

**PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE
ENERJİ ÜRETİMİ**

Can CİCİBİYİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KASIM 2012
ANKARA**

Can CİCİBİYİK tarafından hazırlanan “PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE ENERJİ ÜRETİMİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Atilla Mirati MURATHAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Habibe Canan CABBAR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü

Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Nureddin DİNLER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 27/11/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Can CİCİBİYİK

PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ İLE ENERJİ ÜRETİMİ

(Yüksek lisans tezi)

Can CİCİBİYİK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Kasım 2012

ÖZET

Dünyada artan nüfus ile orantılı olarak enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacı esas olarak fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması sonucu meydana gelen emisyonlar çevre kirliliği yaratmakta ve günümüzün önemli bir çevre sorunu olan küresel ısınmaya yol açmaktadır. Ayrıca fosil kaynakların giderek tükenmesi ve ülkelerin ekonomik özgürlüklerini kısıtlaması, araştırmacıları enerji ihtiyacı için yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi, sahip olduğu potansiyeli, zararlı emisyonunun olmaması ve teknolojik gelişmelerinin artmasıyla ön plana çıkmaktadır.

Türkiye, konumu itibariyle güneş kuşağı içerisinde yer almaktadır ve güneş enerjisi potansiyeli önemle ele alınması gereken büyüklüktedir. Güneş enerjisinden ısıtma, soğutma, pişirme, kurutma gibi amaçlarla yararlanılmasının yanında yoğunlaştırılmış sistemlerle yüksek sıcaklıklarda buhar elde ederek elektrik üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu çalışmada yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden biri olan parabolik oluk tipi güneş kollektörü incelenmiştir. Parabolik oluklu güneş kollektörünün yansıtıcı yüzey, emici boru ve cam örtü tasarımları yapılarak ısıl deneyler için prototip imalatı yapılmıştır. Tasarlanan 1,40 x 3,00 m boyutundaki parabolik

oluk tipi güneş kollektörüyle yapılan deneyler sonucu optik ve ısı verim hesaplamaları yapılarak ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda sistemin ortalama ısı veriminin % 85 ve ortalama optik veriminin % 20 olduğu görülmüştür. Optik verimi önemli oranda etkileyen cam örtü optik veriminin ortalama % 25 olduğu görülmüştür. Isı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji ile Organik Rankine Çevrimi (ORC) prosesinde elektrik üretimi teorik olarak simüle edilmiş ve çevrimin çalışma koşullarındaki termodinamik analizi yapılmıştır. ORC prosesinin ekserji analizi yapılmış ve birinci yasa verimi % 9, ikinci yasa verimi % 45 olarak hesaplanmıştır. Yapılan simülasyonlarda deneysel sistem için buhar türbininde net güç çıkışının yaklaşık 50 W olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 912.1.033

Anahtar Kelimeler :Güneş Enerjisi, Enerji Üretimi, Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi, Parabolik Oluk Tipi Kollektör

Sayfa Adedi : 137

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

ENERGY PRODUCTION BY PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR

(M. Sc. Thesis)

Can CİCİBIYIK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2012

ABSTRACT

In line with the growing population of the world energy demand is increasing day by day. Today, energy demand is mainly provided by fossil fuels. Emissions caused by fossil fuels lead to environmental pollution and global warming which leads to an important environmental issue. Also the depletion of fossil resources and increasingly restricted country's economic freedom, led researchers to renewable energy sources for energy needs. Among renewable energy sources, solar energy comes to the fore by its potential, the lack of deleterious emissions and the increasing technological developments.

Turkey is located in the sun-belt and its solar energy potential should be taken into serious consideration. Beside its use for heating, cooling, cooking, drying, solar energy can be employed to generate high temperature steam to produce electricity by concentrating systems.

In this study parabolic trough collector, one of the concentrated solar power systems, was studied. Parabolic trough collector's reflecting part, absorber tube and glass covering were designed and a prototype was manufactured for thermal experiments. Optical and thermal efficiencies of the parabolic trough collector in size 1,40 x 3,00 m were calculated experimentally and the useful energy which transferred to the heat transfer fluid was also determined. As

result of calculations the mean thermal efficiency of system was found as 85 % and the mean optical efficiency of system was as 20 %. Efficiency of the glass cover which affects the systems optical efficiency significantly, was determined as 25 %. Electricity production in Organic Rankine Cycle (ORC) processes was also simulated theoretically and thermodynamic analyses were carried out at working conditions. Exergy analysis of ORC process was done and first law efficiency was determined as 9 % and second law efficiency as 45 %. In simulations, net power from the steam turbine for the experimental system was determined to be around 50 W.

Science Code : 912.1.033

**Key Words : Solar Energy, Energy Production, Concentrated Solar Power,
Parabolic Trough Collector**

Page Number: 137

Adviser : Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın hazırlanması süresince, yardım ve desteklerini esirgemeyen, değerli görüş ve önerileri ile beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda her türlü desteği ile bana yardımcı olan, değerli bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren Coşar Isı Cihazları San. Tic. Ltd. Şti çalışanlarına ve Sayın Ergün COŞAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan yardımlarından ve sabrından dolayı Özge ÖZDEN'e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bugünlere gelmemde emeği geçen bütün hocalarıma ve çalışmalarında beni yalnız bırakmayan, desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım sürecinde bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ	10
3.1. Güneş Işınımı ve Geometrisi.....	10
3.1.1. Güneş.....	10
3.1.2. Güneş ışıınımı.....	10
3.1.3. Güneş açıları.....	12
3.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	16
3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı	19
3.4. Güneş Enerjisi Sistemleri	20
3.4.1. Sabit güneş enerjisi sistemleri	21
3.4.2. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri	24
4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ	31
4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Boyutlandırılması	33

Sayfa

4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinde Optik Kayıplar ve Analizi.....	36
4.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektöründe Isıl Kayıplar ve Analizi	40
4.4. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerde Güneş Hareketlerini İzleme Yöntemleri.....	44
4.4.1. Tek eksenli izleme yöntemleri.....	44
4.4.2. İki eksenli izleme yöntemi	47
5. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI VE İMALATI.....	48
5.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Yansıtıcı Yüzey Tasarımı ve Boyutlandırılması	48
5.1.1. Yansıtıcı yüzey malzemesinin belirlenmesi	49
5.1.2. Yansıtıcı yüzeyin boyutlandırılması.....	50
5.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Emici Boru ve Cam Örtü Tasarımı ..	51
5.2.1. Emici boru malzeme seçimi	52
5.2.2. Emici boru boyutlandırılması.....	54
5.2.3. Cam örtü tasarımı	56
5.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Isı Transfer Sıvısının Seçimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi	57
5.4. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörünün İmalatı	59
6. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ KULLANARAK ENERJİ ÜRETİM PROSESİ	63
6.1. Genel Rankine Çevrimi	63
6.1.1. Rankine çevrimi verimi üzerine basınç ve sıcaklığın etkisi	66
6.2. Organik Rankine Çevrimi (ORC) Sistemleri	67
6.2.1. ORC’de çalışma sıvısının seçilmesi	68

Sayfa

6.2.2. ORC'nin bazı önemli avantajları.....	69
6.3. Enerji Üretiminde Verim ve Ekserji Analizi	70
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	74
7.1. Bulgular	75
7.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörünün Optik ve Isıl Analizleri	78
7.2.1. Güneş enerjisinin depolanması.....	87
7.3. Elektrik Üretim Performans Analizi	89
7.4. Tartışma.....	98
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	108
EK-1.	109
EK-2	125
ÖZGEÇMİŞ	137

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi.....	16
Çizelge 3.2. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	17
Çizelge 3.3. Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler	29
Çizelge 3.4. Dünyada kurulu olan başlıca güneş enerjisi santralleri.....	30
Çizelge 5.1. Bazı yansıtıcı malzemeler ve yansıtma oranları	49
Çizelge 5.2. Toplayıcı kısım tasarımında kullanılan ekipmanlar.....	52
Çizelge 5.3. Bazı yüzeylerin güneş ışınlarını emme ve yayma özellikleri	53
Çizelge 5.4. Bazı seçici yüzey kaplı emici boruların ısıma özellikleri	54
Çizelge 5.5. Bazı cam malzeme yüzeylerin yansıtıcılık, soğuruculuk ve geçirgenlikleri	57
Çizelge 5.6. Isı depolama malzemelerinin fiziksel özellikleri	58
Çizelge 5.7. Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş kolektörünün karakteristik ve teknik değerleri	62
Çizelge 7.1. 05.06.2012 tarihinde elde edilen deneysel veriler	75
Çizelge 7.2. MGM' den alınan 05.06.2012 tarihi güneş ışınlam değerleri.....	77
Çizelge 7.3. 05.06.2012 tarihli çalışma için hesaplanan optik ve ısı analizlerin sonuçları	86
Çizelge 7.4. Yapılan simülasyonlardan elde edilen çalışma verileri ve termodinamik analiz sonuçları	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları	2
Şekil 3.1. Güneş açıları	12
Şekil 3.2. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi	13
Şekil 3.3. Zenit açısının gösterimi	14
Şekil 3.4. Bazı güneş açıları.....	15
Şekil 3.5. Türkiye'nin yıllık güneş ışınlamı haritası.....	17
Şekil 3.6. Türkiye global radyasyon değerleri	18
Şekil 3.7. Türkiye güneşlenme süreleri.....	18
Şekil 3.8. Düzlemsel güneş kollektörü.....	21
Şekil 3.9. Güneş havuzları	23
Şekil 3.10. Güneş bacaları çalışma prensibi, 200 MW'lık güneş bacası santrali, Avustralya	23
Şekil 3.11. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler	26
Şekil 3.12. Merkezi alıcılı sistemler.....	27
Şekil 3.13. Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı sistemler	28
Şekil 3.14. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemler	28
Şekil 4.1. Parabolik oluk tipi güneş kollektörü	31
Şekil 4.2. Fosil yakıtlı termik santral ile güneş enerjisi santrali karşılaştırması	32
Şekil 4.3. Parabolik oluklu güneş enerjisi santrali	33
Şekil 4.4. Parabolik oluk tipi güneş kollektörü dizayn parametreleri	34
Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıdaki ışın transfer şeması.....	36
Şekil 4.6. Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi.....	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması	40
Şekil 4.8. Isı transferi termal direnç akımı	41
Şekil 4.9. Kutupsal konumlandırılmış toplayıcının gösterimi	45
Şekil 4.10. Kuzey-Güney yatay konumlandırılmış güneşi doğu-batı takip eden toplayıcının gösterimi.....	46
Şekil 4.11. Doğu-Batı yatay konumlandırılmış güneşi kuzey-güney takip eden toplayıcının gösterimi.....	46
Şekil 4.12. Güneşi iki eksenli takip eden toplayıcı gösterimi	47
Şekil 5.1. Parabolik yüzey boyutları koordinat düzleminde gösterimi	50
Şekil 5.2. Güneş ışınlarını toplayıcı kısmın tasarımı	52
Şekil 5.3. Parabolik yansıtıcı yüzeye gelen ve yansıtılan güneş ışın konisinin açıklık	55
Şekil 5.4. Çeşitli kimyasal, ısı ve mekanik ortamlar için enerji depolama kapasitelerinin karşılaştırılması	59
Şekil 5.5. Kollektör alt taşıyıcı sistem tasarımı.....	60
Şekil 5.6. Parabolik yansıtıcı yüzey tasarımı	60
Şekil 5.7. Parabolik oluklu güneş kollektörü imalat fotoğrafları	61
Şekil 5.8. Emici boru ve cam örtü birleştirilmesi.....	61
Şekil 6.1. Genel Rankine çevrimi	64
Şekil 6.2. Kızdırma sıcaklığının artırılmasının Rankine çevrimi üzerine etkisi	66
Şekil 6.3. Kondenser basıncının düşürülmesinin Rankine çevrimi üzerine etkisi	67
Şekil 6.4. ORC sistemleri.....	67
Şekil 7.1. Deneysel çalışma sisteminin şematik gösterimi	74
Şekil 7.2. Deneysel çalışma düzeneği.....	74

Şekil	Sayfa
Şekil 7.3. 05.06.2012 tarihli çalışmada suyun kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları değişimi	76
Şekil 7.4. 05.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen ısıyı oluşturduğu sıcaklık farkı..	76
Şekil 7.5. 05.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışıyım değęrlerinin değışimi	77
Şekil 7.6. 05.06.2012 tarihi direkt ışıyımın toplam ışıyıma oranları	78
Şekil 7.7. CHEMCAD programı ile yapılan simölasyon.....	91
Şekil 7.8. Deneysel sonuçlara göre ORC çevrimi verileri	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A_{mbd}	Metal boru dış yüzey alanı (m^2)
A_{gka}	Gölgelemeyen kollektör alanı (m^2)
d_{mbi}	Metal boru iç çapı (m)
d_{mbd}	Metal boru dış çapı (m)
d_{cbi}	Cam boru iç çapı (m)
d_{cbd}	Cam boru dış çapı (m)
D_{min}	Emici boru minimum boru çapı (m)
f	Odak uzaklığı (m)
G_{ad}	Atmosfer dışındaki güneş ışıınım miktarı (W/m^2)
G_{sbt}	Güneş enerjisi sabiti (W/m^2)
G_{beam}	Direkt güneş ışıınım miktarı (W/m^2)
G_{diff}	Diffüz ışıınım miktarı (W/m^2)
G_T	Yeryüzündeki toplam ışıınım miktarı
G_A	Atmosferde kayıplara uğradıktan sonraki direkt gelen güneş ışıınları (W/m^2)
G_Y	Yansıtıcı yüzeye dik olarak düşen güneş ışıınları (W/m^2)
G_O	Yansıtıcı yüzeyden odağa yönlendirilen güneş ışıınları
G_C	Cam örtüye gelen güneş ışıınları (W/m^2)
G_B	Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışıınları (W/m^2)
G_I	Boru içinde depolanan güneş ışıınları (W/m^2)
H_k	Parabolik yansıtıcı yüzey derinliği (m)
I	Sistemde oluşan tersinmezlikler
h_d	Cam örtüden çevreye olan ısı transfer katsayısı
h_{ar}	Metal boru ile cam örtü arası olan ısı transfer katsayısı

Simgeler	Açıklama
h_i	Isı transfer sıvısı taşınım ısı transfer katsayısı(W/m ² K)
k_{mb}	Metal boru ısı iletim katsayısı (W/m K)
k	Isı iletim katsayısı
k_{eff}	Boşluktaki hareketsiz havanın etkin ısıl iletkenliği
L	Kollektörü uzunluğu (m)
Q_G	Emici boruya gelen kullanılabilir enerji (W)
Q_f	Isı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji (W)
Q_k	Emici borudan çevreye olan ısı kaybı (W)
T_d	Dış ortam sıcaklığı (°C)
T_{cbd}	Cam boru dış duvar sıcaklığı (°C)
T_{cbi}	Cam boru iç duvar sıcaklığı (°C)
T_{mbd}	Metal boru dış duvar sıcaklığı (°C)
T_{mbi}	Metal boru iç duvar sıcaklığı (°C)
T_{ort}	Isı transfer sıvısı ortalama sıcaklığı (°C)
$T_{i,g}$	Isı transfer sıvısı kollektör giriş sıcaklığı (°C)
$T_{i,ç}$	Isı transfer sıvısı kollektör çıkış sıcaklığı (°C)
T_{tank}	Tank içi sıvı sıcaklığı (°C)
U_{mbd}	Emici boru ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı
W_k	Kollektörü açıklık eni (m)
W_{net}	Sistemde yapılan net iş (W)
W_{tr}	Sistemde yapılan tersinir iş (W)
W_y	Sistemde yapılan yararlı iş (W)
Nu	Nusselt sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
Pr	Prandtl sayısı
θ_r	Kollektör kenar açısı
r_r	Maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapı (m)
η_{optik}	Kollektör optik verimi
ρ_y	Yansıtıcı yüzey yansıtma katsayısı

Simgeler**Açıklama**

α_{mb}	Metal boru emicilik katsayısı
τ_{cb}	Cam boru geçirgenlik katsayısı
ε_{mb}	Metal boru ısı yayıcılık katsayısı
ε_{cb}	Cam boru ısı yayıcılık katsayısı
$\eta_{ısıl}$	Kollektörün ısı verimi
h	Entalpi (kJ/kg)
s	Entropi (kJ/kg K)
$I_{çevrim}$	Çevrimde oluşan toplam tersinmezlikler (W)
η_I	Sistemin birinci yasa verimi
η_{II}	Sistemin ikinci yasa verimi
ψ	İş yapabilme potansiyeli (Ekserji)
δ	Deklinasyon açısı, güneş ışınları yayılım açısı
ϕ	Enlem açısı
β	Eğim açısı
θ	Gelme açısı
θ_s	Güneşsel kesişim açısı
ε	Güneş ışınlarını yayma oranı
α	Güneş ışınlarını emme oranı

Kısaltmalar**Açıklama**

EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
MGM	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
ORC	Organik Rankine Çevrimi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
YO	Yoğunlaştırma Oranı

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının ve ekonomik kalkınmanın en önemli araçlarından birisidir. Enerji hem fosil kaynaklardan hem de yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilmektedir.

Tarihsel süreç içerisinde insanoğlu, insan ve hayvan gücünün yanı sıra su ve rüzgârdan yararlanmıştır. Sanayi Devrimi'nden sonra dünyada enerji ihtiyacı hızla artmıştır. 19. yüzyılda kömür, sanayisi gittikçe gelişen birincil enerji kaynağı olmuştur. 19. yüzyılın sonlarında kömür, yerini daha verimli ve işlevsel olan petrole bırakmıştır. 20. yüzyılda petrolün, toplumsal yaşamda ekonomik öneminin yanı sıra politik ve stratejik önemi de artmıştır. 20. yüzyılda yaşanan savaşlarda, petrol savaşların aracı değil amacı olmuştur. 21. yüzyıla girildiğinde petrolün yanı sıra önem kazanan doğalgaz; bir ülkenin ekonomisini, siyasetini ve kalkınmasını etkileyen en önemli etkenlerden biri haline gelmiştir [1].

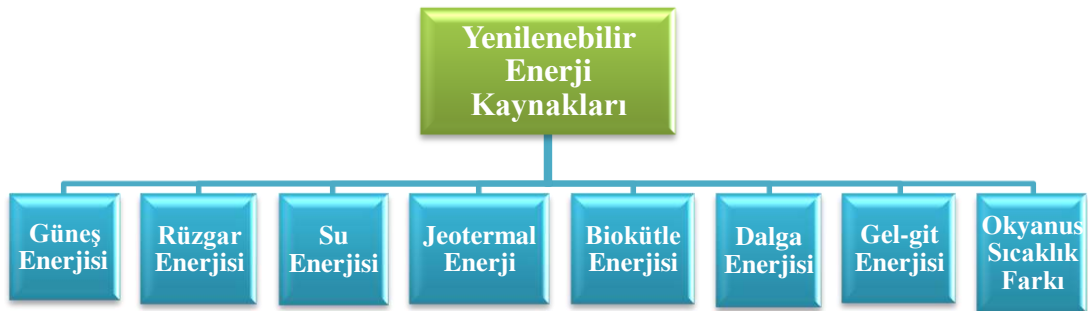
Dünya ülkelerinde tüketilen enerjinin yaklaşık % 39'unu petrol, % 27'sini kömür ve % 21'ini doğalgaz, % 13'ünü hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır [2]. Bu rakamlara bakıldığında, dünyada tüketilen enerjinin % 87'si fosil yakıtlardır. Enerji uzmanlarının tahminlerine göre petrol rezervlerinin yaklaşık 40 yıl, doğalgaz rezervlerinin 62 yıl ömrü kalmıştır [3].

Fosil yakıtların kullanılması küresel ısınma ve çevre kirliliğine yol açmakta, insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bunun nedeni fosil kaynaklı yakıtların bileşiminde bulunan karbon, hidrojen, sülfür ve diğer elementlerdir. Bu elementler yanma sonucunda tepkimelere girerek çeşitli zararlı emisyonlar oluşturmaktadırlar. Küresel ısınma sonucunda iklim değişikliği meydana gelebilmektedir. İklim değişikliği sonucu su kaynakları azalmakta, kuraklık ve orman yangınları meydana gelmekte, bulaşıcı hastalıklar artmaktadır. Gün geçtikçe ormanların azalmasıyla bu süreç daha da hızlanmaya başlamıştır.

Kirlilik enerji tüketimiyle orantılıdır. Bugün günlük petrol tüketimi 76 milyon varildir. Fosil yakıt kullanımının etkilerinin bilinmesine rağmen bu rakamın 2025 yılında günlük 123 milyon varile çıkacağı düşünülmektedir. İlerideki enerji tüketim ve üretim düzeylerini belirlemekte çok sayıda etken göz önünde tutulmaktadır. Bu etkenler nüfus artışı, ekonomik performans, tüketici seçenekleri ve teknolojik gelişmeler gibi ana başlıklar altında toplamak mümkündür [4].

Fosil kaynakların rezervleri sınırlıdır ve bu kaynaklar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Bu durumun sonucu olarak geleneksel kaynaklara sahip gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ve mevcut enerji hizmetlerinden yararlanmak isteyen ülkeler arasında enerji güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli antlaşmalar ve politikalar oluşturulmuştur. Dünya petrol fiyatlarındaki hızlı artış ve sera gazı emisyonlarına Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü ile getirilen sınırlamalarla önlem alınmaya çalışılmıştır [5].

Bütün bu nedenlerle araştırmacılar, fosil kaynaklara alternatif olabilecek sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmezdir ve fosil kaynaklı yakıtlar gibi çevreyi kirlletici etkisi yoktur. Ekonomik ve dünyanın her yerinde bu kaynakların var olması ülkeleri enerjide dışa bağımlı hale gelmekten kurtarmaktadır. Şekil 1’de yenilenebilir enerji kaynakları verilmiştir.



Şekil 1.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en çok kullanılan güneş enerjisidir. Güneş dünyanın en büyük enerji kaynağıdır. Emisyonu yoktur dolayısıyla çevre kirliliği yaratmaz ve bulunması kolaydır.

Güneş temel anlamıyla hidrojenin helyuma çevrildiği bir füzyon reaktörüdür. Güneşin yaydığı toplam enerji $3,8 \times 10^{20}$ MW ki bu da güneşin yüzeyinde 63 MW/m^2 değerindedir. Bu enerji her yönde ışıyır. Sadece $1,7 \times 10^{14}$ kW'lık kısım dünyaya ulaşır. Dünya üzerine düşen bu ışıyım şiddetinin 30 dakikalık kısmı dünyanın bir yıllık enerji gereksinimine denktir [6].

Türkiye dünya üzerindeki konumu itibarıyla güneş kuşağı içerisinde yer almakta olup güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Doğu Karadeniz Bölgesi hariç tüm bölgelerimiz için önemle ele alınması gereken bir büyüklüktedir. Güneş enerjisinden su ısıtma, konut ısıtma, pişirme, kurutma, soğutma gibi ısı amaçlarıyla yararlanılabileceği gibi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek de olanaklıdır. Elektrik enerjisi elde etmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemleri fotovoltaiik sistemler (güneş pilleri) ve ısı sistemler olarak gruplandırmak mümkündür.

Son yıllardaki teknolojik gelişmeler sonucunda güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi hızla artmaktadır. Devletlerin bu tür çalışmalara vermiş oldukları destekler ile de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde de yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimine verilen destek ile teknolojik gelişmeler hız kazanmıştır. Her konut ya da işyeri artık kendi elektriğini üretebileceği gibi ürettiği bu elektriği devlete de satabilecektir. Böylece hem teknolojik açıdan ilerleme kaydedilecek hem de yenilenebilir kaynaklar kullanılarak enerji ihtiyacımıza önemli bir katkıda bulunulacaktır.

Isıl sistemlerden biri olan ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemi olarak da bilinen parabolik oluklu kollektörde yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları parabolün odak noktasında bulunan boydan boya uzanan absorban boruya yönlendirilir. Burada

yoğunlaşan güneş ışınları ile elde edilen ısı absorban boru içerisindeki çalışma sıvısına geçer. Akışkana aktarılan bu ısı elektrik üretimi için standart enerji üretim çevrimlerinde kullanılabilir.

Bu çalışmada ilk olarak parabolik oluk tipi güneş kolektörleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş, güneş ışıınımı ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir. Farklı güneş enerjisi sistemleri incelenmiş ve tezin ana çalışma konusu olan, parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin boyutlandırılması, optik ve ısı analizleri incelenmiştir.

Hazırlanan tez çalışması kapsamında parabolik oluklu güneş kolektörü tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Güneş kolektörü ile sıcaklık ölçümleri yapılarak, imal edilen parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen enerji incelenmiştir. Güneş kolektörünün optik ve ısı analizleri gerçekleştirilmiştir. Parabolik oluklu güneş kolektörü ile elektrik üretim prosesleri incelenmiş ve elde edilen deneysel veriler ışığında elektrik enerjisi üretim prosesi bilgisayar programı ile simüle edilmiştir. Enerji üretiminde kullanılan termodinamik çevrim farklı çalışma koşullarında çalıştırılarak bu koşullardaki birinci ve ikinci yasa analizleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Parabolik oluklu güneş kolektörlerinin tasarımı, optimizasyonu termal ve optik verimliliği, ısı transfer sıvısının seçimi gibi konularda birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Hamad (1988), silindirik parabolik güneş kolektörleri üzerinde yaptığı araştırmalar neticesinde ısı transferini sağlayan akışkanın kolektör içerisinde kütleli akışı esnasında akış hızından dolayı oluşan farklılıkların genel verim üzerine etkilerini incelemiştir. Hava sıcaklığının performans üzerine çok az etkinliğinin olduğunu tespit etmiş, esas tesirin akışkan çıkış sıcaklığında olduğunu tespit etmiştir [7].

Kearney ve arkadaşları (2003), parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde tuz eriyiğinin ısı transfer sıvısı ve ısı depo sıvısı olarak kullanılabilirliğini ve elektrik üretim maliyetinin düşürülmesini araştırmışlardır. Yapılan çalışmalarda iki farklı nitrat tuzunun en uygun şartları sağladığı görülmüştür. Bunlar Solar Salt (60 % NaNO_3 ve 40 % KNO_3) ve HitecXL (48 % $\text{Ca(NO}_3)_2$, 7 % NaNO_3 , and 45 % KNO_3) olarak bilinen tuzlardır. İki tank depolaması ve maksimum çalışma sıcaklığı 450°C olarak kabul edilerek elektrik fiyatının mevcut sistemlerle kıyaslandığında %14,2 düşürülebildiği görülmüştür [8].

Singh ve arkadaşları (2000), yapmış oldukları çalışmada parabolik oluk kolektör ile Rankine çevrimi sistemi bileşenlerinin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Belirlenen operasyon koşullarında tipik bir güneş ısı güç sistemindeki ısı kayıpları, ekserjetik verimliliği incelemişlerdir. Ana enerji kaybının ısı çevriminde kullanılan yoğunlaştırıcıda olduğunu bulmuşlardır, oysaki ekserji analizleri kolektör - alıcı yüzey arasındaki kayıpların maksimum olduğunu göstermiştir [9].

Bradshaw ve Siegel (2008), yapmış oldukları çalışmada farklı bileşenlerde tuz eriyikleri geliştirerek bunların özelliklerini belirlemiş ve ısı transfer akışkanı olarak avantajlarını parabolik oluk kolektörde araştırmışlardır. Farklı yapılarıdaki tuz

eriyiklerinin faz değişim davranışlarının termal enerji depolama sistemleri için uygunluğu, kimyasal kararlılıkları ve viskoziteleri değerlendirilmiştir [10].

Kartal (2007), parabolik güneş kollektörleri hakkında bir boyutlu enerji denklemleri tanımlamıştır. Ayrıca güneş açılarına bağlı olarak gelen ışıınım hesapları üzerine tanımlamalar sunmuştur [11].

Bhowmik ve Kandpal (1988), çalışmalarında güneşi kuzey-güney, doğu batı ve her ekseninde de izleyen parabolik güneş kollektörleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalar esnasında farklı yıl içi zamanlar, farklı enlemler ve açılar kullanılarak bunlara bağlı grafiksel sonuçlar elde edilmiştir [12].

Heiti ve Tados (1983), parabolik güneş kollektörlerinde termal verim ve performans üzerine çalışmalar yapmışlardır. Parabolik açıklığın güneş ışıınlarının geliş açılarına bağlı olarak verim üzerine etkilerini ve bu alanın sınırlarının analizlerinin optimizasyon üzerine etkisi konularında eserler vermişlerdir [13].

Rabl, Bendt ve Gaul (1982), parabolik güneş kollektörlerinde optimizasyon konularında çalışmışlardır. Güneş kollektörü konsantrasyon oranı, yutucu ve cam kılıf çapına bağlı olarak meydana gelen ısı kayıplar minimize edilmeye çalışılmıştır. Optimum açıklık değerleri için grafikler tasarlanmış ve deneysel sonuçlarla mukayeseler yapılmıştır [14].

Pereira ve arkadaşları (1991), borulu soğuruculu iki kademe parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılar için deneyler yapmışlardır. Bu tip yoğuşturucular da toplam ısı kayıplarını azaltarak yüksek akışkan sıcaklıkları elde etmişlerdir [15].

Yeşilata (1990), güneşin hareketini izleyen parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasarımını ve imalini gerçekleştirmiştir. Yoğunlaştırıcının ısı veriminin belirlenmesinde kullanılacak bir deney düzeneği oluşturmıştır. Bu deney düzeneğini kullanarak imal edilen güneş yoğunlaştırıcısının ısı verimini hesaplamıştır [16].

Karaduman (1989), parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcının ısı verimini bulmak için zorunlu dolaşımli sistemle çalışan ve doğrudan akışkan ısıtan bir güneş yoğunlaştırıcısının tasarımını, imalini ve performans deneylerini yapmıştır [17].

Ecevit ve Goshtaspour (1985), ısı üretimi için kullanılacak parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcıların optik ve ısı özelliklerini irdelemişler ve bu yoğunlaştırıcılar için malzeme seçimini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre yoğunlaştırıcıyı tasarlayıp imal etmişlerdir [18].

Usta (1995), güneş enerjisiyle çalışan $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ akışkan çifti kullanan soğurmali soğutma sistemlerin tasarımlarının geliştirilmesi ve imalatı konusunda çalışmıştır. Sistemde yoğunlaştırıcı yüzeyi parabolik aynalardan oluşan, pyreks boru cam örtü içerisindeki siyaha boyanmış güneş tek ekseninde izleyen parabolik oluk tipi güneş kollektörü kullanmış ve 100°C 'nin altındaki sıcaklıklarda testler yapmış ancak verimin düşük olduğunu görmüştür [19].

Kalogirou ve arkadaşları (1997), parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarda buhar üretimi sistemlerini modellemişler ve yaptıkları simülasyon programı ile optimizasyon ve performans değerlendirmelerini yapmışlardır [20].

Genç (1998), güneş tek ekseninde takip eden 3,70 m boyunda ve 40 mm çapındaki parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasarımını ve imalini yapmıştır. Yoğunlaştırıcının güneş fotosel yardımıyla tek ekseninde takip etmesini sağlamıştır. Sistemin performans deneylerini Ankara iklim şartlarında incelemiştir. Bu çalışmada, gün boyu yapılan testlerde 75°C kollektör çıkış sıcaklığı elde edilmiş ve yaklaşık 7°C giriş çıkış sıcaklık farkı için % 65 verim elde edilmiştir [21].

Garcia-Valladares ve Velazquez (2009), tek ve çift geçişli parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının ısı ve akış davranışlarının nümerik simülasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında Sandia National Laboratories sağlanan deneysel verileri kullanmışlardır. İki geçişli parabolik oluk yoğunlaştırıcı kullanıldığında ısı

transfer kayıplarının azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca Reynold sayısı, kanal kalınlık oranı ve geri çevrim oranı arttığı zaman, istenen ısı transfer artışı ve çevreye olan ısı kayıpların düşüşünün arttığını elde etmişlerdir [22].

Fernandez ve arkadaşları (2010), çalışmasında parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tarihi gelişimine ve son yüzyıl boyunca bu yoğunlaştırıcı sisteminin yapılması ve pazarlanmasını incelemişlerdir. Özellikle 400° C’de buhar kullanılarak elektrik üreten sistemler üzerinde durmuşlardır [23].

X. Haifeng ve L. Zhenyan (2003), vakum teknolojisini kullanarak güneş takip etme özelliği olmayan yoğunlaştırıcı parabolik yansıtıcı ile güneş enerjisi soğutma borusu denenmiştir. Çalışmada optik verim ve yoğunlaştırma oranları üzerine hesaplamalar yapılmıştır. Yoğunlaştırmalı yansıtıcı sayesinde soğutma kapasitesi düz alüminyum yansıtıcılara oranla % 60~67 artmıştır. COP ise % 16~21 artmıştır [24].

R.K. Mazumder ve ark. (2003), vakum yapılmış boru tipi toplayıcı için ısı kayıp faktörü araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada ısı kayıp faktörü (UL)’nin, yutucu sıcaklığı, ışınlam yayma-yutma katsayıları, yutucu boru çapı ve rüzgar kayıp katsayısıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkiler en küçük kare regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Rüzgar kayıp katsayı 10-60 W/m² °C, yayma katsayısı 0,1~0,95 ve yutucu sıcaklığı 50~200 °C koşullarında, ısı kayıp faktörü % 1,5 oranında bulunmuştur [25].

Tatara ve arkadaşları (1991), 4 adet POY tipi yoğunlaştırıcıları seri bir şekilde bağlayarak yapılan deneylerde yoğunlaştırıcıların değişik şartlarda performans eğrilerini elde ettiler. Deneylerde yoğunlaştırıcıların özel bir kaplama ile kaplayarak verimleri arttırmışlardır [26].

Hassan ve Refaie (1973), silindirik parabolik güneş kollektörlerinde performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kollektör boyutlarına bağlı olarak kritik yoğunlaştırma açıları tespit edilmiş ve bunların kutupsal denklemleri oluşturulmuştur. Genel koşullar altında oluşan ısı akısı ve maksimum güç için

derinlik oranları ve kritik açısal yaklaşımlar bulunmuştur. Bu çalışmalar hem açıklığın ön kısmı için hem de arka kısmı için yapılmıştır [27].

Çolak (2003), çalışmasında yüksek sıcaklık güneş ışıma enerjisi uygulamaları ile ilgili teknik, ekonomik ve çevresel yönden uygun parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasarımını, prototip imalatını ve geliştirilmesini tasarlamıştır. Bu amaçla güneş enerjisi ile ilgili optik ve ısı transferi mekanizmalarının parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarına yönelik olarak matematiksel modelleri türetmiştir. Bu sayede güneş kollektörlerini hesaplanır biçime dönüştürmüştür [28].

Yazıcı (2005), yapmış olduğu çalışmada çizgisel odaklayıcılı termal güneş enerjisi santralinin mekanik olarak çalışması için gerekli olan astronomik formülleri incelemiştir. Çok sayıdaki düzlemsel yansıtıcının tek eksenli oryantasyonu ile güneş ışınlarının gün içinde sürekli olarak bir toplayıcıda daklanmasını sağlayacak formüller geliştirmiştir [29].

