, drying.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar her aşamasında bana yardımcı olan ve deneyimlerini titizlikle aktaran danışmanım, Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA'ya, ayrıca çalışmamı destekleyen üniversitemiz HÜBAK birimine de teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deney düzeneğinin tasarım ve imalatında bana destek olan, tesislerini, makinelerini kullandıran, GAPSAN OTOMOTİV, ve ERTEKİN MOTOR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümü çalışanlarından Dr. Öğretim Üyesi Yusuf İŞIKER ve Araş. Gör. Yunus DEMİRTAŞ'a verdikleri destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Yenilenebilir kaynaklardaki gelişmeler (Url-2). 20
Çizelge 2.1. Segs'lerin işletme verileri (gilbert ve ark. 1999). 26
Çizelge 2.2. Dünya genelinde faaliyette olan parabolik kolektör teknolojisine sahip santraller..... 28
Çizelge 3.1. Mobiltherm 32 termal yağın fiziksel özellikleri 52
Çizelge 4.1. Deneylerin özet sonuçları. 63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

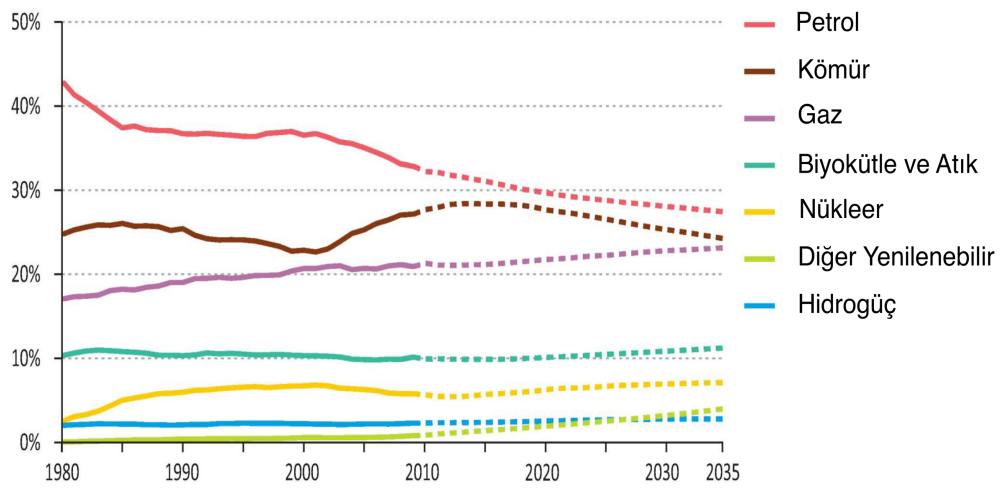
Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının, birincil enerji ihtiyacını karşılama oranları (URL-1). 11
Şekil 1.2. 2018 sonu itibari ile yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı, tahmini (URL-2). 13
Şekil 1.3. Dünyaya gelen güneş ışınlarının dağılımı (Girgin, 2011). 15
Şekil 1.4. Odaklamalı Termal Güneş enerjisi sistemleri. 17
Şekil 1.5. Kaynak bazında toplam enerji tüketimleri 2017 yılı hesaplaması (URL-2). 19
Şekil 1.6 Türkiye Global Radyasyon değerleri (kW/m^2/gün) (URL-10) 22
Şekil 1.7. Türkiye Güneşlenme Süreleri(Saat) (URL-10) 22
Şekil 2.1. Al Meadi Tesisinin şematik çizimi ve kolektörlerin yapısı. 25
Şekil 2.4. SEGS sistemlerinin bileşenleri (Gilbert ve ark. 1999). 27
Şekil 3.1. Prototipin 3 boyutlu tasarımı 43
Şekil 3.2. Fresnel lensin odaklaması 44
Şekil 3.3. Fresnel lensin çerçevesi 45
Şekil 3.4. Malzemelerin gövde kısmının plazmada kesilmesi 46
Şekil 3.5. Montajı biten sistem. 47
Şekil 3.7. KIPP-ZONEN marka Güneş Işınım Takip ve Ölçüm Sistemi (Bulut ve ark. 2009) 49
Şekil 3.8. Cihazın ölçebildiği ışınım çeşitleri (Bulut ve ark. 2009). 50
Şekil 3.9. HIOKI marka data logger 51
Şekil 4.1. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (21 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat) 55
Şekil 4.2. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (26 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat) 56
Şekil 4.3. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (28 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat) 57
Şekil 4.4. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (28 Haziran başlangıç saati: 13:18, yağ debisi: 35 kg/saat) 58
Şekil 4.5. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (29 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat) 59
Şekil 4.6. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (29 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat) 60
Şekil 4.7. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (5 Temmuz, yağ debisi: 83 kg/saat) 61
Şekil 4.8. Şanlıurfa'da güneş ışınımının gün boyunca değişimi (29.06.2012). 62

SİMGELER ve KISALTMALAR

IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
AB	Avrupa Birliği
$	Amerikan Doları
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
Km	Kilometre
SORCE	Güneş Radyasyonu ve İklim Deneyi
REN21	21. Yüzyıl Yenilenebilir Enerji Politikaları
WEO	Dünya Enerji Görünümü
NASA	Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi
CrNi	Krom Nikel
PV	Foto Voltaik
SEGS	Solar Energy Generating Systems
PMMA	Polimetlakrilat
ORC	Organik Rankine Çevrimi
Rpm	Dakikada devir
Nm	Newton metre
$\dot{m}$	Kütlesel debi
Q	Enerji
c	Termal yağın özgül ısı kapasitesi
kJ	Kilo jule
K	Kelvin
Kg	Kilogram
ΔT	Sıcaklık farkı
^{o}C	Santigrat derece
cSt	Kinematik vizkozite
m^2	Metrekare
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
GWe	Gigavat elektrik
PV/T	Hibrit fotovoltaik termal
TW	Tera vat

1. GİRİŞ

Küresel enerji ihtiyacı her geçen yıl artmakta, enerji arzının güvenliği sağlamaya yönelik çalışmalar hızlanmaktadır. Uluslararası Enerji ajansı uzmanlarının 2035 yılı dünya enerji ihtiyacı projeksiyonuna göre; Küresel enerji ye olan talep 2009 rakamlarından en az %40 fazla olması beklenmektedir. Aynı senaryoda Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, fosil yakıtların enerji üretimindeki payı 2010'daki %81 değerinden %75'e düşmesi beklenirken; yenilebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin payı %13'ten %18'e ve yenilenebilir enerjiye sağlanan yıllık devlet sübvansiyonların da 66 milyar $'dan 250 milyar $'a yükselmesi beklenmektedir (URL-1).



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının, birincil enerji ihtiyacını karşılama oranları (URL-1).

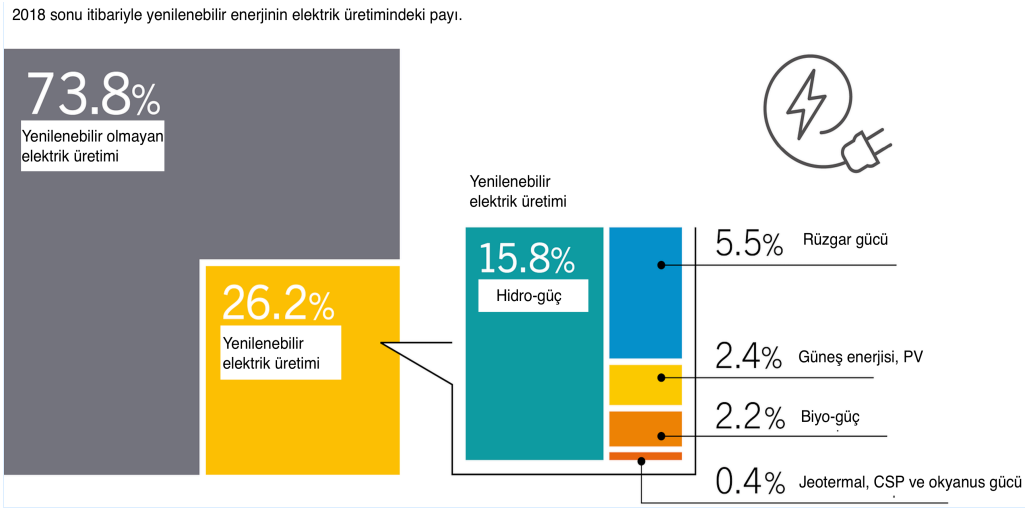
Enerji ihtiyacındaki hızlı artış, ülkeleri enerji politikalarında daha yenilikçi çözümler üretmeye mecbur bırakıyor. Son yıllarda enerji temininde çeşitlilik ve enerji tüketiminde verimliliği arttırıcı çalışmalara hız verilmiş, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmayı teşvik edici sübvansiyonlar sağlanmaya başlanmıştır. Örneğin; AB Aralık 2008'de aldığı karar doğrultusunda, 2020 yılında elektrik enerjisi ihtiyacının üçte birinden fazlasını yenilenebilir kaynaklardan üretmeyi hedeflemiştir. Böylece enerji temininde ithalata bağımlılık azaltılacak ve kaynak çeşitliliği sağlanacaktır. Ancak 2018 yılı itibari ile AB bu hedefin çok uzağında kalmıştır. Bazı

Avrupa ülkeleri bu hedefe yaklaşmayı başarsa da Avrupa Birliği ortalaması bu hedefin oldukça dışındadır.

Arz güvenliği ve çeşitliliğini arttırıp enerjide dışa bağımlılığı azaltma doğrultusunda DPT'nin hazırladığı "Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesi", Bakanlar Kurulu tarafından 18.05.2009'da kabul edilmiştir. Bu belgede özetle: 2020 yılında elektrik ihtiyacının en az %30'nun yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi yönünde karara varılmıştır. Böylece ülkemizin enerjide dışarıya olan bağımlılığı azalacak ve enerjide kaynak çeşitliliği artacaktır.

1.1 Yenilenebilir Enerji

Kendini yenileyebilen doğal kaynaklardan (Güneş ışınları, Rüzgâr, Jeotermal, Hidrogüç, Dalga) üretilen enerjiye yenilenebilir enerji denir. IEA'nın 2011 yılı raporuna göre Dünya elektrik üretiminin %19'u yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanırken, bu üretimin %84'ü hidroelektrik sayesinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla Güneş, rüzgâr, jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi, toplam yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin %16'sını üretebilmektedir. Böylece dünyada üretilen elektriğin sadece %3 Güneş, rüzgâr, jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebilmektedir (URL-4). 2018 yılı itibari ile Dünya elektrik üretiminin %26.2'si yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilirken, bu üretimdeki hidroelektriğin payı %60'a gerilemiştir. Dolayısıyla 2018 yılı itibari ile hidroelektrik dışı yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin oranı %40'a yükselmiştir. Güneş enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payı %2.4'e gerilemiştir. Üretilen elektrik bakımından güneşten elde edilen elektrik artmış olmasına rağmen, toplam elektrik üretimindeki artış ve diğer yenilenebilir kaynaklardan (Rüzgar ve Bio-Güç) elde edilen elektrikteki yükselişler, güneşten elde edilen elektrik miktarında oransal olarak düşüşe neden olmuştur (URL-2). Şekil 1.2'de bu istatistikler özetlenmiştir.



Şekil 1.2. 2018 sonu itibari ile yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı, tahmini (URL-2).

1.1.1. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş Enerjisini bir yenilenebilir enerji kaynağı olması bakımından incelemeden önce, Güneş hakkında bazı temel bilgilere değinilmelidir:

Güneş dünyadaki bütün varlıkların temel enerji kaynağıdır. Dünya üzerindeki canlılık güneş olmadan devam edemez. Bitkilerin fotosentez yapmaları, mevsimlerin oluşması, rüzgârların oluşması ve yağmurların yağması, denizlerde akıntıların oluşması vs. gibi dünya üzerinde canlılığı sağlayan birçok doğa olayı güneş sayesinde meydana gelir.

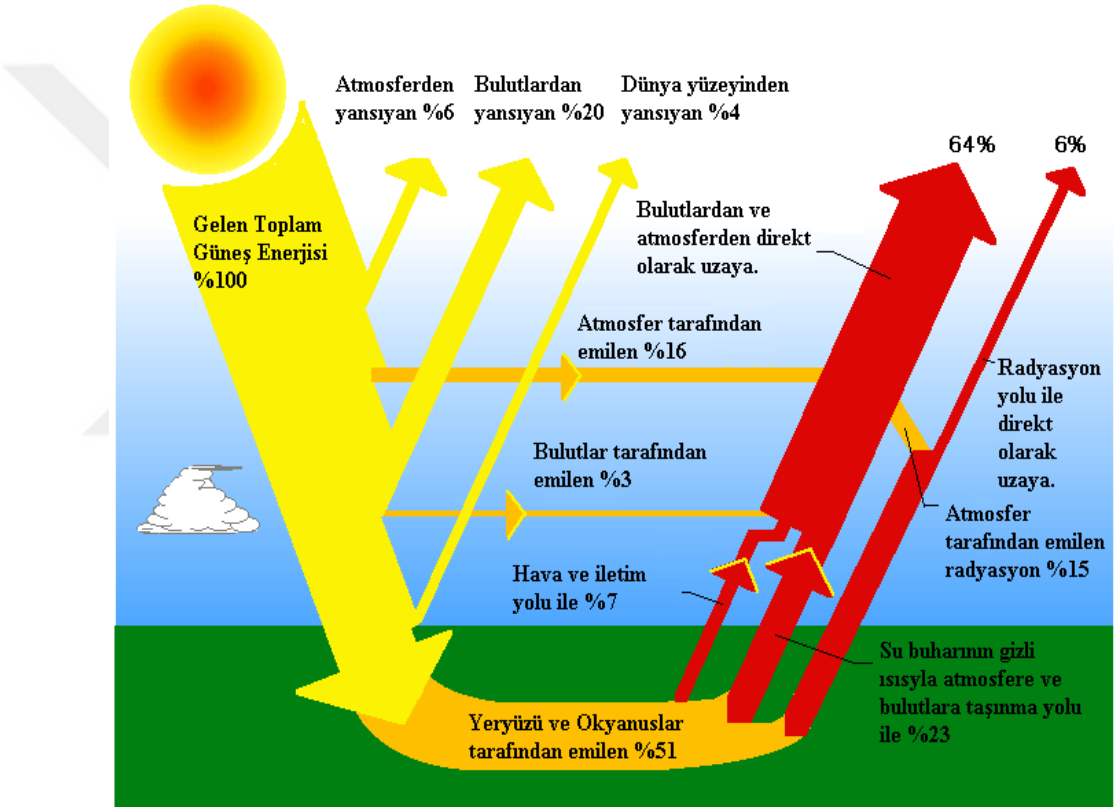
Son yıllarda yapılan güncel araştırmalara göre, Güneşin çapı 1392684 km (Emilio ve ark., 2012) yani dünyanın çapının 109 katı ve neredeyse mükemmel Küre ölçülerindedir (Godier ve ark., 2000). Dünyaya olan ortalama uzaklığı ise 1.496×10^{8} km' dir, dolayısıyla Güneşten çıkan bir ışının ortalama olarak dünyaya varma süresi yaklaşık olarak 8 dakika 19 saniyedir. Güneşin 4'te 3'ü Hidrojen ve kalan kısmın büyük bir çoğunluğu Helyumdan oluşmaktadır. (Antia ve ark., 2008) Güneş bu elementlerin nükleer füzyonu sayesinde çevresine yaydığı ısı ve ışınımı oluşturabilir. Yapılan hesaplamalara göre güneş nükleer füzyon sayesinde saniyede 620 milyon ton Hidrojen çekirdeğini Helyum'a çevirir. Böylelikle güneşin yüzeyindeki sıcaklık yaklaşık 5778 K (5505 C) olduğu hesaplanmıştır (Lada, 2006). Güneş yüzeyindeki

sıcaklık ve dünyamızın güneşe olan uzaklığını göz önüne aldığımızda güneşin yaydığı ısının dünyamıza ulaşmadığı söylenebilir. Zaten uzay boşluğunda ısının taşınabileceği herhangi bir ortamda bulunmamaktadır. Güneş dünyamızı bilinen en hızlı ısı transferi şekli olan radyasyonla ısıtır. Güneşten yola çıkan elektromanyetik dalgalar (veya Fotonlar) önce dünya atmosferine sonrada dünya yüzeyine ulaşır ve dünyanın ısınmasını sağlar. Dünyanın güneş etrafındaki ve kendi etrafındaki hareketinden dolayı dünyanın değişik bölgelerine farklı yoğunluklarda elektromanyetik güneş dalgaları ulaşır. Bu değişkenlik, dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yoğunluğunu hesaplamayı zorlaştıran bir durum olduğu için, Dünyanın Güneş'e olan ortalama uzaklığından yola çıkarak bir sabit değer üretilmiştir. Bu sabit değere de Güneş sabiti adı verilmiştir. Güneş sabiti, dünya atmosferi birim alanına gelen güneş enerjisi miktarıdır, dünyanın çevresindeki uydular tarafından ölçülmüştür. En yakın zamanda yapılan bir değerlendirmeye göre Güneş sabiti değeri 1361 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Dünya atmosferine gelen direk güneş ışınları, dünyanın güneş etrafındaki hareketinden dolayı değişiklik gösterir. Dolayısıyla Güneş enerjisi değeri aslında değişken bir değerdir. Değişken olmasının nedeni dünyanın güneş etrafındaki hareketi süresince dünyanın güneşe olan uzaklığının sürekli değişmesidir. Gerçekte Güneş enerjisinin değeri % $\pm$6.9 oranında değişkenlik gösterebilir, ancak güneş enerjisi ile ilgili hesapları ve işlemleri kolaylaştırabilmek için dünyanın güneşe olan ortalama uzaklığı göz önüne alınarak hesaplanmış olan 1361 W/m^2 güneş sabiti olarak kullanılmaktadır (Kopp ve ark., 2011).

Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA)'nın 25 Ocak 2003'te uzaya gönderdiği Pegasus XL araç ile dünya yörüngesine yerleştirdiği uydu sayesinde Toplam Güneş Işınımını daha kesin şekilde hesaplama olanağı araştırıcılar için sağlanmıştır. Kısa adı SORCE olan bu program sayesinde dünyanın 25 Şubat 2003'ten başlayarak her gün yenilenen dünyanın Toplam Güneş Işınımı değerleri yayınlanmaktadır (URL-3).

Dünya yüzeyine gelen Güneş enerjisi güneş sabiti değerinden her zaman daha düşüktür. Dünya atmosferi ve gökyüzündeki bulutlar güneş ışınlarının bir kısmını uzaya yansıttıkları gibi bu ışınların bir miktarını da emerler. Amerikan Uzay ve

Havacılık Dairesi (NASA)'nin yaptığı araştırmalara göre Güneş enerjisinin dünya yayılışı Şekil 1.2.'de gösterilmiştir. Dolayısıyla dünya yüzeyine gelen güneş radyasyonun %45'ten fazla bir kısmı atmosfer ve bulutlar tarafından yansıtılıyor veya yutuluyor. Güneş ışınları atmosfer engeline takılmadan dünyamıza gelseydi, dünya yaşanabilir olur muydu? Gündüzleri çok sıcak olur ve su kaynaklarında hızlı bir buharlaşma yaşanır, geceleri de çok soğuk olurdu. Yani atmosfer olmasaydı dünya çölleşirdi denilebilir. Dünyayı yaşanabilir kılan Atmosfer, güneş enerjisi potansiyelinde de azalmaya neden oluyor.



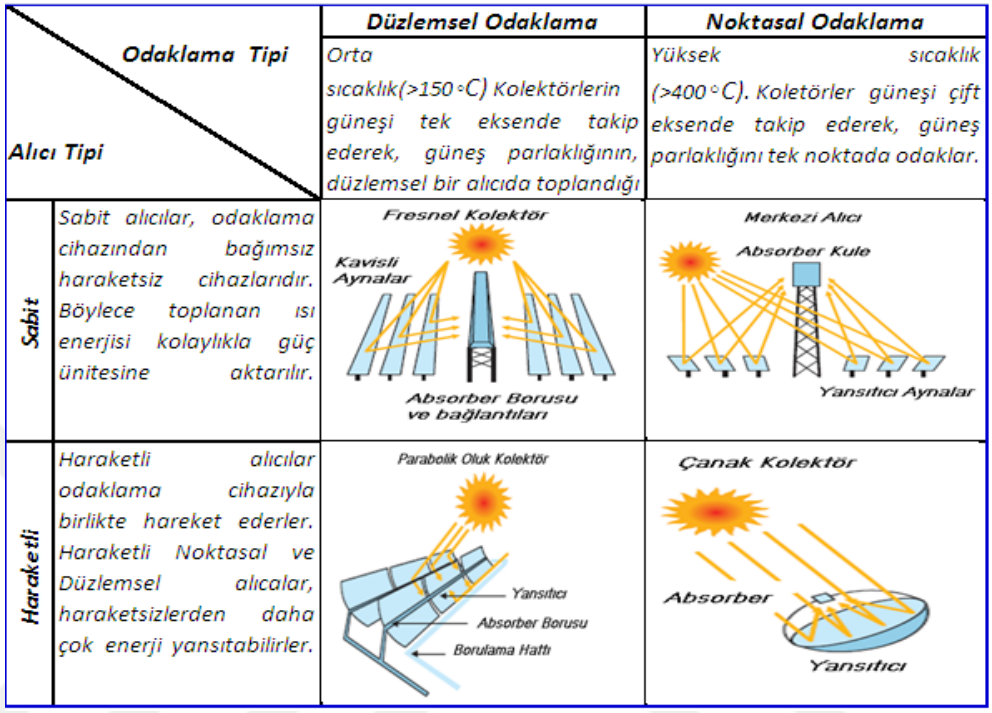
Şekil 1.3. Dünyaya gelen güneş ışınlarının dağılımı (Girgin, 2011).

Bu veriler ışığında bulutsuz güneşli bir günde dünya yüzeyine ortalama olarak dünyaya gelen güneş ışınlarının %74 ulaşır denilebilir. Güneş enerjisi sabiti 1361 W/m^2 ve Sahra çölüne birim alana 1000 W/m^2 enerji geldiğinden yola çıkarak: Bulutsuz bir günde Sahra çölünün tamamına gelen güneş enerjisi 94 TW olarak hesaplanır.

IEA'nın verilerine göre 2018 yılında dünyada toplam 26700 TWh elektrik enerjisi tüketilirken (IEA, 2019), dünya yüzeyine 1 saniyede düşen güneş ışığı enerjisi dünya tüketiminden çok fazladır. Bu durumu kıyaslamak için Sahra çölü örneğine bakarsak: Sahra çölüne 5 dakikada gelen güneş ışınım enerjisi, dünyanın 2018 yılı boyunca tükettiği toplam elektrik enerjisi kadar olduğu hesaplanmıştır.

