
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE TERMAL GÜÇ ÜRETİMİ

Doğa ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Doğa ŞAHİN
16/12/2021

GÜNEŞ ENERJİSİ İLE TERMAL GÜÇ ÜRETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Doğa ŞAHİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Küresel ısınmaya neden olan ve gün geçtikçe tükenen fosil kaynaklardan enerji üretimi giderek daha zor bir hale gelmektedir. Enerji ihtiyacının karşılanması, daha temiz yollarla enerji üretiminin yapılması amacıyla yenilenebilir enerjiyle ilgili çalışmalar artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi, sınırsız bir enerji kaynağı olması, zararlı emisyonlarının olmaması, kurulum ve işletme kolaylıklarından dolayı ön plana çıkmaktadır. Türkiye Avrupa ile Asya'nın tam ortasında güneş kuşağı içerisinde yer alması nedeniyle büyük güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Mevcut güneş enerjisi sistemleri içerisinde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ile yüksek sıcaklıklarda buhar üretimi yapılarak elektrik üretimine imkân sağlanmaktadır. Bu çalışmada yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile kombine edilmiş organik Rankine çevrimi ile elde edilebilecek güç üretimi incelenmiştir. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile termal deneyler yapılmış ve bu deneyler sonucunda optik ve termal verim hesaplamaları yapılmıştır. Isı transfer akışkanı olarak gliserin kullanılarak, ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda sistemin ortalama termal veriminin %90 ve optik veriminin ortalama %20 olduğu belirlenmiştir. Elektrik üretimi için organik Rankine çevriminde ısı kaynağı olarak parabolik oluk güneş kolektöründe ısınan ısı transfer akışkanı kullanılmış ve ne kadar elektrik üretilebileceğinin belirlenmesi amacıyla Chemcad programında ORC sistemi teorik olarak simüle edilmiştir. Çevrimde kullanılacak çalışma akışkanlarına göre üretilecek elektrik miktarı ile ilgili çalışılmış ve termodinamik olarak analizi yapılmıştır. Çalışma akışkanı olarak R134a, bütan, izobütan, pentan ve izopentan kullanılarak üretilecek elektrik miktarı incelenmiştir. Sonuç olarak en yüksek elektrik üretimi izopentan ile gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu	:	91207
Anahtar Kelimeler	:	Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi, organik Rankine çevrimi, Gliserin
Sayfa Adedi		:246
Danışman	:	Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

THERMAL POWER GENERATION WITH SOLAR ENERGY

(M. Sc. Thesis)

Doğa ŞAHİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

Energy production from fossil resources, which cause global warming and are depleted day by day, is becoming more and more difficult. Studies on renewable energy are increasing to meet the energy needs and to produce energy in cleaner ways. Among the renewable energy sources, solar energy stands out due to its unlimited energy source, absence of harmful emissions, and ease of installation and operation. Turkey has a great solar energy potential as it is in the sun belt in the middle of Europe and Asia. In the existing solar energy systems, the concentrated solar energy systems provide the opportunity to produce electricity by producing steam at high temperatures. In this study, the power generation that can be obtained from the concentrated solar energy systems with the organic Rankine cycle combined with parabolic trough type solar collectors was investigated. Thermal experiments were carried out with parabolic trough type solar collector and as a result of these experiments, optical and thermal efficiency calculations were made. Using glycerin as the heat transfer fluid, the useful energy transferred to the heat transfer fluid was determined. As a result of the calculations, it has been determined that the average thermal efficiency of the system is 90% and the optical efficiency is 20% on average. The heat transfer fluid heated in the parabolic trough solar collector was used as the heat source in the organic Rankine cycle for electricity generation, and the ORC system was theoretically simulated in the Chemcad program to determine how much electricity could be produced. The amount of electricity to be produced according to the working fluids to be used in the cycle has been studied and thermodynamically analyzed. The amount of electricity to be produced by using R134a, butane, isobutane, pentane and isopentane as working fluid was investigated. As a result, the highest electricity production was observed with isopentane.

Science Code	:	91207
Key Words	:	Parabolic trough solar collectors, organic Rankine cycle, Glycerin
Page Number	:	246
Supervisor	:	Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma süresince, bilgi birikimi, görüşleri ve önerileri ile her zaman eli üzerimde olan Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL'a, yardım ve desteğini esirgemeyen değerli görüşleri ile beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN'a ve her zaman sabırla yardımcı olan ve destekleyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Duygu UYSAL'a ve tüm "Temel İşlemler" grubu çalışanı arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Beni bugünlere getirebilmek için her şeyin altından tek başına kalkan, sevgisiyle, ilgisiyle her zaman, her koşulda yanımda olan canım annem Tülay ÖZDEMİR'e, şu an olduğum kişi olmamda ki en büyük etken olan, sevmeyi, saymayı ve öğrenmeyi her şekliyle öğreten biricik abim Umut ŞAHİN'e, yenge değil de dost, arkadaş, abla olabilen sevgili ablam Ezgi ŞAHİN'e, hayatıma farklı bir boyut kazandıran, her şeyleriyle her zaman, çok sevip hep destekleri olacağım yeğenlerim Naz ŞAHİN ve Uzay ŞAHİN'e tüm zor zamanlarımda varlıkları ve sevgileriyle beni ayakta tuttukları için çok teşekkür ederim.

Başarılarımla gülen, üzüntülerimde benimle ağlayan, yardıma ihtiyacım olduğu her anda yanımda olan ikinci ailem olarak kabul ettiğim arkadaşlarım Seren Ezgi İLER, Yakup İLER'e , Sevgi pıtırcıklarım Ayşe GENÇ, Nazlı KEŞAN ve Sırmanur GÜZELER'e ve 2021 yılının bana en güzel hediyeleri canım Roket Takımım Özge GENÇ, Şafak NESLİ, Mustafa Kaş'a ve tüm Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümü araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ 7

2.1. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihi 8

2.2. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş enerjisi 11

3. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ 17

3.1. Fotovoltaik Hücreler (PV) 17

3.2. Termal Güneş Enerjisi Sistemleri 18

3.2.1. Yoğunlaştırılmamış (sabit) güneş enerjisi sistemleri 19

3.2.2. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri 23

3.3. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Karşılaştırılması 30

4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ 33

4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü Tasarımı, Boyutlandırması ve Güneş Takip Sistemi 38

4.1.1. Yansıtıcı yüzey tasarımı ve boyutlandırması 41

4.1.2. Emici boru ve cam örtü tasarımı ve boyutlandırması 43

4.1.3. Isı transfer akışkanı seçimi 46

4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Enerjisi Sistemleri ile Enerji Üretimi Prosesi 52

4.2.1. Rankine çevirimi 53

Sayfa

4.2.2. Organik Rankine çevirimi 55
4.2.3. Organik Rankine çeviriminde çalışma akışkanı seçimi 56
5. MATERYAL VE METOT 63
5.1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde optik verim ve analizi 65
5.2. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe termal verim analizi 69
5.2.1. Emici boru iç ve dış sıcaklığının hesaplanması 70
5.2.2. Cam örtü iç ve dış sıcaklığının hesaplanması 72
5.2.3. Termal verim hesabı 75
5.3. Organik Rankine Çevriminde Verim Hesabı ve Elektrik Üretim Analizi 75
6. BULGULAR VE TARTIŞMA 79
6.1. Deneysel Sistemin ve Simülasyon Metodunun Tanıtılması 79
6.2. Deneysel veriler 80
6.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Optik ve Termal Analizleri 83
6.4. Organik Rankine Çeviriminde Elektrik Üretimi Simülasyon Verileri 98
6.5. Deney ve Hesaplama Sonuçları 102
6.6. Tartışma 113
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 119
KAYNAKLAR 121
EKLER 129
EK-1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler 130
EK-2. ORC çalışma akışkanı elektrik üretimi sonuçları 161
EK-3. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri 191
EK-4. Chemcad programı çalışma ekranı 223
EK-5. Farklı akış hızlarında, deney günlerine ait Reynolds sayıları 225
ÖZGEÇMİŞ 246

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Ülkelere göre güneş enerjisi santrali kurulu güç listesi 11

Çizelge 3.1. Dünya'da ve Türkiye'de kurulu konsantre güneş enerjisi santralleri örnekleri 16

Çizelge 4.1. Yansıtıcı yüzey malzemeleri ve yansıtıcılık değerleri 41

Çizelge 4.2. Metal malzemeler ve ısıl iletkenlik katsayıları değerleri 45

Çizelge 4.3. Daha önce kullanılmış ısı transfer akışkanı, kolektör türü ve çalışma sıcaklıkları 48

Çizelge 4.4. Güneş enerjisi sistemleri ve çalışma sıcaklığı aralıkları 49

Çizelge 4.5. Gliserinin termofiziksel özellikleri 51

Çizelge 4.6. Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile kombine edilmiş organik Rankine çevrimlerinde kullanılan çalışma akışkanları 59

Çizelge 5.1. Kullanılan parabolik oluk tipi güneş kolektörünün karakteristik ve teknik değerleri 64

Çizelge 6.1. 1 Eylül 2020 0,4 L/dk akış hızlı deneysel çalışma sonuçları 81

Çizelge 6.2. 1 Eylül 2020 Tarihli Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara bölgesi 17130 nolu istasyondan alınan saatlik direkt güneş radyasyon değerleri ... 82

Çizelge 6.3. 1 Eylül 2020 Tarihli Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara bölgesi 17130 nolu istasyondan alınan Rüzgar hızı (m/sn), Sıcaklık(°C) verileri .. 83

Çizelge 6.5. Organik Rankine çevrimi sonuçları 102

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Dünya enerji tüketim istatistikleri 2

Şekil 1.2. Dünyada kurulu güneş enerjisi sistemleri kapasiteleri 3

Şekil 1.3.Türkiye'de kurulu güneş enerjisi 5

Şekil 2.1. Güneş ile dünya arasında gerçekleşen ışınım 7

Şekil 2.2. M.Ö. 1600'lü yıllarda çizildiği tahmin edilen güneşin kullanımı çizimi 9

Şekil 2.3. Dünyanın toplam ışınlanma haritası 13

Şekil 2.4. Avrupa ve orta Asya direk ışınlanma haritası..... 13

Şekil 2.5. Türkiye'de direkt ışınım haritası 14

Şekil 2.6.Yıllara göre elektrik üretim trendleri 15

Şekil 3.1. Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi akış diyagramı 17

Şekil 3.2. Termal güneş enerjisi sistemleri 19

Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kolektörü..... 20

Şekil 3.4.Vakum tüplü güneş kolektörü ve vakumlu cam tüp 21

Şekil 3.5. Güneş havuzu..... 22

Şekil 3.6. Güneş bacası 22

Şekil 3.7. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri..... 24

Şekil 3.8. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi 25

Şekil 3.9. Merkezi alıcı güneş enerjisi sistemleri 25

Şekil 3.10. Doğrusal Fresnel kolektör çalışma prensibi 26

Şekil 3.11. Doğrusal Fresnel mercekli sistem..... 27

Şekil 3.12. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi 27

Şekil 3.13. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi 28

Şekil 4.1. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi 33

Şekil 4.2. Parabolik yüzeyin güneş ışınlarını emici boruya yoğunlaştırılması 34

Şekil 4.3. Güneş enerjisinden güç üretimi şeması 35

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.4. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü için konumlandırma türleri. 1. Kutupsal konumlandırma 2. Kuzey-güney konumlandırma 3. Doğu-batı konumlandırma gösterimi 40

Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü tasarım parametreleri 42

Şekil 4.6. Cam örtü ve emici boruyu içeren toplayıcı kısım 44

Şekil 4.7. Emici boru ve cam örtü 46

Şekil 4.8. 1. Isı transfer akışkanı konfigürasyonu, 2. Direkt buhar üretim konfigürasyonu gösterimi 47

Şekil 4.9. Genel Rankine çevirimi 54

Şekil 4.10. Organik Rankine çevrimi genel gösterimi 56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$\boldsymbol{A_a}$	Alıcı yüzey alanı, m^2
$\boldsymbol{A_{gka}}$	Gölgeli kalan alan, m^2
$\boldsymbol{A_{mbd}}$	Emici boru dış yüzey alanı, m^2
$\boldsymbol{A_y}$	Yüzey açıklık alanı, m^2
$\boldsymbol{A_{mbd}}$	Emici boru dış yüzey alanı, m^2
$\boldsymbol{C_{ar}}$	Isıl ışıma katsayısı, $\frac{W}{m^2K^4}$
Cp	Özgül ısı kapasitesi, J/kmol-K
$\boldsymbol{D_{min}}$	Minimum boru çapı, m
$\boldsymbol{d}$	Çap, m
$\boldsymbol{d_{CBD}}$	Cam örtü dış çapı, m
$\boldsymbol{d_{mbd}}$	Emici boru dış yüzey çapı, m
$\boldsymbol{d_{mbi}}$	Emici boru iç çapı, m
$\boldsymbol{f}$	Odak uzaklığı, m
g	Yerçekimi ivmesi,(9,81 m/s^2)
GA	Direkt güneş ışınımı, W/mK
GB	Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınları, W/m.K
GC	Cam örtüye gelen güneş ışınları, W/m.K
GI	Boru içinde depolanan güneş ışınları, W/m.K
GO	Yansıtıcı yüzeyden odağa yönlendirilen güneş ışınları, W/m.K
GSBT	Güneş enerjisi sabiti (1367 W/m.K)
GY	Yansıtıcı yüzeye dik olarak gelen güneş ışınları, W/m.K
H	Entalpi, kJ/kg
HO	Emici boru merkezinin yansıtıcı yüzey açıklığına olan uzaklığı, m
$\boldsymbol{h_{ar,t}}$	Taşınım ile ısı transfer katsayısı, W/m^2K
$\boldsymbol{h_{ar,t}}$	Taşınım ile olan ısı transfer katsayısı, W/m^2K
$\boldsymbol{h_{d,r}}$	Radyasyon ile ısı transfer katsayısı, W/m^2K
$\boldsymbol{h_{d,t}}$	Taşınım ile ısı transfer katsayısı, W/m^2K

Simgeler	Açıklamalar
$\boldsymbol{h_i}$	Isıl iletkenlik katsayısı, $\frac{W}{m^2K}$
$\boldsymbol{k}$	Isı iletkenlik katsayısı, W/mK
$\boldsymbol{k_{hava}}$	Havanın ısıl iletkenlik katsayısı, W/mK
$\boldsymbol{k_{eff}}$	Etkin iletim katsayısı, W/mK
$\boldsymbol{k_{mb}}$	Emici boru ısıl iletkenlik katsayısı, W/mK
$\dot{\boldsymbol{m}}$	Kütlesel akış hızı, kg/s
$\boldsymbol{Nu}$	Nusselt sayısı
P	Basınç,bar
$\boldsymbol{Pr}$	Prandtl sayısı
$\boldsymbol{Q_G}$	Gelen enerji, W
$\boldsymbol{Q_k}$	Kayıp ısı, W
$\boldsymbol{Q_{Faydalı}}$	Faydalı ısı, W
$\dot{\boldsymbol{Q}}_{ç}$	Yoğuşturucuda sistemden çıkan ısı miktarı, W
$\dot{\boldsymbol{Q}}_{g}$	Buharlaştırıcıda sisteme giren ısı miktarı, W
$\boldsymbol{Ra}$	Rayleigh sayısı
$\boldsymbol{Re}$	Reynolds sayısı
$\mathbf{Ra}^*$	Karakteristik uzunluktaki Rayleigh sayısı
S	Entropi, kJ/kg-K
T	Sıcaklık,°C
$\boldsymbol{T_{CBİ}}$	Cam örtü iç yüzey sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{T_{CBD}}$	Cam örtü dış yüzey sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{T_D}$	Çevre sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{T_{MB,CD}}$	Emici boru ile cam örtü arası sıcaklık
$\boldsymbol{T_{mbd}}$	Emici boru dış yüzey sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{T_{mbi}}$	Emici boru iç yüzey sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{T_{tank}}$	Tank sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{T_{mbd}}$	Emici boru dış yüzey sıcaklığı, °C
$\boldsymbol{U_{MBD}}$	Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı
$\boldsymbol{W_k}$	Açıklık eni, m
$\boldsymbol{W_{net}}$	Net iş, W

Simgeler	**Açıklamalar**
$\boldsymbol{W_{pompa}}$	Pompa işi, W
$\boldsymbol{\dot{W}_{türbin}}$	Türbinden alınan iş, W
$\boldsymbol{\alpha}$	Isıl difüzivite, m^2/s
$\boldsymbol{\Delta x_{mb}}$	Emici boru et kalınlığı, m
$\varepsilon_{\boldsymbol{CB}}$	Cam örtü ısı yayıcılık katsayısı, $\frac{W}{m^2K^4}$
$\varepsilon_{\boldsymbol{mb}}$	Emici boru ısıl ışıma katsayısı, $\frac{W}{m^2K^4}$
$\boldsymbol{\eta_{optik}}$	Optik verim
$\boldsymbol{\eta_{termal}}$	Termal verim
$\boldsymbol{\eta_1}$	Gelme açısı düzeltme faktörü
$\boldsymbol{\eta_2}$	Yansıtıcı yüzey yansıtma verimi,
$\boldsymbol{\eta_3}$	Yansıtıcı yüzey odaklama verimi (Kesişim faktörü)
$\boldsymbol{\eta_4}$	Cam örtü optik verimi
$\boldsymbol{\eta_5}$	Emici boru optik verimi
$\theta_{\boldsymbol{r}}$	Kenar açısı, °
$\boldsymbol{\lambda}$	Gizli ısısı, J/kg
$\boldsymbol{\mu}$	Viskozite, Pa.sec
$\boldsymbol{v}$	Çizgisel hız, m/s
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
$\boldsymbol{\sigma}$	Stefan-Boltzman sabiti, $\frac{W}{m^2K^4}$

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
ORC	Organik Rankine Çevrimi
PTC	Parabolik oluk tipi güneş kolektörü
YO	Yoğunlaşma Oranı

1. GİRİŞ

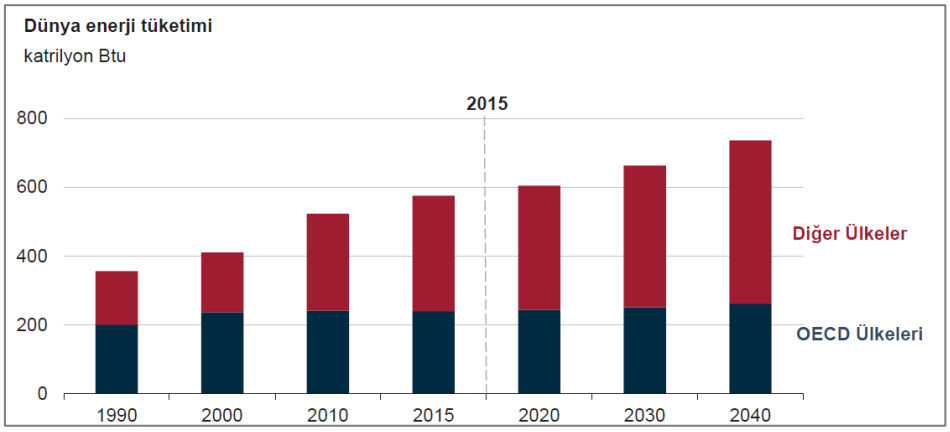
Dünyanın enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Gelişen teknoloji ile enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu enerji ihtiyacının geleneksel enerji üretim metotları ile karşılanması sonucunda doğal kaynakların tüketilmesi ve küresel ısınma,çevreye oldukça zarar vermektedir. Çevreye verilen bu zararın etkileri günlük hayatımızda hissedilir duruma gelmiştir. Gelecek nesillerin devamlılığı için çevreye verilen zararın azaltılması yönünde çalışmalar giderek artmıştır (International Renewable Energy Agency, IRENA). Küresel ısınma ve çevre problemlerine sebep olmasından dolayı fosil yakıtlar çevre için oldukça problem yaratmaktadırlar. Fosil yakıt kaynakları sonsuz değildir ve tükenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Fosil yakıtların enerji üretiminde kullanılmasıyla oluşan sera gazları sebebiyle hem iklim değişimi hem de ekolojik denge bozulması gözlemlenmektedir (URL-27). Teknolojik gelişmeler sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte dünyadaki siyasi sürecin şekillenmesinde ülkelerin enerji kaynakları, bu enerji kaynaklarını nasıl kullandıkları etkili olmaktadır. Ülkelerin enerji bağımsızlıkları siyasi olarak belirleyicilik katmaktadır. Tüm bu sebepler nedeniyle geleceğe yönelik oluşturulan üretim planlamalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılmasına yönelik çalışmalar da hız kazanmaktadır (Sadiga ve diğ.,2018: Kılıçkaplan ve diğ.2017: Hansen ve diğ.,2019).

Enerji piyasasına ve enerji ihtiyacına bakıldığında fosil yakıtlar sınırlı kaynaklar nedeni ile baskı altındadır ve bu durum yenilenebilir enerji piyasasına avantaj sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji sürekli olarak devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir ve güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidro enerji, okyanus enerjisi, biokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanabilir (URL-1). Enerji ihtiyacının çevreye en az zarar verecek şekilde karşılanması da bu tür faaliyetlerden birisidir. Fosil yakıtların kullanılması sonucunda açığa çıkan zararlı gazların küresel ısınmanın ana kaynağı olduğu tartışılmakta ve bu nedenle ülkeler arasında geleneksel enerji üretim faaliyetlerini azaltarak daha çevreci yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim üzerine anlaşmalar yapılmaktadır.

Her devlet kendi ülkesindeki enerji üretim faaliyetlerini çevreye daha az zararlı olacak şekilde değiştirebilmek için çalışmalar yapmakta ve teşvikte bulunmaktadırlar. Bu nedenle yenilenebilir enerji üretim tekniklerine yönelim artmaktadır. Ülkemizde de artan enerji

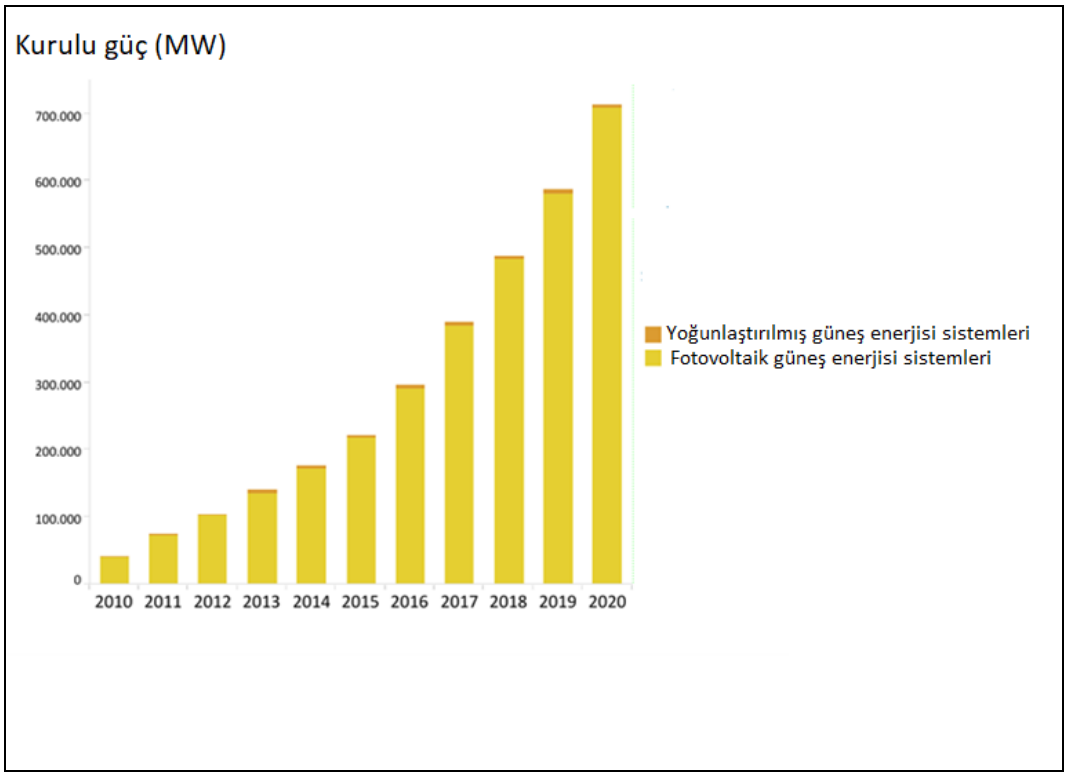
talebini karşılamak, enerji kaynaklarında dışa bağımlılığı azaltmak ve çevre dostu bir üretim yapabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst seviyede faydalanmak büyük önem taşır. Yenilenebilir enerji kaynakları göreceli olarak çevreye daha az yük bindirirler ve fosil yakıtlar gibi sonlu olmadıkları gibi çevreye zararlı gaz emisyonları yaymazlar. Hidro, rüzgâr ve güneş enerjisi en çok faydalanılan yenilenebilir enerji türleridir (URL-19)

2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan elektrik üretimi bir önceki yıla göre 340 tera Watt saat (TWh) artışla toplamda 2805 TWh'e ulaşarak tüm kaynakları geride bırakmıştır. Türkiye'de ise toplamda 45,3 TWh elektrik üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandı. Burada 21,7 ile rüzgâr enerjisi ilk sırada yer alırken onu 12,7 TWh ile jeotermal ve biokütle izlerken toplamda 10,9 TWh enerji üretimi ile günel enerjisi üçüncü sırada yer almıştır. Yenilenebilir enerji üretiminde dünyada en fazla büyüme güneş enerjisinde görülürken, güneş enerjisinden 724,1 TWh elektrik üretimi gerçekleştirildi (URL2). Yukarıdaki verilerden de görüldüğü gibi başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisi Türkiye'nin de üyesi bulunduğu OECD ülkelerinin enerji ihtiyacının yüzde 2,5'ini karşılamaktadır (IEA).



Şekil 1.1. Dünya enerji tüketim istatistikleri (URL-20)

Güneş enerjisi sürekli ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması nedeniyle başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir ve teknolojik olarak incelendiğinde ana olarak iki başlığa ayrılabilir. Bunlardan birincisi fotovoltaik sistemler (Photovoltaic, PV), ikincisi ise yoğunlaştırılmış sistemlerdir (Consantrated Solar Power, CSP).



Şekil 1.2. Dünyada kurulu güneş enerjisi sistemleri kapasiteleri (URL-23)

Fotovolatik sistemler P-N tipi yarı iletken katmanların birleştirilmesiyle oluşturulur ve kullanılan bu malzeme türü nedeniyle fotovoltaik hücrede bir elektrik potansiyel oluşur. Gelen güneş ışınları, elektronların devreyi tamamlamasını sağlar ve bu sayede fotovoltaik hücrede elektrik akımı üretilir (Külahlı,2019)

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri, güneş ışınımını yansıtıcı yüzeyler yardımı ile bir odak noktasına yoğunlaştırarak ısı transfer akışkanını ısıtması ve bu ısı elde edilen ısı enerjisinin termodinamik çevrimler ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibiyle çalışırlar. Dünyada kurulu güneş enerjisi sistemlerinin büyük bir kısmı fotovoltaik sistemlerden oluşmaktadır. Fotovolatik sistemlerin bu kadar yaygınlaşmasındaki en önemli neden yoğunlaştırılmış sistemlere göre kurulum maliyetlerinin düşük olması ve bakımlarının kolay olmasıdır (Hernandez- Moro ve diğ., 2013).

Ancak yoğunlaştırılmış sistemler avantajları sayesinde kullanım alanı bulmaktadır. Yoğunlaştırılmış sistemler PV sistemlere göre daha verimlidir. Fotovoltaik hücrenin sıcaklığı çevre sıcaklığına bağlıdır ve hücre sıcaklığı arttıkça diyotun doyma akım değeri düşer ve devredeki akım değeri artar ve bu nedenle voltaj değeri azalır yani sıcaklık artışının

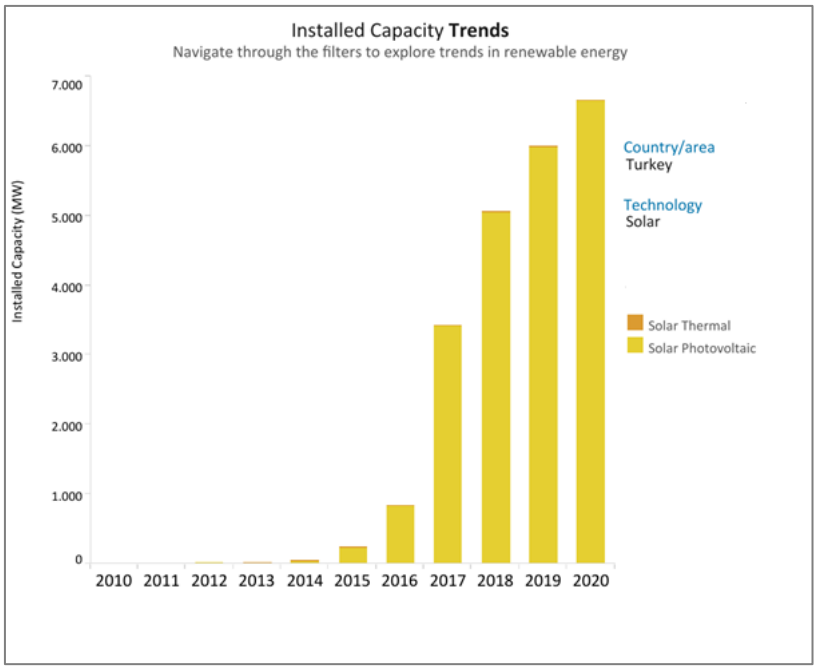
voltaj üzerindeki etkisi çok fazladır. Bu nedenle fotovoltaik hücrelerin verimleri çevre sıcaklığının artmasıyla düşer (Fesharaki ve diğ., 2011).

Yoğunlaştırılmış sistemlerde ise durum bunun tam tersidir, artan çevre sıcaklığı sistemin daha az ısı kaybetmesine ve dolayısıyla verimin artmasıyla sonuçlanır. Bu nedenle yoğunlaştırılmış sistemler enerji verimliliği açısından güneş alan ve çevre sıcaklığı yüksek olan bölgeler için oldukça uygundur. Türkiye'nin de içinde bulunduğu güneş kuşağı ülkeleri için (ekvatorun 40 derece kuzey ve güney paralelleri arasında kalan bölge) yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri elektrik üretimi için oldukça uygundur.

Yenilenebilir enerji sistemleri kullanımında en büyük dezavantaj, sağladıkları enerjinin değişken ve kontrol edilemez olmasıdır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ise diğer enerji depolama yöntemlerine göre verim, ömür ve maliyet avantajı taşıyan ısı depolama üniteleriyle birlikte kurulduklarında, şebekenin anlık ihtiyacını karşılayacak şekilde, kontrollü bir elektrik çıktısı üretebilmeleridir (Lund ve diğ., 2016)

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojilerinin genel olarak solar termal sistemlerin bir diğer kulanım alanı da ısı gerektiren sanayi prosesleridir. Gıda tekstil, kâğıt, kimya, ilaç, otomotiv, çelik ve çimento sanayi kollarındaki ısı gerektiren proseslerin maliyetlerini azaltmak amacıyla solar termal sistemler kullanılmaktadır.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri termodinamik güç üretim sistemleriyle birlikte kullanıldıklarında sistemin toplam karbondioksit salınımını düşürerek var olan çevrimleri daha sürdürülebilir hale getirirler. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Elindeki kaynakların değerlendirilmesi, enerji bağımsızlığının sağlanması, karbon salınımının düşürülmesi ve gelişen ekonominin artan enerji ihtiyacını karşılaması gibi amaçlarla, 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji sistemlerinden kurulu gücün %30'unu oluşturması planlanmaktadır (URL-23)



Şekil 1.3.Türkiye'de kurulu güneş enerjisi (URL-23)

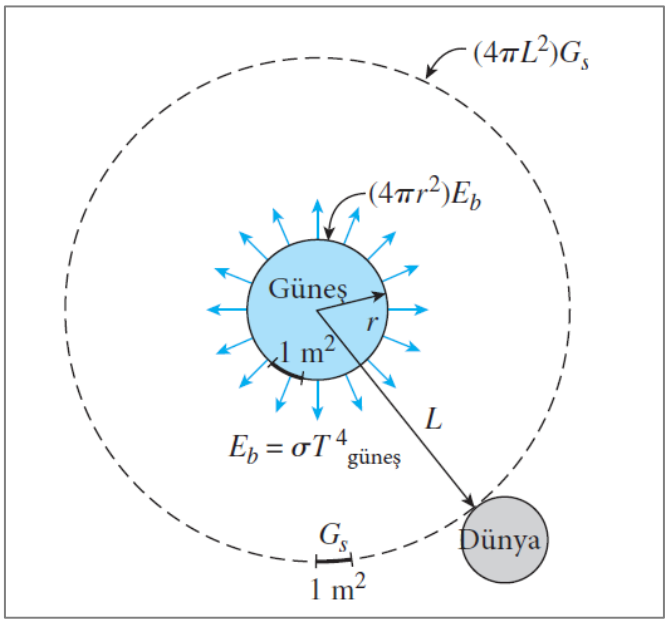
2017 yılından itibaren artışa geçen kurulu güneş enerjisi tesislerine bakıldığında Türkiye iyi durumda gibi gözükse de dünyada kurulu güneş enerjisi sıralamasında 15. sırada yer almaktadır. Ön sıralarda yer alan ülkelere kıyaslandığında Türkiye iyi durumda olduğu varsayılsa da bu durumun ülkenin enerji bağımlılığının azaltılması ve ekolojik yükü azaltması için artırılması gerekmektedir. Enerji tüketimin büyük kısmının gerçekleştiği sanayi kollarında enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması yaygınlaşmalıdır.

2. GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, bünyesinde %91 oranında hidrojen ve %9 oranında helyum gaz formlarından oluşan bir küredir. Güneş çapı $1{,}39\text{x}10^{9}$ m ve yeryüzüne uzaklığı $1{,}5\text{x}10^{8}$ km'dir. Güneşin çekirdeğinde hidrojen atomları füzyon reaksiyonu ile helyum atomlarına dönüşmektedir. Güneşte gerçekleşen bu birleşme reaksiyonu sonucunda çok büyük bir enerji açığa çıkar ve bu enerji ışınım şeklinde uzaya yayılarak dünyamız ve gider gezegenler için sonsuz bir enerji kaynağını oluşturmaktadır (Varınca,2005).

Bu reaksiyon sonucunda çekirdekte sıcaklık $8\text{x}10^{6}$K ve $40\text{x}10^{6}$ K arasında değişmektedir. Ancak yüzeyinde sıcaklık 5780 K dolaylarındadır. Bu değer kara cisim ışıması çalışmasına dayanan Stefan Boltzmann yasasına, Wien kayma kanunu uygulanarak tespit edilmiştir.

Birincil enerji kaynağı olan güneş sürekli olarak $3{,}8\text{x}10^{26}$ W gücünde ışınım yapar. Yayılan bu enerjinin $1{,}7\text{x}10^{14}$ kW mertebesi yerküreye varmaktadır. Ulaşan bu enerji miktarının yarım saat sürekli miktarı, bir yıllık ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanmasına yetmektedir (Kartal,2007). Güneş ile dünya arasında gerçekleşen ışınım için enerji korunumu denklemi uygulanabilir. Çünkü güneş ışınımı dünyaya varana kadar enerjide bir kayıp gerçekleşmez.



Şekil 2.1. Güneş ile dünya arasında gerçekleşen ışınım (Çengel, 2015)

$$(4\pi L^2)G_S=(4\pi r^2)\sigma T^4_{güneş} \qquad \text{(Eş. 2.1)}$$

Bu eşitlik ile atmosfer dışındaki toplam güneş ışınımı (G_S) değeri 1373 W/m^2 olarak elde edilir. Atmosfer, gelen ışınım enerjisinin %6'sını yansıtır, %16'sını sönümler ve geri kalan ışınım enerjisi dünya üzerine ulaşır. Atmosfere ulaşan güneş ışınlarının bir kısmı ozon tabakası, oksijen, su buharı ve karbondioksit gazları tarafından soğurulduktan ve yansıdıktan sonra yeryüzüne ulaşan ışınım miktarı açık bir gökyüzü için 950 W/m^2'ye kadar düşebilir. Sonuç olarak yıl içerisinde dünya üzerine düşen ortalama güneş ışınımı 350 W/m^2'dir.

Yerküreye ulaşan güneş ışınları iki şekildedir. Bunlar direkt ışınlar ve diffüz ışınlardır. Direkt ışınlar yerküreye gelme aşamasında atmosfer katmanlarını geçerken yansımayan ya da emilmeyen tür ışınlardır. Diffüz ışınlar ise yerküreye gelme aşamasında değişik engeller ve atmosfer katmanları tarafından kırılarak ya da emilerek farklı yönlere saçılarak ulaşan yayılmış (diffüz) ışınlardır. Bu iki ışınım türü arasından direkt ışınım odaklanarak yoğunlaştırılabilir. Direkt ve diffüz ışınımın toplamına "toplam ışınım" denir. Direkt ışınımın toplam ışınıma oranı 0,9 (tamamen bulutsuz hava)-0 (tamamen bulutlu hava) arasında değişir (Duffie ve Beckman, 2006).

Güneş ışınları dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesi ve dönme eksenindeki değişikliklere bağlı olarak yeryüzüne farklı açılarda düşer. Yeryüzündeki herhangi bir nokta için bu açı değerlerinin günlük ve yıllık değişimlerinin bilinmesi, güneş enerjisi sistemlerinden faydalanma oranlarının elde edilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Pyrinometre yardımı ile belirli bölgede belirli saatlerde gelen güneş ışınımları saatlik günlük ve yıllık olarak belirlenerek elde edilebilecek güneş enerjisi hakkında bölgesel olarak fikir sahibi olunabilir.

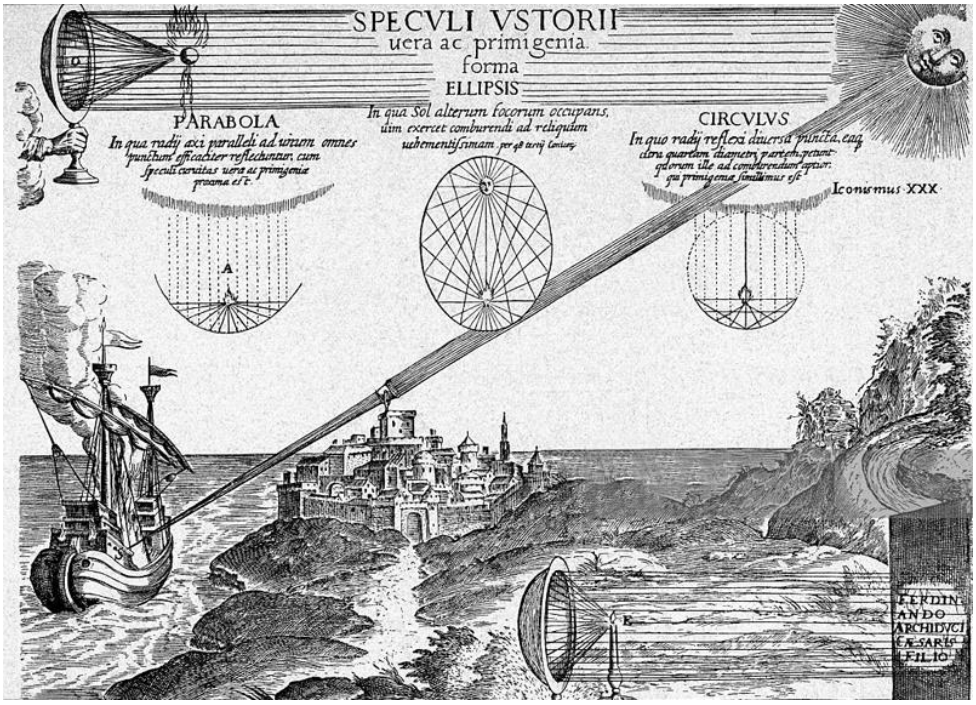
Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi verileri meteoroloji genel müdürlüğü Keçiören güneş gözlem noktasından saatlik veriler alınarak elde edilebilecek güneş enerjisi hakkında tahminler yapılmıştır.

2.1. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihi

Güneşin bir enerji kaynağı olarak bilinçli bir şekilde kullanımının milat öncesi dönemlere uzanmaktadır. Sokrates, evlerin güneş cephelerine bakmasına ve böylece güneşin ısı ve ışığından faydalanmaya teşvik etmiştir.

M.Ö 218 yılında ünlü matematikçi Arşimet bugün İtalya'da bulunan Sirakuza şehrini Roma ordularından korumak amacıyla içbükey aynalar yardımıyla güneş ışınlarını bir noktaya odaklayarak Roma filolarını yakmıştır.

Galileo'nun M.S. 1600'lü yıllarda merceği bulmasıyla Güneşin kullanımında farklı bir noktaya gelinmiştir.



Şekil 2.2. M.S. 1600'lü yıllarda çizildiği tahmin edilen güneşin kullanımı çizimi (URL-3)

1866 yılında Fransız bilim adamı olan Mouchot, parabolik aynalar aracılığı ile güneş ışınımı odaklayarak küçük bir buhar makinası icat etmiştir. Sonraki yıllarda John Ericsson ve Frank Shuman gibi mucitler, sulama, soğutma ve trenlerin hareket kabiliyeti için yoğunlaştırılmış güneş enerjisiyle çalışan cihazlar geliştirmişlerdir.1900'lü yılların başında Amerikalı mühendis Frank Shuman, yaptığı çalışmalar sonucunda güneş enerjisi ile su ısıtarak buhar elde etmiştir ve 1913'te bir sulama sistemi kurmak için 41 kW gücünde parabolik güneş enerjisi istasyonu inşa etmiştir (Ken Butti, John Perlin,1980). Daha sonrasında 1914 yılında başlayan 1. Dünya Savaşı'nın etkisiyle petrol önem kazanmıştır. Çanak şeklinde aynaların kullanıldığı ilk güneş enerjisi sistemi, sıvı yakıtlı roketler üzerine yaptığı çalışmalar ile tanınan, Dr. R. H. Goddard tarafından ilk olarak 1929 yılında kullanılmıştır (URL-21).

Profesör Giovanni Francia (1911-1980), 1968 yılında İtalya Cenova yakınlarında, faaliyete geçen ilk konsantre güneş santralini tasarladı ve inşa etti. Tasarladığı bu güneş santrali günümüzün güneş alıcılı elektrik kulesi santralleri mimarisinin temelini oluşturmuştur. Bu tesiste 100 bar ve 500 C'de kızgın buhar aracılığı ile 1 MW elektrik üretilmiştir (Ken Butti, John Perlin,1980).

10 MW gücünde olan "Solar One" güç kulesi 1981 yılında Amerika'nın California eyaletinde geliştirildi. Daha sonra 1995 yılında "Solar Two" olarak geliştirilen bu projede ısı transfer akışkanı olarak erimiş tuz karışımı (Molten Salt) kullanılan bir tasarım geliştirildi. Bu ısı transfer akışkanı %60 sodyum nitrat ve %40 potasyum nitrat içeren bu ermiş tuz karışımıdır.Erimiş tuz yaklaşımı etkili oldu ve 1999 yılında Solar Two projesi hizmet dışı olana kadar başarılı bir şekilde çalışmıştır. (URL-4)

Güneş enerjisi üretim sistemleri arasında parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri en uygulanabilir sistemdir ve ilk olarak 1984 yılında, Solar Energy Generation Systems (SEGS) tarafından kullanılmaya başlandı. Bu tesisin tamamlandığı 1990 yılından 2006 yılına kadar başka bir ticari konsantre güneş enerjisi tesisi inşa edilmedi. 2006 yılında Avustralya'daki Liddel elektrik santrali lineer Fresnel reflektör kullanılarak inşa edildi (URL-3)

2007 yılında SEGS'den bu yana inşa edilen ilk büyük tesis olan 75MW güç üretene Nevada Solar One inşa edildi ve daha sonrasında kullanımının artması ile 2009 ve 2013 yılları arasında İspanya 50 MW'lık bloklar şeklinde 40'tan fazla parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemini kullanarak güneş enerjisi üretim tesisi inşa etti. 2014 yılında kadar yapılmış en büyük güneş enerjisi üretim tesisi 354 MW değerindeydi.

Konsantre güneş enerjisi sistemleri ile fotovoltaik sistemler rakip olarak kabul edildi. 2015 itibariyle fotovoltaik sistemlerin fiyatlarının düşmesi ile fotovoltaik sistemlere olan ilgi artmıştı. Ancak enerjinin depolanabilir olmaması ve anlık olarak üretilip kullanılabilir olması dezavantajdır. Konsantre güneş enerjisi sistemlerine enerji depolama sistemlerinin de eklenmesi ile üretilen enerji 3 ile 12 saat arasında termal depolama ile sağlanabiliyor olması konsantre sistemleri daha cezbedici hale geldi. Günümüzde halen dağıtılabilir güç için fosil yakıtlar ve fotovoltaik sistemler ile rekabet etmektedir (URL-22).