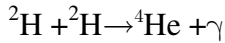
Şanlı (2010), yapmış olduğu çalışmada da parabolik oluk tipi güneş kollektörünü teorik olarak ele almıştır. Sistem içinde yer alan yansıtıcı kısım, emici boru, cam örtü ve güneş takip mekanizması detaylı bir şekilde incelemiştir. Teorik olarak bir parabolik kollektör tasarlanmış ve tasarlanan kollektörün Denizli ili için güneş verilerine göre testini gerçekleştirmiştir. Test sonuçlarında sistemin buhar türbinine kadar olan verimini % 67, sisteme gerekli buhar türbini kapasitesinin 300-500 kW arasında olacağını belirtmiştir [5].

3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

3.1. Güneş Işınımı ve Geometrisi

3.1.1. Güneş

Güneş, Samanyolu gökadasında bilinen 200 milyar yıldızdan biridir. Kütlesi sıcak gazlardan oluşan, çevresine ısı ve ışık yayan bu yıldız, 1,4 milyon km çapıyla dünyanın 110 katı büyüklüğünde ve dünyadan $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıktadır. Güneşin yüzey sıcaklığı 5500 °C ve çekirdeğinin sıcaklığı ise 15,6 milyon°C' dir. Güneşten çıkan enerjinin 2 milyonda 1'i yeryüzüne ulaşır. Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağının üretilmesi 4 hidrojen atomunun 1 helyum atomuna dönüşmesi olayıdır [30].



Bu nükleer reaksiyonun ilk elementi olan hidrojen evrendeki en basit elementtir ve çekirdeğinde sadece tek bir proton yer alır. Helyumun çekirdeğinde ise iki proton ve iki nötron bulunur. Güneş'te gerçekleşen birleşme reaksiyonu sonucunda çok büyük bir enerji açığa çıkar. Bu enerji ışıınım şeklinde uzaya yayılarak dünyamız için sonsuz bir enerji kaynağını oluşturmaktadır [30].

3.1.2. Güneş ışıınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışıınımı konuma, zamana ve meteorolojik koşullara göre değişmekte olup, Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1367 W/m² değerindedir, ancak yeryüzünde 0 – 1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme

göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [31].

Atmosfer, gelen ışınlam enerjisinin % 6'sını yansıtır, % 16'sını da sönümler. Geri kalan ışınlam enerjisi dünya üzerine ulaşır. Sonuç olarak yıl içerisinde dünya üzerine düşen ortalama güneş ışınlamı 350 W/m^2 'dir. Dünya dışından gelen ışınlamlar yılın günlerine göre güneş sabiti değeri değişiklik gösterir [32].

Atmosfer dışı ışınlamın yılın herhangi bir gününde değişimi için aşağıdaki eşitlik önerilmektedir [33].

$$G_{ad} = G_{sbt} \times \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \quad (3.1)$$

Burada, G_{sbt} güneş enerjisi sabiti, farklı kaynaklarda değişik değerlerde verilmekte olup, 1367 W/m^2 alınabilir [33].

Yerküreye ulaşan ışınlam temel itibariyle iki şekilde ulaşırlar. Bunlardan birincisi direkt ışınlamdır. Bu tür ışınlam yerküreye gelme aşamasında atmosfer katmanlarını geçerken yansımayan ya da emilmeyen tür ışınlamdır. İkinci tür ışınlam ise, bu gelme aşamasında değişik engeller ya da atmosfer katmanları tarafından kırılıp, emilip ya da farklı yönlere saçılarak gönderilen yayılı (diffüz) ışınlamdır. Pratik yönden aralarındaki en önemli fark, direkt ışınlamın odaklanarak yoğunlaştırılabileceğidir. Direkt ve difüz ışınlamlar beraberce toplam ışınlam olarak adlandırılır. Direkt ışınlamın toplam ışınlama oranı 0,9 (tamamen bulutsuz hava) ile 0 (tamamen bulutlu hava) arasında değişir [32].

Direkt ışınlam için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

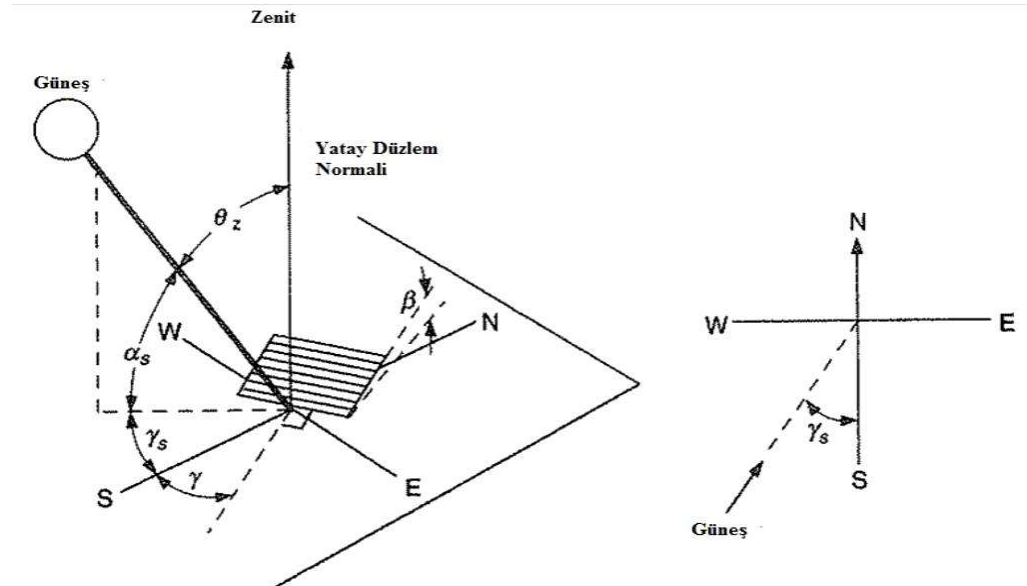
$$G_{beam} = G_{bn} \sin \alpha_s \quad (3.2)$$

Eşitliğinde G_{beam} , direkt ışınlam (W/m^2), G_{bn} , normal doğrultudaki direkt ışınlam (W/m^2), α_s güneş yükseklik açısını ifade eder.

Yeryüzündeki toplam ışınlım miktarı, G_T , $G_T = G_{beam} + G_{diff}$ olarak ifade edilir.

3.1.3. Güneş açıları

Güneş enerjisi uygulamalarında genellikle güneş ışınlarını toplayan araçlar kullanılmaktadır. Bu araçlar kollektörlerdir. Kollektörler topladığı güneş enerjisini, bir ısı taşıyıcı ara maddeye (su, hava vb) aktarmaktadır. Isı enerjisinin aktarım esnasında veriminin yüksek olması için kollektör ile güneş ışınları arasında ki açıların doğru olarak bilinmesi gerekir [34].



Şekil 3.1. Güneş açıları [4]

Güneş yükseklik açısı (α_s): Direkt güneş ışınlarının herhangi bir yatay düzlemle yaptığı açıdır (α_s) (Şekil 3.1). Güneşin doğuşu ve batışında yükseklik açısı $\alpha_s = 0$, öğle vaktinde ise α_s maksimumdur. Zenit açısı tamamlayıcısıdır. [28]

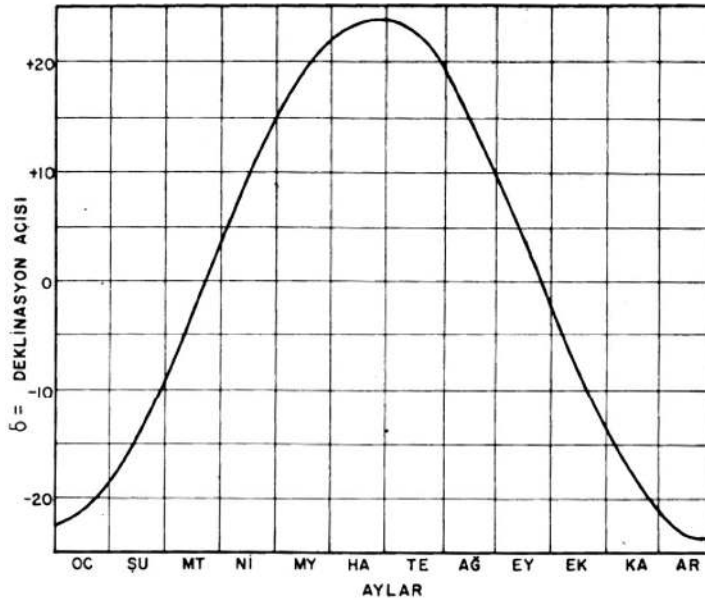
$$\alpha_s = 90^\circ - \theta_z \quad (3.3)$$

Güneş azimut açısı (γ_s): Direkt güneş ışınlımının yatay plaka üzerine güneydoğudan (-), güneybatıya (+) doğru açısal yer değiştirmesidir (Şekil 3.1). Örneğin saat 12:00' de 180° 'dir [32].

Yüzey azimut açısı(γ): Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır (Şekil 3.1). -180° ile 180° arasında değişebilir. Güneye bakan yüzey için sıfır olur. Doğuya yönelen yüzeyde eksi, batıya yönelen yüzeyde ise artı değer alır [32].

Deklinasyon Açısı (δ): Ekvator düzlemine göre güneş öğle vaktindeyken güneşin açısal konumudur (Bkz. Şekil 3.4). Gerçek (coğrafi) kuzey ile manyetik kuzey arasındaki açığa doğal sapma (deklinasyon) açısı adı verilir. Deklinasyon açısı coğrafi kuzeyin doğusunda ise pozitif, batısında ise negatif değer alır. Deklinasyon açısının değeri Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi -23.45 ile 23.45 arasındadır. Dünyanın kendi eksenini ile yörünge düzleminin normali arasındaki $23^\circ 45'$ ’lik açıdan dolayı meydana gelir. Deklinasyon açısı, ekvator düzleminin δ açısı, Cooper Formülüyle hesaplanır. n , 1 Ocak’tan itibaren hesaplama yapılan güne kadar olan gün sayısı olmak üzere Cooper formülü aşağıdaki gibidir [32].

$$\delta = 23,45 \times \left(\sin \frac{360}{365} (n + 284) \right) \quad (3.4)$$



Şekil 3.2. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi [3]

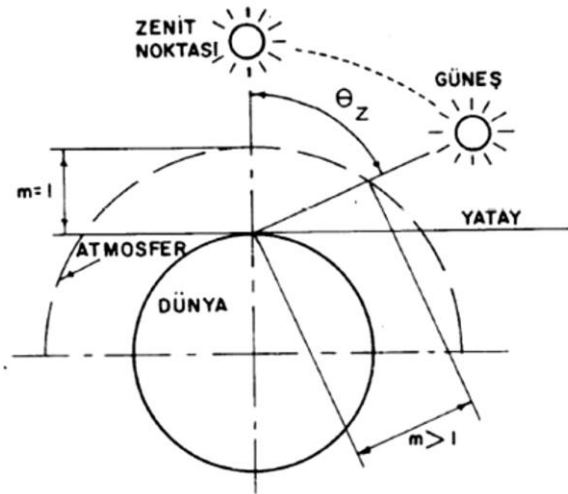
Hava kütlesi (m): Işın radyasyonun geçtiği atmosfer kütlesinin, güneş tam tepede iken ışın radyasyonun içinden geçeceği atmosfer kütlesine oranıdır [32].

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (3.5)$$

Zenit Açısı (θ_z): Direkt güneş ışınımı ile yatay düzlem normalinin arasında kalan açıdır. (Şekil 3.3). Zenit açısı güneş doğuş ve batısında 90° iken, ışınların dik geldiği durumda 0° dır [32].

Zenit açısı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (3.6)$$



Şekil 3.3. Zenit açısının gösterimi [3]

Enlem açısı (ϕ): Ekvatorun kuzey veya güney konumuna göre olan açıdır (Şekil 3.4). Enlem kuzey yarım küre için artı, güney yarım küre için eksi değer almaktadır [32].

Saat açısı (ω): Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15° boylama eşittir (Bkz. Şekil 3.4). Öğleden önce açı eksi ve öğleden sonra artı değer alır. Örneğin saat 10:00 için açı -30° ve saat 15:00 için $+45^\circ$ olur [32].

3.2. Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (MGM) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısıtım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²-gün) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1100 kWh’lık güneş enerjisi üretebilir. Çizelge 3.1’de Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir [35].

Çizelge 3.1. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi [35]

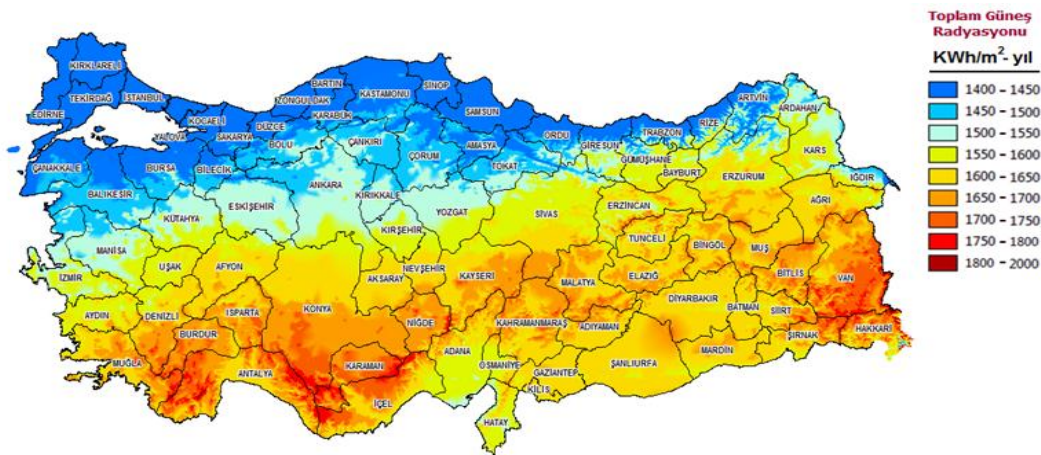
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Çizelge 3.2’de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir [35].

Çizelge 3.2. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

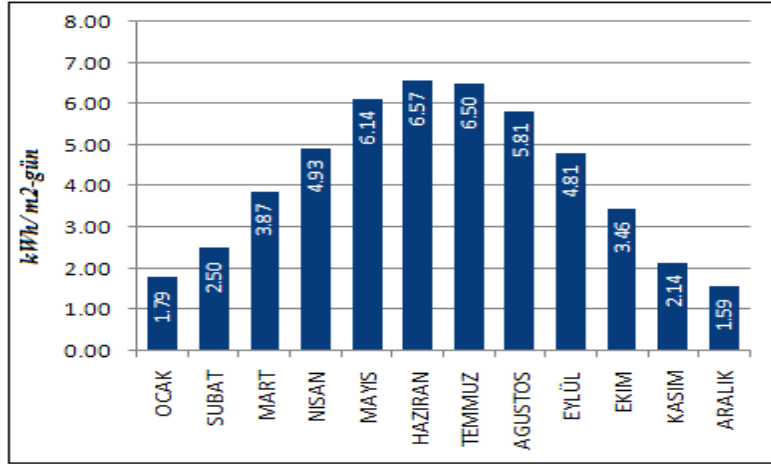
Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi kWh/m ² -yıl	En çok güneş enerjisi (Haziran) kWh/m ²	En Az güneş enerjisi (Aralık) kWh/m ²	Ortalama güneşlenme süresi saat/yıl	En çok güneşlenme süresi (Haziran) saat	En az güneşlenme süresi (Aralık) saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Buna göre Türkiye’de toplam olarak yıllık alınan enerji miktarı ise yaklaşık 1015 kWh/m² kadardır. Bununla birlikte EİE, son yıllar ortalamasının bu değerden % 20 – 25 daha fazla olduğunu da belirtmektedir. Avrupa Birliği tarafından aday ülkelerin güneş enerjisi ve PV potansiyelinin tespit edildiği çalışmada Türkiye’nin yıllık alınan enerji miktarı ortalamasının yaklaşık 1500 kWh/m² olduğu, uydu verileri ve Türkiye’nin coğrafik durumu itibarıyla belirlenmiştir. Türkiye’nin tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi miktarı 977000 TWh’dır. Dolayısıyla Türkiye yaklaşık 87 milyon Ton Eşdeğer Petrol (TEP) teorik güneş enerjisi potansiyeline sahip olup, bunun 26,5 milyon TEP’i ısı üretimine, 8,75 milyon TEP’i ise elektrik enerji üretimine elverişli miktarlar olarak açıklanmaktadır. [36]

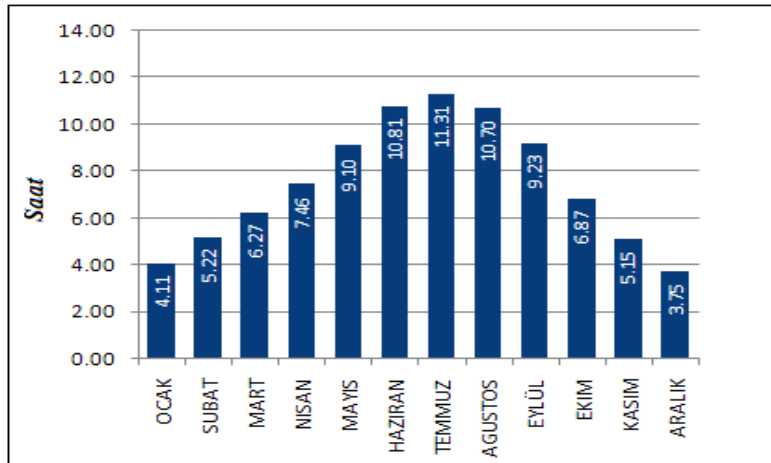


Şekil 3.5. Türkiye’nin yıllık güneş ışınımı haritası [31]

Şekil 3.5’de Türkiye’nin yıllık güneş ışıını haritası verilmiştir. Mavi ile gösterilen yerler güneş ışıının en az olduğı yerlerdir. Sırasıyla koyu mavi, mavi, açık mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı ile gösterilen yerler, ışıın yoğunluğunu azdan-çoğı doğru sıralamaktadır. Haritaya göre ülkemiz güneş ışıını bakımından oldukça şanslı bir ülkedir. Işıın şiddeti kuzeyden güneye doğru indikçe artmaktadır. Ülkemizin günlük global radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri yaz aylarında en yüksek seviyelere ulaşmaktadır ve önemli potansiyele ulaştığı görülmektedir. Kullanılacak olan güneş enerjisi sistemlerinden bu aylar içerisinde en verimli şekilde yararlanmak mümkündür. Şekil 3.6 ve 3.7’de EİE’den alınan verilere göre radyasyon değeri ve güneşlenme sürelerinin aylara göre değışimi verilmektedir.



Şekil 3.6. Türkiye global radyasyon değeri [31]



Şekil 3.7. Türkiye güneşlenme süreleri [31]

3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı

Coğrafi olarak 36–42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içerisinde yer almaktadır. Güneş enerjisinin kullanımı şuan için oldukça azdır, ancak geleceğin dünyasında enerji gereksinimlerinin karşılanması, diğer enerji kaynaklarının yanında en önemli seçeneklerden biri olduğu düşünülmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1973’de meydana gelen dünya petrol kriziyle birlikte artmaya başlamıştır. Bu artışla birlikte güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiştir [37].

Günümüzde, güneş enerjisi çeşitli amaçlar için birçok alanda kullanılabilmektedir. Bunlar; konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), yemek pişirme, sıcak su temin edilmesi, yüzme havuzu ısıtılmasında, tarım ürünlerinin kurutulmasında, sanayide, güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesinde, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamaları ve elektrik üretimidir [38].

Güneş Kollektörleri

Ülkemizin Akdeniz ve Ege Bölgelerinde daha yaygın kullanılmakta olan düzlemsel güneş kollektörleri, en çok evlerde, turistik tesislerde su ısıtma amacıyla, yüzme havuzlarına ve sanayi tesislerine sıcak su sağlanmasında kullanılmaktadır. Bazen güneşli su ısıtıcısı olarak da adlandırılan bu sistemler ilk kez 1975’de İzmir’de uygulanmıştır. Böylece kollektör üreten firma sayısı ve satılan kollektör sayısı artış göstermiştir [39].

Halen ülkemizde kurulu olan güneş kollektörü alanı yaklaşık 12 milyon m² olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m² dir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 420 bin TEP civarındadır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kollektörü

üreticisi ve kullanıcısı durumundadır. Sektörde 100'den fazla üretici firmanın bulunduğu ve 2000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir [39, 40].

Güneş Pilleri - Fotovoltaik Sistemler

Güneş pilleri, halen ancak elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. Bu nedenle ve istenen güçte kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması vb. gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ülkemizde halen telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanılan güneş pili kurulu gücü 300 kW civarındadır [39].

3.4. Güneş Enerjisi Sistemleri

Günümüzün en büyük sorunlarından biri olan ve her geçen gün artmaya devam eden enerji talebinin karşılanması için bilimsel çevreler var olan yenilenebilir enerji kaynaklarından daha çok faydalanmak için yeni yöntemler ve teknolojiler geliştirmektedirler.

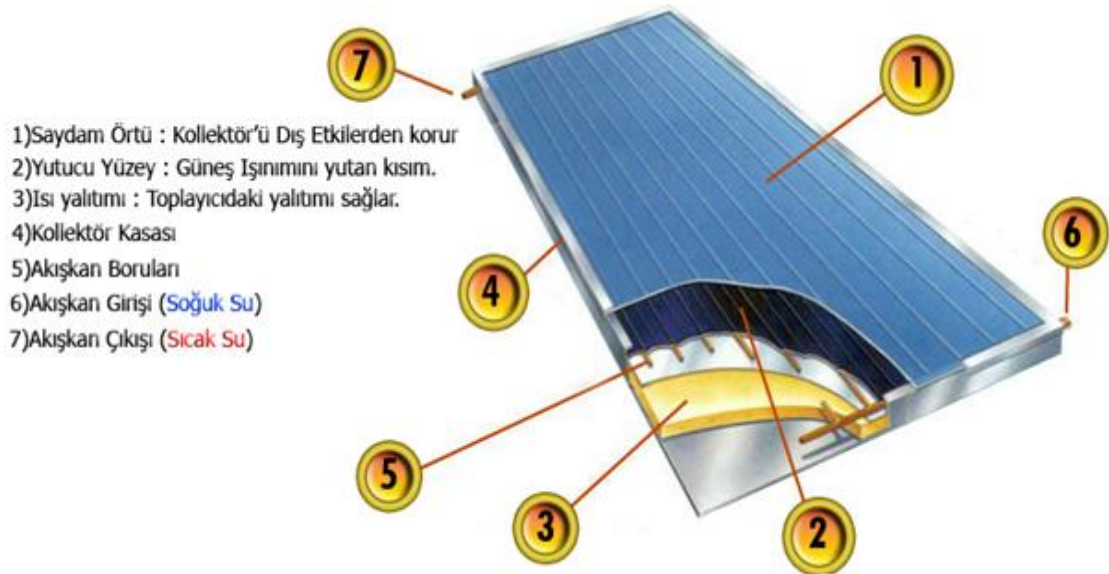
Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermektedir. Bu sistemleri başlıca 2 ana gruba ayırmak istersek bunlar; Sabit (yoğunlaştırılmayan) güneş enerjisi sistemleri ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleridir. Güneş enerjisi sistemlerini, uygulamada kullanılacak sıcaklıklarına göre de düşük sıcaklık (20 – 100° C), orta sıcaklık (100 – 300° C) ve yüksek sıcaklık (>300° C) uygulamaları şeklinde de ayrılabilir. Düşük sıcaklık uygulamaları sabit güneş enerjisi sistemlerinde, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları da yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinde görülmektedir.

3.4.1. Sabit güneş enerjisi sistemleri

Genellikle iklimlendirme (ısıtma – soğutma), suyun ısıtılması, havuz suyu ısıtılması, ürün kurutulması, tuz üretimi, arı su elde edilmesi, güneş pompaları ve güneş ocakları, fırınları gibi düşük sıcaklık uygulamalarında sıkça kullanılan güneş enerjisi sistemleridir. Bu tip sistemlerde genellikle ışıınımı yakalayan yüzey alanı ile güneş ışıınının emildiği alan aynıdır.

Düzlemsel kollektörler

Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok konutlarda sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Sistemin çalışma prensibi güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesidir. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi düzlemsel güneş kollektörleri genel olarak; saydam örtü, güneş ışıınını toplayan yutucu yüzey, yüzeye bulunan taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve gövdeden oluşur. Sistemin en önemli parçası güneş ışıınlarını ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı akışkana aktaran yutucu yüzeydir [31].



Şekil 3.8. Düzlemsel güneş kollektörü [31]

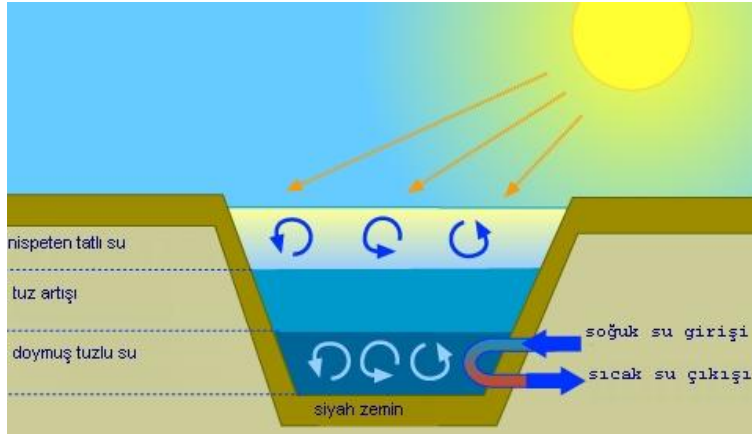
Toplayıcı verimi; yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Yutucu yüzeyin üzeri selektif malzemeyle kaplanarak toplayıcı veriminde önemli artışlar sağlanmaktadır. Yutucu yüzey kaplamalarının başlıca görevi güneş ışıınımını mümkün olduğu kadar yutması ve ısıya dönüştürmesidir. Kollektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kollektörlü sistemler tabii dolaşımli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerin yanında, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır.

Vakumlu güneş kollektörleri

Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100 – 120 °C), düzlemsel kollektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler [31].

Güneş havuzları

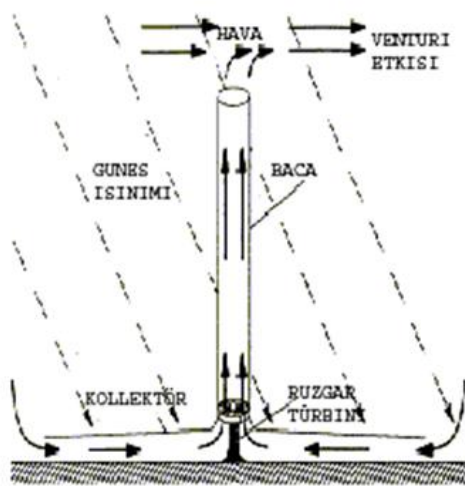
Yaklaşık 5- 6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışıınımını yakalayarak 90°C sıcaklıkta sıcak su eldesinde kullanılır. Havuzdaki sıcaklık dağılımı suya eklenen tuz ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulunsa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Şekil 3.9'da da görüldüğü gibi tuz konsantrasyonunun yoğun olduğu havuzun alt bölgesinden sıcak su elde edilmektedir. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankine çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir. Güneş havuzları konusunda en fazla İsrail'de çalışma ve uygulama yapılmıştır. Bu ülkede 150 kW gücünde ve 5 MW gücünde iki sistemin yanında Avustralya'da 15 kW ve ABD'de 400 kW gücünde güneş havuzları bulunmaktadır [31].



Şekil 3.9. Güneş havuzları [31]

Güneş bacaları

Bu yöntemde güneşin ısı etkisinden dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak elektrik üretilir (Şekil 3.10). Güneşe maruz bırakılan şeffaf malzemeye kaplı bir yapının içindeki toprak ve hava, çevre sıcaklığından daha çok ısınacaktır. Isınan hava yükseleceği için, çatı eğimli yapıлып, hava akışı çok yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde 15 m/s hızda hava akışı-rüzgar oluşacaktır. Baca girişine yerleştirilecek yatay rüzgar türbini bu rüzgarı elektriğe çevirecektir. Bir tesisin gücü 30-100 MW arasında olabilir [31].



Şekil 3.10. Güneş bacaları çalışma prensibi, 200 MW'lık güneş bacası santrali, Avustralya

Su arıtma sistemleri

Bu sistemler esas olarak sıg bir havuzdan ibarettir. Havuzun üzerine eğimli şeffaf-cam yüzeyler kapatılır. Havuzda buharlaşan su bu kapaklar üzerinde yoğunlaşarak toplanırlar. Bu tür sistemler, temiz su kaynağının bulunmadığı bazı yerleşim yerlerinde yıllardır kullanılmaktadır [31].

Güneş mimarisi

Bina yapı ve tasarımında yapılan değişikliklerle ısıtma, aydınlatma ve soğutma gerçekleştirilir. Pasif olarak doğal ısı transfer mekanizmasıyla güneş enerjisi toplanır, depolanır ve dağıtılır. Ayrıca güneş kollektörleri, güneş pilleri vb. aktif ekipmanlardan da yararlanılabilir [31].

3.4.2. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri, toplayıcıya gelen güneş ışınlarını belirli bir bölgede toplayan sistemlerdir. Güneş ışınlarının belirlenen yerde yoğunlaştırılmasıyla yüksek sıcaklık elde edilmiş olmaktadır. Güneş ışınları noktasal ya da çizgisel olarak yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaştırılan bölgede bulunan emici yüzeyde elde edilen ısı, ısı transfer akışkanına iletim veya taşınım yoluyla aktarılmaktadır.

Yoğunlaştırıcı sistemlerde, güneş ışınlarını yoğunlaştırma işlemi yansıtıcı yüzeyler vasıtasıyla yapılmaktadır. Yansıtıcı yüzeyler üzerine düşen güneş ışınlarını minimum miktarda absorbe edecek şekilde seçilmektedir. Böylece, gelen direkt güneş ışınlarından en yüksek oranda faydalanılarak yüksek sıcaklık elde edilmesi amaçlanmaktadır. Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri, güneş ışınlarının çizgisel ya da noktasal olarak odaklanmasına göre çeşitlere ayrılmaktadır. Bunlar;

- Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler
- Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemler
- Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı sistemler
- Merkezi alıcılı sistemler (Güneş kuleleri)

Bu yoğunlaştırıcı sistemlerden parabolik oluk tipi ve fresnel mercekli sistemler çizgisel odaklamalı, parabolik çanak tipi ve merkezi alıcılı sistemler noktasal odaklamalı sistemlerdir.

Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler

Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcılar noktasal olarak yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. İki eksende güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling motor yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir (Şekil 3.11). Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilmektedir. [31]

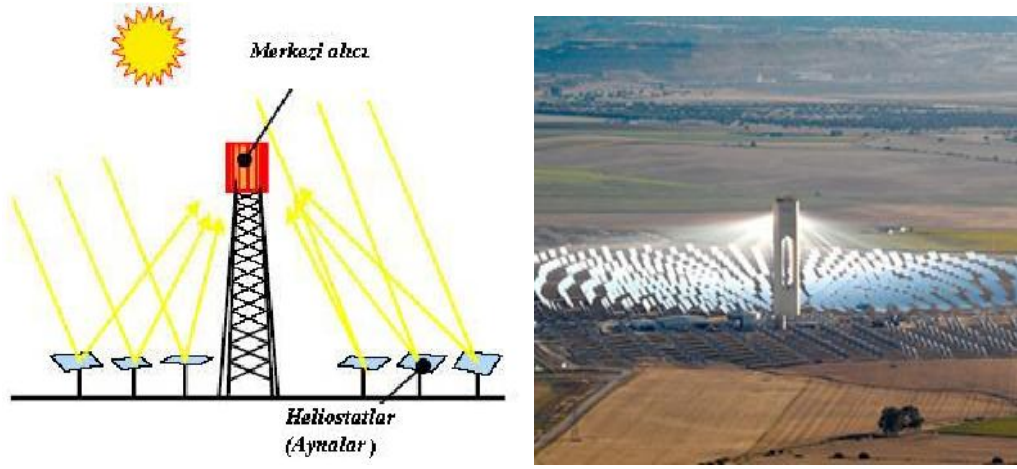
Parabolik çanak yoğunlaştırıcılar küçük modüllerden oluştuğu için, enerji ihtiyacı duyulan yerlerin yakınında ve ihtiyaç duyulan kapasitede tesis edilebilirler. Çoğunlukla diğer yöntemlerle elektrik üreten santrallere destek amacıyla ve maden ocakları, radar istasyonları ya da uzak köylerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılır [5].



Şekil 3.11. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler [31]

Merkezi alıcılı sistemler

Tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, alıcı denen bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtır ve yoğunlaştırır (Şekil 3.12). Alıcıda bulunan ve içinden akışkan geçen boru yumağı, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu sıvı, Rankine makineye pompalanarak elektrik üretilir. Alıcıda ısıtılan akışkan, buhar jeneratörüne gönderilerek buhar üretilir. Bu buhar, buhar türbininden geçirilerek elektrik üretilir. Bu çevrimden sonra buhar, kondansatörde soğutma suyu çevrimi ile soğutulur ve tekrar buhar jeneratörüne döner. Bu sistemlerde ısı aktarım akışkanı olarak termal yağ, tuz eriyiği su ya da hava kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800°C 'ye çıkar. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilerek, alıcının sürekli güneş alması sağlanır. Bu sistemlerin güneşin olmadığı zamanlarda da çalışmasını sağlamak için depolama sistemleri geliştirilmiştir. Böylece sistemin sürekliliği sağlanır [31].



Şekil 3.12. Merkezi alıcılı sistemler [56]

Merkezi alıcılı sistemlerin ilk yatırım maliyeti, klasik fosil yakıtlı enerji sistemlerine göre daha yüksek olmakla beraber diğer güneş enerji sistemleri gibi yanma sonucu çevreye atılan emisyonlarının oluşmaması, ayrıca sınırsız bir enerji kaynağı olması sistemin avantajıdır. Sistemin bir diğer avantajı da buhar türbininde meydana gelen çürük buharın düşük enerji ihtiyacı diğer endüstriyel proseslerde kullanılmasıdır. Bu sayede sistemin tasarrufu artar [5].

Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı sistemler

Yan yana, çok sayıda dar ve düz aynanın doğrudan ışınlı ayrı bantlar halinde, orta üst kısımdaki alıcı boru üstünde doğrudan odaklaması ile çalışır (Şekil 3.13). Parabolik oluk kollektörlere kıyasla imalatları daha ekonomik olan bu sistemde güneş ışınlı daha geniş bir alandan toplamak ve çalışma sıvısı kullanmadan suyu doğrudan ısıtmak mümkündür, ancak toplam sistem verimi daha düşüktür ve ticari olarak parabolik oluk kollektörler kadar yaygınlaşmamıştır [5].