Güneş, enerji kaynağı olarak çok yüksek bir ekserjiye sahiptir. Ancak insanoğlu Güneş enerjisinin potansiyelinden çok düşük oranlarda yararlanmaktadır. İnsanlar ilk olarak güneşten yiyeceklerini kurutup saklamak için yararlanmaya başladı. Güneşte kuruttukları yiyecekleri kış aylarında tüketerek istifade edildi, bu uygulama hala dünyanın dört bir yanında kullanılmakta. Daha sonra güneş enerjisinin termal etkileri değerlendirilmeye başlandı ve düzlemsel güneş enerjisi panelleri geliştirilmeye başlandı. Düzlemsel paneller güneş ışınlarını soğurmak için kullanılan genelde siyah mat emici yüzey, güneş ışınların geçmesine izin veren ve üretilen termal enerjinin kayıplarını azaltmak amacıyla kullanılan genelde cam malzemeden imal edilen yüzey, ısının soğurucu yüzeyden taşınmasını sağlayan termal akışkan (su, hava, antifriz vs.) ve termal akışkanına göre yalıtılmış depo veya ısıyı aktarabilecek destek yapısından oluşmaktadır. Düzlemsel güneş enerjisi sistemleri ülkemizde yaygın olarak, konutların sıcak su ihtiyaçlarını karşılamak için, yıllardır kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş enerjisi panellerinin maliyetleri diğer termal güneş enerjisi sistemlerine göre çok düşüktür. Ayrıca imalatı için yüksek teknolojiye ihtiyaç duymayan bu sistemlerin montajı da diğer termal güneş enerjisi sistemlerine göre daha kolaydır. En büyük dezavantajları ise, ulaşılabilecek en yüksek akışkan sıcaklıklarının diğer termal güneş enerjisi sistemlerine göre düşük kalmasıdır. Düzlemsel güneş enerjisi sistemleri ile 70-80^{o}C sıcaklıklara ulaşılabilmektedir, ayrıca son yıllarda kullanımı yaygınlaşan vakumlu borulu sistemler sayesinde düzlemsel güneş enerjisi sistemleriyle sıcaklık 120℃ mertebesine çıkabilmektedir. Vakumlu borulu sistemlerin gelişmesine rağmen, düzlemsel güneş sistemlerinin güneşten termal enerjiye verimleri, özellikle yoğunlaştıran sistemlerden çok daha azdır.

Şekil 1.4'te odaklamalı yoğunlaştıran termal güneş enerjisi sistemlerinin akışkan sıcaklığına, odaklama şekline ve alıcı tipinin hareketine göre sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Odaklamalı Termal Güneş enerjisi sistemleri.

- Orta Sıcaklık uygulamaları, çizgisel yoğunlaştırma yapan sistemler. Parabolik çukur tipi kolektörler, fresnel kolektörler, fresnel mercek tipi kolektörler bu uygulamanın örnekleridir. 400°C sıcaklığa bu tip uygulamalarda ulaşmak mümkün olmakla beraber, daha çok üretilen ısının buhar elde etmekte kullanılır. Daha sonra elde edilen buhar, uygun bir termodinamik çevrimle elektrik enerjisi üretiminde kullanılır.

- Yüksek Sıcaklık uygulamaları, noktasal yoğunlaştırma yapan sistemler. Bu sistemlerle 1400 °C sıcaklığa ulaşılabilmektedir. En tipik örnekleri: Merkezi alıcılar(Güneş Kuleleri) ve parabolik çanak kolektörlerdir. Merkezi alıcılar elektrik enerjisi elde edebilmek için buhardan yararlanırken, parabolik çanak tipi kolektörler buhar aracılığıyla elektrik üretebildikleri gibi, Stirling tipi motorlar sayesinde güneş enerjisini direkt mekanik enerjiye çevirebilirler (Yeşilata, ve ark. 2011).

Dünyanın yüzölçümü 510072000 km^2 ve dünya yüzeyine gelen anlık güneş ışınım enerjisi ortalama 749 W/m^2 olduğundan yola çıkarak; dünya yüzeyine 1 saniyede gelen güneş ışınım enerjisi: 2550360 TW olarak hesaplanır. Dünya yüzeyine gelen güneş ışınımını 1 saniye depolayıp ve bunu elektriğe çevirebilseydik, 2018 tüketim verilerine göre, tam 96 yıllık elektrik enerji ihtiyacımızı karşılayabilirdik. Kaldı ki bu rakam da insanlık tarihinin toplam elektrik enerjisi tüketiminden çok fazladır. Güneş enerjisinin yanında diğer kaynakların enerji potansiyelleri dünyanın ihtiyacından fazladır.

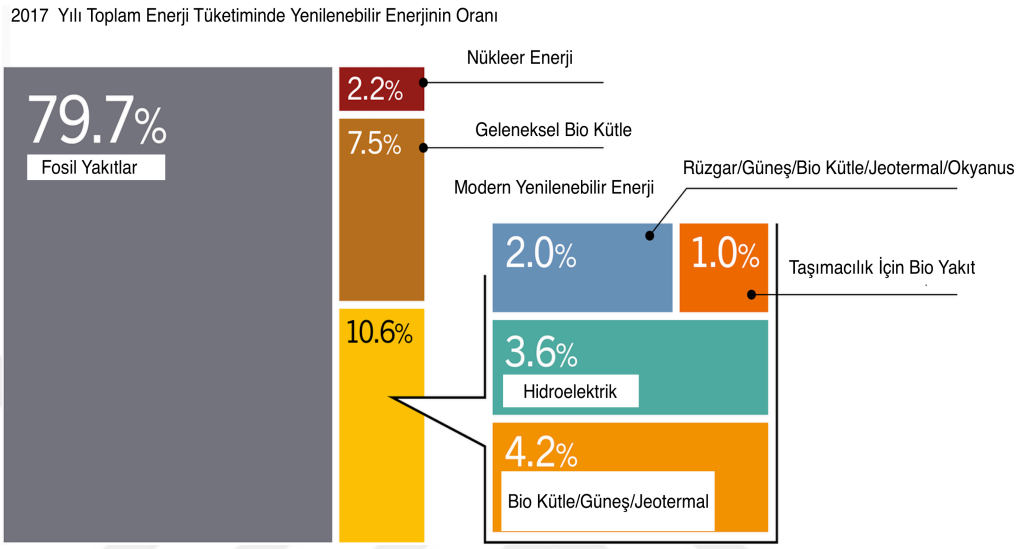
1.1.2. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları

Kendi kendini ikmal edebilen, güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, gelgit, dalga, jeotermal ısı gibi, kaynaklardan üretilen enerjiye yenilenebilir enerji denir.

Yenilenebilir kaynaklara olan ilgi 1970'li yıllardaki petrol krizi ile artmıştır. Ve yenilenebilir kaynaklara yatırım yapılması gerekliliği ülkeler ve yatırımcılar nezdinde benimsenmeye başlanmıştır. Dolayısıyla yenilenebilir alandaki bilimsel çalışmalar daha çok desteklenmeye başlanmış ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi artmaya başlamıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerden oluşan OECD (Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Örgütü) istatistiklerine göre, OECD ülkelerinde yenilenebilir kaynakların toplam enerji üretimine katkısı 1971'deki %4.8 değerinden 2014 yılında %9.17 değerine yükselmiştir. İzlanda zengin jeotermal kaynakları sayesinde, toplam enerji ihtiyacının %89.34'ünü yenilenebilir kaynaklardan üretebilmektedir, bunun yanında Güney Kore enerji ihtiyacının yalnızca %1.06'ini yenilenebilir kaynaklardan üretmektedir. Türkiye ise %9.32 ile OECD ortalaması kadar yenilenebilir kaynaklardan faydalanmaktadır (URL-9).

Dünya toplam enerji tüketiminin %18,1'i yenilenebilir kaynaklardan sağlanmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin toplam üretimdeki payı ise %26'dır. 2018 yılı rakamlarına göre, dünya çapında 2378 GW enerji, yenilenebilir kaynaklardan, üretilmektedir. 2018 yılı üretimi 2017 yılı ile kıyaslarsak, artış oranının %7.6 düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu rakamların detayına girildiğinde güneş

enerjisinden elde edilen enerjideki artış %19,1 olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilen üretim artışı oransal olarak Güneş'ten elde edilenin yarısından azdır (URL-2).



Şekil 1.5. Kaynak bazında toplam enerji tüketimleri 2017 yılı hesaplaması (URL-2).

2017 yılı verilerine göre yenilenebilir enerjinin Dünya toplam enerji tüketimindeki payı Şekil 1.5.'de belirtildiği gibidir. Şekilden de anlaşılacağı gibi dünya toplam enerji tüketiminde yenilenebilir kaynakların oranı %18'ler mertebesindedir. Dünya enerji tüketimi her yıl artmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji miktarı da artmaya devam etmektedir. Aşağıdaki tabloda 2017 – 2018 dönemi, dünya çapında yenilenebilir kaynaklara olan yatırım miktarları belirtilmiştir.

	2017	2018
Toplam Kurulu Yenilenebilir Enerji (GWe)	2197	2387
Kurulu Hidro Enerji (GWe)	1112	1132
Rüzgar Enerjisi (GWe)	540	591
PV Güneş Enerjisi (GWe)	405	505
Kurulu Sıcak Su güneş Enerjisi (GW termal)	472	480
Etanol Üretimi (10^9litre)	104	112
Biodizel Üretimi (10^9litre)	39,2	41
Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Sistemleri(GWe)	4,9	5,5
Jeotermal(GWe)	12,8	13,3

Çizelge 1.1. Yenilenebilir kaynaklardaki gelişmeler (URL-2).

Dünya genelinde yenilenebilir kaynaklara yapılan toplam yatırım, 2018 yılı hesaplamalarına göre nükleer ve fosil yakıt kaynaklarına yapılan yatırımın yaklaşık 3 katı olarak hesaplanmıştır. Bu yatırımların büyük bir kısmını ise Güneş, rüzgâr ve biyokütle teknolojilerine yapıldığı görülmektedir. 2018 yılı hesaplamalarına göre bu kaynaklar ve 50 MW'tan düşük hidro elektrik yatırımlarının toplamının 272 milyar dolar olduğu belirtilmiştir, (URL-2).

1.2. Türkiye'nin yenilenebilir enerji görünümü

Ülkemiz enerji bakımından dışa bağımlıdır. Ülkemizde tüketilen enerjinin %71.5 (2010 rakamı)'ini ithal etmek durumundayız. Ülkemizin yıllık enerji talep artışı 1990'dan 2010 yılına kadar olan dönemde ortalama %4.6 seviyesinde gerçekleşmiştir. Ülkemizin ileriye yönelik birincil enerji yıllık talep artışı tahmini %4'tür. 2020 yılına dek elektrik talep artışı ise; düşük senaryoya göre %6.7, yüksek senaryoya göre %7.5 olarak tahmin edilmektedir. ETKB gelecek 15 yıldaki yatırım ihtiyacını 100 milyar dolar olarak öngörürken, EPDK 2010–2030 dönemi için gerekli yatırım ihtiyacını 225–280 milyar dolar olarak tahmin etmektedir. Enerji talebinin karşılanmasında yüksek oranda dışa bağımlılık; yerli ve yenilenebilir kaynakların değerlendirilmesinin önemini, kaynak ve menşe çeşitlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (TMMOB, 2012).

ETBK'nın 2010-2014 stratejik planında, Yenilenebilir Enerji kaynaklarına ilişkin temel hedef 2023 yılı itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen

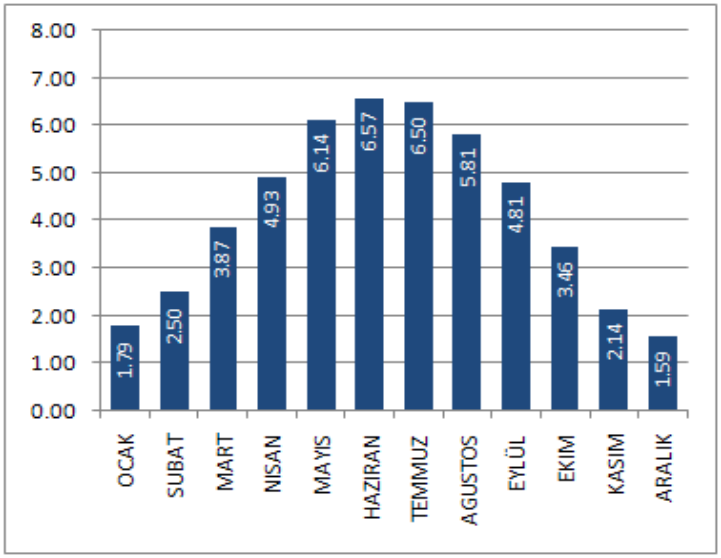
elektriğin toplam elektrik üretimindeki payının en az %30 olması sağlanmasıdır. Bu bağlamda:

- 2009 yılı itibariyle 802.8 MW olan rüzgar enerjisi kurulu gücü, 2015 yılına kadar 10000 MW'a çıkarılması sağlanacak.

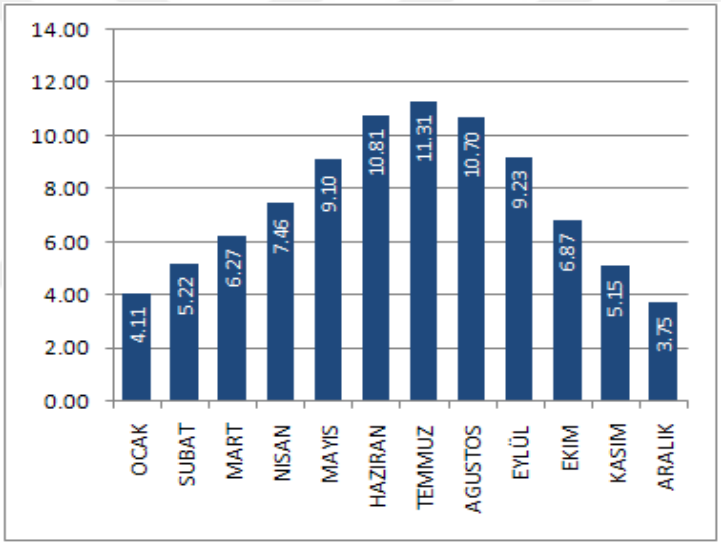
- Yapımına başlanan 5000 MW'lık hidroelektrik santraller 2013 yılı sonuna kadar tamamlanacak.

- 2009 yılı itibariyle 77.2 MW olan jeotermal kurulu gücü 2015 yılına kadar 300 MW'a çıkması sağlanacak (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2010).

Ülkemiz güneş enerjisinden yararlanma bakımından şanslı bir coğrafyada bulunmaktadır. Ülkemizin büyük bir bölümünde güneş enerjisinden sıcak su üretmek için yararlanılmaktadır. Bu sıcak su üretimi düzlemsel kolektörler (Plaka ve Vakum borulu tip) sayesinde yapılmaktadır. Bu kolektörlerin üretimi ülkemizde oldukça yaygındır bu alanda birçok firma faaliyet göstermektedir. 2007 yılı verilerine göre Türkiye'de ki toplam termal güneş enerjisi kurulu gücü 7.105 MW ve 10150000m^2 olup güneş enerjisinden yararlanma bakımından Çin ve Amerika'dan sonra üçüncü durumdadır. Ancak belirtilen rakamlar, nüfus ile oranlığında; kişi başına düşen güneş enerjisi olarak dünyada en çok kullanımda; 0.65 kW/kişi ile Kıbrıs, 0.49kW/kişi ile İsrail ve 0.22 kW/kişi ile Avusturya ilk sıralarda yer almaktadır. Türkiye ise 0.09 kW/kişi ile sıralamada oldukça geridedir. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa'nın en yüksek potansiyeline sahip olmakla beraber dünyanın en iyi güneş enerji potansiyellerinden birine de sahiptir (Yeşilata ve ark., 2011)



Şekil 1.6 Türkiye Global Radyasyon değerleri (kW/m^2/gün) (URL-10).



Şekil 1.7. Türkiye Güneşlenme Süreleri(Saat) (URL-10).

Şekil 1.6-1.7'de gösterildiği gibi, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, Yatay yüzeye gelen ortalama radyasyon değerleri 4.17 kWh/m^2-gün ve yıllık ortalama güneşlenme süresi: 2740 saat (URL-10)

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeline rağmen, güneşten yararlanma bakımında dünya gelişmiş ülkelerinin çok gerisinde kalmış durumdadır. 2010 rakamlarına göre Türkiye'de değişik uygulama alanlarında şebekeden bağımsız şekilde çalışan PV sistemlerin toplam gücünün 3-5 MW dolaylarında olduğu tahmin

edilmektedir. Şebekeden bağlantılı bir PV sistemi henüz bulunmamakla beraber Güneş Enerjisinin yoğunlaştırılmasına dayalı kurulu bir sistem bulunmamaktadır(Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2010).

1.3. Tez Konusunun Amacı ve Önemi

Güneş enerjisi potansiyel bakımından diğer yenilenebilir kaynaklara göre potansiyeli daha yüksek, sonsuz bir enerji kaynağıdır. Ülkemizde gerektiği kadar yararlanılmaması bu teknolojilere yatırım yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu tez, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kolektörlerin Şanlıurfa ili koşullarında performansını ve verimini incelemektir. Ulaşılacak sonuçlarla, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin sanayinin termal enerji ihtiyaçlarını karşılanmasına katkısı değerlendirilecektir.

Dünya genelinde sanayide kullanılan termal enerjinin %57'si 400 ^{o}C'nin altında sıcaklıklara ihtiyaç duymaktadır. Yoğunlaştırılmış termal güneş enerjisi sistemleriyle 250 ^{o}C sıcaklıklara rahatlıkla ulaşılabilmektedir. Özellikle, gıda, tekstil ve kimya sektörünün ihtiyaç duyduğu sıcaklık 250 ^{o}C'den daha düşüktür. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri sanayide kullanılması bakımından imkanlar ortaya çıkartmıştır (Perini ve ark. 2017).

1.4. Tez Çalışmasının Kapsamı

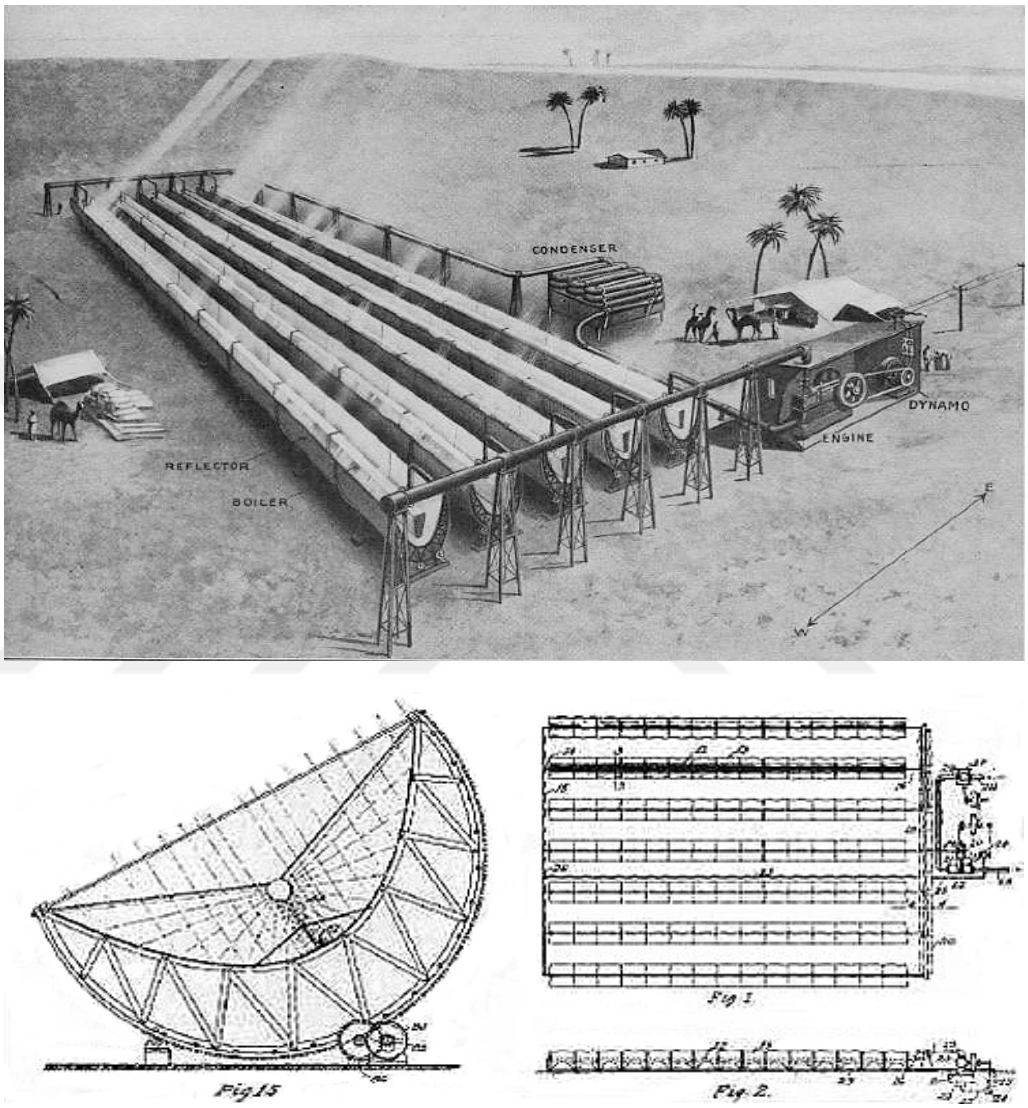
Yukardaki amaçlar doğrultusunda, bu alanda yapılmış çalışmalar incelenerek ve Şanlıurfa koşullarında bir prototip test düzeneğinin imalatının yapılıp bu test düzeneğinde deneyler yapılacaktır. Deney düzeneğinde güneş enerjisini yoğunlaştırmak için, plastik malzemeden üretilmiş, 1 m^2 alana sahip, bir fresnel lens kullanılacaktır. Sistemde kullanılacak olan akışkanın ulaştığı en yüksek sıcaklıklar ve termal verim araştırılacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisinin yoğunlaştırılarak kullanılması ile ilgili çalışmaların geçmişi 1800'lü yılların sonuna kadar uzanmaktadır. 1883 yılında Kaptan John Ericsson, bir su pompası çalıştırabilmek için çanak tipi kolektörden elde ettiği buharı kullanmıştır. Bu uygulama kayıtlara geçmiş ilk yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kolektör uygulamasıdır. Kaptan John Ericsson ilk parabolik kolektör sistemini tasarladığı dönemlerde "Sanayi devrimi sayesinde dünyadaki kömür kaynakları günün birinde tükenecek ve bunun yerini güneş enerjisi alacaktır" demiştir. Ericsson tasarımında elde ettiği buhar basıncı dolayısıyla elde edilen sıcaklık modern benzerlerine kıyasla düşük kalmış ve dolayısıyla buhar basıncı arttırmaya yönelik çaba harcamıştır. 1893 yılında ölene kadar Ericsson bu tasarımı ticarileştirmek için uğraş vermiştir (URL-8).