2.2. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş enerjisi

Dünya ile güneş arasındaki mesafe yaklaşık olarak 149 milyon km'dir. Dünyanın güneş etrafındaki dönüşü esnasında bu mesafe farklılık göstermektedir. En kısa olarak 147 milyon km ve en uzak olarak 152 milyon km olduğu bilinmektedir. Bu nedenle ortalama olarak 149 milyon km olarak kabul edilmektedir. Gökyüzündeki güneşin konumunun yıl içinde sürekli olarak değişiklik göstermesine, Dünyanın kendi eksenine göre 23,5° yatık oluşu neden olmaktadır. Bu nedenle dünyanın güneşe göre olan konumuna göre belirli bir bölgenin güneşlenme süresi değişiklik göstermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmada coğrafi konumun ne kadar büyük önem taşıdığı güneşin dünya ile konumuna bağlı olarak bazı bölgelerin diğerinden daha fazla güneşlenme süresine sahip olmasından anlaşılmaktadır. Özellikle güneş enerjisinde, dünyada bazı coğrafi konumlar güneşlenme süresi, ışınım şiddeti açısından avantajlı konumdadır. Ancak diğer bazı ülkelerin bilim, mühendislik ve ARGE çalışmalarında önde olması coğrafi konumları açısından olumsuz olan durumlarını bertaraf ederek öne geçmelerini sağlamıştır.

Güneş enerjisinin birincil enerji kaynağı olarak en önemli katkısı ikincil enerji kaynağı olan elektrik üretiminde kullanımından ileri gelmektedir. Çizelge 2.1.'den de görülebileceği gibi Dünyada güneş enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesi en yüksek olan ülkelerin gelişmiş ülkeler oldukları dikkat çekmektedir. Güneş enerjisi konusunda dünya teknoloji geliştirme aşamasında olduğu için bu durum şaşırtıcı değildir. 2014 yılı itibariyle güneş enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesi açısından dünyada lider konumda olan ülke Almanya'dır. Ancak 2015 yılında Çin'in güneş enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesinin %53,38 oranında bir artışla Almanya'nın önüne geçmiştir. 2016 yılında ABD'de Almanya'ya iyice yaklaşmıştır. Böylece bu üç ülke dünyadaki toplam güneş enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesinin %53'lük bölümüne sahip olmuştur (URL-26).

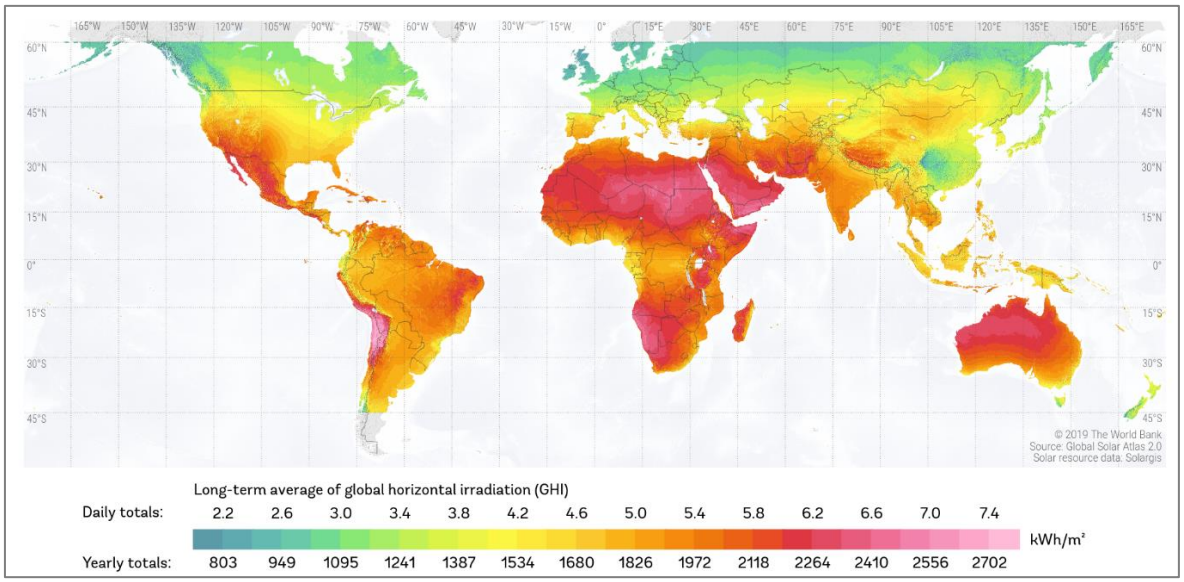
Çizelge 2.1. Ülkelere göre güneş enerjisi santrali kurulu güç listesi (URL-4)

Sıralama	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Ara.20	254.355
2	Amerika Birleşik Devletleri	Ara.20	75.572
3	Japonya	Ara.20	67.000

Çizelge 2.1. (devam) Ülkelere göre güneş enerjisi santrali kurulu güç listesi (URL-4)

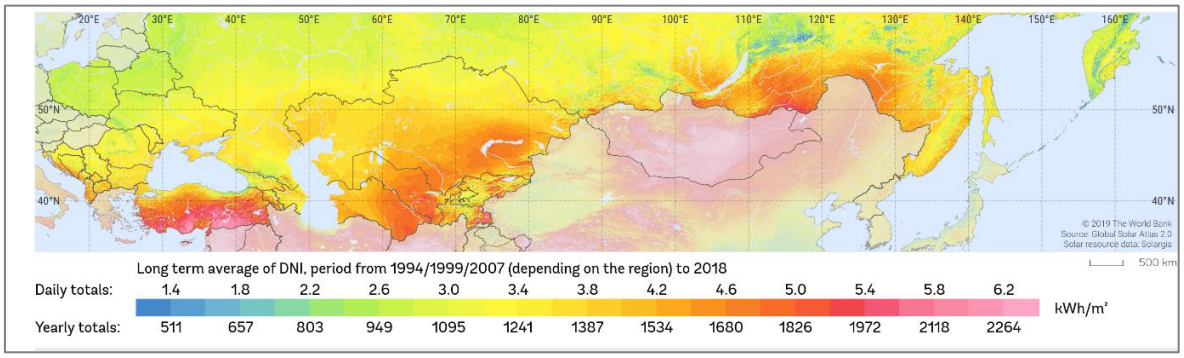
Sıralama	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
4	Almanya	Ara.20	53.783
5	Hindistan	Ara.20	39.211
6	İtalya	Ara.20	21.600
7	Avusturalya	Ara.20	17.627
8	Vietnam	Ara.20	16.504
9	Güney Kore	Ara.20	14.575
10	İspanya	Ara.20	14.089
11	Birleşik Krallık	Ara.20	13.563
12	Fransa	Ara.20	11.733
13	Hollanda	Ara.20	10.213
14	Brezilya	Ara.20	7.881
15	Türkiye	May.21	7.065
16	Güney Afrika	Ara.20	5.990
17	Tayvan	Ara.20	5.817
18	Belçika	Ara.20	5.646
19	Meksika	Ara.20	5.644
20	Ukrayna	Ara.20	5.360
21	Polonya	Ara.20	3.936
22	Kanada	Ara.20	3.325
23	Yunanistan	Ara.20	3.247
24	Şili	Ara.20	3.205
25	İsviçre	Ara.20	3.118

Almanya Türkiye'ye göre hem daha kuzeyde yer almaktadır hem de yüzölçümü olarak Türkiye'nin yarısından küçüktür. Yani ortalama güneşlenme süresi Türkiye'den daha düşüktür. Türkiye'de güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi yapmak için kullanılabilecek alanlar daha fazla olmasına rağmen güneş enerjisinden elektrik üretim oranı oldukça düşüktür.



Şekil 2.3. Dünyanın toplam ışınlanma haritası (URL-5)

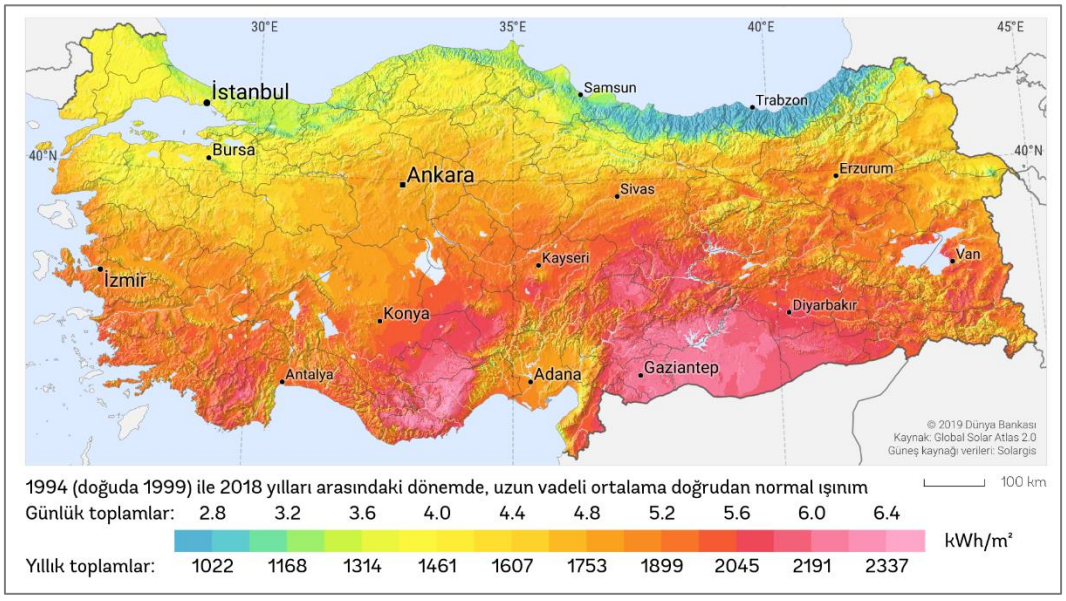
Türkiye, coğrafi konumu itibariyle Avrupa'nın en fazla güneş alan güney ülkeleriyle benzer enlemler üzerinde yer alması ve geniş yüzölçümü bakımından güneş enerjisinden faydalanma olanağı yüksek ülkelerden birisidir.



Şekil 2.4. Avrupa ve orta Asya direk ışınlanma haritası (URL-5)

Birincil enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü fosil yakıtlardan karşılayan Türkiye bu bakımdan dışa bağımlı durumdadır. Enerji ihtiyacının yarısına yakını doğal gaz ve kömür yakıtlı termik santrallerden karşılanmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar göstermiştir ki Türkiye güneş enerjisi konusunda oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi ortalama 2741 saattir. Bu da günlük ortalama 7,5 saate tekabül etmektedir. Bunun yanında yıllık toplam ışınım şiddeti metrekare başına ortalama 1527 kWh'tır. Bu ise metrekare başına günlük ortalama 4,18 kWh'e denk gelmektedir ve bu

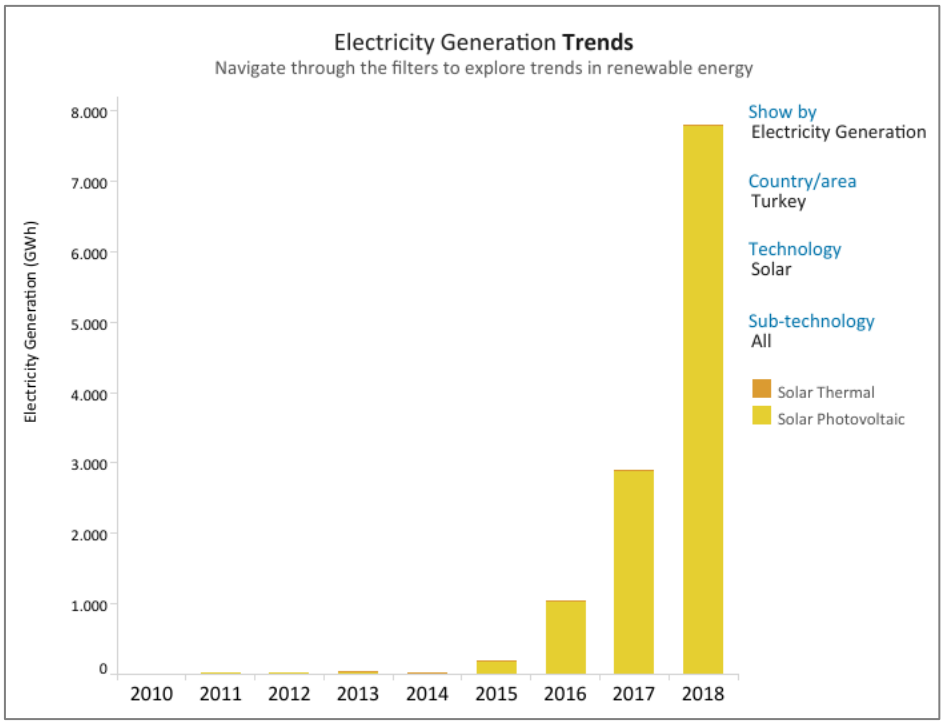
verilere göre Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından Avrupa'da İspanyadan sonra ikinci sırada yer almaktadır (Dinçer ve diğ., 2011).



Şekil 2.5. Türkiye'de direkt ışınım haritası (URL-5)

Şekil 2.5'ten de görüldüğü gibi buradaki renkler maviden kırmızıya doğru değiştikçe güneş enerjisi potansiyeli artmaktadır. Türkiye'nin metrekare başına yıllık en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip olan bölgesi 1460 kWh/m^2-yıl ile Güney Doğu Anadolu Bölgesidir.

Tüm bu güneş verilerine bağlı olarak hazırlanan destekleyici düzenlemeler sonucunda güneş enerjisinden elektrik üretiminin artırılmasına yönelik çalışmalar artmıştır. 2016 yılında Türkiye'de güneş enerjisinde dayalı kuru güç kapasitesi 832,5 MW düzeyinde ve bu kuru güçle yapılan elektrik üretimi ise 1043,1 GWh'tir ve bu üretim oranı Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %0,38'i kadardır (URL-26).



Şekil 2.6.Yıllara göre elektrik üretim trendleri (URL-23)

Elektrik üretimi bakımından yıllara ve üretim şeklinde göre şekilden görülebileceği gibi 2015 itibari ile bir artış yaşanmıştır. Ve 2018 yılında en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Büyük oranda fotovoltaik sistemlerin kullanılmasına rağmen konsantre sistemler ile üretilen elektrik miktarının daha fazla olduğu açıktır. Bunun en büyük nedeni konsantre sistemlerin enerji depolama sistemleri ile kombine edilmesi nedeni ile gece güneşin olmadığı saatlerde dahi elektrik üretiminin sağlanabilir olmasıdır.

Nüfus artışına bağlı olarak birincil enerji tüketimi artmaktadır. Enerji artış hızına bakıldığı zaman Türkiye Çin'i takip ederek ikinci sırayı almaktadır. 2016 yılındaki Türkiye'nin toplam enerji arzı 136,5 milyon ton eş değer petroldür. Bu enerji ihtiyacı fosil kaynaklardan karşılandığında çevrede oluşacak zararın boyutuda oldukça büyük olacaktır.

Dünyada güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar 1973 yılında meydana gelen dünya petrol kriziyle birlikte artış göstermiştir. Türkiye'de ise enerji kaynakları etüt dairesi başkanlığına bağlı güneş enerjisi şubesini 1982 yılında güneş enerjisi ile ilgili çalışmalarına başlamıştır. Daha sonrasında 2011 yılında kurulan yenilenebilir enerji genel müdürlüğü tarafından çalışmalar devam ettirilmiştir. Şu anda aktif olarak kullanılan santraller fotovoltaik sistemi kullanmaktadır ve 2016 itibariyle sayıları 370 'e ulaşmıştır. Bu

santrallerin büyük çoğunluğu lisanssız olduğu için, lisanssız elektrik üretim sınırı olan 1MW altındadır. En büyük santral 23 MW kurulu güç ile Konya karatay kızören güneş enerjisi santralidir. Enerji bakanlığının 2023 hedefine göre en az 3000 MW lisanslı fotovoltaik santral kurulu gücüne ulaşılacaktır. Ülkede kurulum kolaylığı nedeniyle fotovoltaik sistemlere yönlenmiş durumdadır. Yapılan hesaplara bakıldığında ise konsantre güneş enerjisi sistemleri ile üretebilecek enerjinin 380 milyar kWh/yıl olduğu hesaplanmıştır (URL-28).

Çizelge 3.1. Dünya'da ve Türkiye'de kurulu konsantre güneş enerjisi santralleri örnekleri (URL-7)

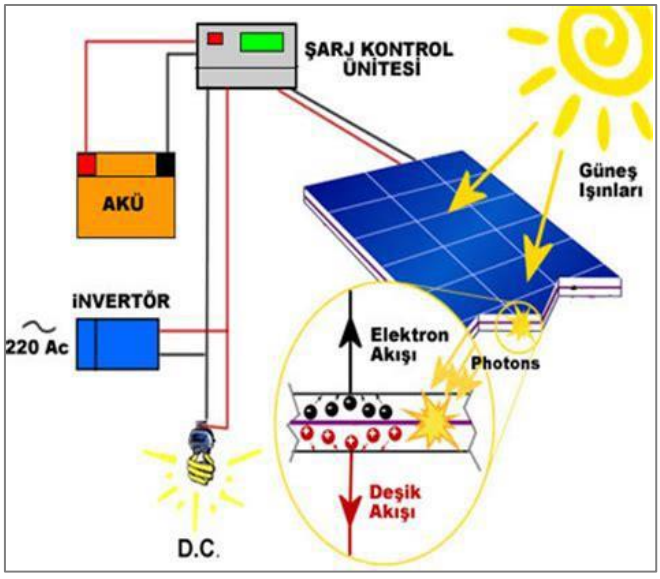
Güç Santralleri	Kurulu güç (MW)	Ülke	Santral Sahibi	Sistem
Nevada Solar One	64	ABD	Acciona Solar Power	Parabolik oluk tipi
Andasol Solar Power Station	50	İspanya	Solar Millenium AG	Parabolik oluk tipi
PS20 Solar Power Tower	20	İspanya	Abengoa	Güneş kulesi
Solar Tres Power Tower	17	İspanya	Sener	Güneş kulesi
PS10 Solar Power Tower	11	İspanya	Abengoa	Güneş kulesi
Sierra SunTower	5	ABD	eSolar	Güneş kulesi
Kimberlina Solar Termal Energy Plant	5	ABD	Ausra	Lineer Fresnel
Greenway CSP Mersin Solar Tower Plant	5	Türkiye	Greenway	Güneş kulesi
Kaltun Solar Thermal Plant	1	Türkiye	Feranova GmbH	Lineer Fresnel

3. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi yardımı ile elektrik üretmenin temel olarak iki yolu vardır. İlki doğrudan elektrik üretiminin yapıldığı fotovoltaik güneş hücreleri (pv) ikincisi ise dolaylı olarak elektrik üretimin yapıldığı termal güneş enerjisi sistemleri olan güneş kolektörleridir. Fotovoltaik sistemler yarıiletken malzemeden oluşur ve güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneş kolektörleri ise yansıtıcı yüzeyler yardımı ile güneş ışınlarının bir noktaya yönlendirilmesi ile yüksek sıcaklık elde edilmesini sağlar. Böylece elde edilen yüksek sıcaktaki akışkanın ısısı yardımı ile ikincil bir çalışma akışkanı ısıtılarak termodinamik yöntemler ile elektrik üretimi sağlanmış olunur.

3.1. Fotovoltaik Hücreler (PV)

Güneş ışınlarını doğrudan elektrik akımına dönüştüren sistemlerdir. Yarı iletken bir diyot olarak görev yapan fotovoltaik hücre güneş ışığının taşıdığı enerjiyi fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürür.



Şekil 3.1. Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi akış diyagramı (URL-8)

Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için N veya P tipi katkılanmış olmaları gerekmektedir. Bahsedilen bu katkılanıma işlemi saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddesinin kontrollü bir şekilde eklenmesi ile gerçekleştirilir. Elde edilen yarı iletkenin N veya P tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Genellikle yarı iletken maddesi

olarak çok kristalli silisyum kullanılır. N ve P tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce her iki madde de elektriksel bakımdan nötr durumdadır. PN eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar P tipine doğru akım oluşturur. Bu her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder, böylece elektrik akımı oluşur.

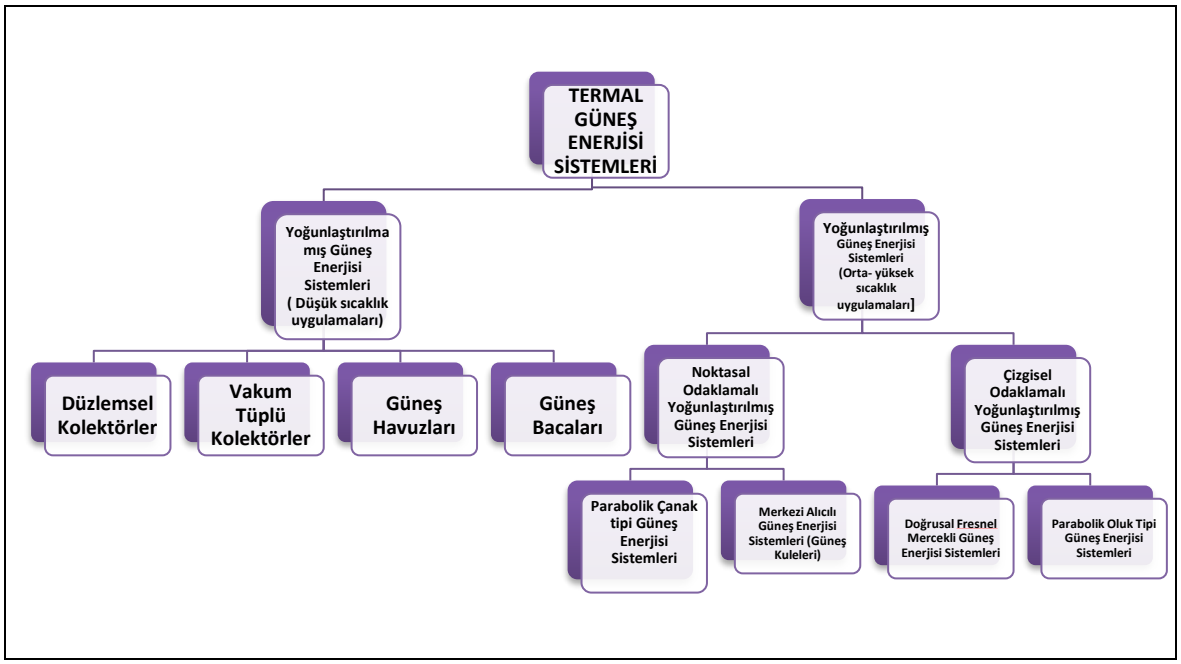
Fotovoltaik hücreler yardımı ile üretilen doğru akım elektrik enerjisi, şarj regülatörü ve batarya gibi ekipmanlar sayesinde depolanabilir. İnventör gibi bir ek ekipman ile doğru akım, alternatif akıma çevrilebilir böylece üretilen elektrik enerjisi tüketilebilir hale gelir (Kılıç, 2015).

Fotovoltaik paneller farklı yarı iletken maddeler kullanılarak üretilmektedir. En çok kullanılan yarı iletken maddeler kristal silisyum, galyum ersenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum di selenid ve optik yoğunlaştırıcılı hücreler gelmektedir. Fotovoltaik sistemler oldukça çok kullanım alanına ulaşması nedeni ile büyük ilgi çekmektedir. Şehir merkezinden uzak, elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde, kırsal kesimlerde, evlerde sıcak su eldesinde ve ısıtma amacıyla kullanılabilmektedir. Ancak üretilen elektrik gücünün az olması ve doğrudan elektrik akımı elde edilmesi olumsuz yönüdür ve şehir elektriğini karşılayabilecek bir elektrik enerjisi sağlamamaktadır. Depolama için ek ekipmana gerek olması nedeni ile de sürekli yüksek elektrik enerjisi üretimi pahalı olmaktadır. Bu nedenle dünyada güneş enerjisinden elektrik üretimi üzerine kurulan güneş enerjisi santrallerinde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin öne geçtiği açıkça görülmektedir.

3.2. Termal Güneş Enerjisi Sistemleri

Dolaylı olarak elektrik üretiminin yapılabildiği termal güneş enerjisi sistemleri artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla geliştirilen güneş kolektörleri ile termodinamik çevrim sistemlerinin kombine edilmesiyle birlikte elektrik üretiminin sağlandığı sistemlerdir. Termal güneş enerjisi uygulamalarında güneş ışınımı bir güneş kolektörü tarafından ısı olarak aktarılır. Aktarılan bölgede kullanılan ısı transfer akışkanına aktarılır. Isı transfer akışkanı tarafından taşınan ısı farklı şekillerde kullanılabilir. Su ısıtma, elektrik üretimi veya termal enerji depolaması gibi. Kullanılan güneş kolektörleri konsantrasyon oranlarına bağlı olarak iki gruba ayrılır. Bunlar yoğunlaştırılmamış (sabit) güneş kolektörleri ve yoğunlaştırılmış güneş kolektörleridir. Yoğunlaştırılmamış güneş kolektörlerinin güneş ışınlarını emen emici alanı tüm yüzey alanını oluştururken yoğunlaştırılmış güneş

kolektörlerinde güneş ışınımı iç bükey yansıtıcı yüzeyler yardımı ile küçük bir alana çizgisel ya da noktasal olarak odaklanır. Böylece daha fazla ısı akısına neden olur. Daha yüksek çalışma sıcaklıklarına ulaşabilirler ve böylece yüksek termodinamik verimlilik ile enerji üretimi sağlanır (Binboğa, 2020)



Şekil 3.2. Termal güneş enerjisi sistemleri

3.2.1. Yoğunlaştırılmamış (sabit) güneş enerjisi sistemleri

Yoğunlaştırılmamış güneş enerjisi sistemlerinde, kolektöre gelen güneş ışınları kolektör yüzeyinde emilerek ısınır. Isınan emici yüzey içerisindeki ısı transfer akışkanı yardımı ile güneşten elde edilen ısı enerjisi kullanılabilir. Genel olarak iklimlendirme (ısıtma ve soğutma), suyun ısıtılması, havuz suyu ısıtılması, ürün kurutulması, tuz üretimi gibi düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılırlar.

Düz plaka kolektörler

Düz plaka güneş kolektörü genellikle saydam örtü, yutucu yüzey, yalıtım katmanları, akışkan boruları ve diğer yardımcı yapılardan oluşur. Saydam örtü olarak, yüksek ışık geçirgenliğine sahip tek veya çoklu cam levhadan oluşmaktadır. Bu cam levha yardımı ile yutucu yüzeydeki konveksiyonla olan ısı kayıplarını ve ışınlanma kayıpları azaltılır. Yutucu yüzey (emici plaka) güneş ışınlarının tutulumunu artırmak amacıyla karatılmıştır. Emici

plaka tarafından emilen ısının hızlı bir şekilde ısı transfer akışkanına aktarılmalıdır. Akışkan borular yardımı ile taşınan bu ısı transfer akışkanı ile güneş ışınlarından enerji elde edilmiş olunur. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düşük sıcaklıklı güneş enerjisi sistemleridir.



Şekil 3.3. Düzlemsel güneş kolektörü (URL-9)

Düz plaka kolektörlerin verimi yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu tip kolektörler bulunulan bölgenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde sabitlenir. Genellikle evlerde, yüzme havuzlarında ve sanayide sıcak su sağlamasında kullanılır.

Hellstrom ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada düz plaka kolektörlerin optik ve termal özelliklerinin kolektör performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kolektör üzerine ikinci bir cam olarak teflon film eklemenin konveksiyonu azalttığı ancak aynı zamanda toplam performansı artırdığını bulmuşlardır (Hellstrom ve diğ., 2003).

Martinopoulos ve arkadaşları (2010), düz plaka güneş kolektörlerinde ısı transferini artırmak için polikarbonat petekler kullandılar. Kullandıkları polikarbonat petekler, yüksek termal iletkenliklere ve geniş yüzey alanına sahip metal köpüklerdir ve bu malzemenin faz değişim malzemeleri (PCM'ler) için ısı transferini artırma yeteneğine sahip olduğunu doğruladılar. Böylece düz plaka kolektörlere modifiye edilmiş bu malzemeler ile verimin artırılabileceğini gösterdiler (URL-24).

Vakum tüplü güneş kolektörleri

Vakum tüplü güneş kolektörlerinde vakumlu cam borular ve emici yüzeye gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Anüler kesiti vakumlanmış iç içe geçmiş iki cam boru bir depoya bağlanmıştır. İçteki cam borunun dış yüzeyi güneş ışınımını yutan yutucu yüzeydir. Bu cam tüpün kesitinin alt yarısından depodan gelen soğuk su aşağı doğru inerken, üst yarısından ise ısınarak yoğunluğu azalan su depoya dönüş yapmaktadır. İç içe geçmiş iki cam borunun arası vakumlandığı için taşınım ve iletim ile olan ısı kaybı yoktur. Ayrıca yutucu yüzey seçici özellikte olduğu için ışınım kayıpları minimum seviyededir.



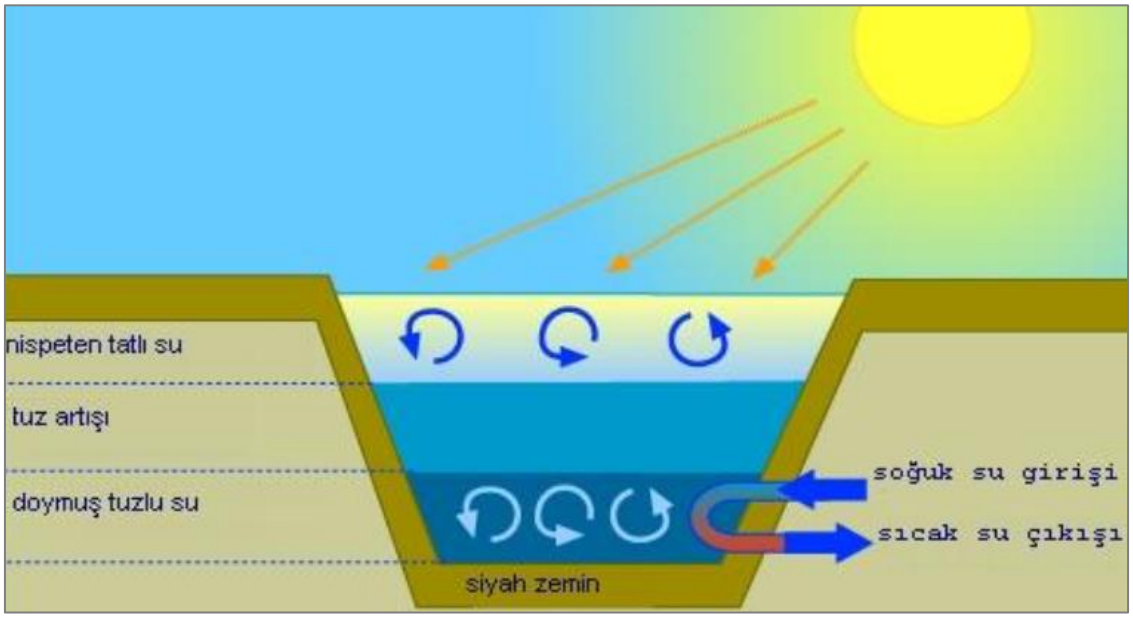
Şekil 3.4.Vakum tüplü güneş kolektörü ve vakumlu cam tüp (URL-10)

Güneş havuzu

Güneş havuzları, güneş enerjisinin doğrudan depolanıp muhafaza edilebildiği metotlardan birisidir. Güneş havuzları 2-3 m derinliğinde olup en üstte tatlı su aşağıya doğru ise artan yoğunluklarda tuzlu su içeren havuzlardır. Havuzun yüzeyine gelen güneş ışınlarının küçük bir kısmı yüzeyden yansırken geri kalan büyük kısmı havuzun tabanına doğru ilerler. Depolama bölgesine yerleştirilen bir ısı aktarma sistemi ile biriken enerji istenildiği zaman alınıp kullanılabilir.

Havuz da oluşturulan tuz yoğunluğu, depolama bölgesi ile havuz yüzeyi arasında taşınım ile ısı geçişini önler ve böylece depolama bölgesinde kaynama noktasına yakın sıcaklıklara ulaşılabilir. Güneş havuzları gün boyu güneş enerjisi toplama ve depolama özelliğine sahip

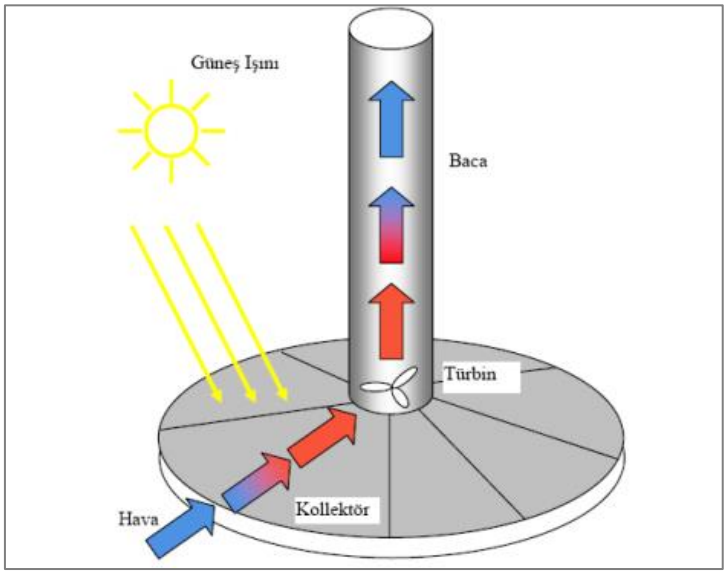
olan sistemlerdir. Kullanılan malzemeler bulunabilir ve ucuz olduğu için maliyeti düşük sistemlerdir.



Şekil 3.5. Güneş havuzu (URL-11)

Güneş bacaları

Güneş bacaları, heliostat adı verilen hareketli düz aynalar ile güneş ışınlarının tek bir yere odaklanmasıyla birlikte ısı transfer akışkanını ısıtan ve ısınan akışkanın buharının hareket ederek türbini döndürmesi ile elektrik üreten sistemlerdir.

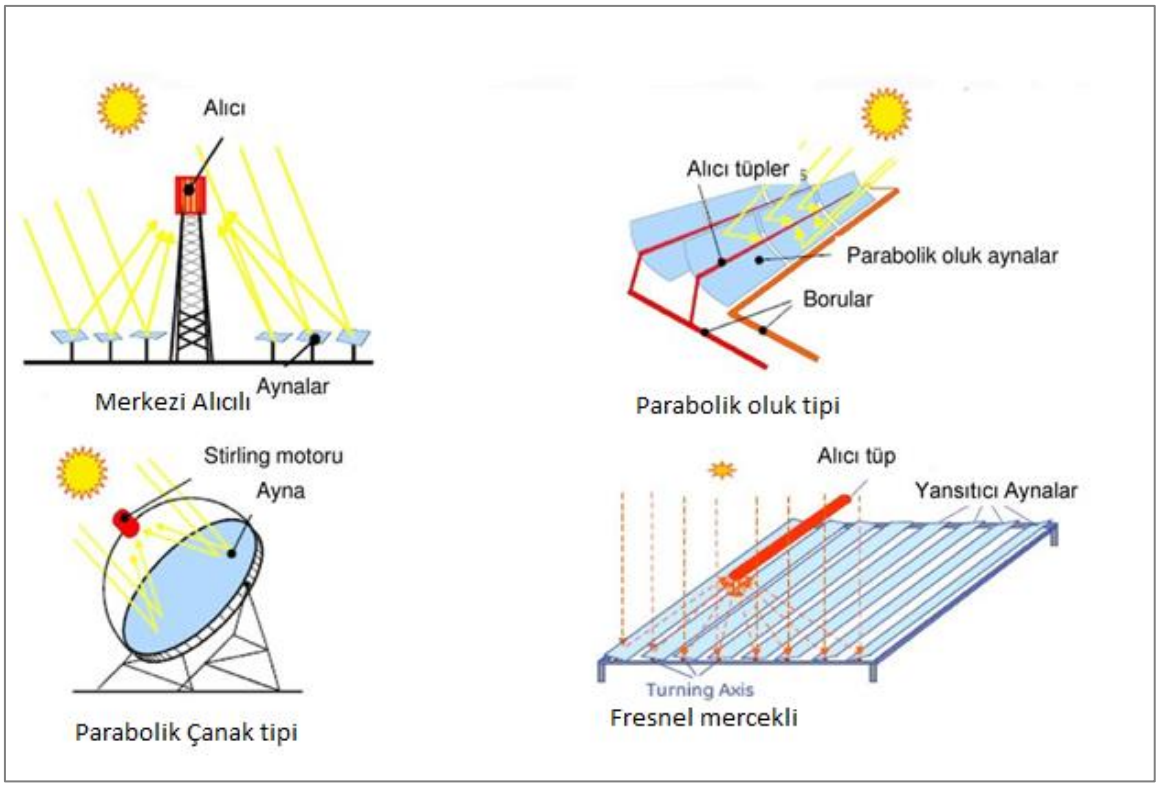


Şekil 3.6. Güneş bacası (Gün ve Kurban, 2011)

Güneş bacasında güneşten gelen ısının elektrik enerjisine dönüşmesi sürecinde ilk olarak güneş ışınları, güneş bacasının etrafına yayılmış olan düz kesimli ve hareket edebilen heliostat aynalar ile güneş bacasının üzerinde yer alan kolektöre aktarılır. Daha sonra kolektörden toplanan ısı aşağıdan gelen soğumuş buharı ısıtarak sıcak depolama tankına iletir. Türbinler depolama tankından gelen sıcak buharın etkisiyle döner ve buharın taşıdığı kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek jeneratörü çalıştırır ve jeneratörde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Aynı zamanda sıcaklığını kaybeden karışım soğuk depolama tankına gider ve soğuk depolama tankında toplanan hava pompa yardımı ile tekrar bacaya iletilir. Bacada yükselen hava kolektöre ulaşarak tekrar ısınır ve bu şekilde devridaim eder (URL-12).

3.2.2. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri, kolektöre gelen güneş ışınlarını belli bir bölgeye toparlayan sistemlerdir. Bu şekilde güneş ışınlarının belirli bir bölgede yoğunlaştırılması ile yüksek sıcaklık elde edilir. Güneş ışınlarının yoğunlaştırma işlemi yansıtıcı yüzeyler ile yapılır. Güneş ışınları bu yansıtıcı yüzeyler yardımı ile çizgisel veya noktasal olarak bir bölgeye yoğunlaştırılır. Yoğunlaştırıcı bölgede bulunan emici yüzey ile güneş ışınlarından elde edilen ısı, iletim ve taşınım ile ısı transferi aracılığı ile bir ısı transfer akışkana aktarılır. Daha sonra uygun bir termodinamik çevrim yöntemi ile karbon emisyonu yaratmadan elektrik enerjisi üretilebilir.



Şekil 3.7. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (URL-13)

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri odaklama türüne göre ikiye ayrıldıklarından bahsedilmişti, bunlardan ilki olan noktasal odaklamalı yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri;

- Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler
- Merkezi alıcılı sistemler (Güneş Kuleleri)

Çizgisel odaklamalı güneş enerjisi sistemleri ise;

- Doğrusal Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı sistemler
- Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemler şeklinde sınıflandırılırlar.

Parabolik çanak tipi yoğunlaştırılmış sistemler

Parabolik çanak tipi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinde yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Güneşi takip ederek aynaların odak noktasında bulunan Stirling motoruna güneş ışınlarını yoğunlaştırır. Isı transfer akışkanının istenilen sıcaklık ve basınca gelmesi ile Stirling motorunda mekanik iş üretilir. Daha sonra üretilen bu mekanik iş

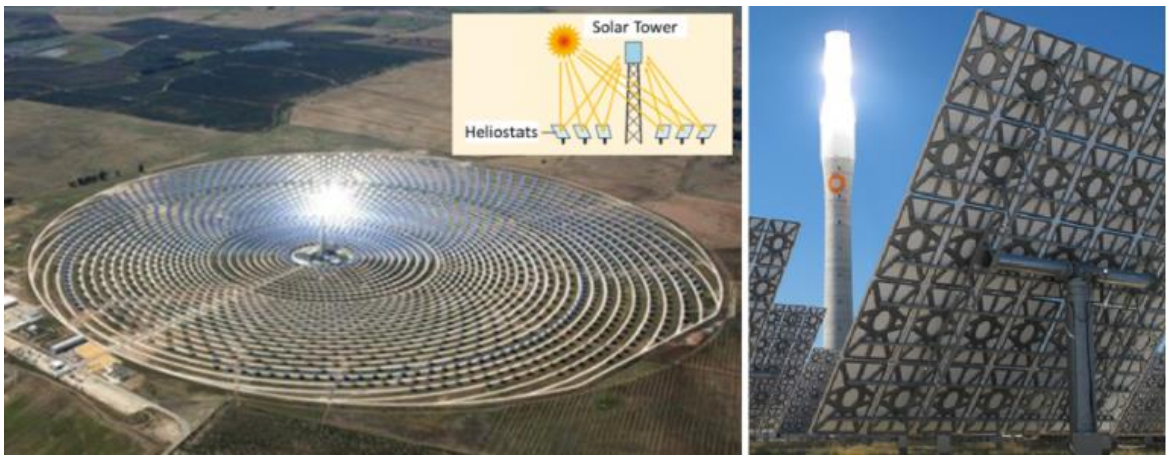
jeneratör yardımıyla elektriğe dönüştürülmektedir. Parabolik çanak tipi güneş enerjisi sistemlerinin Stirling motoru ile birleşimi ile güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde %30 verim elde edilmektedir (Güngör ve Çeliktaş, 2013).



Şekil 3.8. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi

Merkezi alıcılı sistemler (Güneş Kuleleri)

Heliostat adı verilen tek tek odaklama yapan bir dizi düz aynalardan oluşmaktadır. Gün boyunca güneşin konumuna bağlı olarak hareket ederek gelen güneş ışınlarını merkezinde bulunan alıcı kuleye yansıtacak şekilde tasarlanmışlardır. Güneş ışınları heliostat aynalar yardımı ile merkezi alıcı sisteme yoğunlaştırılır. Alıcı kulede bulunan ve içinden ısı transfer akışkanı geçen borular ile güneş enerjisi absorbe edilir (Binboğa, 2020).

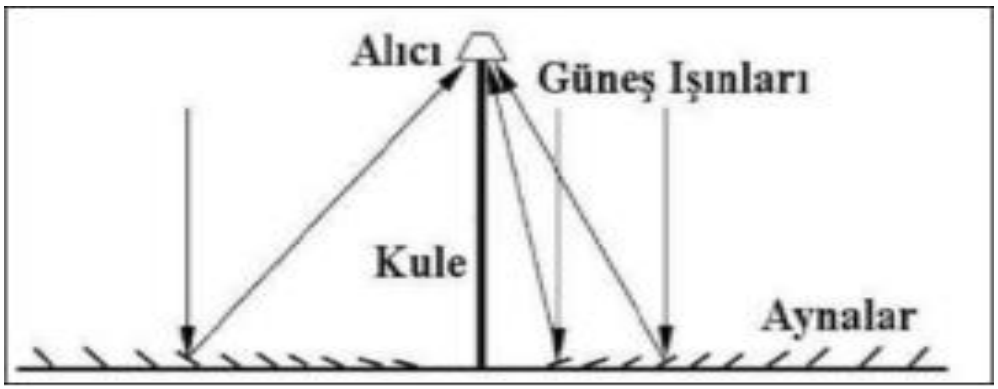


Şekil 3.9. Merkezi alıcı güneş enerjisi sistemleri (Pfahl ve diğ., 2017)

Bu şekilde ısıtılan aklışkan buhar jeneratörüne gönderilerek buhar üretilir. Üretilen buhar, buhar türbininden geçirilerek elektrik üretilir. Bu çevirimden sonra ısısı alınan buhar kondansatörde soğutulur ve tekrar ısınmak üzere buhar jeneratörüne döner. Isı aktarım akışkanı olarak genel olarak termal yağ, tuz eriyiği, su yada hava kullanılabilir. Heliostat aynaların en önemli özelliği bilgisayarlı sistemler tarafından sürekli kontrol edilerek merkezi alıcının sürekli güneş alması sağlanır (Cicibıyık, 2012).

Doğrusal Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı sistemler

Fresnel mercekleri Fransız fizikçi Augustin Fresnel tarafından geliştirilmiştir. En önemli özelliği ışık kaynağından değişik yönlerde gelen ışınları tek doğrultuda geçirmesidir. Bu sayede ışığın yönü kontrol altına alınmaktadır (Çağlar ve diğ., 2019). Yansıtı ve yoğunlaştırıcı olarak tek parabolik ayna kullanmak yerine çok sayıda fresnel aynası kullarak oluşturulan sistemlere doğrusal fresnel mercekli yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri denir (Aydar ve diğ., 2010).