Şekil 3.13. Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı sistemler [57]

Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemler

Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kollektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kollektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kollektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar (Şekil 3.14). Kollektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler.

Bu çalışmada parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemler incelenerek, parabolik oluk tipi kollektör tasarımı, imalatı ve bu sistem üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemler [57]

Çizelge 3.3’de görüldüğü gibi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri içerisinde parabolik silindirik sistemler bazı avantajlara sahiptir. Parabolik oluklu sistemlerin alan gereksinimi diğer sistemlere göre daha küçüktür. Bir güneş bacası sistemine gerekli olan alanın yaklaşık 10’da 1’i ile aynı miktarda enerjiyi elde etmek mümkündür. Parabolik sistemler kapasite oranları açısından geniş kullanım alanlarına sahiptirler. İşletme sıcaklığı diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre düşük olduğundan dolayı işletme şartları daha kolaydır. Parabolik sistemlerin ilk yatırım maliyeti diğer sistemlere göre daha düşük olmaktadır. Parabolik sistemler sahip olduğu bu avantajlardan dolayı en çok tercih edilen ve teknolojik gelişimi üzerine en çok araştırma yapılan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemidir.

Çizelge 3.3. Odaklı sistemler ve güneş bacası için bazı parametreler [31]

	Parabolik silindirik	Güç kulesi	Dish/motor	Güneş Bacası
Güç kaynağı	Merkezi	Merkezi	Lokal /Merkezi	Merkezi
Kapasite oranı	30 -100 MW	30 - 400 MW	10 kW - 50 MW	30-200 MW
Tipik Çalışma modu	Şebeke bağlantılı	Şebeke bağlantılı/ada	Şebeke bağlantılı/şebekeden bağımsız	Şebeke bağlantısı
Alan Gereksinimi	18 m ² /kW	21 m ² /kW	20 m ² /kW	200 m ² /kW
Tipik Verim (%)	13 -15	13 - 15	15 -17	0,7- 1.1
İşletme sıcaklığı	350 °C	600 °C	800 °C	50 °C

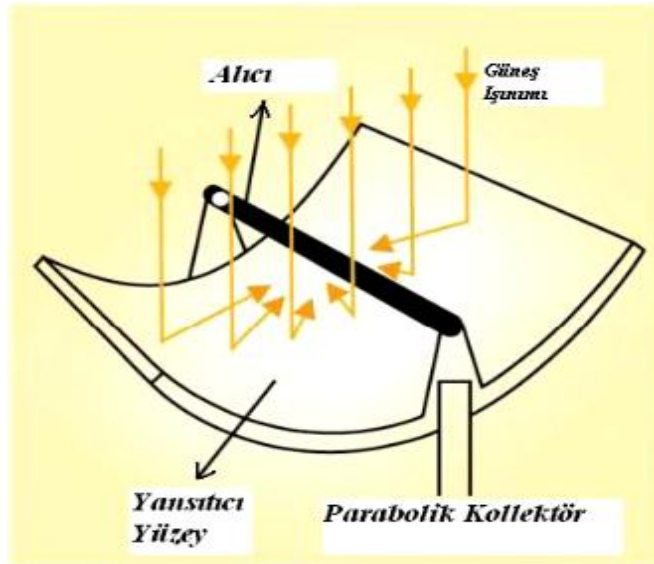
Dünya üzerinde güneş enerjisi santrallerine verilen önem gittikçe artmaktadır. Çeşitli ülkelerde güneş tarlaları kurularak güneş enerjisinden elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Dünyada kurulu güneş enerjisi santralleri toplam 1702,65 MW güce sahiptir. Bu güneş santralleri içerisinde en çok karşılaşılan parabolik oluk tipi güneş santralleri olmaktadır. Çizelge 3.4’de kurulu olan başlıca güneş enerjisi santralleri ve kapasiteleri verilmektedir.

Çizelge 3.4. Dünyada kurulu olan başlıca güneş enerjisi santralleri [41]

Kapasite (MW)	İsim	Ülke	Teknoloji Tipi
354	Solar Energy Generating Systems	ABD	Parabolik oluk
150	Solnova Solar Power Station	İspanya	Parabolik oluk
150	Andasol Solar Power Station	İspanya	Parabolik oluk
100	Extresol Solar Power Station	İspanya	Parabolik oluk
100	Palma Del Rio Solar Power Station	İspanya	Parabolik oluk
100	Manchasol Power Station	İspanya	Parabolik oluk
100	Valle Solar Power Station	İspanya	Parabolik oluk
75	Martin Next Generation Solar Energy Center	ABD	ISCC
64	Nevada Solar One	ABD	Parabolik oluk
50	Ibersol Ciudad Real	İspanya	Parabolik oluk
50	Alvarado I	İspanya	Parabolik oluk
50	La Florida	İspanya	Parabolik oluk
50	Majadas De Tiétar	İspanya	Parabolik oluk
50	La Dehesa	İspanya	Parabolik oluk
50	Helioenergy 1	İspanya	Parabolik oluk
50	Lebrija-1	İspanya	Parabolik oluk
50	Solacor 1	İspanya	Parabolik oluk
50	Solacor 2	İspanya	Parabolik oluk
31,4	Puerto Errado 1+2	İspanya	Fresnel mercekli
25	Hassi R'mel Integrated Solar Combined Cycle Power Station	Cezayir	ISCC
20	PS20 Solar Power Tower	Spain	Merkezi alıcılı
20	Kuraymat Plant	Mısır	ISCC
20	Beni Mathar Plant	Fas	ISCC
17	Yazd Integrated Solar Combined Cycle Power Station	İran	Parabolik oluk
19,9	Gemasolar	İspanya	Merkezi alıcılı
11	PS10 Solar Power Tower	İspanya	Merkezi alıcılı
5	Sierra Suntower	ABD	Merkezi alıcılı
5	Archimede Solar Power Plant	İtalya	Parabolik oluk

4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ

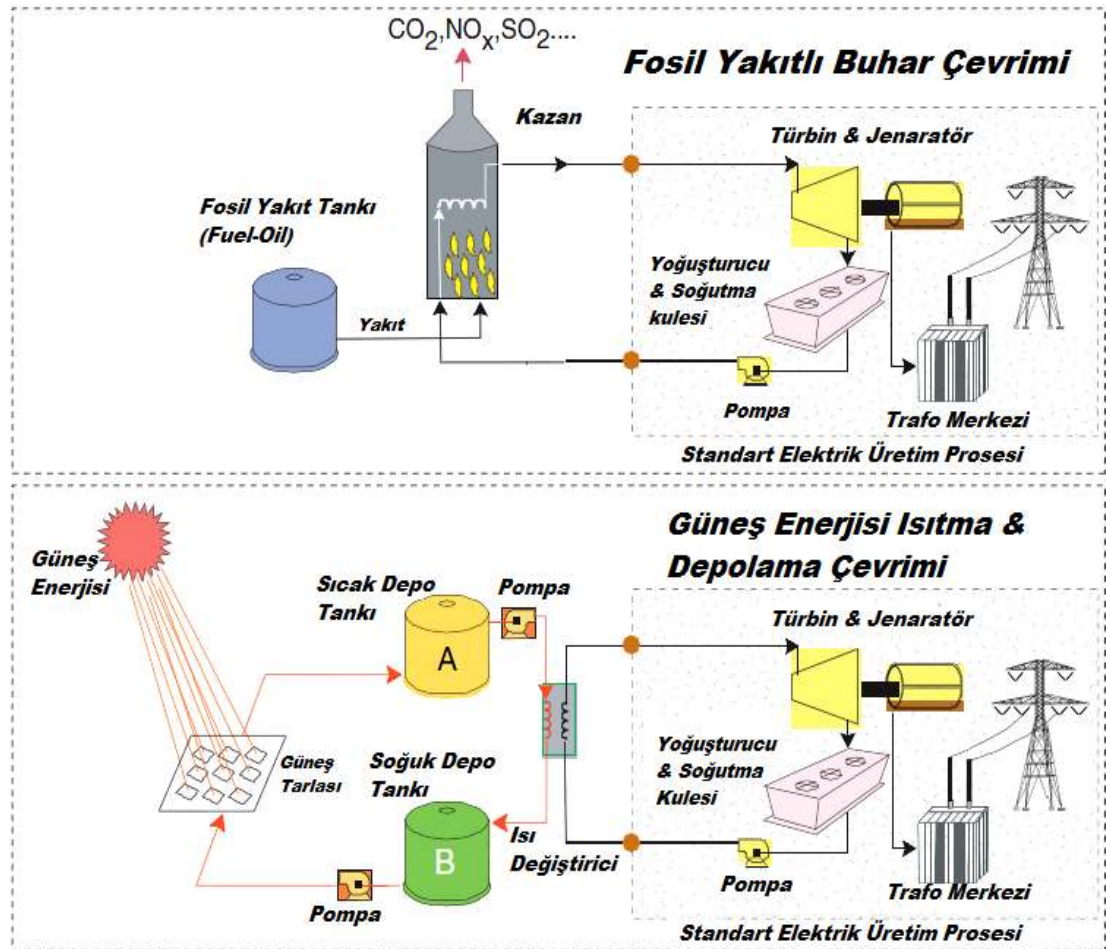
Parabolik oluk tipi güneş sistemleri, kullanılmakta olan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri içerisinde en yaygın olanıdır. Dünyada kullanılan güneş enerjisinden elektrik üretim santrallerinin büyük çoğunluğu bu sistemi kullanmaktadır. Güneş kollektörü temel olarak parabol şeklindeki yansıtıcı yüzey, yansıyan ışınların toplandığı odak noktasından geçen emici boru, emici boru üzerini kaplayan cam kılıf ve emici boru içerisinde geçen ısı transfer sıvısından oluşmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Parabolik oluk tipi güneş kollektörü [57]

Güneşten ışınlar ilk önce sistemin yansıtıcı yüzeyine gelir. Parabol şeklindeki bu yüzey ışınları parabolün odak noktasında bulunan ve eksen boyunca uzayan toplayıcı kısımdaki emici boruya yoğunlaştırır. Bu işlem sonunda sıcaklığı yükselen emici borudan, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanına ısı transferiyle enerji aktarımı olarak akışkanın sıcaklığı yükseltilir. Sistemin amacı gelen güneş ışınlarını en az kayıpla odak noktasında toplayarak ısı transfer akışkanını ısıtmaktır. Bu amaç doğrultusunda sistemde kullanılacak malzemeler ve sistemin tasarımı, sistemin kurulacağı yer ve sistemin çevre ortamla ilişkisi çok önemlidir.

Sıcaklığı yükselen akışkan ile dolaylı yoldan ya da direkt olarak buhar ve elektrik üretimi yapılabilmektedir. Eğer ısı transfer sıvısı olarak termal yağ, ergimiş tuz gibi akışkanlar kullanılırsa dolaylı yoldan buhar üretimi gerçekleştirilebilir. Elektrik üretimi için uygulanacak olan proses tıpkı fosil yakıtlı termik santral çevriminde olduğu gibi uygulanmaktadır. Güneş ışınlarının etkisiyle sıcaklığı yükselen ısı transfer sıvısı enerjisini kendisinden daha düşük sıcaklıktaki sıvıya aktararak buhar üretimi gerçekleştirilir. Oluşan buhar, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi buhar türbinine gönderilerek kazanılan ısı enerjisi hareket enerjisine buradan da elektrik enerjisine dönüşümü sağlanır. Türbinden çıkan çürük buhar yoğunlaştırılarak tekrardan ısı aktarımı ile buhar oluşturulması için çevrim sağlanır.



Şekil 4.2. Fosil yakıtlı termik santral ile güneş enerjisi santrali karşılaştırması [53]

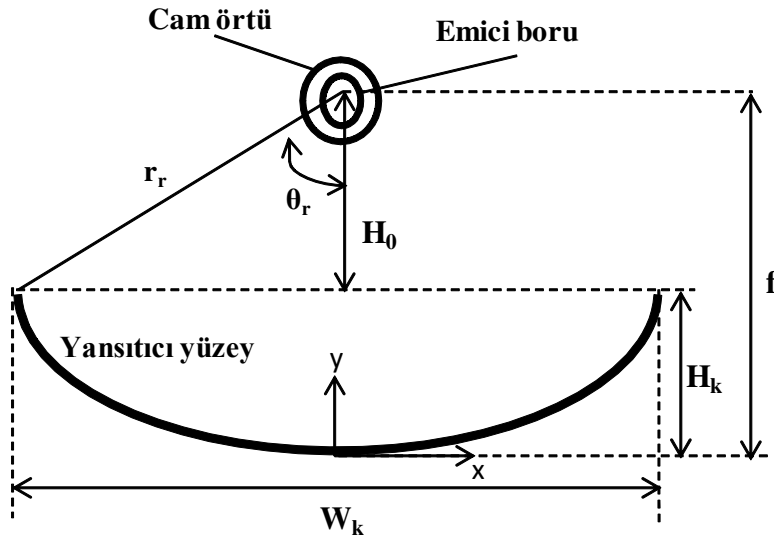


Şekil 4.3. Parabolik oluklu güneş enerjisi santrali [57]

Fosil yakıt kullanarak elektrik üretimi yapan santraller ile güneş enerjisi kullanarak elektrik üreten santraller arasında sadece üretimi sağlayan ısı kaynağı açısından fark bulunmaktadır. Fosil yakıt kullanan santraller yanma işlemi sonucunda elde edilen buhar ile doğrudan elektrik üretimi yaparken yanma sonucu oluşan zararlı gazların salınımı da gerçekleşmektedir. Güneş enerjisi santrallerinde ise çevreye zararlı herhangi bir gaz salınımı ya da atık oluşmamaktadır (Bkz. Şekil 4.2).

4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Boyutlandırılması

Bir parabolik güneş kollektörünün verimini etkileyen önemli unsurlardan birisi kollektörün dizayn parametreleridir. Yoğunlaştırıcı sistemler üzerine düşen güneş ışınlarını alıcı yüzeye yansıtmaktadır. Gelen güneş ışınlarından maksimum düzeyde faydalanabilmek ve buna bağlı olarak optik ve termal verimin yüksek olması için kollektör boyutlandırılması dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Parabolik oluk tipi güneş kollektörünün iki boyutlu görünümü ve önemli dizayn parametreleri Şekil 4.4.'de verilmektedir.



Şekil 4.4. Parabolik oluk tipi güneş kollektörü dizayn parametreleri

Parabolik oluk tipi güneş kollektörünün genel parabolik yüzey denklemi aşağıdaki gibidir. Bu denklem belirlenirken yansıtıcı yüzeyin her noktasına gelen ışınların emici boru üzerine odaklanması amaçlanmıştır.

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (4.1)$$

Parabolik yüzeyin orta noktası analitik koordinat düzleminde orijinde kabul edilirse, bu eşitlikte x ve y eksenlere olan uzaklıkları, f ise odak uzaklığını tanımlamaktadır.

Kenar açısı [32];

$$\theta_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 \left(\frac{f}{W_k} \right)}{16 \left(\frac{f}{W_k} \right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \frac{W_k}{2r_r} \quad (4.2)$$

Burada W_k açıklık eni, θ_r kenar açısı (açıklık açısı), r_r ise parabolik yansıtıcı yüzeyin eğiklik merkezinden kollektör kenarına olan maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapıdır.

Parabolik oluk tipi güneş kollektörü kesitindeki temel geometrik ölçüler aşağıda tanımlanmıştır.

$$H_0 = \frac{W_k/2}{\tan \theta_r} \quad (4.3)$$

$$r_r = \frac{W_k/2}{\sin \theta_r} \quad (4.4)$$

Yansıtıcı yüzeyin herhangi bir noktasındaki yansıtıcı yarıçapı aşağıdaki gibidir [32].

$$r = \frac{2f}{1 + \cos \theta} \quad (4.5)$$

Toplam odak uzaklığı;

$$f = H_0 + H_k \quad (4.6)$$

Emici boru için gerekli minimum çap [32];

$$D_{min} = \frac{W_k}{\sin \theta_r} \sin(\theta_s + \delta/2) \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmaktadır.

θ_s : Güneşsel kesişim açısı

δ : Parabolik oluk tipi güneş kollektöründe ışın yayılım açısı. İdeal yansıtıcı yüzeylerde ihmal edilebilir.

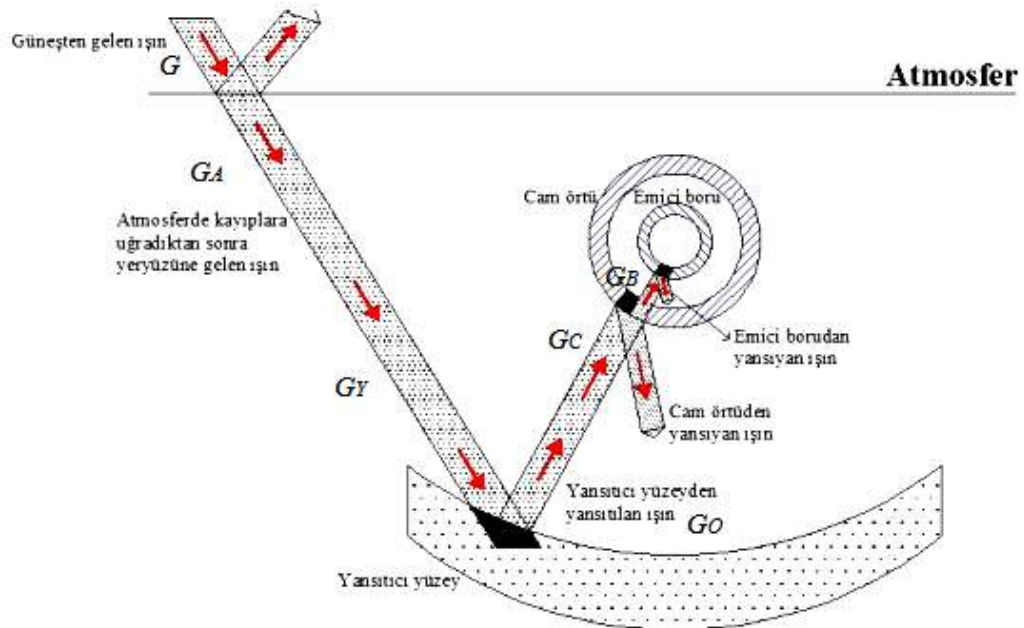
Güneş ışınlarını odak noktasında doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştıran sistemlerde önemli özelliklerden biri de yoğunlaştırma oranıdır. Yoğunlaştırma oranı (YO), yansıtıcı yüzey açıklık alanı A_y 'nin alıcı yüzey alanı A_a 'ye oranı şeklinde ifade edilmektedir [39].

$$YO = \frac{A_y}{A_a} \quad (4.8)$$

Düz plaka tip toplayıcılar ve yansıtıcı olmayanlar için $YO=1$ olarak kabul edilir. Yoğunlaştırıcı tipler için YO daima birden yüksek değerlerdedir.

4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinde Optik Kayıplar ve Analizi

Güneşten gelen ışınlar ısı transfer sıvısına doğrudan ulaşamazlar. Atmosferin dışında güneş şiddeti sabittir. Güneş gelen radyasyonun bir kısmı atmosfer ve dünya yüzeyi tarafından yansıtılır. Gelen ışınlar böylece, atmosferden geçerken kayıplara uğrayarak yeryüzüne ulaşmaktadırlar. Yeryüzüne ulaşan ışınlar ısı transfer akışkanına aktarılincaya kadar da yoğunlaştırıcı kollektörde yansıtıcı yüzeyde, cam örtüde ve emici boruda optik kayıplara uğramaktadır.



Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısındaki ışın transfer şeması [5]

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi güneşten gelen ışınlar ilk önce atmosferde belirli bir kayba uğradıktan sonra yeryüzüne ulaşırlar. Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları, yansıtıcı yüzey malzemesinin absorbsiyon katsayısına bağlı olarak yansıtıcı yüzey tarafından bir kısmı absorbe edilerek yansıtılır. Yansıtıcı yüzeyden odak noktasına yoğunlaştırılan ışınlar toplayıcı kısımda ilk önce cam boruya gelir. Cam boru malzemesinin yansıtma katsayı ve absorbsiyon katsayısına göre bu yüzey gelen ışınların bir kısmı geri yansıtılır, bir kısmı absorbe edilerek geçirilir. Cam örtüden geçen güneş ışınları emici boruya gelir. Emici boru yansıtma ve absorbsiyon katsayısına bağlı olarak güneş ışınlarının bir kısmı yansıtılıp bir kısmı emici boru tarafında absorbe edilerek ısı transfer akışkanına geçirilir.

Şekil 4.5’de görülen ışınları adlandıracak olursak,

G_{sbt} = Güneş enerjisi sabiti (1367 W/m^2)

G_A = Atmosferde kayıplara uğradıktan sonraki direkt gelen güneş ışınları

G_Y = Yansıtıcı yüzeye dik olarak düşen 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 şeklinde olur.

Bu doğrultuda boruda depolanan faydalı güneş ısısının, sisteme direkt olarak gelen güneş ışınlarına oranı bize optik verimi tanımlayacaktır. Buna göre;

$$\eta_{optik} = \frac{G_I}{G_A} \text{ olur.}$$

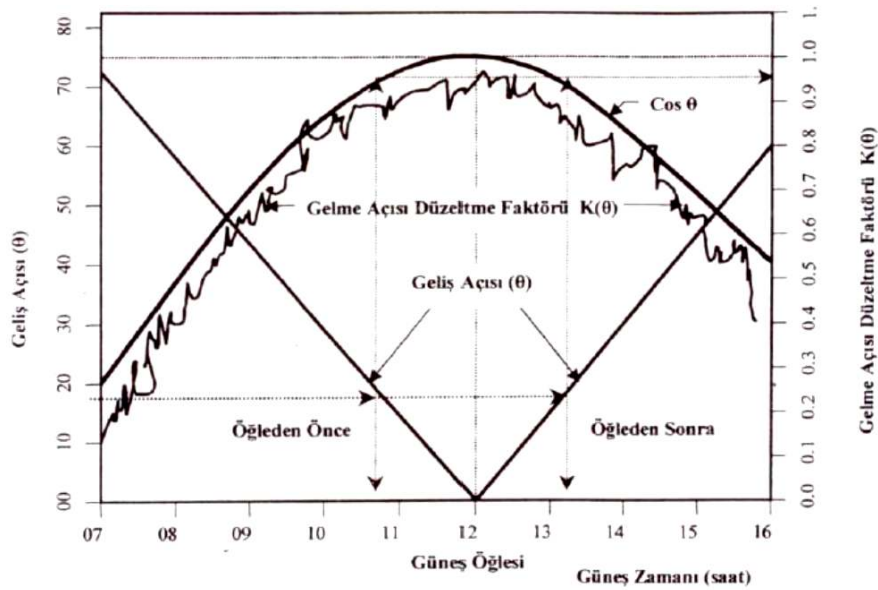
Güneşten gelen ışınlar emici boruya ulaşınca kadar optik verim oranında kayba uğramaktadır. Işınların takip ettiği yol üzerindeki optik verimi etkileyen kademeleri inceleyecek olursak;

$$\eta_1 = \frac{G_Y}{G_A} \quad : \text{Gelme açısı düzeltme faktörü}$$

Gelme açısı düzeltme faktörüdür. Kollektör açıklık alanına belirli bir açıda gelen güneş ışınlarının optik veriminin, dik geldiği konumdaki optik verimine oranıdır. η_1 yansıtıcı yüzey açıklık alanına gelen ışının geliş açısının bir fonksiyonu olup, yüzey normalinden olan sapmalarını hesaba katmak için kullanılır. Literatürde K olarak gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [32].

$$K = \cos(\theta)$$

Gelme açısı düzeltme faktörünün belirlenmesi için TS 9449 standartları kullanılır. Literatürde parabolik oluk tipi güneş kollektörüne ait verilerden elde edilen güneş zamanı ve gelme açısı θ 'ya bağlı olarak $\cos(\theta)$ ve deneysel olarak bulunan gelme açısı düzeltme faktörü K'nın değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir [5].



Şekil 4.6. Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi [32]

$$\eta_2 = \frac{G_O}{G_Y} \quad : \text{Yansıtıcı yüzey yansıtma optik verimi}$$

$$\eta_3 = \frac{G_C}{G_O} \quad ; \text{Yansıtıcı yüzey odaklama verimi (Kesişim faktörü)}$$

Kesişim faktörü, parabolik yansıtıcı yüzey tarafından yansıtılan güneş ışınlarının emici yüzeyde toplanan kısmını ifade etmektedir. Genellikle $\eta_3 \geq 0,9$ olarak verilmektedir [28]. Yansıtıcı yüzeyin kirli olması değerini düşürmektedir. Bu yüzden yansıtıcı yüzey sürekli temiz tutulmalıdır. Emici boru çapının arttırılması ile değeri arttırılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken emici boru çapı arttırılırken ısı kayıplarında artacağıdır. [32]

$$\eta_4 = \frac{G_B}{G_C} \quad : \text{Cam örtü optik verimi}$$

$$\eta_5 = \frac{G_I}{G_B} \quad : \text{Emici boru optik verimi}$$

η_2, η_4, η_5 verimleri parabolik oluk tipi güneş kollektörü imalatında seçilecek olan malzemelere ve tasarımına göre değişmektedir.

$$\eta_{optik} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \quad (4.9)$$

Emici boruya gelen kullanılabilir enerji, Q_G , aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_G = G_A \eta_{optik} = G_A \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \quad (4.10)$$

$$G_O = G_A \rho_y \eta_1 \quad (4.11)$$

$$G_B = G_O \tau_{cb} \eta_3 \quad (4.12)$$

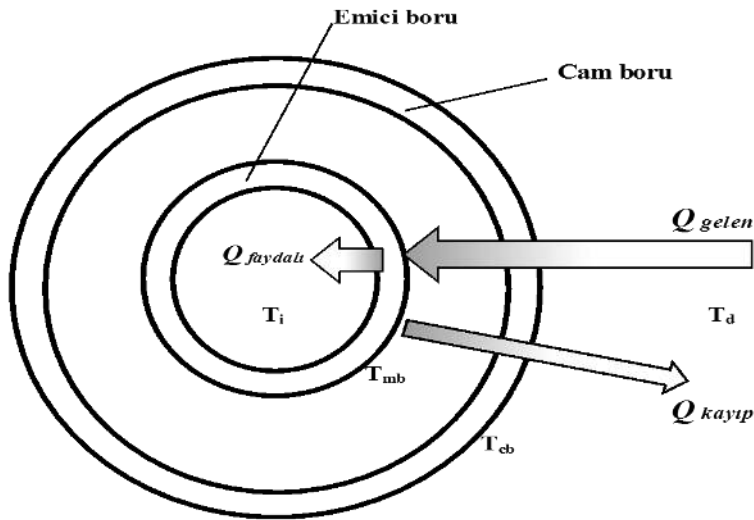
$$Q_G = G_I = G_B \alpha_{mb} \quad (4.13)$$

Yukarıdaki hesaplama yöntemleri kullanılarak güneşten gelen ışınların emici boruya aktarılanı kadar uğrayacağı optik kayıplar ve emici boru yüzeyine güneşten gelen ısı miktarı hesaplanabilecektir.

4.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektöründe Isıl Kayıplar ve Analizi

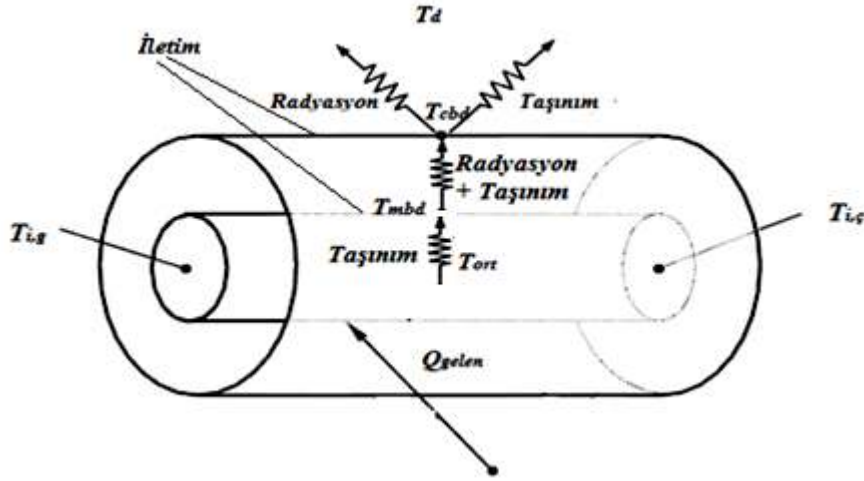
Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları optik kayıplara uğradıktan sonra odak noktasında yer alan emici boruya ulaşır. Burada emici boruya ulaşan güneş ışınlarının büyük kısmı absorbe edilir. Absorbe edilen güneş ışınları ısı enerjisi olarak ısı transfer akışkanına aktarılır ve akışkanın sıcaklığı yükseltilmiş olur. Güneş ışınlarının yoğunlaştığı emici boru üzerinde meydana gelen sıcaklık ile çevre sıcaklığı arasında fark oluşur. Böylece yüksek sıcaklıkta olan emici borudan düşük sıcaklıktaki ortama doğru ısı transferi meydana gelir.

Akışkandan çevreye olan ısı transferi; akışkanla emici boru yüzeyi arasında taşınım, emici boru iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasında iletim, emici boru dış yüzeyiyle cam örtünün iç yüzeyi arasında taşınım-ışınım, cam örtü iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında iletim, cam örtü dış yüzeyiyle çevre arasında taşınım-ışınım şeklinde olmaktadır [32]. Şekil 4.7’de ısı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması

Aşağıdaki şekilde ısı transfer sıvısından çevreye olan ısı transferi esnasında oluşan termal direnç akımı gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Isı transferi termal direnç akımı

Parabolik oluk tipi güneş kollektörlerinde ısı kayıplar daha çok sistemin emici boru-cam örtü kısmında olmaktadır. Emici boru sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça ısı kayıplar artmaktadır.

Emici borudan çevreye olan ısı kaybını Q_k olarak tanımlarsak, emici boru ile cam tüpün iç yüzeyi arasındaki radyasyon ve taşınım ısı transferi toplamına eşit olmaktadır [32].

$$Q_k = \frac{2\pi k_{eff}L}{\ln(d_{cbi}/d_{mbd})} (T_{mbd} - T_{cbi}) + \frac{\pi d_{mbd} L \sigma (T_{mbd}^4 - T_{cbi}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{mb}} + \frac{1 - \varepsilon_{cb}}{\varepsilon_{cb}} \left(\frac{d_{mbd}}{d_{cbi}}\right)} \quad (4.14)$$

Yukarıdaki denklemi düzenleyecek olursak;

$$Q_k = A_{mbd} [h_{ar,t} + h_{ar,r}] (T_{mbd} - T_{cbi}) \text{ olur.} \quad (4.15)$$

Bu denklemdeki $h_{ar,t}$ taşınım ile olan ısı transfer katsayısını gösterir.

$$h_{ar,t} = \frac{k_{eff}(d_{LM})_{ar}}{x_{ar} d_{mbd}} \quad (4.16)$$

k_{eff} etkin iletim katsayısıdır. Emici boru ile cam örtü arasındaki alanda eğer hava tam boşaltılmışsa taşınım ile ısı transferi olmaz. Ancak içeride hava bulunursa, hava hareketsiz olduğundan iletimle ısı transferi olacağı söylenmektedir. Bundan dolayı iletimle ısı transferi doğal taşınımın da etkisi düşünülerek hesaba alınır. Bu yüzden hesaplama da ısı iletim katsayısı k yerine k_{eff} katsayısı kullanılır [32].

$$\frac{k_{eff}}{k} = \max \left[1, 0.386 \left(\frac{Pr \times Ra^*}{0.861 + Pr} \right)^{1/4} \right] \quad (4.17)$$

$$Ra^* = \frac{\left[\ln \left(\frac{d_{cbi}}{d_{mbd}} \right) \right]^4}{l^3 \left(d_{mbd}^{-\frac{3}{5}} + d_{cbi}^{-\frac{3}{5}} \right)^5} Ra \quad (4.18)$$

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T l^3}{\alpha \vartheta} \quad (4.19)$$

Ra : Rayleigh sayısı

g : Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

ΔT : Emici boru ile cam örtü iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ($\Delta T = T_{mbd} - T_{cbi}$)

β : Hacimsel genleşme katsayısı ($\beta = 1/T_{mb,cb}$)

$T_{mb,cb}$: Emici boru ile cam örtü arasındaki ortalama sıcaklık ($T_{mb,cb} = \frac{T_{mbd} + T_{cbi}}{2}$)

α : Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{mb,cb}$ sıcaklığındaki ısı yayılım hızı

ϑ : Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{mb,cb}$ sıcaklığındaki kinematik viskozitesi

l : Emici boru ile cam örtü arasındaki boşluk ($l = \frac{d_{cbi} - d_{mbd}}{2}$)

Radyasyon ile olan ısı transfer katsayısı $h_{ar,r}$;

$$h_{ar,r} = \frac{C_{ar} \sigma (T_{mbd}^4 - T_{cbi}^4)}{(T_{mbd} - T_{cbi})} \quad (4.20)$$

$$C_{ar} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{mb}} + \frac{1 - \varepsilon_{cb}}{\varepsilon_{cb}} \left(\frac{d_{mbd}}{d_{cbi}} \right)} \quad (4.21)$$

Metal boru ile cam boru arasındaki olan ısı transfer toplamı, cam örtüdeki et kalınlığından dolayı oluşan iletimle ısı transferine, cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ışıyım ve taşıyım ile olan ısı transferi toplamına eşittir. Cam örtü et kalınlığından dolayı olan iletimle ısı transferi aşğıdaki gibi tanımlanır.

$$Q_k = A_{mbd} \left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}} \right) \frac{(T_{cbi} - T_{cbd})}{R_{cb}} \quad (4.22)$$

$$R_{cb} = \frac{x_{cb} d_{cbd}}{k_{cb} (d_{LM})_{cb}} \quad (4.23)$$

$$x_{cb} = \frac{d_{cbd} - d_{cbi}}{2} \quad (4.24)$$

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan radyasyon ve taşıyım ile ısı transferi;

$$Q_k = A_{mbd} \left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}} \right) [h_{d,t} + h_{d,r}] (T_{cbd} - T_d) \quad (4.25)$$

$$h_{d,r} = \frac{\varepsilon_{cb} \sigma (T_{cbd}^4 - T_d^4)}{(T_{cbd} - T_d)} \quad (4.26)$$

Emici boru ile çevre arasındaki ısı kayıp;

$$Q_k = A_{mbd} U_{mbd} (T_{mbd} - T_d) \quad (4.27)$$

olarak tanımlanabilir.