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kolektörlerleri ile çalışan ilk tesis 1913 yılında, o dönemler Osmanlı Devleti sınırlarında kalan şu an ki Mısır Devleti toprakları, Al Meadi mevkiinde kurulmuştur. Bu tesisin yatırımcısı bir Alman Kökenli Amerikalı olan Frank Shuman (1862-1918) 1907 yılında sıcak kutu adını verdiği 1 m-1m ebatlarında her iki yanında birer adet aynadan oluşan düşük buhar basınçlı kolektörün patentini almıştır. Al Meadi tesisi tarımsal sulamayı kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. Kolektörlerde üretilen buhar enerjisi bir buhar makinasında mekanik enerjiye dönüştürülüp, Nil nehrinden suyun tarlalara pompalanmasında kullanılmıştır. O yıllarda Shuman Sahra çölünün 20250 mil^2'lik alanına kurulacak bir tesis ile bütün dünyanın enerji ihtiyacının karşılanabileceğini öne sürmüştür. Bu tesis yansıtıcı aynalar, yutucu yüzeyler, düşük basınç buhar makinası, kondenser ve pompadan oluşmaktaydı (Şekil 2.1.) Akışkan olarak eter kullanılan bu tesiste daha sonra eterin toksik etkilerinden dolayı eter kullanımına son verilmiştir. Tesis 5 adet 61 m uzunluğunda ve 3.9 m genişliğinde oluk tipi kolektörlerden oluşmaktaydı. Her kolektör arasında, gölgeleme olmaması için, 7,4m boşluk bırakılmıştı. Yansıtıcılar çelik bir gövdeye monte edilmiş ve bu çelik gövde bir dişli mekanizması ile hareket ettirilmekteydi (Şekil 2.1). Güneş takip sistemi ise kuzey güney doğrultusuna yerleştirilmiş bir termostat sayesinde yapılmaktaydı. 1914 yılında I. Dünya savaşı

patlak verdikten sonra, tesisin sistem mühendisleri Al Meadi'yi terk etmiş ve savaşa katılmak zorunda kalmışlardır. Daha sonra İngiliz ordusu bu topraklara geldiğinde tesisi söküp parçalarını savaş malzemesi yapımı için hammadde olmak üzere göndermiştir (URL-8).



Şekil 2.1. Al Meadi Tesisinin şematik çizimi ve kolektörlerin yapısı (URL-8).

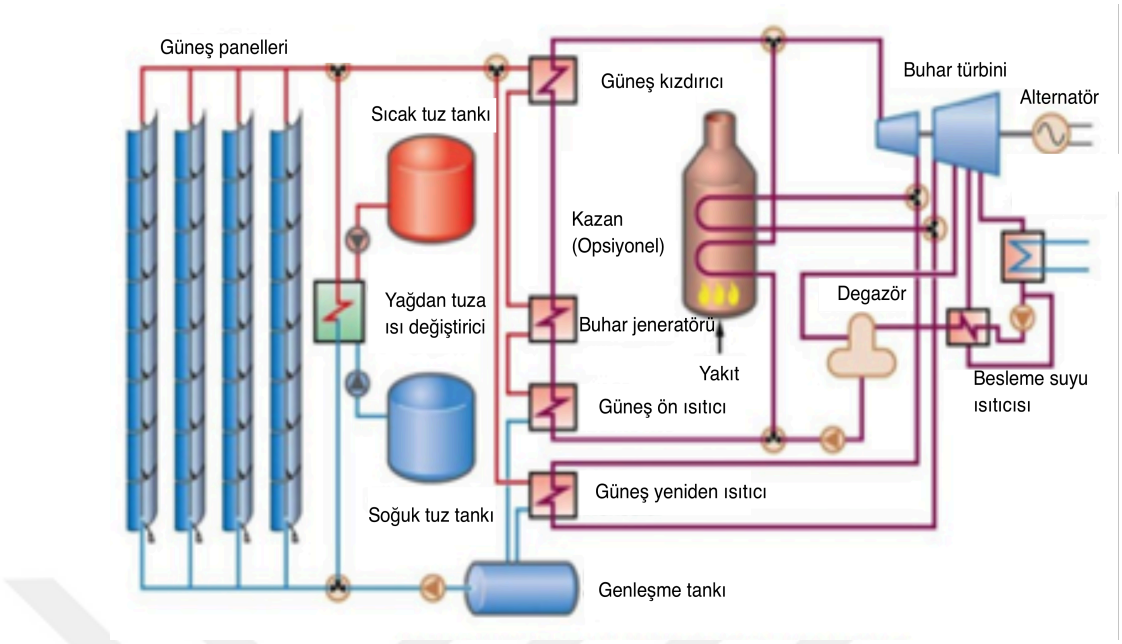
Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kolektör teknolojisi parabolik oluk tip kolektörlerle hızlı bir ilerleme kaydetmiştir. Parabolik sistemle çalışan elektrik santralleri kurulmuştur. Solar Kinetics firması 1984 yılından itibaren kurulmaya başlanan SEGS(Solar Energy Generating Systems) tesislerinde parabolik oluk tipi kolektörler kullanılmaya başlamışlardır. Bu tesisler Amerika Birleşik Devletleri

Kaliforniya eyaletinde Dagget çölünde kuruldu. 9 adet SEGS tesisi 6 yıl içinde kuruldu ve işletmeye alındı. Bu tesisleri kuran firma daha 1991 yılında iflasını açıklayıp isim değiştiren Luz Industries firmasıdır. Bu firma iflas edince tesisler çeşitli yatırım fonlarına satılmıştır. Dünyanın ilk parabolik kolektörlü enerji santralleri SEGS'lerdir. Bu tesislerde ısı transfer akışkanı olarak Termal yağ kullanılmıştır. Termal yağın güneş panelinden çıkış sıcaklığı en az 307 ℃ ve en fazla 390 ℃'dir. SEGS'ler ile ilgili bir kısım detaylar Çizelge 2.1'deki gibidir. (Gilbert ve ark. 1999)

Tesis	Devreye Girdiği Yıl	Yeri	Net Türbine Kapasitesi (MW)	Kurulu Alan (m^2)	Yağ Sıcaklığı (°C)	Türbin Verimi %	Çalışma Basıncı bar	Çevrim	Emre Amadelik
SEGS I	1984	Daggett	14	82,96	307	31,5	40	Buhar	3 saat Termal Enerji Deposu
SEGS II	1985	Daggett	30	165,38	316	29,4	40	Buhar	Kazan
SEGS III	1986	Kramer Jct.	30	230,3	349	30,6	40	Buhar	Kazan
SEGS IV	1986	Kramer Jct.	30	230,3	349	30,6	40	Buhar	Kazan
SEGS V	1987	Kramer Jct.	30	250,5	349	30,6	40	Buhar	Kazan
SEGS VI	1988	Kramer Jct.	30	188	390	37,5	100	Ara ısıtmalı	Kazan
SEGS VII	1988	Kramer Jct.	30	194,28	390	37,5	100	Ara ısıtmalı	Kazan
SEGS VIII	1989	Harper Lake	80	464,34	390	37,6	100	Ara ısıtmalı	Isı Transfer Yağı ısıtıcı
SEGS IX	1990	Harper Lake	80	483,96	390	37,6	100	Ara ısıtmalı	Isı Transfer Yağı ısıtıcı

Çizelge 2.1. SEGS'lerin işletme verileri (Gilbert ve ark. 1999).

SEGS'ler fosil yakıtlı destek sistemi ile beraber kurulmuştur. Güneş olmadığı dönemlerde genellikle doğalgaz ile türbin elektrik üretmeye devam etmektedir. Böylelikle ısı transfer akışkanı soğumadığı için güneş enerjisinden daha büyük oranda yararlanmak mümkün olmaktadır. Bu tesislerdeki çevrimlere kısaca Kombine çevrim denmektedir. Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi SEGS'lerin çevrim özellikleri, çevrim basınçları, türbin verimleri ve nasıl emre amade olarak çalıştırıldıkları belirtilmiştir. SEGS I tesisi 3 saat termal enerji deposu ile çalışmaktadır. Yani toplanan enerjinin bir kısmı termal enerji deposunda yedeklenip, güneş battıktan sonra 3 saat daha sistemin elektrik üretmesi sağlanmaktadır. SEGS II'den SEGS VII'ye bu tesislerde doğal gazlı kazan sayesinde güneş olmadığı dönemlerde elektrik üretimi sağlanmaktadır. Diğer iki tesis ise ısı transfer yağı ısıtıcıları ile sistemi desteklemektedir. SEGS'lerin genel olarak çevrimleri Şekil 2.4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.4. SEGS sistemlerinin bileşenleri (Gilbert ve ark. 1999).

SEGS'lerden sonra Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile enerji üretimi yaygınlaşmıştır. ABD'de ve dünyanın birçok bölgesinde santraller kurulmuştur. Özellikle İspanya Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile enerji üreten santraller kurmuş ve bu alanda liderliği elde etmiştir. Özellikle 2000'li yıllarda İspanya bu alana çok büyük yatırım yapmıştır. Ayrıca son yıllarda Ortadoğu sermayesi de bu alana yatırım yapmaya başlamış ve yakın zamanda BAE 100 MW'lık bir tesisi devreye almıştır.

Çizelge 2.2.'de dünya genelinde faaliyette olan Parabolik Kolektör teknolojisine sahip santraller listelenmiştir. Listedeki santrallerin en önemli ortak özellikleri, kuruldukları bölgelerin güneş enerjisi potansiyellerinin en az 2000 kW/m^2*yıl seviyesinde olmasıdır. Buhar türbinlerinin verimleri ise %38 civarında ve toplam verimleri (Güneşten elektriğe) %15'in üstündedir.

Dünya genelinde parabolik kolektör teknolojili tesisler 2763 MW'lık enerji üretmektedir. Bunun yanında şu anda yapımı devam eden tesislerin kapasitesi toplam 2191 MW ve yapılması planlanan ve kapasitesi kesinleşmiş tesislerin kapasiteleri ise 2569 MW mertebesindedir. Kurulu tesislerin tamamı elektrik üretmekte ve üretilen elektrik tarife garantisi (Feed in Tariff) ile şebekeye verilmektedir. Bu tesisler için ilk

yatırım maliyeti ülkeden ülkeye değişmektedir. Örneğin, 2011 yılında faaliyete geçmiş olan Arcosol 50 isimli 50 MW kapasiteli tesisin ilk yatırım maliyeti 320000000 Euro olduğu santralin sahibi Torresol firması tarafından belirtilmiştir. İspanya devleti bu tesis için 25 yıl alım garantisi vermiş ve 27 Euro cent/kWh 'den satın alım yapmaktadır. Terrasol firmasının hesaplarına göre 170000 MWh/yıl elektrik üretimi hedeflenmektedir. Böylelikle yıllık 45900000 euro ciro yapacağı hesaplanmıştır. Böylelikle amortismanı 7 yıl olarak hesaplanmaktadır.

Kapasite (MW)	Tesis İsmi	Ülkesi
75,00	Martin Next Generation Solar Energy Center	ABD
354,00	Solar Energy Generating Systems	ABD
64,00	Nevada Solar One	ABD
2,00	Keahole Solar Power	ABD
1,00	Saguaro Solar Power Station	ABD
25,00	Hassi R'mel integrated solar combined cycle power station	Cezayir
20,00	Beni Mathar Plant	Fas
17,00	Yazd integrated solar combined cycle power station	İran
0,25	Shiraz solar power plant	İran
100,00	Shams !	BAE
150,00	Solnova Solar Power Station	İspanya
150,00	Andasol solar power station	İspanya
150,00	Extresol Solar Power Station	İspanya
100,00	Palma del Rio Solar Power Station	İspanya
100,00	Manchasol Power Station	İspanya
100,00	Valle Solar Power Station	İspanya
100,00	Helioenergy Solar Power Station	İspanya
100,00	Aste Solar Power Station	İspanya
100,00	Solacor Solar Power Station	İspanya
100,00	Helios Solar Power Station	İspanya
100,00	Termosol 1-2	İspanya
50,00	Ibersol Ciudad Real	İspanya
50,00	Alvarado I	İspanya
50,00	La Florida	İspanya
50,00	Majadas de Tiétar	İspanya
50,00	La Dehesa	İspanya
50,00	Lebrija-1	İspanya
50,00	Astexol 2	İspanya
50,00	Morón	İspanya
50,00	La Africana	İspanya
50,00	Guzman	İspanya
50,00	Arcosol 50	İspanya
50,00	Olivenza	İspanya
50,00	Orellana	İspanya
50,00	Termesol 50	İspanya
50,00	Solaben 3 Solar Power Station	İspanya
25,00	Borges Termosolar	İspanya
50,00	Godawari Solar Project	Hindistan
5,00	Archimede solar power plant	İtalya
20,00	Kuraymat Plant	Mısır
5,00	Thai Solar Energy (TSE) 1	Tayland
Toplam Kurulu güç(MW)		2763,25

Çizelge 2.2. Dünya genelinde faaliyette olan Parabolik Kolektör teknolojisine sahip santraller

Rabl ve ark. (1982), çeşitli yoğunlaştırıcı tipleri üzerinde yaptığı araştırmada, çizgisel ve noktasal odaklamalı toplayıcılarda, yoğunlaştırma oranı ve izleme yöntemlerinin etkisini incelemiştir.

Ülkemizde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ile ilgili ilk çalışmalardan birisi, B. Yeşilata, 1990 yapmış olduğu tez çalışması ile yapılmıştır. Bu çalışmada, güneş hareketini otomatik izleyen parabolik çukur kolektörün dizaynı gerçekleştirilmiş, dizayn edilen kolektörün ısıl veriminin araştırılması için bir deney düzeneği kurulmuştur. Kıyaslama yapılabilmesi amacı ile aynı kolektör parametrelerine sahip, el ile hareketli parabolik çukur bir kolektörün de dizaynı yapılmıştır. Otomatik hareketli kolektörlerde, ısıl verime etki eden parametreler olarak, izleme yöntemi ve akışkan debisi araştırılmıştır. Otomatik hareketli kolektörlerde, izleme yönteminin ısıl verime etkisini tespit etmek için kolektör önce kuzey – güney yatay sonra kuzey – güney kutupsal yönde yerleştirilmiştir. Bu iki konumda elde edilen verim değerleri birbiriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca her yerleştirme için değişik debilerde değerler alınmış ve verim değerleri tespit edilmiştir. El ile hareketli kolektörlerde ise, odaklama aralıklarının ısıl verime etkisi araştırılmıştır. Bunun için odaklama zaman aralıkları değiştirilerek elde edilen verim değerleri birbirleri ile kıyaslanmıştır Yeşilata, (1990).

Genç, (1998), Yüksek Lisans Tezinde güneşi tek eksende takip eden parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasannu ve imali yapılmıştır. Yoğunlaştırıcının, 3.70 m boyunda ve 40 mm çapındaki CrNi paslanmaz çelik soğurucu boru elektrostatik yöntemle mat siyah renge boyanmış ve taşıma kayıplarını önlemek için 65 mm çapında bir pyreks boru içerisine konsantrik olarak yerleştirilmiştir. Odak uzaklığı 28.5 cm ve toplam alanı 3.42 m2 olan yoğunlaştırıcının güneşi fotosel yardımıyla tek eksende takip etmesi sağlanmıştır.

Eck ve ark. (2003), güneş enerjisiyle elektrik üretmek amacıyla imal edilen ticari bir Parabolik oluk tipi kolektörler ‘in çalışma koşullarını araştırmışlardır. Sabit ve kısa süreli şartlar altında, sıralı ve tek dizili Parabolik oluk tipi kolektör sistemi kullanıldığı

zaman; yutucu boruda oluşan zorlanma ve gerilme problemlerini gidermek amaçlı, çözüm önerileri geliştirmişlerdir.

Şanlı, (2010), Yüksek Lisans tezinde: parabolik yoğunlaştırıcılar teorik olarak ele alınmıştır. Sistem içinde yer alan yansıtıcı kısım, emici boru, cam örtü ve güneş takip mekanizması detaylı bir şekilde incelenmiştir. Teorik olarak bir parabolik yoğunlaştırıcı tasarlanmıştır. Tasarlanan yoğunlaştırıcının Denizli ili için 2009-2010 yıllar güneş verilerine göre testi gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarında sistemin buhar türbinine kadar olan verimi %67 bulunmuş, sisteme gerekli buhar türbini kapasitesinin 300-500 kW arasında olacağı belirtilmiştir.

Fernández-García ve ark. (2010), çalışmasında dünyada kullanılmakta ve satılmakta olan parabolik kolektörler incelenmiş ve geliştirilmekte olan kolektörlere de değinilmiştir. Ayrıca bu kolektörler ile çalışabilecek güç çevrimleri incelenmiştir.

Gong ve ark. (2010), bu çalışmada parabolik kolektörlerin en kilit parçalarından olan soğurucu üzerine derinlemesine çalışılmıştır. Soğurucu performansının panel performansına etkisi değerlendirilmiş ve bir Çin üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan bir soğurucunun teorik modellemesi yapılmıştır.

Kalogirou (2012), odak çizgisine yerleştirilen ısı kayıplarını azaltmak için cam bir tüp içine yerleştirilmiş siyah metal borulu bir parabolik kolektör üzerinde çalışma yapılmıştır. Yoğunlaştırılmış güneş radyasyonu siyah metal boruya yansıtılmış ve faydalı ısı enerjisi elde edilmiştir. Tek eksende güneş takibi yapılması gerektiği ve uzun yoğunlaştırıcı modüller kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Detaylı bir termal model üretilmiştir.

Khaled, (2012), yüksek lisans tez çalışmasında parabolik oluk tipi kolektörlerin teknik ve ekonomik performansları üzerine çalışılmıştır. Özellikle Ürdün Ölü Deniz bölgesine kurulabilecek bir santralin matematiksel modellemesi yapılmış ve bu santralin olası elektrik üretim maliyeti Andasol 1 tesisine kıyasla hesaplanmıştır.

Cicibıyık, (2012), Yüksek Lisans tezinde: yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden biri olan parabolik oluk tipi güneş kollektörü incelenmiştir. Parabolik oluklu güneş kollektörünün yansıtıcı yüzey, emici boru ve cam örtü tasarımları yapılarak ısıl deneyler için prototip imalatı yapılmıştır. Tasarlanan 1,40 x 3,00 m boyutundaki parabolik oluk tipi güneş kollektörüyle yapılan deneyler sonucu optik ve ısıl verim hesaplamaları yapılarak ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda sistemin ortalama ısıl veriminin % 85 ve ortalama optik veriminin % 20 olduğu görülmüştür. Optik verimi önemli oranda etkileyen cam örtü optik veriminin ortalama % 25 olduğu görülmüştür. Isı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji ile Organik Rankine Çevrimi (ORC) prosesinde elektrik üretimi teorik olarak simüle edilmiş ve çevrimin çalışma koşullarındaki termodinamik analizi yapılmıştır. ORC prosesinin ekserji analizi yapılmış ve birinci yasa verimi %9, ikinci yasa verimi %45 olarak hesaplanmıştır. Yapılan simülasyonlarda deneysel sistem için buhar türbininde net güç çıkışının yaklaşık 50 W olduğu görülmüştür.

Özdemir, (2012), Yüksek lisans tez çalışmasında parabolik oluk tipi kolektörlerden elde edilen enerjinin organik rankine çevrimiyle, türbinlerde elektrik enerjisine çevrilmesi üzerinde durulmaktadır. Düşük sıcaklık buhar türbinlerinin parabolik oluk tipi kolektörlerden elde edilen enerji ile işletilmesi fikri incelenmiştir. Enerji kaynağı olarak yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile çalışan, organik rankine çevrimi ile çalışan elektrik santralleri hakkında bilgi verilmiştir.

Bellos ve ark. (2018), parabolik oluk tipi kolektör sistemlerinin performanslarının arttırılmasına yönelik yeni tasarımlar ele alınmıştır. Yansıtıcı yüzeyler ve alıcı yüzeylerde değişiklikler sağlayacak yenilikler üzerinde durulmuştur. Alıcı yüzeyin izole edilmesi, ikinci bir yansıtıcı yüzey kullanılması, güneş takibi yapabilen silindirik lens ve alıcı yüzeyli sistemlere değinilmiştir. Düşük veya orta sıcaklık uygulamalarında düz veya üçgen şeklindeki alıcı yüzeyler ele alınmıştır. Alıcı boruların iç yüzeylerinde kanatçık ile ısı transfer veriminin arttırılması anlatılmıştır. Bunlara ek olarak ısı transfer akışkanı hava olan, kapalı sistemlerden bahsedilmiştir.

Aqachmar, ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada Fas'ta kurulu olan parabolik oluk tipi kolektörle ve buna bağlı ısıl depolu Noor 1 adlı santralin performansını değerlendirmişlerdir. Söz konusu santralin veriminin dünyada kurulu olan diğer santraller ile kıyaslanmış ve bu santrallerin %61,5'inden daha yüksek bir verim ile çalıştığını tespit etmişlerdir.

Külahlı, (2019), yüksek lisans tez çalışmasında, değişken parabolik kesitli yeni bir yansıtıcı yüzey tanımlanmıştır. Tanımlanan bu yüzeyin yansıtıcı yüzeyi değişken olmasına rağmen odak doğrultusu sabit kalmaktadır. Tanımlanan yüzeyin ısıl performansa etkilerini incelemek üzere numerik bir model kurulmuştur. Bu nümerik modeller, modelleme yazılımlarında simülasyon yoluyla çalıştırılıp, simülasyon sonuçları, literatürdeki diğer sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Doğrusal yoğunlaştırma yapan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri, özellikle parabolik sistemler bakımından hızla gelişmiştir ve uygulama alanı bulmuştur. Ancak fresnel lensli yoğunlaştırıcıların gelişimi zaman almıştır. Fresnel lensler ilk zamanlarda cam'dan üretilmiştir. Cam kırılgan ve ağır bir malzeme olduğu için, saha uygulamalarında ve maliyetler bakımından uygun olmadığı görülmüştür. 1950'li yıllarda bir plastik türevi olan polimetlakrilat (PMMA) malzemenin bulunmasıyla, araştırmacılar fresnel lensleri plastikten üretmeyi denemişlerdir. PMMA, güneş ışınlarına karşı dayanıklı, 80 ^{o}C sıcaklığa kadar termal olarak istikrarlı, transmissiblitesi güneş ışınları spektrumuna uygun, refraksiyon indeksi 1.49'dur. İlk plastik tabanlı fresnel lens 1951 yılında üretilmiştir Miller ve ark. (1951). Plastik malzeme, fresnel lenslerin üretimini kolaylaştırırken, cam malzemeden yapılan fresnel lenslerin sağladığı optik özellikleri de sağlamaktadır. Plastik malzemelerden üretiliyor olması, enerji üretiminin fazla olması gereken uygulamalarda, birim lens maliyetini ve kurulum maliyetlerini düşürmüştür Xie. ve ark. (2011). Fresnel lenslerde kullanılabilecek farklı plastikler konusunda çalışmalar da yapılmaya başlanmıştır, örneğin akrilik malzemeden imal edilmiş fresnel lensler de piyasada yoğun olarak bulunmaktadır. Fresnel lensler plastiklerden üretilmeye başlandıktan sonra yeni kullanım alanları da ortaya çıkmaya başlamıştır. Termal güneş enerjisinin yanı sıra, fresnel lensler, PV sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. PV panellerin

yüzeylerine, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi panelleri ile güneş yoğunlaştırılarak üretilen elektrik arttırılmaya çalışmaktadır. Fresnel lensler PV sistemlerde en çok kullanılan yoğunlaştıran güneş enerjisi panelleridir. Fresnel lensler ile direkt buhar elde etme, su ısıtma sistemleri, kojenerasyon, toprak kurutma gibi alanlarda çalışılmaya devam edilmektedir.