Şekil 3.10. Doğrusal Fresnel kolektör çalışma prensibi (Üçgül ve Ergün, 2012)

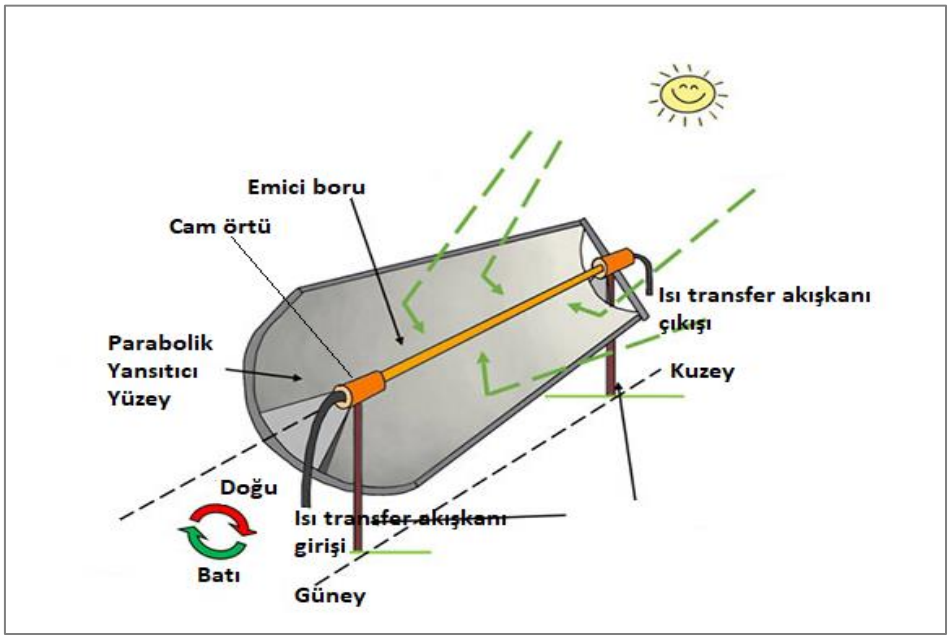
Doğrusal Fresnel mercekli güneş sistemleri sıralanmış düzlemsel aynalara gelen güneş ışınlarını aynaların belirli bir yükseliğinde bulunan absorblayıcıya odaklanarak yoğulaştırması şeklinde çalışır. Bu sayede absorblayıcının içerisinde bulunan ısı transfer akışkanı havanın ısıtılması sağlanır. bu şekilde yüksek sıcaklıklara ulaşmak imkanlı olmaktadır. Elde edilen buhar istenilirse direkt olarak kullanılabileceği gibi ayjnı zamanda bir buhar türbininde kullanılarak elektrik üretimi içinde kullanılabilir (Üçgül ve Ergün, 2012).



Şekil 3.11. Doğrusal Fresnel mercekli sistem (Üçgül ve Ergün, 2012)

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden birisidir ve bu sistemler orta ve yüksek sıcaklıklarda çalışmaya uygundur. Yoğunlaştırılmış sistemler arasında en yaygın kullanılan kollektör çeşididir. Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzey ile odak noktasındaki emici boruya güneş ışınlarını odaklayarak yoğunlaştırma işlemini gerçekleştirirler. Güneş enerjisini, toplamak için emici borunun içerisinden bir ısı transfer akışkanı geçirilir. Ayrıca ısı kaybının önlenmesi içinde emici borunun etrafından cam bir örtü geçirilir.



Şekil 3.12. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi

Şekil 3. 12.'de görülen parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi temel olarak, parabolik yansıtıcı yüzey, emici boru, cam örtü, metal konstrüksiyon ve bağlantı elemanlarından oluşur.

Sistemin çalışma prensibi aşağıda verilmiştir:

- Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzey güneş ışınlarını odak noktasındaki emici boruya yoğunlaştırır.
- Depolama tankında depolanan ısı transfer akışkanı kolektör girişine pompalanır.
- Gelen güneş ışınlarının etkisi ile emici boru ısınır ve ısısını içerisinden akan ısı transfer akışkanına aktarır.
- Sıcak ısı transfer akışkanı kolektör çıkışından çıkar ve güç üretimi için depolanır.

Bu şekilde devir daim eden sistemden çıkan sıcak ısı transfer akışkanı ikincil bir termodinamik çevirim sisteminde çalışma akışkanını ısıtma amaçlı kullanılarak elektrik üretimi yapılır.



Şekil 3.13. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi (URL-14)

Parabolik oluk tipi kolektörler diğer güneş enerjisi sistemlerine göre avantajlara sahiptirler. Örneğin birden fazla parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi bir odak hattı boyunca monte

edilerek daha yüksek sıcaklıklara ulaşması sağlanabilir. Bir diğer önemli özelliği de iki boyutlu izlemeye ihtiyaç duydukları için daha basit sistemlerdir ve daha yüksek güneş izleme doğruluğuna sahiptirler (Binboğa, 2020). Bu nedenlerle dünyada kullanılan güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santraller arasında en çok kullanılan kolektör tipidir. Sistemin ana amacı gelen güneş ışınlarını en az kayıpla emici boruda toplayarak ısı transfer akışkanı ısıtmaktır. Bu nedenle sistemde kullanılan materyaller büyük önem taşır. Isı transfer katsayısı yüksek emici boru kullanmak, rüzgar kaynaklı emici boru etrafından ısı kaybını azaltmak için vakumlu cam tüp ile ısı kaybını engellemek, yansıtıcılık oranı yüksek malzeme kullanılarak daha yüksek yoğunlaştırma oranlarına çıkmak gibi.

Bu çalışmada parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri incelenmiştir. Parabolik oluk tipi kollektörlerde farklı boru materyalinin ve ısı transfer akışkanın verim üzerine olan etkisi incelenmiş aynı zaman da elde edilen ısıdan elektrik üretebilmek için bir organik Rankine çevrimi simülasyonu yapılmıştır. Gün içerisindeki en yüksek sıcaklık verisine bağlı olarak ve organik Rankine çeviriminde kullanılan farklı çalışma akışkanlarına bağlı olarak elde edilebilecek elektrik değerleri incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Çolak (2003), çalışmasında yüksek sıcaklık güneş ışıma enerjisi uygulamaları ile ilgili teknik, ekonomik ve çevresel yönden uygun parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasarımını, ilk örnek imalatını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla güneş enerjisi ile ilgili optik ve ısı transferi mekanizmalarının parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarına yönelik matematiksel modelleri türetmiştir. Bu sayede güneş kollektörlerini hesaplanır biçime dönüştürmüştür (Çolak, 2003).

Hussaina ve arkadaşları (2018), çalışmalarında farklı yüzeysel güneş kolektörleri hakkında bir derleme hazırlamışlardır ve güneş enerjisi sistemlerinin çalışma mekanizmaları, sistemde kullanılan ekipmanlar ve tercih edilen ısı transfer akışkanları hakkında literatür bilgileri vermişlerdir. Güneş enerjisi teknoloji üzerine son on beş yılda yapılan çalışmaları derlemiş ve bu teknolojinin gelişimi tartışılmıştır. Güneş enerjisi teknolojisindeki eksiklikler belirlenmeye çalışılmıştır. Konsantre ve konsantre olmayan kolektörler arasında nitel ve nicel değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmede performansa dayalı değerlendirme, çevresel değerlendirme ve sürdürülebilirliği açısından bu teknolojinin gelişimi üzerine yapılabilecekleri belirlemişlerdir (Imtiaz Hussain ve diğ., 2018).

3.3. Güneş Enerjisi Sistemlerinin Karşılaştırılması

Güneş enerjisi sistemleri, güneş ışınımlarının enerjiye dönüştürülmesi prensibi ile çalışmakta olan, herhangi bir atık çıktı vermemeleri ve çevreye zararsız enerji üretim yöntemi olmaları nedeni ile üzerine çalışmaların ve yatırımların yoğunlaştığı yenilenebilir enerji üretim yöntemlerinden birisidir. Teknolojik gelişmeler yardımı ile güneş enerjisi sistemleri güneş ışınlarını doğrudan ya da dolaylı olarak elektrik elde edebilir şekilde gelişmektedir. Özellikle yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin temel hedefleri elektrik üretiminin sağlanmasıdır. Güneş ışınlarının mevsime, saate ve hatta gökyüzünün bulutluluk durumuna bağlı olarak bile etkisi değiştiği için elektrik kapasitesi de buna bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle güneş ışınımının az olduğu zamanlardaki elektrik ihtiyacını karşılamak amaçlı çeşitli depolama sistemleri geliştirilmektedir. Ancak depolama teknolojisi daha gelişmekte olduğu için ve depolanan enerji miktarının yüksek olmasından dolayı ekonomik sistemler değildir.

Parabolik çanak kolektörler: çanak şeklindeki yansıtıcı yüzey ile odak noktasındaki alana güneş ışınlarını yoğunlaştıran sistemlerdir. Noktasal odaklamaya sahiptirler ve odak noktasında bulunan stirling motorları ile ısı enerjisini mekanik hareket enerjisinde ve sonrada jeneratör yardımıyla elektrik enerjisinde dönüştürmektedirler. Verimleri noktasal olarak odaklama yapmaları ve güneş takip sistemlerinin olması sayesinde yüksektir. Ancak güneş takip sistemlerinin maliyetli olması açısından ekonomik değildirler ve bu neden ile büyük ölçekli tesisler tarafından tercih edilmemektedir. Stirling motoru nedeni ile imalatları zor ve taşıyıcı sistemleri ağırdır bu nedenle de kurulumları kolay değildir. Maliyeti en yüksek güneş enerjisi sistemleridir. Benzer uygulamaların daha ekonomik olması nedeni ile çok tercih edilmemektedirler.

Güneş kuleleri: heliostat adı verilen aynalar yardımıyla güneş ışınlarını merkezlerinde bulunan alıcı kuleye odaklarlar. Bu nedenle merkezi alıcılı sistemler de denilmektedir. Sistemin boyutuna bağlı olarak yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmektedirler. Heliostat aynalar bilgisayar destekli takip sistemleri ile güneşi takip ederek noktasal odaklama yaparlar. Güneşi iki eksende takip ederler. Noktasal odaklamadan dolayı verimleri yüksektir. Ancak heliostat aynalar ve güneş takip sistemleri nedeni ile küçük kapasiteli uygulamaları ekonomik değildir. Heliostat aynaların tasarımının ve imalatının zor, ağır ve büyük olmasından dolayı maliyetleri yüksektir. İşçilik ve bakım onarımı maliyetli sistemlerdir.

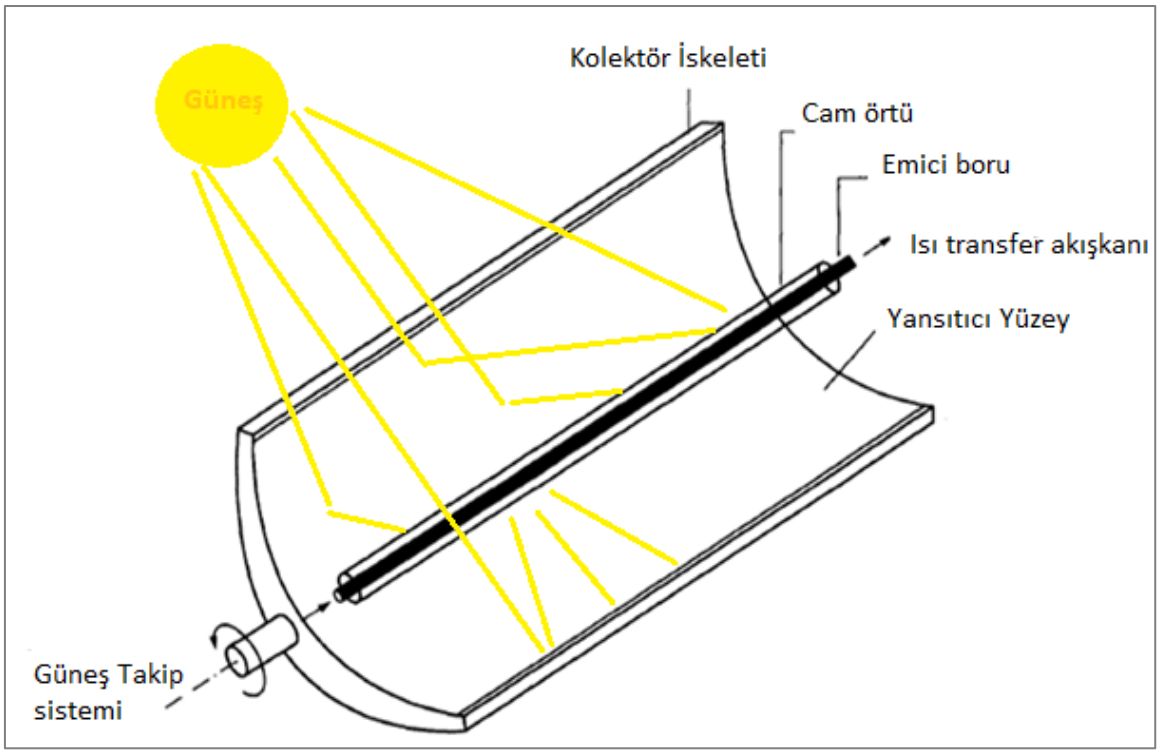
Fresnel mercekli güneş enerjisi sistemleri: düzelemsel fresnel merceklerinin kullanıldığı tasarımlardır. Güneş takip sistemleri bir eksenlidir ve çizgisel odaklamalı sistemlerdir. Bu nedenle verimleri düşükttür ancak küçük veya büyük boyutlu çoğu uygulamada kullanıma uygundur. İmalatları kolaydır bu nedenle maliyetleri en uygun sistemlerdir. Orta ve yüksek sıcaklıkta akışkan elde ederek elektrik üretiminde kullanılabilmketedirler. Basit sistemler oldukları için kullanımları kolaydır ve bakım onarımı kolaydır. Bu sistemler parabolik oluk tipi kollektörlere benzerdir ve kullanıldığı alanlarda kullanılabilmektedir. Yerli kaynaklar ile imal ettirilebilirler.

Parabolik oluk tipi güneş kollektörleri: parabolik yansıtma yüzeyi boyunca uzanan çizgisel odaklamaya sahip sistemlerdir. Orta ve yüksek sıcaklık aralığında çalışırlar. Parabolik kolektörlerin paralel şekilde bağlanması ile güneş tarlaları oluşturulabilir. Bağlanan yansıtıcı yüzeyler güneş ışınlarının %94 gibi yüksek bir oranda yansıtarak yüksek optik verimlilik ile çalışırlar. Bu sayede üretilen elektrik üretimi artırılabilir. Güneş takip sistemleri iki eksendedir. Odaklamalarının çizgisel olmasından dolayı verim düşse de yüksek yansıtıcılıkları nedeni ile bu düşük verim telafi edilebilir. Güneş takip sistemlerinin basit olması nedeni ile düşük maliyetlidirler. Manuel olarak güneş takibi sağlanabilmektedir. İmalatı kolay olması nedeni ile yerli kaynaklar ile imal ettirilebildikleri için maliyetleri çok düşüktür. Ayrıca kullanımının basit olması ve bakım onarımının kolay olması nedeni ile de ekonomik sistemlerdir. Dünyada en yoğun olarak kullanıma sahip yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleridir. Bu neden ile bilimsel ve teknolojik çalışmaların yoğun olduğu güneş kollektörleridir. Emici borunun ve yansıtıcı yüzeyin materyal türüne bağlı olarak optik verimin artırılabilir olması aynı zamanda emici boru etrafına vakumlanmış cam tüp geçirilmesi sayesinde ısı kaybının azaltılması ile giderek verimli hale gelmektedir. Isı transfer akışkanı olarak farklı akışkanlar kullanılabilmektedir ve buna bağlı olarak sistemin çalışma sıcaklığı aralığı değişmektedir. Sıvı ısı transfer akışkanı olarak su kullanımı yaygındır. Aynı zamanda termal yağ kullanımı ile ilgili de bir çok çalışma mevcuttur ki yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmede başarılı olan ısı transfer akışkan türü olarak termal yağlar kullanılmaktadır. Gelişen bilimsel çalışmalar sonucunda nanopartiküllerin ısı transfer akışkanı olarak kullanılabilir hale getirilmesi ile nanoakışkanlar üretilmiştir ve onların parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde verimleri incelendiğinde termal yağlardan dah yüksek sıcaklıklara ulaşabildikleri görülmüştür. Son zamanlarda parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinden gaz ısı transfer akışkanları ile çok yüksek (>700°C) sıcaklıklara çıkılabilen çalışmalar mevcuttur. Parabolik oluk tipi güneş kollektölerinin bu

tür bilimsel çalışmalara açık olması elektrik üretiminin sürekli artırılabilir olması, güneş tarlaları kurumu ile optik verimin artırılarak üretilecek elektrik değerinin artırılabilir olması gibi avantajları sayesinde ayrıca imalat, kurulum bakım onarım ve işçiliğinin ekonomik olması nedeni ile dünyada kurulu güneş enerjisi santralleri içerisinde en yaygın kullanıma sahip güneş enerjisi sistemleri olmuşlardır.

4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri içerisinde bulunan çizgisel odaklamaya sahip, orta-yüksek sıcaklık aralığında çalışan güneş enerjisi sistemleridir.



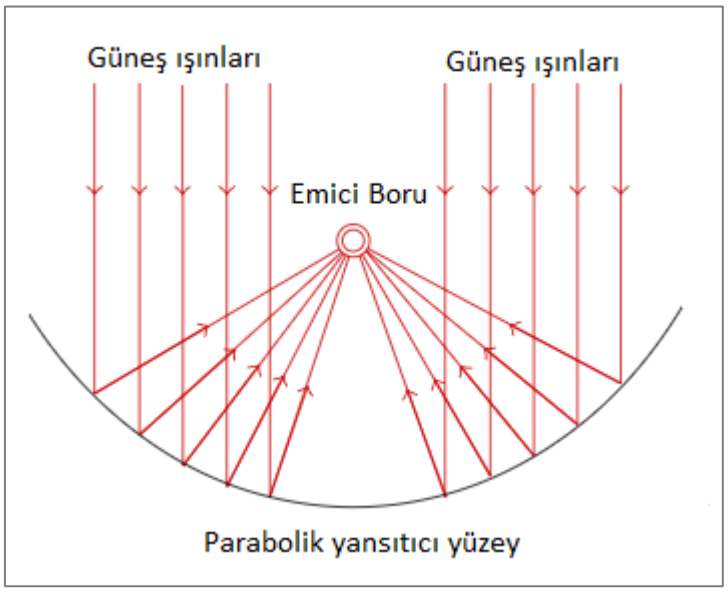
Şekil 4.1. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi

Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeyi ile gelen güneş ışınları tam merkezinde bulunan ve yüzey boyunca uzanan emici boruya yoğunlaştırmaktadır. Emici boru güneş ışınlarının emilimini artırmak amacı ile genellikle siyaha boyalıdır ve ısı transfer katsayısı yüksek bir metal borudur.

Emici borunun etrafından havaya ısı kaybı olmaması için bir cam örtü yerleştirilir. Cam örtü ile emici boru arası vakumlanarak ısı kaybı minimize edilmeye çalışılır. Yerleştirilen bu cam örtü güneş ışınlarını iyi geçirecek cam malzemeler seçilerek kullanılır ve böylece optik verimin azalmaması hedeflenir.

Güneş ışınları yansıtıcı yüzey aracılığı ile emici boruya yoğunlaştırılır ve burada güneş enerjisi emici boru tarafından içerisinden geçirilen ısı transfer akışkanına aktarılır. Bu

nedenle emici borunun et kalınlığı ve içerisinden geçirilen ısı transfer akışkanının termal özellikleri büyük önem taşır. Tüm bu parametreler parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinin optik ve termal veriminde büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4.2. Parabolik yüzeyin güneş ışınlarını emici boruya yoğunlaştırılması

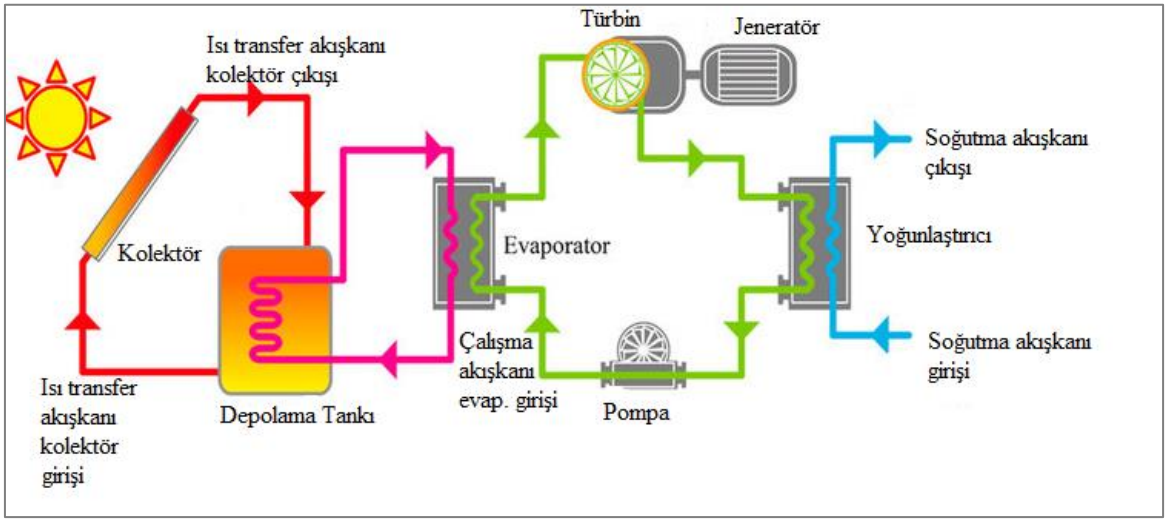
Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinin amacı gelen güneş ışınlarını en az kayıpla odak noktasındaki emici boruda toplayarak ısı transfer akışkanını ısıtmaktır. Bu nedenle sistemde kullanılan malzemeler ve sistemin tasarımı, ayrıca sistemin kurulacağı yer çok büyük önem taşımaktadır. Yüksek sıcaklıktaki ısı transfer akışkanı doğrudan buhar olarak veya dolaylı olarak elektrik üretiminde kullanılarak enerji üretimi gerçekleştirilebilir.

Fosil kaynaklar ile elektrik üretimi yapan termik santraller çevreye büyük oranda sera gazı yaymaktadır ve bu da küresel ısınmaya neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi yapmak bu nedenle büyük önem taşımaktadır. Fosil kaynaklardan elektrik üretiminde olduğu gibi bir termodinamik çevirim ile güneş enerjisi sistemleri kombine edilerek elektrik üretimi yapılabilir. Güneş ışınlarının etkisiyle ısınan ısı transfer akışkanı termodinamik çevrimdeki çalışma akışkanına ısı sağlar ve çalışma akışkanının buharlaşmasına neden olur. Daha sonra bu buhar bir buhar türbinine gönderilerek kazanılan ısı enerjisi hareket enerjisine buradan da jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Buhar türbininden çıkan ısısı alınmış buhar (çürük buhar) yoğunlaştırılır ve tekrardan ısı aktarımı ile buhar oluşumu için termodinamik çevirime beslenir. Bu şekilde devir daim eden iki sistemin kombine edilmesi ile elektrik üretimi yapılması hem çevreye

atık gaz çıkarmaması ve de yenilenebilir doğal bir kaynak kullanımı nedeni ile oldukça çevrecidir.

Bu tarz elektrik üretiminin yapılabilmesi için kullanılan sistemlerin termal verimlerinin yüksek olması aynı zamanda maliyetinin düşük olması çok önemlidir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi sınırsız bir kaynak olması ile büyük önem taşımaktadır. Güneş enerjisi sistemleri içerisinde de termal güç üretiminin yapılabildiği yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri içirişinde parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi sitemleridir. Dünyada kurulu güneş enerjisi santrallerinin %80'i parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinden oluşmaktadır (Patil ve diğ.,2017).

Şekil 4.3' de gösterildiği gibi bir termodinamik sistemle kombine edilen güneş enerjisi sistemleri ile güç üretimi yapılabilmektedir. Bu tez kapsamında güneş enerjisi sistemi olarak parabolik oluk tipi güneş enerjisi kullanarak güç üretilmesi çalışılmıştır.



Şekil 4.3. Güneş enerjisinden güç üretimi şeması (URL-14)

Çakıcı (2016) çalışmasında jeotermal suyu ve güneş enerjisini ısı kaynağı olarak kullanan parabolik oluklu güneş kolektörleriyle birleştirilmiş organik Rankine çevrimlerini incelemiştir. Süper kritik organik Rankine çevrimi kullanılan jeotermal santral enerji ve ekserji analizlerini kullanarak çözümleme yapmışlardır. Organik Rankine çevrimi ve parabolik oluk tipi güneş kolektörünün her bir bileşenini çevreleyen kontrol hacimleri alınmış ve ısı değiştirici ve parabolik oluk tipi güneş kolektörü için detaylı ısı modelleri

geliştirmişlerdir. Modelleme sonuçları ile jeotermal santralden alınan verilerin karşılaştırılması yapılmış ve çalışma akışkanı kullanılarak farklı parametreler üzerinde incelemeler yapılmış. Çalışmada parametre olarak farklı çalışma akışkanları R134a, R124, R1426 kullanılmış farklı kolektör alanlarında çalışılmış ve ısı değiştiriciye giren jeotermal su kaynağının sıcaklığı değiştirilerek sistem üzerindeki enerji ve ekserji performanları çalışılmıştır. Sonuç olarak çalışma akışkanı olarak R134a'nın en iyi performansı gösterdiği görülmüştür ve organik Rankine çevrimi ile parabolik oluk tipi kolektörüyle kombine edilmiş organik Rankine çevrimi performans analizi yapıldığında bu hibrit sistemin daha yüksek performans gösterdiği görülmüş (Çakıcı, 2016).

Usta (2010), çalışmasında parabolik oluklu kolektörler kullanılarak yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin teorik performansının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Sistem tasarımında TRNSYS yazılımına bağlı STEC kütüphanesini simülasyon programı olarak kullanmışlardır. Sistem parabolik oluklu kolektörler ve buna bağlı ısıtıcı, ön ısıtıcı ve türbin ile Rankine çevriminden oluşmaktadır. Sistemde depolama ve ek ısıtma sistemi kullanımının farkını araştırmıştır. Sistem sonuçlarını Kaliforniya'da kurulu olan bir tesis sonuçları ile karşılaştırarak hata oranının %10'dan daha az olduğunu gözlemlemiş ve buna bağlı olarak simüle edilen sistemin Antalya koşulları için bir yıl süre ile simüle ederek elde edilecek güç üzerine tahmini sonuçlar elde etmişlerdir (Usta, 2010).

Delgado ve arkadaşları (2010), düşük sıcaklıkta çalışan parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile organik Rankine çevrimi ile elektrik üretiminin analizi ve optimizasyonu çalışmalarını yapmışlardır. Dört farklı model güneş kolektörü ve on iki farklı çalışma akışkanı ile çalışmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda elde ettikleri sonuçları güneş enerjisi ve organik Rankine çevrimi kombinasyonu için teknoekonomik analiz, çalışma akışkanı seçimi ve sistem boyutlandırması açısından değerlendirmişlerdir. Kuru akışkanların analiz oranlarının (amonyak hariç) ıslak akışkanlara göre daha düşük olduğunu gözlemlemişler ve kolektörlerin açıklık alanı üzerine elde edilen net mekanik gücün en yüksek değerleri propan ve R134a çalışma akışkanlarında elde etmişlerdir (Delgado-Torres ve García-Rodríguez, 2010).

Cicibıyık (2012), çalışmasında parabolik oluk tipi güneş kolektörü imalatı için gerekli tasarımları yaparak ısıl deneyler için prototip oluşturmuştur. Parabolik yansıtıcı yüzeyin boyutlandırılması, emici boru çapının ve boyunun belirlenmesi gibi tasarımlar yapılarak imal

ettirilen parabolik oluk tipi güneş kolektöründe termal deneyler için ısı transfer akışkanı olarak su kullanmış ve farklı akış hızlarında elde edilen termal değerlerin ölçümü yapmıştır. Bu değerlere bağlı olarak kolektör optik verimi ve termal verim üzerine hesaplamalar yapmıştır. Ayrıca elde edilen veriler üzerinden bir simülasyon ile organik Rankine çevrimi oluşturarak elde edilebilecek elektrik enerjisini hesaplamıştır.

Patil ve arkadaşları (2017) güneş enerjisi sistemleri ile kombine edilen organik Rankine çevrim sistemlerinin ve fotovoltaik güneş pillerinin teknik ve ekonomik karşılaştırılmasının yapılması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada termal enerji depolamalı parabolik oluk tipi güneş paneli batarya depolamalı fotovoltaik sistemler karşılaştırılmıştır. İki sistem arasında beş parametre, güneşlenme alanı ve depolama kapasitesine bağlı olarak incelenmiş. Bu parametreler, yıllık enerji üretimi, kapasite kullanım faktörü, sermaye maliyeti, seviyelendirilmiş elektrik maliyeti ve boşa harcanan enerjidir. Çalışma sonucunda güneş enerjisi sistemleri ile kombine edilmiş organik Rankine çevriminin , batarya depolamasız fotovoltaik sistemlere göre daha pahalı olduğu ancak daha verimli sistemler olduğunu belirlemişlerdir (Patil ve diğ., 2017).

Helvacı ve Khan (2017) güneş kolektörleri ile elde edilen ısıdan organik Rankine çevrimi ile elektrik üretiminde kullanılan termal akışkanların termodinamik analizleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada sabit yoğuşturucu sıcaklığında ve basıncında yirmi dört farklı organik çalışma akışkanı kullanılmıştır. Bu çalışma akışkanlarının küresel ısınma potansiyelleri, yanıcılık, toksisite dahil olmak üzere, akışkanların fiziksel özelliklerinin güneş-organik Rankine çevrimi performansına etkileri de dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda akışkana bağlı olarak döngünün basınç oranının artırılmasının net iş çıkışını ve döngünün termal verimini artırdığı gözlemlenmiştir. İncelenen çalışma akışkanları içerisinde 1-büten kullanıldığında %9,64'lük bir termal verim ile 210,45 W maksimum net iş çıkışı gözlemlenmiştir. Hidrokarbonların yanıcılık sorunu ve küresel ısınma potansiyeli ve çevresel kaygılar oluşturması nedeniyle uygulamaları sınırlandırdığı gözlemlenmiştir. (Helvaci ve Khan, 2017).

Bellos ve arkadaşları (2016) daha önceki bir çalışmalarında ise parabolik oluk tipi güneş kolektöründeki emici boru ile ısı transfer akışkanı arasındaki taşınım ile olan ısı transfer miktarını artışının incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada ısı transfer akışkanı ile emici boru arasındaki ısı transferini artırmak için iki farklı tip emici boru kullanmışlardır.

Bunlardan birisi iç yüzeyi düz olan emici boru ve iç yüzeyi dalgalı formda olan emici borudur. Çalışma bilgisayar destekli program ile yapılmış ve üç farklı ısı transfer akışkanı ve iki tip emici boru türü için sonuçlar kıyaslanmıştır. İç yüzeyi dalgalı formda olan emici boru da ısı transfer alanı artmış olmasına bağlı olarak aktarılan ısı transfer miktarının arttığı gözlemlenmiştir (Bellos ve diğ., 2016).

Abdulhamed ve arkadaşları (2019) yılında yaptıkları çalışmada parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinin geometrik hesaplamaları, termal hesaplamaları ve sistem verimi üzerine yapılan çalışmaları incelemişlerdir. İnceleme sonucunda PTC sistemlerinin teknolojik olarak nasıl geliştiğine odaklanmışlardır. PTC sistemlerin 400 C sıcaklığa kadar ısı üretebildiğini gözlemlemişlerdir. Kolektörün alıcı yüzeyi üzerinde yapılan değişikliklerin termal verimi mükemmel bir şekilde artırdığı görülmüştür. Genel olarak PTC sistemleri üzerine yapılan çalışma sonucunda parabolik oluk kolektörlerin maksimum güneş enerjisi toplamada en ideal sistemler olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Abdulhamed ve diğ, 2018).

Omid ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminde emici boru etrafına cam örtü koyularak arasının vakumlanması sayesinde taşınım ile ısı kayıplarının önlenmesi üzerine ve ekserji veriminin nasıl olacağı hakkında çalışmışlardır. Vakumlu PTC sistem analizi CFD yardımı ile bilgisayar destekli analiz olarak gerçekleştirilmiştir. Vakumlu cam örtünün olduğu ve olmadığı durumların sistem üzerindeki etkisi ve analizi yapılmıştır. Vakumlu cam örtü kullanımı ile ısınan emici boru etrafından çevreye olan ısı kaybının azaldığı böylece ısı transfer akışkanına aktarılan ısı miktarının arttığı görülmüştür (Omid ve diğ., 2018).

4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörü Tasarımı, Boyutlandırması ve Güneş Takip Sistemi

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde toplam verimi etkileyen birkaç önemli unsur vardır. Kolektörün tasarım parametreleri bunlardan en önemlisidir. Güneş ışınlarının verimli bir şekilde yoğunlaştırılabilmesi için kullanılan kolektörün iyi tasarlanmış olması gerekmektedir. Gelen güneş ışınlarından maksimum oranda faydalanabilmek ve termal verimin yüksek olabilmesi için kolektör boyutları oldukça önemlidir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri için önemli değerlerden birisi de yoğunlaştırma oranıdır. Yoğunlaştırma oranı (YO), yansıtıcı yüzey açıklık alanı A_y'nin alıcı yüzey alanı, A_a'ya oranı şeklinde ifade edilmektedir (Dinçer ve Rosen, 1998).

$$YO = \frac{A_y}{A_a} \qquad \text{(Eş. 4.1)}$$

Düz plaka toplayıcılar ve yansıtıcı olmayan yüzeyler için YO=1 olarak kabul edilir. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri için YO daima 1'den yüksek bir değerdir.

Bu eşitlikten de görülebileceği gibi kolektörün tasarım değerleri büyük önem taşımaktadır çünkü açıklık alanı ve yüzey alanı direkt olarak yoğunlaştırma oranını ilgilendirmektedir. Bu nedenle tasarım ve boyutlandırma ile ilgili önemli değerler mutlaka hesaplanmalıdır.

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe bir diğer önemli konu da güneş hareketlerinin izlenmesidir. Gün içerisinde kolektör üzerine gelen güneş ışınlarının yönü ve şiddeti sürekli olarak değişeceğinden istenilen maksimum sıcaklığa ve verime ulaşabilmek için güneşin takip edilmesi gerekmektedir. Güneşten gelen güneş ışınlarının dik olması istenilen sıcaklıklara ulaşılabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Parabolik kolektörlerin açıklık yüzey normali güneşten gelen direkt ışınlar ile çakıştığı zaman en ideal odaklama gerçekleşir. Bu ideal odaklamayı sağlamak için güneşin iki eksende takip edilmesi gerekmektedir. Fakat iki eksende güneş takibi yapılabilmesi için kullanılan sistemlerin karmaşık ve maliyetli olması nedeniyle bu tip sistemler için genel olarak tek eksenli izleme tercih edilmektedir (Tatara ve diğ, 1991)

Tek eksenli izleyiciler, yeterli derecede hassas olmaması ve hareket sisteminde zamanla meydana gelebilecek aksaklıklar ve dar açı sınırı nedeni ile bazı zorluklara sahiptirler. Bu sorunların üstesinden gelinebilmesi için kolektörün yerleştirilme şekli büyük önem taşır. Kolektörün konumlandırılma şekline göre üç tip izleme yöntemi vardır;

1. Kutupsal konumlandırma
2. Kuzey-güney konumlandırma
3. Doğu-batı konumlandırma

Kutupsal konumlandırma

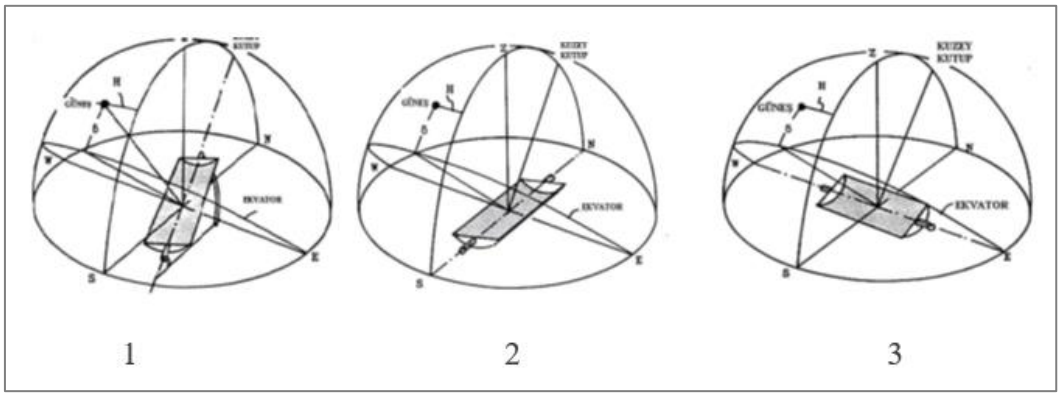
Kolektör ekseni kuzey kutbuna doğrudur. En büyük problemi kış mevsiminde atmosfere giren ısının yüzeye ulaşana kadar alacağı mesafenin büyük oluşudur. Ayrıca kolektör yerel enlem açısına eşit bir eğilime sahip olduğundan rüzgâr yükü büyük etki yaratır. Bu durum, mekanik dayanımı zorlar.

Kuzey-Güney konumlandırma

Kolektör kuzey-güney ekseni boyunca yatay olarak yerleştirilir. Güneşi tam takip edebilmesi için büyük açısal hareket gerektirdiğinden izleyici maliyeti artar.

Doğu-Batı konumlandırma

Kolektör doğu batı ekseni boyunca yatay olarak yerleştirilir. Kolektörün güneş doğuşu ve batışındaki izleme açıları aynıdır. Günbatımı ya da doğuşu haricinde çok küçük izleme hassasiyeti gerektirir. Güneşten aldığı enerji miktarı güneşe göre büyük farklılık göstermez bu nedenle en çok tercih edilen tek eksenli takip sistemidir (Cicibıyık, 2012).



Şekil 4.4. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü için konumlandırma türleri. 1. Kutupsal konumlandırma 2. Kuzey-güney konumlandırma 3. Doğu-batı konumlandırma gösterimi

Heiti ve arkadaşları (1983), çalışmalarında parabolik güneş kolektörlerinde termal verim ve performansı üzerine çalışmışlardır. Parabolik yüzey açıklığının güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak, verim üzerine etkilerini ve bu alanın sınırlarının analizlerinin optimizasyon üzerine etkileri konusunda çalışmışlardır. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörlerinin güneş takibi yapılmasının verim üzerine etkisini araştırmışlardır (Heiti ve Thodos, 1983).

4.1.1. Yansıtıcı yüzey tasarımı ve boyutlandırması

Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde en önemli kısım güneş ışınlarının yansıtıldığı yansıtıcı yüzeydir çünkü yoğunlaştırma işlemi burada yapılmaktadır. Bu nedenle yansıtıcı yüzeyin optik verime etkisi çoktur ve optimum şekilde tasarlanmalıdır. Kolektörün yüzey seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli parametre "ışınım yansıtma katsayısıdır". Işınım yansıtma katsayısı değeri yüksek olursa güneş ışınlarını yoğunlaştırma işlemi istenilen şekilde gerçekleşebilir. Ayrıca kullanılan malzemenin kolay şekil verilebilir olması da önemlidir çünkü yansıtıcı yüzey parabol şeklini aldırılarak sistemlerde kullanılmaktadır.

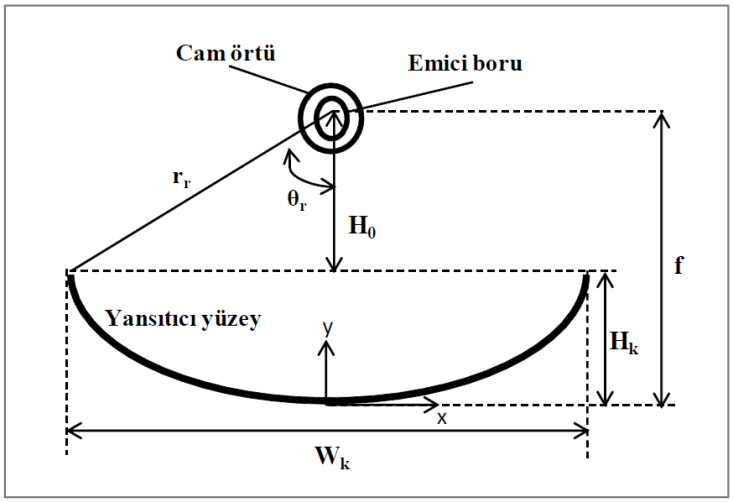
Çizelge 4.1. Yansıtıcı yüzey malzemeleri ve yansıtıcılık değerleri

Yansıtıcı yüzey malzemesi	Yansıtıcılık değeri
Gümüş	0,94+0,02
Özel cilalanmış ince alüminyum tabaka (Alanod)	0,9
Parlatılmış krom sac	0,88
Arkası gümüş kaplı su beyazı cam (Ayna)	0,88
Alüminyum kaplı akrilik	0,86
Alüminyum	0,82+0,05
Altın	0,76+0,03
Bakır	0,75

Yansıtıcı malzemeler arasında yüzeyi parlatılmış krom sac plaka yüksek yansıtıcılık değeri ve kolay bulunabilir olması nedeni ile oldukça çok tercih edilen uygun fiyatlı seçeneklerden birisidir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminde yansıtıcı yüzey olarak 0,6 mm kalınlığında krom saç malzeme kullanılmıştır (Cicibıyık, 2012).

Rabl ve arkadaşları (1982), yaptıkları çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde optimizasyon konularında çalışmışlardır. Güneş kolektörlerinin konsantrasyon oranı, yutuculuğu ve cam kılıf çapına bağlı olarak meydana gelen termal kayıpları minimize etmeye çalışmışlardır. Optimum açıklık değerlerine göre grafikler tasarlanmış ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Çalışma genel olarak güneş kolektörlerinin analitik çözümlemesini hedeflemişlerdir ve buna bağlı olarak analitik çözümler elde etmişlerdir (Rabl ve diğ., 1982).

Parabol şekli verilen krom sac malzemenin tasarımını ve boyutlandırması şu şekilde yapılmıştır;



Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü tasarım parametreleri (Cicibıyık, 2012)

Genel parabolik yüzey denklemi, yansıtıcı yüzeyin her noktasına gelen ışınların emici boru üzerine odaklanması üzerine oluşturulmuştur ve şu şekildedir:

$$y = \frac{x^2}{4f} \qquad \text{(Eş. 4.2)}$$

Parabolik yüzeyin orta noktası analitik koordinat düzleminde orjinde kabul edilirse, bu eşitlikte x ve y eksenlere olan uzaklıkları, f ise odak uzaklığını ve W_k, m ise açıklık enini tanımlamaktadır (Cicibıyık,2012). Bu tanımlara bağlı olarak kenar açısı, $\Theta_r, °$ aşağıdaki gibi hesaplanır (Duffie ve Beckman, 2006).

$$\Theta_r = tan^{-1}\left[\frac{8\left(\frac{f}{W_k}\right)}{16\left(\frac{f}{W_k}\right)^2 - 1}\right] = sin^{-1}\frac{W_k}{2r_r} \qquad \text{(Eş. 4.3)}$$

Burada, r_r , parabolik yansıtıcı yüzeyin eğiklik merkezinden kolektör kenarına olan maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapıdır, m (Cicibıyık,2012).

Bu tanımlamalara bağlı olarak parabolik oluk tipi güneş kolektörü kesitindeki temel geometrik ölçüler şu şekildedir:

$$H_O = \frac{w_k/2}{tan\Theta_r} \quad \text{(Eş. 4.4)}$$

$$r_r = \frac{w_k/2}{sin\Theta_r} \quad \text{(Eş. 4.5)}$$

H_o, emici boru merkezinden yansıtıcı yüzey açıklığına olan uzaklık, m, Eş. 4.4 ve r_r, yansıtıcı yüzeyin köşesinden emici boru merkezine olan uzaklık, m, Eş. 4.5 ile hesaplanır. Ayrıca yansıtıcı yüzeyin herhangi bir noktasındaki yansıtıcı yarıçapı, r, m, Eşitlik 4.6'da olduğu gibi hesaplanır:

$$r = \frac{2f}{1+cos\Theta} \quad \text{(Eş. 4.6)}$$

Ve toplam odak uzaklığı olan f, m

$$f = H_0 + H_k \quad \text{(Eş. 4.7)}$$

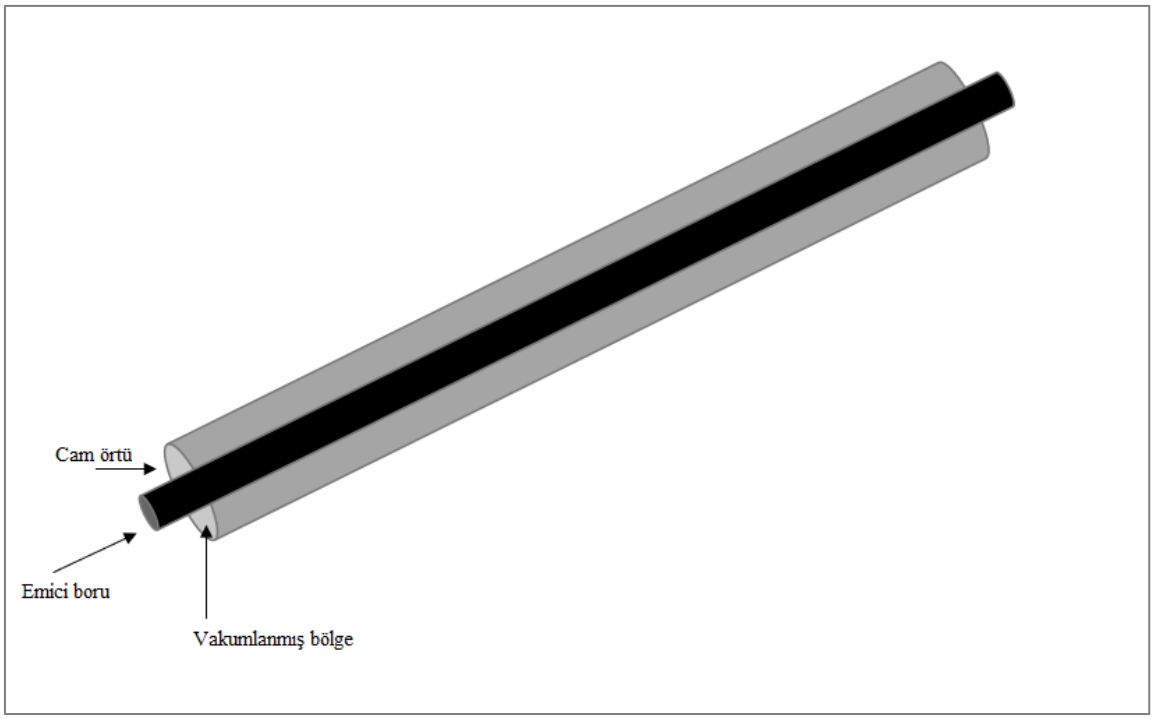
Emici boru için gerekli minimum çap, D_{min}, m ;

$$D_{min} = \frac{W_k}{sin\Theta_r} sin(\Theta_s + \delta/2) \quad \text{(Eş. 4.8)}$$

olarak tanımlanmaktadır ve buradaki Θ_s, güneşsel kesişim açısı (azimuth açısı), δ ise parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ışın yayılım açısıdır (Duffie ve Beckman,2006).