U_{mbd} : Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı

$$U_{mbd} = \left[\frac{1}{[h_{ar,t} + h_{ar,r}]} + \frac{1}{\left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}\right) R_{cb}} + \frac{1}{\left(\frac{d_{cbd}}{d_{mbd}}\right) [h_{d,t} + h_{d,r}]} \right]^{-1} \quad (4.28)$$

4.4. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerde Güneş Hareketlerini İzleme Yöntemleri

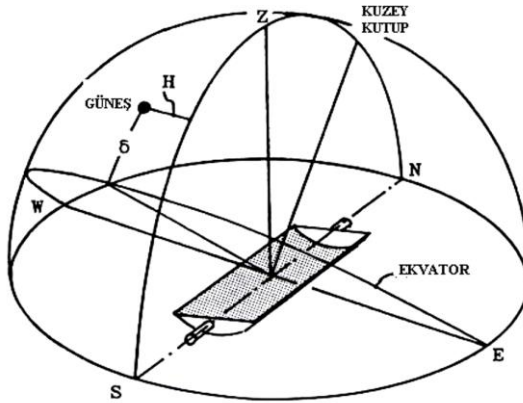
Parabolik oluk tipi güneş kollektörleri üzerine düşen ışınları odak noktasında yoğunlaştırarak burada yüksek sıcaklık elde etmektedir. Gün içerisinde kollektör üzerine düşen güneş ışınlarının yönü ve şiddeti değişeceğinden maksimum sıcaklık ve verim elde etmek için güneşin takip edilmesi gerekmektedir. Parabolik yansıtıcı yüzey gün boyunca üzerine gelen güneş ışınlarını dik olarak almalıdır. Parabolik yoğunlaştırıcıların açıklık yüzey normali güneşten gelen direkt ışınlarla çakıştığı zaman, en ideal odaklama gerçekleşir.

İdeal odaklamayı sağlamak için güneşin iki eksenle takip edilmesi gerekir. Fakat güneşin iki eksenli takip mekanizmaları ile takip edilmesi karmaşık ve pahalıya mal olduklarından tek eksenle izlenmesi ucuz ve sistem olarak basit sistemlerdir. Bu nedenle çizgi odaklı toplayıcılar genellikle güneşi tek eksenle toplayacak şekilde dizayn edilirler. Tek eksenli takip etmede güneş ışınımı ile parabolik oluk kollektörün açıklık yüzey normali arasındaki açı, sistemin verimini etkileyen en önemli bir parametredir [42].

4.4.1. Tek eksenli izleme yöntemleri

Tek eksenli izleyiciler, çalışma sırasında bazı zorluklara karşı karşıyadır. Bu zorluklar yeterli derecede olmayan hassasiyet, hareket sisteminde zamanla meydana gelen aksaklıklar ve izleyicinin çalışma sınırlarını dar olması gibi problemlerdir.

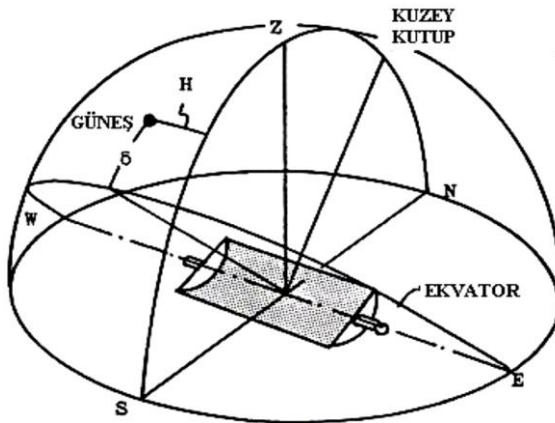
Tek eksenli izleme yönteminde kollektörün yerleştirme şekli büyük önem taşır. Kollektörün konumlandırma şekline göre üç tip izleme yöntemi vardır [42].



Şekil 4.10. Kuzey-Güney yatay konumlandırılmış güneşi doğu-batı takip eden toplayıcının gösterimi [43]

Doğu-Batı Konumlandırma

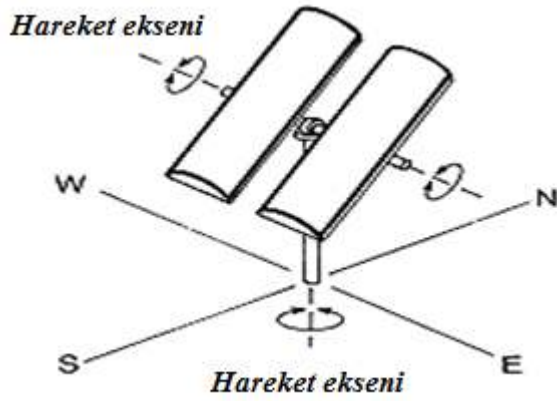
Bu izleme yönteminde kollektör doğu-batı eksenini boyunca yatay olarak yerleştirilir (Şekil 4.11). Doğü-batı tek eksenli izleme yönteminde yıllık enerji dağılımı iki eksenli izlemeden %32,8 daha azdır. Kollektörün güneş doğuşu ve batışındaki izleme açıları aynıdır. Gün dönümü dışında çok küçük izleme hassasiyetine ihtiyaç duyarlar. Aldığı enerji miktarı güneşe göre büyük farklılık göstermez [43].



Şekil 4.11. Doğü-Batı yatay konumlandırılmış güneşi kuzey-güney takip eden toplayıcının gösterimi [43]

4.4.2. İki eksenli izleme yöntemi

İki eksenli izleme yönteminde kollektör birbirine dik iki eksen etrafında dönme hareketi yapar (Şekil 4.12). Kollektör dizayn yansıtıcının iki ekseninde hareket etmesini sağlayacak şekilde yapıldığından, güneşi sürekli olarak takip etmesi neticesinde her zaman güneş ışını doğrultusu ile yansıtıcı yüzey normali çakışıktır. Çizgi odaklamalı kollektörler de genellikle tek eksenli izleme yeterli olduğundan iki eksenli izleme yöntemine ihtiyaç duymazlar [11].



Şekil 4.12. Güneşi iki eksenli takip eden toplayıcı gösterimi [11]

İki eksenli izleme yönteminde güneş ışınlarını maksimum şekilde toplar. Akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı daha yüksektir. Bunun yanında İzleyici açılarının sürekli hesabı için bilgisayar ile kontrol edilen izleyici sistemine ihtiyaç vardır. İki eksenli izleme cihazlarının maliyeti yüksektir. Mekanik parçaların çok iyi dengelenmesi gerekir.

5. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN TASARIMI VE İMALATI

Parabolik oluk tipi güneş kollektörleri güneşten gelen ışınları odak noktasında bulunan emici boru üzerine çizgisel yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Kollektör yansıtıcı yüzeyine düşen direkt güneş ışınları yansıtıcı yüzey malzemesinin ışınları soğurma ve yansıtma katsayılarına bağlı olarak odak boyunca uzanan emici kısma yansıtılır. Yansıtıcı yüzeyin, gelen ışınları istenildiği gibi yansıtabilmesi ve optik verimin yüksek olması için tasarım (geometrik) hataları en aza indirilmelidir. Emici kısım ışınları soğurma katsayısı yüksek olan bir emici boru ve onun üzerini kaplayan cam borudan oluşmaktadır. Cam boru, yoğunlaştırma işlemi sonucunda sıcaklığı yükselmiş olan emici borudan çevreye olan ısı kayıpları azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Burada kullanılacak olan cam boru malzemesinin güneş ışınlarını geçirgenliği yüksek, yansıtıcılığı ve soğurması düşük olmalıdır. İç kısımda bulunan emici borunun güneş ışınları yansıtıcılığı düşük, soğurma katsayısı yüksek olmalıdır. Emici borunun yansıtıcılığını düşürmek ve ışınları daha iyi absorbe edebilmesi için üzeri selektif malzemeler ile kaplanabilmektedir. Emici boru içerisindeki ısı transfer sıvısı yüksek sıcaklıklara çıkabileceği için emici boru yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalıdır.

Bu bölümde parabolik oluk tipi güneş kollektör sisteminin tasarımı ve malzeme seçimleri yansıtıcı yüzey tasarımı, emici boru ve cam örtü tasarımı, ısı transfer sıvısının seçimi başlıkları altında incelenecektir. Sistemin bütün kısımlardaki malzeme seçimi ve tasarımı optik ve ısı kayıplar en aza indirecek şekilde, ekonomik ve işletme koşulları göz önüne alınmıştır.

5.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Yansıtıcı Yüzey Tasarımı ve Boyutlandırılması

Parabolik oluk tipi güneş kollektöründe yoğunlaştırma yapan bölüm parabolik yansıtıcı kısımdır. Güneş ışınları sistemde ilk olarak buraya gelir ve parabolik yansıtıcı yüzeyden odak noktasında yer alan ve kollektör boyunca uzanan emici

boruya yoğunlaştırılır. Yansıtıcı bölümün optik verime etkisi çoktur. Bu yüzden parabolik yansıtıcı yüzey optimum şekilde tasarlanmalıdır.

5.1.1. Yansıtıcı yüzey malzemesinin belirlenmesi

Parabolik güneş kolektörlerinin en önemli parçalarından biri olan yansıtıcı yüzey olarak farklı ürünler seçilebilir. Kolektörün yansıtıcı yüzey malzemesi seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli parametre ışıyım yansıtma katsayısının yüksek olmasıdır. Bunun yanında piyasada kolay bulunabilmeli ve kolay işlenebilmelidir. Yoğunlaştırıcı güneş kolektörü için yansıtıcı yüzeyi olarak kullanılan bazı ürünler için özellikler aşağıda gösterilen Çizelge 5.1’de tanımlanmıştır.[45, 46]

Çizelge 5.1. Bazı yansıtıcı malzemeler ve yansıtma oranları [28]

Yansıtıcı Yüzey Malzemesi	Yansıtıcılık
Gümüş	0.94 + 0,02
Altın	0,76 + 0,03
Alüminyum Kaplı Akrilik	0,86
Alüminyum	0,82 + 0,05
Bakır	0,75
Parlatılmış Krom Sac	0,88
Arkası Gümüş Kaplı Su Beyazı Cam (Ayna)	0,88
Özel Cilalanmış İnce Alüminyum Tabaka (Alanod)	0,9

Bu çalışmada parabolik oluk tipi güneş kolektöründe yansıtıcı yüzey olarak seçilen parlatılmış krom sac malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin seçiminde piyasada kolay bulunabilir olması, işlenmesinin kolaylığı ve ışıyım yansıtma oranının yüksek oluşu etken olmuştur. Kullanılan krom sacın güneş ışıyımını yansıtma oranı 0,88’dir. Parlatılmış 0,6 mm kalınlığındaki krom sac malzeme parabol iskeleti yüzeyin monte edilmiştir.

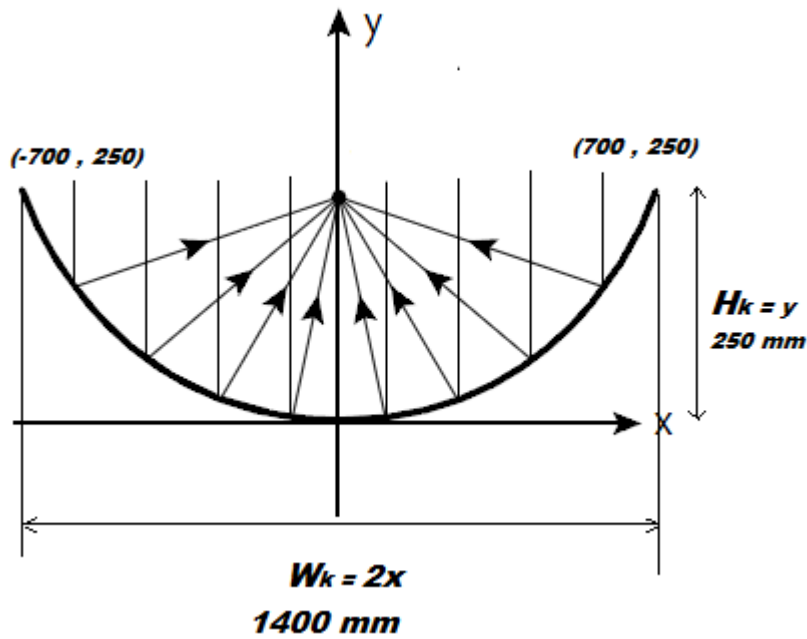
5.1.2. Yansıtıcı yüzeyin boyutlandırılması

Bölüm 4.1’ de Parabolik oluk tipi güneş kollektörünün boyutlandırılması ile ilgili denklemler ayrıntılı olarak verilmiştir. Tasarlanan kollektör sistemi için yansıtıcı yüzeyin uzunluğu ve açıklığı;

Kollektör açıklığı (W_k); 1400 mm

Kollektör uzunluğu (L); 3000 mm olarak seçilmiştir.

Kollektörün odak noktasını belirlemek için koordinat düzleminde parabolik yayın uç noktalarının değerleri belirlenmelidir. Bu amaçla kollektör derinliği (H_k) 250 mm olarak seçilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Parabolik yüzey boyutları koordinat düzleminde gösterimi

Eşitlik 4.1’i düzenlersek odak noktası f ;

$$f = \frac{x^2}{4y} = \frac{700^2}{4 \times 250}$$

$f = 490 \text{ mm}$ olarak bulunur.

Kenar açısı (θ_r), Eş. 4.2'den hesaplanır.

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{8 \left(\frac{490}{1400} \right)}{16 \left(\frac{490}{1400} \right)^2 - 1} \right) = 71.075^\circ \text{ bulunur.}$$

Literatürde kenar açısı, θ_r , 70-120° arasında değişmektedir. Tasarlanan kollektör sistemi için kenar açısı 71.075° olarak hesaplanmıştır [5].

Maksimum yansıtıcı yüzey yarıçapı, r_r , ve H_0 üçgende açı bağıntılarından (Eş. 4.3 ve 4.4);

$$r_r = \frac{1400/2}{\sin 71,07} = 740,023 \text{ mm}$$

$$H_0 = \frac{1400/2}{\tan 71,07} = 240,005 \text{ mm olarak bulunur}$$

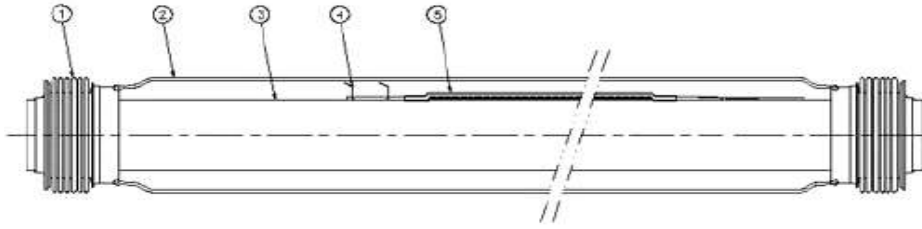
Üçgende açı bağıntıları kullanılarak da odak uzaklığı Eş. 4.6'dan;

$$f = 240,005 + 250 = 490,005 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Parabolik yansıtıcı yüzeyin genel boyutları yukarıdaki gibi belirlenmiş ve uygun yüzey malzemesi seçilmiştir. Belirlenen bu boyutlara uygun olarak parabolik oluk tipi kollektör imalatı gerçekleştirilmiştir.

5.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Emici Boru ve Cam Örtü Tasarımı

Güneşten gelen ışınlar parabolik yansıtıcı yüzeyden sistemin odağında yer alan toplayıcı kısma yoğunlaştırılır. Toplayıcı kısım emici boru ve cam örtüden oluşmaktadır. Toplayıcı kısmın tasarımı yapılırken parabolik sistemin yoğunlaştırma oranı, işletme koşulları, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanının özellikleri ve sistemin ısı kapasitesi dikkate alınmalıdır.



Şekil 5.2. Güneş ışınlarını toplayıcı kısmın tasarımı

Çizelge 5.2. Toplayıcı kısım tasarımında kullanılan ekipmanlar

Ekipman No	
1	Bağlantı Contası
2	Cam Kılıf
3	Emici Tüp
4	Uzaklaştırıcı Kanal
5	Kanal Bağlantısı (Köprü)

Emici boru tasarımında amaç, bir yandan boru çapının olabildiğince büyük seçilerek, ışın odaklama verimi olan kesişim faktörünün arttırılması, diğer yandan boru çapının azaltılmasıyla, boru içi akışın türbülanslı hale getirilmesi ve borudan çevreye ısı kayıplarına esas olan boru dış yüzey alanının küçültülmesidir. Buna göre emici boru tasarımında, optik verim yönünden boru çapının arttırılması, kollektör ısı verimi yönünden ise boru çapının düşürülmesi gerekmektedir. Isı iletiminin seri ve yüksek verimde olması için boru et kalınlığının ince, iletim katsayısının yüksek olması gerekmektedir [11].

5.2.1. Emici boru malzeme seçimi

Güneş kollektörlerinde emici yüzey olarak genellikle bakır, alüminyum ya da çelik kullanılır. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına karşın pahalıdır. Alüminyumun başka bir metal ile kaynak ve lehim çok zordur. Bu malzemelerin içinde piyasada en çok bulunanı çeliktir.

Siyah boyalı yüzeylerin güneş ışınlarını yutma oranı yüksek olduğu için ışın yayma oranları da yüksektir. Çizelge 5.3’de bazı malzemelerin, direkt güneş ışınlarını yutma ve uzun dalga boylu ışınları yayma oranları verilmiştir. Aynı çizelgede verilen emme yayma oranı ısı kazanımı için bir faktördür. Emici boru tasarımında bu oranın yüksek olduğu yüzeyler seçilir.

Çizelge 5.3. Bazı yüzeylerin güneş ışınlarını emme ve yayma özellikleri [28]

Yansıtıcı Yüzeyler	Güneş Işınlarını Emme Oranı (α)	Güneş Işınlarını Yayma Oranı (ϵ)
Beyaz Boya (Al üzerine)	0,2	0,91
Su	0,94	0,95-0,96
Siyah Boya (Cilalı)	0,9	0,9
Siyah Boya (Mat)	0,94-0,98	0,88
Galvanizli Çelik (Temiz)	0,65	0,13
Alüminyum	0,15	0,05
Krom	0,49	0,08
Parlatılmış Çinko	0,46	0,02

Emici borunun ışınları tutuculuğunu arttırmak için üzerisi selektif malzemelerle kaplanır. Selektif malzemeler, emiciliği yüksek yansıtıcılığı düşük malzemelerdir. Kısa dalga boylu ışınların tamamına yakını emen buna karşın uzun dalga boylu ışınların olabildiğince az yayan yüzeyler olarak da tanımlanabilir. Çizelge 5.4’de bazı seçici yüzey kaplı emici boruların ışıma özellikleri verilmiştir.

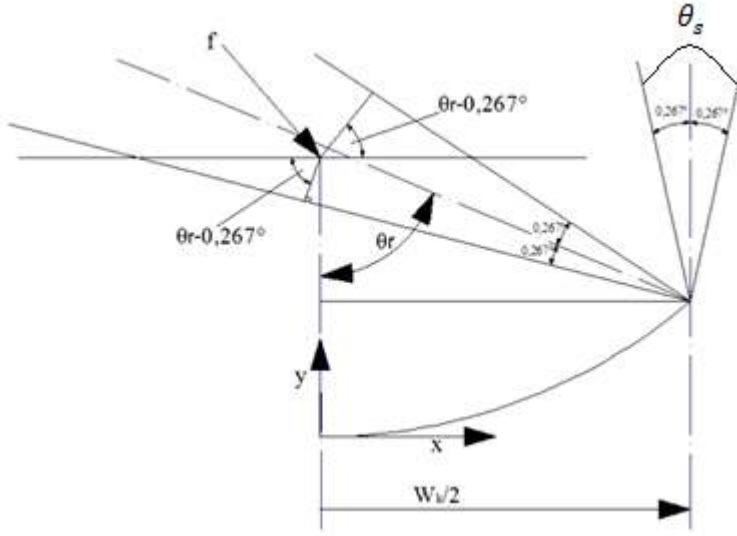
Çizelge 5.4. Bazı seçici yüzey kaplı emici boruların ısıma özellikleri [47]

Seçici Yüzey Kaplaması	Emici Boru Malzemesi	Isıma Özellikleri		
		α	ϵ	α/ϵ
Nikel	Galvanizli Çelik	0,93	0,08	13,6
Kobalt	Galvanizli Çelik	0,91	0,12	7,6
Krom	Çelik	0,95	0,16	5,9
Demir Oksit	Çelik	0,83	0,06	13,8
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13	7,1
Bakır Oksit	Alüminyum	0,93	0,11	8,5
Kurşun Oksit	Alüminyum	0,89	0,2	4,5
Nikel	Çinko Kaplı Alüminyum	0,94	0,1	9,4
Krom	Çinko	0,91	0,08	11,4
Çinko Oksit	Çinko	0,95	0,08	11,9
Krom	Bakır	0,92	0,08	11,5
Kobalt Oksit	Nikel	0,87	0,07	12,4

5.2.2. Emici boru boyutlandırılması

Emici boru boyutlandırılırken dikkat edilecek en önemli unsur yansıtılan güneş ışınlarının hepsinin odak üzerine yoğunlaştırılmasını sağlamaktır. Emici boru seçimi en çok optik verime etki etmektedir.

Güneş ışınları yer yüzeyine Şekil 5.3’de görüldüğü gibi $\theta_s = 0,53^\circ$ tepe açısı olan bir koni biçiminde gelmektedir. Bu açı güneş kesişim açısı olarak tanımlanır. Burada koni ekseniiyle, bir kenarın yaptığı açı ise literatürde yarım açı olarak tanımlanır. Bu açının değeri $\theta_s/2$ den 0.267° olarak belirlenmiştir [32].



Şekil 5.3. Parabolik yansıtıcı yüzeye gelen ve yansıtılan güneş ışın konisinin açıklık açısı [32]

Parabolik yüzeyden yansıtılan güneş ışınlarının hepsinin parabolün odağında yer alan emici boru üzerine odaklanması gerekmektedir. Bunun için emici boru çapının odakta toplanan koninin taban dairesinin çapına eşit olması gerekmektedir. İdeal yansıtıcı yüzeyler için Şekil 5.3 uyarınca aşağıdaki denklem elde edilir.

$$D_{min} = \frac{W_k}{\sin \theta_r} \sin(\theta_s) \quad (5.1)$$

$W_k=1400$, $\theta_r= 71,075^\circ$ değerleri Eş. 5.1’de yerine konursa sistemimiz için gerekli minimum boru çapı hesaplanmış olur.

$$D_{min} = \frac{1400}{\sin(71,075)} \sin(0,53) = 13,7 \text{ mm}$$

Kullanacağımız sistemde minimum boru çapı da göz önüne alınarak emici boru olarak standartlara kolay olarak bulunabilecek 27 mm çapa ve 2,3 mm et kalınlığına sahip $\left(\frac{3}{4}''\right)$ standart karbon çelik boru kullanılmıştır.

5.2.3. Cam örtü tasarımı

Parabolik sistemlerde cam örtü ısı kayıpları azaltmak için kullanılır. Parabolik yansıtıcı yüzeylerden emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınları emici borunun ısınmasına neden olur. Sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olmaya başlar. Emici borudan çevreye olan ısı transfer miktarı ne kadar fazla olursa ısı transfer akışkanına aktarılan enerjide o kadar düşmektedir. Özellikle rüzgârlı bölgelerde taşınım ile olan ısı kaybı çok fazladır ve saydam örtü kullanılmaması halinde, emici boru ile çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı çok büyük olacağından iş akışkanına aktarılan faydalı enerji azalır. Cam örtü taşınım ile çevreye olan ısı kaybını önlediği gibi emici yüzeyi yağmur, dolu ve toz gibi dış etkilere de korur. Cam örtü ucuz olmalı, kolay temin edilebilmeli, morötesi güneş ışınlarından etkilenmemeli, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeli, kolay işlenebilmeli ve çevreden gelecek etkilere dayanıklı olmalıdır.

Cam örtünün gölgesi parabolik yansıtıcı yüzey üzerine düştüğünden, yansıtıcı yüzeyde gölgelenme etkisi yapmaktadır. Bu durum sonucunda yansıtılacak güneş ışınımı alanı azalacağından yoğunlaştırılan güneş ışını da azalacaktır. Cam örtü çapı ne kadar küçük seçilirse gölgelenme etkisi o kadar azalacaktır. Diğer taraftan cam örtünün temel amacı emici borudan çevreye olan ısı kayıplarını azaltmasını sağlamaktır. Bunun için cam örtü çapı ne kadar büyük olursa emici boru ile cam örtü arasındaki mesafe artacağından ısı kayıpları azalacaktır.

Cam örtü olarak kullanılan malzemelerin, öncelikle dıştan gelen kısa dalga boylu güneş ışınlarını geçirme oranı yüksek ve içten gelen emici boru yüzeyinden yayılan uzun dalga boylu ışınları ise olabildiğince geçirmemelidir. Çizelge 5.5’de bazı cam örtü malzemeleri ve ışımsal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 Bazı cam malzeme yüzeylerin yansıtıcılık, soğuruculuk ve geçirgenlikleri [28]

Cam	Geçirgenlik	Soğuruculuk	Yansıtıcılık
Pyreks	0,9	0,02	0,08
Klasik Pencere Camı	0,87	0,04	0,09
Düzgün Plaka	0,77	0,16	0,07
Isı Soğurucu Tabaka	0,41	0,53	0,06
Çift Pencere Camı	0,76	0,04 - 0,08	0,16 - 0,24
Çift Düzgün Plaka	0,6	0,07 - 0,1	0,32 - 0,34
Gümüşlenmiş Su Beyazı Cam	-	-	0,88
Düşük Demirli Borosilikat Cam	0,92	0,02	0,06

Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş kollektöründe kullanılacak cam örtü geçirgenliği yüksek borosilikat malzemeli cam tüplerden seçilmiştir. Cam örtünün dış çapı 56 mm et kalınlığı 2,5 mm dir.

5.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü Isı Transfer Sıvısının Seçimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Parabolik oluk tipi güneş kollektöründe emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınları emici borunun sıcaklığını yükseltir. Burada kazanılan ısı enerji emici borudan geçen ısı transfer sıvısına aktarılır. Böylece güneş ışınlarından kazanılan ısı enerjisi uygun çevrimlerde kullanılmak ve depolanmak amacıyla aktarılmış olur. Isıl enerji duyulur ısı (belirli ısı), gizli ısı (faz değiştirme ısı) ya da kimyasal reaksiyon ısı (termokimyasal) şeklinde depolanabilir.

Kütlesi m olan ve depolama malzemesinin sıcaklığı ile yükselen C_p özgül ısısında depolanan duyulur ısı;

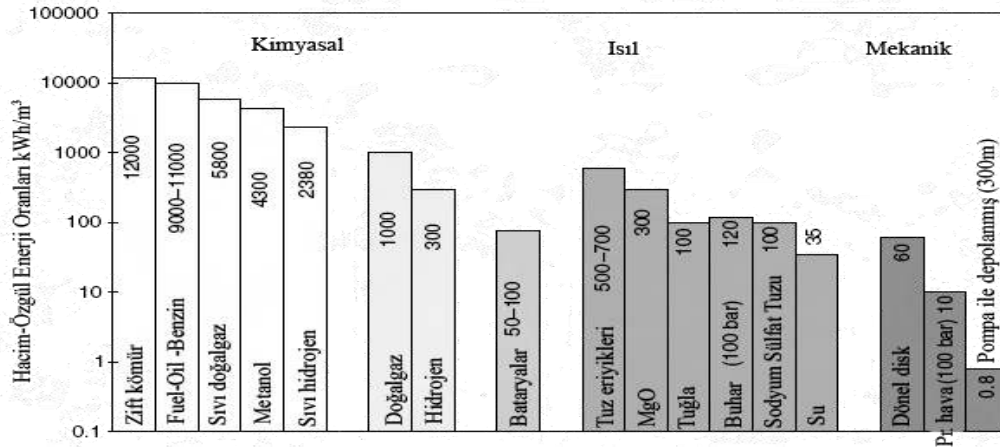
$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ şeklinde verilir. En çok kullanılan duyulur ısı depolama malzemeleri; su, organik yağlar, kayalar, seramikler ve tuz eriyikleridir. Bu malzemelerden bazılarına ait fiziksel özellikler Çizelge 5.6'da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi en yüksek özgül ısı değeri 4190 J/kg K ile sudur.

Çizelge 5.6. Isı depolama malzemelerinin fiziksel özellikleri [48]

Depolama Ortamı	Sıcaklık Oranı, °C	Yoğunluk (ρ) kg/m ³	Özgül Isı (C) J/kgK	Enerji Yoğunluğu (ρC) kWh/m ³ K	Isıl İletkenlik (W/mK)
Su	0-100	1000	4190	1,16	38°C'de 0,63
Su (10 bar)	0-180	881	4190	1,03	—
50-etilen glikol- 50 su	0-100	1075	3480	0,98	—
Dowtherm A® (Dow Chemical, Co.)	12-260	867	2200	0,53	260°C'de 0,112
Therminol 66® (Monsanto Co.)	-9-343	750	2100	0,44	343°C'de 0,106
Çekilmiş Tuz (50NaNO ₃ -50KNO ₃) ^a	220-540	1733	1550	0,75	0,57
Tuz Eriyiği (53KNO ₃ /40NaNO ₂ /7NaNO ₃) ^a	142-540	1680	1560	0,72	0,61
Sıvı Sodyum	100-760	750	1260	0,26	67,5
Dökme Demir	e.n.(1150 -1300)	7200	540	1,08	42,0
Taconite	—	3200	800	0,71	—
Alüminyum	e.n. 660	2700	920	0,69	200
Fireclay	—	2100-2600	1000	0,65	1,0-1,5

^a ağırlık yüzdesindeki bileşim , e.n. erime noktası.

Isıl depolama için kullanılan bazı faz değişim malzemeleri (phase change materials, PCMs) ; Parafin mumları, nonparafinler, inorganik tuzlar (anhidrik ve hidratların her ikisi) ve organik ve/veya inorganik bileşenlerin ötektikleridir. Şekil 5.4'de bazı faz değişim malzemeleri ve fiziksel özellikleri görünmektedir.



Şekil 5.4. Çeşitli kimyasal, ısı ve mekanik ortamlar için enerji depolama kapasitelerinin karşılaştırılması [49]

Güneş enerjisi güç santralleri gibi yüksek sıcaklıkta ısı depolama yaparak ikili çevrim uygulamalarında uygun ısı transfer sıvısı şekilden de görüldüğü gibi tuz eriyikleri olmaktadır. Tuz eriyikleri ya da termal yağlar yüksek kaynama noktasına sahiptirler ve böylece yüksek sıcaklıkta devamlı çalışabilme, değişen sıcaklık dalgalanmalarında çalışabilme, yüksek yanma noktası, yüksek yoğunluk, yüksek ısı kapasitesi gibi özelliklerinden dolayı tercih edilirler.

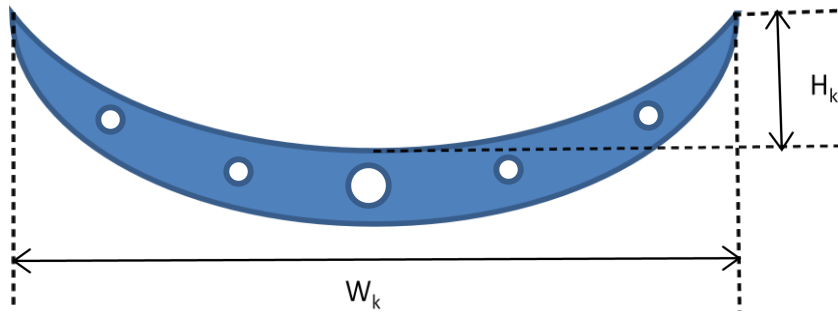
Bu çalışmada yüksek sıcaklıkta ısı depolaması gerçekleştirilmeyeceği için ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Su yüksek özgül ısı değeri ve kullanım kolaylığından dolayı tercih edilmiştir.

5.4. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörünün İmalatı

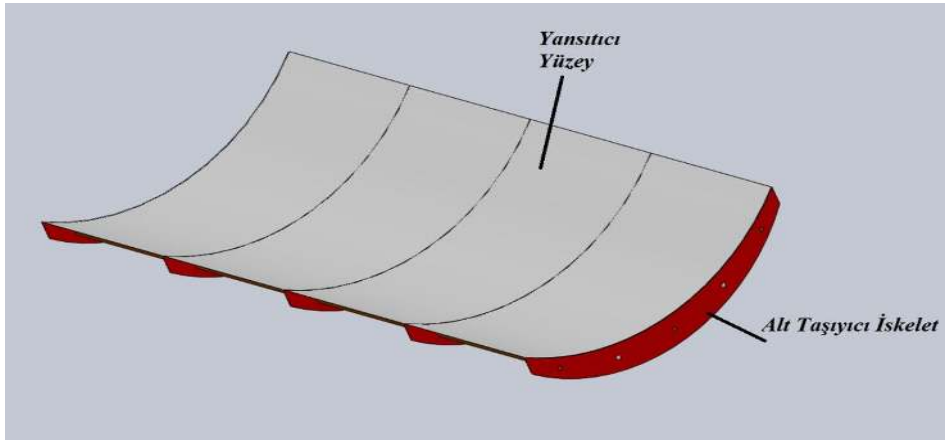
Parabolik oluk tipi güneş kollektörü imalatında ilk olarak yansıtıcı yüzeye parabol şeklini verecek alt taşıyıcı konstrüksiyon imalatı gerçekleştirilmiş daha sonrada emici boru ve cam örtü yapılan hesaplamalar doğrultusunda odak noktasında olacak şekilde monte edilmiştir.

Yansıtıcı yüzey boyutlandırılması Bölüm 5.1'deki gibi gerçekleştirilerek bu boyutlara göre güneş kollektörü imal edilmiştir. Yansıtıcı yüzey malzemesi olarak 1500 x 3000 x 0,6 mm boyutlarında parlak yüzeyli paslanmaz çelik levha

kullanılmıştır. Levha biçimindeki yansıtıcı yüzeye parabol şeklinin verilmesi amacıyla kollektör alt taşıyıcı sisteminin iskeleti istenilen ölçüler doğrultusunda Şekil 5.5’deki gibi levhalar hazırlanarak bağlantı elemanlarıyla birleştirilmiştir. Oluşturulan alt iskeletin üzerine paslanmaz çelik levha yerleştirilerek parabolik yansıtıcı yüzey elde edilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.5. Kollektör alt taşıyıcı sistem tasarımı



Şekil 5.6. Parabolik yansıtıcı yüzey tasarımı

Belirlenen odak noktası uzaklığına denk gelecek şekilde emici kısmı tutacak taşıyıcı kollar alt iskelete monte edilmiştir. Bu taşıyıcı kollara 27 mm çapa ve 2,3 mm et kalınlığına sahip $\left(\frac{3}{4}''\right)$ çelik boru ve çelik borunun etrafında bulunan dış çapı 56 mm et kalınlığı 2,5 mm olan cam örtü yerleştirilmiştir. Çelik boru gelen kısa dalga boylu ışınları daha iyi tutabilmesi amacıyla siyah mat boya ile üstü kaplanmıştır. Üzerine gelen cam örtü ile de yansıyan uzun dalga ışınlarla oluşabilecek ısı kayıpları en aza indirilmektedir.