Szulmayer, (1973), bu çalışmada fresnel lens kullanarak su ısıtma, buhar elde etme ve toprak kurutma zerine çalışmıştır. Çalışmasında 60-143 ^{o}C arası sıcaklıklara ulaşmıştır.

Leutz ve ark. (1999), kenar ışını prensibini kullanarak bir dış bükey fresnel lens tasarlamışlardır. Lens güneş ışınlarını takip edebilen ve tahmin edilen konsantrasyon oranını hesaplayabilmektedir. Bu lensin odağında, endüstriyel vakumlanmış bir alıcı yerleştirilmiş ve endüstriyel proses ısı enerjisi elde edilmeye çalışılmıştır. Dış bükey fresnel lensin yoğunlaştılmış PV sistemlerinde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Leutz ve ark (2000), çalışmalarında yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinde fresnel lenslerin uygunluğunu araştırmışlardır. O güne kadar üretilmiş ve üzerinde çalışmaların devam ettiği fresnel lenslerin kullanım şekilleri bakımından karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca dizayn ettikleri bir fresnel lens ile mevcutları ve yeni gelişmeleri karşılaştırmışlardır. Ticari yoğunlaştırılmış güneş enerjisi uygulamalarında, PV ve termal gibi, fresnel lensler geleceğin en önemli buluşlarından biri olduğunu belirtmişlerdir.

Gölalmış, (2003), yüksek lisans tezinde fresnel merceklerle yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin ısıya dönüştürülmesi ve depolanması konuları ele alınmıştır. Güneş enerjisini yoğunlaştırıp, enerjinin depolanması için bir düzenek kurulan bu tez çalışmasında ısı transfer akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Soğurulan enerji hava vasıtasıyla, ısıl depo olarak düşünülen çakıl yatağa aktarıldı. Çakıl yatağa aktarılan enerji ölçülmüş ve buna bağlı olarak verim grafikleri elde edilmiştir.

Çolak, (2003), doktora tezinde ise güneş ışınlarının geçmişsel, çevresel özellikleri ve ışıma davranışları dikkate alınarak yüksek sıcaklık uygulamalarında, parabolik kolektörlerde ışın yoğunlaştırma ile odak çizgisine yerleştirilen seçici yüzeyli emici boruda ışın-ısı transfer ve dönüşüm mekanizmalarının analiz ve simülasyonuna yönelik matematiksel modeller türetilmiştir. Sistem davranışını tanımlayan matematiksel modelin bilgisayar simülasyon sonuçları, literatürde verilen ölçüm sonuçlan ile karşılaştırılarak, ölçüm ve hesap sonuçlarındaki sapmaların kesişim faktörü 0.95 için ortalama % 3.06 ± 2, kesişim faktörü 0.97 için ortalama % 0.77 ± 2 dolayında olduğu görülmüştür. Böylelikle geliştirilen matematiksel modelin, sistem tasarımı ve geliştirilmesinde teknik optimizasyon amacıyla kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır. Geliştirilen matematiksel model ve simülasyon uygulamaları yardımıyla; ışın yoğunlaştırma, güneşsel ısı dönüşüm ve güneşsel ısıl kayıp davranışları analiz edilmiş, duyarlılık analizleri ile bu mekanizmaları etkileyen sistem parametreleri ve bunların etkinlik oranlan belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlan kullanılarak, prototip güneş kollektör sisteminin tasarımı ve imalatı tamamlanmış, sistemin ısıl performansının deneysel belirlenmesi aşamasına gelinmiştir.

Tripanagnostopoulos, ve ark. (2007), çalışmalarında fresnel lensli güneş enerjisi yoğunlaştırma sistemini bina konfor şartları bakımından, ısıtma ve aydınlatmada kullanımı araştırılmıştır. Yaptıkları deneyde %60-80 oranında güneş ışınlarının alıcıya yüzeylere aktarılması sağlanmıştır, ayrıca bu sistemle ortam aydınlatması da sağlanmıştır. Güneş radyasyonun düşük olduğu anlarda sistem sadece aydınlatma için kullanılmıştır. Fresnel lenslerin kullanım alanlarından PV sistemlerine değinilmiş ve PV termal kombine sistemlerden bahsedilmiştir. Fresnel termal sistemlerin %50 verimlere ulaşılmış ayrıca fresnel PV sistemlerde de tatmin edici elektrik üretimleri gözlemlenmiştir.

Zhai, ve ark. (2010), lineer fresnel lensli bir yoğunlaştırıcı üzerinde çalışmışlardır. Çalıştıkları yoğunlaştırıcı sayesinde, düz yüzeyli ve vakumlanmış alıcılı sistemlerden daha yüksek verim ve sıcaklıklar elde edileceğini değerlendirmişlerdir. Deneyde akışkan olarak su kullanmışlar ve 90 ^{o}C'de %50 verim elde etmişlerdir. Deneyler kaybolan enerjinin 0.578 W/m^2*K olduğunu göstermiştir.

Bu sonuçta sıkça kullanılan vakum tüp kolektörlerden çok daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Yeh, (2010), 1970'lerin sonundan ve 1980'lerin başından itibaren fresnel lens teknolojisinde meydana gelen gelişmeler aktarılmıştır. Fresnel lenslerde meydana gelen iletim kayıpları incelenmiş ve kayıpların matematik modeli ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca değişik dalga boylarında ışıklarda lensler denenmiş ve her dalga boyuna göre alıcı yüzeye düşen ışın miktarı incelenmiştir.

Xie, ve ark. (2011), çalışmalarında yüksek konsantrasyonlu bir fresnel lens ile, alıcı yüzey, konik, küresel ve silindirik şekile dönüştürülmüş bakır boru demetlerinden oluşturulmuştur. Alıcı yüzeyin şekline göre, yoğunlaştırma performansı incelenmiştir. Isı transfer mekanizmasının anlaşılması, fresnel lens kolektörün performansını ölçebilmek ve optimum alçı yüzey şeklini belirleyebilmek için, Alıcı yüzey şekline göre verim ve ısı kayıp faktörleri türetilmiştir. Fresnel lens kolektörün, sentetik ısı transfer yağ akışı simüle edilmiş ve değişik alıcı yüzeylere göre ısı kayıpları araştırılmıştır. Güneş ışınımıyla beraber, çevreyle sistem arasındaki ısı taşınımı ve sirkülasyon yağındaki ısı transferi dikkate alınmıştır. Simülasyonun sonuçlarını doğrulamak için, sistemdeki ısı dağılımının yanı sıra nominal debiye göre verim dikkate alınmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen ısı dağılımı ve ortalama kolektör verimi ile deneylerde elde edilen verimin uyumlu olduğu görülmüştür.

Valmiki, ve ark. (2011), güneş ışınlarının büyük bir fresnel lens ile yoğunlaştırıldığı bir güneş fırınının tasarımını ve prototip üretimini yapmışlardır. Fırın, fresnel lensin odak noktasına yerleştirilmiş sabit ısı toplama yüzeyine sahiptir. Güneş ışınları takip sistemi lensi, azimut ve zenit açılarına göre, hareket ettirmektedir. Güneş ışınları takip sistemini, dikey dönme hareketini lensi tutan iki tane kolun dönmesiyle ve yatay hareketi de sistemi yatayda çeviren motorlarla sağlanmıştır. Dikey hareketi zeni düzlemine göre, yatay hareket ise azimut düzlemine göre yapılmıştır. Güneş takibi sayesinde yoğunlaşan güneş ışınları sabit bir noktaya düşmektedir. Böylece ısı kayıpları az ve enerji verimi yüksek olmuştur. Fırında yüzey

sıcaklığı olarak 300 ^{o}C elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, fresnel lens'li odaklama sistemlerinin, ortam ısıtma ve yemek pişirmede kullanılabileceğini ispatlamıştır.

Sonneveld, ve ark. (2011), 25'e 1 oranında yoğunlaştırma yapan fresnel lens ile termal enerji ve PV ile elektrik üretebilen bir kombine sistem üzerinde çalışmışlardır. Kombine Fresnel lens termal ve PV sisteminde 2 elektrik motoru ve çelik kablo ile güneş takibi yapılmıştır. Güneş takip sisteminin enerji tüketimi sistemden üretilen elektrik enerjisinin %2'sinden az olduğu hesaplanmıştır. Sistemde elde edilen en yüksek elektriksel verim %11 ve en yüksek termal verim %56, toplam verim %67 olmuştur.

Ergün, (2011), yüksek lisans tez çalışmasında, ülkemiz için güneş enerjisi kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Güneş güç sistemlerinden fresnel lens güç sistemleri ele alınmış ve incelenmiştir. Doğrusal fresnel lenslerin tekstil sektöründe uygulanabilirliği ve bu sistemlerde tekstil kompozitlerinin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Tekstil kompozitleri ile daha kullanışlı ve ekonomik bir sistem geliştirmek amaçlanmıştır.

Yasser, (2012), yaptığı çalışmada bir fresnel lensten aldığı yoğunlaştırılmış güneş enerjisini ürettiği lazerde kullanmanın simülasyonunu yapmıştır. Tasarladığı sistemde fresnel lens güneş takibi de yapmaktadır. Simülasyonunu yaptığı modelde ışınım verilerini mevsimlik olarak kullanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, ilk bahar aylarında 6.2 W, yaz aylarında 6.8 W, son bahar aylarında 2.2 W ve kış aylarında 0.4 W lazer gücü elde edilebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Lamnatou ve ark. (2013) çalışmalarında fresnel lenslerin sera dış malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Fresnel lenslerin yoğunlaştırma özelliklerinden yararlanarak seranın ısıtılırken aynı zamanda aydınlatılması değerlendirilmiştir. Bu uygulamanın uygulanabilirliği hem teknik olarak hem de finansal olarak mümkün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Li ve ark. (2013), çalışmalarında sabit bir odak noktasına yerleştirilen güneş ocağı yapmışlardır. Ocağa gerekli olan enerjiyi, fresnel lens ile, iki eksende güneş takibi yapılarak, sağlanmıştır. Güneş takibinde yaşanan sorunlar incelenmiştir.

Aksoy ve ark. (2013), çalışmalarında fresnel lens ile yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile stirling motoru çalıştırılmıştır. 1.4 m^2 alana sahip bir fresnel lens deneylerde kullanılmıştır. Yansıtı oluk olarak alüminyum, paslanmaz çelik ve bakır kullanılmıştır. En yüksek performans alüminyum olukla, 64.4 W olarak ölçülmüştür. Elde edilen maksimum güçte motor hızı 218 rpm ve 2.82 Nm tork elde edilmiştir. Bu güçte elde edilen verim % 5.64 olarak ölçülmüştür.

Kong, ve ark. (2013), çalışmalarında PV sistemlerin en büyük sorununun fotovoltaik hücre fiyatlarının pahalılığı olduğunu belirtmişlerdir. Güneş ışınlarını yoğunlaştırarak gerekli olan fotovoltaik hücre alanı azaltmak fotovoltaiklerin ilk yatırım maliyetlerini düşürebilecek yöntemlerden biridir. Çalışmanın deney kısmında, düşük güneş enerjisi konsantrasyon oranına sahip, hibrit fotovoltaik termal (PV/T) sistem kurulmuş ve değişik hava koşullarında test edilmiştir. Sistemin yoğunlaştırma sistemi, fresnel lens ve düz aynalardan, eşit oranda yoğunlaştırma sağlamak için, dizayn edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre açık bir günde elektriksel verim %10, termal verim de %56 olarak ölçülmüştür. Güneş ışınımının 350 W/m^2'den yüksek olduğu günlerde elektrik üretiminin istikrarlı ve 162 W/m^2'den yüksek olduğunda da termal enerji verimli olduğu görülmüştür.

Xie ve ark. (2013), çizgisel odaklamalı fresnel lens ile deneyler yapılmıştır. Alıcı yüzey, odak çizgisine yerleştirilen değişik geometrilerde oluklar ile çevrilmiştir. Bu olukların geometrilerine göre ısıl verimler incelenmiştir. Sistemden ısı kayıpları hesaplanmıştır. Deneyler neticesinde güneş kolektörünün konsantrasyon oranının 55'den fazla olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Wang, ve ark. (2014), çalışmasında bir yüksek akılı güneş simülatörünün sistematik dizayn prosedürü geliştirilmiştir. Optik yoğunlaştırıcı olarak fresnel lensin

kullanıldığı sistematik dizayn, her biri 7 kW gücünde olan 12 adet ksenon ark lambasından, toplam 84 kW gücünde, oluşmuştur.

Lin, ve ark. (2014), bir lineer odaklamalı fresnel lensin optik ve termal performansını incelemişlerdir. Odakta kullanılan değişik yansıtıcı oluklara göre deneyler yapılmıştır. Üçgen şeklindeki yansıtıcı oluk ile %30 verim ve 120 ^{o}C sıcaklık elde edilmiştir. Simülasyonun sonuçları 19.7 kW ışınım gücü 200 mm çapındaki hedefte elde edilmiştir. En yüksek akı olarak, 6.73 MW/m^2 ve elektrikten ışınım gücüne verim %23.4 değeri simülasyon sonucunda elde edilmiştir. Bu simülasyon çalışması, yüksek akılı solar alıcılar, termo kimyasal reaktör ve ileri yüksek sıcaklık malzeme testleri için deneysel bir platform olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Nia, ve ark. (2014), çalışmalarında termo elektrik iletkenleri kullanılarak, elektrik ve su ön ısıtmalı kojenarasyonun sisteminin deneysel incelemişlerdir. Yayınladıkları dizaynda, fresnel lens ile güneş ışınlarını termo elektrik modüle yoğunlaştırıp elektrik üretilmiştir. Termo elektrik modülün ısı emicilerine fresnel lens ile yoğunlaştırılan güneş enerjisi, soğuk su deposuna transfer edilmiştir. Termo elektrik modülün iki ucunda, transfer edilen güneş enerjisi sayesinde, sıcaklık farkı oluşmuş ve elektrik enerjisi üretilmiştir. Kullanılan fresnel lensin alanı 0.09 m^2'dir. 705.9 W/m^2 ışınım değerinde açığa çıkan güç 1.08 W ve verim %51.33 olmuştur.

Sharaf, ve Orhan, (2015), yoğunlaştırılmış güneş enerjli fotovoltaik sistemleri hakkında detaylı bir literatür çalışması yayımlanmıştır. Çalışmalarında daha önce yapılmış çalışmaları kısaca özetlenmiştir. Ayrıca, bütün çalışmaların, şekli ve bilimsel yönden değerlendirildiği bir tablo üretmişlerdir. Bu tabloda kullanılan yoğunlaştırıcının alanı, tipi, güneş takip şekli, kullanılan akışkan, yoğunlaştırma oranı, çıkış sıcaklığı, elektriksel ve termal çıkış gücü ve elektriksel ve termal verimleri göstermişlerdir.

Wang ve ark. (2016), deneysel çalışmasında bant odaklı yeni bir güneş enerjisini yoğunlaştıran yeni bir fresnel lens sistemi önerilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen sistemin, bant odaklı Fresnel lensin hem spektral konsantre

homojenliği hem de optik verimliliğinin, lineer olandan daha iyi olduğunu göstermektedir.

Perini ve ark. (2017), deneysel çalışması, fresnel lens teknolojisinin deneysel ve teorik performans eğrilerini elde etmek amacıyla yapılmıştır. Yoğunlaştırcının optik modeli ve alıcı yüzey ısı transfer modeli için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Performans eğrisi 40 ^{o}C-90 ^{o}C sıcaklık arası için türetilmiştir.
Sonuçlar, toplayıcının küresel verimliliğinin %20'den daha az ile sınırlı olduğunu göstermiştir. Enerji kayıpları incelenmiş ve lens sistemindeki optik kayıplar, harcanan toplam enerjinin %47'sini oluşturduğu görülmüştür. Toplanan güneş ışımasının üçte birinin, alıcı borunun düşük güneş emiliminden dolayı kaybolmuştur. Performansı arttırmak için alıcının vakumlanmış bir ortamda olması ve sirkülasyon sisteminin izole edilmesi gerekmektedir. Bu değişiklikler yapıldığında verimin %55 seviyesine çıkabileceği belirtilmiştir.

Zhaoa ve ark. (2018), toprak sterilizasyonunda fresnel lenslerin kullanımını incelemişlerdir. Fresnel lenslerin odağına yerleştirilen karıştırıcılı helezon sistemi ile, sterilizasyon için gerekli olan enerjiyi yoğunlaştırıcı fresnel lensten sağlamışlardır. Sterilizasyon verimi olarak %64.2 değerine ulaşılmıştır.

Kasaeian, ve ark. (2018), çalışmalarında yoğunlaştırılmış termal PV sistemleri ile ilgili genel bir değerlendirme ve önceki çalışmaları özetlemişlerdir. Fresnel lens ve parabolik sistemlerin ticarileşmiş olmasından dolayı bu alandaki çalışmaların arttığına değinilmiştir. Ayrıca yoğunlaştırılmış sistemlerin kojenerasyonda kullanıldığına vurgu yapılmıştır. Bu çalışma oluk ve fresnel lensler ile ilgili termal PV uyulamarını, 3'e ayrılmıştır, deneysel, hibrid(Deneysel ve simülasyon) çalışmalar ve analitik simülasyon çalışmalar.

Çakır, (2019), yüksek lisans tez çalışmasında, fresnel lens ile güneş ışınları, PV panellere odaklanmış. PV paneller, p tipi boya duyarlı güneş hücresi ve silisyum güneş hücresidir. Üretilen elektrik akımları ölçülmüştür. Sonuçlar değerlendirilmiştir.

Burak Kurşun, (2019), bu çalışmada alıcı yüzeylerin iç yapıları araştırılmıştır. İç yapısı kanatçık ve düz olacak şekilde iki çeşit alıcının ısı transfer performansı incelenmiştir. Sinüs eğrisi şeklinde kanatçık yapısına sahip alıcı yüzeylerin ısı transfer veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu deney düzeneği tasarlanırken, kullanılacak malzemelerin tedarikleri, maliyetleri ve en iyi sonucu alabilmeyi sağlayacak şartlar göz önüne alınmıştır. İlk etapta 6 yoğunlaştırıcı lensten oluşan ve tek eksende yoğunlaştırma yapan bir sistem düşünülmüştür. 6 metre uzunluğundaki bir sistemin nasıl çalışabileceği ve nasıl üretilebileceği noktasında ve ayrıca maliyetler bakımından değerlendirmeler ve piyasa araştırması yapılmıştır. İmalat bakımından ve malzeme tedariki bakımından sorunlar çıkacağı öngörülmüştür. Örneğin yoğunlaştırıcı lenslerin, borosilikat camların ve yağın içinde aktığı hortumların ithal ürünler olması bakımından, deneyin yapılabilmesini zora sokabilecek tedarik problemleri ortaya çıkabilecekti. Ayrıca maliyetler açısından bütçenin yaklaşık 4 katına çıkabileceği öngörülmüştür. Odak noktasına yerleştirilecek alıcı yüzeyin ayarlanması, 6 metre boyundaki tasarımda, hassas işçilik gerektirmektedir. Bunlara ek olarak tek eksende güneş takibi yapılan bir sistemin, başarısını en fazla 6 metre uzunluğunda lensler ile yapılan bir deneyde tam olarak ölçülemeyecekti. Bu gerekçelerle iki eksende güneş takibi yapan tek yoğunlaştırıcılı bir düzenek tasarlamaya karar verilmiştir.

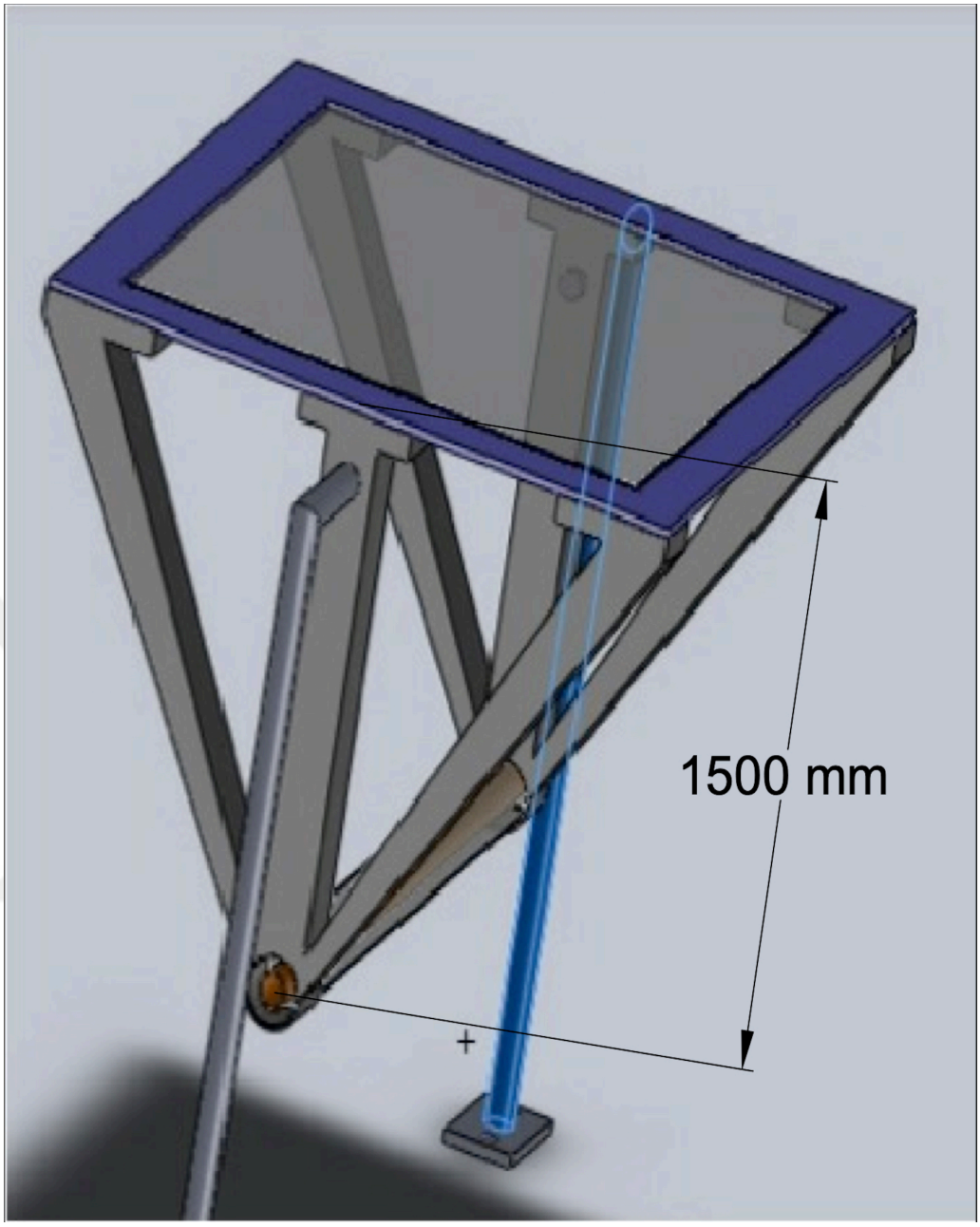
Güneş enerjisinin fresnel lens ile yoğunlaştırıldığı bir düzenek tasarlanmış ve deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde termal akışkana, yoğunlaştırılan güneş enerjisi aktarılmıştır. Böylelikle yoğunlaştırmayı sağlayan fresnel lens'in etkinliği incelenmişrit. Termal akışkanın düzenek boyunca akmasını sağlamak ve ısı transferini kolaylaştırmak için bakır boru kullanılmıştır. Bakırın ısı iletim katsayısı aluminyum ve çelikten daha yüksek olduğu için bakır boru tercih edilmiştir (Bakır ısı iletim katsayısı: 385 W/mK alüminyum ısı iletim katsayısı: 210 W/mK ve çelik ısı iletim katsayısı: 50W/mK). Bu bakır boru dış ortamdan izole etmek için borosilikat bir cam boru içerisine konulmuştur.