4.1.2. Emici boru ve cam örtü tasarımı ve boyutlandırması

Güneş ışınların yoğunlaştırıldığı yer olan toplayıcı kısımda cam örtü ve emici boru bulunmaktadır. Yoğun bir şekilde güneş ışınlarına maruz kalan bu kısım tasarlanırken, parabolik sistemin yoğunlaştırma oranı ve sistemin termal kapasitesi dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.6. Cam örtü ve emici boruyu içeren toplayıcı kısım

Emici boru tasarımında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Boru çapı arttıkça ışın odaklama verimi (kesişim faktörü) artar, boru çapı küçüldükçe de borunun içinde ısı transfer akışkanı türbülanslı akış haline geçer. Ayrıca borudan dış çevreye olan ısı kayıplarının azalması içinde boru dış yüzey alanının küçültülmesi gerekir. Bu demek oluyor ki optik verimin artması için boru çapının artması ancak termal verimin artması içinde boru çapının azalması gerekmektedir. Ayrıca borudan ısı transferinin kolay gerçekleşebilmesi için ısı transfer katsayısı yüksek bir malzeme seçilmeli ve et kalınlığı da dikkate alınmalıdır. Bu nedenle emici boru için optimum çap, uzunluk ve et kalınlığında ısı transfer katsayısı yüksek bir malzeme seçilmelidir (Kartal, 2007).

Bu nedenle daha önce yansıtıcı yüzey tasarımında kullanılan minimum emici boru çapı hesabı daha önceki bölümde anlatıldığı gibi Eş. 4.8 ile hesaplanmaktadır.

Emici boru malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar, ısı transfer katsayısının yüksek olması, kullanılacak ısı transfer akışkanı ile uyumlu olması ve kolay erişilebilir olmasıdır. Metallerin ısı iletkenlik katsayılarının yüksek olmasından dolayı emici boru olarak genellikle metal borular tercih edilir. Bu nedenle metallerin ısıl iletkenlik katsayıları incelendiğinde Çizelge 4.2.'den de görülebileceği gibi en yüksek ısıl iletkenlik katsayısına gümüş sahiptir. Bunu bakır, alüminyum ve çelik takip etmektedir. Gümüşün ısıl iletkenlik

katsayısı çok yüksek olmasına rağmen maliyetli olması nedeni ile tercih edilmez. Erişilebilir olması ve maliyetinin düşük olması nedeniyle paslanmaz çelik, parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde en çok tercih edilen emici boru malzemesi olmuştur. Bu çalışmada ise ısıl iletkenlik katsayısı gümüşten sonra en yüksek, erişilebilir boru malzemesi olan bakır boru tercih edilmiştir.

Çizelge 4.2. Metal malzemeler ve ısıl iletkenlik katsayıları değerleri (URL-15)

Metal malzeme (20°C)	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)
Gümüş	418,7
Bakır	407
Alüminyum	209-220
Pirinç (%70 bakır)	10-121
Paslanmaz çelik	16

Emici boru üzerine güneş ışınları yoğunlaştırıldığı için, emici boru yüzeyinin bu güneş ışınlarını iyi bir şekilde absorbe etmesi gerekmektedir. Siyah boyalı yüzeylerin güneş ışınlarını absorbe etme oranı yüksek olduğu için genellikle, güneş enerjisi sitemlerinin emici boruları, siyah mat boya ile boyanarak emicilik oranının artırılması sağlanır. Bu nedenle kullanılan sistemde kolay bulunabilir olan 28 mm çapa 2 mm et kalınlığına sahip (3/4") standart bakır boru kullanılıp üzeri mat siyah boya ile boyanmıştır.

Sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olmaya başlar. Bu nedenle parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde emici boru etrafına bir cam örtü koyulur ve böylece ısı kayıplarının azaltılması hedeflenir. Cam örtü ayrıca emici yüzeyi yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden de korur. Bu nedenle büyük önem taşımaktadır. Cam örtü kolay temin edilebilir, ucuz ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalıdır. Kullanılan cam örtünün gölgesi yansıtıcı yüzey üzerine düşeceğinden gölgelenme etkisi yaratır ve güneş ışınımını azaltır bu da yoğunlaştırılan güneş ışını miktarını azaltır. Bu durum dolaylı olarak hem optik hem de termal verimin düşmesine neden olur. Bu nedenle kullanılacak cam örtünün çapı büyük önem taşır. Cam örtü ne kadar küçük seçilirse gölgelenme etkisi o kadar azalacaktır ancak diğer taraftan emici borunun ısısı arttıkça genleşmeye başlayacağı için cam örtüye değme olasılığı artacak, bu da ısı transferini bozacaktır. Cam örtünün çapı ne kadar büyük olursa emici boru ile cam örtü arasındaki mesafe artacağından termal kayıplar azalacaktır. Cam örtü seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bu durumlar değerlendirildiğinde kullanılan sistem için en uygun cam örtünün borosilikat camdan yapılmış olan 58 mm çapa sahip 2 mm

et kalınlığında olması gerektiğine karar verilmiştir ve deney sistemine bu özelliklere sahip bir cam örtü imal ettirilmiştir. Cam örtü ve emici boru arasındaki ısı transferinin iyi olması için ara bölgenin havası vakumlanmıştır ve bu şekilde sistem kurulmuştur.



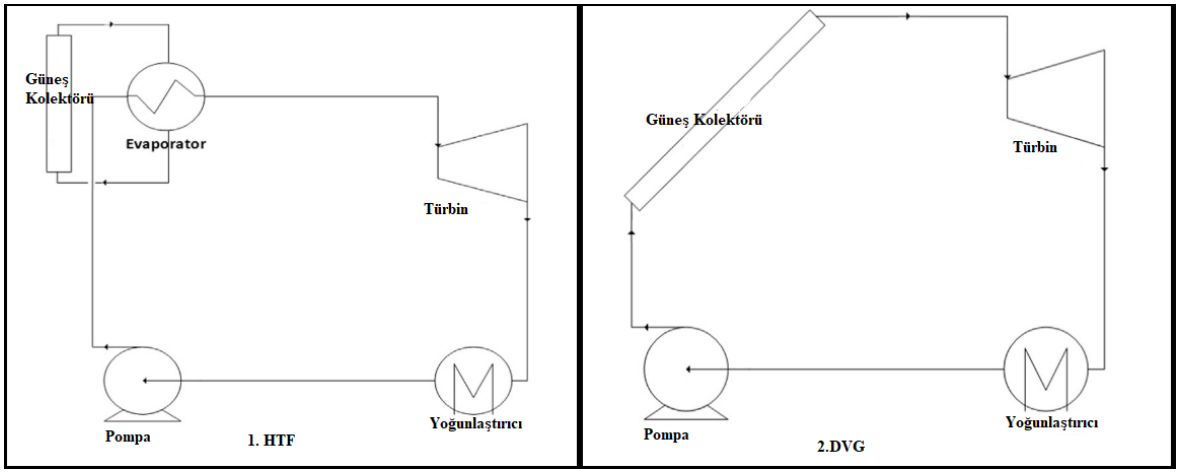
Şekil 4.7. Emici boru ve cam örtü

4.1.3. Isı transfer akışkanı seçimi

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ısı transfer akışkanı seçimi çok önemli bir konudur. Güneş ışınları emici boru üzerinde yoğunlaştığında ısı yükselir ve bakır boru bu enerjiyi içeride akan sıvıya aktarır. Bu şekilde güneş ışınlarından kazanılan ısı enerjisi uygun çevrimlerde kullanılır ya da daha sonra kullanmak amacıyla depolanır.

Güneş enerjili sistemlerde ısı transfer akışkanı kullanılan akışkan, termodinamik çevrimde de aynı zamanda çalışma akışkanı olarak kullanılabilir. Bu tür sistemler direkt buhar üretimi (Direct vapor generation, DVG) konfigürasyonuna sahip sistemlerdir. Diğer bir konfigürasyon türü olan ısı transfer akışkanı konfigürasyonunda (Heat transfer fluid, HTF) ısı transfer akışkanı termodinamik çevrimdeki çalışma akışkanını buharlaştırmak için geliştirilmiştir. Güneş enerjili sistemlerde genellikle HTF konfigürasyonu kullanılır. HTF konfigürasyonu genel mekanik kısıtlamalardan kaçınmak için kullanılmaya başlanmıştır (Aboelwafa ve diğ., 2018). Çalışma akışkanının solar kolektörde direkt olarak

buharlaşmasını engellemek ve gerekirse termal enerji depolama sistemi ile bağlantısını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir konfigürasyondur. HTF konfigürasyon türünde en yaygın olan solar sistem ve termodinamik çevirim ikilisi parabolik oluk tipi güneş kolektörü ve organik Rankine çevrimidir (Georges ve diğerleri, 2013).



Şekil 4.8. 1. Isı transfer akışkanı konfigürasyonu, 2. Direkt buhar üretim konfigürasyonu gösterimi (Aboelwafa ve diğ., 2018)

Genel olarak en yaygın olarak kullanılan ısı transfer akışkanları, su ve termal yağlardır. Su yüksek ısı transfer katsayısına sahiptir ve kolayca bulunabilir, viskozitesi düşük, korozif olmayan bir ısı transfer akışkanıdır. Ancak suyun kaynama noktası düşüktür ve bu durum üretilen enerji miktarını sınırlar. Yüksek kaynama noktalı ısı transfer sıvısı kullanıldığında termodinamik çevirimdeki çalışma akışkanı kızgın buhar haline geçer ve bu durumda daha yüksek enerji üretimi yapılabilir. Kullanılan güneş kolektörünün türüne göre tercih edilecek ısı transfer akışkanı değişmektedir. Bunun nedeni kolektörde kullanılan malzemenin ısı transfer akışkanı ile uyumluluğu, çalışma sıcaklığına uygunluğudur. Çizelge 4.3.'te daha önce kullanılan ısı transfer akışkanı çalışma sıcaklığı aralığı ve kullanıldığı kolektör türleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Daha önce kullanılmış ısı transfer akışkanı, kolektör türü ve çalışma sıcaklıkları (Aboelwafa ve diğ., 2018)

Isı transfer akışkanı	Kolektör türü	Çalışma sıcaklığı (°C)
Diphenyl	Parabolik çanak tipi	>320
Caloria	Parabolik oluk tipi	>295
Xceltherm 600	Parabolik oluk tipi	>204
Su	Düzlemsel kolektör	>125
Su	Vakum tüplü kolektör	>150
Su	Parabolik oluk tipi	>145
Monoetil glikol (MEG)	Vakum tüplü kolektör	>130
Monoetil glikol (MEG)	Parabolik oluk tipi	<189
1,2 Propilen glikol	Vakum tüplü kolektör	>90
Therminol VP-1	Parabolik oluk tipi	<390
Glikol-Su (%45-55)	Düzlemsel kolektör	>70
Palm yağı	Parabolik oluk tipi	-
Dow Therm A	Parabolik oluk tipi	400
Therminol 66	Parabolik oluk tipi	320
Therminol 55	Parabolik oluk tipi	>150
Syltherm 800	Parabolik oluk tipi	>380
Santotherm 55	Parabolik oluk tipi	>380

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde ısı transfer akışkanı seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli termofiziksel özellikler şunlardır: özgül ısı kapasitesi, faz değişimi entalpisi, termal iletkenlik, viskozite ve erime noktası. Bununla birlikte ısı transfer akışkanı seçilirken yoğunluk, bozunma sıcaklığı, termal genleşme katsayısı ve termal kararlılık gibi termofiziksel özellikler dikkate alınmalıdır. Aboelwafa ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada daha önce kullanılan güneş enerjisi sistemleri ve çalışma sıcaklıkları aralığı değerleri çizelge 4.4'te görülmektedir. Özgül ısı kapasitesi (C_p), ısı transfer akışkanının ısı transferi veya termal enerji depolama malzemesi olarak kullanılmasının uygunluğuna karar verilmesini sağlayan önemli bir özelliktir (Raade ve Padowitz, 2011). Isı transfer akışkanının bir diğer önemli özelliği de erime noktası sıcaklığıdır. Erime noktası, sistemin işletme maliyeti ile doğrudan ilişkilidir çünkü sistemin içerisindeki ısı transfer akışkanının donması sonucu enerji kullanımı gerektirecektir (Peng ve diğ., 2010). Sistemin pompalama verimliliği, ısı transfer akışkanının dinamik viskozitesine bağlıdır, bu nedenle kullanılan pompa ile ısı transfer akışkanının pompanın çalışabileceği viskozite aralığında olması gerekir. Isı transfer akışkanının karakterizasyonu için gerekli olan bir diğer özellik ise buhar basıncıdır çünkü sıvının buharlaşma hızını gösterdiği için genellikle düşük buhar basıncındaki ısı transfer akışkanları tercih edilir. Isı transfer akışkanının termal iletkenliği,

Nusselt sayısını etkileyen önemli bir termofiziksel özelliktir. Isı transfer akışkanının termal iletkenliği ve yoğunluğu sıcaklıktan etkilenir. Bu nedenle kullanılan ısı transfer akışkanının sistemin çalışma sıcaklığına uygunluğu çok önemlidir.

Çizelge 4.4. Güneş enerjisi sistemleri ve çalışma sıcaklığı aralıkları (Aboelwafa ve diğ.,2018)

Güneş enerjisi sistemi	Sıcaklık °C
Düzlemsel kolektörler	30-100
Vakum tüplü kolektörler	90-200
Parabolik oluk tipi kolektörler	70-400
Doğrusal Fresnel mercekli kolektörler	100-400
Parabolik çanak tipi kolektörler	500-1200
Merkezi alıcılı kolektörler	500-800

Hamad (1988), parabolik güneş kolektörleri üzerinde yaptığı araştırmalar neticesinde ısı transferini sağlayan akışkanın kolektör içerisinde kütlesel akışı esnasında akış hızından dolayı oluşan farklılıkların genel verim üzerine etkilerini incelemiştir. Hava sıcaklığının performans üzerine olan etkisinin çok az olduğunu tespit etmiş ve en büyük etkinin ısı transfer akışkanın kolektör çıkış sıcaklığında olduğunu belirlemiştir (Hamad, 1988)

Kearney ve arkadaşları (2003), parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde tuz eriyiğinin ısı transfer sıvısı ve depo sıvısı olarak kullanılabilirliği ve elektrik üretim maliyetinin düşürülmesini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada iki farklı nitrat tuzunun (Solar salt ve HitecXL en uygun şartları sağladığını belirlemişlerdir ve depolama tankının maksimum sıcaklığının 450 °C olarak kabul edilerek yapılan hesaplamalarda elektrik maliyetinin mevcut sistemlere kıyaslandığında %14,2 düşürüldüğü gözlemlenmiştir (Kearney ve diğ., 2003).

El-Assay ve arkadaşları (1987), yaptıkları çalışmalarında parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminde ısı transfer akışkanı olarak su kullanmışlardır ve suyun ısıtılması, kaynatılması ve kızgın buhar eldesi için tasarlanan bu güneş enerjisi sisteminin optik ve termal analizlerini yapmışlardır. Hesaplamalarında toplam ısı transfer katsayısı ve kolektör verimi gibi değerleri incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda elde ettikleri verileri düz kolektörler ile kıyaslamışlardır ve sonuç olarak parabolik kolektörlerin performans ve maliyet bakımından termal uygulamalar için daha verimli olduğunu belirtmişlerdir (El-Assay ve Clark, 1987).

Nagarajan ve arkadaşlarının (2014), "Nanofluids for Solar Collector Applications" adlı çalışmada nano akışkanların geleneksel ısı transfer akışkanlarına göre avantajları konusunda sistem verimliliği üzerine çalışma yapmışlardır. Nano akışkanlar üstün termal iletkenlik özellikleri sayesinde klasik ısı transfer akışkanlarına göre daha iyi bir ısı transferi sağlayarak yüksek enerji üretimi sağladığını gözlemlemişlerdir (Nagarajan ve diğ., 2014).

Bellos ve arkadaşları (2018), çalışmalarında parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminde nano akışkan ısı transfer akışkanı kullanılarak termal verimlilik analizi yapılmıştır. Kullanılan nano akışkan yağ esaslı bir nano akışkandır ve bu akışkanın sistem ile arasındaki ısı transfer oranında artış sağlayabilmek için kanatçık bağlı türbülatör tip absorber borular kullanılarak deneysel olarak çalışılmıştır. Ayrıca Solidworks programı ile akışkan analizi yapılarak deneysel veriler ile kıyaslamışlardır. Çalışmanın sonucunda yağ esaslı nano partükül eklenmiş, nano ısı transfer akışkanlarının daha yüksek verimle ısı transferini gerçekleştirdiğini gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışma öncesi bilgisayar ortamında yapılan akışkan analizi sonuçlarının deneysel çalışma sonucu ile uyumlu gelmesi ile kullandıkları yağ esaslı nano akışkanın oldukça verimli olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Bellos ve diğ., 2018).

Sheel ve arkadaşları (2018) çalışmalarında ısı transfer akışkanı olarak nano partiküller ile hazırladıkları su karışımlarını farklı konsantrasyonlarda incelemişlerdir. Konsantrasyon değişimlerine bağlı olarak ısı transfer oranındaki değişimleri incelmişler ve buna bağlı olarak optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Su ısıl iletkenlik katsayısı en yüksek akışkandır ve güneş enerjisi sistemlerinde en çok kullanılan ısı transfer akışkanı olmuştur. Nano partiküller yüksek termal iletkenlik özellikleri sayesinde oldukça ilgi çekmektedir ve su ile nano partiküllerin karıştırılması ile oldukça verimli bir ısı transfer akışkanı elde edilmiştir. Derişim oranı değiştikçe farklı verimler elde edilmiştir ve sonuç olarak yüksek yoğunlukta nano partikül eklenmiş su karışımının ısı transfer akışkanı olarak kullanımının oldukça verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (Sheel ve diğ., 2018).

Olia ve arkadaşları (2019) çalışmada nano akışkanların nano partikül boyutları, akışkan hacimsel oranı, akışkanın sistem performansına etkilerine çalışılmıştır. Hem deneysel olarak hem CFD programı yardımı ile bilgisayar destekli hem de Nümerik olarak elde ettikleri sonuçları kıyaslamışlardır.Kullanılan sisteme bağlı olarak nano partikül boyutlarının önemi artmış ve buna bağlı olarak akışkanın sistem performansına etkisi değişmiştir. CFD programı

ile yapılan analiz sonucunda deneysel olarak elde ettikleri sonuca yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Güneş kolektörüne bağlı optimum nano partikül boyutu ve nano akışkan tasarımının yapılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır (Olia ve diğerleri, 2019).

Allouhi ve arkadaşları parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminde kullanılan ısı transfer akışkanlarına eklenen nanopartiküller ile sistemin verimindeki değişimini inceledikleri çalışmada, çeşitli nanopartiküller kullanılarak hazırladıkları ısı transfer akışkanlarının orta ve yüksek çalışma sıcaklıklarındaki termal verimliliklerini hesaplamışlardır. Farklı nano partiküllerin verimlilik değerlendirmeleri farklı sıcaklık aralıklarında yapılmıştır ve sıcaklık arttıkça yüksek termal verim elde edildiği gözlemlenmiştir (Allouhi et al., 2018).

Gliserin, biyodizel üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilebilen çok değerli bir kimyasaldır. Gliserinin ısı transfer akışkanı olarak kullanıma uygun olup olmadığı termofiziksel özelliklerine bakılarak yorumlanabilir. Bu nedenle gliserinin termofiziksel özellikleri Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Gliserinin termofiziksel özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Molekül ağırlığı,	g/mol	92,0938
Yoğunluk, ρ	g/cm^3	1,26
Viskozite, μ	Pa.s	1,412
Kaynama noktası	°C	290
Erime noktası	°C	17,8
Bozunma sıcaklığı	°C	650
Isıl iletkenlik	W/mK	0,292
Özgül ısı kapasitesi, C_p	kJ/kgK	2,43
Termal genişleme kapasitesi	1/°C	0,0005
Buhar basıncı, P^0	mm Hg	1

Gliserin yüksek kaynama sıcaklığı sayesinde yüksek sıcaklıkta buhar sağlar ve böylece daha fazla termal güç üretilebilir. Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri orta-yüksek sıcaklık aralığında çalışan sistemlerdir ve çalışma sıcaklıkları genel olarak 70-400°C aralığındadır. Bu sistemler için gliserinin bozunma sıcaklığının çok yüksek olduğu görülmektedir. Gliserinin viskozitesi suyunkinden yüksektir ancak uygun pompa kullanımı ile istenildiği gibi çevirimi yapılabilmektedir. Gliserinin antifriz olarak kullanımı literatürden yaygın olarak görülmektedir. Donma noktası düşüktür ve gliserinin donma ihtimali düşük olduğu

için sisteme herhangi bir ek maliyet çıkarma durumu azdır. Tüm bu özellikler değerlendirildiğinde gliserinin parabolik oluk tipi güneş kolektörleri için uygun bir ısı transfer akışkanı olabileceği görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür taraması sırasında deneysel olarak daha önce güneş kolektörlerinde gliserinin ısı transfer akışkanı olarak kullanılması ile ilgili bir çalışma görülememiştir ve literatürdeki bu açığın kapatılması açısından da bu çalışma büyük önem taşımaktadır.

4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Enerjisi Sistemleri ile Enerji Üretimi Prosesi

Enerji tüketiminin yarattığı küresel ısınma sorunu ve bu sorunu önlemek için geliştirilen yenilenebilir enerji üretimi türlerinden birisi de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi sistemleri içerisinde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden birisi olan parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri en yaygın ve gelişmiş olan sistemdir. Dünyada kurulu konsantre güneş enerjisi sistemlerinin %90'ı parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi ,%5'i doğrusal Fresnel mercekli kolektörler ve diğer %5'i de merkezi alıcılı sistemlerdir (Aboelwafa ve diğ., 2018).

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde yansıtıcı yüzeye gelen direkt güneş ışınları odak noktasına yerleştirilen emici boruya yansıtılarak yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaşan güneş ışınları emici borunun sıcaklığını yükseltir ve bu ısı emici borunun et kalınlığı boyunca geçerek ısı transfer akışkanına aktarılır. Güneş enerjisinden bu şekilde elde edilen ısı enerjisi çeşitli çevirimlerle ısıtma, buhar eldesi, elektrik üretimi gibi çeşitli proseslerde kullanılarak enerji üretimi sağlanmış olunur.

Termodinamik çevrim, basınç, sıcaklık ve diğer durum değişkenlerini değiştirirken ısı ve işi aktaran bir dizi termodinamik sürecin birleştiği ve sonunda sistemin ilk duruma döndüğü süreçtir. Birincil enerji kaynağı olarak kullanılan güneş enerjisinden alınan ısı enerjisi ikincil enerji kaynağı olan bir termodinamik çevrim ile birleştirilerek elektrik enerjisi gibi enerji taşıyıcıları ile kullanıma sunar. Güneş enerjisi sistemlerinde genellikle Brayton çevirimi ve Rankine çevirimi kullanılır. Bu iki çevirim aynı zamanda en basit termik santral konfigürasyonlarıdır ve yüksek verimli sistemlerin belirlenmesinde temel oluştururlar. Rankine çevirimi dört aşamadan oluşur. İlk olarak çalışma akışkanı sıkıştırılması, sonrasında bir ısı kaynağı tarafından sağlanan ısı ile çalışma akışkanının ısıtılması ardından buharlaştırılması ve yüksek basınca ulaşması, daha sonrasında bu çalışma akışkanının

mekanik iş üretmek amacıyla türbin aracılığı ile düşük basınca genleşmesi ve en son olarak çalışma akışkanının başlangıç durumuna geri gelmesidir. Bir Brayton çeviriminde ise çalışma akışkanının çevrim boyunca gaz fazda kalması dışında benzer şekilde çalışmaktadır. Brayton çevirimleri çok daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilir bu nedenle gaz sıkıştırma aşamasında çok daha fazla güç gerektirir ve bu durum net işi düşürür (Dunham ve Iverson, 2014) .

Duffie ve Beckman (2006), "Solar Engineering of Thermal Processes" adlı kitabında, güneş ışınım temellerini, ısı transfer yöntemlerini, yoğunlaştırılmış kolektörlerin tasarımı, enerji depolaması ve güneş enerjisi sistemleri tasarımlarının analizi üzerine yazmışlardır. Güneş enerjisi sistemleri ve termal prosesler için yapılacak hesaplamaları düzenlemişlerdir ve güneş ışınımı hesaplamalarında kabul gören farklı yaklaşımların sonuçlarının birbirine yakınsar olduğunu göstermişlerdir (Duffie & Beckman, 2006).

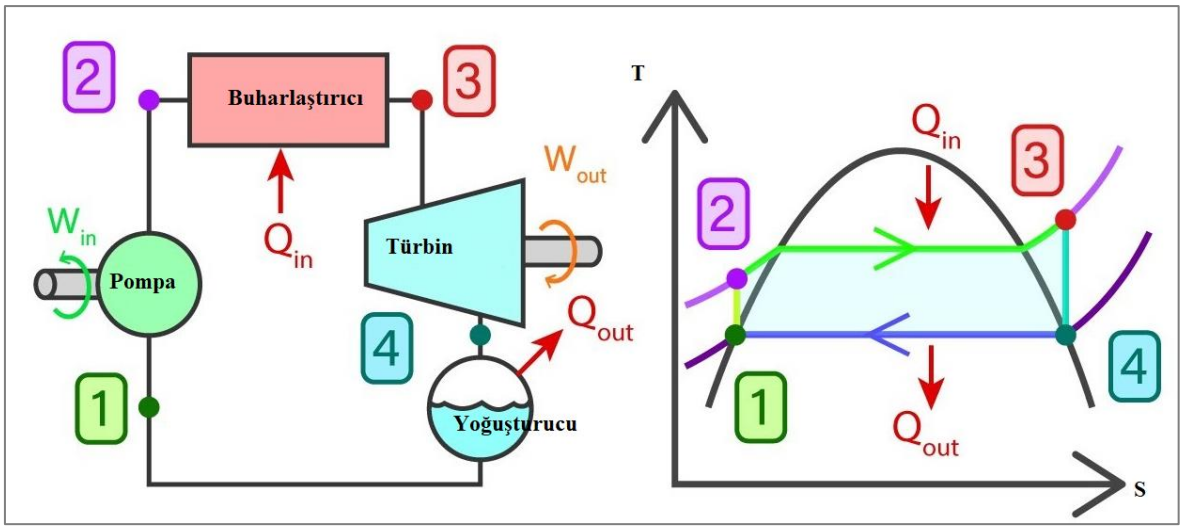
4.2.1. Rankine çevirimi

1859'da İskoç bir mühendis olan William John Macquorn Rankine, "Buhar motoru ve diğer ilk taşıyıcıların el kitabını yayınlayarak daha önce yapılan ısı motorları ile olan çalışmaları ilerletti ve geliştirdi. Rankine, buhar makinesinin ve tüm ısı makinelerinin eksiksiz bir teorisini geliştirdi ve böylece termodinamiğe katkıda bulundu bu nedenle onun adını aldı. Rankine çevirimi genel olarak buhar türbini sistemlerinin performansını tanımlar. Genel olarak, ısının bir kısmını mekanik işe dönüştüren sabit basınçlı bir ısı motorunun idealize edilmiş bir termodinamik çevrimidir. Bu çevrimde, ısı, çalışma akışkanı olarak genellikle suyu sıvı ve buhar fazda kullanan kapalı bir döngüye dışarıdan sağlanır. Brayton çeviriminin aksine çalışma akışkanı sıvıdan buhar fazına ve bunun tersi olarak daha sonra buhardan da sıvı fazına değişime uğrar.

Rankine çevriminde inorganik ve organik çalışma sıvısı olarak birçok madde kullanılabilirken, termodinamik özelliklerinin yanı sıra, toksik olmayan ve reaktif olmayan kimyası, bolluğu ve düşük maliyeti gibi olumlu özelliklerinden dolayı su genellikle tercih edilen çalışma sıvısıdır. Su bilinen tüm maddeler içerisinde en yüksek özgül ısı değerine sahiptir (4.19 kJ/kg K), ayrıca çok yüksek buharlaşma ısısına sahiptir bu da onu termik santrallerde ve diğer enerji endüstrisinde etkili bir çalışma akışkanı haline getirir.

Rankine çeviriminin en büyük avantajlarından biri, pompadaki sıkıştırma işleminin bir sıvı üzerinde gerçekleşmesidir. Çalışma akışkanının buhar halini bir yoğuşturucu içinde yoğunlaştırmak suretiyle türbin çıkışındaki basınç düşürülür ve besleme pompasının ihtiyaç duyduğu enerji türbin çıkış gücünün sadece %1-3'ünü tüketir ve bu durum çevrime yüksek verimlilik olarak katkıda bulunur. Günümüzde Rankine çevirimi, bir işletme sıvısının sürekli olarak buharlaştırılıp yoğunlaştırıldığı tüm termik santrallerin temel işletme çevrimidir (URL-16).

Rankine çevirimi dört aşamada gerçekleşir ve bu aşamalardaki çalışma akışkanının hal değişimleri aşağıdaki Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Genel Rankine çevirimi (URL-17)

Rankine çeviriminde tüm basamakların ideal şartlarda gerçekleştiği varsayılır ancak gerçek şartlarda pompa ile yapılan sıkıştırma işlemi ve türbindeki genleşme işlemi izentropik değildir.

1-2: Çalışma akışkanı pompa ile düşük basınçtan yüksek basınca izentropik olarak pompalanır. Burada pompanın çalışması için güç girişine ihtiyaç vardır.

2-3: Basıncı yükselmiş olan sıvı buharlaştırıcıya girer ve dış ısı kaynağı ile kızgın buhar olana kadar ısıtılır.

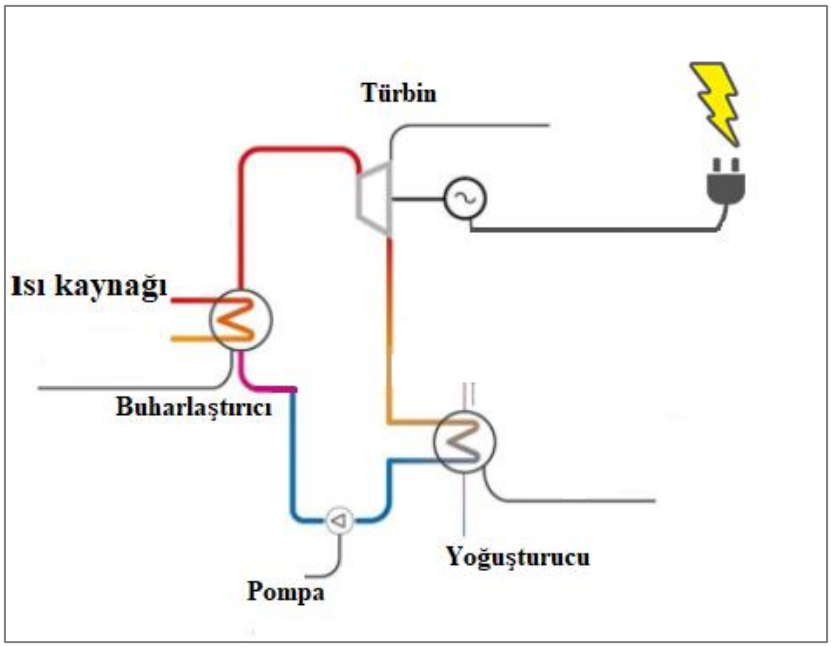
3-4: Kızgın Buhar, türbin boyunca genişler ve güç çıkışı oluşur. Buhar basınç ve sıcaklık kaybederek türbinden çıkarak yoğuşturucuya gider.

4-1: Sıcaklığını kaybeden buhar yoğuşturucuda doymuş sıvı halini alana kadar soğutulur ve daha sonra tekrar pompaya gider ve burada basıncı yükseltilerek tekrar pompalanarak çevrim tamamlanmış olur.

Şekil 4.9.'deki sıcaklık-entropi grafiğinden de görülebileceği gibi pompalama işlemi sırasında basıncı artan çalışma akışkanın aynı zamanda sıcaklığı artar ve buhar haline gelmesi için buharlaştırıcıya girer. Buharlaştırıcıda sıcaklığı sabit kalan akışkan hal değiştirerek buhar haline gelir. Daha sonra T-S grafiğindeki 3 noktasında kızgın buhar haline gelen yüksek enerjili çalışma akışkanından güç üretimi için türbine girer. Türbinde genişleyerek sıcaklığı ve basıncı azalan akışkan enerji çıkışı oluşturur ve böylece enerji üretilmiş olunur. Daha sonra sıcaklığı azalmış çalışma akışkanı sıvı faza geçebilmek için yoğuşturucuda doygun buhar haline gelir ve pompaya gönderilerek çevrim tamamlanmış olunur.

4.2.2. Organik Rankine çevirimi

Organik Rankine Döngüsü (ORC) düşük sıcaklıktaki ısıdan faydalanmak amacıyla çalışma akışkanı olarak yüksek moleküler kütleli ve kaynama sıcaklığı düşük organik akışkanların kullanıldığı Rankine çevrimidir. Bu teknoloji 1950'lerin sonunda Lucien Bronicki ve Harry Zvi Tabor tarafından geliştirilmiştir. Yüksek moleküler kütleli akışkan, biokütle yanması, endüstriyel atık ısı, jeotermal ısı ve güneş enerjisi gibi düşük sıcaklık kaynaklarından Rankine çevrimi ile ısı geri kazanımına izin verir. Böylece düşük sıcaklıktaki ısı, elektriğe dönüştürülebilen faydalı işe dönüştürülmüş olunur. Sudan daha yüksek moleküler kütlesi olan bir organik akışkan buharlaştırıldığı için türbinin daha yavaş dönmesine, böylece metalik parça ve pervanelerin daha az basınca maruz kalmasını sağlar (Özden ve Paul, 2011).



Şekil 4.10. Organik Rankine çevrimi genel gösterimi (URL-18)

Organik Rankine çeviriminin temel çalışma prensibi düşük sıcaklıklardaki ısıdan yaralanarak elektrik üretilmesidir. Klasik Rankine çevrimi ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi ısı kaynağı buharlaştırıcı içerisindeki organik çalışma sıvısını buharlaştırmak için kullanılır. Bu çalışmada bu ısı kaynağı olarak parabolik oluk tipi güneş kolektörü kullanılmıştır. Kullanılan çalışma akışkanı düşük sıcaklıkta buharlaşabildikleri için genellikle soğutucu sıvılar veya hidrokarbonlardır. Basınçlandırılmış olan bu organik çalışma akışkanı türbine gönderilir ve burada genişleme sırasında elektrik üretilir. Türbine enerjisini veren bu çalışma akışkanı daha sonra yoğuşturucuda tekrar sıvı haline gelir. Yoğunlaştırılan çalışma akışkanı pompa ile tekrar buharlaştırıcıya gönderilerek döngü tamamlanmış olur. Bu sistemin en önemli avantajı düşük sıcaklıklı kaynakların kullanılabilmesidir. Yani atık ısı, jeotermal ısı kaynağı gibi düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarını kullanarak elektrik üretimin sağlanmasıdır. Ayrıca yanma işlemi olmadığı için çevreye emisyon salınımı yapmaz (Güneş, 2012)

4.2.3. Organik Rankine çeviriminde çalışma akışkanı seçimi

Organik Rankine çevirimin de düşük ısı kaynakları kullanıldığı için ısı transferinin verimli olabilmesi için uygun çalışma akışkanı seçimi çok önemlidir. Çalışma akışkanı seçimi türbinden çıkacak enerji çıkışını direkt olarak etkilediği gibi çevrim verimini de direkt olarak etkiler ve bu nedenle büyük önem taşır.

Çalışma akışkanları sıcaklık-entropi diyagramlarının doygun buhar eğrisine göre üç tip olarak sınıflandırılmaktadır.

1. Islak akışkan: Islak akışkanlar, türbinde iki faz (sıvı ve gaz) görülme ihtimaline karşın türbine girmeden önce kızdırılarak kızgın buhar haline gelirler. Genişleme işlemi sırasında türbin içerisinde sıvı faz bulunması türbin kanatlarında birçok soruna neden olur.
2. İzentropik akışkan: Kızdırma işlemine ihtiyaçları yoktur. Sistemi terk eden akış doygun ya da kızgın buhardır (Tchanche ve diğ., 2009).
3. Kuru akışkan: Kızdırma işlemine ihtiyaç yoktur. Türbinden çıkan akım her zaman kızgın durumdadır.

Bu özelliklere bakıldığında kuru ya da izentropik akışkanlar aynı çalışma şartlarında ıslak akışkanlara göre tercih edilebilir durumdadır. Çünkü türbin girişinde aşırı ısıtmaya gerek duyulmadığı için çevrim verimi artmaktadır (Wang ve Zhao, 2009).

Uygun çalışma akışkanın seçimi karmaşık bir durumdur çünkü çevrimin çalışma şartlarına ve ısı kaynağına bağlı olarak bütün akışkanların farklı potansiyelleri vardır.

Çalışma akışkanının sistem için uygun özelliklerde seçilmesi hem çevrim verimini artıracak hem de ekipmanların daha uzun ömürlü kullanımını sağladığı için ekonomik olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle çalışma akışkanı seçiminde bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Bu özellikler; Termodinamik ve fiziksel özellikleri, akışkanın kullanılan materyallere göre istikrarlılığı ve uyumu, güvenliği, çevreye uygunluğu, fiyatı ve bulunabilirliği olarak özetlenebilir (Chen ve diğ., 2010).

Bütün bu seçim kriterleri başlıklar altında düzenlendiğinde;

<u>Termodinamik ve fiziksel özellikler:</u>

Çalışma akışkanının termodinamik ve fiziksel özelliği direkt olarak çevrim verimini etkilediğinden dolayı çok önemlidir. Bu nedenle seçim kriterleri birkaç alt başlık altında incelenmiştir.

a) Yüksek buhar yoğunluğu, düşük hacimsel akış hızı küçük ekipman kullanımı sağlar (URL-25).
b) Akışkan viskozitesi sıvı fazda da buhar fazda da düşük olmalıdır böylece ısı transfer katsayısı artırılmış olunur ve ısı değiştiricilerde sürtünmeden dolayı olan kayıplar azaltılır (Quoilin, 2011).
c) Yüksek termal iletkenlik, ısı değiştiricide yüksek ısı transfer katsayısına neden olur.
d) Seçilen çalışma akışkanının molekül ağırlığı kullanılacak türbin ile alakalıdır. Bu nedenle molekül ağırlığı 90 kg/mol den küçük olan akışkanlar için çok kademeli türbin kullanımı uygundur. Molekül ağırlığı 90 kg/mol'den büyük olan akışkanlar için tek kademeli türbin kullanımı uygundur (Bao ve Zhao, 2013).
e) Akışkanın sıvı fazdaki özgül ısı kapasitesi direkt olarak pompa işini ya da toplam işi etkilemese de gene de yüksek iş çıkışı için düşük değerde olmalıdır (Chen ve diğ., 2010).
f) Akışkanın donma noktası çevrimin en düşük sıcaklığından düşük değerde olmalıdır (Quoilin, 2011).

Çalışma şartlarına uyumluluğu

Tüm sistemlerde kullanılacak akışkan seçimi sırasında işletme şartlarına uyumlu akışkanlar tercih edilir ve böylece olası riskler önlenmek istenir. Organik akışkanlar da yüksek sıcaklıklarda bozulmaya uğrayacağından dolayı çalışma şartlarına uygun olarak kullanımı önemlidir. Böylece olası bozulmalardan ve kazalar önlenebilir (Chen ve diğ., 2010).

Ekipman materyalleri ile uyumluluk

Kullanılacak sistem ekipmanlarının materyalleri, akışkan seçimi sırasında dikkate alınarak, kullanılacak akışkan ile olası bir reaksiyon vermesi, bozunması ya da korozifliğinden dolayı materyale zarar vermesini engellenmek amacı ile seçilecek olan akışkanın ekipman materyalleri ile uyumluluğu dikkate alınmalıdır.

Çevresel etkileri

Çevreye uyumu hem küresel ısınma potansiyeli (Global Warming Potential, GWP) hem de ozon tabakası tükenme potansiyeli (Ozone Depletion Potential, ODP) açısından değerlendirilmelidir (Chen ve diğ., 2010).

Tehlike ve işletilebilirlik analizi

Güvenlik değerlendirmesi yapılmalıdır. Tutuşma, zehirlilik, koroziflik, patlama limiti ve izin verilebilecek maksimum konsantrasyon değerleri belirlenmelidir (Schuster ve diğ., 2007).

Ekonomik değerlendirme

Akışkanın bulunabilirliği ve fiyatı açısından değerlendirilmelidir.

Bütün bu seçim kriterlerinin belirlenmesinden sonra, literatür üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile kombine edilen Rankine çevrimlerinde tercih edilen çalışma akışkanları belirlenmiştir. Aboelwafa ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada daha önceki çalışmaları incelemiş ve bu çalışmalarda kullanılan güneş kolektörleri, kullanılan ısı transfer akışkanları ve çalışma sıcaklıklarını belirlemişlerdir. Çizelge 4.6'da bu çalışmadan belirlenmiş olunan parabolik oluk tipi güneş kolektörülerinde kullanılan ısı transfer akışkanları ve çalışma sıcaklığı aralıkları akışkanların türlerine göre ayrılarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile kombine edilmiş organik Rankine çevrimlerinde kullanılan çalışma akışkanları (Aboelwafa ve diğerleri, 2018)

ÇALIŞMA AKIŞKANI	MAX-MİN TÜRBİN GİRİŞ SICAKLIĞI °C
İNORGANİKLER	
Su (R718)	312-390
CO2(R744)	130
NH3(R717)	150
HİDROKARBONLAR	
ETAN(R170)	70-150
PROPİLEN(R1270)	150
BÜTAN(R600)	137-170
İZOBÜTAN(R600a)	140-150
PENTAN(R601)	70-213,7
İZOPENTAN(R601a)	119-289
SİKLOPENTAN	140
HEKSAN	140-236
İZOHEKSAN	140-246
SİKLOHEKSAN	140-302
N-HEPTAN	263,7-288
BENZEN	287-294

Çizelge 4.6. (devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile kombine edilmiş organik Rankine çevrimlerinde kullanılan çalışma akışkanları (Aboelwafa ve diğerleri, 2018)

N-OKTAN	291.9
TOLUENE	280-380
O-KSİLEN	306.6
ETİLBENZEN	341.9
N-PROPİL BENZEN	360-377,34
N-BÜTİLBENZEN	388.2
ALKOLLER	
N-BUTANOL	150,3
KETONLAR	
ASETON	250-400
HİDROFLOROKARBONLAR	
R161	150
R134a	70-200
R236ea	179.1
R245fa	75-250
R245ca	110
KLOROFLOROKARBONLAR	
R12	70
R113	200-242
HİDROKLOROFLOROKARBONLAR	
R22	70
R123	180-200
PERFLOROKARBONLAR	
R218	75,7-150
HİDROFLOROOLEFİNLER	
R1234yf	115-410
R1234ze	115-140
SİLOKSANLAR	
MM	235-400
MDM	307,3-312,7
D4	280-365
D6	312,7
OMTS	300
HMDS	225
ETERLER	
DİETİLETER	200
FLORLANMIŞ ETERLER	
RE134	143,7
RE245	188,2

Bu çalışmada organik Rankine çevrimi Chemcad simülasyon programında simüle edilerek üretilebilecek elektrik belirlenmeye çalışılmıştır ve bu çalışma ilerleyen kısımlarda detaylıca anlatılmıştır. Bu kısımda araştırılan çalışma akışkanı seçim kriterlerine ve parabolik oluk tipi kolektörle yapılan deneyler sonucu elde edilen ısı değerlerine bağlı olarak kullanılabilecek çalışma akışkanları Çizelge 4.6'ya göre belirlenmiştir. Su, karbondioksit, amonyak, pentan, izopentan, bütan, izobütan, R134a, R245fa ve R218 çalışılan ısı kaynağına uygun sıcaklık aralığındaki çalışma akışkanları olarak belirlenmiştir.

5. MATERYAL VE METOT

Güneş ışınlarının parabolik oluk tipi güneş kolektörüne gelmesi ve yansıtıcı yüzeyin bu güneş ışınlarını emici boruya odaklaması sonucunda emici borunun ısınması ile güneş enerjisini içerisindeki ısı transfer akışkanına iletmesi sırasında birçok ısı transferi türü gerçekleşmektedir. Yansıtıcı yüzeyin özelliğine, emici boru materyal ve rengine, kullanılan cam borunun malzemesine bağlı olarak bazı optik kayıplar gerçekleşmektedir. Optik kayıpların olmasına bağlı olarak da termal olarak bazı kayıplar gerçekleşmektedir. Bu termal kayıplar aynı zamanda ısı transferi sırasında geçiş yapılan yüzey malzemeleri, hava akımı ve birçok şeye bağlıdır. Bu nedenle güneş enerjisinden termal güç üretiminin ne kadar yapılabildiğinin hesaplanması sırasında tüm bu durumların değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Daha sonra güneş kolektöründen alınan ısı enerjisi Rankine çeviriminde ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır ve burada da birçok termodinamik işlem gerçekleşmektedir. Bu nedenle kullanılan çalışma akışkanına, basınca, sıcaklığa bağlı olarak üretilen elektrik miktarı değişmektedir. Bu bölümde parabolik oluk tipi güneş enerjisi kolektörü ile kombine edilmiş organik Rankine çeviriminde elektrik üretiminde gerçekleşen işlemlerin matematiksel olarak hesaplaması anlatılmıştır.