Şekil 5.7. Parabolik oluklu güneş kollektörü imalat fotoğrafları

Cam örtü ile emici boru, ısı taşınım katsayısını düşürmek amacıyla, cam boru ve metal boru çaplarına göre imal edilen bağlantı ekipmanlarıyla hava geçirmeyecek şekilde birbirine bağlanmıştır (Şekil 5.8). Emici boru girişi ve çıkışına sıvı sıcaklıklarını ölçmek amacıyla 2 adet Pt100 tipi termokupl yerleştirilmiştir.



Şekil 5.8. Emici boru ve cam örtü birleştirilmesi

Parabolik oluk tipi güneş kolektörü imal edilerek 100 litrelik su tankı, tank çıkışına 1 adet sıvı basma pompası ve ara bağlantı hortumlarıyla ısı testlere hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 5.7’de imalatı gerçekleştirilen parabolik oluk tipi güneş kolektörünün karakteristik değerleri, emici boru, cam örtü ve yansıtıcı yüzeyin teknik verileri verilmektedir.

Çizelge 5.7. Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş kolektörünün karakteristik ve teknik değerleri

Kollektör Uzunluğu	3,0 m
Kollektör Açıklığı	1,4 m
Kollektör 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 Çelik
Emici Boru Dış Çapı	27 mm
Emici Boru Et Kalınlığı	2,3 mm
Emici Boru Uzunluğu	3.2 m
Emici Boru Isı İletkenlik Katsayısı	16,3 W/m.K
Emici Boru Emicilik Değeri	0,94
Cam Örtü Malzemesi	Düşük Demirli Borosilikat Cam Boru
Cam Örtü Dış Çapı	56 mm
Cam Örtü Et Kalınlığı	2,5 mm
Cam Örtü Uzunluğu	3,0 m
Cam Örtü Isı İletkenlik Katsayısı	1,09 W/m.K
Kullanılan Isı Transfer Sıvısı	Su
Güneş Takip Mekanizması	Doğu - Batı Eksenli Manüel

6. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ KULLANARAK ENERJİ ÜRETİM PROSESİ

Parabolik oluk tipi güneş kollektöründe yansıtıcı yüzeye gelen direkt güneş ışınları odak noktasındaki emici boruya yansıtılmaktadır. Yoğunlaşan güneş ışınları emici borunun sıcaklığını yükselterek burada kazanılan ısı, ısı transfer akışkanına aktarılmaktadır. Böylece güneş enerjisinden ısı enerjisi elde edilmiş olmakta ve bu enerji çeşitli çevrimlerle ısıtma, soğutma, buhar eldesi, elektrik üretimi gibi çeşitli proseslerde kullanılabilir.

Teknolojinin gelişmesiyle özellikle güneş enerjisinden elektrik üretilmesi konusunda çalışmalar yoğunlaşmış ve güneş enerjisinden yüksek sıcaklıklarda buhar elde ederek elektrik üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Buhar ve buhar türbinleri kullanarak elektrik üretimi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır.

Yoğunlaştırıcı sistemlerde istenilen yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkündür. Bu sistemlerde elde edilen ısı ile doğrudan buhar üretimi gerçekleştirilebileceği gibi kazanılan ısı bir ısı transfer akışkanı yardımıyla ısı değiştiricide buhara aktarılabilmektedir. Elde edilen kızgın buhar, buhar türbininden geçerek enerjisini hareket enerjisine buradan da elektrik enerjisine aktarmaktadır. Elde edilen kızgın buhar Rankine çevrimi ile enerjisini aktararak tekrardan buhar üretimi için ısı değiştiriciye gönderilmektedir.

Bu bölümde Rankine çevrimi özelliklerini ve parabolik oluk tipi güneş kollektörü kullanılarak rankine çevrimi ile elektrik üretim prosesini inceleyeceğiz.

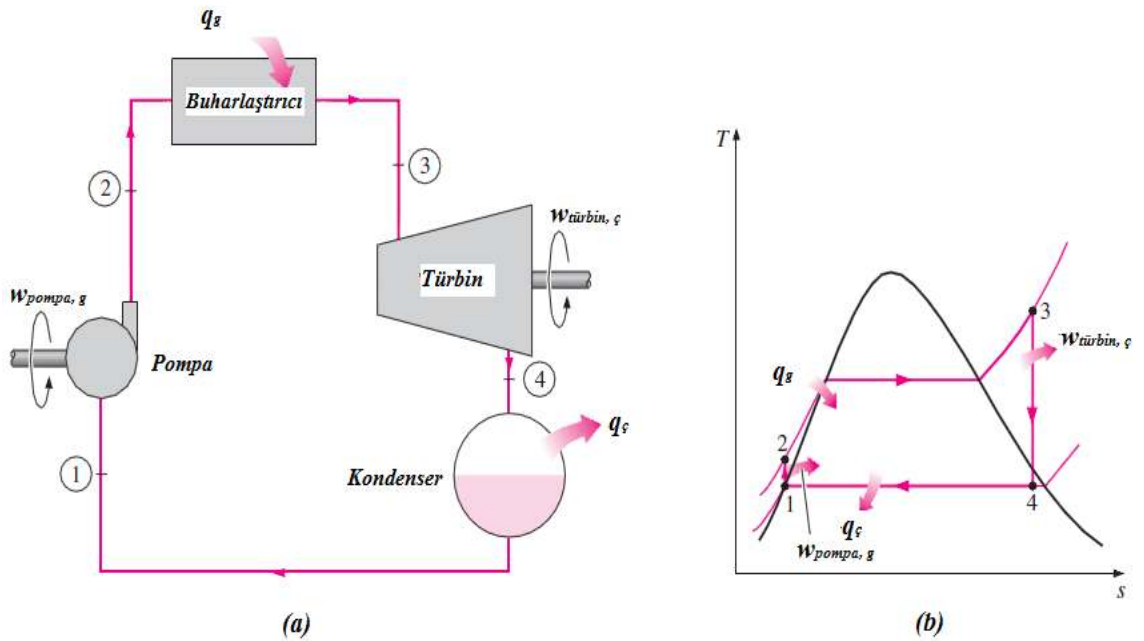
6.1. Genel Rankine Çevrimi

Rankine çevrimi termodinamik bir çevrimdir. Diğer termodinamik çevrimler gibi, Rankine çevriminin maksimum verimi de, Carnot çevriminin maksimum verimli hesaplanması ile elde edilir. Rankine çevrimi adını William John Macquorn Rankine'den alır [41].

Rankine çevrimi buhar kullanılan enerji santralleri için ideal çevrimdir. Bu çevrimde yapılan suyun kızgın buhar haline getirilmesi ve tekrar kondenserde doymuş sıvı haline getirilmesi Carnot çevriminde uygulamada karşılaşılan pek çok zorluğu da ortadan kaldırır.

Rankine çevrimlerinin adımları dört aşamada gösterilir. Her adımda çalışma akışkanının hal değişimleri ifade edilir (Şekil 6.1).

Burada çevrimin ideal şartlarda olduğu varsayılır. Ama gerçek şartlarda çevrimin pompa ile sıkıştırma ve türbinde genleşme aşamaları izantropik değildir. Bu aşamalarda izantropide artış meydana gelir. Bundan dolayı gerçekte pompa için gereken güç ihtiyacı artar ve türbinden elde edilen iş azalır [50].



Şekil 6.1. Genel Rankine çevrimi [50]

- **1-2** Önce çalışma akışkanı, düşük basıttan, yüksek basınca pompalanır. (İdeal şartlarda izantropik olarak) Pompalama için güç girişine ihtiyaç vardır.
- **2-3** Yüksek basınçlı sıvı bir ısıtıcıya girer, bir dış ısı kaynağı ile sabit basınçta kızdırılmış buhar halini alana dek ısıtılır.

- **3-4** Kızgın buhar, türbin boyunca genişler ve güç çıkışı oluşturur. İdeal şartlarda, bu genişleme izantropiktir. Bu olay buharın basınç ve sıcaklık kaybetmesine sebep olur.
- **4-1** Buhar daha sonra kondensere girer, doymuş sıvı halini alana kadar soğutulur. Bu sıvı daha sonra tekrar pompaya girer ve çevrim tekrar eder.

Sürekli akışlı açık sistemde enerjinin korunumu denklemi, buharın birim kütlesi için aşağıdaki gibi yazılır [50];

$$(q_{\zeta} - q_g) - (w_{\zeta} - w_g) = h_{\zeta} - h_g \quad (\text{kJ/kg}) \quad (6.1)$$

Buharlaştırıcı ve kondenserde iş etkileşimi yoktur, ayrıca pompa ve türbindeki hal değişimleri izantropik kabul edilir. Bu durumda her bir sistem için enerjinin korunumu denklemi aşağıda gösterildiği gibi olur [50]:

$$\text{Pompa (q=0):} \quad w_{pompa,g} = h_2 - h_1 \quad (6.2)$$

$$\text{veya} \quad w_{pompa,g} = \vartheta(P_2 - P_1) \quad (6.3)$$

$$\text{burada,} \quad h_1 = h_{f,P_1} \text{ ve } \vartheta \equiv \vartheta_1 = \vartheta_{f,P_1}$$

$$\text{Buharlaştırıcı (w=0):} \quad q_g = h_3 - h_2 \quad (6.4)$$

$$\text{Türbin (q=0):} \quad w_{türbin,\zeta} = h_3 - h_4 \quad (6.5)$$

$$\text{Kondenser (w=0):} \quad q_{\zeta} = h_4 - h_1 \quad (6.6)$$

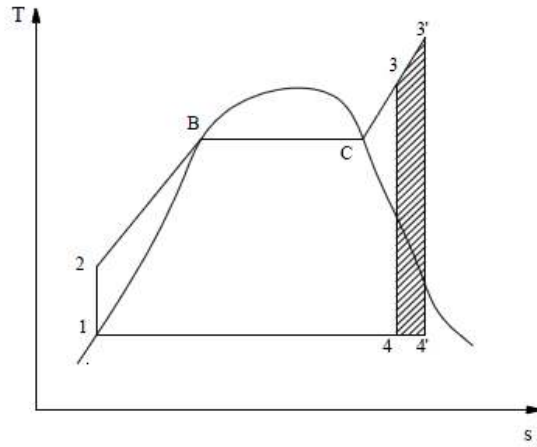
Rankine çevriminin ısı verimi;

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_{\zeta}}{q_g} \quad (6.7)$$

$$w_{net} = q_g - q_{\zeta} = w_{türbin,\zeta} - w_{pompa,g} \quad (6.8)$$

6.1.1. Rankine çevrimi verimi üzerine basınç ve sıcaklığın etkisi

Buharın kızdırma sıcaklığının artırılması ısının çevrime verildiği ortalama sıcaklığı, T_H , arttıracığından verimin büyümesine neden olacaktır. Şekil 6.2'deki gölgeli alan net işteki artışı göstermektedir. Buharın kızdırılmasıyla türbine giriş noktasında 3-3' hal değişimi olarak çevrime fazladan ısı verilmekte ve net iş artmaktadır. Ayrıca artan kızdırma sıcaklığı ile birlikte türbin çıkışında nem miktarı azalacaktır. 4' halindeki kuruluk derecesi 4 haline oranla daha büyüktür. Böylece türbinin verimi iyileşir ve kanatların erozyonu tehlikesi azalır [50] (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Kızdırma sıcaklığının artırılmasının Rankine çevrimi üzerine etkisi

Kondenserdeki su buharı, kondenser çalışma basıncına karşı gelen doyma sıcaklığında, doymuş sıvı buhar karışımıdır (Bkz. Şekil 6.3, 4 hali). Bu nedenle kondenserin çalışma basıncının düşürülmesi, 4' hali, aynı zamanda çalışma sıcaklığını düşürür. Bu da çevrimden ısı çekilen ortalama sıcaklığın, T_L , düşürülmesini sağlar. Buna karşılık buharlaştırıcıda çevrime verilmesi gereken ısıda da 2-2' eğrisi altında kalan alan kadar artış olmaktadır. Fakat bu artış çok azdır. Böylece kondenser basıncını düşürmenin toplam etkisi çevrimin ısı verimini Şekil 6.3' de görülen taralı alan kadar artıracaktır [50].

Isıdan elektrik üreten sistemi esas alan bir ORC teknolojisi (Şekil 6.4), buharlaştırıcı (1 no'lu) içerisindeki organik çalışma sıvısını buharlaştırmak için sıcak kaynaktaki ısıyı kullanır. Seçilen çalışma sıvısı silikon bazlı sıvılar olabilir veya düşük sıcaklıklar için hidrokarbon veya soğutucu bazlı sıvılar kullanılabilir. Basınçlı buhar daha sonra türbine yollanır ve jeneratörle birleştiğinde elektrik üretir. Buhar, yoğunlaştırıcı içinde tekrar sıvı hale yoğunlaştırılır. Sonra pompa çalışma sıvısını tekrar buharlaştırıcıya pompalar ve bu kapalı çevrim süreci tekrar eder. Sıcak sıvı yakıt kaynağı olarak kullanıldığından yakıt maliyeti sıfırdır. Ayrıca ORC enerji sistemlerinde herhangi bir yanma olayı gerçekleşmediğinden, atmosfere zararlı emisyon salınımı oluşmaz [52].

6.2.1. ORC' de çalışma sıvısının seçilmesi

Düşük sıcaklıklarda ısı transfer verimsizliği önemli olduğundan, bu sıcaklıklardaki uygulamalarda kullanılacak çalışma sıvısının seçimi kritiktir. Bu tür verimsizlikler, büyük ölçüde sıvının termodinamik özellikleri ve çalışma koşullarına bağlıdır. Düşük sıcaklıklardaki kaynaklardan ısı elde etmek için, sıvı genellikle sudan daha düşük kaynama seviyesine sahip olur. Sıvının bazı önemli özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 1) *İzantropik doymuş buhar enerjisi:* Geleneksel Buhar Rankine Çevrimindeki gibi bir kızdırma yaklaşımı, sıcaklık alt seviyesi nedeniyle uygun değildir. Bu yüzden, buharlaştırıcıda gerçekleşen küçük bir kızdırma işlemi her zaman tercih edilecektir.
- 2) *Donma alt noktası, yüksek kararlılıktaki sıcaklık:* Suyun aksine, organik sıvılar yüksek sıcaklıklarda genellikle kimyasal bozulmalara ve ayrışmaya maruz kalır. Azami ısı kaynağı sıcaklığı, çalışma sıvısının kimyasal kararlılığıyla sınırlıdır.
- 3) *Yüksek buharlaşma ısı ve yoğunluk:* Gizli sıcaklığı ve yoğunluğu yüksek olan bir sıvı buharlaştırıcı içerisindeki kaynaktan daha fazla enerji emecektir. Dolayısıyla gereken akış hızı, tesis boyutu ve pompa tüketimi düşecektir.
- 4) *Düşük çevre tesiri:* Hesaba katılacak ana parametreler Ozon tükenme potansiyeli (ODP) ve küresel ısınma potansiyelidir (GWP).
- 5) *Güvenlik:* Sıvı, tahriş edici, yanıcı veya zehirli olmamalıdır.
- 6) *Kolay bulunabilirlik ve düşük maliyet.*

7) *Uygun basınçlar*: ORC sistemleri için uygun çalışma basıncı seçilecek olan ekipmanların çalışma koşulları göz önüne alınarak belirlenebilir. Ekipmanların sızdırmazlığının sağlanması, güvenliği gibi önlemler alınarak yüksek basınçlara çıkmak mümkün olacaktır. Belirlenen maksimum basınçta ORC çalışma sıvısı bozulmadan çalışabilmelidir.

6.2.2. ORC' nin bazı önemli avantajları

Buhar türbini sistemlerine kıyasla, ORC bazı özel avantajlara sahiptir. Buhar türbini yüksek sıcaklık ve basınçta kullanıldığı için genellikle daha verimli olsa da ORC aşağıda belirtilen kendine has bazı özellikler nedeniyle birçok uygulamada tercih edilmektedir.

- 1) ORC daha düşük sıcaklık ve basınçlarda çalıştığı için bileşenlerdeki mekanik ve termal gerilim, Rankine çevrimlerine kıyasla daha düşüktür. Bu da bileşenlerin ömrünü artırır.
- 2) ORC daha düşük sıcaklık ve basınçlarda çalıştığı için çalışma alanında bir operatöre ihtiyaç yoktur. ORC personele gerek duymadan uzaktan kontrol edilip çalıştırılabilir. Bu da çalışma maliyetini ciddi şekilde azaltır.
- 3) ORC'nin önemli bir avantajı da nominal enerjinin %10'u gibi kısmi yüklemelerde bile nispeten daha yüksek verimlilikle çalışabilmesidir. Bu, girdi ısısının sık devinim yaptığı bazı endüstriyel uygulamalarda ve ORC'nin buhar türbinlerine kıyasla daha uzun süre çalışabildiği Güneş - Termal uygulamalarda özellikle avantajlıdır. Bu tür uygulamalarda güneşin doğduğu sabahın erken saatlerinde çalışmaya başlayıp güneşin battığı akşamın geç saatlerine kadar işleyebilir.
- 4) Çalışma sıvısı su/buhar yerine kullanıldığından su kullanımı gerekli değildir. Ayrıca buhar sistemlerinde genellikle gerekli olan mineralsız su veya diğer yardımcı sistemlere ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla sistemin tamamının işletilmesi ve kontrolü daha kolaydır.

5) ORC’de türbin, buhar türbinine kıyasla daha düşük bir hızla döner, bu da mekanik zorlanmayı azaltır. Ayrıca, aracı olarak devir düşürücü dişli sistemi ve bağlı parçaları yoluyla doğrudan türbinle jeneratör arasında bir bağ kurulmasına imkân tanır.

6) ORC ile yüksek türbin verimliliği (% 85’e varıncaya kadar) elde edilebilir.

7) Çalıştırma-durdurma işlemlerinin kolaylığı, otomatik/devamlı çalıştırılabilme, güvenli ve sessiz çalışma, sahaya yüksek uyumluluk ve ciddi bakımlar olmaksızın geçen uzun ömür (20 + yıl) diğer avantajları arasındadır.

Bu avantajları sayesinde ORC teknolojisini baz alan elektrik santralleri dünyada hızla yayılmaktadır.

6.3. Enerji Üretiminde Verim ve Ekserji Analizi

Bir enerji kaynağı kullanılacağı zaman ilk yapılan işlemlerden biri, kaynakta bulunan enerjinin miktarını yaklaşık olarak belirlemektir. Fakat sadece bu bilgiye sahip olmak, burada bir güç santrali yapmaya karar vermek için yetersizdir. Asıl bilinmesi gereken, kaynağın iş potansiyeli veya kaynağın iş yapma olanağıdır. Başka bir deyişle, kaynakta var olan enerjinin ne kadarının, kullanılabilir işe dönüştürülebileceğinin bilinmesidir. Enerjinin geri kalanı veya işe dönüştürülemeyen bölümü, sonuçta atık ısı olarak çevreye verileceği için önem taşımaktadır. Bu bakımdan belirli bir halde ve belirli bir miktarda enerjiden elde edilebilecek işi veren özellik olarak *ekserji (kullanılabilirlik)* tanımlaması yapılmaktadır [50].

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimiyle çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir. Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını gösterir ve ekserji diye adlandırılır. Bu tanım, bir makinenin termodinamiğin yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırını belirler[50].

Tersinir iş ve tersinmezlik

Bir sistem iş yaparken, yapılan işin bir bölümü atmosfer basıncını alt etmek için kullanılır ($W_{\text{çevre}}$). Sistemin yapmış olduğu gerçek iş, W , ile çevre işi, $W_{\text{çevre}}$, arasındaki fark yararlı iş diye tanımlanır ve W_y ile gösterilir [50].

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} \quad (6.9)$$

$W_{\text{çevre}}$ sadece hareketli sınır işi olan sistemlerde anlamlıdır. Çevrimler, türbin, kompresör, lüle ve ısı değiştiricileri gibi sistemler için çevre işi sıfırdır. Yararlı iş sistemde yapılan net işe W_{net} eşit olmaktadır.

$$W_y = W_{\text{net}} \quad (6.10)$$

Tersinir iş, W_{tr} , belirli iki hal arasındaki hal değişimi sırasında bir sistemden elde edilebilecek en çok yararlı iş olarak tanımlanır. Bu iş, ilk ve son haller arasındaki hal değişimi tümünden tersinir olarak gerçekleştiği zaman elde edilir. Yani sistemin içerisinde tersinmezliklerin olmadığı bir hal değişimi söz konusudur. Isı makineleri için tersinir iş [50];

$$W_{tr} = \eta_{th,tr} \dot{Q}_H = \left(1 - \frac{T_L}{T_H}\right) \dot{Q}_H \text{ olmaktadır.} \quad (6.11)$$

Tersinir iş W_{tr} ile yararlı iş W_y arasındaki fark, hal değişimi sırasındaki tersinmezliklerden kaynaklanır ve I ile gösterilir [50].

$$I = W_{tr} - W_y = T_0 S_{\text{üretim}} \quad (\text{kJ}) \quad (6.12)$$

Bir hal değişimi sırasında birim zamanda oluşan tersinmezlik $\dot{I}$;

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y \quad (\text{kW}) \quad (6.13)$$

Bölüm 6.1’de tanımlanan ısı verim sadece birinci yasa göz önüne alınarak yapılmıştı. Birinci yasa verimi, olabilecek en iyi ölçü olarak almaz, bu nedenle bazen yanlış değerler vermektedir. Bu yetersizliği gidermek için ikinci yasa verimi η_{II} , tanımı yapılmaktadır. İkinci yasa verimi gerçek ısı verimin, aynı koşullarda olabilecek en yüksek tersinir ısı verime oranıdır [50].

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,tr}} \quad (\text{ısı makineleri için}) \quad (6.14)$$

İkinci yasa verimi, makineden elde edilen yararlı işin elde edilebilecek en çok işe (tersinir) oranı olarak da tanımlanabilir [50].

$$\eta_{II} = \frac{W_Y}{W_{tr}} \quad (\text{iş yapan makineler için}) \quad (6.15)$$

Buharlı güç çevrimlerin ikinci yasa çözümlemesi

İdeal Carnot çevrimi tümden tersinir bir çevrimdir, bu nedenle herhangi bir tersinmezlik içermez. İdeal Rankine çevrimleri ise sadece içten tersinirdir, bundan dolayı bu çevrimlerde, sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi gibi, dıştan tersinmezlikler olabilir. Çevrimlerin ikinci yasa çözümlemesi, tersinmezliklerin nerede oluştuklarını ve büyüklüklerini belirler.

T_R sıcaklığındaki bir ısı enerji deposuyla Q_R miktarda ısı alışverişinde bulunan sürekli akışlı açık sistem için birim zamanda oluşan tersinmezlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir [50]:

$$\dot{I} = T_0 S_{üretim} = T_0 \left(\sum \dot{m}_\chi s_\chi - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \right) \quad (\text{kW}) \quad (6.16)$$

Burada T_0 , çevre ortam sıcaklığını, χ ve g indisleri sırasıyla çıkış ve giriş hallerini göstermektedir.

Bir çevrimin tersinmezliği, sıcak ve soğuk ortamlarla yapılan ısı alışverişlerinin büyüklüğüne ve ortamların sıcaklığına bağlıdır. T_H ve T_L sıcaklıklarındaki ortamlarıyla ısı alışverişinde bulunan bir çevrim için tersinmezlik [50];

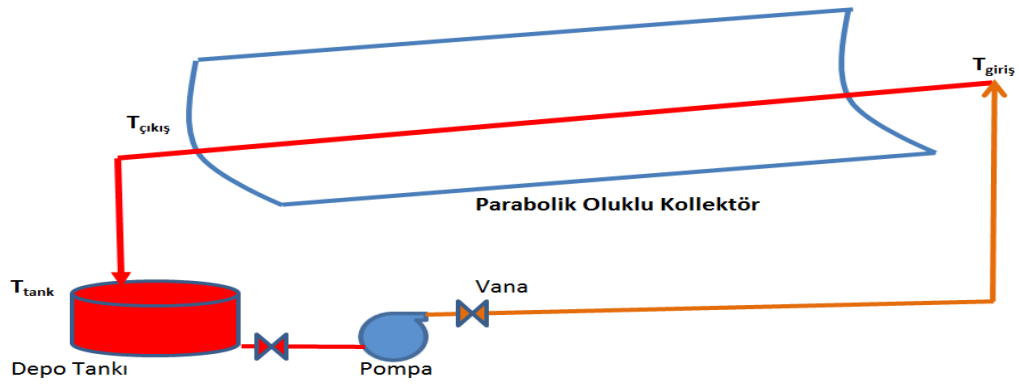
$$i = T_0 \left(\frac{q_c}{T_L} - \frac{q_g}{T_H} \right) \quad (kJ/kg) \quad (6.17)$$

şeklinde yazılır. Verilen bir hal için akışın eksejisi, ψ , aşağıdaki gibi ifade edilir [50]:

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (kJ/kg) \quad (6.18)$$

7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada deneysel sistem olarak kullanılan parabolik oluklu güneş kollektörü 1 adet su depo tankı, su pompası ve ara bağlantı hortumlarıyla tamamlanarak çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Şekil 7.1’de hazırlanan deneysel çalışma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Parabolik oluklu güneş kollektörü 1,4 x 3,0 m boyutlarına sahiptir. Depo tankı 40 x 40 x 60 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Tank çıkışına pompa bağlanarak depodaki su güneş kollektörüne gönderilmektedir. Kullanılan pompa “Mega Products” marka, 0,375 kW gücünde, 10 l/min akış hızına sahip santrifüjlü su pompasıdır ve sıvı akış hızı pompa çıkışında kullanılan vana yardımıyla ayarlanmıştır. Kollektörden çıkan ısınan su depo tankına gönderilerek sürekli dolaşım halinde deneysel çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 7.1. Deneysel çalışma sisteminin şematik gösterimi



Şekil 7.2. Deneysel çalışma düzeneği

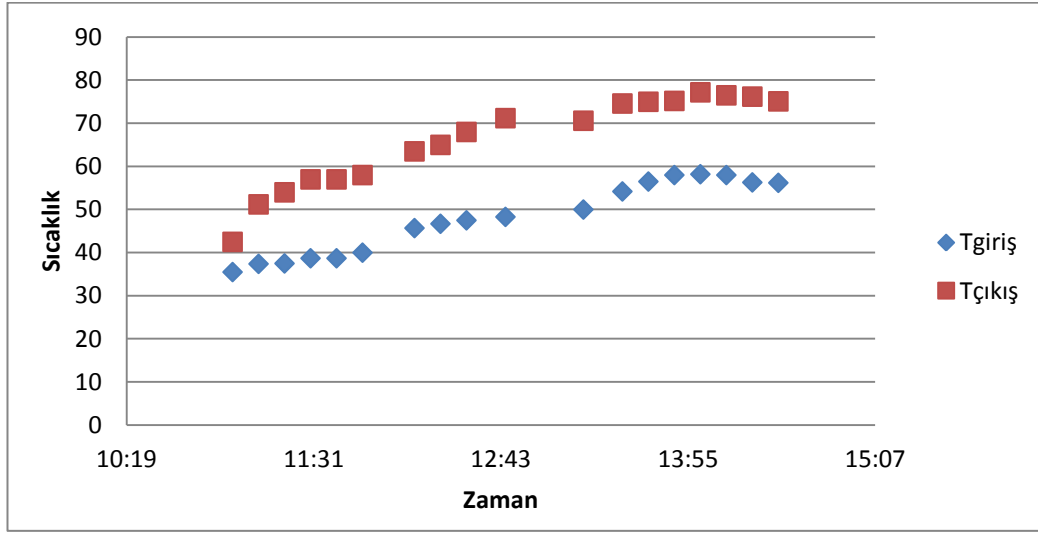
Şekil 7.2’de deneysel çalışmaların yapıldığı parabolik oluk tipi güneş kollektörü sisteminin görüntüsü verilmektedir. Parabolik oluk tipi güneş kollektöründeki yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları emici boru üzerine yoğunlaştırılarak kazanılan enerji emici boru içerisinden geçen ısı transfer akışkanına aktarılmıştır. Deneysel veri olarak suya aktarılan enerji miktarı tespiti için belirli zaman aralıklarında suyun emici boruya giriş ($T_{i,g}$) ve borudan çıkış sıcaklıkları ($T_{i,ç}$) eşanlı olarak ölçülmüştür. Depo tankındaki su sıcaklığı (T_{tank}) ölçümleri de yapılarak depolanan ısı enerjisi modellenmesi yapılmıştır.

7.1. Bulgular

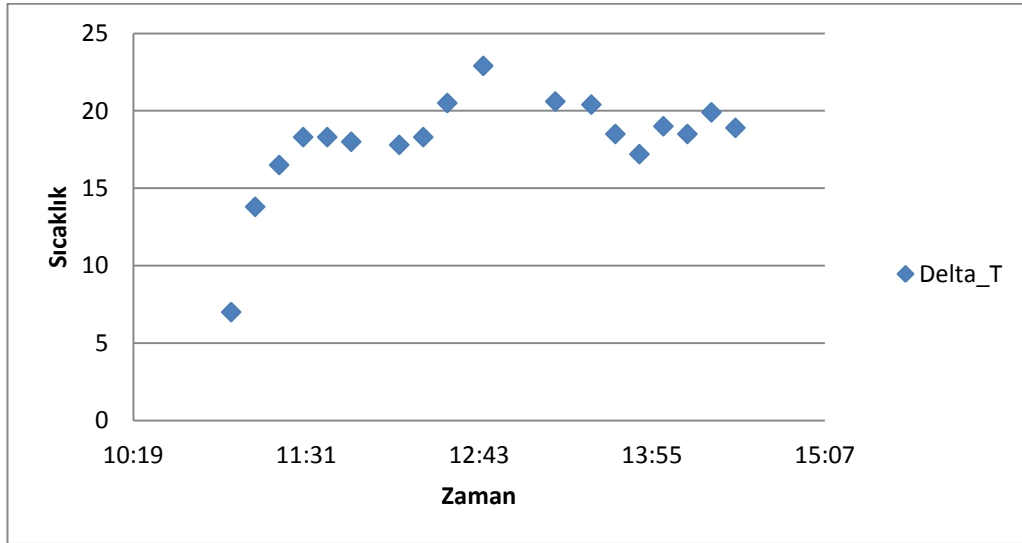
Deneysel çalışmalarda suya aktarılan enerji değişimlerini belirlemek için farklı akış hızlarında çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen deneysel veriler tablolar halinde verilmiştir. Örnek olarak 05.06.2012 tarihinde elde edilen veriler Çizelge 7.1’de gösterilmiş, diğer günlere ait veriler EK-1’ de sunulmuştur.

Çizelge 7.1. 05.06.2012 tarihinde elde edilen deneysel veriler

Saat	$T_{\text{giriş}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{çıkış}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{tank}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{cam}} (^{\circ}\text{C})$	Debi (l/min)	$\Delta T (^{\circ}\text{C})$
11:00	35,5	42,5	25,6	25	0,4	7
11:10	37,4	51,2	27	27	0,4	13,8
11:20	37,5	54	30	27	0,4	16,5
11:30	38,7	57	32	28	0,4	18,3
11:40	38,7	57	32	32	0,4	18,3
11:50	40	58	35	33	0,4	18
12:10	45,7	63,5	35	35	0,4	17,8
12:20	46,7	65	37	36	0,4	18,3
12:30	47,5	68	38	37	0,4	20,5
12:45	48,3	71,2	39	38	0,4	22,9
13:15	50	70,6	40	38	0,4	20,6
13:30	54,2	74,6	42	39	0,4	20,4
13:40	56,5	75	43	40	0,4	18,5
13:50	58	75,2	44	40	0,4	17,2
14:00	58,2	77,2	45	41	0,4	19
14:10	58	76,5	47	41	0,4	18,5
14:20	56,3	76,2	47	40	0,4	19,9
14:30	56,2	75,1	48	40	0,4	18,9



Şekil 7.3. 05.06.2012 tarihli çalışmada suyun kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları değişimi

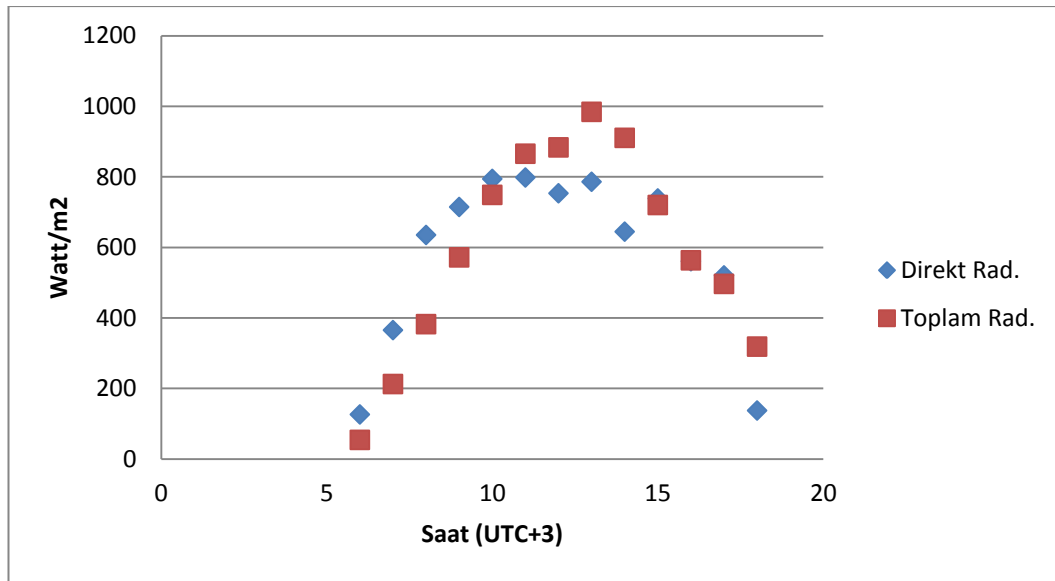


Şekil 7.4. 05.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen ısıyı oluşturduğu sıcaklık farkı

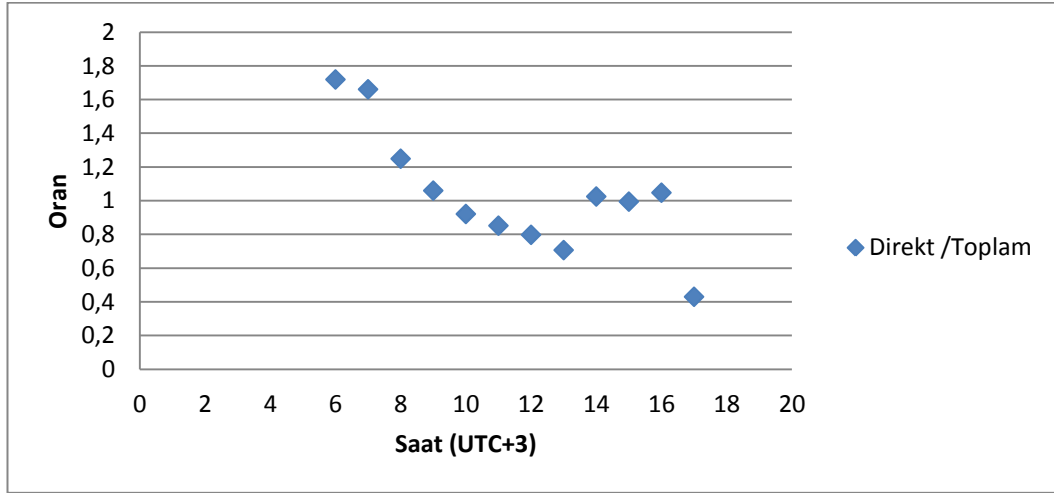
Şekil 7.3 ve 7.4’de yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen çalışma sıvısı sıcaklık değişimleri verilmektedir. Isıl hesaplamaların yapılabilmesi için güneş ışıınımı miktarının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) alınan veriler kullanılmıştır (Çizelge 7.2, Şekil 7.5, Şekil 7.6).