3.1. Deney düzeneğinin tasarımı ve imalatı

Yoğunlaştıran güneş enerjisi sistemlerinde, en önemli unsur: yoğunlaşmanın kusursuz yapılması gerektliliğidir. Deney düzeneğinde kullanılan fresnel lens tipi yoğunlaştırıcı lens 'in yoğunlaştırmayı en mükemmel şekilde yapabilmesi için tasarım yapılmıştır.

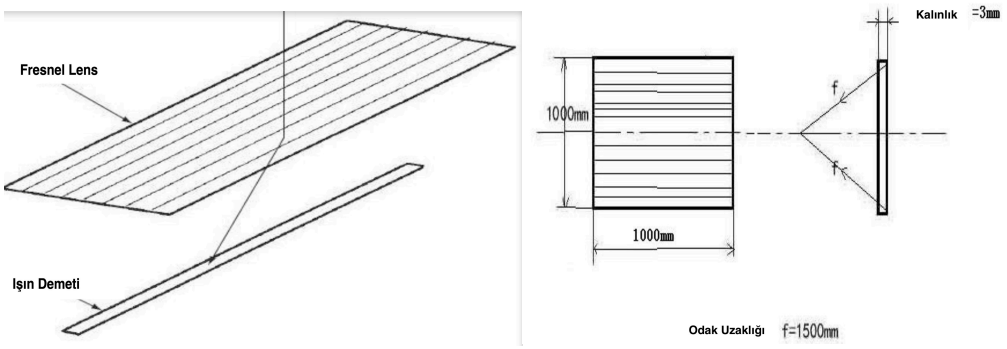
Şekil 3.1'de gösterildiği lensin yoğunlaştırma özellikleri dikkate alınarak ilk tasarım yapılmıştır. Tasarımın en önemli unsuru olan odaklamayı sağlamak için imal edilen parçaların tamamı Autocad programı ile çizilmiş ve sistemin katı modeli Solidwork programı ile yapılmıştır. Bu tasarımdaki deney düzeneği 5 ana parçadan oluşturulmuştur. Bu parçalar;

- Fresnel lens ve monte edildiği çerçeve
- Alıcı yüzey ve bu yüzeyin içinde bulunduğu vakumlu borosilikat cam boru
- Fresnel lens ve monte edildiği çerçeve ve Alıcı yüzey ve bu yüzeyin içinde bulunduğu vakumlu borosilikat cam Boru'yu taşıyan hareketli gövde
- Gövdeyi 2 boyutta güneşi takip etmeyi sağlayacak şekilde hazırlanmış takip sistemi
- Termal akışkanın sistemde sirkülasyonunu sağlayan yağ pompası ve yağ tankı.



Şekil 3.1. Prototipin 3 boyutlu tasarımı.

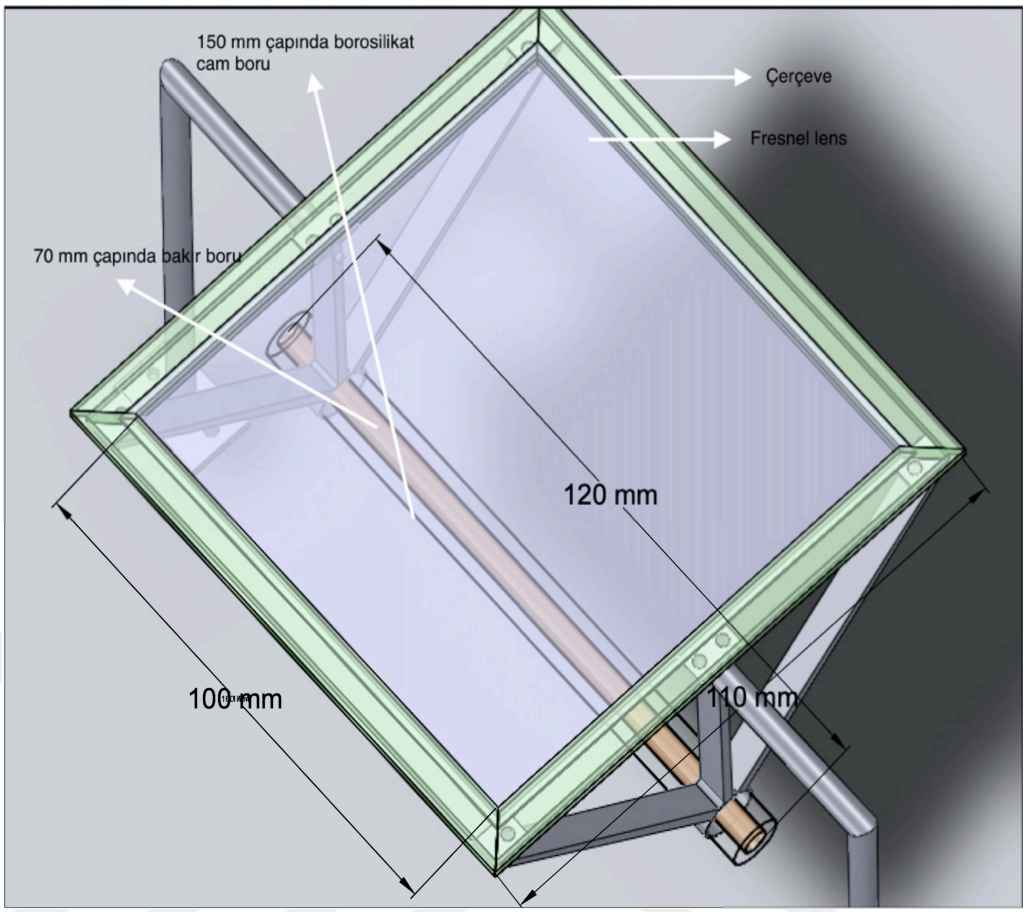
Kullanılan Fresnel lens Çin menşeli ve 1mx1m ebatlarında ve 3mm kalınlığında ve optik akrilik malzemeden mamuldür. Bu lens üzerine düşen güneş ışınları şekil 3.2'de gösterildiği gibi kendisinin kenarlarından 1500 mm uzakta, 50 mm eninde ve 1000 mm uzunluğunda çizgisel bir ışın demeti haline getirebilmektedir. Yüzeyi çukurlardan oluşan bu lens çukurlara düşen güneş ışınlarını kırarak arkasında odaklamaktadır. Deney düzeneği tasarlanmadan önce odaklama özellikleri test edilmiştir ve satıcının beyan ettiği gibi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.2. Fresnel lensin odaklaması.

Fresnel lensler, plastik malzemeden üretildikleri için hafif ve boyutları kolaylıkla ayarlanabilmektedir. İhtiyaca ve uygulamaya göre değişik boyutlarda üretilmektedir. Bu lensler odaklama şekline göre çizgisel veya noktasal olarak sınıflandırılırlar. Çizgisel odaklama yapan lensler ile orta ve düşük güneş enerjisi konsantrasyonları elde edilir. Yüksek konsantrasyon oranları için noktasal odaklamalı lensler kullanılmalıdır. Odaklama oranı 100'den büyük olan lensler yüksek konsantrasyon olarak değerlendirilir (Xie ve ark. 2013). Deney düzeneğinde kullanılan fresnel lensin konsantrasyon oranı 20'dir. Yüzeyine gelen güneş ışınlarını odağında 20 kat daha etkin olarak toplamaktadır.

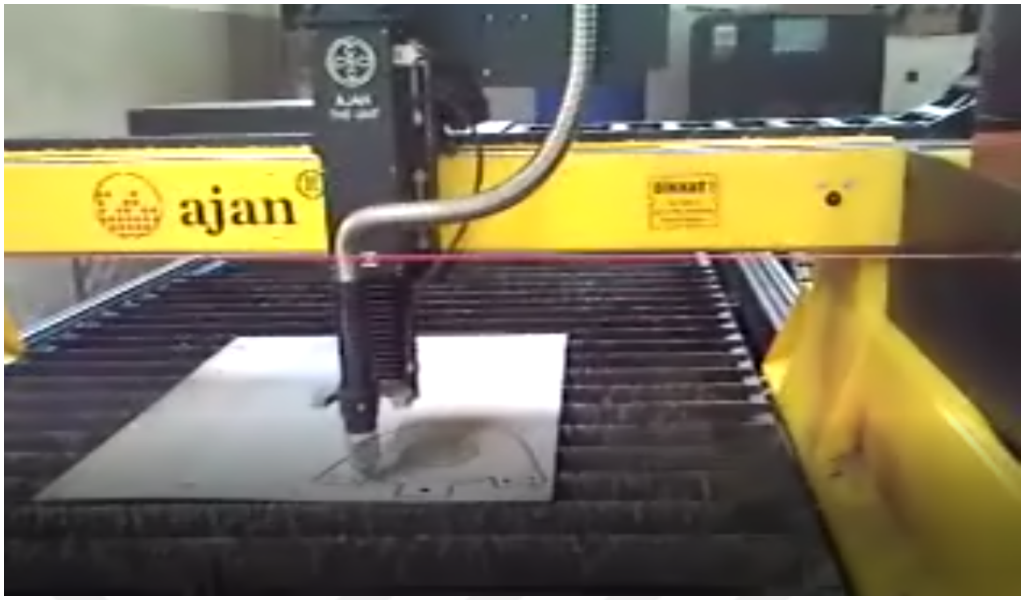
Yoğunlaştırma sistemlerinde yüksek performans almak için yoğunlaştırmanın kusursuz olmasından yola çıkarak, fresnel lens'in monte edileceği Şekil 3.3'deki gibi bir çerçeve tasarlanmıştır. Fresnel lensin monte edildiği çerçeve alüminyum malzemeden üretilmiştir. Bu çerçeve güneş ışınlarını minimum seviyede engelleyecek şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.3. Fresnel lensin çerçevesi.

Bu deney düzeneğinde alıcı yüzey olarak bakır malzemeden mamul bir boru seçilmiştir. Boru, yüzeyi siyaha boyanmış ve fırınlamıştır. Bakır boru, borosilikat cam boru içine yerleştirilmiştir. Bakır boruyu çevreden izole edebilmek için bakır boru ile cam boru arasına ve cam borunun başlangıç ve bitişinde olmak üzere yalıtım malzemesi kullanılmış ve yalıtımın düzgün olabilmesi için poliüretan köpük ile kaplanmıştır.

Fresnel lens ve alıcı yüzey sistemlerini taşımak ve odaklamayı kusursuz yapabilmek için, taşıyıcı gövde tasarlanmıştır. Şekil 3.4'te gösterildiği gibi bu gövdenin malzemesi 6 mm kalınlığında st 37 çelik malzemeden, plazmada kesilmiştir. Gövde ve çerçevenin ilk tasarımı şekil 3.1'de iken uygulamaya geçişte revizyonlar ve düzeltmeler yapılmıştır.



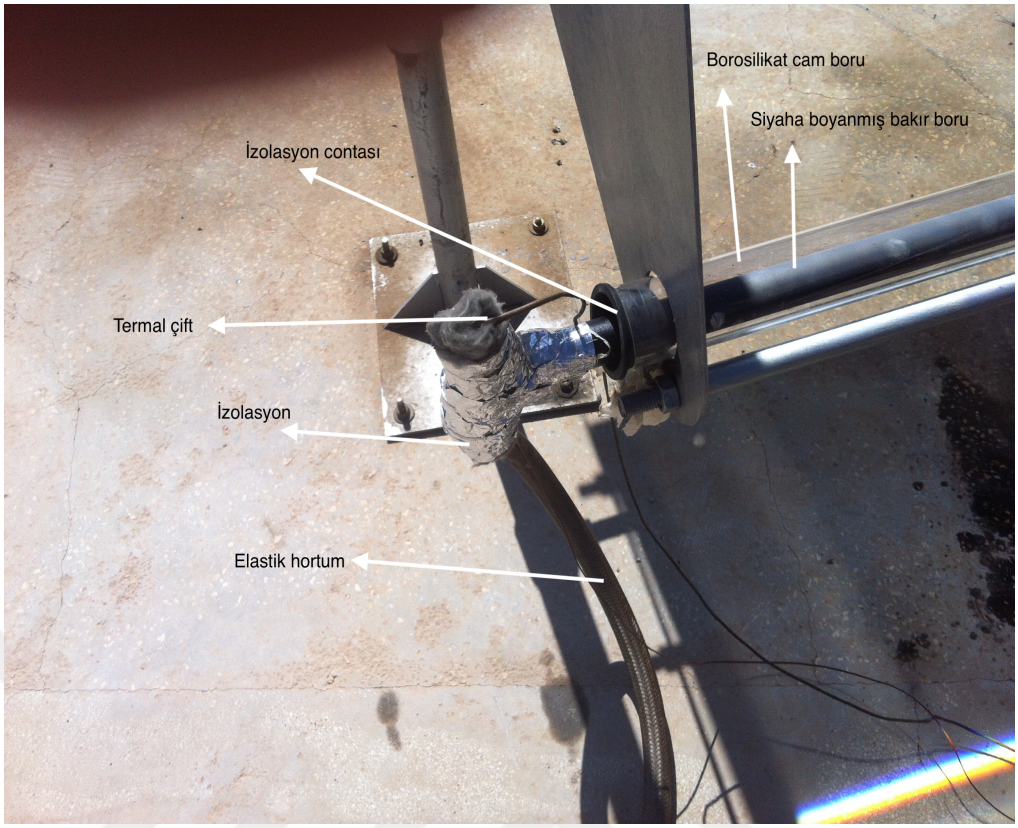
Şekil 3.4. Malzemelerin gövde kısmının plazmada kesilmesi.

Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, deney düzeneğinin güneşi takip etmesini sağlamak için, lensin monte edildiği çerçeveyi ve gövdenin farklı eksenlerde ve aynı anda hareket etmesi gerekmektedir. Bundan dolayı gövde 2 ayak ile tutturulmuş ve bir ayak yere sabitken diğeri tekerlek vasıtasıyla hareketli hale getirilmiştir. Gövde ayaklara bilyalı bağlantı ile bağlanmış dolayısıyla kendi etrafında dönebilir hale gelmiştir.



Şekil 3.5. Montajı biten sistem.

Termal akışkanın içinden akacağı borunun merkezi odak çizgisine gelecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi Çapı 80 mm olan bakır bir boru bu iş için kullanılmıştır. Bakır boru güneş ışınlarını daha iyi toplayabilmesi için siyah elektrostatik toz boya ile boyanmış ve fırınlanmıştır. Bakır borunun giriş ve çıkışlarına 2 yollu "T" bağlantısı yerleştirilmiştir. Bu bağlantılardan biri sıcaklık ölçmek için PT 100 yerleştirilecek şekilde diğeri ise hortum bağlanacak şekilde ayarlanmıştır. Isı kayıplarını minimum seviyeye düşürmek için bakır boru dış ortamdan izole edilmesi gerekmektedir. Dış ortamdan izole etme işlemini sağlamak için, dayanıklılığı yüksek, genleşmesi az olan Schott marka 150 mm çapında boro silikat cam boru kullanılmıştır. Bakır boru ile çam borunun merkezleri çakışık olacak şekilde cam borunun uçları izole edilmiştir.



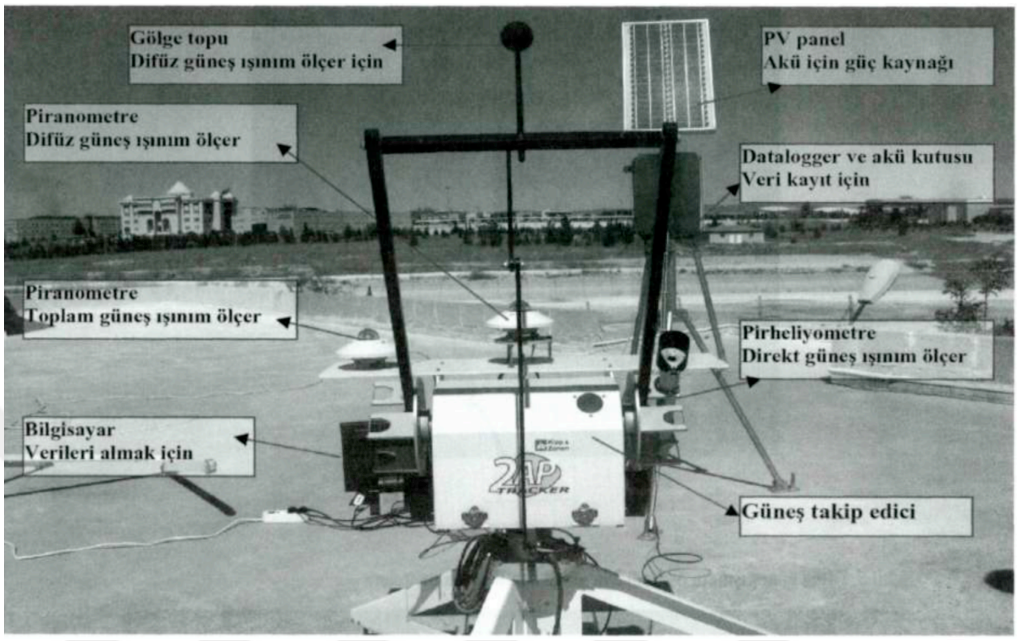
Şekil 3.6. Montajı yapılmış ve siyaha boyanmış bakır boru.

Termal yağın depolanması için bir yağ tankı yapılmıştır. Bir yağ pompası temin edilip, akışkanın kapalı devre sistem içerisinde dolaşmasını sağlayacak basma kuvveti oluşturulmuştur. Pompanın debisi sabit olduğu için değişken debilerde deney yapmayı sağlayacak şekilde boru girişinin önüne bir küresel vana yerleştirilmiştir. Bu parçaların tamamı sahada birleştirilmiş, pompanın elektrik bağlantıları yapılarak deney yapmaya hazır hale getirilmiştir.

3.2. Ölçüm Yöntemi

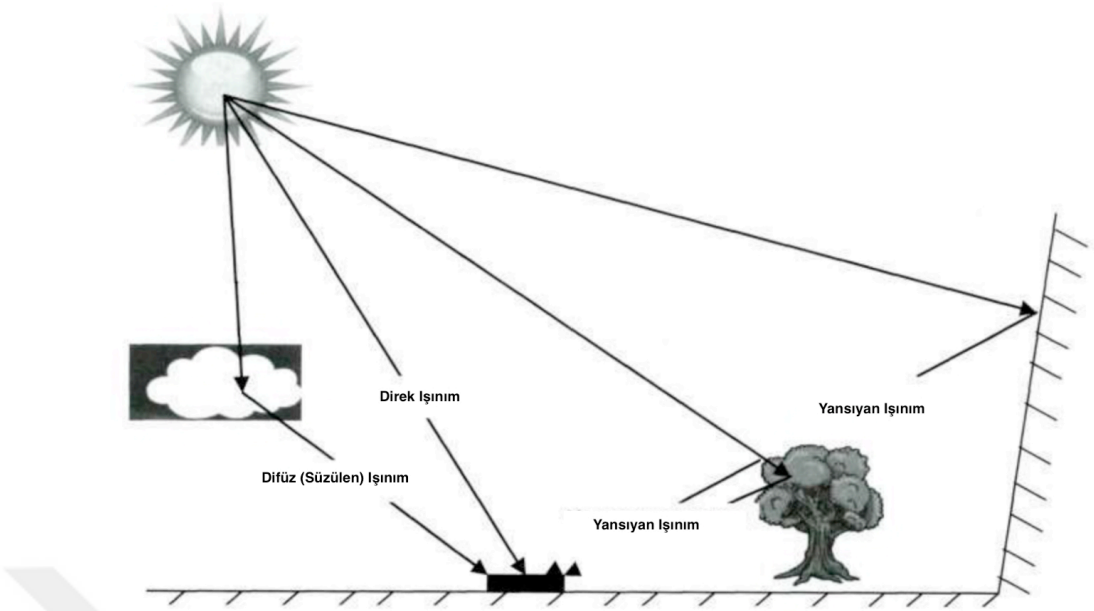
Güneş ışınım verileri Harran Üniversitesi Makine Mühendisliğinde kurulu olan güneş ışınım ölçüm cihazından alınmıştır. Toplam direk ve yayılı güneş ışınım şiddetlerinin anlık ölçümünü veren yüksek hassasiyetli güneş takip sistemli güneş ışınım ölçüm sistemidir. Bu sistem Harran üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezinde 24.08.2008'den bu yana faaliyettedir. Güneş ışınım verilerini 10 dakikada bir almakta ve dijital ortama aktarmaktadır. Şekil 3.7'de gösterildiği gibi

Güneş ışınım değerleri, her 10 dakikada bir veri toplamakta olan Kipp-Zonen marka anlık güneş takibi yapan güneş ışınım ölçüm cihazından alınmıştır (Bulut ve ark. 2009).



Şekil 3.7. KIPP-ZONEN marka Güneş Işınım Takip ve Ölçüm Sistemi (Bulut ve ark. 2009).

Bu cihaz her 10 dakikada bir güneşten gelen ışınım şiddetini ölçmektedir. Bu ölçümler şekil 3.8'da gösterildiği gibi 3 şekilde olmaktadır. Toplam ışınım, direkt ışınım ve yansıyan ile birlikte difüz ışınımdır.



Şekil 3.8. Cihazın ölçebildiği ışınım çeşitleri (Bulut ve ark. 2009).