Kullanılan parabolik oluk tipi güneş kolektörü Şekil 5.1'de, özellikleri ise Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Güneş ışınımı ile ilgili veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Sonrasında organik Rankine çevirimi Chemcad programı yardımı ile kurularak farklı çalışma akışkanlarına bağlı üretilecek elektrik üretimi incelenmiştir.



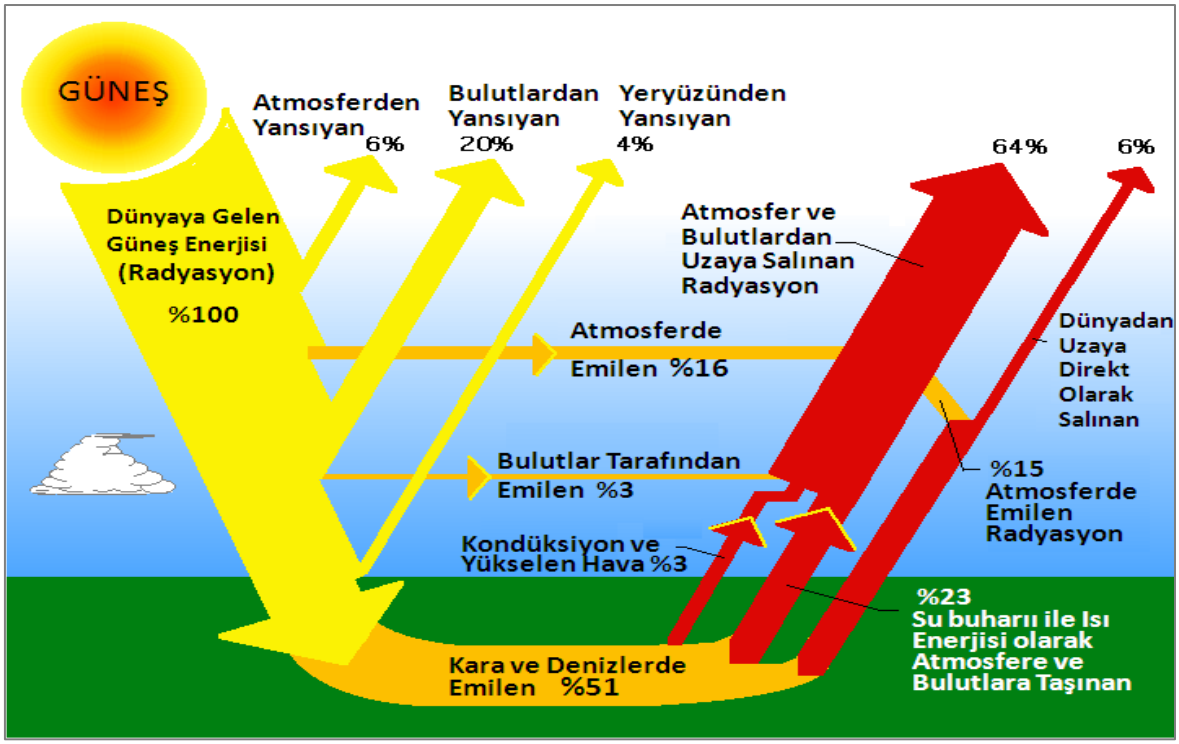
Şekil 5.1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü deney sistemi

Çizelge 5.1. Kullanılan parabolik oluk tipi güneş kolektörünün karakteristik ve teknik değerleri

Kolektör Uzunluğu	3,0 m
Kolektör Açıklığı	1,4 m
Kolektör Açıklık Alanı	4,2 m^2
Odak Uzaklığı	49 cm
Kenar Açısı	71,075°
Minimum Gerekli Emici Boru Çapı	13,7 mm
Yoğunlaştırma Oranı	%16,5
Yansıtıcı yüzey malzemesi	Parlatılmış krom nikel sac
Yansıtıcı Yüzey yansıtıcılık değeri	0,88
Kesişim faktörü	0,95
Emici boru malzemesi	Siyah mat boyalı bakır
Emici boru dış çapı	28 mm
Emici boru et kalınlığı	1 mm
Emici boru uzunluğu	3,5 m
Emici boru ısıl iletkenlik katsayısı	407 W/m.K
Emici boru emicilik değeri	%90-98
Cam örtü malzemesi	Borosilikat cam boru
Cam örtü et kalınlığı	2,5 mm
Cam örtü uzunluğu	3 m
Cam örtü ısı iletkenlik katsayısı	1,09 W/m.K
Kullanılan ısı transfer sıvısı	Gliserin
Güneş takip mekanizmesi	Manuel, Doğu-Batı eksenli

5.1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde optik verim ve analizi

Güneşten gelen ışınlar yeryüzüne ulaşmadan önce bazı kırınımlara uğrar ve azalır. Atmosferin dışında güneş şiddeti sabittir, ancak atmosferden geçerken bazı kayıplara uğrayarak yeryüzüne ulaşabilmektedir. Şekil 5.2'de güneşten gelen ışınların atmosferden yeryüzüne kadar geldiği süre içerisinde uğradığı kayıplar gösterilmiştir.



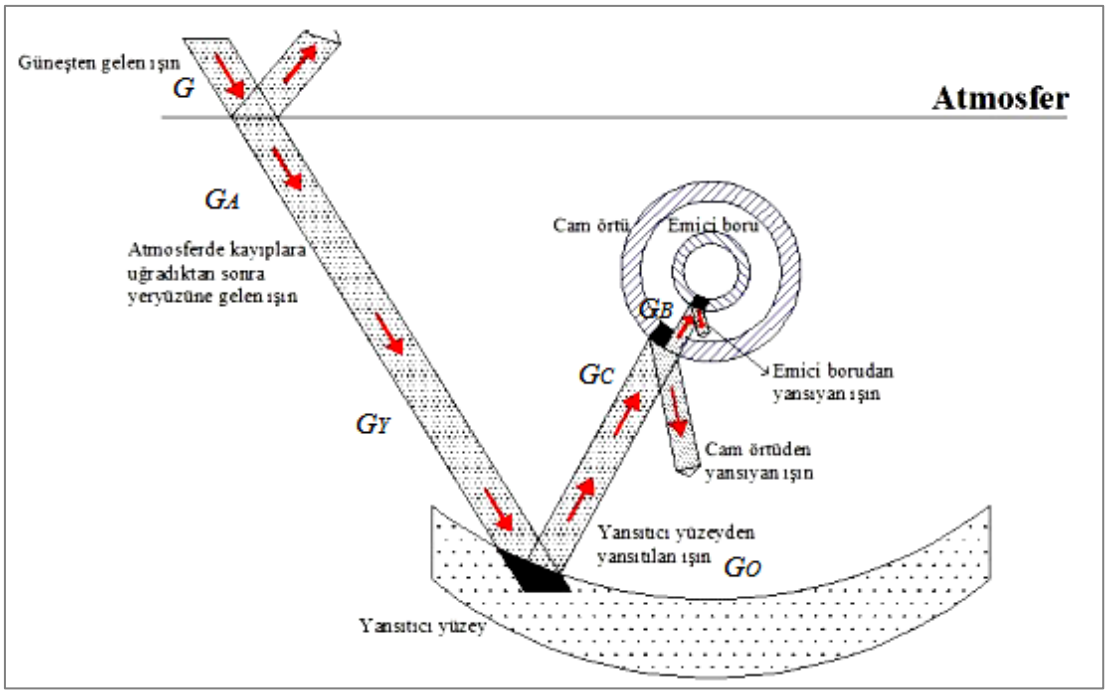
Şekil 5.2. Güneş ışınlarının yeryüzüne gelene kadar uğradığı kayıplar

Atmosferde kayıplara uğradıktan sonra yeryüzüne gelen güneş ışınlarının daha sonra yansıtıcı yüzey tarafından bir kısmı kayba uğrarken geri kalanı yansıtılır. Daha sonra yansıtılan güneş ışınları emici boru etrafındaki cam örtü tarafından geçirilirken tekrar kayba uğrar. Daha sonra emici boruya ulaşan güneş ışınları emici boru tarafından tekrar yansıtılır ve geri kalan kısmı içerisindeki ısı transfer akışkanına geçirilir. Bu nedenle güneşten gelen ışınlar ısı transfer akışkanına doğrudan ulaşmamaktadır.

Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları, yansıtıcı yüzey malzemesinin absorpsiyon katsayısına bağlı olarak yansıtıcı yüzey tarafından bir kısmı absorbe edilerek yansıtılır. İlk olarak cam boruya gelen güneş ışınları, cam malzemenin yansıtma ve absorbsiyon katsayısına bağlı olarak yansıtıcı yüzeye gelen ışınların bir kısmını geri yansıtır

bir kısmı ise absorbe edilerek geçirilir. Şekil 5.3'te ifade edilen bu durumdaki yansımalar ifade edilmiştir ve bu ışınların adlandırmaları aşağıda verilmiştir.

G_{SBT}= Güneş enerjisi sabiti (1367 W/mK)
G_A= Direkt güneş ışınımı (Atmosferde kayıplara uğradıktan sonraki)
G_Y=Yansıtıcı yüzeye dik olarak gelen güneş ışınları
G_O= Yansıtıcı yüzeyden odağa yönlendirilen güneş ışınları
G_C=Cam örtüye gelen güneş ışınları
G_B= Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınları
G_I= Boru içinde depolanan güneş ışınları



Şekil 5.3. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe güneş ışınlarının transferi (Cicibıyık, 2012)

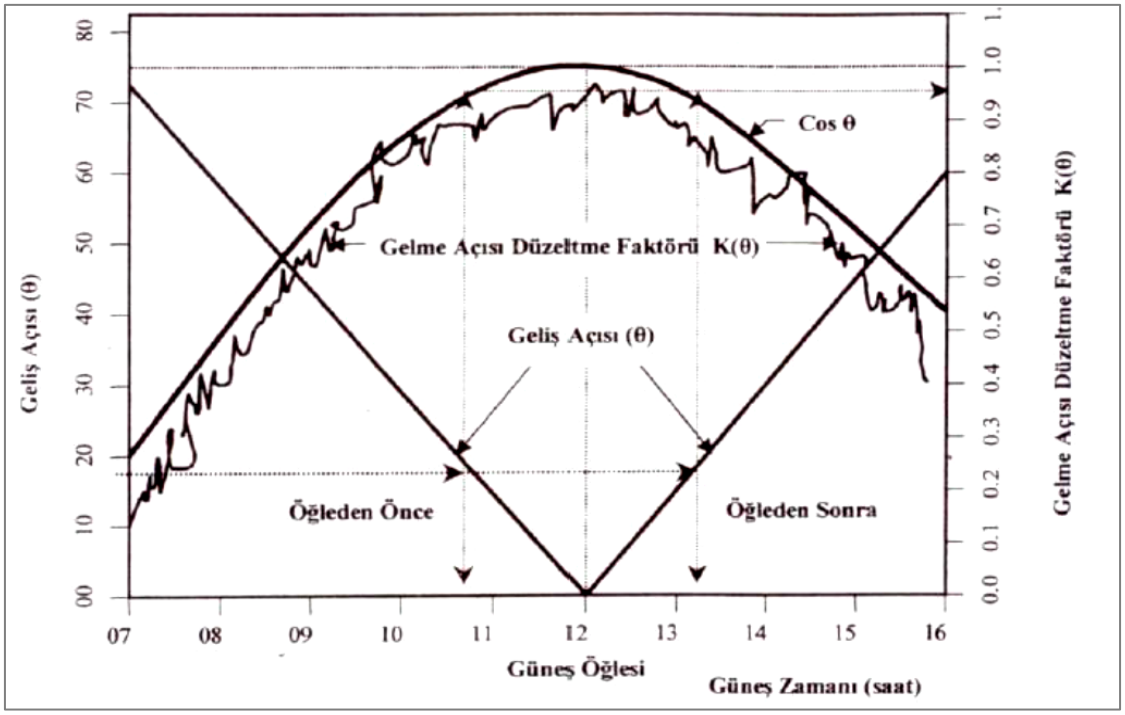
Güneş ışınlarının takip ettiği yol üzerindeki optik verimi etkileyen kademeleri incelemek gerekirse;

$$\eta_1 = \frac{G_Y}{G_A} \qquad \text{(Eş. 5.1)}$$

η_1, Gelme açısı düzeltme faktörüdür. Yansıtıcı yüzey açıklık alanına gelen ışının geliş açısının bir fonksiyonudur ve yüzey normalinden olan sapmaları hesaplamak için kullanılır (Şanlı, 2010). Gelme açısı düzeltme faktörü, literatürde K olarak gösterilmektedir ve

$$K = \cos(\theta) \qquad \text{(Eş. 5.2)}$$

şeklinde hesaplanır. Gelme açısı düzeltme faktörünün belirlenmesi için TS 9449 standartları kullanılmaktadır ve literatürde parabolik oluk tipi güneş kolektörlerine ait verilerden elde edilen gelme açısı düzeltme faktörü, K'nın değişimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi (Duffie ve Beckman, 2006)

$\eta_2 = \frac{G_O}{G_Y}$: Yansıtıcı yüzey yansıtma verimi (Eş. 5.3)

$\eta_3 = \frac{G_C}{G_O}$: Yansıtıcı yüzey odaklama verimi (Kesişim faktörü) (Eş. 5.4)

Kesişim faktörü, parabolik yansıtıcı yüzey tarafından yansıtılan güneş ışınlarının emici yüzeyde toplanan kısmını ifade etmektedir. Genel olarak ($\geq 0{,}9$) 'dur, ancak yansıtıcı yüzeyin kirli olduğu durumlarda bu değer düşmektedir. Bu nedenle deneysel çalışma sürecinde düzenli olarak yansıtıcı yüzey temizlenmiştir.

$\eta_4 = \frac{G_B}{G_C}$: Cam örtü optik verimi (Eş. 5.5)

$\eta_5 = \frac{G_I}{G_B}$: Emici boru optik verimi (Eş. 5.6)

Yansıtıcı yüzey yansıtma verimi, cam örtü optik verimi ve emici boru optik verimi (η_2, η_4, η_5) kolektör imalatında kullanılan malzemelere bağlı olarak değişmektedir.

Bunlara bağlı olarak optik verim hesabı Eşitlik 5.7 ile gösterilmiştir.

$\eta_{optik=}\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4\eta_5$ (Eş. 5.7)

Aynı zamanda emici boruda depolanan faydalı güneş ısısının, sisteme direkt olarak gelen güneş ışınlarına oranı optik verim olarak tanımlanır ve buna göre optik verim Eşitlik 5.8 ile hesaplanır.

$\eta_{optik} = \frac{G_I}{G_A}$ (Eş. 5.8)

Emici boruya gelen kullanılabilir enerji(Q_G),

$Q_G=G_A\eta_{optik} = G_A\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4\eta_5$ (Eş. 5.9)

$G_O = G_A\rho\gamma\eta_1$ (Eş. 5.10)

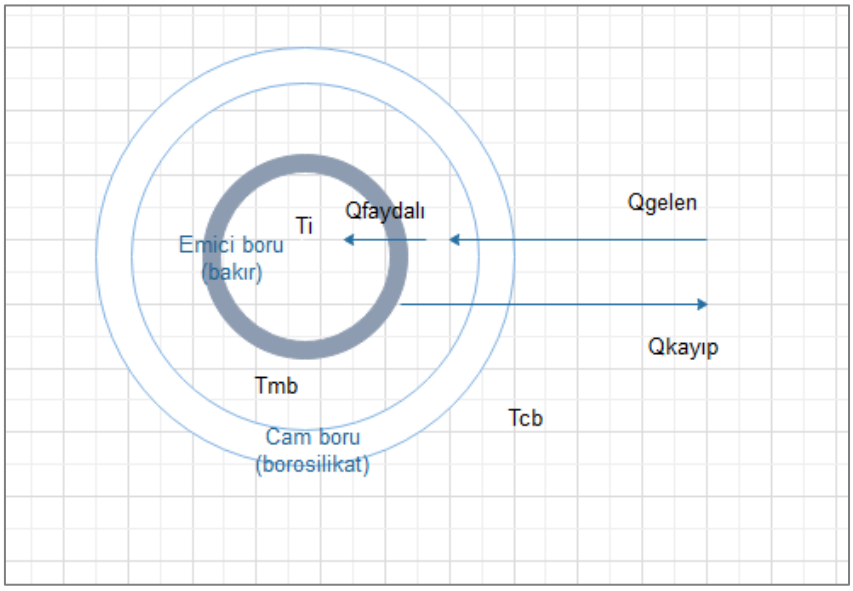
$G_B = G_O\tau_{CB}\eta_3$ (Eş. 5.11)

$Q_G = G_I = G_B\alpha_{MB}$ (Eş. 5.12)

olarak ifade edilir ve burada ifade edilen ρ ifadesi yansıtıcılığı, γ ifadesi yüzey azimut açısını, τ_{CB} ifadesi cam borunun geçirgenliğini ve α_{MB} ifadesi emici borunun emicilik değerini göstermektedir. Bu hesaplama yöntemleri kullanılarak güneşten gelen ışınların emici boruya aktarılana kadar uğrayacağı optik kayıplar ve emici boru yüzeyine güneşten gelen ısı miktarı hesaplanabilmektedir.

5.2. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe termal verim analizi

Güneş ışınları atmosferde kayıplara uğradıktan sonra yeryüzüne ulaşır ve parabolik yüzey tarafından odak noktasında bulunan emici boruya yansıtılır. Emici boruda güneş ışınları absorbe edilir ve böylece güneş ışınları ısı enerjisi olarak ısı transfer akışkanına aktarılır. Sıcaklığı yükselen emici boru ile çevre arasındaki sıcaklık farkından dolayı sıcak emici borudan düşük sıcaklıktaki çevreye doğru ısı transferi gerçekleşir. Akışkandan çevreye olan bu ısı transferi Şekil 5.5.'te gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



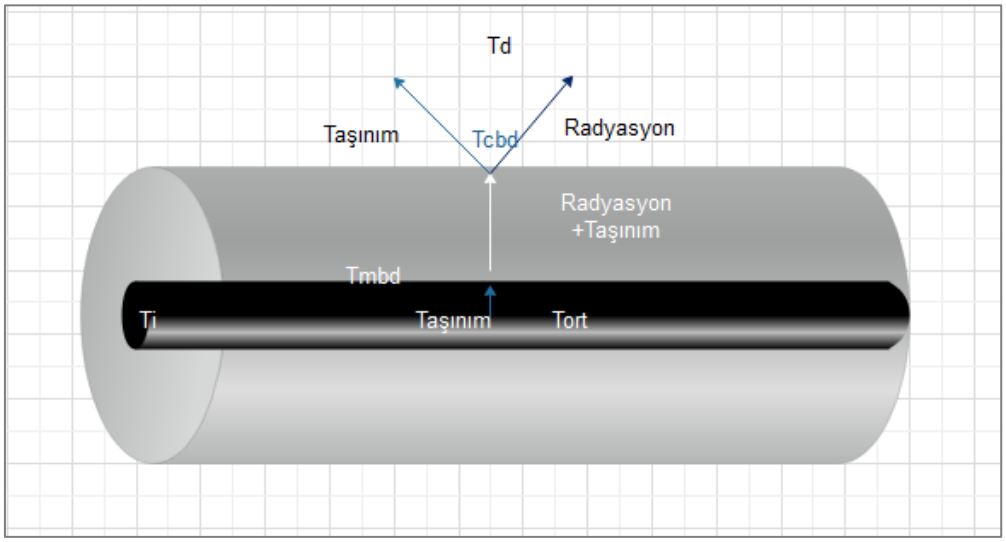
Şekil 5.5. Parabolik oluk kolektörde ısı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması

Parabolik oluk kolektörde ısı transfer akışkanından çevreye olan ısı transferi süreci aşağıda verilen sırada gerçekleşir.

- Isı transfer akışkanı ile emici boru arasında taşınım ile ısı transferi
- Emici boru iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasında et kalınlığı boyunca iletimle ısı transferi
- Emici boru dış yüzeyi ile cam örtü iç yüzeyi arasında taşınım ve radyasyon ile ısı transferi
- Cam örtü iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında iletimle ısı transferi
- Cam örtü dış yüzeyiyle çevre arasında hem taşınım hem de radyasyonla ısı transferi şeklinde gerçekleşmektedir.

Parabolik oluk güneş kolektöründe ısı transferi sırasında gerçekleşen termal dirençler Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Tüm bu ısı transfer mekanizması sonucunda gelen güneş ışınlarından

ısı transfer akışkanının ne kadar verimli olarak ısındığının analizinin yapılması termal olarak sistemin verimliliğini belirlemek için çok önemlidir.



Şekil 5.6. Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ısı transferi termal direnç akımı gösterimi

Emici boru ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça termal kayıplar artar bu nedenle emici borudan çevreye olan ısı kaybını Q_k olarak tanımlanırsa emici boru ile cam örtünün iç yüzeyi arasındaki radyasyon ve taşınım ile olan ısı transferi toplamına eşit olduğu görülmektedir (Duffie ve Beckman, 2006.)

$$Q_k=\frac{2\pi k_{eff}L}{\ln(\frac{d_{cbi}}{d_{mbd}})}(T_{mbd}-T_{cbi})+\frac{\pi d_{mbd}L\sigma(T_{mbd}^4-T_{cbi}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{mb}}+\frac{1-\varepsilon_{cb}}{\varepsilon_{cb}}+(\frac{d_{mbd}}{d_{cbi}})} \quad \text{(Eş. 5.13)}$$

Bu denklem düzenlenirse;

$$Q_k=A_{mbd}[h_{ar,t}+h_{ar,r}](T_{mbd}-T_{cbi}) \quad \text{(Eş. 5.14)}$$

haline gelir ve bu denklemdeki $h_{ar,t}$ taşınım ile olan ısı transfer katsayısını gösterir. Termal verimin hesaplanması için sırasıyla emici boru iç ve dış sıcaklığı hesaplaması yapılır.

5.2.1. Emici boru iç ve dış sıcaklığının hesaplanması

Emici boru içerisinden akan ısı transfer akışkanın girişteki ve çıkıştaki sıcaklıkları ısıl çiftler ile ölçülebilir durumdadır; ancak iç ve dış yüzey sıcaklığı hesaplanarak bulunmaktadır. Bu

nedenle ilk olarak kullanılacak olan ısı transfer akışkanının giriş ve çıkış sıcaklıklarından hesaplanan yığın sıcaklığına ait termal özellikleri belirlenmelidir (Cicibıyık,2012). Daha sonra hacimsel akış hızı bilenen ısı transfer akışkanın çizgisel hızı hesaplanmalıdır. Hesaplanan çizgisel hız Reynolds sayısının belirlenmesinde kullanılır. Farklı akış hızlarında yapılan deneysel çalışmada her deney için hesaplanan Reynolds sayıları EK-5'te verilmiştir. Termal özellikleri bilinen ısı transfer akışkanı için Prandlt sayısı da hesaplandıktan sonra Nusselt sayısı belirlenir.

$$Re = \frac{d.v.\rho}{\mu} \quad \text{(Eş. 5.15)}$$

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mathrm{Cp}.\mu}{\mathrm{k}} \quad \text{(Eş. 5.16)}$$

$$Nu = 1.86(RePr)^{1/3}(\frac{d}{L})^{1/3}(\frac{\mu}{\mu duvar})^{0,14} \quad \text{(Eş. 5.17)}$$

$$Nu = \frac{h_i d_{mbi}}{k} \quad \text{(Eş. 5.18)}$$

Nusselt sayılarının birbirine eşitlenmesi ile $h_i, \frac{W}{m^2 K}$, ısı transfer akışkanının ısıl iletkenlik katsayısı belirlenir.

$$h_i = \frac{Nu\ .k}{d_{mbi}} \quad \text{(Eş. 5.19)}$$

Güneş ışınları tarafından emici boruya gelen faydalı ısı, emci borunun iç yüzeyinden ısı transfer akışkanına taşınım yolu ile aktarılır. Faydalı ısı şu şekilde hesaplanır;

$$Q_{faydalı} = hi * A_{MBİ} * \Delta T \quad \text{(Eş. 5.20)}$$

Bu ifadedeki $A_{MBİ}$, emici borunun iç alanını belirtmektedir ve ΔT sıcaklık farkı emici boru iç yüzeyi ile ısı transfer akışkanının ortalama sıcaklığı arasındaki farktır. $A_{MBİ}$ hesabı şu şekilde yapılır;

$$A_{MBİ} = (\Pi d_{mbi} L), m^2 \quad \text{(Eş. 5.21)}$$

$$Q_{faydalı} = h_i A_{mbi}(T_{mbi} - T_{ort}) \quad \text{(Eş. 5.22)}$$

Faydalı ısı emici borudan içerisinde akan ısı transfer akışkanına, borunun et kalınlığı boyunca kondüksiyon yolu ile iletilir.

$$Q_{faydalı} = \frac{\pi*(d_{LM})_{mb}*L*k_{mb}}{\Delta x_{mb}} (T_{mbd-}T_{mbi}) \quad \text{(Eş. 5.23)}$$

Eş. 5.23 'de ki Δx_{mb}, emici boru et kalınlığını ve k_{mb} ise emici borunun ısıl iletkenlik katsayısını belirtmektedir. Eş. 5.23 'te bilinen değerlerin yerine koyulması ile emici boru dış yüzey sıcaklığı, T_{mbd}, hesaplanır.

5.2.2. Cam örtü iç ve dış sıcaklığının hesaplanması

Emici boru dış sıcaklığı hesaplandıktan sonra emici boru ile cam örtü arasında ısı transfer mekanizması incelenerek cam örtünün iç ve dış sıcaklıkları hesaplanır. Emici boru ile cam örtü arasında hem iletim hem taşınım hem de radyasyonla ısı transferi gerçekleşir. Ancak bu bölge vakumlanarak birleştirildiği için taşınım ile olan ısı transferi ihmal edilebilir.

Cam örtüden çevreye radyasyon ile ısı transfer katsayısı olan $h_{d,r}$ Eş. 5.24 ile hesaplanır.

$$h_{d,r} = \frac{\varepsilon_{CB}\sigma({T_{CBD}}^4-{T_{tank}}^4)}{(T_{CBD}-T_{tank})} \quad \text{(Eş. 5.24)}$$

Eşitlikteki "ε_{CB}" ifadesi cam örtünün ısı yayıcılık katsayısını, "σ" ise Boltzman sabitini, $\frac{W}{m^2K^4}$ ifade etmektedir

Cam örtüden çevreye olan taşınımla ısı transferi kaysayısı $h_{d,t}$hesaplanması için ilk olarak hava için Reynolds sayısı hesaplanır.

$$Re = \frac{d_{CB}v_d\rho_{hava}}{\mu_{hava}} \quad \text{(Eş. 5.25)}$$

hesaplanan Reynolds sayısının aralığına bağlı olarak Nusselt sayısı hesabı yapılır.

$$\text{Nu}= 0{,}40 + 0{,}54Re^{0{,}52}\ için\ 0{,}1 < Re < 1000 \quad \text{(Eş. 5.26)}$$

$$\text{Nu}= 0{,}30Re^{0{,}6} \text{ için } 1000<\text{Re}<50000 \quad \text{(Eş. 5.27)}$$

$$Nu = \frac{h_{d,t} d_{CBD}}{k_{hava}} \quad \text{(Eş. 5.28)}$$

İki Nusselt sayısı eşitlenerek cam örtüden çevreye taşınım ile ısı transfer katsayısı olan $h_{d,t}$, $\frac{W}{m^2 K}$ hesaplanır.

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan termal kayıp;

Güneş ışınlarının etkisi ile ısınan emici boru cam örtünün de ısınmasına neden olur ve yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından düşük sıcaklıktaki ortama ısı transferi gerçekleşir bu nedenle cam örtüden çevreye ısı kaybı gerçekleşmektedir. Bu ısı kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_k = A_{mbd} \left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}\right) \left[h_{d,t} + h_{d,r}\right](T_{CBD} - T_D) \quad \text{(Eş. 5.29)}$$

Cam örtü et kalınlığından olan iletimle ısı transferi denkleminden $T_{CBİ}$ hesaplanır.

$$Q_k = A_{mbd} \left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}\right) \frac{T_{CBİ} - T_{CBD}}{R_{CB}} \quad \text{(Eş. 5.30)}$$

$$R_{CB} = \frac{X_{CB} d_{cbd}}{k_{cb} * (d_{LM})_{CB}} \quad \text{(Eş. 5.31)}$$

Metal boru dış yüzeyi ile cam örtü arasındaki taşınım ve radyasyon ile oluşan termal kaybın hesaplanması için aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$Ra = \frac{\rho ß \Delta T l^3}{\alpha v} \quad \text{(Eş. 5.32)}$$

$$\Delta T = T_{MBD} - T_{CBİ} \quad \text{(Eş. 5.33)}$$

$$T_{MB,CD} = \frac{T_{MBD} + T_{CBİ}}{2} \quad \text{(Eş. 5.34)}$$

$$ß = \left(\frac{1}{T_{MB,CD}}\right) \quad \text{(Eş. 5.35)}$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp} \quad \text{(Eş. 5.36)}$$

$$v = \frac{\mu hava}{\rho_{hava}} \quad \text{(Eş. 5.37)}$$

v, emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{MB,CD}$ sıcaklığındaki kinematik viskozitesidir.

$$L = \frac{d_{CBi} - d_{mbd}}{2} \quad \text{(Eş. 5.38)}$$

Bu ifadelerin yerine koyulması ile Rayleigh (Ra) sayısı hesaplanır (Raitby ve Hollands, 1975).

$$Ra^* = \frac{[ln(\frac{d_{cbi}}{d_{mbd}})]^4}{l^3({d_{mbd}}^{3/5} + {d_{cbi}}^{3/5})^5} Ra \quad \text{(Eş. 5.39)}$$

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0.386(\frac{Pr\ x\ Ra^*}{0{,}861 + Pr})^{1/4} \quad \text{(Eş. 5.40)}$$

Taşınım ile olan ısı transfer katsayısı, $h_{ar,t}, \frac{W}{m^2 K}$ şu şekilde hesaplanır;

$$h_{ar,t} = \frac{k_{eff}(d_{LM})_{ar}}{x_{ar} d_{mbd}} \quad \text{(Eş. 5.41)}$$

Radyasyon ile olan ısı transfer katsayısının hesaplanması için ısıl ışıma katsayısı, C_{ar} hesaplanır

$$C_{ar} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{mb}} + \frac{1-\varepsilon_{cb}}{\varepsilon_{cb}}(\frac{d_{mbd}}{d_{cbi}})} \quad \text{(Eş. 5.42)}$$

$$h_{ar,r} = \frac{C_{ar}\sigma({T_{MBD}}^4 - {T_{CBi}}^4)}{(T_{MBD} - T_{CBi})} \quad \text{(Eş. 5.43)}$$

$$Q_k = A_{mbd}\left[h_{ar,t} + h_{ar,r}\right](T_{mbd} - T_{cbi}) \quad \text{(Eş. 5.44)}$$

İki farklı şekilde hesaplanan ısı kaybı miktarının eşitlenerek, T_{CBD} sıcaklığı bulunur.

5.2.3. Termal verim hesabı

Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı, U_{MBD} hesaplanır.

$$U_{MBD} = (\frac{1}{h_{ar,t}+h_{ar,r}}) + \frac{1}{(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}})\frac{1}{R_{CB}}} + \frac{1}{\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}(h_{d,t}+h_{d,r})} \quad \text{(Eş. 5.45)}$$

Toplu ısı kayıp katsayısının hesaplanmasından sonra emici boru dış çapı ve sıcaklığı Eş. 5.46 ile hesaplanır.

$$Q_{kayıp} = A_{MBD} * U_{MBD} * (T_{MBD} - T_{tank}) \quad \text{(Eş. 5.46)}$$

Emici boruya gelen kullanılabilir enerji, Q_{gelen}'dir. Isı transfer akışkanına aktarılan faydalı enerji, $Q_{faydalı}$ ve emici boru ile çevre arasında oluşan termal kayıp $Q_{kayıp}$'tır.

$$Q_{Gelen} = Q_{Faydalı} + Q_{Kayıp} \quad \text{(Eş. 5.47)}$$

Sistemin termal verimi, η_{termal}, ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısının emici boruya gelen kullanılabilir enerjiye oranı ile bulunabilir.

$$\eta_{termal} = \frac{Q_{Faydalı}}{Q_{Gelen}} x100 \quad \text{(Eş. 5.48)}$$

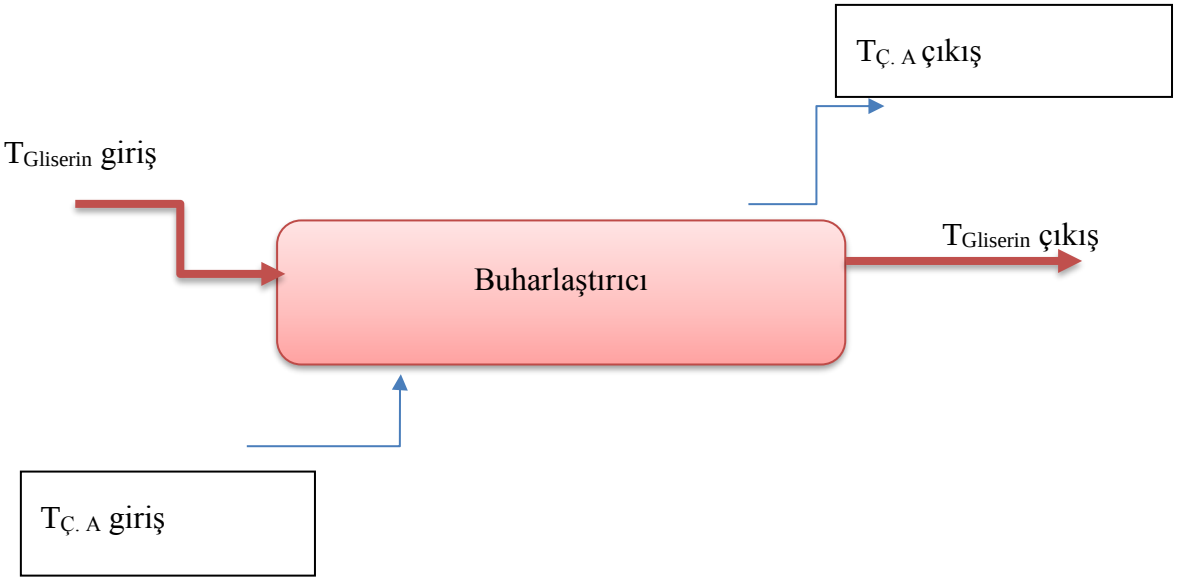
5.3. Organik Rankine Çevriminde Verim Hesabı ve Elektrik Üretim Analizi

Isı kaynağı olarak kullanılan parabolik oluk tipi güneş kolektöründen elde edilen ısı, elektrik üretim çevrimlerinde farklı bir çalışma akışkanına ısının aktarılması ile kullanılabilmektedir. Parabolik oluk tipi kolektörde sıcaklığı artan ısı transfer akışkanı Rankine çevriminde kullanılan düşük kaynama noktasına sahip organik akışkanı kızgın buhar haline getirir. Elde edilen kızgın buhar, buhar türbinini çevirerek enerjisini aktarır ve doygun buhar şartlarına gelerek türbinden çıkar. Türbin kazandığı hareket enerjisini bir jeneratöre aktararak buradan elektrik elde eder. Türbinden çıkan doygun buhar, yoğuşturucuda yoğunlaştırılarak pompa yardımı ile buharlaştırıcıya gönderilerek çevrim sağlanmış olunur.

Bu çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ısı transfer akışkanı olarak gliserin kullanılmıştır. Kazanılan ısı ile ne kadar elektrik üretilebileceğini gözlemlemek amacıyla

Chemcad programında organik Rankine çevrimi simülasyonu oluşturulmuştur. Çalışma akışkanı olarak kolay bulunabilen düşük kaynama noktasına sahip organik çalışma akışkanları seçilerek denenmiş ve buna bağlı ne kadar elektrik üretimi yapılabileceği gözlemlenmiştir.

Kullanılan çalışma akışkanının kütlesel akış hızı her çevrimde beslenen ısı miktarına bağlı olarak değişmektedir bu nedenle kolektörden gelen ısının çalışma akışkanını ısıttığı ekipman olan buharlaştırıcı etrafında ısı denkliği kurulmuştur. Şekil 5.7'de buharlaştırıcıya giren ve çıkan akımlar gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Buharlaştırıcı giriş ve çıkış akımları

Kullanılan ısı değiştirici türü olarak "Shell and tube single effect evaporator" Chemcad programında kullanılmıştır. Kabuk tarafından faz değiştiren akışkan akar ve bu nedenle kabuk tarafından çalışma akışkanı akacaktır. Tüp tarafından ise kolektörden gelen ısı kaynağı olan gliserin akar ve soğutucu akışkanı buharlaştırarak tekrar kolektöre beslenir.

Burada ısı denkliği kurulduğunda;

$$Q_{SICAK} = Q_{SOĞUK} \qquad \text{(Eş. 5.49)}$$

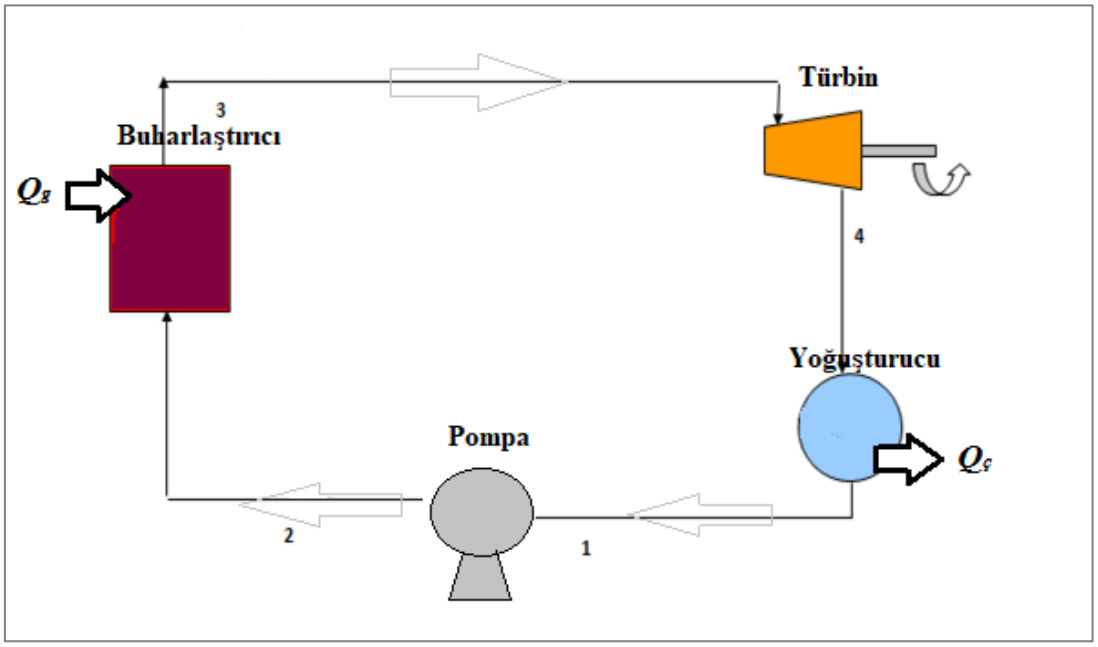
$$Q_{SICAK} = m_{gliserin} * Cp_{,gliserin} * \Delta T_{gliserin} \qquad \text{(Eş. 5.50)}$$

$\Delta T_{Gliserin} = (T_{gliserin\ giriş} - T_{gliserin\ çıkış})$ (Eş. 5.51)

Burada $T_{gliserin,\ giriş}$ parabolik sistemden çıkan gliserin sıcaklığıdır ve deneysel olarak ölçülmüştür.

$Q_{SOĞUK} = m_{soğutucu} * \lambda_{soğutucu}$ (Eş. 5.52)

Bu iki ısı eşitliğinin birbirine eşitlenmesi sonucunda soğuk akışkan olan çalışma akışkanının kütlesel akış hızı hesaplanmış olunur.



Şekil 5.8. Organik Rankine çevrimi gösterimi

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründen gelen ısı etkisiyle buharlaşan çalışma akışkanı belli bir akış hızında, kg/s çevrimde dolaşır. Bu sırada ekipmanlarda uğradığı değişimler sonucunda o ekipmanın çıkışındaki akımda o özelliklere sahip olarak dolaşarak enerjisini aktarır.

1 numaralı akımda sıcaklığı ve basıncı bilinen doygun sıvı pompaya girer ve burada kızgın buhar basıncına göre basıncı artar.

2 numaralı akımda: pompadan çıkan akışkanın basıncı arttığı için bir miktar sıcaklığı artar. Güneş kolektöründe dolaşan ısı transfer akışkanının ısısı ile buharlaşmak üzere buharlaştırıcıya girer.

3 numaralı akımda: kızgın buhar durumundaki çalışma akışkanı türbine girerek genişler ve böylece enerjisini aktarır.

4 numaralı akımda enerjisini aktararak doygun buhar olarak sıcaklığı ve basıncı düşmüş olarak çıkan çalışma akışkanı sıvı faza geçmesi için yoğuşturucuda yoğuşturulur. Böylece tekrar 1 numaralı akımdaki sıcaklık ve basınca gelen çalışma akışkanı çevrimde sürekli dolaştırılarak elektrik üretimi yapılır.

$$W_{pompa} = v_1(P_2 - P_1) \quad \text{(Eş. 5.53)}$$

Buharlaştırıcıda sisteme giren ısı miktarı; $\dot{Q}_g$:

$$\dot{Q}_g = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad \text{(Eş. 5.54)}$$

Yoğuşturucuda sistemden çıkan ısı miktarı $\dot{Q}_ç$:

$$\dot{Q}_ç = \dot{m}(h_4 - h_1) \quad \text{(Eş. 5.55)}$$

Türbinden alınan iş, $W_{türbin}$:

$$\dot{W}_{türbin} = \dot{Q}_ç = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad \text{(Eş. 5.56)}$$

Sistemden elde edilen net iş, W_{net}:

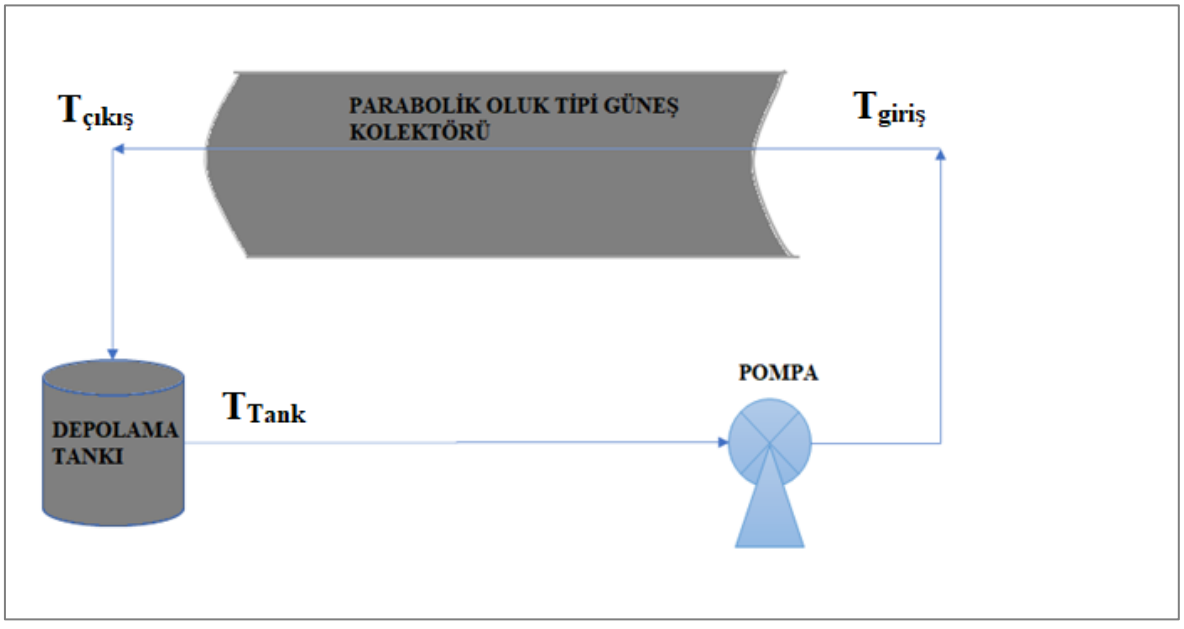
$$W_{net} = W_{türbin} - W_{pompa} = Q_g - Q_ç \quad \text{(Eş. 5.57)}$$

Termal verim, $\eta_{Termal}=\frac{W_{net}}{Q_g}\ x\ 100$ şeklinde hesaplanır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Deneysel Sistemin ve Simülasyon Metodunun Tanıtılması

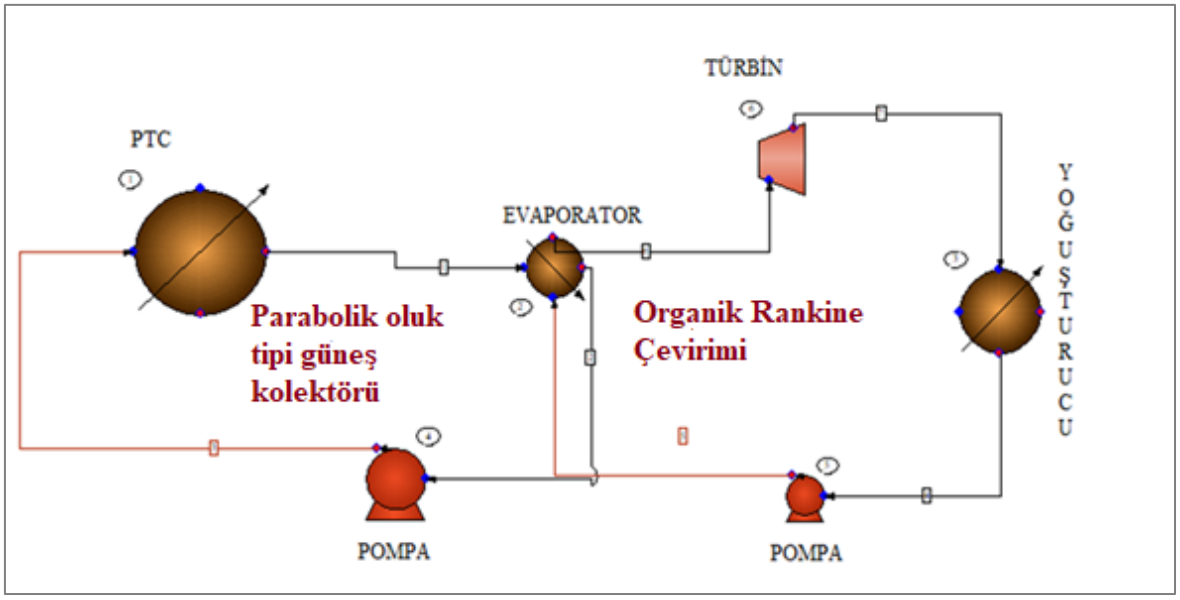
Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektörü kullanılarak elektrik üretilmesi üzerine çalışılmıştır. Şekil 6.1'de gösterilen deneysel sistemin şematik gösteriminde de olduğu gibi, parabol şeklinde parlatılmış krom saç plakadan oluşan kolektör güneş ışınlarını odak merkezi boyunca uzanan ve güneş ışınlarını iyi absorbe etmesi için mat siyah boya ile boyanmış bakır boruya yansıtılır. Güneş ışınları etkisi ile ısınan emici boru ısısını içerisinden akan ısı transfer akışkanı olan gliserine aktarır. Kolektörde emici boru giriş ve çıkışına yerleştirilen PT100 ısıl çiftler yardımı ile giriş sıcaklıkları ve depolama tankının sıcaklıkları kaydedilmiştir. Böylece ısı transfer akışkanının kolektör boyunca ne kadar ısındığı gözlenmiştir. Daha sonra kolektör çıkışından 100 L hacminde paslanmaz çelikten yapılmış sıvı depolama tankına gönderilen ısı transfer akışkanı çevrimin devamlı olarak tekrarlanabilmesi için Mega Products marka 0,375 kW gücünde ve 10 L/dk akış hızına sahip santrifüjlü pompa yardımıyla pompalanarak tekrar kolektöre girerek ısınması sağlanmıştır.