Çizelge 7.2. MGM' den alınan 05.06.2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik Direkt rad. Ortalaması (W/m ²)	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması (W/m ²)	Direkt rad / Toplam Rad
4	7	21912,4	365,21	12740,2	212,34	1,73
5	8	38103,5	635,06	22930,9	382,18	1,66
6	9	42862,1	714,37	34290,5	571,51	1,25
7	10	47643,2	794,05	44917,5	748,62	1,06
8	11	47876,5	797,94	51923	865,38	0,92
9	12	45194,9	753,25	53000,5	883,34	0,85
10	13	47150,1	785,84	59046,4	984,11	0,80
11	14	38666,1	644,44	54621,9	910,36	0,72
12	15	44314,3	738,57	43199,2	719,99	1,025
13	16	33630,7	560,51	33788,8	563,15	0,99
14	17	31220,3	520,34	29778,8	496,31	1,05
15	18	8234,8	137,25	19108,2	318,47	0,43



Şekil 7.5. 05.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi



Şekil 7.6. 05.06.2012 tarihi direkt ışınının toplam ışıma oranları

Şekil 7.6’da görüldüğü gibi direkt güneş ışıma miktarının toplam ışıma miktarına oranları yaklaşık 0,7 ile 1 arasında değişiklik göstermektedir. Literatürde daha önce yapılmış olan, Ankara ili güneş radyasyon miktarı analizlerinde Haziran ayı için direkt ışımanın toplam ışıma oranı yaklaşık 0,6 olmaktadır [58]. MGM’den alınan verilerin bu doğrultuda daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, deneysel verilerin alındığı güne ait olan güneş ışıma miktarları kullanılacağı için MGM verileri esas alınmıştır. Çizelge 7.2’de 05.06.2012 tarihindeki veriler bulunmaktadır. Diğer çalışma günlerine ait ışıma verileri EK-2’de verilmiştir.

7.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörünün Optik ve Isıl Analizleri

05.06.2012 saat 12:30 verilerine göre örnek hesaplama:

$$T_{i,g} = 47,5^{\circ}\text{C} \quad T_{i,\varphi} = 68^{\circ}\text{C} \quad T_d = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Debi} = 0,4 \text{ l/min} \quad G_A = 753,25 \text{ W/m}^2$$

Parabolik oluk tipi kollektörde, ölçülen ısı transfer sıvısı giriş çıkış sıcaklıklarından faydalanılarak sıvıda kazanılan faydalı ısı miktarı ($\dot{Q}_f$);

$$\dot{Q}_{faydalı} = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 0,006563 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4178,94 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot (68 - 47,5) \text{K}$$

$\dot{Q}_f = 562,2 \text{ W}$ olmaktadır.

Q_f emici boru dış yüzeyinde toplanan güneş ışınlarından sıvıya aktarılan kullanılabilir ısı enerjisidir. Q_f emici borudan sıvıya, metal boru et kalınlığından iletim yoluyla ve metal boru iç yüzeyinden sıvıya taşınım yoluyla aktarılmaktadır.

$$Q_f = h_i A_{mbi} (T_{mbi} - T_{ort}) \quad (7.1)$$

$$Q_f = \frac{\pi (d_{LM})_{mb} L k_{mb}}{\Delta x_{mb}} (T_{mbd} - T_{mbi}) \quad (7.2)$$

Bu denklemleri düzenlersek;

$$Q_f = \frac{A_{mbi} (T_{mbd} - T_{ort})}{\left[\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{mb}}{k_{mb}} \left(\frac{d_{mbi}}{(d_{LM})_{mb}} \right) \right]} \quad (7.3)$$

h_i = ısı transfer sıvısı ısı taşınım katsayısı, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

k_{mb} = metal boru ısı iletim katsayısı, $\text{W/m} \cdot \text{K}$

Δx_{mb} = metal boru et kalınlığı

T_{ort} = Sıvı ortalama sıcaklığı $\left(\frac{T_{i,g} + T_{i,\xi}}{2} \right)$

A_{mbi} = Metal boru iç yüzey alanı $(\pi \cdot d_{mbi} \cdot L)$, m^2

Isı transfer sıvısı taşınım katsayısı, h_i , T_{ort} sıcaklığındaki sıvının özelliklerine göre laminar akış için Sieder- Tate denkleminde göre hesaplanabilir;

$$Nu = \frac{h_i d_{mbi}}{k} \quad (7.4)$$

$$Nu = 1,86 (RePr)^{1/3} \left(\frac{d}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_{wall}} \right)^{0,14} \quad (7.5)$$

$$Re = \frac{d \vartheta \rho}{\mu} \quad (7.6)$$

Ortalama sıcaklığı (T_{ort}) $57,75^{\circ}C$ olan suyun ısı taşınım katsayısı Eş. 7.4, 7.5 ve 7.6 kullanılarak $h_i=146,9 W/m^2 K$ olarak hesaplanmıştır.

Eşitlik 7.1'e göre metal boru iç duvar sıcaklığı;

$$562,2 W = 146,9 W/m^2 K \cdot 0,21115 m^2 \cdot (T_{mbi} - 57,75)$$

$$T_{mbi} = 77,76^{\circ}C \text{ bulunur.}$$

Eşitlik 7.2'den metal boru dış duvar sıcaklığını hesaplarırsa;

$$T_{mbd} = 78,11^{\circ}C \text{ olduğu görülmektedir.}$$

Parabolik oluk tipi güneş kollektörü yansıtıcı yüzeyinden emici boru üzerine yoğunlaştırılan güneş ışınları burada metal borunun dış yüzeyinin sıcaklığını artırarak enerjinin ısı transfer sıvısına aktarılmasını sağlamaktadır. Isınan metal borudan ısı transfer sıvısına faydalı enerjinin aktarıldığı gibi, çevreye doğru da ısı kaybı meydana gelmektedir. Bu ısı kaybını en aza indirmek için metal boru üzeri cam boru ile kaplanmıştır. Böylece ısınan metal boruya temas eden hava durgun hale getirilerek ısı taşınım katsayısı düşürülmektedir.

Metal borudan çevreye olan ısı kaybı, metal boru ile cam örtü arasında taşınım ve radyasyon, cam örtü et kalınlığında iletim ve cam örtüden dış ortama taşınım ve radyasyon yolunu izleyerek ilerlemektedir.

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ısı kaybını Eş. 4.25'den hesaplayabiliriz.

Bu denklemde ısı kaybını hesaplarken T_{cbd} sıcaklığı net olarak bilinmemektedir. T_{cbd} deneme yanılma metodu ile hesaplanmıştır. Hesaplamalar Microsoft Excel programı yardımıyla gerçekleştirilmiş olup bu bölümde örnek hesaplama ayrıntılı olarak verilmiştir.

1. Deneme

Varsayım; $T_{cbd} = 40^\circ C$

4.25 eşitliğindeki cam örtüden çevreye radyasyon ile ısı transfer katsayısı ($h_{d,r}$) Eş.

4.26'dan;

$$h_{d,r} = \frac{0,9 \times 5,67 \times 10^{-8} (313^4 - 298^4)}{(313 - 298)} = 5,823 \text{ W/m}^2 K$$

4.25 eşitliğindeki cam örtüden çevreye taşınım ile ısı transfer katsayısı ($h_{d,t}$) hesaplaması aşağıdaki gibidir.

$$Nu = \frac{h_{d,t} d_{cbd}}{k}$$

$$Nu = \begin{cases} 0,40 + 0,54 Re^{0,52} & \text{için } 0,1 < Re < 1000 \\ 0,30 Re^{0,6} & \text{için } 1000 < Re < 50000 \end{cases} [32]$$

$$Re = \frac{d \vartheta_d \rho}{\mu}$$

ϑ_d = Dış ortamdaki rüzgâr hızı (m/s)

Belirlenen sıcaklıktaki havanın özellikleri ve MGM'den elde edilen $\vartheta_d = 1,5 \text{ m/s}$ rüzgar hızındaki $h_{d,t}$ için;

$$Re = 5164,418$$

$$Nu = 50,69 = \frac{h_{d,t} \times 0,056}{0,0265} \rightarrow h_{d,t} = 23,986 \text{ W/m}^2 K \text{ bulunur.}$$

Cam örtüden dış yüzeyinden çevreye olan ısı kayıp miktarı (Eş. 4.25);

$$\dot{Q}_k = 0,2545 \left(\frac{0,056}{0,027} \right) [23,986 + 5,823](40 - 25) = 236 \text{ W} \text{ olmaktadır.}$$

Cam örtü et kalınlığında olan iletimle ısı transferi denkleminde (Eş. 4.22) cam boru iç yüzey sıcaklığı (T_{cbi}) hesaplanır. R_{cb} Eş. 4.23 ve 4.24 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$x_{cb} = \frac{0,056 - 0,051}{2} = 0,0025 \text{ m}$$

$$R_{cb} = \frac{0,0025 \times 0,056}{1,09 \times 0,0535} = 2,4 \times 10^{-3}$$

$$236 = 0,2545 \times \left(\frac{0,056}{0,027} \right) \frac{(T_{cbi} - 40)}{0,0024} \rightarrow T_{cbi} = 41,07^\circ \text{C}$$

Metal boru dış yüzeyi ile cam örtü arasındaki taşınım ve radyasyon ile oluşan ısı kayıp Eş. 4.15 ile hesaplanır.

$$Q_k = 0,2545 \times [h_{ar,t} + h_{ar,r}] \times (78,11 - 41,07)$$

Eşitlik 4.17 kullanılarak $k_{eff} = 0,0428 \text{ W/m K}$ olarak hesaplanmıştır.

Taşınım ile olan ısı transfer katsayısı $h_{ar,t}$ Eş. 4.16 dan;

$$h_{ar,t} = \frac{0,0428 \times 0,0377}{0,012 \times 0,027} = 4,98 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

Radyasyon ile olan ısı transfer katsayısı $h_{ar,r}$ Eş. 4.21'den;

$$C_{ar} = \frac{1}{\frac{1}{0,25} + \frac{1 - 0,9}{0,9} \left(\frac{0,027}{0,052} \right)} = 0,2464$$

$$h_{ar,r} = \frac{0,2464 \times 5,67 \times 10^{-8} (351,11^4 - 314,07^4)}{(351,11 - 314,07)} = 2,062 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ bulunur.}$$

Eşitlik 4.15' den ısı kayıp miktarı;

$$\dot{Q}_k = 0,2545 \times [4,98 + 2,062] \times (78,11 - 41,07) = 66,47 \text{ W} \text{ olmaktadır.}$$

Eşitlik 4.25 ve Eş. 4.15'den hesaplanan ısı kayıp miktarları, Q_k , birbirlerinden farklıdır. Bu durumda yapmış olduğumuz T_{cbd} varsayımının yanlış olduğu anlaşılmaktadır. Hesaplanan ısı kayıp miktarları birbirine eşit oluncaya kadar yapılan varsayım değiştirilerek denemeler devam edecektir.

Hesaplamaların kolay yapılabilmesi için oluşturulan Excel programında T_{cbd} ve Q_k Solver yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

2. Deneme

$T_{cbd} = 30,6^\circ \text{C}$ olarak alındığında Eş. 4.25' den hesaplanan $Q_k = 87,529 \text{ W}$ olmaktadır.

Eş. 4.22' den $T_{cbi} = 31^\circ \text{C}$ ve Eş. 4.15' den hesaplanan $Q_k = 87,530 \text{ W}$ olmaktadır. Bu durumda hesaplanan ısı kayıp miktarları birbirine eşit olduğu için yapılan T_{cbd} varsayımı doğrudur.

Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplu ısı kayıp katsayısı, U_{mbd} , Eş. 4.28'den;

$$U_{mbd} = \left[\frac{1}{[5,322 + 1,974]} + \frac{1}{\left(\frac{0,056}{0,027}\right) \frac{1}{0,0024}} + \frac{1}{\left(\frac{0,056}{0,027}\right) [24,075 + 5,556]} \right]^{-1}$$

$$U_{mbd} = 6,475 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ olur.}$$

Emici boru ile çevre arasındaki ısı kayıp Eş. 4.27'den;

$$\dot{Q}_k = 0,2545 \times 6,475 \times (78,11 - 25) = 87,53 \text{ W}$$

olarak hesaplanır.

Emici boruya gelen kullanılabilir enerji, Q_G , ısı transfer sıvısına aktarılan kullanılabilir enerji Q_f ve emici boru ile çevre arasında oluşan ısı kayıplar, Q_k , toplamına eşittir.

$$Q_G = Q_f + Q_k$$

$$\dot{Q}_G = 562,2 + 87,53 = 649,73 \text{ W}$$

Sistemin ısı verimi, $\eta_{\text{ısı}}$, ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerjinin emici boruya gelen kullanılabilir enerjiye oranı ile bulunabilir.

$$\text{ısı verim} \rightarrow \eta_{\text{ısı}} = \frac{Q_f}{Q_G} \times 100 = \frac{562,2}{649,73} \times 100 = \% 86,5 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

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

$$Q_G = G_B \times A_{gka} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Parabolik kollektörün gölgelenmeyen yansıtıcı yüzey alanı A_{gka} ;

$$A_{gka} = (W_k \times L) - (L \times d_{cbd}) = 4,032 \text{ m}^2$$

Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınları G_B ;

$$649,73 = G_B \times 4,032 \rightarrow G_B = 161,13 \text{ W/m}^2$$

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

$$G_B = G_A \times \eta_{1-4}$$

$$161,13 = 753,25 \times \eta_{1-4} \rightarrow \eta_{1-4} = 0,214$$

η_1 , gelme açısı düzeltme faktörüdür. Günün çalışma saatlerinde güneş saat açıları göz önüne alınarak gelme açısı, θ , 18° olarak seçilmiştir. $\eta_1 = K = \cos(18) = 0,95$ olmaktadır. η_2 , seçilen malzemeye göre değişmektedir. Yansıtıcı yüzey malzemesi olarak parlak yüzeyli paslanmaz çelik seçilmiştir ve yansıtıcılık değeri (η_2) 0,88'dir. Kesişim faktörü η_3 ideal şartlar için 0,95 olarak seçilmiştir. η_5 , emici borunun güneş ışınlarını emicilik değeri 0,94'tür. Cam örtü optik verimi, η_4 , seçilen malzemeye göre ve tasarım koşullarına göre değişmektedir. Emici boru ve cam örtü arasında hava olduğu için η_4 'ün tam olarak hesapla belirlenmesi mümkün değildir ve her çalışma için deneysel olarak hesaplanmıştır. Cam örtü optik verimi, η_4 ;

$$\eta_{1-4} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 = 0,95 \times 0,88 \times 0,95 \times \eta_4 \rightarrow \eta_4 = 0,27$$

Parabolik oluk tipi güneş kollektörü optik verimi, η_{optik} ;

$$\eta_{optik} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5$$

$$\eta_5 = 0,94 \rightarrow \eta_{optik} = 0,214 \times 0,94 = 0,2011 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu bölümde 05.06.2012 tarihinde saat 12:30'da elde edilen veriler ile ilgili optik ve ısı analizler yapılmıştır. Aynı gün içerisinde elde edilen veriler ile hesaplanan optik ve ısı analizlerin sonuçları tablo halinde aşağıda verilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre gün içerisinde ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji miktarı ortalama 494 W olmuştur. Kollektör sisteminin ısı verimi ortalama % 85 iken optik verimi ortalama % 18 olmuştur. Optik verimi etkileyen önemli parametre olan cam örtü optik veriminin de ortalama % 24,3 olduğu görülmüştür (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3. 05.06.2012 tarihli çalışma için hesaplanan optik ve ısı analizlerin sonuçları

<i>Saat</i>	<i>Q_b</i> W	<i>h_b</i> W/m ² K	<i>h_{ab}</i> W/m ² K	<i>T_{mbi}</i> °C	<i>T_{mbd}</i> °C	<i>T_{cbd}</i> °C	<i>Q_{gelew}</i> W	<i>Q_{kayıp}</i> W	<i>η₄</i>	<i>η_{optik}</i>	<i>η_{ısıt}</i> %
11:00	193,28	141,12	24,15	46,1	46,22	25,08	225,78	32,5	0,088	0,066	85,61
11:10	380,34	143,72	24,135	58,08	58,31	26,43	433,8	53,46	0,17	0,1267	87,68
11:20	454,52	144,6	24,13	62,13	62,41	26,9	515,48	60,96	0,201	0,1506	88,17
11:30	503,72	145,3	26	65,93	66,24	27,13	572,33	68,61	0,224	0,1672	88,01
11:40	503,72	145,3	26	65,93	66,24	27,13	572,33	68,61	0,224	0,1672	88,01
11:50	495,26	145,33	26	66,8	67,08	27,23	565,46	70,21	0,221	0,1652	87,59
12:10	488,75	145,88	29,47	72,1	72,4	29,2	566,46	77,71	0,235	0,1753	86,28
12:20	502,24	146,15	29,47	73,8	74,11	29,4	583,35	81,12	0,242	0,1806	86,10
12:30	562,2	146,94	24,075	77,76	78,11	30,6	649,73	87,53	0,27	0,2011	86,53
12:45	627,53	147,8	29,46	82	82,37	30,3	725,43	97,9	0,3	0,2245	86,50
13:15	564,38	147,25	32,72	80,36	80,71	29,7	659,68	95,3	0,262	0,1957	85,55
13:30	557,97	147,63	32,72	84,2	84,54	30,11	661,3	103,33	0,263	0,1962	84,37
13:40	505,72	147,27	32,71	83,7	84,04	30,1	608	102,3	0,24	0,1804	83,18
13:50	470,01	147,01	32,71	83,33	83,62	30	571,41	101,4	0,227	0,1695	82,25
14:00	518,96	147,6	33,44	86,12	86,44	32,02	622,61	103,65	0,301	0,2252	83,35
14:10	505,4	147,42	33,44	85,2	85,52	31,9	607,1	101,7	0,294	0,2196	83,25
14:20	543,88	147,7	33,44	85,54	85,88	31,96	646,33	102,46	0,313	0,2338	84,15
14:30	516,68	147,37	33,44	84,01	84,33	31,8	615,86	99,2	0,3	0,2228	83,90
Ortalama									0,243	0,1815	85,6

7.2.1. Güneş enerjisinin depolanması

Güneş enerjisi gün boyu sürekli olmadığı ve sistemi ekonomik yapmak için güneş enerjili uygulamalar tüm güne yayıldığı için güneş enerjisinin depolanması ihtiyacı doğmaktadır.

Güneş ışınları geceleri hiç gelmediği gibi gündüzleri de saatlere ve havanın kapalılık durumuna göre farklılık gösterir. Bu durumlarda direkt ışıının olmaması nedeniyle kullanılan sistemler yetersiz kalabilmektedir. Diğer taraftan enerji tüketimi sürekli olup, değişimi azdır. Depolama yapılmadığı zaman, güneş enerjisinden sadece güneş ışıının olduğu saatlerde yararlanılır ve fazla enerji atılırken, ışıının olmadığı zamanlarda yardımcı enerji kaynaklarından (elektrik, yakıt vb.) faydalanılır. Güneş enerjisinin depolanması durumunda yardımcı kaynaktan çekilen enerji miktarı azalacaktır.

Bu çalışmada, güneş enerjisinin depolanması amacıyla, kollektörde ısınan akışkan depo tankı içerisine toplanmış ve tanktan pompa yardımıyla tekrar kollektör girişine gönderilmiştir. Çalışmanın yapıldığı gün içerisinde tank içerisindeki suyun sıcaklığı devamlı ölçülerek depo tankında toplanan enerji miktarı gözlenmiştir.

Genel olarak su dolu bir tank için, sistem olarak göz önüne alınırsa enerji dengesi aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$(\dot{m}C_p)_{tank} \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_g - \dot{Q}_\phi - \dot{Q}_{k,tank} \quad (7.7)$$

$\dot{Q}_g$ = Kollektörden depo tankına giren su ile gelen ısı miktarı

$\dot{Q}_\phi$ = Depo tankından kollektöre pompalanan su ile çıkan ısı miktarı

$\dot{Q}_{k,tank}$ = Depo tankından çevreye olan ısı kaybı

Depo tankı ile çevresi arasındaki ısı geçişi, tank ve çevre sıcaklıkları, T_{tank} ve T_d , çevreye ısı geçişi yüzeyi A_{tank} ve depo ile çevre arası ısı geçiş katsayısına U_{tank} bağlı olarak aşağıdaki gibidir.

$$\dot{Q}_{k,tank} = A_{tank} U_{tank} (T_{tank} - T_d) \quad (7.8)$$

$$U_{tank} = \left[\frac{1}{h_{i,tank}} + \frac{\Delta x_{tank} A_{tank}}{k_{tank}} + \frac{1}{h_d} \right]^{-1} \quad (7.9)$$

Depo tankından çevreye olan ısı kaybında tank içerisindeki taşınım ile olan ısı kaybı ve tank et kalınlığındaki iletim ile olan ısı kaybı ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu durumda tank içerisindeki sıvı sıcaklığı ile tank dış duvar sıcaklığı eşit kabul edilebilir. Depo tankından çevreye olan ısı kayıp miktarı Eş. 7.8 düzenlenirse;

$$\dot{Q}_{k,tank} \approx A_{tank} h_d (T_{tank} - T_d) \quad (7.10)$$

şeklinde olur.

Depo tankına gelen ısı miktarı referans sıcaklığına göre düzenlenirse;

$$\dot{Q}_g = (\dot{m}C_p)_g (T_{i,\zeta} - T_{ref}) \quad (7.11)$$

Depo tankından kollektöre pompalanan su ile çıkan ısı;

$$\dot{Q}_\zeta = (\dot{m}C_p)_\zeta (T_{i,g} - T_{ref}) \quad (7.12)$$

Eş. 7.11 ve 7.12 taraf tarafa çıkarılarak düzenlenirse;

$$\dot{Q}_g - \dot{Q}_\zeta = (\dot{m}C_p)(T_{i,\zeta} - T_{i,g}) = \dot{Q}_f \quad (7.13)$$

şeklinde olur.

Depodaki suyun sıcaklığı, Eş. 7.7 düzenlenirse;

$$(\dot{m}C_p)_{tank} \frac{dT_{tank}}{dt} = \dot{Q}_f - A_{tank} h_d (T_{tank} - T_d) \text{ elde edilir.}$$

$$(mC_p)_{tank} \ln(T_{tank} - T_d) = \frac{\dot{Q}_f \cdot \Delta t}{(T_{tank} - T_d)} - A_{tank} h_d \Delta t \quad (7.14)$$

05.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda tank içindeki suyun sıcaklığı Eş. 7.14 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_f = 494 \text{ W (05.06.2012 tarihli verilerin ortalaması Bkz. Çizelge 7.3)}$$

$$\Delta t = 9000 \text{ sn}$$

$$h_d = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_{tank} = 0,512 \text{ m}^2$$

$$m_{tank} = 50,176 \text{ kg}$$

$$(50,176)(4182) \ln(T_{tank} - 25) = \frac{(494)(9000)}{(T_{tank} - 25)} - (0,512)(10)(9000)$$

$$T_{tank} = 34^\circ \text{ C olarak bulunur.}$$

Depo tankından çevreye olan ısı kayıp miktarı Eş. 7.10' dan;

$$\dot{Q}_{k,tank} = (0,512)(10)(34 - 25) = 46,08 \text{ W olmaktadır.}$$

Deneysel çalışmada T_{tank} ' ın yapılan ölçümler sonucunda 40° C olduğu görülmektedir (Bkz. Çizelge 7.1). Hesaplamayla bulunan T_{tank} ile ölçülen arasındaki farkın tank içerisinde yeterli karışımın olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Depo tankından çevreye olan ısı kaybı yaklaşık 46 W olmuştur. Bu ısı kaybı miktarı depo tankının izole edilmesi ile azaltılabilir. Tank izole edilmezse güneş kollektöründe elde edilen faydalı enerjinin (Q_f) yaklaşık olarak 1/10' u tankta kaybolabilir.

7.3. Elektrik Üretim Performans Analizi

Enerji kaynağımız olan parabolik oluk tipi güneş kollektörlerinde elde edilen ısı enerjisi, elektrik üretim proseslerinde doğrudan ya da farklı bir akışkana ısının aktarılması ile kullanılabilir. Kollektörün tasarımına ve kullanılan ısı transfer

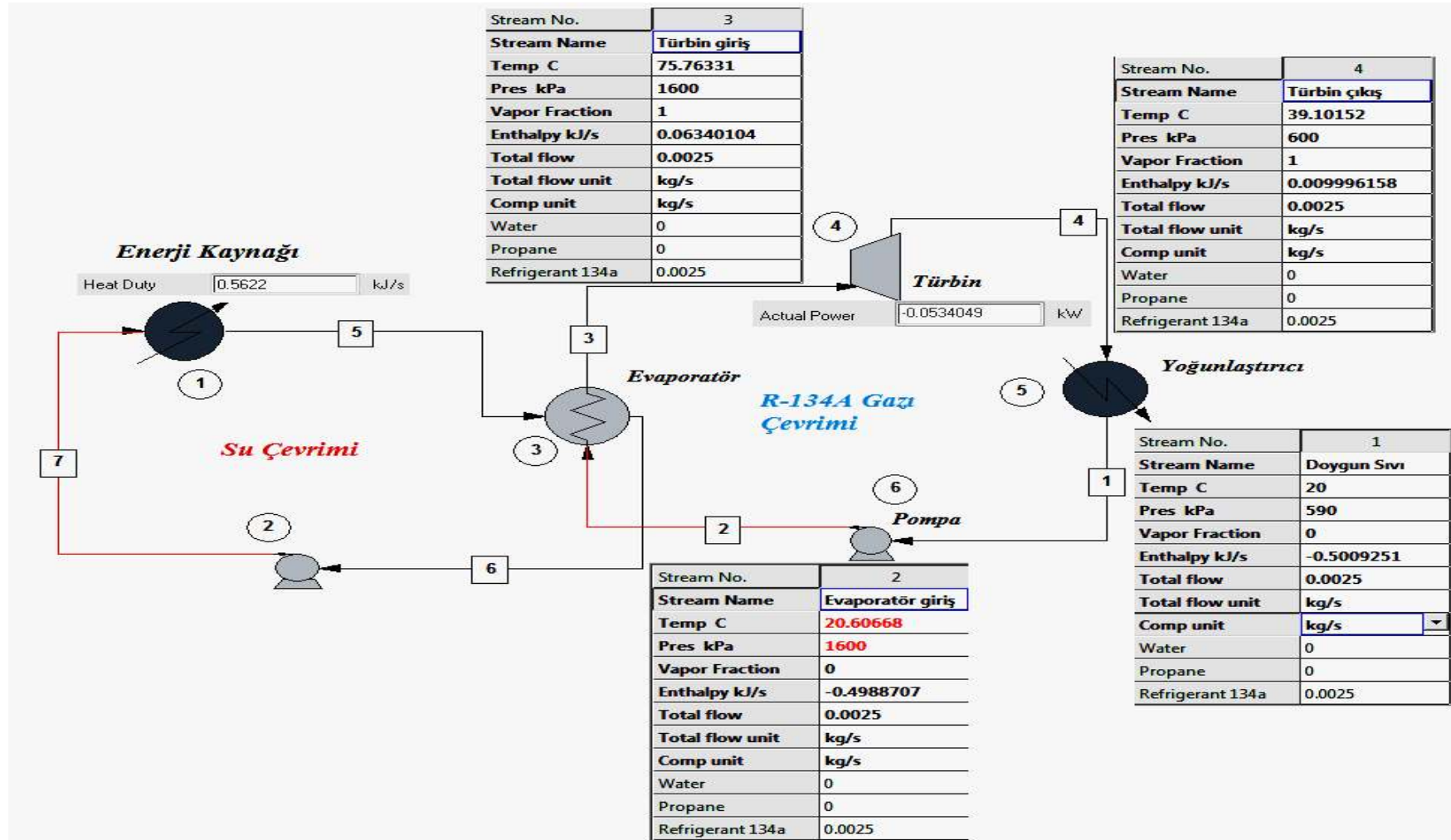
sıvısının özelliklerine bağlı olarak yüksek sıcaklıklar elde etmek mümkündür. Isı transfer sıvısı olarak su veya organik sıvılar gibi düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen akışkanlar kullanılıp, kolektör çıkışında kızgın buhar elde edilerek buhar doğrudan türbin ve jeneratör içeren elektrik üretim prosesine gönderilebilir. Elde edilen kızgın buhar, buhar türbinini çevirerek enerjisini aktarır ve doymuş buhar şartlarına yakın olarak türbinden çıkar. Türbin kazandığı hareket enerjisini alternatöre aktararak buradan elektrik elde edilir. Türbinden çıkan doymuş buhar yoğunlaştırılarak tekrardan parabolik güneş kolektörüne gönderilerek çevrim devam ettirilir.

Farklı bir alternatif olarak parabolik güneş kolektöründe ve elektrik üretim prosesinde farklı çevrimler kullanmak mümkündür. Enerji kaynağında kazanılan ısı termal yağlar, organik sıvılar, eriyik inorganik tuz karışımları ve su gibi çeşitli akışkanlar ile toplanır ve bir evaporatöre gönderilir. Evaporatörde ısı transfer sıvısı, enerjisini kolay buharlaşabilen akışkanlara aktararak kızgın buhar elde edilir ve buhar türbine gönderilerek elektrik üretimi gerçekleştirilir. Evaporatörden çıkan ısı transfer sıvısı da tekrar enerji kaynağına gönderilerek çevrim devam ettirilir.

Bu çalışmada, ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmış ve imal edilen parabolik oluk tipi güneş kolektöründe kazanılan ısı miktarları gözlenmiştir. Kazanılan ısı ile bir elektrik üretim prosesinde elde edilebilecek çıktılar CHEMCAD programı ile simüle edilmiştir. Elektrik üretim prosesi olarak ORC prosesleri esas alınmış ve organik sıvı olarak kolay bulunabilen, çevreye zararsız ve düşük sıcaklıktaki uygulamalarda istenilen kızgın buhar seviyesine çıkabileceği, yüksek buharlaşma ısısına sahip olduğu için klima gazı olarak da bilinen R-134A gazı seçilmiştir.

Bu bölümde ideal bir Rankine çevriminde elde edilebilecek enerji miktarları tespit edilerek çevrimin termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizleri gerçekleştirilmiştir.

Aşağıdaki şekilde CHEMCAD programı ile yapılmış olan simülasyonun Rankine çevrimi çalışma koşulları verilmektedir.

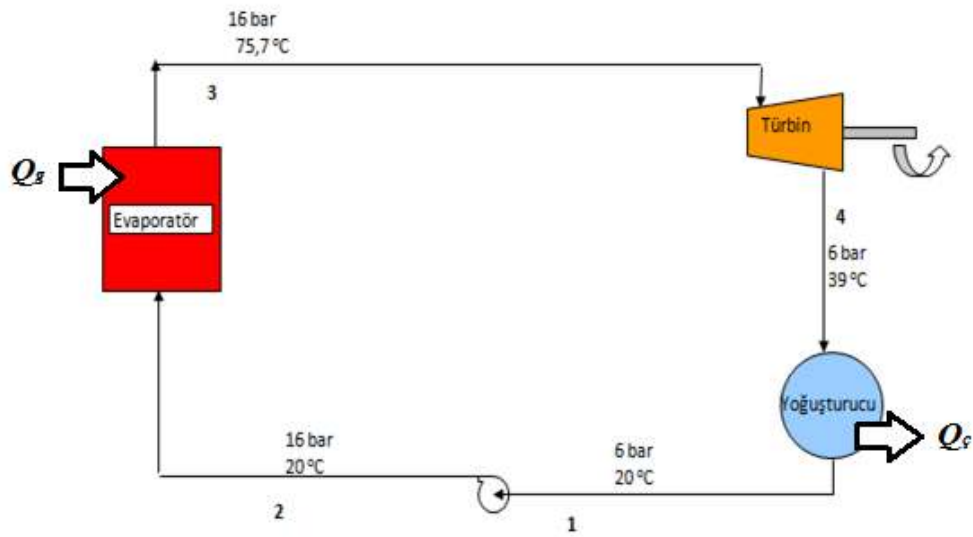


Şekil 7.7. CHEMCAD programı ile yapılan simülasyon

Gerçekleştirilen simülasyonda enerji kaynağına Bölüm 7.2 de hesaplanan Q_f kadar (562,2 Watt) ısı enerjisi girişi gerçekleşmektedir. Parabolik oluk güneş kollektöründe toplanan faydalı enerji evaporatörde R-134A gazına aktarılmakta ve sıvı haldeki R-134A kızgın buhar fazına geçmektedir. Burada Rankine çevrimi ile elektrik üretim prosesi gerçekleştirilerek türbinden elde edilen net güç 53,4 Watt olmaktadır. Yoğunlaştırıcıda sistemden çıkan enerji 4 ve 1 nolu akımların entalpi farkından yaklaşık 0,510 kJ/s, 510 W, olduğu görülmektedir. (Şekil 7.7)

Simülasyondan elde edilen Rankine çevrimi çalışma koşullarına göre elektrik üretim prosesinin termodinamik analizleri yapılmıştır.