Difüz(yaygın) güneş ışınımı, güneşten gelen direk ışınların atmosfer katmanlarından geçerken, bulut, su buharı ve tozlar tarafından yutulan ve atmosferde dağılmış olan güneş ışınımıdır. Örneğin bulutlu bir günde ölçülen toplam güneş ışınım değerinin tamamı difüz(yaygın) ışınımdır.

Yansıyan güneş ışınımı ise yeryüzüne gelen direk güneş ışınlarının çeşitli yüzeylerden yansıyarak yüzeylere düşen güneş ışınımıdır. Bu ışınım değeri genellikle ölçülerek değil, hesaplama ile bulunur.

Direk güneş ışınımı ise doğrudan yüzeylere gelen güneş ışınım değeridir. Güneşli, bulutsuz bir günde direk güneş ışınım değeri toplam ışınımın %80'ni oluşturmaktadır. Direk güneş ışınım değerini ölçen cihaz Pirheliyometre'dir.

Toplam güneş ışınımını piranometre ölçer ve bir data logger ile veriler dijital ortama aktarılır. Şekil 3.8'de bu yataya gelen güneş ışınımının ölçüm tekniği tematik olarak verilmiştir.

Üzerinde deney yapılan sistem yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi olduğu için bu verilerden direk ışınım verilerinden yararlanılmıştır. Birim metrekareye düşen direkt güneş ışınım verileri kıyaslama kriteri olarak değerlendirilmiştir.

Sıcaklık değişimlerinin ölçülebilmesi için ise borunun giriş ve çıkışlarına PT 100 tipi 0-4 mili amper'de çalışan K tipi termal çift monte edilmiştir. Bu termal çift'ten alınan veriler Şekil 3.9'de gösterilen HIOKI markalı data logger cihazında toplanmıştır.



Şekil 3.9. HIOKI marka data logger.

3.3. Deneysel Sistemde Kullanılan Temel Denklemler

Termal yağa aktarılan enerjiyi hesaplamak için denklem 3.1'deki ısı transfer formülü kullanılmıştır Çengel, (2014).

$$Q = \dot{m}c\ (\Delta T) \tag{3.1}$$

Q: Yağa aktarılan enerji(W)

$\dot{m}$: Kütlesel debi(Kg/saniye)

c: Termal yağın özgül ısı kapasitesi(kJ/(kg.K)

ΔT: Yağın sisteme giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı(K)

Isı transfer denklemine göre debi zamana bağlı olarak kap doldurma yöntemiyle ölçülmüştür. Giriş çıkış sıcaklıkları data logger'dan alınmıştır.

Deneyde Mobiltherm 32 isimli termal kullanılmıştır. Kızgın yağ kazanları gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılan termal yağın, sıcaklığa bağlı olarak ısıl iletkenliği çok az değişmektedir. Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi 100 ^{o}C sıcaklık farkında ısıl iletkenliği sadece %6 düşmektedir. Çizelge 3.1'de özgül ısı kapasitesinin değişimi de ayrıca görülmektedir. Termal yağ, 100 ^{o}C sıcaklık farkında özgül ısı kapasitesi %17 artmaktadır. Isındıkça ısı taşıma kapasitesi artmaktadır. Tedarikçiden alınan bilgilere göre yağın diğer fiziksel özellikleri çizelge 3.1'de gösterildiği gibidir. Deney sonuçları değerlendirilirken yağın özgül ısı kapasitesi, sıcaklık değerlerine, göre çizelge 3.1'den alınmıştır.

Sıcaklık [°C]	Kinematik viskozite [cSt]	Yoğunluk [kg/m3]	Özgül ısı kapasitesi [kJ/(kg.K)]	Isı iletkenliği [W/(m.K)]
0	319.3	879.4	1.805	0.1349
10	154	873.8	1.841	0.1342
20	82.9	868.2	1.877	0.1335
30	48.9	862.7	1.914	0.1327
40	31	857.3	1.95	0.132
50	20.9	851.9	1.987	0.1313
60	14.8	846.6	2.023	0.1306
70	10.9	841.4	2.059	0.1298
80	8.3	836.2	2.096	0.1291
90	6.6	831.1	2.132	0.1284
100	5.3	826.1	2.168	0.1277
110	4.4	821.1	2.205	0.1269

Çizelge 3.1. Mobiltherm 32 Termal yağın fiziksel özellikleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu deney düzeneği, yoğunlaştıran güneş enerjisi sistemlerinin etkinliğini ölçmek ve endüstriyel olarak kullanılma durumlarında tasarım kriterlerini belirlemek, sistemin yüksek performanslara ulaşması için dikkat edilecek hususları tespit etmek amacı ile yapılmıştır.

Kullanılan fresnel lens üzerine düşen güneş ışınlarının %90'ını kırmakta ve odak çizgisinde yoğunlaştırma oranı 1'e 20'dir. Fresnel lens 1 metrekare alana düşen güneş ışınlarını 5 cm kalınlığında ve 1 m uzunluğunda çizgisel ışın demeti haline getirmektedir. Bu verilerden yola çıkarak diğer çizgisel yoğunlaştırma sistemlerinin, parabolik ayna tipi yoğunlaştırıcılar gibi, etkinliklerini de anlamak mümkün olmaktadır.

Deneylerde amaç, güneş ışınlarının ne kadarının termal akışkana iletildiğini anlayarak, enerji verimliliği hesabı yapmaktır. 2 farklı debi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Ayrıca, çıkış sıcaklığı olarak termal yağ'ın ulaşacağı en yüksek sıcaklıklar incelenmiştir.

Deneylere 21.06.2012 günü başlanmış ve 06.07.2012 gününe kadar her gün deney yapılmıştır. Deneylerde güneşin hareketine göre sistem manuel olarak hareket ettirilmiştir. Güneş takibi manuel yapılmış olduğundan, odaklama bozulduğunda manuel olarak düzeltilerek en doğru sonuçlar alınmaya çalışılmıştır. Deneyler esnasında meydana gelen arızalar giderilmesi ve iyileştirme çalışmalarından dolayı, deney yarım kalan deneyler olmuştur. Yarım kalan deneyler veri olarak ayrıca değerlendirilmiş ancak tez bulguları olarak kullanılmamıştır. Veriler saniyede bir alınmış ve data logger ile kaydedilmiştir.

Deneyler sırasında toplanan sıcaklık değişimi verileri ışığında elde edilen ısı akısı (Yağa aktarılan enerji) değerleri hesaplanmıştır. Isı akısı değeri ile direkt güneş

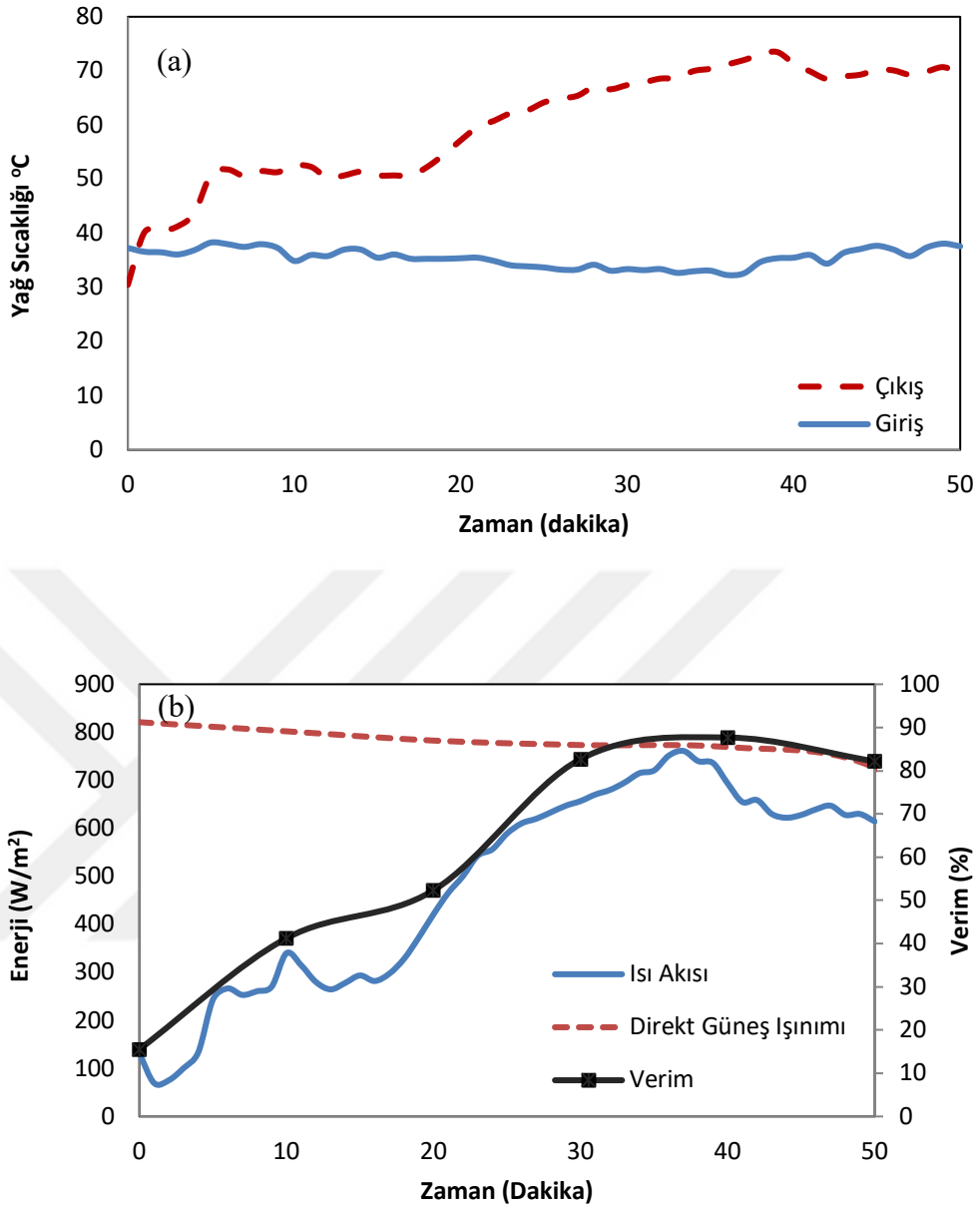
ışınımı değerinin oranlanmasından verim değeri elde edilmiştir. Direk güneş ışınım verileri 10 dakikada bir alındığı için, deneylerin ısı akısı değerleri de 10 dakikalık periyotlarla belirlenmiştir. Direkt güneş ışınım verileri, fresnel lens üzerine düşen direkt güneş ışınlarının %90'ını kırabildiği için, %10 eksiltilerek hesaplamalara girmiştir.

Enerji veremliliği hesabında, ısı akısını arttırmak, direkt güneş ışınımı deney saatlerinde sabit kaldığından, termal verimi arttırmaktadır. Isı akısı hesabında, Termal yağ'ın özgül ısı kapasitesi, sıcaklıkla küçük oranlarla değişse de sabit kabul edilebileceği için, ve akışkan debisi de deney sürelerince sabit olduğundan, verimi arttıran etken giriş çıkış arasındaki sıcaklık farkı olmuştur.

Deneyler ilk günler sadece öğlen saatlerinden sonra yapılırken, daha sonra sistemin bazı aksaklıkları da giderilince öğleden önce saatlerinde de deneyler yapılmaya başlanmıştır. Bazı günler (28.06.2012 ve 29.06.2012) deneyler öğleden önce ve sonra olmak üzere yapılmıştır.

4.1 Deneyler

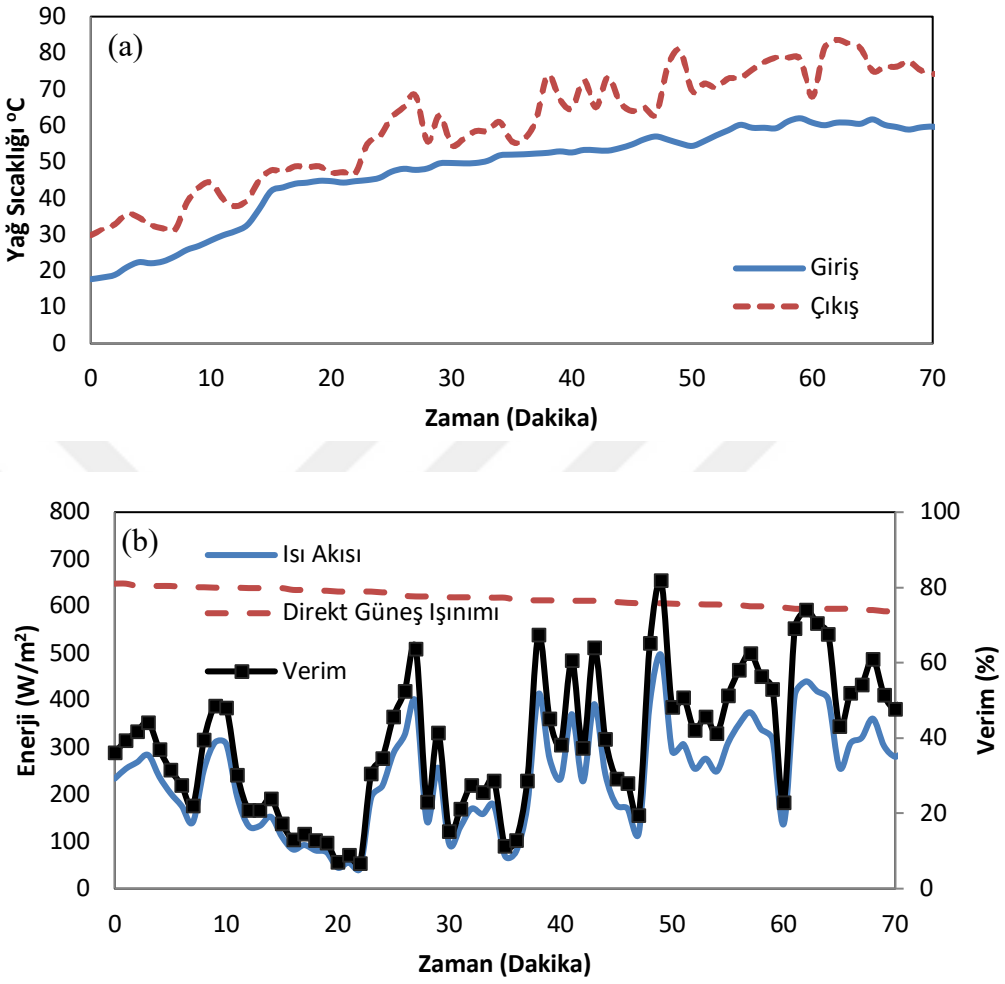
21 Haziran 2012 günü saat 13:40'ta pompa 35 kg/saat yağ debisi ile yaklaşık olarak 50 dakika çalıştırılmış yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri Şekil 4.1 a 'da gösterilmiştir. Ayrıca ve Şekil 4.1 b 'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 39.5 ^{o}C çıkmıştır. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık 73.5 ^{o}C olarak ölçülmüştür. Hesaplanan ısı akısı ile direkt güneş ışınımı kıyaslandığında verimin zamanla artığı gözlenmiştir. Bu deneyde elde edilen en yüksek anlık verim, %90 ve ortalama verim %60 olarak ölçülmüştür. Sistem rejime ulaştıktan sonra, direkt güneş ışınımı sabit olduğu için ısı akısı da istikrarlı bir şekilde artmıştır. Böylelikle ısıl verim de kararlı şekilde artmıştır. Isı akısında ve çıkış sıcaklıklarında meydana gelen anlık değişiklikler, manuel güneş takibinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.1. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (21 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat)

26 Haziran 2012 günü saat 14:44'de pompa 35 kg/saat yağ debisi ile, yaklaşık olarak 1 saat 10 dakika çalıştırılmış yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri Şekil 4.2 a'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.2 b 'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 26 °C olmuştur. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık yaklaşık 84 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek anlık verim %82, ortalama verim %39 olarak

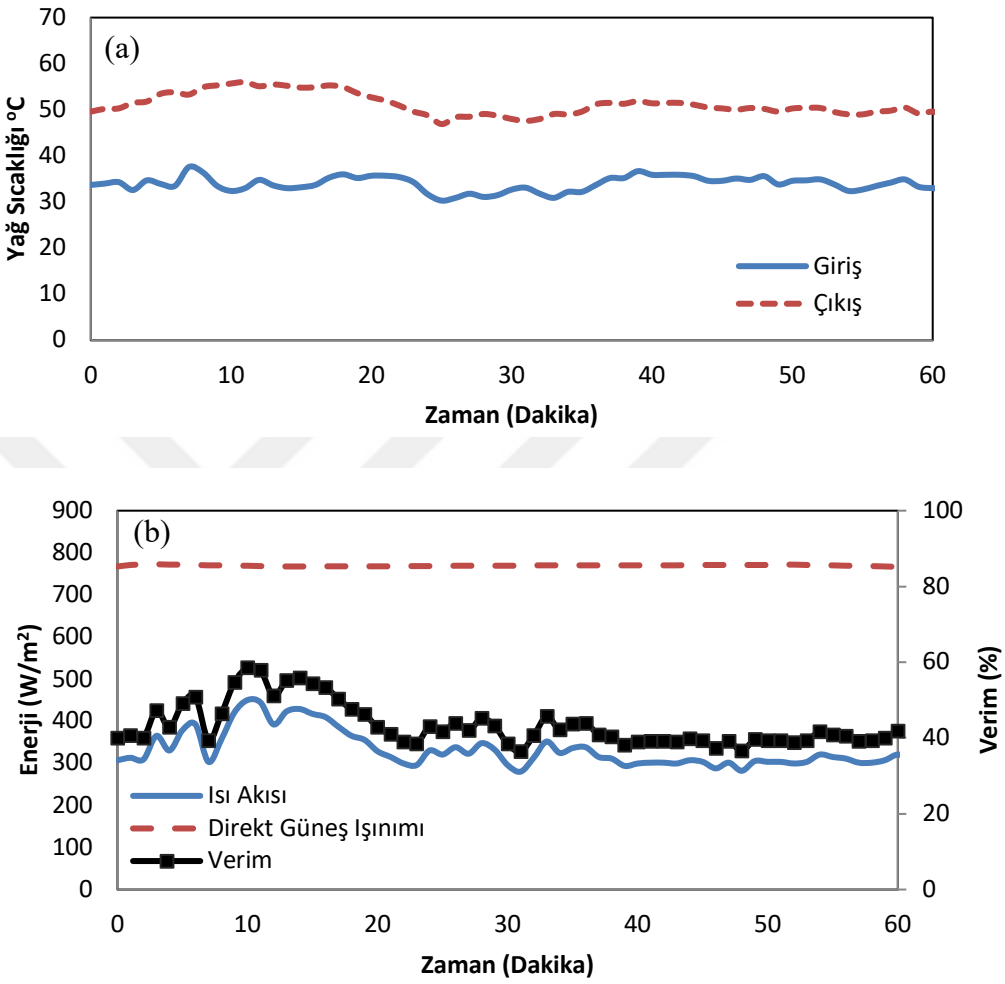
ölçülmüştür. Değerlerdeki dalgalanma, odaklamanın manuel olarak yapılmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 4.2. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (26 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat)

Yağ sıcaklığındaki değişkenlikleri giderebilmek için termal çiftler değiştirilmiş deneylere yeni termal çiftlerle deneylere devam edilmiştir. 28 Haziran 2012 günü saat 11:41'de pompa 35 kg/saat yağ debisi ile, yaklaşık olarak 1 saat çalıştırılmış yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri Şekil 4.3 a'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.3 b 'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber, ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 23 °C olmuştur. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık yaklaşık 56 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek anlık verim %58, ortalama

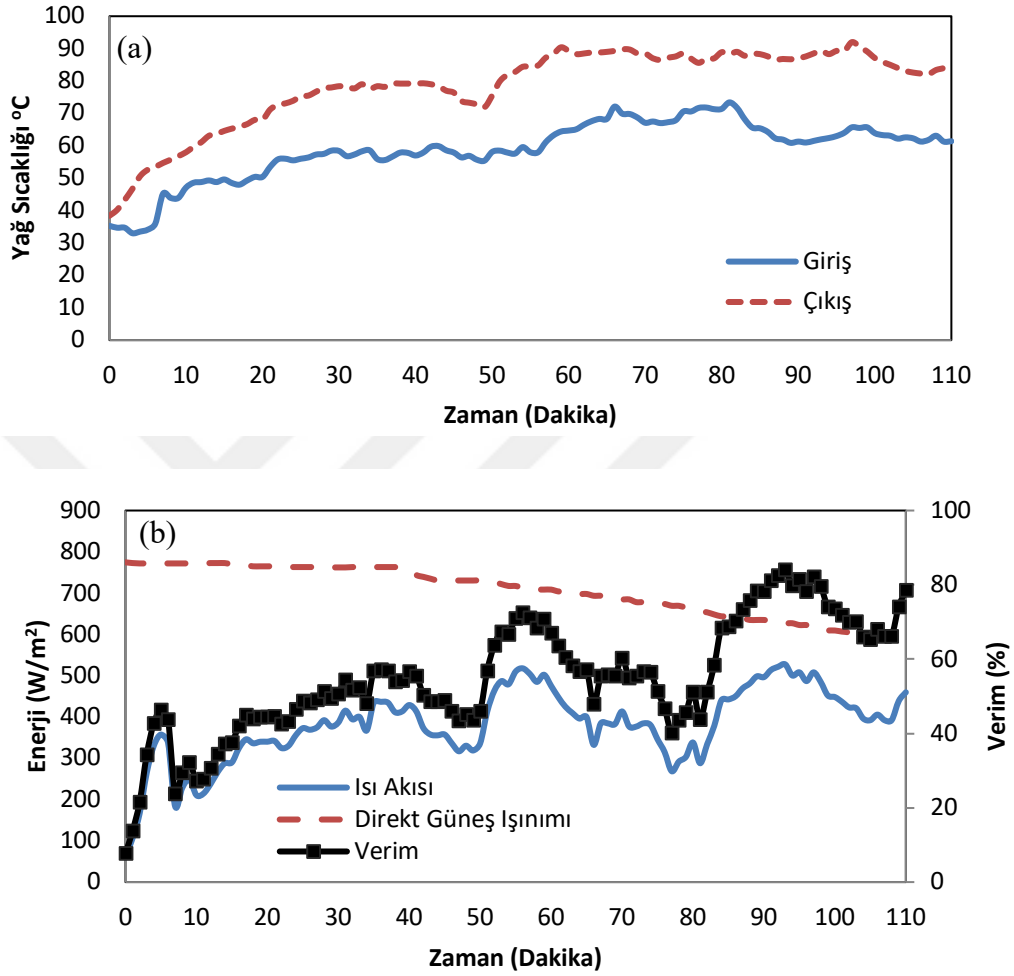
verim %43 olarak ölçülmüştür. Termal çift değişikliği yağ sıcaklıklarını istikrarlı hale getirmiştir.