Şekil 6.1. Deneysel çalışma sisteminin şematik gösterimi

Isı transfer akışkanının farklı akış hızlarında sistemden geçişi sırasında ısınmasının izlendiği bu deneysel çalışmada hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli güneş ışınım değerleri, hava

sıcaklık değerleri ve rüzgâr hızı değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Kolektörden elde edilen ısının ikincil bir sistemde girdi olarak kullanılması ile elektrik üretimi analizinin yapıldığı ikinci kısımda ise Chemcad programı üzerinde bir organik Rankine çevirimi oluşturulmuş ve günlük olarak değişen sıcaklık ortalamaları ısı girdisi olarak kullanılmıştır. Chemcad programında oluşturulan organik Rankine çevriminin şematik gösterimi Şekil 6.2'de verilmiştir. Elektrik üretiminde farklı çalışma akışkanlarının verimini incelemek amacıyla çalışma akışkanı olarak R134a, bütan, izobütan, pentan ve izopentan kullanılmıştır. Farklı akış hızlarında kullanılan bu çalışma akışkanları ile organik Rankine çeviriminde elektrik üretimi analiz edilmiştir.



Şekil 6.2. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi ile kombine edilmiş organik Rankine çeviriminin şematik gösterimi

6.2. Deneysel veriler

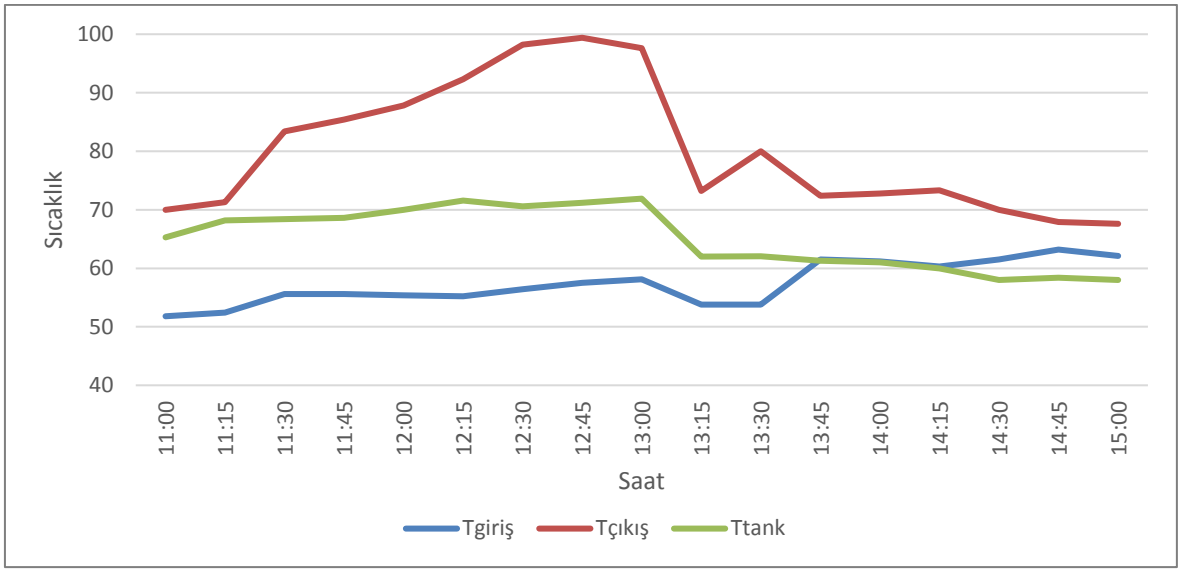
Deneysel çalışmalar kapsamında parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile yapılan deneysel çalışmalarda, ısı transfer akışkanı olarak gliserin kullanımı incelenmiştir. Gliserinin emici boru içerisinden farklı hacimsel akış hızlarında geçirilmesi sonucunda ne kadar ısınacağı gözlenmiştir. Bu amaç ile parabolik oluk tipi güneş kolektörünün emici borusunun giriş ve çıkışına iki adet PT100 ısıl çift yerleştirilmiş ve 11:00-15:00 saatleri arasında 15 dakikalık ara ile sıcaklık verileri alınmıştır. Depolama tankı içerisine de bir adet ısıl çift yerleştirilerek ısınan gliserinin depolama tankındaki sıcaklık değişimi gözlemlenmiştir.

Alınan verilere örnek olarak 1 Eylül 2020 tarihinde yapılan deneysel çalışmanın sonuçları Çizelge 6.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. 1 Eylül 2020 0,4 L/dk akış hızlı deneysel çalışma sonuçları

$Saat$	$T_{GİRİŞ}$ ℃	$T_{ÇIKIŞ}$ ℃	T_{TANK} ℃	ΔT ℃	Akış hızı L/dk
11:00	51,8	70	65,3	18,2	0,4
11:15	52,4	71,3	68,2	18,9	0,4
11:30	55,6	83,4	68,4	27,8	0,4
11:45	55,6	85,4	68,6	29,8	0,4
12:00	55,4	87,8	70	32,4	0,4
12:15	55,2	92,3	71,6	37,1	0,4
12:30	56,4	98,2	70,6	41,8	0,4
12:45	57,5	99,4	71,2	41,9	0,4
13:00	58,1	97,6	71,9	39,5	0,4
13:15	53,8	73,2	62	19,4	0,4
13:30	53,8	80	62,06	26,2	0,4
13:45	61,5	72,4	61,3	10,9	0,4
14:00	61,2	72,8	61	11,6	0,4
14:15	60,3	73,3	60	13,0	0,4
14:30	61,5	70	58	8,5	0,4
14:45	63,2	67,9	58,4	4,7	0,4
15:00	62,1	67,6	58	5,5	0,4

Deneysel çalışma sırasında gliserinin akış hızı 0,2/0,4/0,5/0,6/0,8/1,0 L/dk. akış hızında ayarlanarak deneyler en az iki kere en çok dört kere tekrarlanmıştır. Çizelge 6.1 ve Şekil 6.3.'de 1 Eylül 2020 tarihli deneysel veri sonuçları verilmiştir ve diğer deneysel veriler EK-1'de verilmiştir. Elde edilen sıcaklık verilerinden termal verim hesabının yapılabilmesi için gerekli saatlik direkt güneş radyasyon verisi, rüzgâr hızı ve sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır ve 1 Eylül 2020 tarihine ait veriler Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3.'te verilmiştir.



Şekil 6.3. 1 Eylül 2020 tarihli 0,4 L/dk akış hızlı deneysel çalışma sıcaklık değişim grafiği

Çizelge 6.2. 1 Eylül 2020 Tarihli Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara bölgesi 17130 numaralı istasyondan alınan saatlik direkt güneş radyasyon değerleri

Saat	Saat GMT+3	Saatlik Direkt Güneş Radyasyonu W/m^2
3	6	26,2
4	7	145,5
5	8	349,4
6	9	540,2
7	10	697,9
8	11	796,3
9	12	842,4
10	13	854,4
11	14	573,2
12	15	472,8
13	16	376,3
14	17	215,8
15	18	80,2
16	19	0,4

Çizelge 6.3. 1 Eylül 2020 Tarihli Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara bölgesi 17130 numaralı istasyondan alınan Rüzgâr hızı (m/sn), Sıcaklık(°C) verileri

Saat	Rüzgâr hızı m/sn	Sıcaklık °C
0	2.6	22,4
1	1.5	21,8
2	1.0	21,6
3	0.5	21,0
4	1.5	21,8
5	1.5	24,2
6	2.1	26,3
7	1.0	29,1
8	1.0	32,1
9	1.0	34,1
10	1.0	33,5
11	2.1	35,3
12	1.0	34,6
13	1.5	34,9
14	2.1	34,2
15	0.5	34,2
16	1.0	32,6
17	0.0	29,2
18	0.0	27,0
19	1.5	26,2
20	1.5	24,7
21	2.6	25,0
22	2.1	24,1
23	1.5	23,0

Elde edilen deneysel veriler ve meteorolojik verilerin kullanılarak termal ve optik verimin belirlenmesi için yapılması gereken hesapların nasıl yapıldığı ile ilgili örnek bir hesaplama aşağıdaki bölümde gösterilmiştir.

6.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Optik ve Termal Analizleri

Faydalı ısı hesabı:

01.09.2020, Saat 12:45 deney verileri

Isı transfer akışkanı: Gliserin

Hacimsel akış hızı: 0,4 L/dk

$T_{giriş}$=57,5℃

$T_{çıkış}$=99,4℃

$\Delta T = 41{,}9℃$

T_{tank}: 71,2℃

G_A= 842,40 W/m^2 (Günlük direkt güneş radyasyon ortalamasıdır ve Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler kullanılmıştır).

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ölçülen ısı transfer sıvısı giriş ve çıkış sıcaklıklarından faydalanılarak ısı transfer akışkanında kazanılan faydalı ısı miktarını hesaplayabilmek için kullanılan ısı transfer akışkanının sıcaklığa bağlı değişen özellikleri Chemcad simülasyon programından alınan veriler yardımıyla detaylıca hesaplanmıştır.

Gliserinin yoğunluğu sıcaklığa bağlı olarak değişeceği için ortalama sıcaklık için bir yoğunluk hesabı yapılır. Chemcad version 7.0 programında gliserin için termofiziksel özellikleri hesaplamak için kullanılan denklemler yardımı ile sıcaklığa bağlı yoğunluk hesabı yapılır.

$$\rho_{gliserin} = \frac{A}{B^{[1+\left(1-\frac{T}{C}\right)]^D}} \qquad \text{(Eş. 6.1)}$$

Gliserinin, sıcaklığa bağlı yoğunluk hesabını yapmak için kullanılan Eş. 6.1'de ki sabit katsayılar aşağıdaki gibidir:

A=0,92382

B=0,24386

C=850

D=0,2214

$$\text{Tort} = \frac{\text{Tgiriş+Tçıkış}}{2} \qquad \text{(Eş. 6.2)}$$

$$\text{Tort} = \frac{57{,}5 + 99{,}4}{2} = 78{,}45℃$$

Eş.6.2 ile ortalama sıcaklığın hesaplanmıştır ve gliserinin sıcaklığa bağlı yoğunluk hesabı Eş.6.1 ile yapılmıştır.

$$\rho gliserin = 1388{,}49\ \frac{kg}{m^3}$$

Kütlesel akış hızı = 0.4 $\frac{L}{dk} * \frac{1\ dk}{60sn} * \frac{1m3}{1000L} * \frac{1388{,}49kg}{m3}$=0,009256603$\frac{kg}{sn}$

$\dot{m}$=0,009256603$\frac{kg}{sn}$ ≅0,01 kg/sn olarak hesaplanmıştır.

$Q_{Faydalı}$= $\dot{m}$ * C_p * ΔT (Eş. 6.3)

Eş.6.3'te verilen faydalı ısı miktarını hesaplamak için sıcaklığa bağlı olarak değişen özgül ısı hesabı yapılması gerekmektedir. Boru uzunluğu boyunca sıcaklık değiştiği için ortalama bir sıcaklık değeri için ortalama bir özgül ısı, Cp değerleri hesaplanmıştır.

$$Cp = A + BT\ (\frac{J}{kmol-K})$$ (Eş. 6.4)

Eş. 6.4.'de verilen sıcaklığa bağlı özgül ısı değerinin hesaplanabilmesi için gerekli A ve B katsayıları aşağıdaki gibidir:

A=78468
B=480,71

Bu değerlerin yerine yazaılması ve daha önce Eş.6.2 ile hesaplanan boru içindeki ortalama sıcaklık hesabına göre, sıcaklığa bağlı özgül ısı değeri hesaplanmıştır.

Cp_{ort}=78468+480,71*351,6=245485,636 $\frac{J}{kmolK}$

Cp_{ort}=2686,65 $\frac{J}{kmolK}$

Eş. 6.3'te verilen ifade de hesaplanan değerlerin yerine koyulması ile faydalı ısı değeri 1042,02 W olarak hesaplanmıştır. Faydalı ısı emici borunun dış yüzeyinde toplanan güneş enerjisinden ısı transfer akışkanına aktarılan kullanılabilir ısı enerjisidir. Faydalı ısı emici borudan ısı transfer akışkanına, emici boru et kalınlığından iletim yoluyla ve emici boru iç yüzeyinden ısı transfer akışkanına taşınım yoluyla aktarılmaktadır.

Emici boru iç ve dış sıcaklığının hesaplanması

Sistemde boru içerisinden akan akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmektedir ancak, emici borunun iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile onun üzerinde kaplı olan cam örtünün iç ve dış yüzey sıcaklıkları hesaplanarak bulunmaktadır. Bu nedenle sıcaklığı bilinen akışkan ve çevre arasındaki yüzeylerin sıcaklıkları ısı transfer metotlarına bağlı olarak hesaplanıştır.

Viskozite değeri sıcaklığa bağlı olduğu için ortalama sıcaklık için gliserinin viskozite hesaplaması aşağıdaki gibi yapılır:

$$\mu_{gliserin} = \exp[A + \frac{B}{T} + Cln(T) + DT^E] \quad \text{(Eş. 6.5)}$$

Sıcaklığa bağlı viskozite hesabı için kullanılan Eş. 6.5'teki katsayılar aşağıdaki gibidir:

A=-237,03
B=16739
C=31,734

Emici boru iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasındaki sıcaklıkların ortalaması $T_{Ort=}$78,45℃'dir ve buna bağlı olarak viskozite hesabı yapılmıştır.

$\mu_{gliserin}$= 0,03422651 Pa.sec

Isı transfer akışkanı gliserinin, termal iletkenlik katsayısı sıcaklığa bağlı değiştiği için ortalama sıcaklığa bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$k_{gliserin} = A + BT\ W/mK \quad \text{(Eş. 6.6)}$$

Eş 6.6'da verilen A ve B katsayıları aşağıdaki gibidir:

A=0,258

B=0,0001134

Ortalama sıcaklığa bağlı olarak gliserinin ısıl iletkenliği 0.30 W/mK olarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısının hesaplanması için gerekli olan gliserinin boru içerisinden çizgisel akış hızı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$v_{gliserin}=\frac{0,4\ L}{dk} * \frac{1dk}{60\ sn} * \frac{1m3}{1000L} * \frac{4}{\pi(0,027)m2}$=0,01 m/s

İfadelerin yerine koyularak hesaplamaların tamamlanması ile boru içerinden akan ısı transfer akışkanı için Reynolds ve Prandtl sayısı hesaplanır.

Re=15,94 ve Pr= 308,72 olarak bulunur. Isı transfer akışkanının taşınım katsayısı, h_i, ortalama ısı transfer akışkanının sıcaklığındaki akışkanın özelliklerine göre laminar akış için Sieder-Tate denklemine göre hesaplanır;

$$Nu = 1.86(RePr)^{1/3}(\frac{d}{L})^{1/3}(\frac{\mu}{\mu wall})^{0,14} \quad \text{(Eş. 6.7)}$$

$$Nu = \frac{h_i d_{mbi}}{k} \quad \text{(Eş. 6.8)}$$

Eş 6.7 ve Eş 6.8'de bilinen ve hesaplanan değerlerin yerlerine koyulup iki eşitliğin birbirine eşitlenmesi ile ısı transfer akışkanının taşınım katsayısı hesaplanır. Bu işlem sonucunda gliserinin taşınım katsayısı, h_i, 43 W/m^{2}K olarak hesaplanmıştır.

Isı transfer akışkanının ısıl iletkenlik katsayısı hesaplandıktan sonra bu akışkanın aktığı yer olan emici borunun iç yüzeyini sıcaklığı hesaplanabilir. Faydalı ısı, metal borunun iç yüzeyinden ısı transfer akışkanına taşınım yoluyla aktarılır.

$$Q_{Faydalı} = hi * A_{MBİ} * \Delta T \quad \text{(Eş. 6.9)}$$

Eş. 6.9'da ifade edilen $A_{MBİ}$, m^2, emici borunun iç alanıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A_{MBİ} = (\Pi d_{mbi} L), m^2 \quad \text{(Eş. 6.10)}$$

Eş. 6.10 ile hesaplanan emici boru iç alanı 0,29 m^2 olarak bulunmuştur. Eş. 6.9'da ifade edilen faydalı ısı miktarı düzenlenmiştir ve Eş.6.11 haline gelmiştir.

$$Q_{faydalı} = h_i A_{mbi}(T_{mbi} - T_{ort}) \quad \text{(Eş. 6.11)}$$

Eş.6.11 'de hesaplanan h_i $ve A_{mbi}$ ifadeleri ile ortalama sıcaklık değeri kullanılarak emici boru iç yüzey sıcaklığı olan, T_{mbi}, 79 ℃ olarak bulunmuştur.

Faydalı ısı emici borudan içerisinde akan ısı transfer akışkanına, borunun et kalınlığı boyunca iletim yolu ile iletilir. İletimle ısı transferi denkliğinden emici boru dış sıcaklığı hesaplanır.

$$Q_{faydalı} = \frac{\pi*(d_{LM})_{mb}*L*k_{mb}}{\Delta x_{mb}} (T_{mbd-}T_{mbi}) \quad \text{(Eş. 6.12)}$$

Eş. 6.12'de ifade edilen Δx_{mb}, emici boru et kalınlığını, k_{mb}, ise emici borunun ısıl iletkenlik katsayısını belirtmektedir ve değerleri aşağıdaki gibidir:

$\Delta x_{mb} =$ 0.001 m

$(d_{LM})_{mb} =$ 0.028 m

$k_{mb} =$ 385 W/mK

Eşitliğinde bilinen değerlerin yerine koyulması ile emici boru dış yüzey sıcaklığı, T_{MDB}, 79,01 ℃ olarak hesaplanmıştır.

Emici boru üzerine yoğunlaşan güneş ışınları emici borunun dış yüzey sıcaklığını artırır ve böylece emici borudan ısı transfer akışkanına ısı transfer gerçekleşir. Isınan emici borudan ısı transfer sıvısına faydalı enerji aktarıldığı gibi sıcaklığı düşük çevreye de ısı kaybı gerçekleşir. Bu ısı kaybının azaltılması için emici borunun etrafına cam bir örtü yerleştirilir. Böylece emici boru ile temas eden hava durgun hale getirilerek ısı taşınım katsayısı azaltılır.

Emici borudan çevreye olan ısı kaybı, emici boru ile cam örtü arasında taşınım ve radyasyon, cam örtü et kalınlığından iletim ve cam örtüden dış ortama taşınım ve radyasyon yoluyla

ilerlemektedir. Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ısı kaybını bulmak için cam örtü iç ve dış sıcaklıklarının hesaplanması gerekmektedir.

Cam boru iç ve dış sıcaklığının hesaplanması

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ısı kaybının hesaplanabilmesi için cam örtü dış yüzey sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir ancak bu sıcaklık tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle cam örtü dış sıcaklığı varsayım yapılarak ve deneme yanılma metodu ile hesaplanmaktadır.

Cam boru dış sıcaklığı hesaplayabilmek için öncelikle cam boru dış sıcaklığı varsayımı yapılır ve hesaplamalara devam edilir.

$T_{CBD} = 50°C = 323\ K$ (Cam boru dış sıcaklığı varsayımı)

Tank sıcaklığı, T_{tank}, 344,20 K olarak ölçülmüştür ve yapılan cam boru dış sıcaklığı varsayımı ile cam örtüden çevreye radyasyon ile ısı transfer katsayısı $h_{d,r}$ aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$h_{d,r} = \frac{\varepsilon_{CB}\sigma({T_{CBD}}^4 - {T_{tank}}^4)}{(T_{CBD} - T_{tank})} \qquad \text{(Eş. 6.13)}$$

Eş. 6.13'ten radyasyon ile olan ısı transfer katsayısı $h_{d,r}$, $\frac{W}{m^2K}$ hesaplanır. İfadede yer alan ε_{CB}, cam boru ısı yayıcılık katsayısıdır ve borosilikat cam için değeri 0,9'dur, σ ise Stefan-Boltzmann sabitidir ve değeri $5.67\text{x}10^{-8}\ \frac{W}{m^2K^4}$'tır. Eş 6.13'ten radyasyon ile olan ısı transfer katsayısı 7,19 W/m^{2}K olarak hesaplanmıştır.

Cam örtüden çevreye olan taşınım ile ısı transferi katsayısı $h_{d,t}$ hesaplanması için Reynolds sayısı hesaplanmalıdır.

01.09.2020 tarihinde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan hava sıcaklığına bağlı olarak havanın viskozitesi ve yoğunluğu Chemcad programı yardımı ile hesaplanır.

$$\mu_{hava} = A*T^{[B/(1+C*T)]} \qquad \text{(Eşitlik 6.14)}$$

Eş. 6.14 ile hesaplanan havanın sıcaklığa bağlı viskozitesi formülündeki A, B ve C katsayısı aşağıdaki gibidir:

A=1.425e-006
B=0,5039
C=108,3

Eş.6.14'ten havanın viskozitesi $0{,}000019\ Pa.s$ olarak hesaplanmıştır

Yoğunlukta sıcaklığa göre değiştiği için aynı işlem havanın sıcaklığına bağlı yoğunluk hesabı yapılmasında da kullanılmış ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak havanın yoğunluğu bulunmuştur.

$\rho_{hava} = \frac{A}{B^{[1+\left(1-\frac{T}{C}\right)]^D}}$, kmol /m^3 (Eş. 6.15)

Eş. 6.15'te verilen A, B ve C katsayıları aşağıdaki gibidir:

A=2,8963
B=0,26733
C=132,45

Reynolds sayısının hesaplanması için, havanın çizgisel hızı (Rüzgâr hızı) Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler kullanılmıştır (EK-3).

Re=3020,82 olarak hesaplanmıştır.

Nu= $\begin{cases} 0{,}40 + 0{,}54Re^{0{,}52}\ için\ 0{,}1 < Re < 1000 \\ 0{,}30Re^{0{,}6} \text{ için } 1000<Re<50000 \end{cases}$

$Nu = \frac{h_{d,t} d_{CBD}}{k_{hava}}$

İki Nusselt sayısı eşitlenerek cam örtüden çevreye taşınım ile ısı transfer katsayısı olan $h_{d,t}$ 16,99, $\frac{W}{m^2K}$ olarak hesaplanmıştır.

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan termal kayıp;

$$Q_k = A_{mbd}\left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}\right)\left[h_{d,t} + h_{d,r}\right](T_{CBD} - T_D) \quad \text{(Eş. 5.28)}$$

$A_{mbd} = \Pi d_{mbd}\ L$=0,307 m^2

Q_k =49,42 W

olarak hesaplanmıştır. Cam örtü et kalınlığından olan iletimle ısı transferi denkleminden $T_{CBİ}$ hesaplanır.

$$Q_k = A_{mbd}\left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}\right)\frac{T_{CBİ} - T_{CBD}}{R_{CB}} \quad \text{(Eş. 5.29)}$$

$X_{CB} = \frac{d_{CBD} - d_{CBi}}{2}$=1,25x$10^{-3}$ m (Eş. 6.16)

$R_{CB} = \frac{X_{CB} d_{cbd}}{k_{cb} * (d_{LM})_{CB}}$=1,20 x 10^{-3} $\frac{m^2K}{W}$ (Eş. 5.30)

$T_{CBİ}$= 50,0963 ℃ olarak cam örtü iç yüzey sıcaklığı bulunmuştur.

Metal boru dış yüzeyi ile cam örtü arasındaki taşınım ve radyasyon ile oluşan termal kaybın hesaplanması için Rayleigh sayısı hesaplanmıştır. Rayleigh sayısı enerjinin konveksiyon ile taşınması ile ilgili yapılan bir hesaptır ve konvektif hareketin başlayıp başlamayacağı Rayleigh sayısı olarak bilinen boyutsuz bu niceliğe bağlı olarak öngörülmektedir.

$$Ra = \frac{g ß \Delta T L^3}{\alpha v} \quad \text{(Eş. 5.31)}$$

Rayleigh sayısının >1700 olduğunda konveksiyonun başlayacağı ve bu sayı ne kadar büyük olursa o kadar çok enerji konveksiyon yoluyla taşınır anlamına gelmektedir. Eş. 5.31 'deki g, yerçekimi ivmesini (9,81 m/s^2), ΔT, emici boru ile cam örtü iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını ve ß, hacimsel genleşme katsayısıdır ve hesaplanabilmesi için emici boru ile cam

örtü arasındaki sıcaklığın hesaplanması gerekir. $T_{MB,CD}$ Emici boru ile cam örtü arasındaki ortalama sıcaklığı ifade etmektedir. α, ısıl difüzivitedir ve ısıl difüzivite değeri sıcaklığa bağlı olduğu için metal boru ile cam boru arasındaki vakumlu bölgedeki sıcaklığa bağlı özellikler kullanılmıştır. v, emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{MB,CD}$ sıcaklığındaki kinematik viskozitesidir. Son olarak L, emici boru ile cam örtü arasındaki boşluktur.

$$\Delta T = T_{MBD} - T_{CBİ} = 64.81 - 49.30 = 115{,}7\ ℃$$

$$T_{MB,CD} = \frac{T_{MBD}+T_{CBİ}}{2} = 64{,}5543\ ℃ = \ 337\ K$$

$$ß = \left(\frac{1}{T_{MB,CD}}\right), K = \frac{1}{381{,}544} = 0{,}0030$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp} = 0{,}0000465$$

$$v = \frac{\mu hava}{\rho_{hava}} = 2{,}81 \text{ x } 10^{-5}\ \frac{m^2}{s}$$

$$L = \frac{d_{CBİ} - d_{MBD}}{2} = 0{,}0128\ m$$

Rayleigh sayısının hesaplanması için belirlenen sıcaklıktaki havanın özellikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\rho_{hava} = 0{,}7644\,\frac{kg}{m^3}$$

$$C_{p,hava} = 1010{,}2174\,\frac{J}{kgK}$$

$$\mu_{hava} = 0{,}00002152\ Pa - s$$

$$k_{hava} = 0{,}0310\ W/mK$$

Bu ifadelerin yerine yazılması ile Rayleigh sayısı, 1809,8706 olarak hesaplanmıştır. Ra^*, ise karakteristik uzunluktaki Rayleigh sayısıdır ve hesaplanan Rayleigh sayısına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Ra^*=\frac{[ln(\frac{d_{cbi}}{d_{mbd}})]^4}{l^3({d_{mbd}}^{-3/5}+{d_{cbi}}^{-3/5})^5}Ra \quad \text{(Eş. 6.16)}$$

Ra^*=253,1758

Taşınım ile olan ısı transfer katsayısının hesaplanmasında etkin iletim katsayısı hesabının yapılması gerekmektedir ve bu etkin iletim katsayısı momentum yayılımı ile termal yayılım arasındaki ilişkiyi tanımlayan Prandtl sayısı ile Rayleigh sayısının kullanılarak hesaplanır

$$\frac{k_{eff}}{k}=0.386(\frac{Pr\ x\ Ra^*}{0,861+Pr})^{1/4} \text{ (Raitby \& Hollands,1975)} \quad \text{(Eş.6.17)}$$

$$h_{ar,t}=\frac{k_{eff}(d_{LM})_{ar}}{x_{ar}d_{mbd}} \quad \text{(Eş.6.18)}$$

ifadesinden taşınım ile olan ısı transfer katsayısı hesaplanır

$$h_{ar,t}=5,20\frac{W}{m^2K}$$

Radyasyon ile olan ısı transfer katsayısının hesaplanması için ısıl ışıma katsayısı, C_{ar} hesaplanır. Tamamen siyah bir cisim için ısıl ışıma katsayısı Stefan-Boltzmann sabitidir ve bu sistemde kullanılan emici borunun yüzeyi mat siyah boya ile boyandığı için emici borunun ısıl ışıma katsayısı ε_{mb}=5.67 x 10^{-8} $\frac{W}{m^2K^4}$ dir ve borosilikat cam boru için ısıl ışıma katsayısı $\varepsilon_{cb}=0,9$'dur.

$$C_{ar}=\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{mb}}+\frac{1-\varepsilon_{cb}}{\varepsilon_{cb}}(\frac{d_{mbd}}{d_{cbi}})} \quad \text{(Eş.6.19)}$$

C_{ar}=0,04 olarak hesaplanmıştır.

$$h_{ar,r}=\frac{C_{ar}\sigma({T_{MBD}}^4-{T_{CBİ}}^4)}{(T_{MBD}-T_{CBİ})} \quad \text{(Eş. 6.20)}$$

$h_{ar,r}$= 0,35 $\frac{W}{m^2K}$ olarak hesaplamıştır.

$$Q_k = A_{mbd}\left[h_{ar,t} + h_{ar,r}\right](T_{mbd} - T_{cbi}) \quad \text{(Eş.6.21)}$$

$Q_{k=}$ 49,42 W

Hesaplanan iki kayıp ısı değeri farklı olduğundan varsayımın yanlış olduğu anlaşılmaktadır. Termal kayıp miktarları birbirine eşit olması için Microsoft Excel programında solver eklentisi (çözücü) ile T_{CBD} sıcaklığı bulunur. İki kayıp ısı miktarının birbirine eşit olması gerektiği için çözücü yöntemi kullanılarak gerçek değere ulaşılır.

T_{CBD}= 310,92 K =37,92 ºC olarak hesaplanır.

Q_k= 49,42 W olarak hesaplanmıştır.

Termal verim hesabı

Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı, U_{MDB} hesaplanır.

$$U_{MBD} = \frac{1}{(\frac{1}{h_{ar,t}+h_{ar,r}})+\frac{1}{(\frac{d_{CBD}}{d_{MBD}})\frac{1}{R_{CB}}}+\frac{1}{\frac{d_{CBD}}{d_{MDB}}(h_{d,t}+h_{d,r})}} \quad \text{(Eş.6.22)}$$

$U_{MBD=}$4,96 $\frac{W}{m^2K}$

$$Q_k = A_{MBD} * U_{MBD} * (T_{MBD} - T_{tank}) \quad \text{(Eş.6.23)}$$

Q_k =49,42 W $olarak$ $hesaplanır.$

Emici boruya gelen kullanılabilir enerji, Q_{gelen}'dir. Isı transfer akışkanına aktarılan faydalı enerji, $Q_{faydalı}$ ve emici boru ile çevre arasında oluşan termal kayıp $Q_{kayıp}$'tır.

$$Q_{gelen} = Q_{faydalı} + Q_{kayıp} \quad \text{(Eş.6.24)}$$

Q_{gelen} =1053,96 $W'dir.$

Sistemin termal verimi, η_{termal} ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısının emici boruya gelen kullanılabilir enerjiye oranı ile bulunabilir.

$\eta_{termal}=\frac{Q_{faydalı}}{Q_G}$x100 (Eş.6.25)

η_{termal} =%98,87 olarak hesaplandı.

Optik verim hesabı

Emici boruya gelen enerji miktarı, güneşten gelen ışının miktarına bağlı olarak;

$Q_{gelen}=G_B * A_{gka}$ (Eş.6.26)

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikteki A_{gka}, kolektörde emici borudan kaynaklanan gölgeli alandır [m^2], G_B, ise cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınlarıdır.

A_{gka} =(W_k*L)- (L*d_{CBD}) (Eş.6.27)

A_{gka}=4,032 m^2

G_B= 319,59 W/m^2

Emici boruya gelen güneş ışınları, yansıtıcı yüzeye gelen direkt güneş ışınlarının, G_A, cam örtüden geçinceye kadarki izlediği yolda oluşan optik kayıplar sonucu bulunmaktadır.

$G_B = \frac{Q_{gelen}}{A_{gka}}$ (Eş.6.28)

$\frac{G_B}{G_A} = \eta_{1-4}$ (Eş.6.29)

η_{1-4}= 0,302 olarak bulunur.

η_1=Günün çalışma saatlerinde (11:00-15:00) güneş saat açıları göz önüne alınarak gelme açısına bağlı verimi

η_1=cos(18)=0,95

η_2=Yansıtıcı yüzey malzemesi olarak seçilen parlak yüzeyli paslanmaz çelik

η_2=0,88

η_3=kesişim faktörü 0,95 kabul edilmiştir (Cicibıyık,2012).

η_4=cam örtü optik verimi hesaplanmalıdır

η_5=emici borunun güneş ışınlarını emicilik değeridir ve 0,94 olarak kabul edilir.

$$\eta_4 = \frac{\eta_{1-4}}{\eta_1 \eta_2 \eta_3} \quad \text{(Eş.6.30)}$$

$\eta_{1-4} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4$ Eşitliğinden $\eta_4$hesaplanır. η_4=0,42 olarak hesaplanır.

$\eta_{optik} = \eta 1 * \eta 2 * \eta 3 * \eta 4 * \eta 5$ ‘dir ve bütün değerler bilinmektedir.

η_{optik}= %29,17 olarak hesaplanmıştır.

1 Eylül 2020 tarihinde saat 12:45’te elde edilen deneysel veriler ile ilgili hesaplamalar yapıldığında, elde edilen sonuçlara göre ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji miktarı 1042,02 W olmuştur. Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün termal verimi %96,04 ve optik verimi %29,17 olarak hesaplanmıştır. Aynı gün içerisinde elde edilen diğer verilere göre yapılan hesaplamalar Çizelge 6.4 ’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. 1 Eylül 2020 tarihinde elde edilen deneysel veriler ve buna bağlı termal ve optik analiz sonuçları

Gün ve akış hızı	Saat	$T_{Giriş}$°C	$T_{Çıkış}$°C	ΔT°C	T_{Tank}°C	$Q_{Faydalı}$, W	$T_{MBİ}$°C	T_{MBD}°C	T_{CBD}°C	$T_{CBİ}$°C	$Q_{Kayıp}$, W	U_{MBD}	η_{termal}%	$\eta_{OPTİK}$ %
1 EYLÜL 2020 0,4 L/dk	11:00	51,8	70	18,2	65,3	440,21	94,21	94,21	39,28	50,16	82,22	5,54	89,92	14,33
	11:15	52,4	71,3	18,9	68,2	457,85	96,72	96,72	39,54	50,17	87,86	5,60	90,30	14,84
	11:30	55,6	83,4	27,8	68,4	681,75	124,08	124,08	42,62	50,30	152,15	6,07	86,76	23,01
	11:45	55,6	85,4	29,8	68,6	731,95	70,88	70,88	36,90	50,06	33,14	4,79	99,54	21,53
	12:00	55,4	87,8	32,4	70	797,19	72,01	72,02	36,98	50,07	35,35	4,71	99,63	22,14
	12:15	55,2	92,3	37,1	71,6	915,92	74,23	74,24	37,27	50,08	39,73	4,80	99,58	25,46
	12:30	56,4	98,2	41,8	70,6	1037,68	77,85	77,86	37,76	50,09	47,04	4,93	98,95	29,02
	12:45	57,5	99,4	41,9	71,2	1042,02	79,00	79,01	37,92	50,10	49,42	4,96	98,87	29,17
	13:00	58,1	97,6	39,5	71,9	981,42	78,37	78,38	37,61	50,09	48,11	5,03	98,99	27,05
	13:15	53,8	73,2	19,4	62	471,21	63,73	63,73	36,03	50,04	19,87	4,34	99,51	12,92
	13:30	53,8	80	26,2	62,06	639,86	67,22	67,22	36,39	50,05	26,20	4,55	98,88	17,66
	13:45	61,5	72,4	10,9	61,3	266,22	67,08	67,08	36,38	50,05	25,95	4,54	97,05	7,48
	14:00	61,2	72,8	11,6	61	283,34	67,13	67,13	35,47	50,05	26,03	4,60	97,03	11,88
	14:15	60,3	73,3	13,0	60	317,44	66,94	66,94	35,45	50,05	25,69	4,59	97,00	13,31
	14:30	61,5	70	8,5	58	207,21	65,84	65,84	35,36	50,05	23,67	4,52	94,99	8,87
	14:45	63,2	67,9	4,7	58,4	114,54	65,60	65,60	35,34	50,05	23,22	4,51	91,98	5,06
	15:00	62,1	67,6	5,5	58	133,88	64,91	64,91	36,19	50,04	21,97	4,22	93,71	7,04

6.4. Organik Rankine Çeviriminde Elektrik Üretimi Simülasyon Verileri

Parabolik oluk tipi güneş kolektöründe kazanılan ısı enerjisi, elektrik üretim prosesinde farklı çevrimler ile kullanılabilir. Kazanılan ısı, çalışma akışkanını kızgın buhar haline getirmek için kullanılır. Böylece alternatörde elektrik üretimi için gerekli buhar ihtiyacı sağlanmış olur.

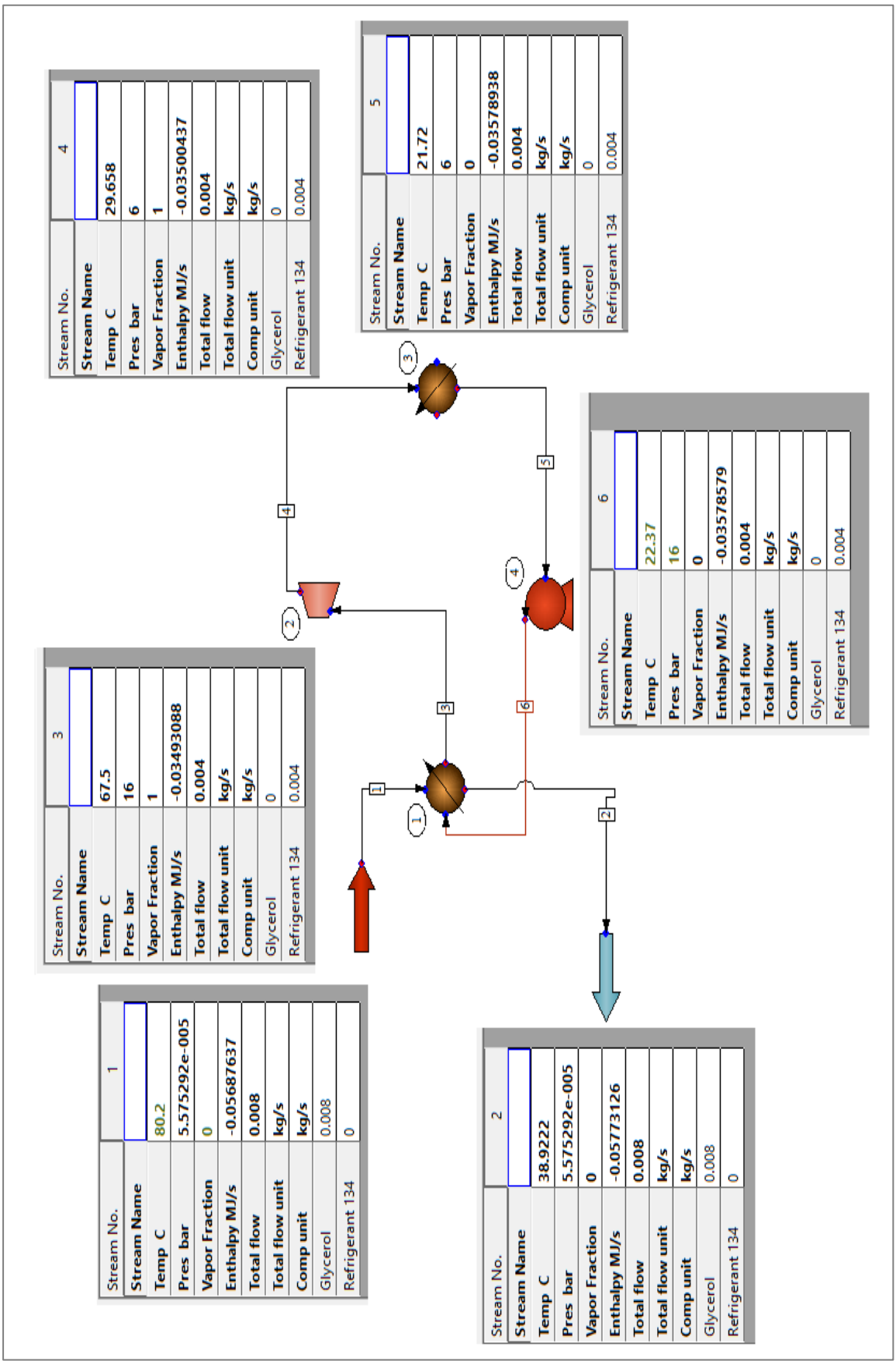
Parabolik oluk tipi kolektörler orta seviye ısı kaynakları olduğu için çevrimde kullanılacak çalışma akışkanının kızgın buhar hale gelebilmesi için düşük kaynama noktasına sahip olmalıdır. Bu nedenle organik çalışma akışkanlarını tercih etmek kızgın buhar elde edilmesi için avantajlı olacaktır. Ve buna uygun olarak organik Rankine çevirimi kullanılarak elektrik üretimi yüksek verimde elektrik üretimi sağlayacaktır. Buharlaştırıcıda ısı transfer akışkanı, enerjisini kolay buharlaşabilen bir çalışma akışkanına aktararak kızgın buhar elde edilir ve bu buhar, buhar türbinine gönderilerek elektrik üretimi gerçekleştirilir. Buharlaştırıcıdan çıkan ısısı alınmış olan ısı transfer akışkanı tekrar parabolik oluk tipi kolektöre gönderilerek çevrim devam ettirilir.

Bu tez çalışması kapsamında ısı transfer akışkanı olarak gliserin kullanılmıştır ve parabolik oluk tipi güneş kolektöründe kazanılan ısı miktarları deneysel olarak gözlemlenmiştir. Kazanılan ısı ile elektrik üretiminde elde edilecek çıktılar Chemcad programı ile simüle edilmiştir. Organik Rankine çevirimi prosesi esas alınarak Chemcad programında bir simülasyon hazırlanmıştır ve deney günlerinde elde edilen ısı miktarlarına bağlı olarak üretilebilinecek elektrik miktarları farklı çalışma akışkanları için çalışılmıştır. Çalışma akışkanı olarak kolay bulunabilen, çevreye zararsız ve düşük sıcaklıktaki uygulamalarda kızgın buhar haline gelebilecek, yüksek buharlaşma ısısına sahip, R134a, bütan, izobütan, pentan ve izopentan seçilmiştir. Şekil 6.4'te gösterilen Chemcad simülasyonunda parabolik oluk tipi güneş kolektöründen gelen ısı (1 nolu akım) buharlaştırıcının ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Buharlaştırıcı çıkışında soğumuş gliserinin (2 nolu akım) kolektör çevrimine geri gönderilmektedir. Buharlaştırıcıdan kızgın buhar haline gelerek çıkan çalışma akışkanı (3 nolu akım) buhar türbinine girer ve %85 verimle çalıştırılan türbinde genişleyerek ısısı ve basıncı azalmış halde doygun buhar olarak (4 nolu akım) çıkar. Yoğuşturucuda doygun sıvı haline gelen buhar (5 nolu akım) %85 verimle çalıştırılan pompa yardımı ile tekrar çevirme katılır. Kullanılan soğutucu akışkanın kütlesel akış hızı şu şekilde hesaplanmıştır.