Birinci Yasa Analizi



Şekil 7.8. Deneysel sonuçlara göre ORC çevrimi verileri

R-134A gazı debisi $\dot{m} = 0,0025 \text{ kg/s}$

1 → 20°C' de doymuş sıvı $P_1 = 600 \text{ kPa}$
 $h_1 = 79,3 \text{ kJ/kg}$ $s_1 = 0,301 \text{ kJ/kg K}$ $v_1 = 0,0008 \text{ m}^3/\text{kg}$

2 → 600 kPa' dan 1600 kPa'a izantropik sıkıştırma

$$W_{pompa} = v_1(P_2 - P_1) = 0,0008 \times (1600 - 600) = 0,8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + W_{pompa} = 79,3 + 0,8 = 80,1 \text{ kJ/kg} \quad s_2 = 0,298 \text{ kJ/kg K}$$

$$\begin{aligned} 3 \rightarrow \text{Kızgın buhar fazı} \quad P_3 &= 1600 \text{ kPa} \quad T_3 = 75,7^\circ \text{ C} \\ h_3 &= 300 \text{ kJ/kg} \quad s_3 = 0,973 \text{ kJ/kg K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4 \rightarrow \text{İzantropik genleşme} \quad P_4 &= 600 \text{ kPa} \quad T_4 = 39^\circ \text{ C} \\ h_4 &= 279,6 \text{ kJ/kg} \quad s_4 = 0,978 \text{ kJ/kg K} \end{aligned}$$

Evaporatörde sisteme giren ısı miktarı Q_g ;

$$\dot{Q}_g = \dot{m}(h_3 - h_2) = 0,0025 \times (300 - 80,1)$$

$$\dot{Q}_g = 0,54975 \text{ kW} = 549,75 \text{ Watt}$$

Yoğunlaştırıcıda sistemden çıkan ısı miktarı, Q_ς ;

$$\dot{Q}_\varsigma = \dot{m}(h_4 - h_1) = 0,0025 \times (279,6 - 79,3)$$

$$\dot{Q}_\varsigma = 0,50075 \text{ kW} = 500,75 \text{ Watt}$$

Türbinden alınan iş, $W_{türbin}$;

$$\dot{W}_{türbin} = \dot{m}(h_3 - h_4) = 0,0025 \times (300 - 279,6)$$

$$\dot{W}_{türbin} = 0,051 \text{ kW} = 51 \text{ Watt}$$

Sistemden elde edilen net iş W_{net} ;

$$W_{net} = W_{türbin} - W_{pompa} = Q_g - Q_\varsigma$$

$$W_{net} = 0,049 \text{ kW}$$

Birinci yasa verimi, termal verim, η_I ;

$$\eta_I = \frac{W_{net}}{Q_g} \times 100 = \left(1 - \frac{Q_\varsigma}{Q_g}\right) \times 100$$

$$\eta_I = \frac{49}{549,75} \times 100 = \% 8,91$$

İkinci Yasa Analizi

Şekil 7.8' de 1-2 ve 3-4 hal değişimleri izantropik olarak kabul edilmiştir. Başka bir deyişle sabit entropide sıkıştırma ve genleşme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle 1-2 ve 3-4 hal değişimlerinde içten veya dıştan tersinmezlikler ihmal edilmiştir.

$$I_{12} = 0 \quad \text{ve} \quad I_{34} = 0$$

2-3 ve 4-1 hal değişimleri sabit basınçta ısı geçişi işlemleridir ve içten tersinirlerdir. Fakat bu hal değişimleri sırasında akışkanla ısı alışverişinde bulunduğu ortam arasında sonlu sıcaklık farkı olduğu için, her iki hal değişimi de tersinmez olur.

$T_H = 85^\circ \text{C}$ ' deki Evaporatörde oluşan tersinmezlik, I_{23} ;

$$\dot{I}_{23} = T_0 \left[\dot{m} (s_3 - s_2) - \frac{\dot{Q}_g}{T_H} \right]$$

$$\dot{I}_{23} = 298 \left[0,0025 \times (0,973 - 0,298) - \frac{0,549}{358} \right] = 0,0453 \text{ kW}$$

$T_L = 15^\circ \text{C}$ ' deki Yoğunlaştırıcıda oluşan tersinmezlik, I_{41} ;

$$\dot{I}_{41} = T_0 \left[\dot{m} (s_1 - s_4) + \frac{\dot{Q}_c}{T_L} \right]$$

$$\dot{I}_{41} = 298 \left[0,0025 \times (0,301 - 0,978) + \frac{0,500}{288} \right] = 0,0138 \text{ kW}$$

Sistemde oluşan toplam tersinmezlikler $I_{\text{çevrim}}$;

$$I_{\text{çevrim}} = I_{12} + I_{23} + I_{34} + I_{41}$$

$$I_{\text{çevrim}} = 0 + 0,0453 + 0 + 0,0138 = 0,0591 \text{ kW} = 59,1 \text{ Watt}$$

Sistemdeki yararlı iş $W_y = W_{\text{net}} = 0,049 \text{ kW}$

Sistemdeki tersinir iş W_{tr} ;

$$W_{tr} = \eta_{th,tr} \dot{Q}_g = \left(1 - \frac{T_L}{T_H}\right) \dot{Q}_g = \left(1 - \frac{288}{358}\right) \times 0,549 = 0,1075 \text{ kW}$$

İkinci yasa verimi η_{II} ;

$$\eta_{II} = \frac{W_{net}}{W_{tr}} = \frac{0,049}{0,1075} \times 100 = \% 45,58$$

Hesaplanan ikinci yasa verimini kontrolü için sistemde oluşan toplam tersinmezlik miktarı ile ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\eta_{II_{tr}} = 1 - \frac{I_{\text{çevrim}}}{W_{tr}} = \left(1 - \frac{0,0591}{0,1075}\right) \times 100 = \% 45,08$$

Sistemin toplam tersinmezlik miktarı ve sistemden elde edilen net güç ile hesaplanan ikinci yasa verimleri yukarıda görüldüğü gibi yaklaşık % 45 olarak hesaplanmıştır. İki hesaplama yönteminde elde edilen sonuçlar arasındaki fark birbirine çok yakındır. Böylece sistemden elde edilen net güç ile sistemin toplam tersinmezlik miktarının uyumlu olduğu görülmektedir (Bkz. Çizelge 7.4)

Türbinden çıkan buharın kullanılabilirliği (ekserjisi) ψ_4 , kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilerek Eş. 6.18' den;

$$\psi_4 = (h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0) + 0 + 0 \text{ şeklinde hesaplanabilir.}$$

T_0 ve P_0 şartlarındaki dış ortamın özellikleri;

$$h_0 = h_{f,air @ 290 \text{ K}} = 274,39 \text{ kJ/kg}$$

$$s_0 = s_{f,air @ 290 \text{ K}} = 1,0956 \text{ kJ/kg K}$$

$$\psi_4 = (279,6 - 274,39) - 298(0,978 - 1,0956) = 40,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{\psi}_4 = \dot{m} \times \psi_4 = 0,0025 \times 40,25 = 0,100 \text{ kW} = 100 \text{ Wat}$$

ψ_4 bize türbinden çıkan buharın iş yapabilme potansiyelini vermektedir. Bu değer türbinde elde edilen net gücün yaklaşık 2 katı değerdedir ve dışarı atılmaktadır. Türbine giren buharın maksimum iş yapabilmesi giriş koşullarındaki buharın ekserjisi ψ_3 ile hesaplanabilir (Eş. 6.18):

$$\psi_3 = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0)$$

$$\psi_3 = (300 - 274,39) - 298(0,973 - 1,0956) = 62,145 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{\psi}_3 = \dot{m} \times \psi_3 = 0,0025 \times 62,145 = 0,155 kW = 155 Watt$$

Türbine giren kızgın buharın maksimum iş yapabilme potansiyeli (ekserjisi) 155 Watt iken türbinden bu miktarın 3'te 1'i kadar net iş elde edilebilmektedir.

Bu bölümde hesaplanan termodinamik analiz sonuçları ile yapılan bilgisayar simülasyonu çıktılarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Yapılan simülasyonda sisteme giren enerji miktarı, Q_g , 562,2 W iken hesaplama sonucunda bu değer yaklaşık 550 W bulunmuştur. Türbinden elde edilen net güç simülasyonda 53,4 W, hesaplama sonucunda 51 W olmuştur. Yoğunlaştırıcıda sistemden dışarı çıkan enerji miktarı, Q_c , simülasyonda 510 W, hesaplamalar sonucunda ise 500,75 W olduğu görülmektedir.

CHEMCAD programı ile farklı çalışma koşullarındaki Rankine çevrimleri simüle edilmiştir. Bu simülasyonlardan elde edilen sonuçlar ile termodinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Evaporatör ve yoğunlaştırıcıda oluşan entropi ve tersinmezlik miktarları belirlenerek sistemin toplam tersinmezliği hesaplanmıştır. Sistemde elde edilen net güç miktarları da belirlenerek termodinamik verimler hesaplanmıştır. Sistemden net güç çıkışı ortalama 45 W iken birinci yasa veriminin ortalama % 9 ve ikinci yasa veriminin ortalama % 45 olduğu görülmektedir (Çizelge 7.4).

Çizelge 7.4. Yapılan simülasyonlardan elde edilen çalışma verileri ve termodinamik analiz sonuçları

R134a Soğutucu akışkanı İdeal Rankine Çevrimi - Veriler														
	P ₁ (kPa), T ₁ (oC)	P ₂ (kPa), T ₂ (oC)	P ₃ (kPa), T ₃ (oC)	P ₄ (kPa), T ₄ (oC)	h ₁ (kJ/kg)	s ₁ (kJ/kg K)	h ₂ (kJ/kg)	s ₂ (kJ/kg K)	h ₃ (kJ/kg)	s ₃ (kJ/kg K)	h ₄ (kJ/kg)	s ₄ (kJ/kg K)	T ₀ (oC)	m (kg/s)
1	600, 20	1600, 20	1600, 72	600, 35	79,3	0,301	80,1169	0,298	295,7	0,96	275,7	0,966	25	0,0025
2	600, 20	2000, 20	2000, 79	600, 31	79,3	0,301	80,44	0,297	296,6	0,949	272,3	0,955	25	0,0025
3	600, 20	1200, 20	1200, 66	600, 41	79,3	0,301	79,8	0,299	296,3	0,981	282,1	0,987	25	0,0025
4	500, 15	1600, 15	1600, 66	550, 22	72,3	0,277	73,2	0,274	288,3	0,939	265,9	0,946	25	0,0025
5	700, 25	1600, 25	1600, 79	700, 48	86,4	0,324	87,135	0,322	303,9	0,984	286,5	0,989	25	0,0025

	T _H (oC)	Q _g (kW)	S _{gen_eva} (kW/K)	I _{eva} (kW)	T _L (oC)	Q _ç (kW)	S _{gen_yoğ} (kW/K)	I _{yoğ} (kW)	W _{türbin} (kW)	W _{pompa} (kW)	W _{net} (kW)	I _{çevrim} (kW)	W _{tr} (kW)	η ₁	η ₂	η _{2_tr}
1	82	0,479	1,22*10 ⁻⁴	0,0362	10	0,436	6,44*10 ⁻⁵	0,0191	0,0444	0,0018	0,0426	0,0554	0,0971	8,9	43,87	42,9
2	85	0,4803	1,07*10 ⁻⁴	0,0319	10	0,428	6,21*10 ⁻⁵	0,0185	0,054	0,0025	0,0514	0,0504	0,1	10,71	51,14	50,02
3	76	0,481	1,4*10 ⁻⁴	0,0408	10	0,45	6,8*10 ⁻⁵	0,0203	0,0315	0,0011	0,0304	0,061	0,091	6,33	33,48	32,9
4	76	0,418	0,90*10 ⁻⁴	0,0282	7	0,376	4,36*10 ⁻⁵	0,013	0,0497	0,0199	0,0478	0,047	0,0945	10	50,56	50,18
5	85	0,482	1,25*10 ⁻⁴	0,0374	15	0,444	6,62*10 ⁻⁵	0,02	0,0386	0,00163	0,037	0,0572	0,0942	7,7	39,32	39,32

7.4. Tartışma

Dünyada nüfus ile orantılı olarak artan enerji ihtiyacı ve enerji piyasasında yaşanan olumsuz gelişmeler, Türkiye'yi ve kendi enerji ihtiyacını karşılayamayan diğer ülkeleri olumsuz etkilemektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmekte ve bu fosil yakıtlar yerkürenin belli noktalarında toplandığı için enerji piyasası belli ülkelerin kontrolü altındadır. Bu da enerji ihtiyacını karşılayamayan ülkeleri dışa bağımlı hale getirmekte ve bu ülkelerin ekonomilerini zayıflatmaktadır.

Türkiye de enerji ihtiyacının çoğunu petrol ve doğalgazdan karşılamaktadır. Bu yakıtların rezervleri ülke sınırları içerisinde oldukça sınırlı olduğu için ithal edilmekte ve enerji konusunda tamamen dışa bağımlı bir konumda bulunmaktayız. Bu durumda Türkiye'nin sürdürülebilir bir ekonomik büyüme sağlaması oldukça zordur. Türkiye'nin kendini bu durumdan kurtarması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir.

Ülkemizin sahip olduğu en zengin yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Ülkemizde güneş enerjisi kullanımında, elektrik üretiminden çok sıcak su temini ve konutların ısıtılmasından yararlanılmaktadır. Türkiye'de özellikle düz kolektörlü sistemlerin kullanılması yaygındır. Ancak yoğunlaştırıcı sistemlere göre düşük enerji ve düşük verimle çalışmaktadırlar. Maliyetleri düşük olmasına karşın kızgın buhar ve elektrik üretimi gibi uygulamalarda kullanılamadığından uygulama alanları kısıtlıdır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi PV panelleri ve ısıt sistemler ile gerçekleştirilmektedir. Güneş termik santrali olarak dünyada daha çok yoğunlaştırıcı sistemler üzerinde durulmaktadır. Özellikle bu sistemlerle yüksek sıcaklıklara çıkıldığından kullanım alanları genişlemiştir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden parabolik oluk tipi güneş kollektörleri, ilk yatırım maliyeti düşüklüğü, alan gereksinimi düşüklüğü, sistem verimi, işletme kolaylığı, uygulama alanlarının geniş olması gibi avantajlarıyla diğer sistemler arasında öne çıkmaktadır. Ayrıca dünyanın çeşitli yerlerinde kullanılarak ticari güvenilirliğini kanıtlamış ve teknolojik

gelişmesinin diğer sistemlere göre daha önde ve daha kolay olması da parabolik sistemler için bir avantajdır.

Bu çalışmada doğrusal yoğunlaştırma yapan parabolik oluk tipi güneş kollektörleri incelenmiş ve Ankara ili için ısı analizlerinde kullanmak üzere parabolik oluk tipi güneş kollektörü prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda ilk olarak sistemin yansıtıcı yüzey, emici boru ve cam örtü tasarımları yapılmış ve güneşi doğu-batı konumlandırma ile tek eksenli izleyecek şekilde imalatı yapılmıştır. Sistemin tasarımı bittikten sonra ısı transfer sıvısının sıcaklık ölçümleri yapılarak ısı ve optik kayıplar hesaplanmış ve güneş ışınlarından ısı transfer akışkanına aktarılan enerji belirlenmiştir.

Tasarlanan parabolik oluklu güneş kollektöründe yansıtıcı yüzey malzemesi olarak CrNi paslanmaz çelik, emici boru malzemesi olarak üzeri mat siyah boya ile kaplanmış $3/4$ " standart karbon çelik boru, cam örtü olarak düşük demirli borosilikat cam boru kullanılmıştır. Güneş kollektörünün gölgelenmeyen yansıtıcı yüzey alanı $4,032 \text{ m}^2$ 'dir. Isı transfer sıvısı olarak su kullanılmıştır. Kollektör giriş ve çıkışında termokupl ile sıcaklık ölçümleri yapılarak aktarılan enerji miktarları belirlenmiştir. Belirlenen enerji miktarına göre ORC (Organik Rankine Çevrimi) sisteminden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı CHEMCAD programı kullanılarak simüle edilmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan sistemin Ankara ili 2012 yılı Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarındaki uygun günler için optik ve ısı analizler yapılmıştır. Yapılan deneylerde farklı akış hızlarında kollektöre giren suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları eşanlı olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji Q_f belirlenmiştir. Akış hızlarının etkisi incelendiğinde, elde edilen faydalı enerji miktarına etkisi görülmezken ısı transfer sıvısının çıkış sıcaklığına ($T_{i,c}$) etkisi olduğu görülmektedir. Deneysel çalışmalarda 0,2, 0,4 ve 0,6 l/min akış hızları kullanılmıştır. Örnek hesaplamaların da verildiği 0,4 l/min akış hızında kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark yaklaşık 20°C olmaktadır. Bu sıcaklık farkı

akış hızı 0,2 l/min olduğunda yaklaşık 2 kat artarak 40°C civarında, 0,6 l/min olduğunda ise 10°C civarında olmaktadır. Sıvının kollektörden maksimum çıkış sıcaklığı ise akış hızı düştükçe artmaktadır. (Bkz. EK-1). Yapılan hesaplamalar sonucunda Q_f 'in akış hızı değişimiyle fazla etkilenmediği ve buna bağlı olarak hesaplanan optik ve ısı verimlerin ortalama olarak aynı olduğu söylenebilir. Ölçümler sonucu belirlenen Q_f üzerinde gün içerisinde kollektöre gelen ışıyım miktarlarının etkili olduğu söylenebilir. Bulutlu hava koşullarında gelen direkt ışıyım miktarı düşmekte ve buna bağlı olarak Q_f azalmaktadır. Deneysel çalışmaların yapıldığı günler içerisinde gelen güneş ışıyım miktarları MGM'den elde edilmiştir (Bkz. EK-2).

Sistemin ısı analizlerinde karşılaşılan engel cam örtü sıcaklığının tam olarak belirlenememesidir. Cam örtü yüzey sıcaklığında varsayım uygulanarak cam örtüden çevreye olan ısı transferi belirlenmiştir. Bunu takiben metal boru ile cam örtü arasındaki ısı transferi de hesaplanarak bulunan ısı kayıp miktarları Q_k karşılaştırılmıştır. Isı miktarlarının birbirine eşit olduğu zamanki kabul edilen cam örtü sıcaklığı sistemimizin cam boru dış yüzey sıcaklığıdır. Böylece sistemdeki faydalı enerji ve kayıp enerji miktarları belirlenerek emici boruya gelen enerji miktarı Q_g , hesaplanmıştır. Emici boruya gelen ısı miktarını kollektöre gelen güneş ışınları dolayısıyla sistemin optik verimi belirlemektedir.

Tasarlanan sistemin optik verimi bulunurken beş optik verimden yararlanılmıştır. Bu optik verimler; gelme açısı düzeltme faktörü $\eta_1=0,95$ kabul edilmiş, yansıtıcı yüzey yansıtma ve emici boru optik verimi seçilen malzemelerin özelliklerine göre sırasıyla $\eta_2=0,88$, $\eta_5=0,94$, yansıtıcı yüzey odaklama verimi ideal koşullar göz önüne alınarak $\eta_3=0,95$ olarak seçilmiştir. Cam örtü optik verimi, η_4 , seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişmekle beraber, kullanılan sistemde cam örtü ve emici boru arasındaki hava ve nemden dolayı bu değer düşmektedir. Yapılan çalışmada optik verimi etkileyen parametrelerden yansıtıcı yüzey odaklama verimi ideal koşullar göz önüne alınarak seçilmiştir. Fakat kullanılan sistemde güneş takip işlemi el ile gerçekleştirilmekte ve bunun etkisi ile yansıtıcı yüzey odaklama verimi yapılan kabulün daha altında olabilir. η_3 gün içerisinde zamanla değişebileceği için tam

olarak belirlenememiş ve hesaplamalarda optik verimi etkileyen unsur olarak cam örtü optik verimi hesaplanmıştır.

Parabolik oluk tipi güneş kollektöründe elde edilen faydalı enerji Q_f ile elde edilebilecek elektrik miktarı için yapılan ORC sistemi simülasyonlarında organik akışkan olarak R-134A kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucu sistemden elde edilen net güç üretimi, sisteme giren enerji miktarı ve yoğuşturucuda dışarı atılan enerji miktarı ile termodinamik hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar birbiri ile aynı doğrultuda olmaktadır. Bu hesaplamalar ile ORC sisteminde oluşan tersinmezlik ve entropi üretim miktarları belirlenerek sistemin birinci ve ikinci yasa analizleri, ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. ORC sisteminin birinci yasa verimi yoğuşturucuda dışarı atılan enerji miktarından dolayı düşük seviyelerde olmasına karşın sistemde enerjinin kullanılabilirliği (ekserjisi) daha yüksek olmaktadır. Sistemde hesaplanan tersinmezlikler ve net güç çıkışının birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda sistemin ikinci yasa verimi belirlenmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Isı transfer sıvısına aktarılan enerjinin, Q_f , emici boruya yoğunlaştırılan enerjiye, Q_g , oranı bize ısı verimi vermiştir. Sistemin ortalama ısı verimi % 85,5 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada cam örtü optik verimi η_4 ortalama 0,25 ve buna bağlı olarak da ortalama optik verim $\eta_{optik}=0,20$ olarak hesaplanmıştır.

Isı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji ile bir ORC prosesinden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı belirlenmiştir. Yapılan simülasyonlarda buhar türbininde net güç çıkışının yaklaşık 50 W olduğu görülmüştür. Termodinamik hesaplamalar sonucunda sistemin birinci yasa verimi ortalama % 9, ikinci yasa verimi ortalama % 45 ve türbine giren kızgın buharın maksimum iş yapabilme potansiyelinin (ekserjisi) yaklaşık 150 W olduğu görülmüştür.

Sonraki yapılacak çalışmalarda sistemin optik ve ısı verimin yükseltilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Sistemde cam örtü ve emici boru arasında durgun hava bulunmakta ve zamanla içerisinde nemlenme olduğu gözlenmiştir. Optik verimin yükseltilmesi için cam örtü ve emici boru arasına vakum uygulanabilir ya da farklı bir gaz ile doldurularak ve boşluğun nemlenmesi engellenerek optik verim artırılabilir. Ayrıca sistem tasarımında parabol eğrisinde oluşabilecek hatalar minimuma indirilerek imalat gerçekleştirilmeli ve güneş kollektörü otomatik güneş takip sistemi ile desteklenmelidir. Böylece optik verim yükseltilerek yeryüzüne gelen güneş ışınlarından daha verimli faydalanılabilir. Yansıtıcı yüzey olarak farklı malzemeler kullanılarak kollektöre gelen ışınlar odak noktasında daha verimli toplanabilir. Sistemin ısı verimliliğini artırmak amacıyla parabolik güneş kollektörü sistemleri seri olarak bağlanabilir ve güneş kollektörü yansıtıcı yüzey alanı artırılabilir. Bu sayede daha yüksek miktarda enerji yoğunlaştırılarak ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji artırılır. Faydalı enerji artmasıyla sistemden daha yüksek sıcaklıklarda enerji çıkışı olacak ve böylece bu enerjinin kullanım alanları daha geniş ve daha verimli olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Erkul, H., “Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği”, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10 (19), 1-30 (2012)
2. Pamir, N., “Küresel Gelişmeler Paralelinde Türkiye’de Enerji Sorunu”, *Ulusal Bağımsızlık İçin Türkiye İktisat Politikaları Kurultayı Bildiriler Kitabı*, İnönü Üniversitesi, Malatya, 95-110 (2006)
3. Pamir, N., “Dünyada ve Türkiye’de Enerji, Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları”, 57-65 (2003)
4. Kalogirou, A., “Solar Thermal Collectors And Applications”, *Progress In Energy and Combustion Science*, 30, 231-295(2004)
5. Şanlı, G., “Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Denizli (2010)
6. Anderson, B., “Solar Energy: Fundamentals in Building Design”, *McGraw-Hill*, New York (1977)
7. Hamad, F.A.W., “The Performance of a Cylindrical Parabolic Solar Concentrator”, *Energy Conversion and Management*, 28, 251-256 (1988)
8. Kearney, D. vd., “Assessment of A Molten Salt Heat Transfer Fluid In A Parabolic Trough Solar Field”, *Transactions of The ASME*, 125, 170-176 (2003)
9. Singh, N., Kaushik S. C. Misra., R.D “Exergetic Analysis of a Solar Thermal Power System”, *Renewable Energy*, 19, 135 – 143 (2000)
10. Bradshaw, R. W., Siegel N. P, “Molten Nitrate Salt Development for Thermal Energy Storage In Parabolic Trough Solar Power Systems”, *Energy Sustainability*, Jacksonville, Florida USA., 10-14,(2008)
11. Kartal, Y., “Parabolik Yansıtıcı Yüzeyli Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörü Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bornova-İzmir., (2007)
12. Bhowmik, N.C., Kandpal, T.C., “Performance of an Intermittently Tracked Cylindrical Parabolic Trough”, *Energy Conversion And Management*, 28, 39-46 (1988)

13. Heiti, R.V., Thados, G., “An Experimental Parabolic Cylindrical Concentrator : Its Construction and Thermal Performance”, *Solar Energy*, 30, 483-485 (1983)
14. Rabl, A., Bendt, P., Gaul, H.W., “Optimization of Parabolic Trough Solar Collectors”, *Solar Energy*, 29, 407-417.(1982)
15. Pereira, M. C., Gordon, M. J., Rabl, A And Winston, R., “High Concentration Two Stage Optics for Parabolic Through Solar Collectors with Tubular Absorber and Large Rim Angle”, *Solar Energy*, 47 (6), 457-466 (1991)
16. Yeşilata, B., “Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörlerinin Tasarımı, Dizaynı ve Isıl Veriminin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ. (1990)
17. Karaduman, A., “Parabolik Güneş Kollektörü Sisteminin Tasarımı ve Yapımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1989)
18. Ecevit, A., Goshtaspour, M., “Güneş Enerjisinde Yoğunlaştırıcı Toplaç”, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Temel Bilimler Araştırma Grubu*, Ankara 86, (1985)
19. Usta, H., “Güneş Enerjisi ile Çalışan Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Tasarımlarının Geliştirilmesi ve İmalı”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1995)
20. Kalogirou, S., Lloyd, S., Ward, J., “Modelling, Optimisation and Performance Evaluation Of A Parabolic Trough Solar Collector Steam Generation System”, *Solar Energy*, 60 (1), 49-59 (1997)
21. Genç, A., “Güneşi Tek Eksende Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Performans Deneyleri”, Yüksek lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1998)
22. Garcia-Valladares, O., Velazquez, N., “Numerical Simulation of Parabolic Trough Solar Collector: Improvement Using Counter Flow Concentric Circular Heat Exchangers”, *International Journal Of Heat and Mass Transfer*, 52, 597-609 (2009)
23. Fernandez-Garcia, A., Zarza, E., Valenzuela, L., Perez, M., “Parabolic-trough solar collectors and their applications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 912, 1- 27 (2010)
24. Haifeng, X., Zhenyan, L., “Performance of Solar Cooling Tube With Non-Tracking Concentrator”, *Science Pres*, 24 (6), 750-757 (2003)

25. Mazumder, R.K., Bhowmik, N.C., Hussain, M., Huq, M.S., “Heat Loss Factor of Evacuated Tubular Receiver”, *Energy Conversion and Management*, 26, 3-4, 313-316 (2003)
26. Tatara, R. A., Thodos, G. and Lee, Y.N., “Performans Of Any Array Of Compound Parabolic Concentrators With Plain Tubuler Recievers”, *Renewable Energy*, 1 (1), 21-26 (1991)
27. Hassan, K., Refaie, M.F., “Theoretical Performance of Cylindirical Parabolic Solar Concentrators”, *Solar Energy*, 15, 219 – 244 (1973)
28. Çolak, L., “Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Matematiksel Modellemesi, Tasarımı ve Teknik Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2003)
29. Yazıcı, O. C., “Theoretical Modeling and Designing a Line-Focused Horizontal-Receiver Solar Thermal Power Plant”, Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, İzmir (2005)
30. Varınca, K. B., Varank, G., “Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri”, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, İçel (2005)
31. İnternet: Elektirk İşleri Etüt İdaresi, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi”, <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes.html> (Nisan 2011)
32. Duffie, J. A., Beckman W. A., , “Solar Engineering of Thermal Processes”, *John Wiley & Sons, Inc.*, Third Edition, (2006)
33. Sayıgh, A.A.M., “Solar Energy Engineering”, *Academic Pres*, New York, 204-209 (1991)
34. Külünk, H., Eyice, S., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, *Kipaş Dağıtımcılık*, İzmit, 139 (1983)
35. Varınca, K. B., Gönüllü M. T., “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Arastırma”, *I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir 21-23 (2006)
36. Sen, Z., “Türkiye’nin Temiz Enerji İmkânları”, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33 (Nisan- Mayıs-Haziran), 6-12 (2004)
37. Karakılçık, M., “Yalıtımlı ve Yalıtımsız Güneş Havuzlarının Performansını Etkileyen Etmenler” Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (1992)

38. Tsoutsos, T., 2005, "Environmental Impacts from the Solar Energy Technologies", *Energy Policy*, 33, 289-296 (2005)
39. Dinçer, I., Rosen M. A., "A World Wide Perspective or Energy, Environmental and Sustainable Development", *International Journal of Energy Res.*, 22 (15), 1305- 1321 (1998)
40. Mantar, S., "Yalıtımlı Silindirik Model Bir Güneş Havuzunun Matematiksel Modellemesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2010)
41. İnternet: Wikipedia, Solar Energy Generating Systems, http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_Energy_Generating_Systems (Haziran 2012)
42. Tatara, R. A., Thodos, G., Lee, Y.N., 1991, "Performans of Any Array of Compound Parabolic Concentrators with Plain Tubular Recievers", *Renewable energy*, 1 (1), 21-26 (1991)
43. Sayıgh, A.A.M., "Solar Energy Engineering", *Academic Pres*, New York, 204-209 (1991)
44. Braven, K.R.D., "Heat Transfer in a Tilted Two-Phase Closed Thermosyphon With Application to Evacuated Tube Solar Collectors", *ASME (Solar Energy Div.)*, 539-545 (1988)
45. Prapas, E. D., Norton, B, And Probert, S. D., "Optics Of Parabolic Through Solar-Energy Collectors, Possessing Small Concentrtion Ratios", *Solar Energy*, 39 (6), 541-550 (1987)
46. Incropera, F. P. , Dewitt, D.P. , "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 919,(2001)
47. Yeşilata, B., "Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörlerinin Tasarımı, Dizaynı Ve Isıl Veriminin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (1990)
48. Goswami, D.Y., Kreider, J.F., "Principles Of Solar Engineering 2nd Edition", *Taylor & Francis*, , (2009)
49. Goswami, D.Y., vd., "Energy Conversion Mechanical Engineering Handbook", Editör Frank Kreith, Boca Raton, *CRC Press LLC*. (1999)
50. Çengel, Y. A., Boles M.A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik 2. Basım", Taner Derbentli, *McGraw Hill - Literatür*, 470 – 506 (1996)

51. Özden, H., Paul D., “Organik Rankin Çevrim Teknolojisiyle Düşük Sıcaklıktaki Kaynaktan Faydalanılarak Elektrik Üretimi”, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir (2011)
52. Rowshanzadeh, R., “Performance and Cost Evaluation of Organic Rankine Cycle at Different Technologies”, Yüksek Lisans Tezi, *KTH*, İsveç (2010)
53. ENEA, “Solar Thermal Energy Production: Guidelines and Future Programmes of ENEA”, *ENEA/TM/PRES/2001_07*, (2001)
54. Bingöl, O., “Güneş Kollektör Sisteminin Bilgisayar Destekli Optimum Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1998)
55. Beerbaum, S., Weinrebe, G., “Solar Thermal Power Generation in India- a techno-economic Analysis”, *Renewable Energy*, 21, 153-174 (2000)
56. Songür, E., “Güneş enerjisi ile Elektrik Üretimi Yöntem ve Teknolojiler Sunumu”, *MMO Sunumu* (2008)
57. İnternet: Yıldız Enerji Evi, Prof. Dr. Olcay Kıncay, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yee.html> (Temmuz 2012)
58. Çelik, A. N., “Analysis of Ankara’s Exposure to Solar Radiation: Evaluation of Distributional Parameters Using Long-Term Hourly Measured Global Solar Radiation Data” *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 30, 115-126 (2006).