Şekil 4.3. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (28 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat)

28 Haziran 2012 günü saat 13:18'de pompa 35 kg/saat yağ debisi ile, yaklaşık olarak 1 saat 50 dakika çalıştırılmış yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri Şekil 4.4 a'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.4 b 'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber, ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 27 °C olmuştur. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık yaklaşık 92 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek anlık verim %84, ortalama verim %55 olarak

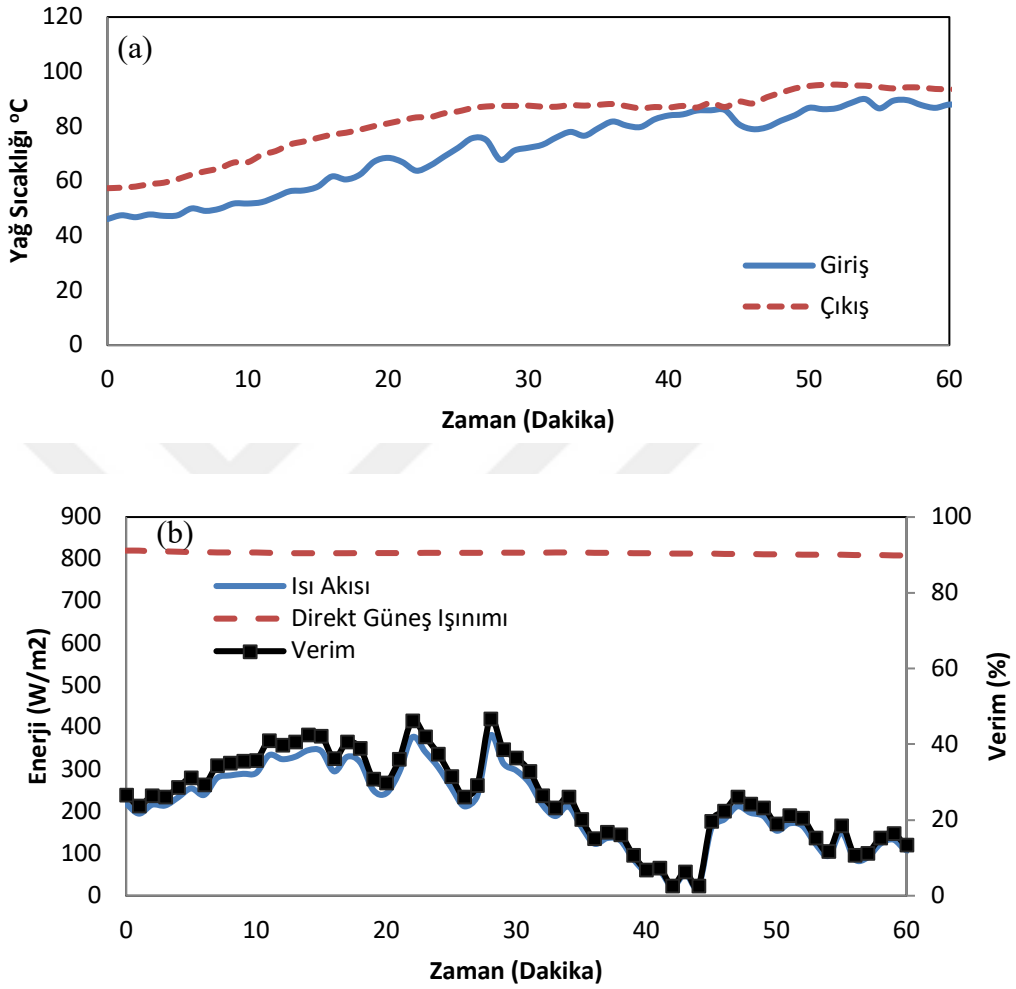
ölçülmüştür. Hesaplanan ısı akısı ile direkt güneş ışınımı kıyaslandığında bu deneyde verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli azalırken, termal yağda birikmiş olan enerji verimleri ve verim ortalamasını yükseltmiştir.



Şekil 4.4. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (28 Haziran başlangıç saati: 13:18, yağ debisi: 35 kg/saat)

29 Haziran 2012 günü saat 10:48'de pompa 35 kg/saat yağ debisi ile, yaklaşık olarak 1 saat çalıştırılmış, yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri Şekil 4.5 a'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.5 b 'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber, ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 20 °C olmuştur. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık yaklaşık 95 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek anlık verim %47, ortalama verim %26 olarak

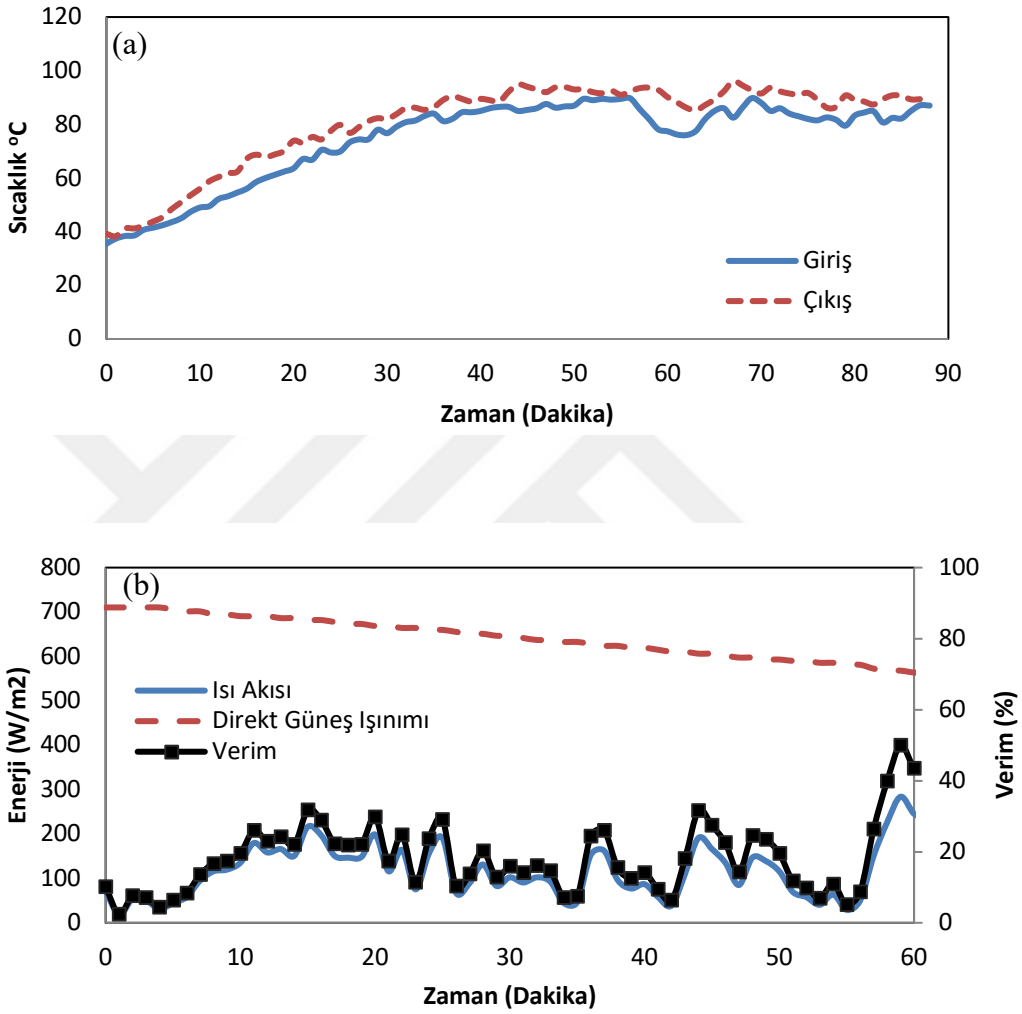
ölçülmüştür. Direkt güneş ışınımı deney boyunca sabit kalmıştır. Direkt güneş ışınımı sabit olmasına rağmen, manuel güneş takibinden dolayı hesaplanan ısı akısı değişkenlik göstermiştir.



Şekil 4.5. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (29 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat)

29 Haziran 2012 günü saat 14:22'de pompa 35 kg/saat yağ debisi ile, yaklaşık olarak 1 saat 18 dakika çalıştırılmış, yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri Şekil 4.6 a 'da gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.6 b 'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber, ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 15 °C olmuştur. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık yaklaşık 96 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek anlık verim %50, ortalama verim %20 olarak

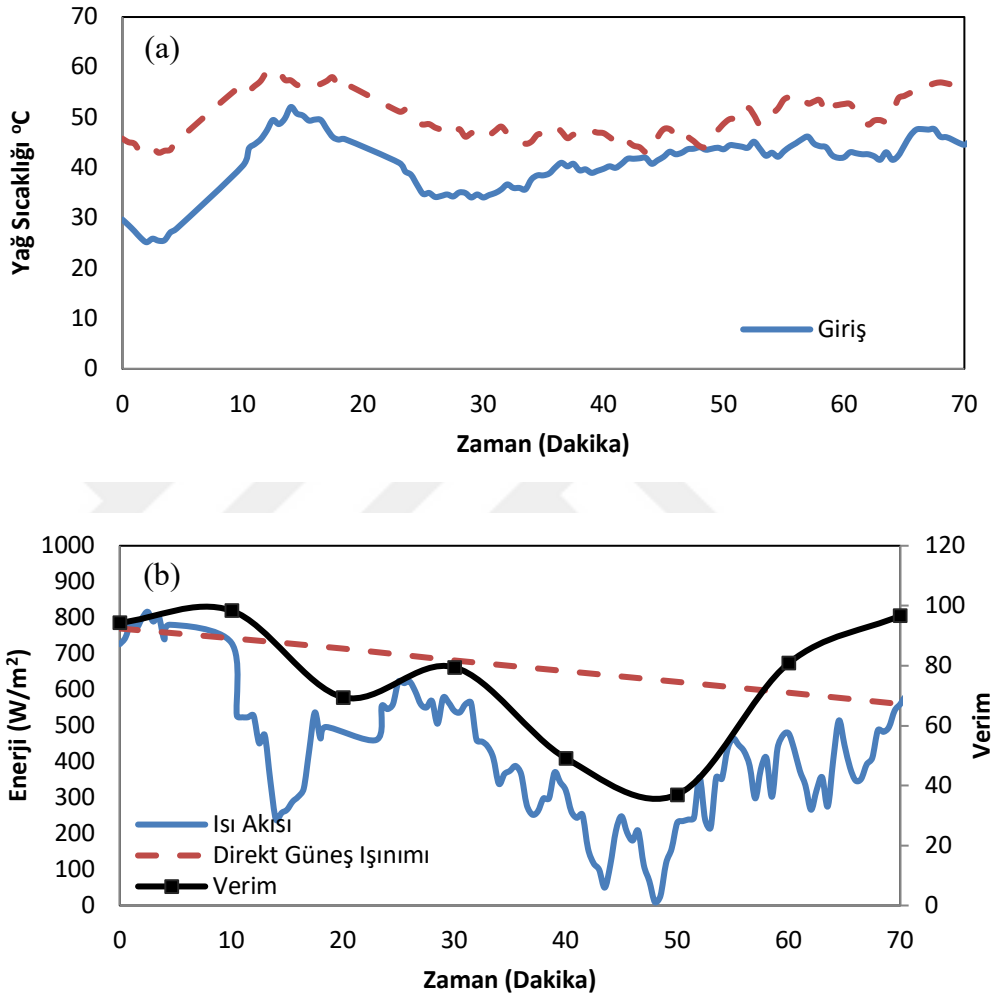
ölçülmüştür. Direkt güneş ışınımı deney süresince azalmıştır. Manuel güneş takibi ve direkt güneş ışınımındaki azalıştan dolayı ortalama verim düşük kalmıştır. Direkt güneş ışınımı deneyin ilk anlarına göre yaklaşık %20 azalmıştır, buna rağmen manuel de olsa güneş takibi sayesinde termal yağa enerji aktarımı devam etmiştir.



Şekil 4.6. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (29 Haziran, yağ debisi: 35 kg/saat)

5 Temmuz 2012 günü saat 14:30'ta pompa ortalama 83 kg/saat yağ debisi ile yaklaşık olarak 1 saat 10 dakika çalıştırılmış, yapılan deneyde elde edilen yağ sıcaklığındaki değişim değerleri şekil 4.7 a'da gösterilmiştir. Ayrıca şekil 4. b'de direkt güneş ışınım değerleri ile beraber, ısı akısı hesaplanmış ve verim gösterilmiştir. Ölçümler neticesinde borunun giriş ve çıkış sıcaklığı arasında maksimum sıcaklık farkı 19 °C çıkmıştır. Boru çıkışında ulaşılan en yüksek sıcaklık yaklaşık 60 °C olarak

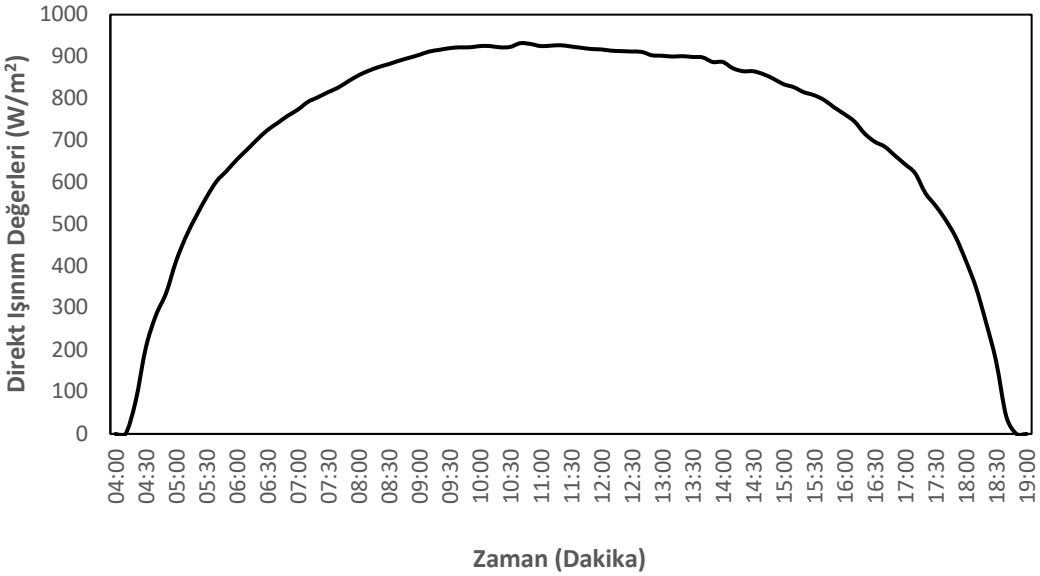
ölçülmüştür. Elde edilen en yüksek anlık verim %95, ortalama verim %75 olarak ölçülmüştür. Deneylerde gözlemlenen giriş sıcaklığındaki düşüş, odaklama borusuna yağın taşınması esnasında, esnek hortum ve yağ tankında, yaşanan ısı kayıplarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.7. a: Yağ sıcaklığının zamanla değişimi, b: Isı akısı, direkt güneş ışınımı ve verimin zamanla değişimi (5 Temmuz, yağ debisi: 83 kg/saat)

Bu Tez'in çalışma konusu yoğunlaştıran güneş enerjisi sistemleridir. Yoğunlaştıran sistemler güneşten dik gelen ışınlar ile, direkt güneş ışınımını enerjiye dönüştürmektedir. Şekil 4.8'de 29.06.2017 günü Şanlıurfa direk güneş ışınımının nasıl değiştiği görülmektedir. Deneylerin yapıldığı günlerde direk güneş ışınım değeri yaklaşık bu şekilde gerçekleşmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi direk güneş ışınımı en yüksek değerlerine saat 10:00-12:00 arası ulaşmaktadır. Saat 15:00'dan itibaren

direk güneş ışınım değeri hızlı bir şekilde düşmektedir. Bu durumu dikkate alarak deneyler 10:00- 15:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8. Şanlıurfa'da güneş ışınımının gün boyunca değişimi (29.06.2012).

Bütün deney sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, deneylerin ortalama en yüksek sıcaklığı 80.5 ºC, ortalama termal verimi %45.5, ortalama en yüksek anlık verimi %72 ve ortalama en yüksek sıcaklık farkı 22 ºC olarak hesaplanmıştır. 26.06.2012, 28.06.2012 ve 29.06.2012 öğleden önce ve sonra yapılan deneylerde, deneylerin genel ortalamasının üstünde sıcaklıklara ulaşılmış, 21.06.2012 günü yapılan deneyde ise, deneylerin genel ortalamasına yakın gerçekleşmiştir. 21.06.2012, 28.06.2012 öğleden sonra ve 05.07.2012 tarihlerinde yapılan deneylerde ortalama termal verim, deneylerin genel ortalama termal veriminden yüksek, 28.02.2012 tarihindeki deneyde ise ortalamaya çok yakın gerçekleşmiştir. 21.06.2012, 26.06.2012, 28.06.2012 öğleden sonra ve 05.07.2012 tarihlerinde yapılan deneylerde en yüksek anlık verimin deney ortalamalarının üzerinde gerçekleşmiştir. En yüksek anlık verime, %95, ile 05.07.2019'da ulaşılmıştır. 26.06.2012, 28.06.2012 öğleden sonra, 29.06.2012 öğleden önce ve sonra deneylerinde ulaşılan en yüksek sıcaklık deneylerin genel ortalamasının üstünde gerçekleşmiştir. Deneylerde elde edilen ortalama en yüksek sıcaklık, 05.07.2012'de yapılan deneyde 19 ºC olmasına rağmen termal verimin yüksek olması, yağ debisinin 83 kg/saat, diğer deneylerdeki debinin yaklaşık 2.4 katı olmasından kaynaklanmıştır. 29.12.2012 tarihinde yapılan deneylerde en düşük ortalama termal verim alınmıştır. En düşük sıcaklık farkı ile en düşük ortalama

termal verim 29.06.2012 öğleden sonra yapılan deneyde elde edilmiştir. Çizelge 4.1'de deney sonuçları özetlenmiştir.

Tarih	Yağ Debisi	En yüksek sıcaklık	Ortalama termal verim	En yüksek anlık verim	Sıcaklık farkı
	kg/saat	℃	%	%	℃
21.06.2012	35	73.5	60	90	39.5
26.06.2012	35	84	39	82	26
28.02.2012- Öğleden önce	35	56	43	58	23
28.02.2012- Öğleden sonra	35	92	55	84	27
29.06.2012- Öğleden önce	35	95	26	47	20
29.06.2012- Öğleden sonra	35	96	20	50	15
5.07.2012	83	60	75	95	19
Deneyler genel ortalaması		80.5	45.5	72	22

Çizelge 4.1. Deneylerin özet sonuçları.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çizelge 4.1'de belirtildiği gibi, deney sırasında oluşan giriş çıkış arasındaki sıcaklık farkları ortalaması 22 ^oC olmuştur. Sıcak su, kızgın su ve kızgın yağ kazanları gibi, endüstriyel ve domestik termal uygulamalarda genellikle çalışılan sıcaklık farkı 20 ^oC' dir. Giriş çıkış sıcaklıkları arasında elde edilen bu sıcaklık farkına istinaden, deneyin amacına ulaştığı görülmektedir. Ulaşılan en yüksek sıcaklık 90 ^oC'den daha fazla olması da tasarımın hedeflenen sonuçlara ulaştığını ispatlamaktadır.

Deneylerde elde edilen 60^oC üstü bütün sıcaklıklar, kurulan deney düzeneğinin çalışması bakımından olumlu olarak algılanmıştır. Ve bu sonuçlar daha iyi bir sistem için ek çalışmalar yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ortam sıcaklığının 35-40 ^oC arası olan bir günde, termal yağda sağlanan 20 ^oC've üstü giriş çıkış sıcaklığı farkları, ticari ve endüstriyel kullanımda daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabileceği noktasında ümit vaat etmektedir. Deney düzeneğinin ölçeği (Mercek Alanı 1 m^2) itibari ile ulaşılabilecek en yüksek sıcaklık değerlerine çok yaklaşıldığı, termal veriminde %90'larda olduğu anlarda görülmüştür.

5.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada çizgisel odaklama yapan bir fresnel lens kullanılarak, bir yoğunlaştırıcı güneş enerjisi kolektörü düzeneği tasarlanıp, imal edilmiştir. Düzeneğin imalatında kullanılan parçalardan, fresnel lens, borosilikat cam ve esnek hortum haricindeki parçalar yerel imkanlarla temin edilmiştir. Güneş enerjisinin etkinliği deney düzeneğinde 20 kat arttırılmıştır. 1 m^2 alana gelen güneş ışınları 0,05 m^2 alana yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırılan alana yerleştirilen 80 mm çapındaki siyaha boyanmış bakır borudan yağ akışı sağlanmıştır. Bakır boru, ısı kayıplarını

azaltmak için, 150 mm çapındaki borosilikat cam borunun içine alınarak dış ortamdan izole edilmiştir. Bakır borunun giriş çıkışına sıcaklık ölçümü içine termal çiftler yerleştirilmiş, sıcaklık değişimleri, data logger cihazı ile kaydedilmiştir. Yağ akışını sağlamak için yağ pompası ve yağ deposu olarak da bir tank kullanılmıştır.

Güneş takibi manuel olarak yapılmasına rağmen, güneş ışınları fresnel lensin odak çizgisinde toplanmıştır. Deney sonuçları dikkate alındığında düzeneğin hedeflenen ölçümleri yapabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Deney sonuçlarını değerlendirmeden önce, vurgulanması gereken en önemli olgu, güneş takibinin manuel olarak yapılmasının deney sonuçlarını olumsuz etkilediğidir. Bu durum sonuçlarda ciddi dalgalanmalara neden olduğu, deney sonuç şekillerinde net bir şekilde görülmektedir. Buna rağmen anlık termal verimler genellikle %70'in üstünde gerçekleşmiştir. Bu değer güneşten gelen ışınların büyük oranda yağa aktarılabildiğini göstermektedir. Deney ortalamaları bakımından termal verimler düşük kalmıştır, bunun nedeninin, manuel güneş takibi, yağ tankının ve esnek hortumun izole edilmemesi olduğu söylenebilir. Birçok endüstriyel uygulamalarda ihtiyaç duyulan sıcaklık 100 ^{o}C 'nin üstünde olduğu için, ulaşılabilecek en yüksek sıcaklık değeri de deneylerde incelenmiştir. Düzenek kullanılan sadece bir fresnel lens tipi yoğunlaştırıcı ile 96 ^{o}C sıcaklığa ulaşılmıştır. Bu sonuca istinaden daha fazla panel kullanılarak çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabileceği görülmüştür. Çizgisel odaklama yapılan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinde 400 ^{o}C sıcaklığa ulaşılabildiği önceki çalışmalarda belirtilmişti. Deney sonuçlarına dayanarak bu verinin doğru olduğu söylenebilir.

Ortalama anlık termal verimler ile en yüksek anlık termal verimler arasında büyük farklar ortaya çıkmıştır. Bu deney düzeneğinde otomatik güneş takip sistemi eklenip ve gerekli izolasyonlar yapılmış olsaydı, en yüksek anlık termal verimler ve ortalama anlık termal verim değerleri birbirine daha yakın çıkabilirdi.