$Q_{Sıcak} = Q_{Soğuk}$

$Q_{Sıcak}=m_{gliserin}*Cp_{gliserin}*\Delta T_{gliserin}$ (Eş. 5.50)

$\Delta T_{Gliserin}= (T_{gliserin\ giriş} - T_{gliserin\ çıkış})$ (Eş. 5.51)



Şekil 6.4. Chemcad programında organik Rankine çevrimi ve akım değerleri

Burada $T_{\text{gliserin giriş}}$ ifadesi parabolik sistemden çıkan gliserin sıcaklığıdır ve deneysel olarak ölçülmüştür.

$Q_{Sıcak}$= 0,01 kg/s * 2658,200239 J/kg-K * (74.3-41,16)

$Q_{Sıcak}$= 855,8 J/s olarak hesaplanmıştır.

$Q_{Soğuk} = m_{soğutucu} * \lambda_{soğutucu}$

Burada $T_{\text{gliserin giriş}}$ ifadesi parabolik sistemden çıkan gliserin sıcaklığıdır ve deneysel olarak ölçülmüştür. $T_{\text{gliserin çıkış}}$ ifadesi ise farklı değerler verilerek kullanılmıştır. Gliserinin buharlaştırıcıdan çıkış sıcaklığı ise farklı değerler alınarak buna bağlı olarak $Q_{Sıcak}$ daha sonra da $m_{soğutucu}$ hesaplanmıştır.

$Q_{Sıcak}$= 0,01 kg/s * 2658,200239 J/kg-K * (74.3-41,16)

$Q_{sıcak}$= 855,8 J/s olarak hesaplanmıştır.

$Q_{soğuk} = m_{soğutucu} * \lambda_{soğutucu}$

Soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı 22,3736℃ çıkış sıcaklığı 67,406 ℃ olarak Chemcad'de belirlenmiştir. Bu sıcaklıklara göre ortalama bir soğutucu sıcaklığı belirlenmiştir ve bu ortalama sıcaklığa göre ortalama C_P değeri hesaplanmıştır.

Gizli ısı değeri (Heat of vaporization) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

λ=A+$(1 - Tr)^{[B]}$ (Eş. 6.17)

Tr=T/Tc (Eş. 6.18)

Eş 6.17 ifadesinde yer alan indirgenmiş sıcaklık, T_r ifadesi Eş. 6.18'de olduğu gibi hesaplanır ve buradaki kritik sıcaklık, T_c, değeri 118,6 ℃ 'dir ve indirgenmiş sıcaklık değeri 0,4 olarak hesaplanmıştır. Eş. 6.17'deki A ve B değeri aşağıdaki gibidir:

A=3,32e+007

B=0,38071

$\lambda_{Soğutucu}$= (3,32e+007) *$(1-0{,}4)^{[0,38071]}$= 267313,9949 J/kg

$Q_{soğuk}$= $m_{soğutucu}$ * 271522,45 J/kg

$Q_{sıcak}$ = $Q_{soğuk\ olduğundan}$, $m_{soğutucu}$=0,003 kg/s olarak hesaplanmıştır.

Yapılan akış hızı hesabına göre soğutucu m=0,004 kg/s olarak sabit tutularak farklı sıcaklık ve basınçlardan R134a için net iş hesabı yapılmıştır. Her bir çalışma akışkanı için ayrı ayrı kütlesel akış hızı hesabı yapıldıktan sonra elektrik üretim analizi yapılmıştır. Organik Rankine çevirimi simülasyonundan elde edilen veriler ile elektrik üretim prosesinin termodinamik analizleri Çizelge 6.5'te verildiği gibi yapılmıştır.

R-134a'nın kütlesel akış hızı $\dot{m}$=0,004 kg/s

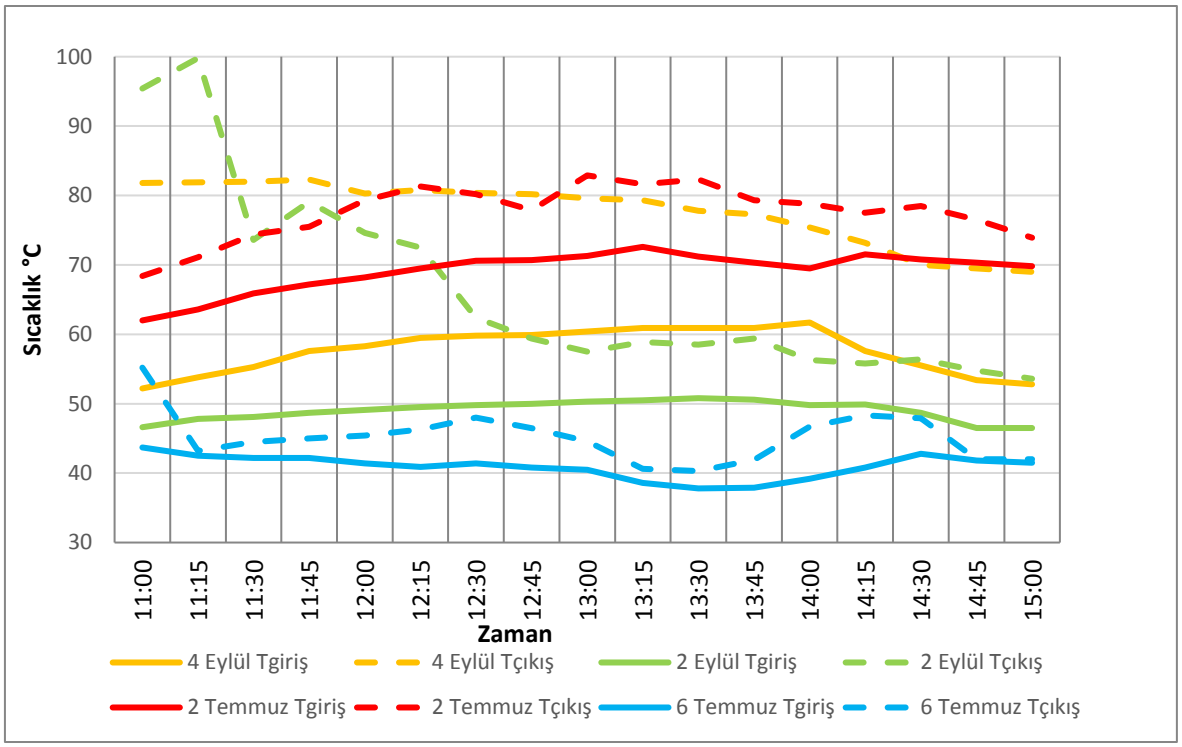
Çizelge 6.4. Organik Rankine çevrimi sonuçları

Akışkan konumu	T °C	P, bar	Yoğunluk kg/m3	Entalpi kJ/kg	Entropi kJ/kg-K
Türbin girişi	67,5	16	75,86	438,34	1,7402
Türbin çıkışı	29,658	6	27,8413	418,6236	1,7444
Yoğuşturucu çıkışı	21,72	6	29,1286	410,721	1,718
Pompa çıkışı	22,3736	16	1216,567	230,8851	1,105

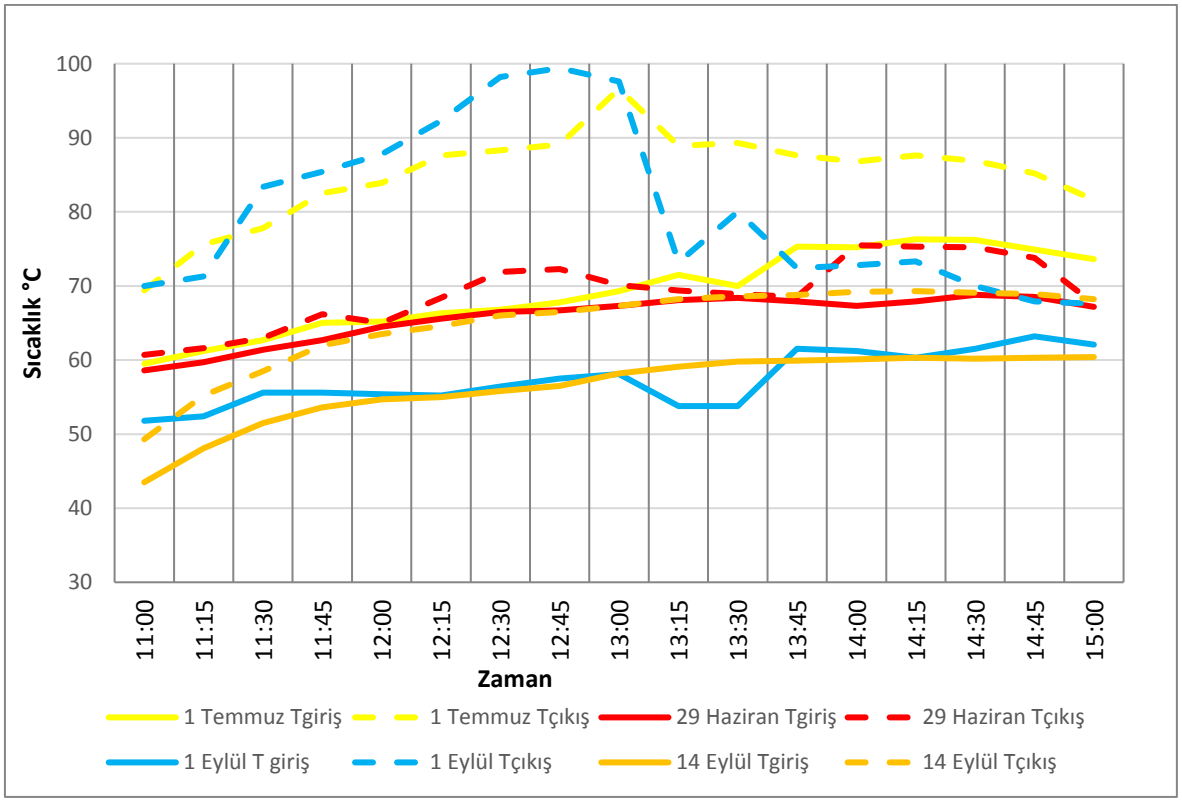
6.5. Deney ve Hesaplama Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile kombine edilmiş organik Rankine çevrimi üzerine çalışılmıştır. Çalışma temel olarak iki kısımdan oluşmuştur. İlk olarak parabolik oluk tipi güneş kolektöründe ısı transfer akışkanı olarak gliserin kullanımı ve bu ısı transfer akışkanının farklı akış hızlarında sıcaklık verilerinin toplanması üzerine deneysel olarak çalışılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler ile kolektörün termal ve optik verimi hesaplanmıştır. İkinci kısımda ise parabolik oluk tipi güneş kolektöründen elde edilen çıkış sıcaklığı verileri organik Rankine çevriminde buharlaştırıcının ısı kaynağı olarak kullanılması üzerine Chemcad programında bir organik Rankine çevrimi kurulması ve farklı çalışma akışkanlarının farklı akış hızı ve farklı sıcaklık girdileri ile elektrik üretimi incelenmiştir.

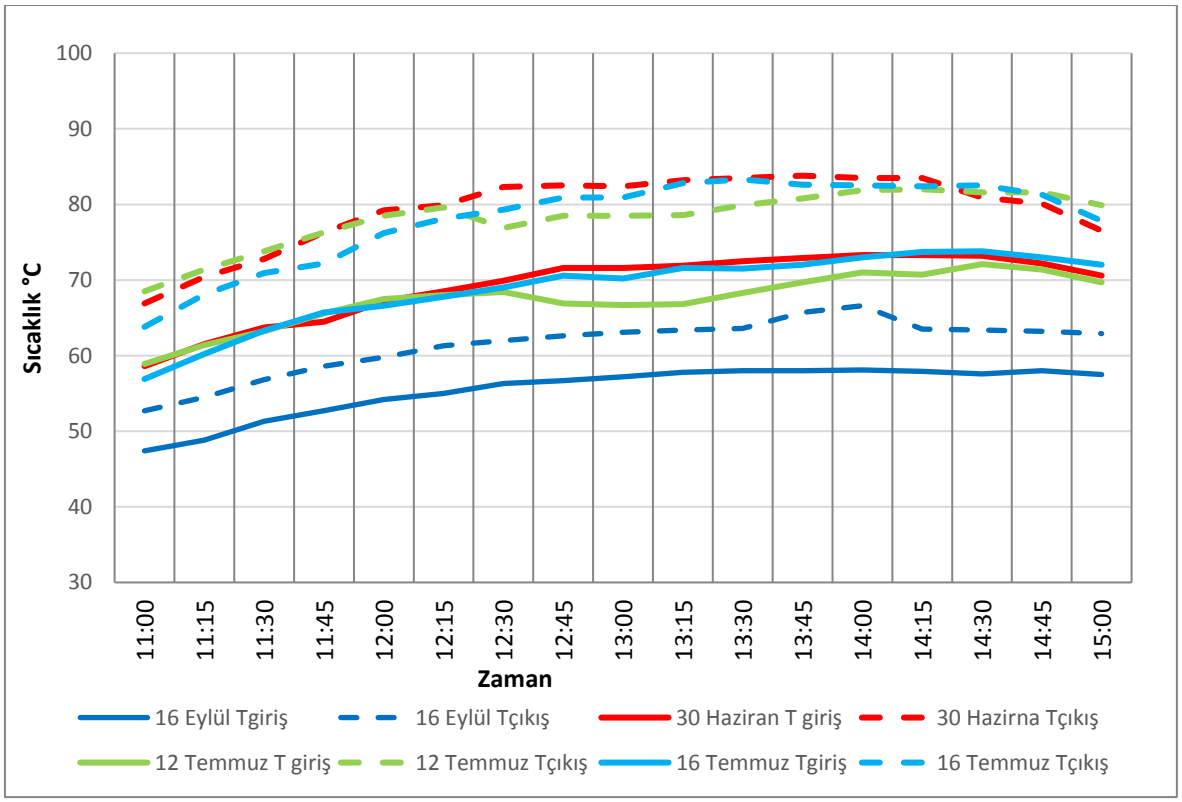
Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile yapılan çalışmalar sırasında farklı günlerde, farklı akış hızlarında deneysel olarak çalışmalar yapılmıştır. Teknik saflıktaki gliserinin kolektör emici borusundan akması sırasındaki sıcaklık artışını gözlemlemek amacıyla emici borunun giriş ve çıkışına yerleştirilen ısılçiftler aracılığıyla gliserin sıcaklıkları elde edilmiştir. Şekil 6.5.'te farklı akış hızlarındaki gliserinin emici borudan giriş ve çıkış sıcaklıkları verilmiştir.



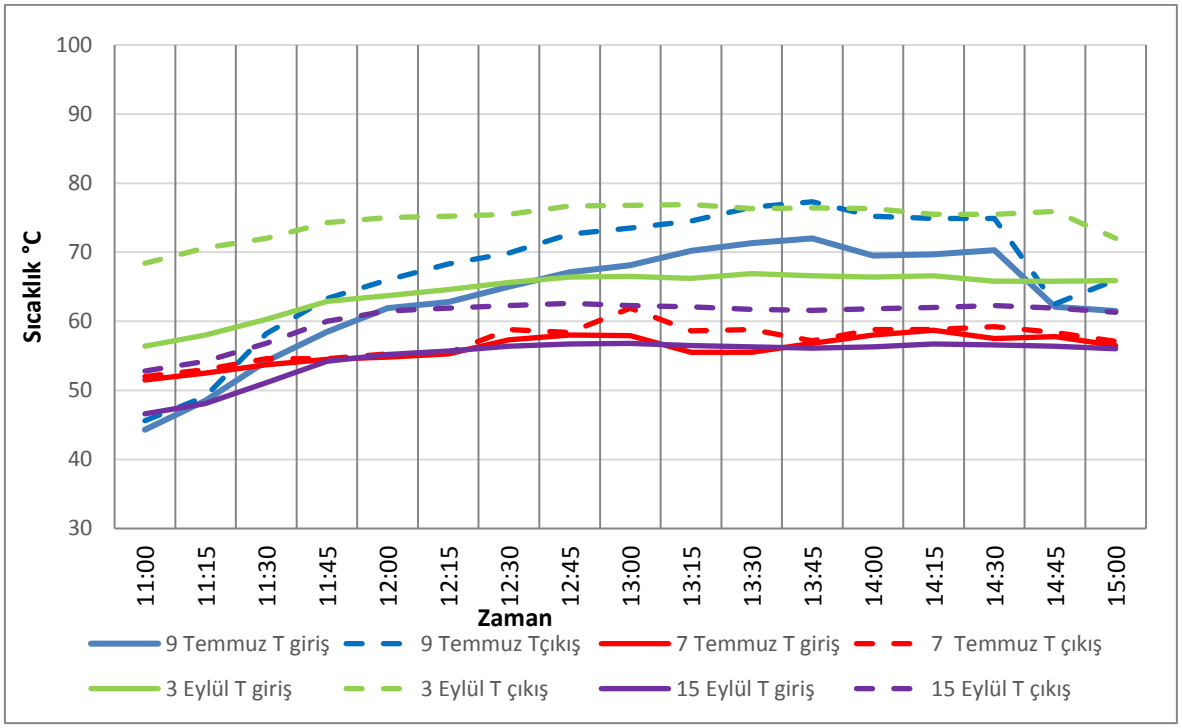
Şekil 6.5. 0,2 L/dk akış hızında gliserin emici boru giriş ve çıkış sıcaklıkları



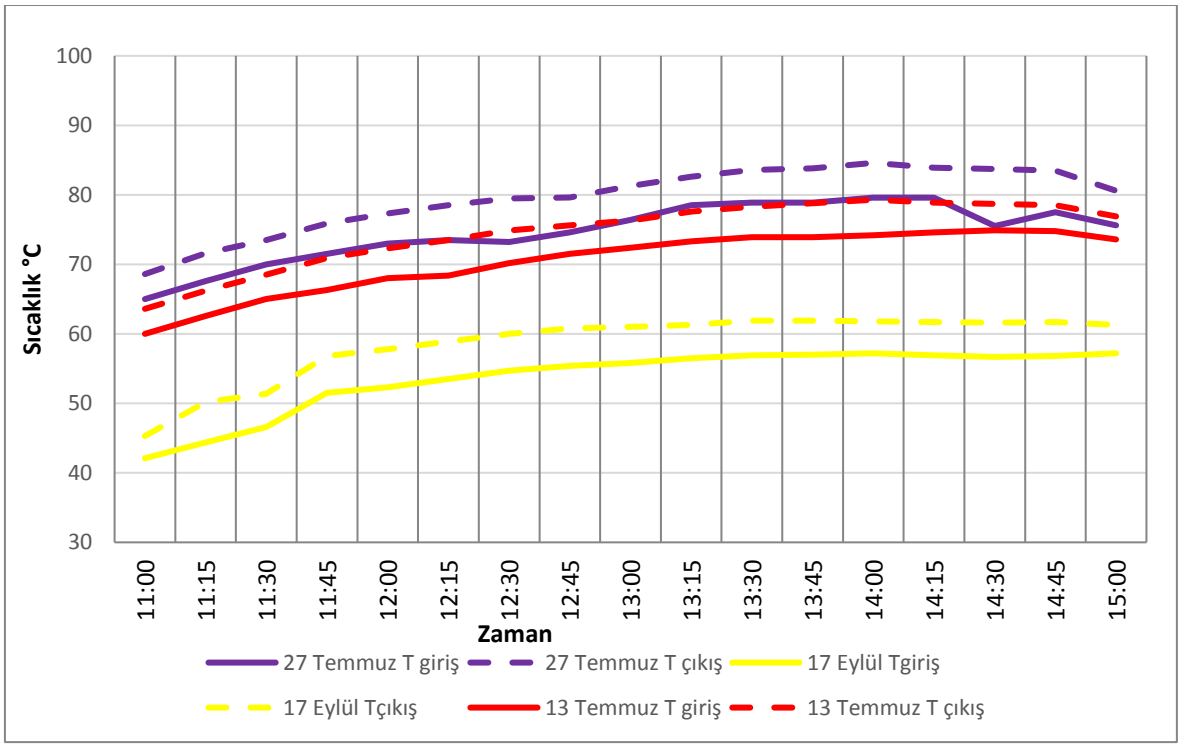
Şekil 6.6. 0,4 L/dk akış hızında gliserin emici boru giriş ve çıkış sıcaklıkları



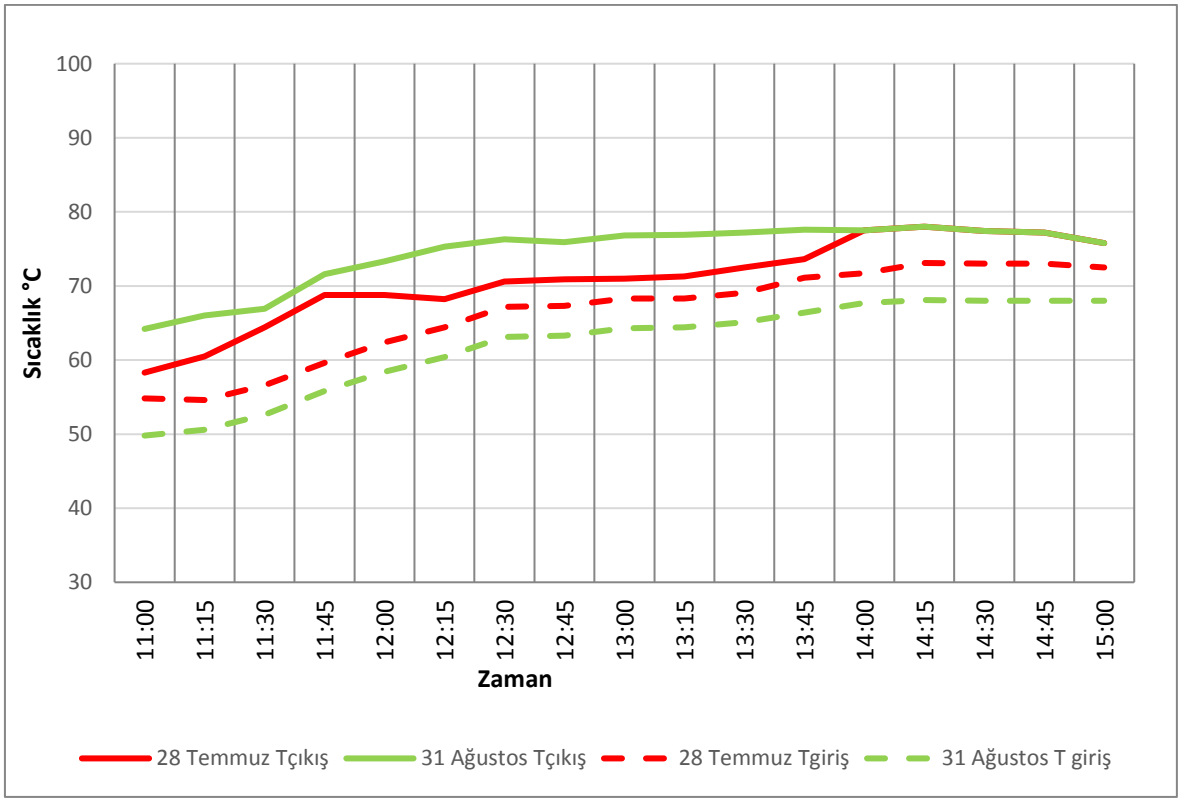
Şekil 6.7. 0,5 L/dk akış hızında gliserin emici boru giriş ve çıkış sıcaklıkları



Şekil 6.8. 0,6 L/dk akış hızında gliserin emici boru giriş ve çıkış sıcaklıkları



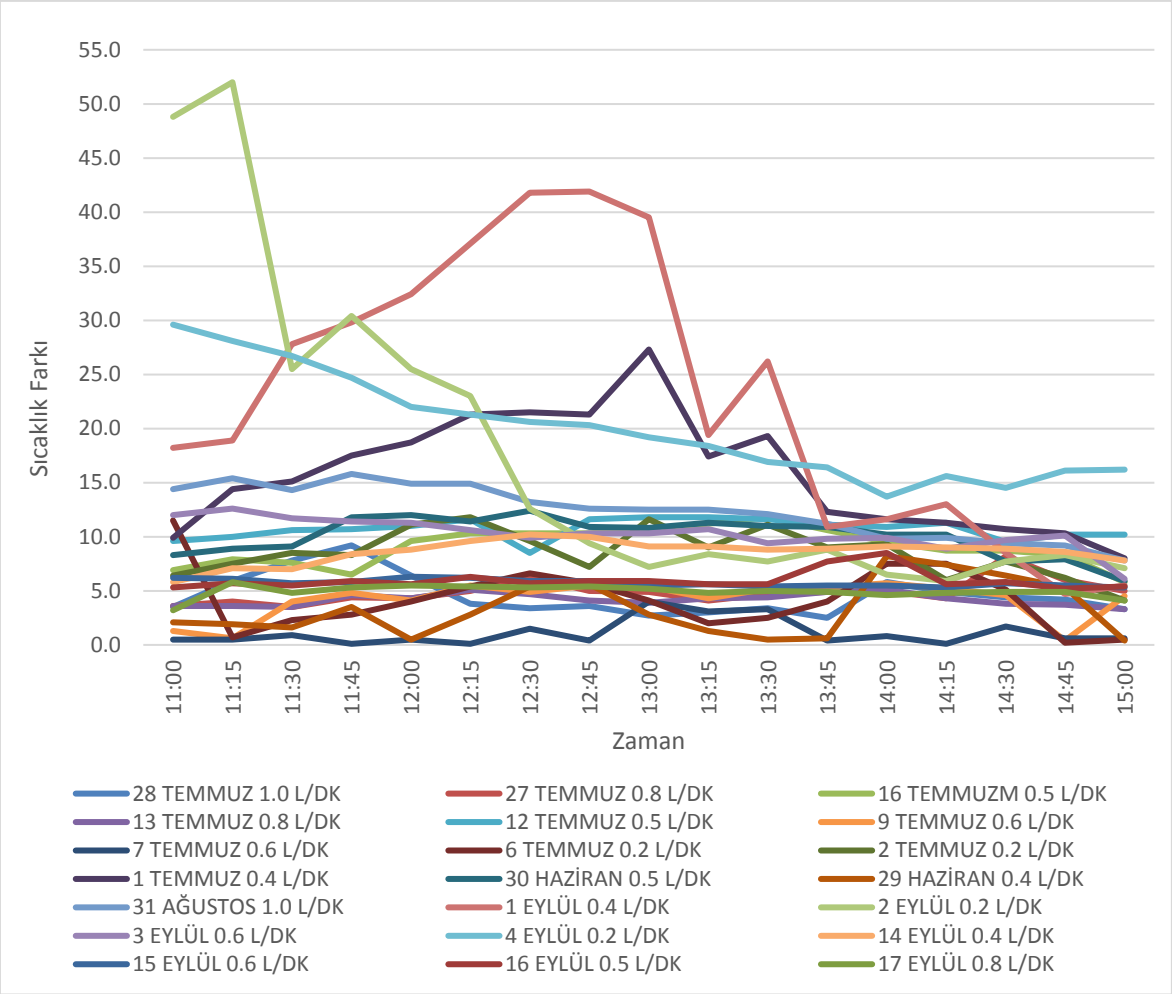
Şekil 6.9. 0, L/dk akış hızında gliserin emici boru giriş ve çıkış sıcaklıkları



Şekil 6.10. 1,0 L/dk akış hızında gliserin emici boru giriş ve çıkış sıcaklıkları

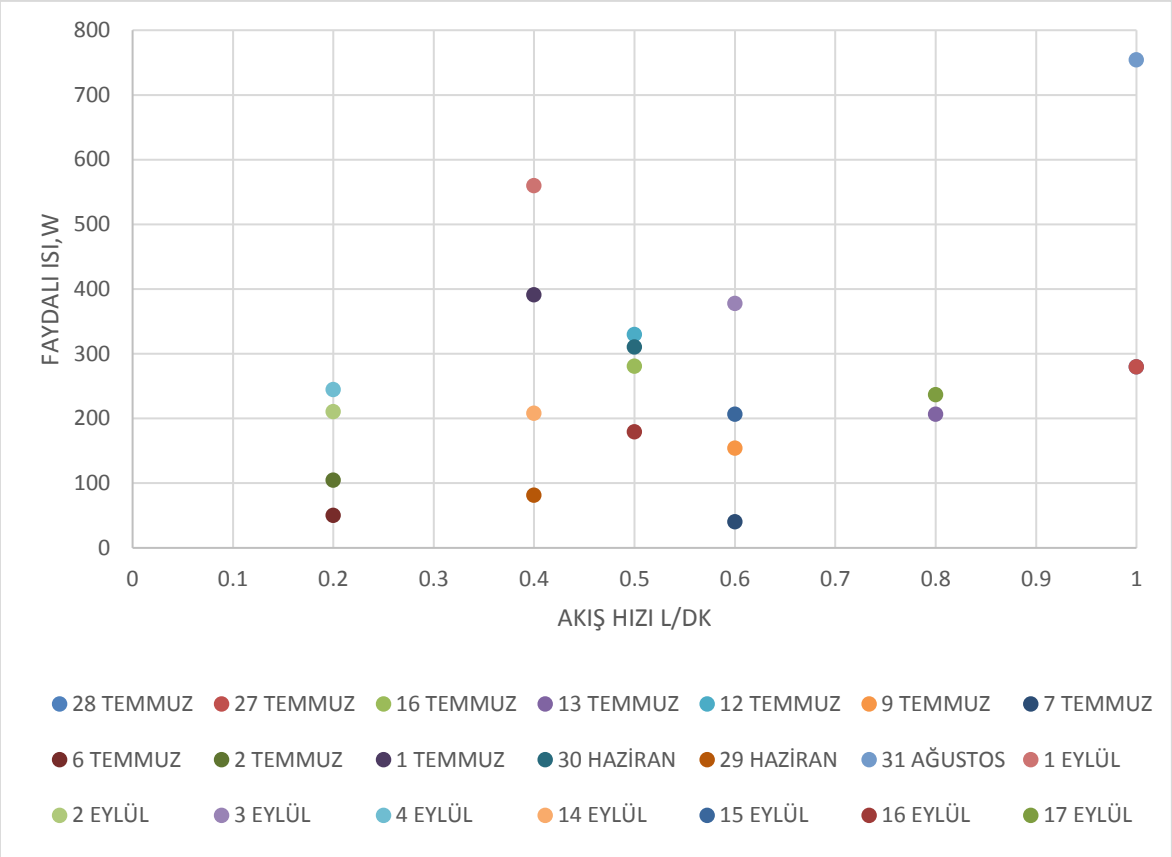
Deney sonuçları incelendiğinde düşük akış hızlarında (0,2 ve 0,4 L/dk) sistemdeki sıcaklık dalgalanmasının çok fazla olduğunu ve ısı transferinin istenildiği şekilde gerçekleşmediği gözlemlenir. Akış hızı orta seviyelerde iken (0,4, 0,5, 0,6 L/dk) sıcaklık değişiminin fazla olduğu ve ısı transferinin yüksek olduğu gözlemlenir. Yüksek akış hızlarında (0,8 ve 1,0 L/dk) emici borudan iletimle gerçekleşen ısı transferinin akış hızı nedeni ile yeterli olmadığı ve çıkış sıcaklıklarının düştüğü gözlemlenir.

Şekil 6.11.'de günlere göre farklı akış hızlarında yapılan deneylerde oluşan giriş çıkış sıcaklık farklarını görülmektedir. Sıcaklık farkı genel olarak akış hızı arttıkça azalmaktadır. Akış hızı arttıkça hızlı akan akışkanın ısı transfer süresi ve ısı transfer alanı ile olan etkileşimi azaldığı için bu durum beklenen bir durumdur. Deneysel süreç içerisinde farklı akış hızlarında yapılan denemeler sonucunda kullanılan sistemde çalışılabilecek optimum akış hızları olarak 0,4, 0,5 ve 0,6 L/dk belirlenmiştir.



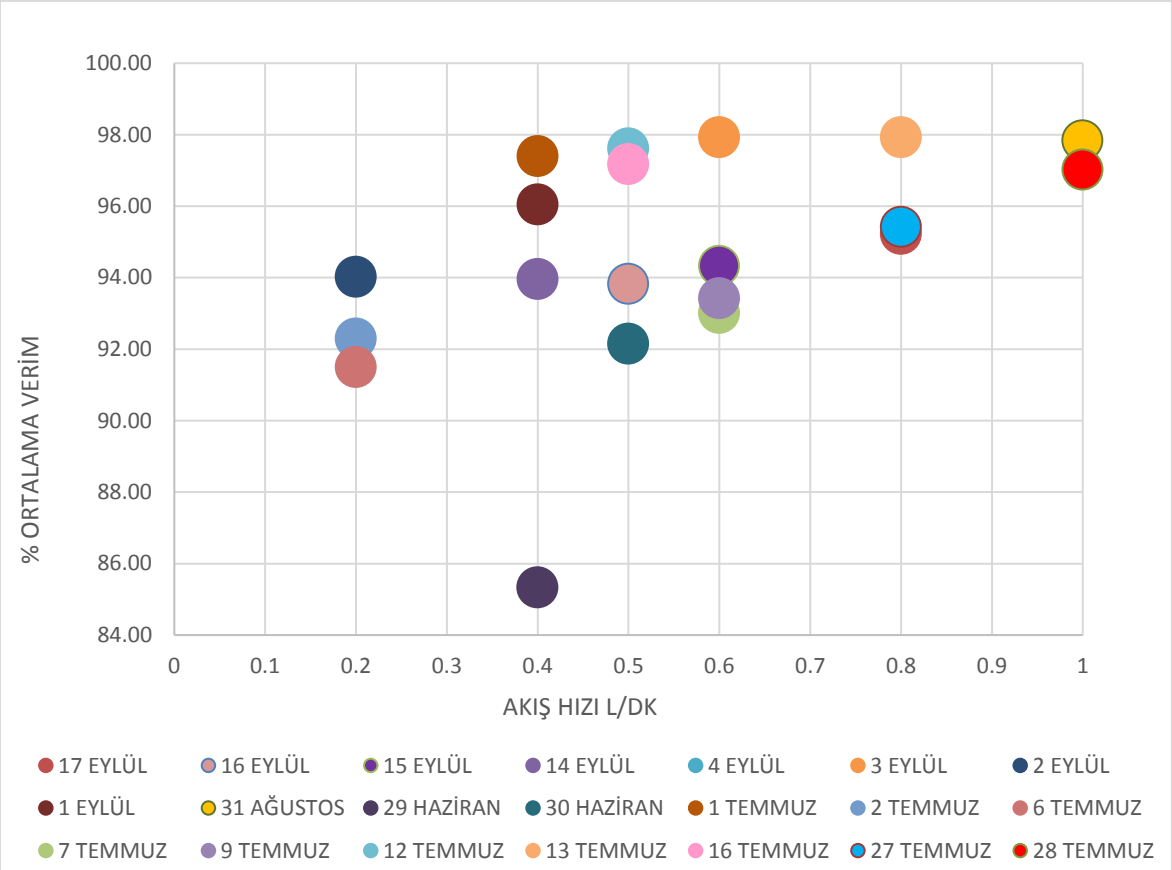
Şekil 6.11. Farklı akış hızlarında gün içerisinde oluşan sıcaklık farkları

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak parabolik oluk tipi kolektörün optik ve termal verimi ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Termal verimin incelenmesi sisteme gelen güneş enerjisinin ısı transfer akışkanına aktarımının bir göstergesidir ve termal verim ne kadar yüksek ise kolektöre gelen güneş enerjisi o kadar fazla ısı transfer akışkanına aktarılabilmiş anlamına gelir. Kolektörde güneş enerjisinin kullanılabilir olan kısmının hesaplanması ile bulunan faydalı ısı değeri akış hızına göre incelendiğinde sistemden elde edilebilecek termal verim değerleri de tahmin edilebilmektedir. Şekil 6.12.'de de görülebileceği gibi sistem elde edilen faydalı ısı miktarı 0,4, 0,5 ve 0,6 L/dk akış hızlarında en yüksek seviyelerindedir.



Şekil 6.12. Farklı akış hızlarında hesaplanan faydalı ısı miktarı

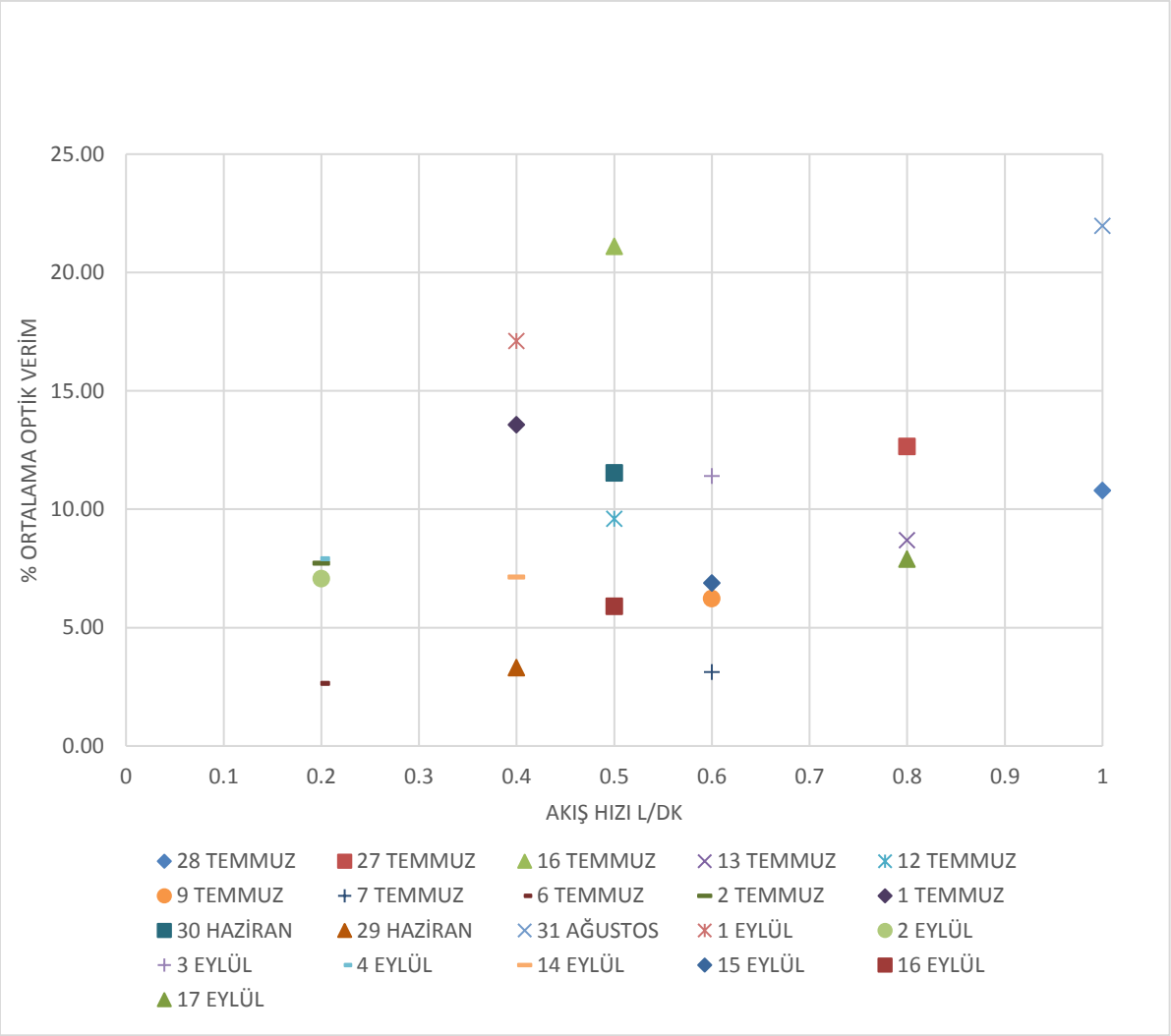
Akış hızı arttıkça sistemin tepkileri değişmektedir. Bunun nedeni ısı transfer süresinin azalması ve buna bağlı olarak istenen ısı transferinin gerçekleşememesidir. O nedenle sistemden faydalanılan ısı miktarı tutarlılık göstermemektedir. Buna bağlı olarak akış hızına bağlı termal verim incelendiğinde ise sistemin veriminin tüm akış hızlarında %90 ve üzeri olduğu Şekil 6.13.'da görülmektedir.



Şekil 6.13. Akış hızına göre ortalama termal verim değerleri

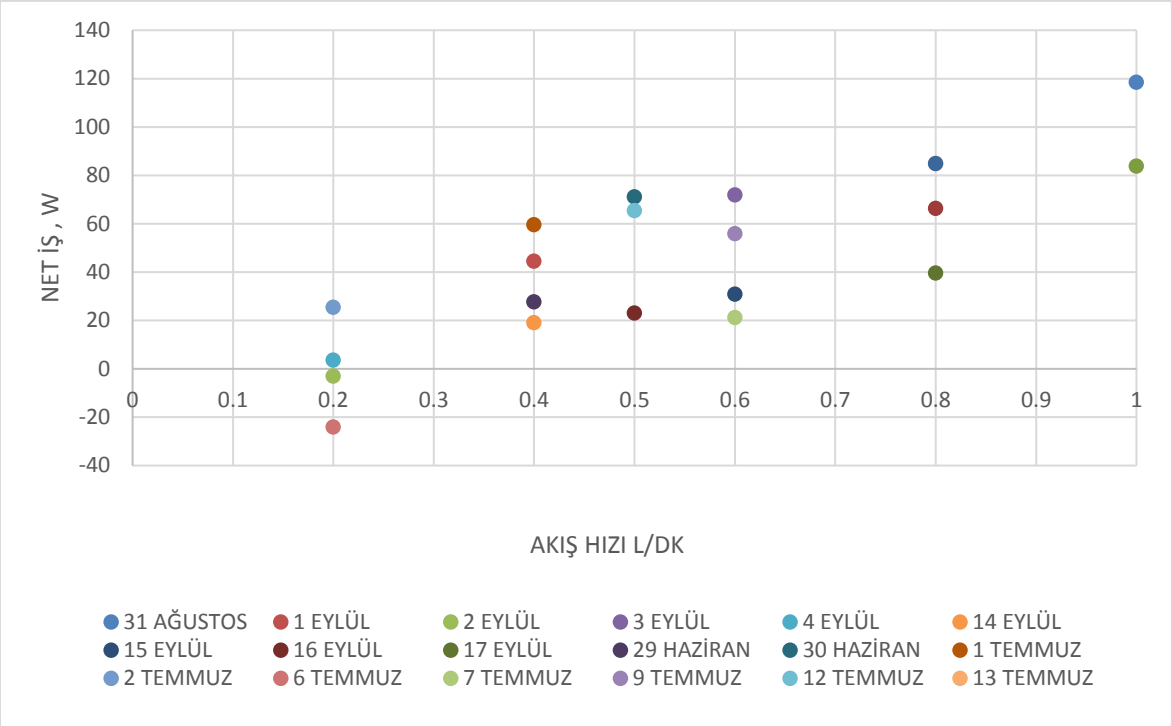
Gün içerisinde sistem üzerine gelen güneş ışınım miktarı ve çevre sıcaklığı değişmektedir. Buna ek olarak akış hızının değişmesi ile sistemden alınan verimin gün içerisinde değiştiği görülmüştür. Bu nedenle gün içerisindeki ortalama verim hesaplandığında sistemin genel olarak termal veriminin %90 ve üzeri olduğu görülmektedir.

Yansıtıcı yüzeyin temizliği, yansıtıcılık değeri, cam borunun temizliği ve yansıtıcılık değeri gibi birçok farklı etkenin etkili olduğu optik verim hesabı yapıldığında, gün içerisinde bulut geçişine de bağlı olarak optik verimin sürekli değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 6.4.'da verilen akış hızına bağlı ortalama optik verim grafiğinden de görülebileceği gibi optik verim değerleri değişken ve kısmen düşük olmasına rağmen sistemin ısınma eğilimi oldukça yüksek ve verimlidir.