Prosesinde buhar veya kızgın yağ enerjisine ihtiyaç duyan işletmeler, genellikle 7 gün 24 saat esası ile çalışmaktadır. Bu tesislerin üretimleri süreklidir,

%100 emre amade olarak çalışmak hedeftir, ancak arıza veya bakımlarda sistemler duruşa geçer, hatta birçok tesiste duruştan kaynaklanacak zararları minimize etmek için kazanlar yedeklidir. Deney sonuçlarından yola çıkarak, tamamen güneş enerjisine dayalı, enerji tedariki sanayi tesisleri için mümkün olamayacaktır. Bu bakımdan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerini mevcut sistemlerini enerji bakımından desteklemek amacı ile kullanılması mümkündür. Böylelikle birim enerji maliyetlerinde düşüş sağlanacaktır. Birim enerji maliyetinde gerçekleştirilecek tasarruf sanayicinin bu sistemlere yatırım yapmasını sağlayabilir.

Bu tez çalışmasına başlarken ulaşılmak istenen hedeflerden biri yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin sanayinin enerji ihtiyacını karşılayabilme ihtimalini değerlendirmekti. Ancak, deney sonuçlarına dayanarak birincil enerji kaynağı olarak sanayinin enerji ihtiyacı yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ile karşılanmasının mümkün olmadığı görülmüştür.

5.2. Öneriler

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri genellikle güneş enerjisini termal yağa aktarıp, bu yağın enerjisini de buhara çevirip, elde edilen buhar ile, buhar türbini çalıştırıp, buhar türbini ile alternatör çalıştırıp alternatif akım, elektrik üretme üzerine kurulu çevrimlerdir. Bu çevrimde enerji 3 defa dönüştürülmektedir, verim hesabını yaparken güneşten faydalı enerjiye dönüşümde 3 defa verim çarpanı hesaba girmektedir. Böylelikle toplam verim düşmektedir. Bu tez konusunun çıkış noktası, bu enerji kayıplarını minimize etmek için verim çarpanlarını azaltmak, yani faydalı enerjiyi buhar, kızgın yağ olarak kullanabilmektir. Örneğin, bir sanayi tesisi, ihtiyacı olan buhar veya kızgın yağ enerjisinin bir kısmını, direkt bu sistemden alarak enerji maliyetlerini düşürebilir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin daha etkili çalışması için:

- Yoğunlaştırma oranının yüksek olması,
- Güneş takibinin otomatik yapılması,

- Sistemin bütün parçaların izole edilmiş olması,
- Kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayılarının yüksek olması,
- Üretilen ısının depolanması

Koşullarının sağlanması gerekmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan yoğunlaştırma oranı 20'dir, ancak daha yüksek oranlarda yoğunlaştırma yapmak mümkündür. Yoğunlaştırıcı üreticileri istenen oranda yoğunlaştırma yapan paneller üretmektedirler.

Otomatik güneş takibi, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin verimi istikrarını arttırmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan manuel güneş takibi, verilerin sürekli değişmesine neden olmuştur.

Transfer edilen enerjinin etkin olarak kullanılabilmesi için izolasyon çok önemlidir. Ayrıca alıcı yüzeylerin çevreden izole edilirken vakumlu ortamlar oluşturulmalıdır. Böylelikle çevreye olan ısı kayıpları minimum düzeye düşecektir.

Deney düzeneğinde bakır boru kullanılmıştır. Bakırın ısı iletim katsayısı, kolaylıkla temin edilebilen diğer boru malzemelerine göre daha yüksektir. Bakır borunun iç yüzeyi kanatçık yapıda olması durumunda ısı transfer özellikleri artabilir. Buna ek olarak, bakırın ısı iletim katsayısından daha yüksek ısı iletim katsayılı malzemeler mevcuttur. Örneğin gümüş gibi, maddelerin ısı iletim katsayıları bakırdan yüksektir. Alıcı yüzey malzemesi bakımından araştırmalar yapılması veya daha yüksek ısı iletim katsayılı malzemeler bulunması durumunda yoğunlaştıran sistemlerin verim artışında etkili olacaktır.

Isı deposu olmayan, yoğunlaştıran güneş enerjisi tesislerind üretilen enerji anında kullanılmak durumunda kalınmaktadır. Ancak ısı depolama sistemleri, yoğunlaştıran sistemlere eklene bilinirse üretilen enerji güneşin olmadığı anlarda da kullanılabilir. Özellikle parabolik kolektörlü elektrik üretim santralleri, ısı deposu olarak termal tuzlar hali hazırda kullanılmaktadır. Ayrıca bu tesislerde ek enerji

kaynağı olarak doğalgaz'da kullanılmaktadır. Üretilecek enerjiyi depolayacak ve güneş olmadığı zamanlarda kullanımı sağlayacak sistemlerin yoğun olarak incelenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu deney, yoğunlaştırma sistemlerinin sanayide kullanımı bakımından, daha kesin sonuçlara ulaşmak için, başka deneyler yapılması gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle tek eksende takip yapan otomatik güneş takip sistem ile donatılmış, daha çok panel ile ve yoğunlaştırma oranı 20'den fazla olan paneller ile, yapılacak deneyler, yoğunlaştırma sistemlerinin sanayide kullanımı bakımından daha net sonuçlar ortaya koyabilir. Hatta daha fazla panelden oluşan ve otomatik kontrollü bir sistem ile yapılabilecek bir deney, kazan sistemlerine destek olacak yoğunlaştırma sistemlerinin, kapasiteleri, panel adetleri ve uzunluğu gibi kriterleri tespit etmeye yardımcı olacaktır. Ve dolayısıyla ilk yatırım maliyeti de ortaya çıkacaktır. Bu alan hala yatırıma ve araştırmaya muhtaç olduğu için bu konudaki çalışmaların sıklaşması özellikli Şanlıurfa bölgesinde sanayinin gelişimine katkı verebilir.

Noktasal yoğunlaştırma yapan güneş enerjisi sistemleri ile güneş fırınları üretilebilir. Enerji kaynağı bakımından fakir bölgelerde yemek pişirmek için bu sistemler kullanılabilir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerini seralarda aydınlatma ve ısıtma amaçlı kullanımı da mümkündür. Şanlıurfa gibi sera sanayisinin hızla geliştiği bölgelerde, ısıtma maliyetlerinin düşmesinde katkı verebilecektir.

Bu tez çalışmasının sürdüğü süreçte, yoğunlaştırılmış güneş enerjisini daha farklı endüstriyel alanlarda, örneğin kurutma gibi, kullanılabileceği fikrine ulaşılmıştır. Bu sistemlerle meyve, sebze kurutması yapabilen bir makine konsepti tasarlanmış ve tasarım ile ilgili TPE(Türk Patent ve Marka Kurumu) nezdinde başvuru yapılmıştır. Bu başvuru tescil edilme aşamasına ulaşmıştır.

KAYNAKLAR

AKSOY, F., and KARABULUT, H., 2013.Performance Testing of a Fresnel/Stirling Micro Solar Energy Conversion System, Energy Conversion and Management, 75: 629-634.

ANTIA, H. M., BASU, S., and CHITRE, S. M., 2008. Solar Rotation Rate and Its Gradients During Cycle 23, Cornell University Astrophysics, 31-62.

AQACHMAR, Z., ALLOUHI, A., JAMIL, A., GAGOUCH, B., and KOUSKSOU, T., 2019. Parabolic Trough Solar Thermal Power Plant Noor I in Morocco, Energy, 178: 572-584.

BARRA, O. A., and FRANCESCHI, L., 1982. The Parabolic Trough Plants Using Black Body Receivers: Experimental And Theoretical Analyses. Solar Energy, 28 (2): 163-171.

BASU, S., and ANTIA, H. M., 2008. Helioseismology and Solar Abundances. Physics Reports 457 (5–6):217-283.

BELLOS, E., and TZİVANİDİS, C., 2019. Alternative Designs of Parabolic Trough Solar Collectors. Progress in Energy and Combustion Science, University of Illinois at Urbana-Champaign. 71: 81-117.

BULUT, H., İŞIKER, Y., AKTACİR, M. A., ve YEŞİLATA, B., 2010. Güneş Enerjisi Uygulamalarının Potansiyelini Belirlemek İçin Toplam, Direkt ve Yayılı Güneş Işınım Şiddetlerinin Anlık Ölçümü. 1. Uluslararası Katılımlı Kamu – Üniversite – Sanayi İş birliği Sempozyumu ve Mermercilik Şurası, 24-26 Mayıs 2010, Diyarbakır, s.484-490.

COHEN, G. and FRİER, S., 1997. Ten Years of Solar Power Plant Operation in the Mojave Desert. Solar Energy Forum (ASES session), April 1997, Washington USA, s47-60.

ÇAKIR, O. K., 2019. Fresnel Lens ile Optimize Edilmiş Silisyum Güneş Panelinin Elektrik Üretim ve Çalışma Özelliklerinin İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 114s.

ÇENGEL, Y.A., 2014. Isı ve Kütle Transferleri Pratik Bir Yaklaşım. Güven Kitabevi, İzmir, 873s.

ÇOLAK, L., 2003. Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Matematiksel Modellenmesi Tasarımı ve Teknik Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, s268.

ECK, M., ZARZA, E., EİCKHOFF, M., RHEİNLÄNDER. J., and VALENZUELA. L., 2003. Applied Research Concerning The Direct Steam Generation İn Parabolic Troughs. Solar Energy, 74(4): 341-351.

EDENBURN, M. W., 1976. Performance Analysis of a Cylindrical Parabolic Focusing Collector and Comparison With Experimental Results, Solar Energy, 18(5): 437-444.

EMILIO, M., KUHN, J. R., BUSH, R. I., and SCHOLL, I. F., 2012. Measurıng The Solar Radıus From Space Durıng The 2003 And 2006 Mercury Transıts, The Astrophysical Journal, 750(2): 135-143.

ERGÜN, E., 2011. Tekstil İşletmelerinin Enerji Temininde Doğrusal Fresnel Güneş Güç Sistemlerinin Kullanılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 120s.

ERSAVAŞ, A., İŞIKER, Y., FIRATOĞLU, Z. A., and YEŞİLATA, B., 2014. Construction and Performance Analysis of an İndustrial Oriented Concentrated Solar Collector By Using Fresnel Lens. Solar TR 2014, 19-21. November 2014, İzmir, s.177-183.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, A., ZARZA, E., VALENZUELA, L. and PÉREZ, M., 2010. Parabolic-Trough Solar Collectors and Their Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(7): 1695-1721.

DÜNYA ENERJİ KONSEYİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ., 2010. ENERJİ RAPORU 2010. Poyraz ofset, Ankara, 174.

GARCIA, F., 2010. Parabolic-Trough Solar Collectors And Their Applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(7): 1695-1721

GENÇ, A., 1998. Güneşi Tek Eksende Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Performans Deneyleri, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 112s.

GILBERT, C. E., KEARNEY, D. W., and GREGORY, K. J., 1999.Final Report on the Operation and Maintenance Improvement Program for Concentrating Solar Power Plants. United States Department of Energy, SAND99-1290: 1-186.

GİRGİN, M.H., 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 223s.

GODIER, S., ROZELOT, J. P., 2000. The solar oblateness and its relationship with the structure of the tachocline and of the Sun's subsurface, Astronomy and Astrophysics, 355 (1): 365-374.

GONG, G., HUANG, X., WANG, J., and HAO, M., 2010. An Optimized Model and Test of The China's First High Temperature Parabolic Trough Solar Receiver, Solar Energy, 84(12): 2230-2245.

GÖLALMIŞ, L. E., 2003. Fresnel Merceklerle Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisinin Isıya Dönüştürülmesi ve Depolanması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, Ankara, s254.

KALOGIROU, A. S., 2012. A Detailed Thermal Model of a Parabolic Trough Collector Receiver, Energy, 48(1): 298-306.

KALOGIROU, S. A., 1996. Design And Construction Of A One-Axis Sun-Tracking System. Solar Energy, 57(6): 465-469.

KASAEIAN, A., TABASI, S., GHADERIAN, J., and YOUSEFI, H. 2018. A Review on Parabolic Trough/Fresnel Based Photovoltaic Thermal Systems Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91: 193-204.

KHALED, A., 2012.Technıcal And Economıc Performance Of Parabolıc Trough In Jordan. University of Kassel, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, MSc, Kassel Germany, s117.

KONG, C., XU, Z., and YAO, Q., 2013. Outdoor Performance of a Low-Concentrated Photovoltaic–Thermal Hybrid System With Crystalline Silicon Solar Cells, Applied Energy, 112: 618-625.

KOPP, G., and LEAN, J. L., 2011. A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. Geophysical Research Letters, 38: 1-7.

KURŞUN, B., 2019. Thermal Performance Assessment Of İnternal Longitudinal Fins With Sinusoidal Lateral Surfaces in Parabolic Trough Receiver Tubes, Renewable Energy, 140: 816-827.

KÜLAHLI, M. C., 2019. Solar Termal Sistemlerde Kullanılmak Üzere Değişken Kesitli Parabolik Kollektör Tasarımı, Optimizasyonu ve Termodinamik Analizi. Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, s78.

LADA, C. J., 2006. Stellar Multiplicity and The Initial Mass Function: Most Stars Are Single, The Astrophysical Journal, 640: L63-L66.

LAMNATOU, C.and CHEMISANA, D., 2013. Solar Radiation Manipulations And Their Role İn Greenhouse Claddings: Fresnel Lenses, NIR- and UV-Blocking Materials, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 18: 271-287.

LEUTZ, R., SUZUKI, A., AKISAWA, A., and KASHIWAGI, T., 1999. Design Of a Nonimaging Fresnel Lens for Solar Concentrators, Solar Energy, 65(6): 379-387.

LEUTZ, R., SUZUKI, A., AKISAWA, A., and KASHIWAGI, T., 2000. Developments and Designs of Solar Engineering Fresnel Lenses. Proceedings Symposium on Energy Engineering (SEE 2000), 2000, Hong Kong, China, 2: 759–765.

LI, P.-W., KANE, P., and MOKLER, M., 2013. Modeling of Solar Tracking for Giant Fresnel Lens Solar Stoves, Solar Energy, 96: 263-273.

LIN, M., SUMATHY, K., DAI, and ZHAO, X.K., 2014. Performance İnvestigation on a Linear Fresnel Lens Solar Collector Using Cavity Receiver, Solar Energy, 107: 50-62.

MILLER, O. E., MCLEOD, J. H., and SHERWOOD, W. T., 1951. Thin Sheet Plastic Fresnel Lenses of High Aperture, Journal of the Optical Society of America, 41(11): 807-815.

NIA, M. H., NEJED, A. A., GOUDARZI, A. M., VALIZADEH, M., and SAMADIAN, P., 2014. Cogeneration Solar System Using Thermoelectric Module and Fresnel Lens, Energy Conversion and Management, 84: 305-310

ODEH, S. D., 1998. Modelling Of Parabolic Trough Direct Steam Generation Solar Collectors. Solar Energy, 62 (6): 395-406.

ÖZDEMİR, A., 2012. Parabolik Kollektörlü Organik Rankine Çevriminin Isparta Şartlarında İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, s76.

PERINI, S., TONNELLIER, X., KING, P., and SANSOM, C., 2017. Theoretical And Experimental Analysis of an Innovative Dual-Axis Tracking Linear Fresnel Lenses Concentrated Solar Thermal Collector, Solar Energy, 153: 679-690.

PIDWIRNY, M. J., 2002. Fundamentals of Physical Geography. Department of Geography, Okanagan University College, Canada, 376s.

RABL, A., BENDT, P., and GAUL, H. W., 1982. Optimization Of Parabolic Trough Solar Collectors. Solar Energy, 29 (5): 407-417.

SHARAF, O. Z., and ORHAN, M. F., 2015. Concentrated Photovoltaic Thermal (CPVT) Solar Collector Systems: Part I – Implemented Systems, Performance Assessment, and Future Directions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50: 1500-1565.

SHARAF, O. Z., and ORHAN, M. F., 2015. Concentrated Photovoltaic Thermal (CPVT) Solar Collector Systems: Part II – Implemented Systems, Performance Assessment, and Future Directions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50: 1566-1633.

SONNEVELD, P.J., SWINKELS, G.L.A.M., VAN TUIJL, B.A.J., JANSSEN, H.J.J., CAMPEN, J. and BOT, G.P.A., 2010. Performance of a Concentrated Photovoltaic Energy System With Static Linear Fresnel Lenses, Solar Energy, 85: 432–442.

SZULMAYER, W., 1973. Solar Strip Concentrator, Solar Energy, 14(3):327–335.

ŞANLI, G., 2010. Parabolik oluk tipi güneş kollektörlerin teorik olarak incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 143s.

TMMOB MAKİNE MÜHENDİSLERİ ODASI, 2012. Türkiye'nin Enerji Görünümü, YayınNo: MMO/588, Ankara, 242s.

TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y., SIABEKOU, C., and TONUI, J.K., 2007. The Fresnel Lens Concept for Solar Control of Buildings, Solar Energy, 81: 661–675.

URL-1, Renewable Energy Policy Network for 21st Century, Renewables 2011 Global Status Report, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2011_Full-Report_English.pdf (Erişim Tarihi: 10.10.2019)

URL-2, Renewable Energy Policy Network for 21st Century, Renewables 2011 Global Overview, https://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_01/chapter_01/ (Erişim Tarihi: 10.10.2019).

URL-3, Solar Radyasyon ve İklim Deneyi, Colarado Üniversitesi Uzay ve Atmosfer Fiziği Laboratuvarı, http://lasp.colorado.edu/sorce/index.htm (Erişim Tarihi: 11.11.2019)

URL-4, Uluslararası Enerji Ajansı Dünya Enerji Görünüm 2011 Raporu, https://www.iea.org/newsroom/news/2011/november/world-energy-outlook-2011.html (Erişim tarihi: 21.10.2019)

URL-5, Uluslararası Enerji Ajansı Ülkeleri Enerji Politikaları, Türkiye Raporu, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/turkey2009.pdf (Erişim Tarihi: 10.10.2019)

URL-6, Energy statistics manual. OECD / IEA and EUROSTAT Publication, www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual.pdf (Erişim Tarihi: 10.10.2019)

URL-7, National Renewable Energy Laboratory-NREL. Concentrating Solar Power Projects, https://solarpaces.nrel.gov (Erişim Tarihi: 10.10.2019)

URL-8, Solar Thermal Power and Energy Storage Historical Perspective, http://mragheb.com/NPRE%20498ES%20Energy%20Storage%20Systems/Solar%20Thermal%20Power%20and%20Energy%20Storage%20Historical%20Perspective.pdf (Erişim Tarihi: 10.10.2019).

URL-9, OECD Factbook 2015: Economic, Environmental and Social Statistics, https://read.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook-2015-2016/renewable-energy_factbook-2015-43-en#page1 (Erişim Tarihi: 10.10.2019).

URL-10, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx (Erişim Tarihi: 10.10.2019)

VALMIKI, M.M., LI, P., HEYER, J., MORGAN, M., ALBINALI, A., ALHAMIDI, K. and WAGONER, J., 2011. A Novel Application of a Fresnel Lens For a Solar Stove and Solar Heating, Renewable Energy, 36: 1614-1620.

WANG, W., AICHMAYER, L., LAUMERT, B., and FRANSSON, T., 2014. Design and Validation of a Low-Cost High-Flux Solar Simulator Using Fresnel Lens Concentrators, Energy Procedia, 49: 2221-2230.

WANG, G., CHEN, Z., HU, P., and CHENG, X., 2016. Design and Optical Analysis of The Band-Focus Fresnel Lens Solar Concentrator, Applied Thermal Engineering, 102: 695-700.

WARBURG, P., 2015. Harness The Sun America's Quest For A Solar-Powered Future. Beacon Press, Boston, 227s.

XIE, W.T., DAI, Y.J., and WANG, R.Z., 2013. Thermal Performance Analysis of a Line-Focus Fresnel Lens Solar Collector Using Different Cavity Receivers, Solar Energy, 91: 242-255.

XIE, W.T., DAI, Y.J., WANG, R.Z., SUMATHY, K., 2011. Concentrated Solar Energy Applications Using Fresnel Lenses: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(6): 2588-2606.

XIE, W.T., DAI, Y.J. and WANG, R.Z., 2011. Numerical and Experimental Analysis af a Point Focus Solar Collector Using High Concentration Imaging PMMA Fresnel Lens, nergy Conversion and Management, 52: 2417-2426.

YASSER, A. A.-H., 2012. Simulation Model of a New Solar Pumped Laser System of Fresnel Lens in Helwan of Egypt, NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 1: 195-198.

YEH, N., 2010. Analysis of Spectrum Distribution and Optical Losses Under Fresnel Lenses, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(9): 2926-2935.

YEŞİLATA, B., 1990. Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörlerinin Tasarımı, Dizaynı ve Isıl Veriminin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elâzığ, 131s.

YEŞİLATA, B., BULUT, H., ÇETİNER, C. ve ERSAVAŞ, A., 2011. Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri ve GAP Bölgesine Yönelik Fırsatlar. Mühendis ve Makine, 52 (622):47-56.

YEŞİLATA, B., ve PIHTILI, K., 1991. Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörlerinin Tasarımı ve Isıl Veriminin Araştırılması. IV Türk- Alman Enerji Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 02-04 Mayıs 1991, İzmir, s.317-328.

ZHAI, H., DAI, Y.J., WU, J.Y., WANG, R.Z. and ZHANG, L.Y., 2010. Experimental İnvestigation and Analysis on a Concentrating Solar Collector Using Linear Fresnel Lens, Energy Conversion and Management, 51: 48-55.

ZHAOA, Y., ZHENGA, H., MAA, X., JİNA, R., and WU, G., 2018. Regenerative Solar Soil Sterilizing System With The Fresnel Lens Concentrator, Applied Thermal Engineering, 142: 674-682.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet ERSAVAŞ
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara-1978
Telefon : 05326957419
e-mail : ahmetersavas63@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Sunguroğlu Lisesi, Merkez, Gaziantep	1996
Üniversite	: Gaziantep Üniversitesi, Şahinbey, Gaziantep	2004
Yüksek Lisans	: İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul	2008
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Haliliye, Şanlıurfa	Devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005	İlka Makine	Satış Mühendisi
2005-2007	Erensan Isı Cihazları	Ürün Yöneticisi
2008-2010	Aile Şirketi	Yönetici
2010-2013	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-	Şahsi Şirketi	Genel Müdür

UZMANLIK ALANI

- **Enerji yöneticiliği**
- **Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı**
- **İş Güvenliği Uzmanlığı**

YABANCI DİLLER

- **İngilizce**

YAYINLAR

ERSAVAŞ. A., İŞIKER. Y., FIRATOĞLU. Z. A., and YEŞİLATA. B., 2014. Construction and Performance Analysis of an İndustrial Oriented Concentrated Solar Collector By Using Fresnel Lens, Solar TR 2014, 19-21 November, s177-183.

YEŞİLATA, B., BULUT, H., ÇETİNER, C. ve ERSAVAŞ, A., 2011. Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri ve GAP Bölgesine Yönelik Fırsatlar. Mühendis ve Makine, 52 (622): 47-56.