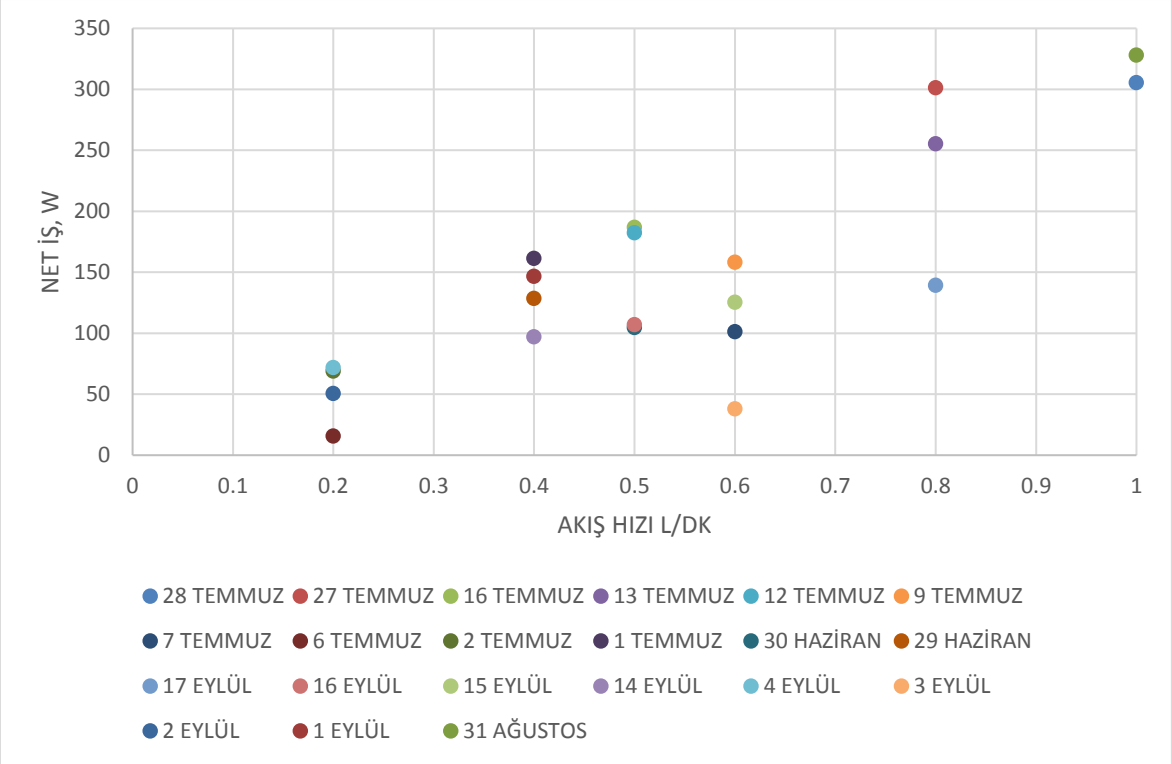


Şekil 6.14. Akış hızına bağlı ortalama optik verim değişimi

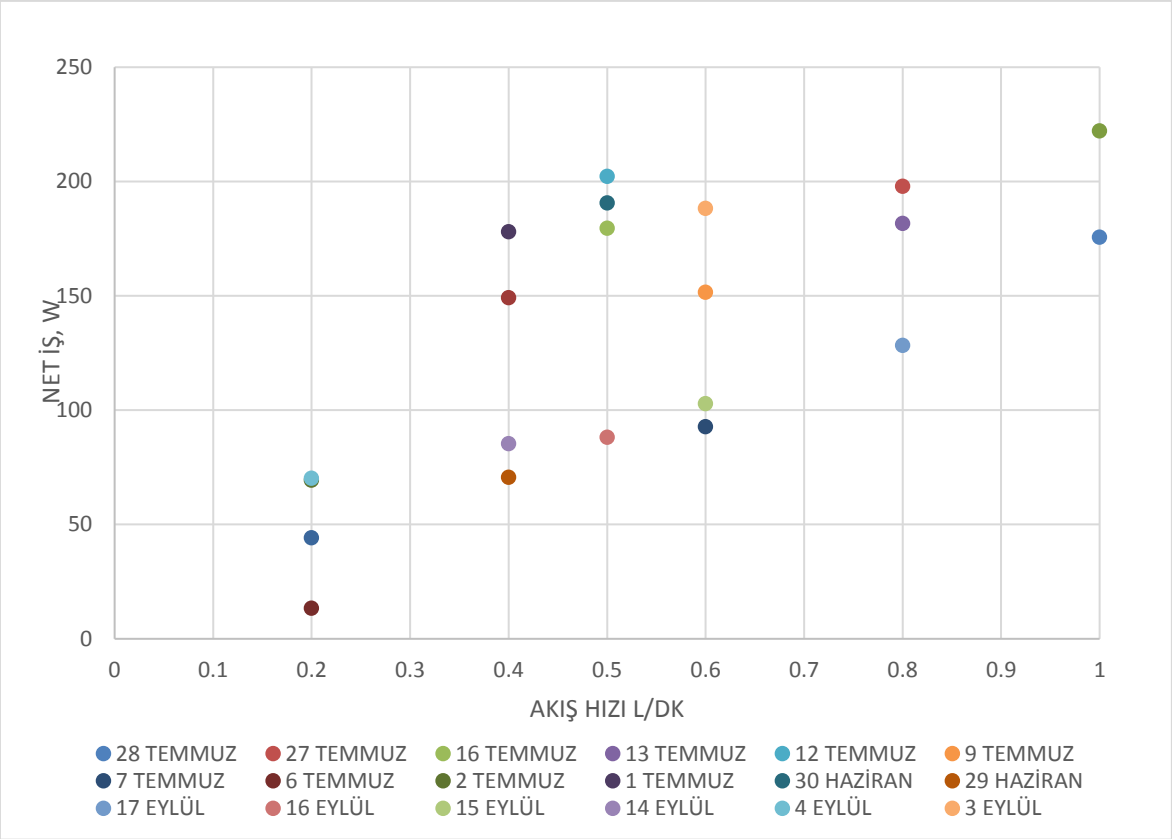
Parabolik kolektörden elde edilen bu verim ve sıcaklık değerleri organik Rankine çevriminde ısı girdisi olarak kullanıldığında ve çevrimde farklı çalışma akışkanları kullanıldığında üretilen elektrik miktarları değişkenlik göstermektedir. Gliserin akış hızının farklı olması, buna bağlı olarak kullanılan çalışma akışkanlarının akış hızlarının değişkenlik göstermesi ve çalışılan türbin basıncı sıcaklığının değişmesinden kaynaklı bu değişim organik akışkanlarda net bir şekilde gözükmektedir. Şekil 6.15.'de verilen akış hızına bağlı farklı çalışma akışkanlarına göre net iş miktarı incelendiğinde izopentan ile üretilen elektrik miktarının en fazla olduğu görülmektedir.



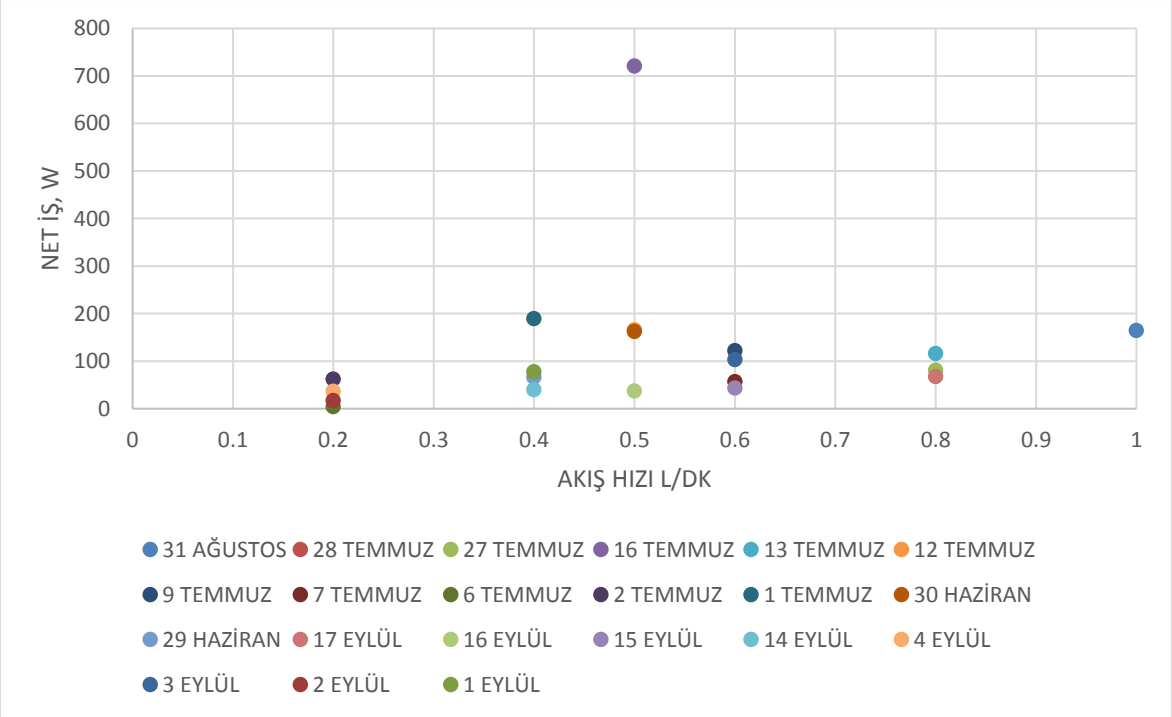
Şekil 6.15. R134a için farklı akış hızlarında net iş miktarı



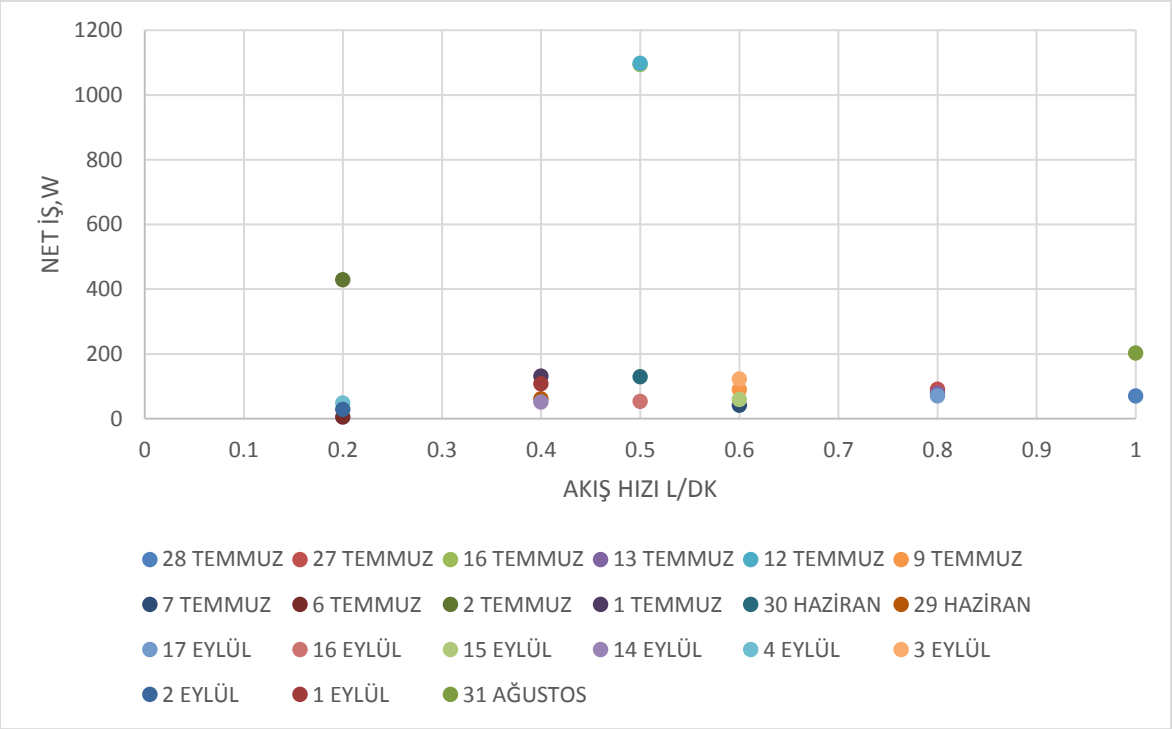
Şekil 6.16. Bütan için farklı akış hızlarında net iş miktarı



Şekil 6.17. İzobütan için farklı akış hızlarında net iş miktarı



Şekil 6.18. Pentan için farklı akış hızlarında net iş miktarı



Şekil 6.19. İzopentan için farklı akış hızlarında net iş miktarı

6.6. Tartışma

Bu çalışmada yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemlerinden olan, çizgisel yoğunlaştırmaya sahip parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile termal güç üretimi üzerine çalışılmıştır. Bu doğrultuda daha önce imal ettirilmiş olan parabolik oluk tipi güneş kolektörünün iyileştirilmesi için, yansıtıcı yüzey, emici boru, cam örtü ve ısı transfer akışkanı üzerine literatür araştırmaları yapılmıştır ve sistemin verimini artıracak uygun ekipmanlar ile sistem yenilenmiştir. Daha sonra karar verilen ısı transfer akışkanı ile deneysel çalışma yapılarak optik ve termal verim hesaplamaları üzerine çalışılmış ve elektrik üretimi için kullanılabilecek termodinamik çevrimler üzerine çalışılmıştır. Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemleri ile kombine edilmiş organik Rankine çevirimleri ile ilgili literatür araştırması yapıldıktan sonra organik Rankine çevriminin elektrik üretimi için kullanılabilecek en uygun termodinamik çevrim olduğuna karar verilmiştir. Organik Rankine çevriminde kullanılan çalışma akışkanları ile ilgili yapılan çalışmadan sonra elektrik üretimi için en verimli olabileceği düşünülenler belirlenmiştir ve Chemcad programı kullanılarak organik Rankine çevrimi simüle edilerek elektrik üretimi incelenmiştir.

Kullanılan parabolik oluk tipi güneş kolektöründe yansıtıcı yüzey malzemesi olarak kullanılan parlatılmış CrNi'in yansıtıcılık değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiş ve düzenli olarak temizlenerek optik verim artırılmaya çalışılmıştır. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olduğu için ¾" standart bakır boru tercih edilmiş ve emicilik değerinin artırılması için mat siyah boya ile boyanmıştır. Kullanılacak emici borunun optimum çapının belirlenmesi için hesaplama yapılmış ve minimum boru çapı hesaplanmıştır. Daha sonrasında 28 mm çapında, 1 mm et kalınlığına sahip bakır boru kullanılmıştır. Emici borunun et kalınlığının az olması iletimle ısı transferi sırasında, ısı enerjisinin emici borunun dış yüzeyinden et kalınlığı boyunca ilerledikten sonra iletimle ısı transfer akışkanına iletilmesinden dolayı olabilecek en ince et kalınlığı tercih edilmiştir. Emici borunun üzerine termal kayıpların azaltılması için kaplanan cam örtü özel olarak imal ettirilmiş ve düşük demirli borosilikat cam kullanılmıştır. Kullanılan cam örtü emici borunun genişlemesi düşünülerek en büyük çapta ancak cam örtünün yaratacağı gölgelenme alanından dolayı da seçilebilecek en düşük çapta tercih edilerek 56 mm çapında 2,5 mm et kalınlığında cam örtü kullanılmıştır. Emici boru ile cam örtü arasındaki hava vakumlanarak birbirine monte edilmiş böylece ısı kayıplarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Isı transfer akışkanı olarak, biyodizel üretimi sırasında yan ürün olarak üretildiği için piyasada oldukça çok bulanan ve ısıl iletkenliğinin uygun olması nedeni teknik saflıkta gliserin tercih edilmiştir. Kolektör emici borusunun giriş ve çıkışında ısı transfer akışkanının sıcaklığının ölçülebilmesi için iki adet Pt100 ısıl çift kullanılmıştır. Yapılan deneylerde farklı akış hızlarında ısı transfer akışkanı Mega Products Marka santrifüjlü pompa yardımı ile devir daim ettirilmiş ve kolektör emici borusundan giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Depolama tankı, çevre şartlarına uyum sağlayabilmesi açısından askeri kullanım için hazırlanmış gri boya ile boyanmış ve gliserinin depolanması için kullanılmıştır. Ayrıca depolama tankının sıcaklığının belirlenmesi için de tank içerisinde bir adet Pt100 termocupl yerleştirilmiştir. Termocupl yardımıyla sıcaklık ölçümü yapılan ısı transfer akışkanı ile aktarılan enerji miktarları hesaplanmıştır. Ankara ili için 2020-2021 yılındaki deney günleri için güneş ışınım verileri MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından sağlanmış ve buna göre optik ve termal verim analizi yapılmıştır. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda faydalı ısı $Q_{Faydalı}$ miktarı belirlenmiştir. Belirlenen enerji miktarına, göre ORC (Organik Rankine Çevrimi) sisteminde üretilebilecek elektrik enerjisi miktarını belirlemek için Chemcad programı kullanılmış ve çalışma akışkanı olarak R134a, bütan, izobütan, pentan ve izopentan kullanılmıştır.

Isı transfer akışkanının akış hızının etkisi incelendiğinde faydalı ısı miktarının akış hızından bağımsız olduğu ortaya çıkmıştır. Isı transfer akışkanın kolektör giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark özellikle de kolektör çıkış sıcaklığının faydalı enerji miktarına etkisi olduğu açıkça görülmektedir. Akış hızı faydalı enerji miktarını direkt olarak etkilemese bile ısı transfer akışkanının kolektör giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkını etkilemektedir. Birim zamanda ısı transferi açısından düşünüldüğünde ısı transfer akışkanı kolektör içerisinden ne kadar az miktarda akarsa ısı transferinin gerçekleşmesi daha kolaylaşır. Akış hızı arttıkça da ısı transferi zorlaşır ve giriş çıkış arasındaki sıcaklık farkı düşer. Deneysel çalışmalar sırasında 0,2, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8, 1,0 L/dk akış hızlarında çalışılmış ve sıcaklık değişimleri analiz edildiğinde 0,2 L/dk akış hızında maksimum sıcaklık farkının 52,0℃ , 0,4 L/dk akış hızında maksimum sıcaklık farkının 41,9 ℃ , 0,5 L/dk akış hızında maksimum sıcaklık farkının 12,6℃, 0,6 L/dk akış hızında maksimum sıcaklık farkının 11,8℃, 0,8 L/min akış hızında maksimum sıcaklık farkının 8,2℃, 1,0 L/dk akış hızında maksimum sıcaklık farkının 7,8℃ civarında olmaktadır. Deneysel çalışma sonuçlarından da görülebileceği gibi akış hızı arttıkça sıcaklık farkı azalmaktadır (EK-1).

Kolektöre gelen ışınım miktarı faydalı enerjiyi oldukça çok etkilemektedir. Güneş ışınımının çok olması emici boru sıcaklığının artmasına ve böylece ısı transfer akışkanının daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Artan sıcaklık farkı da faydalı enerji miktarını artırmaktadır. Bu nedenle havanın açık, bulutsuz, sıcaklığın yüksek ve güneş ışınımının fazla olduğu günlerde yapılan deneysel çalışma sonuçlarının daha verimli olduğu gözlemlenmiştir (EK-3).

Deneysel veriler ile yapılan termal analiz hesaplamaları sırasında karşılaşılan en büyük problem cam örtü sıcaklığının tam olarak belirlenememesidir. Bu nedenle cam örtü sıcaklığının belirlenebilmesi için ısı transfer akışkanından emici boruya, emici borudan da cam örtüye gerçekleşen ısı transfer mekanizmaları takip edilerek hesaplanmaya çalışılmıştır. Emici boru ile cam örtü arasındaki ısı transferi hesaplanmış ve ısı kayıp miktarları karşılaştırılarak cam örtü iç ve dış yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Faydalı enerji ve kayıp enerji miktarları ile emici boruya gelen ısı miktarı Q_{Gelen}, hesaplanmıştır. Böylece emici boruya gelen ısı miktarı ve kolektöre gelen güneş ışınları dolayısıyla sistemin termal verimi belirlenmiştir (EK-1). Deneysel çalışma sonucunda yapılan hesaplamalara göre akış hızına bağlı olarak sistemin termal veriminin nasıl değiştiği incelendiğinde, düşük akış hızı ile çalışıldığında sistemden elde edilen faydalı ısı miktarının düştüğü ve akış hızı arttıkça

faydalı ısı miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Buna bağlı olarak düşük akış hızında termal verimin düştüğü ancak akış hızı çok arttığında da ısı transferinin tam olarak gerçekleşemediği ve termal verimin azaldığı gözlemlenmiştir. Ortalama termal verimin en yüksek olduğu akış hızları 0,4, 0,5, ve 0,6 L/dk. hızlarındadır. Bu akış hızlarında % ortalama termal verim değerinin %97 ve üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Termal verimin güneş ışınımına ve çevre sıcaklığına bağımlılığı deneysel çalışma sırasında oldukça net bir şekilde gözlemlenmiştir. Akış hızı arttıkça termal verim genel olarak düşerken, güneş ışınımının maksimum ve sıcaklığın oldukça yüksek olduğu günlerde yapılan yüksek akış hızlarında (0,8 ve 1,0 L/dk.) yapılan deneysel çalışma sonucunda da termal verimin oldukça artabileceği gözlemlenmiştir. Bu da çalışmanın yapıldığı yerin coğrafik özelliklerinin sistem verimine etkisinin ne kadar büyük olabileceğini göstermektedir.

Sistemin optik verimin belirlenmesi sırasında farklı optik verimlerden faydalanılmıştır. Bu optik verimler; gelme açısı düzeltme faktörü, yansıtıcı yüzey yansıtma verimi, emici boru optik verimi, yansıtıcı yüzey odaklama verimi ve cam örtü optik verimidir. Cam örtü optik verimi hariç diğer verimler kullanılan malzemelere göre belirlenirken cam örtü optik verimi diğer verimlere bağlı olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni cam örtü ile emici boru arasının vakumlanması ve içeride kalan hava ve nemden dolayı bu değerin belirlenememesidir. Akış hızına bağlı olarak optik verim değerinin nasıl değiştiği incelendiğinde akış hızının optik verimi belirlemede etkili olmadığı ancak gelen ısı miktarı ile güneş ışınım değerinin optik verimi belirlemede oldukça önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminde ısınan ısı transfer akışkanının bir termodinamik çevrimin ısı kaynağı olarak kullanılması sonucunda elektrik üretiminin analizinin yapılabilmesi için Chemcad programında bir organik Rankine çevrim düzeneği oluşturulmuştur. Bir adet buharlaştırıcı, türbin, yoğuşturucu ve pompadan oluşan sistemde, türbin ve pompa %85 verimle çalıştırılmıştır. Çalışma akışkanı olarak daha önce güneş enerjisi ile kombine edilmiş organik Rankine çevrim sistemlerinde kullanılan çalışma akışkanlarına dair araştırma yapılmış ve çalışma sıcaklığına göre uygun akışkanlar belirlenmiş ve bunların uygun bir çalışma akışkanı olup olamayacağı araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda R134a, bütan, izobütan, pentan ve izopentan çalışma akışkanı olarak tercih edilmiştir. Bu çalışma akışkanlarının türbin giriş sıcaklıkları ısı transfer akışkanının çıkış sıcaklığı tarafından sınırlandırılmış ve buna göre çıkılabilecek en yüksek kızgınlık sıcaklığı ve basınç şartlarında türbine girişi sağlanmıştır. Çalışmadan edinilen bilgilere göre

türbine giren çalışma akışkanının genişleyerek ısısı ve basıncı düşerek doygun buhar olarak türbinden çıkışı sırasında basıncının yaklaşık yüzde on değerinde azaldığı bilgisine dayanarak türbin çıkış basıncı %10 oranında azaltılmıştır. Yoğuşturucuya gelen doygun buharın doygun sıvı haline gelmesi için bu basınçta çalışma akışkanın doygun sıvı sıcaklığı termodinamik tablolardan belirlenmiş ve buna göre uygun sıcaklıkta yoğuşturucu çıkışı sağlanmıştır. Pompa ile devir daim sağlanarak sistem sürekli çalıştırılmıştır. Bu simülasyon çalışması deneysel çalışma sonucunda elde edilen çıkış sıcaklıkları ortalamasına göre her gün için beş farklı çalışma akışkanının denenmesi yoluyla yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Simülasyon sırasında çalışma akışkanlarının durumları sistemlerin çalışma şartları ile ilgili akım raporlarına (EK-4) göre elektrik üretimi hesapları yapılmıştır (EK-2).

Patil ve arkadaşları tarafından 2017'de yapılan çalışmada parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi ile organik Rankine çevrimi kombine edilerek tamamen simülasyona dayalı bir çalışma gerçekleştirilmiş ve güneş kolektöründe ısı transfer akışkanı olarak gliserin kullanılmış. Aynı lokasyona kurulu fotovoltaik güneş hücresi ve parabolik sistem ile üretilecek elektrik miktarı kıyaslanmış. Organik Rankine çevriminde çalışma akışkanı olarak izobütan kullanılmıştır. Ve çalışma sonucunda gözlemlenmiştir ki izobütan kullanılacak en ekonomik ve en verimli çalışma akışkanı ve fotovoltaik sistem ile üretilen elektrik miktarı 20 kWe'de sınırlı kalırken parabolik sistem 50 kWe üreterek daha verimli olduğunu göstermiştir. Patil ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma ile bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışma karşılaştırıldığında küçük ölçekli ve düşük sıcaklıklı parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile üretilen elektrik, çalışma akışkanı olarak izopentan kullanıldığında 1kW civarındadır ve düşük sıcaklık çalışmaları için yeterli görülmektedir.

Omar Aboelwefa ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları "A Review on Solar Rankine Cycles: working fluids, aplications and cycle modifications" isimli çalışmada fotovoltaik sistemlerin genel verimlerinin ortalama %12-25 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda parabolik oluk tipi güneş enerjisi sisteminin ortalama termal veriminin %90 civarında olduğu bulunmuştur. Ayrıca parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan ısı transfer akışkanlarının derlendiği çalışmada görülmektedir ki suyun ısı transfer akışkanı olarak kullanımı oldukça yaygındır. Suyun ısıl iletkenliği 50℃'ta 0,6435 W/mK iken gliserinin ısıl iletkenlik katsayısı 50℃'ta 0,295 W/mK'dir. Buradan da anlaşılacağı gibi su ve gliserin arasında ısıl iletkenlik açısından yaklaşık iki buçuk kat bulunmaktadır. Gliserin ile yapılan bu tez çalışması kapsamında,

gliserinin yüksek kaynama sıcaklığı ve sistem verimliliği göz önünde bulundurularak üretilebilecek en yüksek elektrik miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Omar ve arkadaşlarının çalışmasında en çok incelenen kısım güneş enerjisi ile kombine edilmiş organik Rankine çevriminde kullanılan çalışma akışkanlarıdır. Bu çalışma sonuçlarına göre R245fa, R134a, CO_2, bütan, izobütan ve propan 250℃'nin altındaki sıcaklıklarda kullanımı en uygun çalışma akışkanlarıdır. Bu tez çalışması kapsamında da R134a, bütan, izobütan ile yapılan analizler sonucunda bütan ve izobütanın R134a'ya kıyasla elektrik üretimi bakımından daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Delgado ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları "Analysis and optimization of the low temperature solar organic Rankine cycle" isimli çalışmada güneş enerjisi sistemi ile kombine edilmiş organik Rankine çevrimi kullanılmış. Düşük sıcaklık güneş enerjisi sistemleri için farklı ısı transfer akışkanlarıyla çalışarak güneş enerjisi-ORC (s-ORC) için toplam bir verim hesabı oluşturmak üzerine çalışmışlar. On iki farklı çalışma akışkanı ile farklı sıcaklık ve basınçta deneysel olarak çalışarak üretilecek verimi gözlemlemeye çalışmışlardır. İstenilen oranda üretim yapabilmek için kolektör alanının minimum olmasının hedeflendiği çalışmada dört farklı tip güneş kolektörü kullanarak en küçük alana sahip olacak güneş enerjisi sistemi belirlenmeye çalışılmıştır. Buharlaştırıcı sıcaklığını 70℃, yoğuşturucu sıcaklığını ise 30℃ sabit tutarak yapılan çalışmada pompa ve türbin verimi %75 olarak belirlenmiş. Bu çalışma sonucunda çalışılabilecek en iyi çalışma akışkanı olarak izobütan belirlenmiş. Bu tez çalışması kapsamında yapılan simülasyon çalışmasında kullanılan çalışma akışkanlarından birisi olan izobütan, bütan ve R134a'ya göre net iş miktarı daha fazla iken, pentan ve izopentanın net iş miktarı çalışmada en yüksek değerlere çıkan çalışma akışkanlarıdır. Pentan ile üretilen elektrik yaklaşık 750 Watt değerinde iken izopentan ile çalışıldığında aynı akış hızında 1000Watt olabileceği gözlemlenmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile yapılan çalışma sonucunda ısı transfer akışkanı gliserine aktarılan enerjinin hesaplanması ve meteoroloji genel müdürlüğünden alınan direkt güneş ışınım değerlerine bağlı olarak termal verim hesabı yapılmıştır. Sistemin ortalama termal verimi %90 ve ortalama optik verimi %20 olarak hesaplanmıştır.

Isı transfer akışkanının kazandığı faydalı enerjinin bir termodinamik çevrimde çalışma akışkanını buharlaştırması için kullanılmasına dayanarak Chemcad programında simüle edilen organik Rankine çevrimi prosesinde farklı çalışma akışkanları ile üretilebilecek elektrik miktarı incelendiğinde türbinde net güç çıkışının ortalama olarak 200 W olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada daha önce kullanılmamış bir ısı transfer akışkanı olan gliserinin kullanılmıştır. Sistemde kullanılan bakır boru sayesinde termal verimin çok yüksek olduğu ancak optik verimin istenilen düzeyde olmadığı sonucunda ulaşılmıştır. Bu nedenle kullanılan yansıtıcı yüzeyin, yansıtıcılık oranı daha yüksek bir malzeme ile değiştirilmesinin optik verimi artıracağı düşünülmektedir. Güneş takibinin manuel yapılmasından kaynaklı olarak güneş ışınlarından istenildiği gibi faydalanılamamış olmasının önüne geçmek için bir güneş takip mekanizmasının kurulmasının sıcaklık artışına olumlu etki edeceği ve böylece üretilecek elektrik miktarının daha da artırılabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca daha fazla güç üretimi için sistemin yüzey alanının genişletilmesi verimi artıracaktır.

KAYNAKLAR

Abdulhamed, A. J., Adam, N. M., Ab-Kadir, M. Z. A. and Hairuddin, A. A. (2018). Review of solar parabolic-trough collector geometrical and thermal analyses, performance, and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 822–831.

Aboelwafa, O., Fateen, S. E. K., Soliman, A. and Ismail, I. M. (2018). A review on solar Rankine cycles: Working fluids, applications, and cycle modifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, (Temmuz 2017), 868–885.

Allouhi, A., Benzakour Amine, M., Saidur, R., Kousksou, T. and Jamil, A. (2018). Energy and exergy analyses of a parabolic trough collector operated with nanofluids for medium and high temperature applications. *Energy Conversion and Management*, 155, 201–217.

Aydar, E., Üresin, E. ve Livatyalı, H. (2010). *Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinden elektrik üretimi.* Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Enstitüsü, 1–6.

Bao, J. and Zhao, L. (2013). A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 325–342.

Bellos, E., Tzivanidis, C., Antonopoulos, K. A. and Gkinis, G. (2016). Thermal enhancement of solar parabolic trough collectors by using nanofluids and converging-diverging absorber tube. *Renewable Energy*, 94, 213–222.

Bellos, Evangelos, Tzivanidis, C. and Tsimpoukis, D. (2018). Enhancing the performance of parabolic trough collectors using nanofluids and turbulators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 358–375.

Binboğa, Ö. (2020). *Yoğunlaştırılmış güneş kolektörleri ile zeytin karasuyunun bertarafının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 35-41.

Cengel, Y. A. and Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: fundamentals and applications*. New York; McGraw-Hill Education, 50.

Chen, H., Goswami, D. Y. and Stefanakos, E. K. (2010). A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3059–3067.

Cicibıyık, C. (2012). *Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile enerji üretimi.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 74-87.

Çağlar, A., Sarıkaya, A. ve Faruk Eyyupoğlu, Ö. (Kasım 2019). *Fresnel aynası ve güneş takip sisteminin güneş paneli güç üretimine etkisi.* Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu, Mersin, 1–9.

Çakıcı, D. M. (2016). *Thermal modeling of a geothermal powered organic rankine cycle ıntegrated with parabolic trough solar collector*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 29-38.

Çolak, L. (2003). Tasarim parametrelerinin parabolik oluk tipi bir güneş kollektörünün performansina etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 15–24.

Delgado-Torres, A. M. and García-Rodríguez, L. (2010). Analysis and optimization of the low-temperature solar organic Rankine cycle (ORC). *Energy Conversion and Management*, 51(12), 28-46.

Dinçer, F. (2011). Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli- ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Dergisi,* 14(1), 14,15.

Dinçer, İ. and Rosen, A. M. (1998). A worldwide perspective on energy, environment and sustainable development. *International Journal of Energy Research*, 27(1), 53–67.

Duffie, J. A. and Beckman, W. A. *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*. New Jersey: y John Wiley & Sons, 18

Dunham, M. T. and Iverson, B. D. (2014). High-efficiency thermodynamic power cycles for concentrated solar power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 758–770.

El-Assay Cairo, A. Y. and Clark, J. A. (1987). A thermal-optical analysis of a compound parabolic concentrator for single and multiphase flows, including superheat. *Wärme- Und Stoffübertragung*, 21(2–3), 189–198.

Fatma Çanka Kılıç. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makine*, 56(671), 37.

Fesharaki, V. J., Dehghani, M. and Fesharaki, J. J. (2011). The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. *International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation*, Tehran, Iran.

Georges, E., Declaye, S., Dumont, O., Quoilin, S. and Lemort, V. (2013). Design of a small-scale organic Rankine cycle engine used in a solar power plant. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *8*(1), 34–41.

Gün, A. R. ve Kurban, M. (16-18 Mayıs 2011). Güneş bacası sistemlerinin analizi ve karşılaştırmalı değerlendirilmesi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elâzığ, Turkey, 6-18.

Güneş, Ü. (1 Aralık 2012). Organik Rankin çevrimi teknolojisi ve gemilerde uygulanma alanı. *Gemi Inşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi*, İstanbul, 487-493.

Güngör, E. ve Çeliktaş, S. M. (25-28 Aralık 2013). *Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi güç sistemleri için teknoloji yol haritası.* 9. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Konya, Türkiye, 195–206.

Hamad, F. A. W. (1988). The performance of a cylindrical parabolic solar concentrator. *Energy Conversion and Management*, 28(3), 251–256.

Hansen, K., Mathiesen, B. V. and Skov, I. R. (2019). Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 1–13.

Heiti, R. V. and Thodos, G. (1983). An experimental parabolic cylindrical concentrator: its construction and thermal performance. *Sol. Energy; (United Kingdom)*, 30, 5-17.

Hellstrom, B., Adsten, M., Nostell, P., Karlsson, B. and Wackelgard, E. (2003). The impact of optical and thermal properties on the performance of flat plate solar collectors. *Renewable Energy*, 28(3), 331–344.

Helvaci, H. U. and Khan, Z. A. (2017). Thermodynamic modelling and analysis of a solar organic Rankine cycle employing thermofluids. *Energy Conversion and Management*, 138, 493–510.

Hernández-Moro, J. and Martínez-Duart, J. M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119–132.

Imtiaz Hussain, M., Ménézo, C. and Kim, J. T. (2018). Advances in solar thermal harvesting technology based on surface solar absorption collectors: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 187, 123–139.

İnternet: A New Invention To Harness The Sun. (1929). Popular Science. URL-21: https://books.google.com.tr/books?id=FSgDAAAAMBAJ&pg=PA2&lpg=PA2&dq=%22A+New+Invention+To+Harness+The+Sun%22+Popular+Science,+November+1929&source=bl&ots=m4wpswZD6G&sig=ACfU3U0k4ZJ98QCguetO2xCumyU4jskWAg&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKEwjjh4zmtI7zAhXEo4sKHZAKAr4Q6AF6BAgDEAM#v=onepage&q=%22A New Invention To Harness The Sun%22 Popular Science%2C November 1929&f=false, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: AA. Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji. URL-2: https://www.aa.com.tr/tr/sirkethaberleri/sirketler/encazipcom-2020de-turkiyede-yenilenebilirden-elektrik-uretimi-yuzde-20-artti/662989, Son Erişim Tarihi: 04.05.2021.

İnternet: Encazip. Güneş Bacası Nedir? URL-12: https://encazip.com/gunes-bacasi, Son Erişim Tarihi: 30.07.2021.

İnternet: Enerji Atlası. Ülkere göre güneş enerjisi. URL-4: https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html, Son Erişim Tarihi: 09.06.2021.

İnternet: Güneysan Güneş Enerjisi. *Vakum tüplü güneş kolektörü ve vakumlu cam tüp görseli.* URL-10: http://www.guneysangunesenerjisi.com.tr/?Pnum=15&pt=Vakum+T%C3%bcpl%C3%BC+G%C3%bcne%C5%9F+Enerji+Sistemleri, Son Erişim Tarihi: 29.07.2021.

İnternet: HSE Arhse. (2021). Rankine çevrimi görseli. URL-17: https://www.arhse.com/rankine-cycle/, Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.

İnternet: *International Energy Agency*. (2021). IEA.URL-19: https://www.iea.org/, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: *International Energy Outlook 2020*. International energy outlook 2021. URL-20: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/, Son Erişim Tarihi:23.11.2021

İnternet: *Ivanpah Solar Project Faces Risk of Default on PG&E Contracts | KQED*. (n.d.). Retrieved September 18, 2021, URL-22: https://www.kqed.org/news/10795376/ivanpah-solar-project-faces-chance-of-default-on-pge-contract, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: İrena. (2021). Solar energy. URL-23: https://www.irena.org/solar, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: küresel güneş atlası, Türkiye, Ankara görseli. URL-5: https://globalsolaratlas.info/detail?C=5.790897,36.035156,2&s=39.931885,32.845461&m=site, Son Erişim Tarihi: 20.09.2021.

İnternet: Livatyalı, H. (2011). Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri görseli. URL-13: https://docplayer.biz.tr/12018380-Yogunlastirilmis-gunes-enerjisi-teknolojileri.html, Son Erişim Tarihi: 30.07.2021.

İnternet: Martinopoulos, G. M. D. (2010). *Computatıonal modellıng of a novel flat plate solar collector*. URL-24: https://www.researchgate.net/publication/259297434_COMPUTATIONAL_MODELLING_OF_A_NOVEL_FLAT_PLATE_SOLAR_COLLECTOR_in_Greek, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: McMahan, A. C. (2006). *Design & optimization of organic rankine cycle solar-thermal powerplants*. University of Wisconsin-Madison. URL-25: https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/7889, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: Narin, M., Öznazik, A. (2018). *Dünyada ve Türkiye de güneş enerjisi*. International Conference on Eurasian Economies. URL-26: https://docplayer.biz.tr/205332860-Dunyada-ve-turkiye-de-gunes-enerjisi-solar-energy-in-the-world-and-turkey.html, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: Nexten. Güneş enerjisi tarih görseli. URL-3: https://nexten.com.tr/tr/gunes-enerjisi-tarihi/, Son Erişim Tarihi: 08.06.2021.

İnternet: Nuclear Power, Rankine çevrimi. URL-16: https://www.nuclearpower.com/nuclearengineering/thermodynamics/thermodynamic-cycles/, Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.

İnternet: Onurbaş Avcıoğlu, A. (2017). Güneş havuzu görseli. URL-11: https://docplayer.biz.tr/60603607-Yenilenebilir-enerji-kaynaklari-ve-teknolojileri-dersi-5.html, Son Erişim Tarihi: 29.07.2021.

İnternet: Ploetz, R., Eviliana, R. (2016). Renewable energy: advantages and disadvantages - polsri repository. Proceeding Forum in Research, Science and Technology. Politeknik Negeri Sriwijaya. URL-27: http://eprints.polsri.ac.id/3587/, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: Selekoglu, M. (2014) Güneş enerjisinden elektrik üretim genel uygulamaları. URL-8: http://www.mahmutselekoglu.com.tr/gunes-enerjisinden-elektrikuretimine-genel-bir-bakis-ve-bir-uyg.html, Son Erişim Tarihi: 10.02.2019.

İnternet: Sözbir, N. (2014). Metal malzemeler ve ısıl iletkenlik katsayıları değerleri tablosu. URL-15: https://gcoskun.sakarya.edu.tr/sites/gcoskun.sakarya.edu.tr/file/1397082775-%C4%b1s%C4%b1l_iletkenlik_deneyi.pdf.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.08.2021

İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). *2011 Türkiye çevre durum raporu.* URL: https://web.archive.org/web/20140227181456/http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/ced/TCDR_2011.pdf, Son Erişim Tarihi: 23.11.2021

İnternet: Turboden. Organik Rankine çevrimi genel gösterimi. URL-18: https://www.turboden.com/products/2463/orc-system, Son Erişim Tarihi: 03.08. 2021

İnternet: TÜBİTAK. (2011). Parabolik oluk tipi güneş enerjisi sistemi görseli. URL-14: https://www.researchgate.net/publication/329885841_Review_on_Solar_Thermal_Electricity_in_Libya/figures?Lo=1, Son Erişim Tarihi: 30.07.2021

İnternet: Wikipedia. Enerjisi santralleri. URL7: https://tr.wikipedia.org/wiki/Yekodakl%C4%B1_g%C3%bcne%C5%9F_enerjisi_santralleri, Son Erişim Tarihi: 27.08.2021.

İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2015). Jeotermal enerji. URL-1: http://www.yegm.gov.tr/, Son Erişim Tarihi: 25.12.2019.

İnternet: Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi. URL-9: http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes.html, Son Erişim Tarihi: 16.04.2021.

Kapstein, E. B., Butti, K. and Perlin, J. (1980). A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology. *Technology and Culture*, 21(4), 650.

Kartal, Y. (2007). *Parabolik yansıtıcı yüzeyli yoğunlaştırıcı güneş kolektörü tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 15-23.

Kearney, D., Herrmann, U., Nava, P., Kelly, B., Mahoney, R., Pacheco, J., Cable, R., Potrovitza, N., Blake, D. and Price, H. (2003). Assessment of a molten salt heat transfer fluid in a parabolic trough solar field. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 125(2), 170–176.

Kilickaplan, A., Bogdanov, D., Peker, O., Caldera, U., Aghahosseini, A. and Breyer, C. (2017). An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050. *Solar Energy*, 158, 218–235.

Külahlı, M. C. (2019). *Solar termal sistemlerde kullanılmak üzere değişken kesitli parabolik kollektör tasarımı, optimizasyonu ve termodinamik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Bursa, 14-28.

Lund, H., Østergaard, P. A., Connolly, D., Ridjan, I., Mathiesen, B. V., Hvelplund, F., Thellufsen, J. Z. and Sorknæs, P. (2016). Energy storage and smart energy systems. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 11, 3–14.

Nagarajan, P. K., Subramani, J., Suyambazhahan, S. and Sathyamurthy, R. (2014). Nanofluids for solar collector applications: A review. *Energy Procedia*, 61, 2416–2434.

Olia, H., Torabi, M., Bahiraei, M., Ahmadi, M. H., Goodarzi, M. and Safaei, M. R. (2019). Application of nanofluids in thermal performance enhancement of parabolic trough solar collector: State-of-the-art. *Applied Sciences*, 9(3), 463.

Omid K., S., Mohsen S., B. and Amir, H. (2018). Energy and exergy analysis of parabolic trough collectors. *International Journal of Heat and Technology*, 36(1), 147–158.

Özden, H. ve Paul, D. (2011). *Organik rankin çevrim teknolojisiyle düşük sıcaklıktaki kaynaktan faydalanılarak elektrik üretimi örnek çalışma: Sarayköy jeotermal santrali*. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 37,387.

Patil, V. R., Biradar, V. I., Shreyas, R., Garg, P., Orosz, M. S. and Thirumalai, N. C. (2017). Techno-economic comparison of solar organic Rankine cycle (ORC) and photovoltaic (PV) systems with energy storage. *Renewable Energy*, 113, 1250–1260.

Peng, Q., Ding, J., Wei, X., Yang, J. and Yang, X. (2010). The preparation and properties of multi-component molten salts. *Applied Energy*, 87(9), 2812–2817.

Pfahl, A., Coventry, J., Röger, M., Wolfertstetter, F., Felipe Vásquez-Arango, J., Gross, F., Arjomandi, M., Schwarzbözl, P., Geiger, M. and Liedke, P. (2017). Progress in heliostat development. *Solar Energy*, 152, 3-37.

Quoilin, S. (2011). *Sustainable energy conversion through the use of organic rankine cycles for waste heat recovery and solar applications*. Doctoral Dissertation, University of Liège, Liège, Belgium, 25-36.

Raade, J. W. and Padowitz, D. (2011). Development of molten salt heat transfer fluid with low melting point and high thermal stability. *Journal of Solar Energy Engineering*, 133(3), 3-13.

Rabl, A., Bendt, P. and Gaul, H. W. (1982). Optimization of parabolic trough solar collectors. *Solar Energy*, 29(5), 407–417.

Sadiqa, A., Gulagi, A. and Breyer, C. (2018). Energy transition roadmap towards 100% renewable energy and role of storage technologies for Pakistan by 2050. *Energy*, 147, 518–533.

Sheel, A. D., Tiwari, A. K. and Sinha, S. (2018). Analysis of parabolic trough solar collector using TiO2/water nano fluid. *International Journal Mechanical Technology*, 9(9), 1094-1102.

Şanlı, G. (2010). *Parabolik oluk tipi güneş kollektörlerin teorik olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 64-78.

Tatara, R. A., Thodos, G. and Lee, Y. N. (1991). Performance of an array of compound parabolic concentrations with plain tubular receivers. *Renewable Energy*, 1(1), 21–26.

Tchanche, B. F., Papadakis, G., Lambrinos, G. and Frangoudakis, A. (2009). Fluid selection for a low-temperature solar organic Rankine cycle. *Applied Thermal Engineering*, 29(11–12), 2468–2476.

Usta, Y. (2010). *Simulations of a large scale solar thermal power plant*. Master Thesis, Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 15-17.

Üçgül, İ. ve Ergün, E. (2012). Doğrusal fresnel güneş güç sistemi. Süleyman Demirel Üniversitesi *YEKARUM E-Dergi*, 1(3), 3.

Varınca, K. B. ve Varank, G. (2005, Haziran). *Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri*. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel, Mersin.

Wang, X. D. and Zhao, L. (2009). Analysis of zeotropic mixtures used in low-temperature solar Rankine cycles for power generation. *Solar Energy*, 83(5), 605–613.

EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)



GAZİ GELECEKTİR...