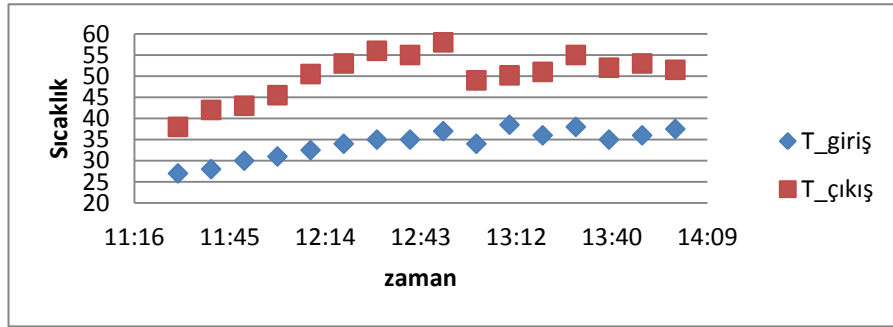
EKLER

,

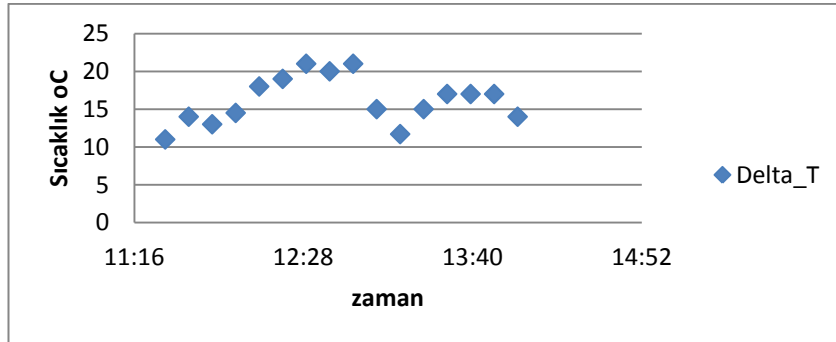
EK-1. Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.1. 20.04.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	Debi(l/min)	ΔT(°C)
11:30	27	38	22	0,4	11
11:40	28	42	22,2	0,4	14
11:50	30	43	22,5	0,4	13
12:00	31	45,5	23	0,4	14,5
12:10	32,5	50,5	23	0,4	18
12:20	34	53	24	0,4	19
12:30	35	56	25,5	0,4	21
12:40	35	55	27	0,4	20
12:50	37	58	28	0,4	21
13:00	34	49	27,5	0,4	15
13:10	38,5	50,2	29	0,4	11,7
13:20	36	51	30	0,4	15
13:30	38	55	31,5	0,4	17
13:40	35	52	32	0,4	17
13:50	36	53	33	0,4	17
14:00	37,5	51,5	35	0,4	14



Şekil 1.1. 20.04.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

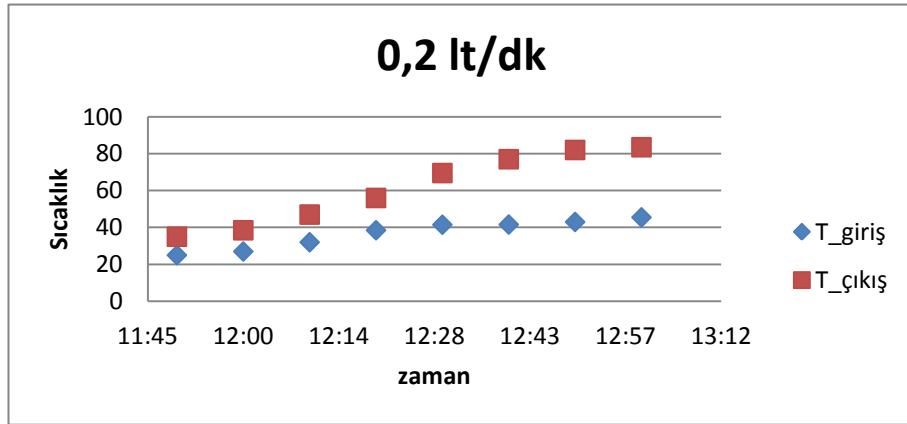


Şekil 1.2. 20.04.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

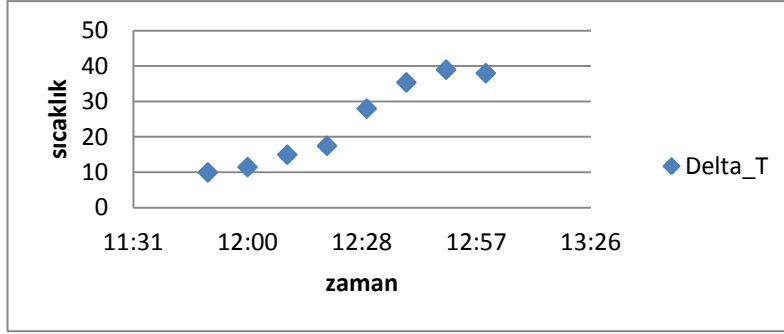
Çizelge 1.2. 24.04.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	Debi(l/min)	ΔT(°C)
11:50	25	35	22	0,2	10
12:00	27	38,5	22,5	0,2	11,5
12:10	32	47	23,5	0,2	15
12:20	38,5	56	24	0,2	17,5
12:30	41,5	69,5	25	0,2	28
12:40	41,6	77	25,3	0,2	35,4
12:50	43	82	25,5	0,2	39
13:00	45,5	83,5	26	0,2	38
13:10	44	66	26,8	0,3	22
13:20	45,5	64	27,5	0,3	18,5
13:30	48,5	61,5	28,3	0,3	13
13:40	51,7	62	29	0,3	10,3
13:50	51,5	62,5	30	0,3	11
14:00	50	60	31	0,3	10
14:10	52	61	32,3	0,3	9
14:20	52,5	63	35	0,3	10,5

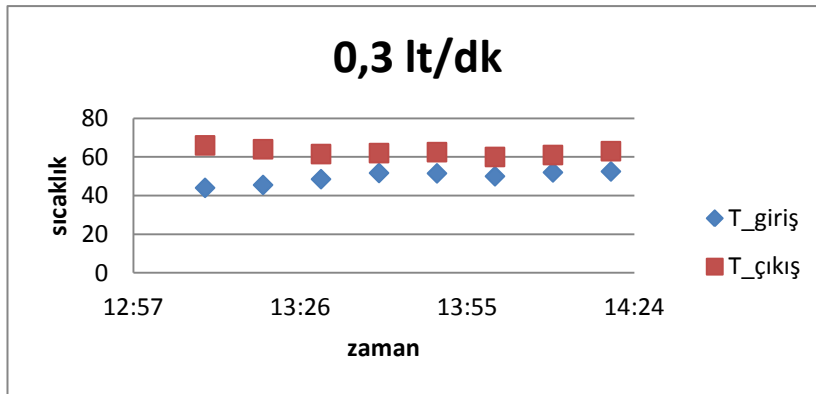


Şekil 1.3. 24.04.2012 tarihli 0,2 lt/dk akış hızındaki deneysel çalışma, giriş ve çıkış sıcaklıkları

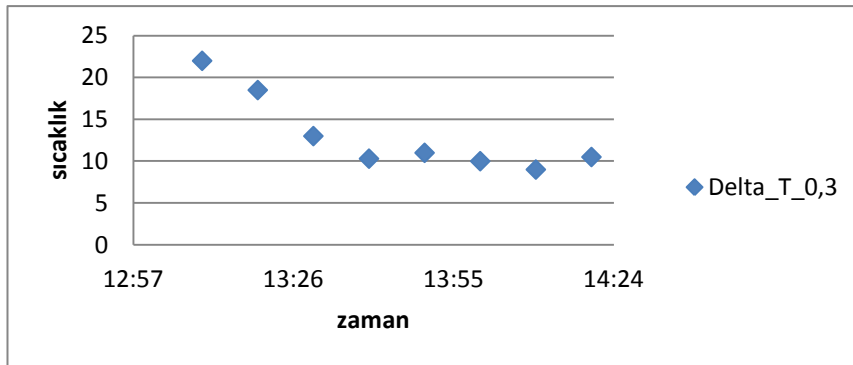
EK-1 (Devam)Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler



Şekil 1.4. 24.04.2012 tarihli deneysel çalışmada 0,2 lt/dk akış hızında elde edilen sıcaklık farkı



Şekil 1.5. 24.04.2012 tarihli 0,3 lt/dk akış hızındaki deneysel çalışma, giriş ve çıkış sıcaklıkları

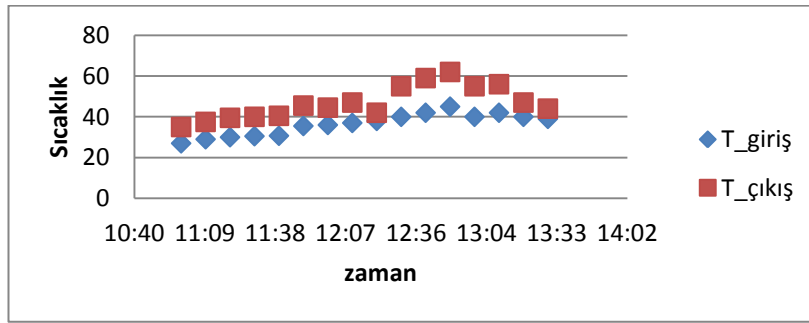


Şekil 1.6. 20.04.2012 tarihli deneysel çalışmada 0,3 lt/dk akış hızında elde edilen sıcaklık farkı

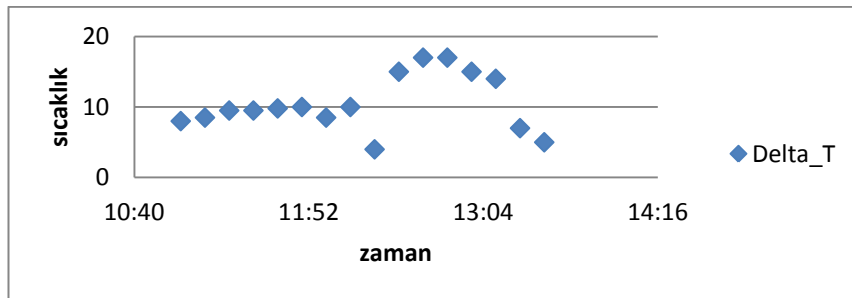
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.3. 26.04.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	Debi(l/min)	ΔT(°C)
11:00	27	35	21	0,6	8
11:10	29	37,5	22	0,6	8,5
11:20	30	39,5	22,3	0,6	9,5
11:30	30,5	40	24,5	0,6	9,5
11:40	30,7	40,5	25	0,6	9,8
11:50	35,5	45,5	25,5	0,6	10
12:00	36	44,5	26	0,6	8,5
12:10	37	47	27	0,6	10
12:20	38	42	28	0,6	4
12:30	40	55	32	0,6	15
12:40	42	59	33	0,6	17
12:50	45	62	34	0,6	17
13:00	40	55	33	0,6	15
13:10	42	56	34,5	0,6	14
13:20	40	47	32	0,6	7
13:30	39	44	33	0,6	5



Şekil 1.7. 26.04.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

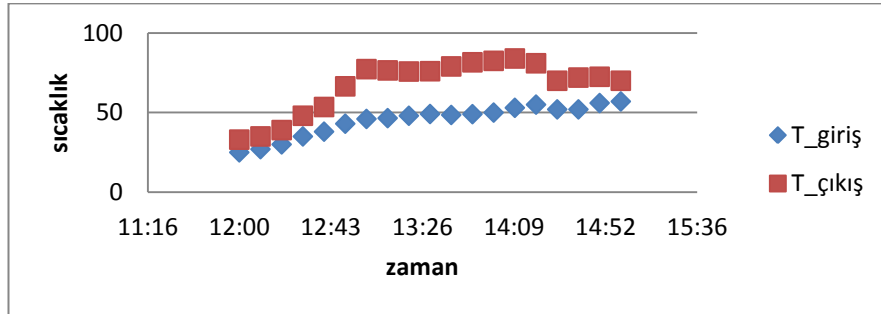


Şekil 1.8. 26.04.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

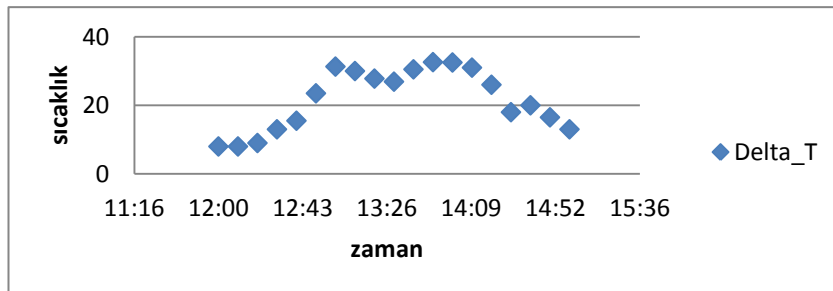
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.4. 04.05.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	$T_{giriş}(^{\circ}C)$	$T_{çıkış}(^{\circ}C)$	$T_{tank}(^{\circ}C)$	Debi(l/min)	$\Delta T(^{\circ}C)$
12:00	25	33	25	0,2	8
12:10	27	35	27	0,2	8
12:20	30	39	28	0,2	9
12:30	35	48	29	0,2	13
12:40	38	53,5	30	0,2	15,5
12:50	43	66,5	32	0,2	23,5
13:00	46	77,3	33	0,2	31,3
13:10	46,5	76,5	33	0,2	30
13:20	48	75,8	33,5	0,2	27,8
13:30	49,1	76	34	0,2	26,9
13:40	48,5	79	35	0,2	30,5
13:50	49	81,6	35	0,2	32,6
14:00	50	82,5	36	0,2	32,5
14:10	53	84	36,5	0,2	31
14:20	55	81	37	0,2	26
14:30	52	70	38	0,2	18
14:40	52	72	39	0,2	20
14:50	56	72,5	39,5	0,2	16,5
15:00	57	70	40	0,2	13



Şekil 1.9. 04.05.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

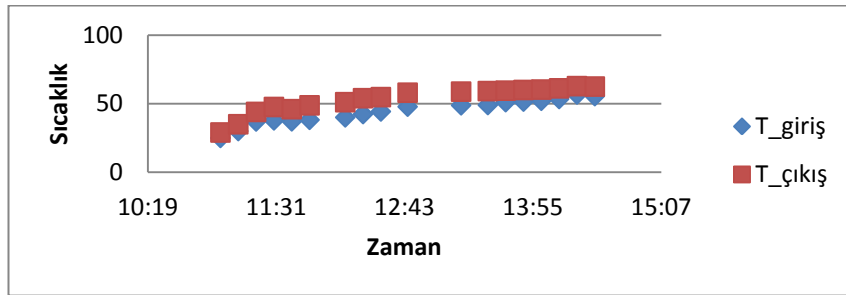


Şekil 1.10. 04.05.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

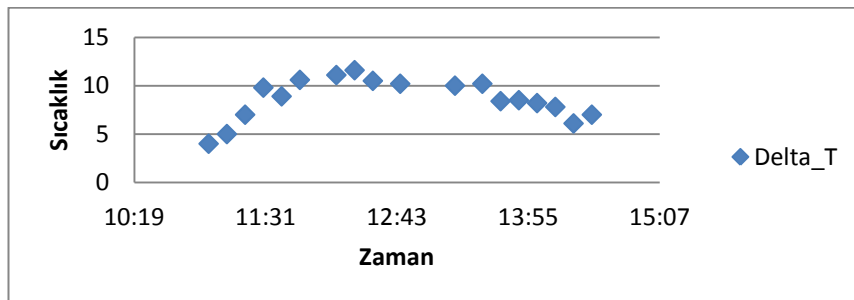
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.5. 08.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	25	29	26	30	0,6	4
11:10	30	35	27	30	0,6	5
11:20	37	44	29	31	0,6	7
11:30	37,8	47,6	30	31	0,6	9,8
11:40	37,1	46	32	32	0,6	8,9
11:50	38,2	48,8	33	33	0,6	10,6
12:10	40	51,1	34	34	0,6	11,1
12:20	42,4	54	34	34	0,6	11,6
12:30	44,3	54,8	35	35	0,6	10,5
12:45	47,8	58	36	36	0,6	10,2
13:15	48,8	58,8	37	36	0,6	10
13:30	49	59,2	39	37	0,6	10,2
13:40	51,1	59,5	40	38	0,6	8,4
13:50	51,5	60	41	38	0,6	8,5
14:00	52,1	60,3	42	39	0,6	8,2
14:10	53,4	61,2	44	37	0,6	7,8
14:20	56,7	62,8	44	36	0,6	6,1
14:30	55,5	62,5	45	36	0,6	7



Şekil 1.11. 08.06.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

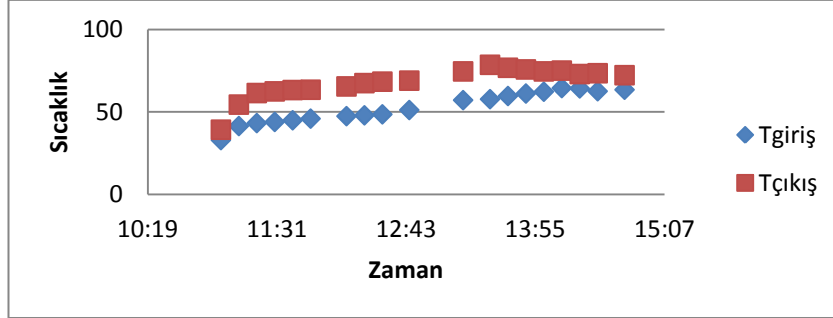


Şekil 1.12. 08.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

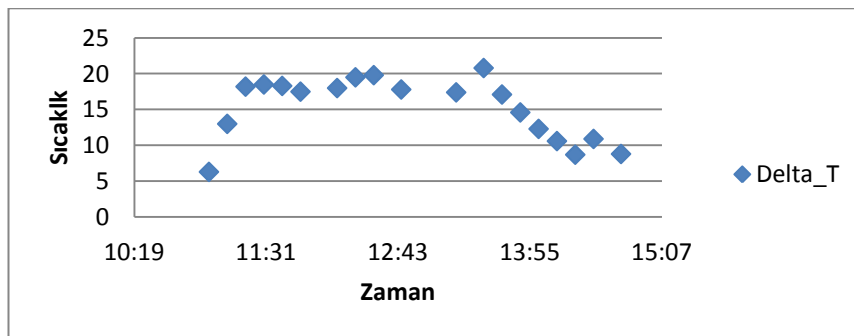
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.6. 11.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	$T_{giriş} (^{\circ}C)$	$T_{çıkış} (^{\circ}C)$	$T_{tank} (^{\circ}C)$	$T_{cam} (^{\circ}C)$	Debi (l/min)	$\Delta T (^{\circ}C)$
11:00	33	39,3	28	34	0,4	6,3
11:10	41,5	54,5	30	35	0,4	13
11:20	43,3	61,5	32	36	0,4	18,2
11:30	44	62,5	33	36	0,4	18,5
11:40	45	63,3	35	37	0,4	18,3
11:50	46	63,5	36	37	0,4	17,5
12:10	47,5	65,5	37	38	0,4	18
12:20	48	67,5	40	40	0,4	19,5
12:30	48,6	68,4	41	40	0,4	19,8
12:45	51,2	69	43	42	0,4	17,8
13:15	57,2	74,6	44	43	0,4	17,4
13:30	57,8	78,6	45	44	0,4	20,8
13:40	59,7	76,8	47	45	0,4	17,1
13:50	61,2	75,8	48	46	0,4	14,6
14:00	62,3	74,6	49	47	0,4	12,3
14:10	64,5	75,1	51	49	0,4	10,6
14:20	64,3	73	52	50	0,4	8,7
14:30	62,6	73,5	53	50	0,4	10,9
14:45	63,5	72,3	54	51	0,4	8,8



Şekil 1.13. 11.06.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

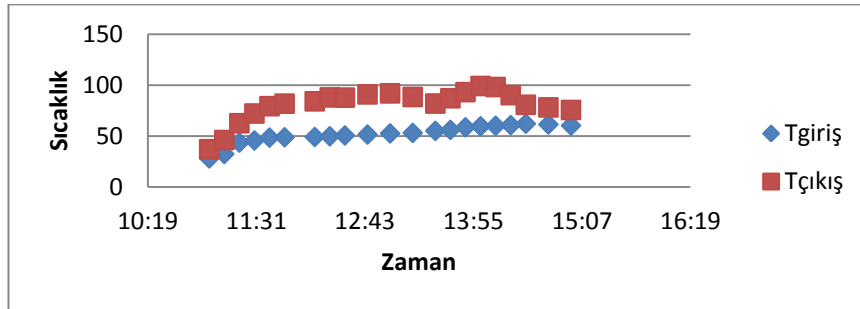


Şekil 1.14. 11.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

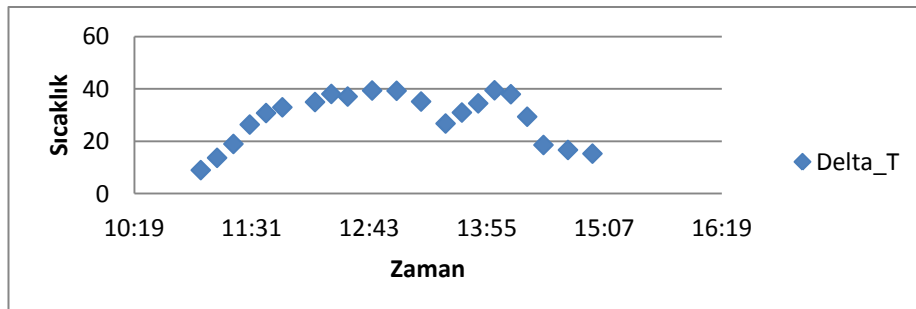
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.7. 12.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	28	37	25	40	0,2	9
11:10	32,3	46	26	41	0,2	13,7
11:20	43,5	62,5	28	42	0,2	19
11:30	45,6	72	29	43	0,2	26,4
11:40	48,4	79,2	30	45	0,2	30,8
11:50	48,7	81,7	31	44	0,2	33
12:10	49	84	33	45	0,2	35
12:20	49,7	87,8	33	45	0,2	38,1
12:30	50,5	87,6	34	47	0,2	37,1
12:45	51,4	90,8	35	48	0,2	39,4
13:00	52,5	91,8	36	49	0,2	39,3
13:15	53	88,2	38	50	0,2	35,2
13:30	55	81,8	39	50	0,2	26,8
13:40	56	87	40	51	0,2	31
13:50	58,5	93	41	54	0,2	34,5
14:00	59,5	99	43	53	0,2	39,5
14:10	60	98	44	55	0,2	38
14:20	60,6	90	45	54	0,2	29,4
14:30	62	80,6	46	52	0,2	18,6
14:45	61,3	78	45	52	0,2	16,7
15:00	60,2	75,5	48	52	0,2	15,3



Şekil 1.15. 12.06.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

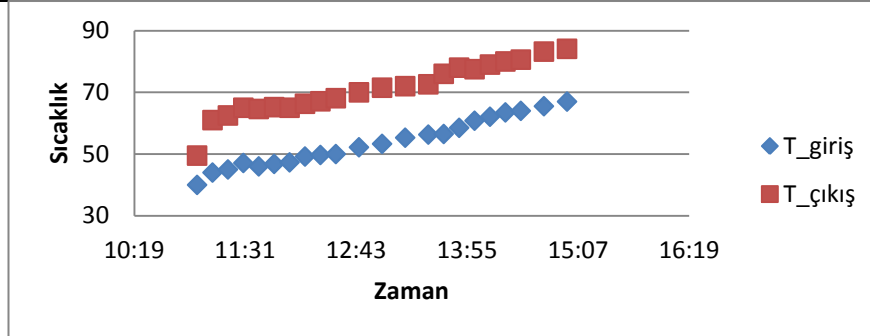


Şekil 1.16. 12.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

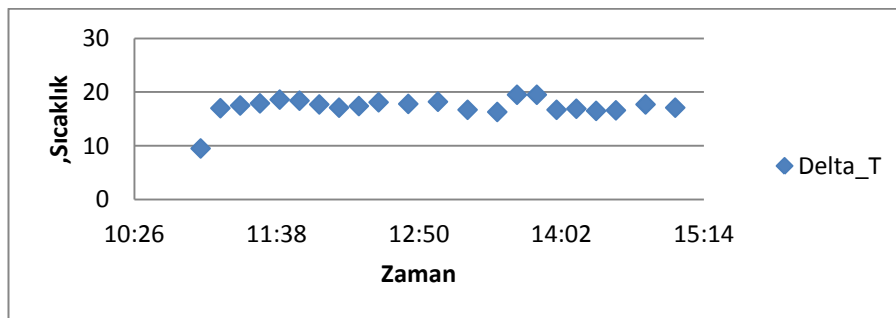
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.8. 13.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	40	49,5	28	32	0,4	9,5
11:10	44	61	29,6	33	0,4	17
11:20	45	62,5	31,2	35	0,4	17,5
11:30	47,1	65	33,4	36	0,4	17,9
11:40	46	64,6	35	37	0,4	18,6
11:50	46,8	65,2	36,1	38	0,4	18,4
12:00	47,3	65	37,5	38	0,4	17,7
12:10	49,2	66,3	38,8	40	0,4	17,1
12:20	49,7	67,1	40,2	41	0,4	17,4
12:30	50	68,1	41,7	42	0,4	18,1
12:45	52,2	70	43,4	44	0,4	17,8
13:00	53,3	71,5	45,4	47	0,4	18,2
13:15	55,3	72	47,7	47	0,4	16,7
13:30	56,3	72,6	50	49	0,4	16,3
13:40	56,5	76	51,2	50	0,4	19,5
13:50	58,5	78	53	49	0,4	19,5
14:00	60,8	77,5	53,4	48	0,4	16,7
14:10	62,1	79	53,5	48	0,4	16,9
14:20	63,5	80	53,5	46	0,4	16,5
14:30	64	80,6	53,6	45	0,4	16,6
14:45	65,5	83,2	53,7	44	0,4	17,7
15:00	67	84,1	54	44	0,4	17,1



Şekil 1.17. 13.06.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

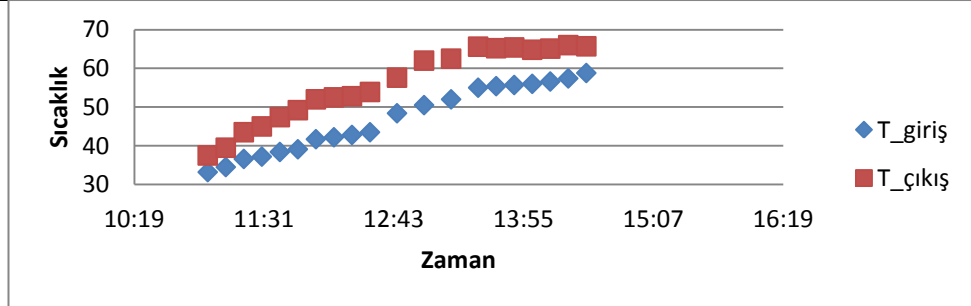


Şekil 1.18. 13.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

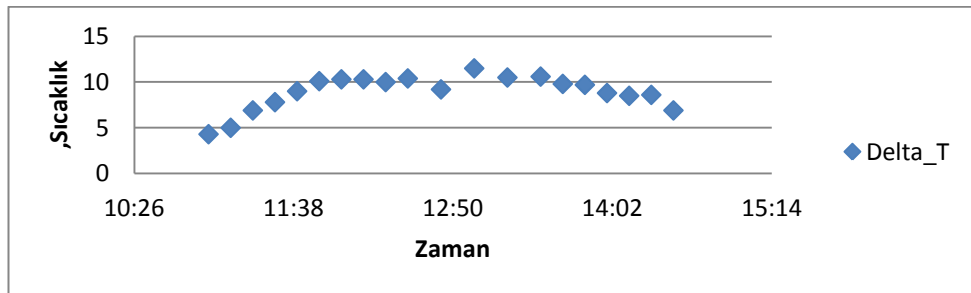
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.9. 14.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	33,2	37,5	28	34	0,6	4,3
11:10	34,5	39,5	30	34	0,6	5
11:20	36,6	43,5	31,2	35	0,6	6,9
11:30	37,2	45	33,4	36	0,6	7,8
11:40	38,4	47,4	35	37	0,6	9
11:50	39,1	49,2	36	38	0,6	10,1
12:00	41,7	52	37,5	38	0,6	10,3
12:10	42,2	52,5	38,5	40	0,6	10,3
12:20	42,8	52,8	40	41	0,6	10
12:30	43,5	53,9	41,5	42	0,6	10,4
12:45	48,4	57,6	43,5	44	0,6	9,2
13:00	50,5	62	45	47	0,6	11,5
13:15	52	62,5	47	47	0,6	10,5
13:30	55	65,6	50	49	0,6	10,6
13:40	55,4	65,2	52,3	50	0,6	9,8
13:50	55,7	65,4	53	49	0,6	9,7
14:00	56	64,8	53	48	0,6	8,8
14:10	56,6	65,1	53,5	48	0,6	8,5
14:20	57,4	66	53	46	0,6	8,6
14:30	58,8	65,7	53,7	44	0,6	6,9



Şekil 1.19. 14.06.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

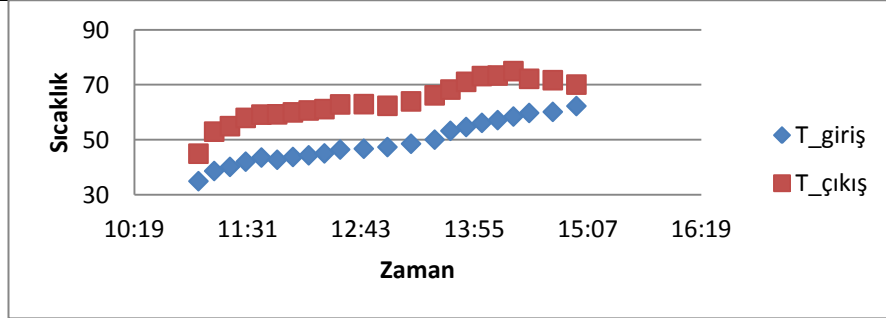


Şekil 1.20. 14.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

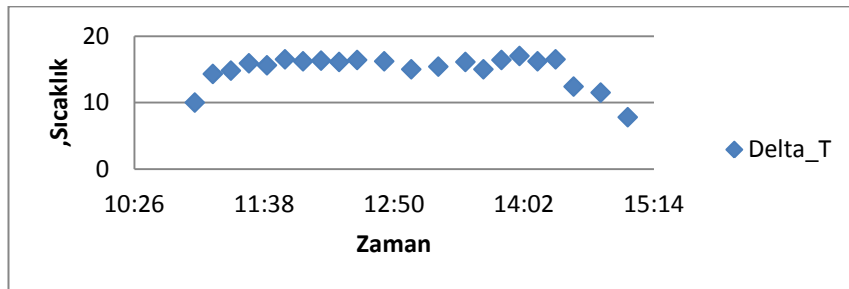
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.10. 21.06.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	35	45	28	32	0,4	10
11:10	38,7	53	29,6	33	0,4	14,3
11:20	40,2	55	31,2	35	0,4	14,8
11:30	42,1	58	33,4	36	0,4	15,9
11:40	43,6	59,2	35	37	0,4	15,6
11:50	42,8	59,3	36,1	38	0,4	16,5
12:00	43,8	60	37,5	38	0,4	16,2
12:10	44,4	60,7	38,8	40	0,4	16,3
12:20	45,1	61,2	40,2	41	0,4	16,1
12:30	46,5	62,9	41,7	42	0,4	16,4
12:45	46,8	63	43,4	44	0,4	16,2
13:00	47,4	62,4	45,4	47	0,4	15
13:15	48,6	64	47,7	47	0,4	15,4
13:30	50,1	66,2	50	49	0,4	16,1
13:40	53,3	68,3	51,2	50	0,4	15
13:50	54,7	71,1	53	49	0,4	16,4
14:00	56,2	73,2	53,4	48	0,4	17
14:10	57,2	73,4	53,5	48	0,4	16,2
14:20	58,5	75	53,5	46	0,4	16,5
14:30	59,8	72,2	53,6	45	0,4	12,4
14:45	60,2	71,7	53,7	44	0,4	11,5
15:00	62,3	70,1	54	44	0,4	7,8



Şekil 1.21. 21.06.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

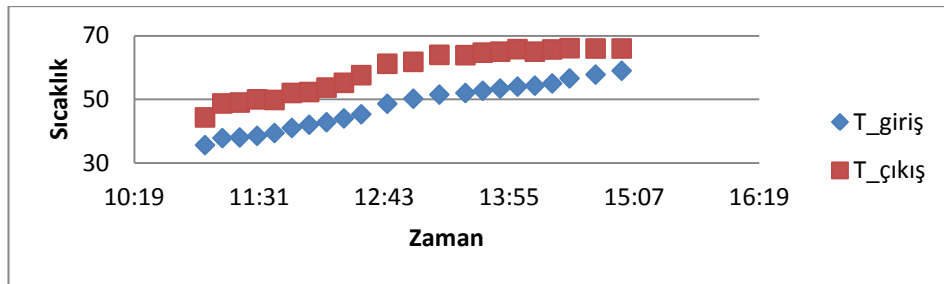


Şekil 1.22. 21.06.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

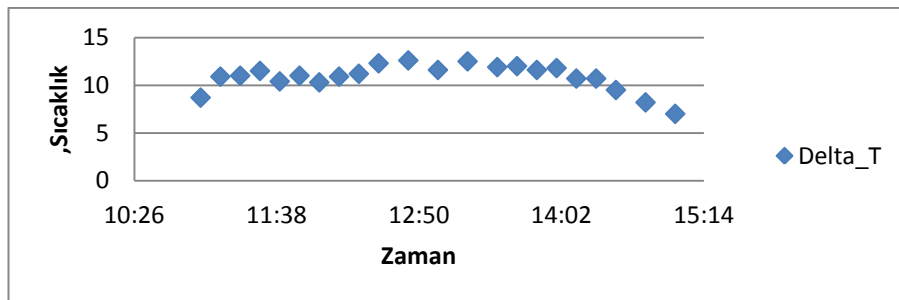
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.11. 10.07.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	35,6	44,3	28	32	0,6	8,7
11:10	37,8	48,7	29,6	33	0,6	10,9
11:20	38	49	31,2	35	0,6	11
11:30	38,5	50	33,4	36	0,6	11,5
11:40	39,4	49,8	35	37	0,6	10,4
11:50	41	52	36,1	38	0,6	11
12:00	42	52,3	37,5	38	0,6	10,3
12:10	42,8	53,7	38,8	40	0,6	10,9
12:20	44	55,2	40,2	41	0,6	11,2
12:30	45,3	57,6	41,7	42	0,6	12,3
12:45	48,6	61,2	43,4	44	0,6	12,6
13:00	50,2	61,8	45,4	47	0,6	11,6
13:15	51,5	64	47,7	47	0,6	12,5
13:30	52	63,9	50	49	0,6	11,9
13:40	52,7	64,7	51,2	50	0,6	12
13:50	53,4	65	53	49	0,6	11,6
14:00	54	65,8	53,4	48	0,6	11,8
14:10	54,3	65	53,5	48	0,6	10,7
14:20	55	65,7	53,5	46	0,6	10,7
14:30	56,6	66,1	53,6	45	0,6	9,5
14:45	57,8	66	53,7	44	0,6	8,2
15:00	59	66	54	44	0,6	7



Şekil 1.23. 10.07.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

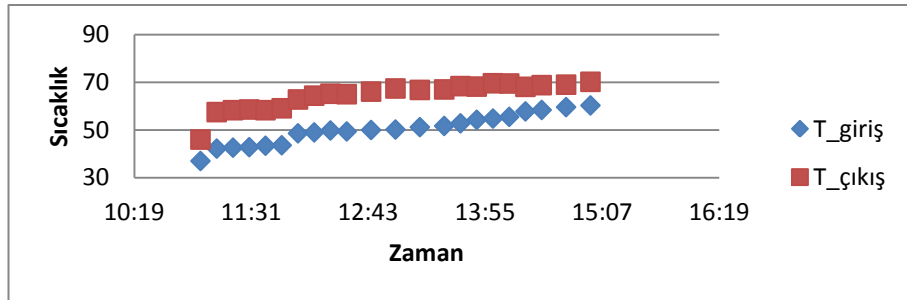


Şekil 1.24. 10.07.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

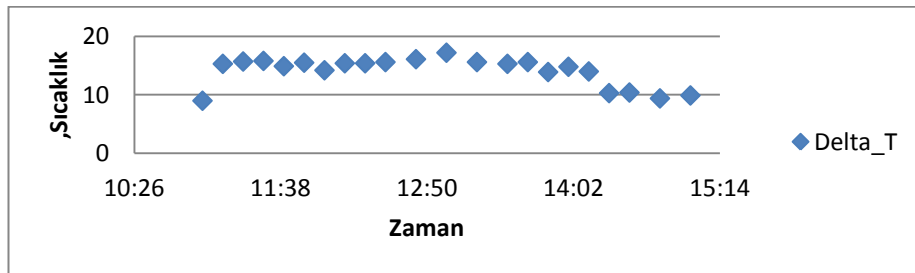
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.12. 12.07.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT(°C)
11:00	37	46	28	32	0,4	9
11:10	42,2	57,5	29,6	33	0,4	15,3
11:20	42,6	58,3	31,2	35	0,4	15,7
11:30	42,8	58,6	33,4	36	0,4	15,8
11:40	43,4	58,3	35	37	0,4	14,9
11:50	43,6	59,1	36,1	38	0,4	15,5
12:00	48,6	62,8	37,5	38	0,4	14,2
12:10	49	64,4	38,8	40	0,4	15,4
12:20	49,8	65,2	40,2	41	0,4	15,4
12:30	49,4	65	41,7	42	0,4	15,6
12:45	50	66,1	43,4	44	0,4	16,1
13:00	50,2	67,4	45,4	47	0,4	17,2
13:15	51,2	66,8	47,7	47	0,4	15,6
13:30	51,7	67	50	49	0,4	15,3
13:40	52,8	68,4	51,2	50	0,4	15,6
13:50	54,3	68,2	53	49	0,4	13,9
14:00	54,8	69,6	53,4	48	0,4	14,8
14:10	55,5	69,5	53,5	48	0,4	14
14:20	57,8	68,1	53,5	46	0,4	10,3
14:30	58,4	68,8	53,6	45	0,4	10,4
14:45	59,6	69	53,7	44	0,4	9,4
15:00	60,3	70,2	54	44	0,4	9,9



Şekil 1.25 12.07.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

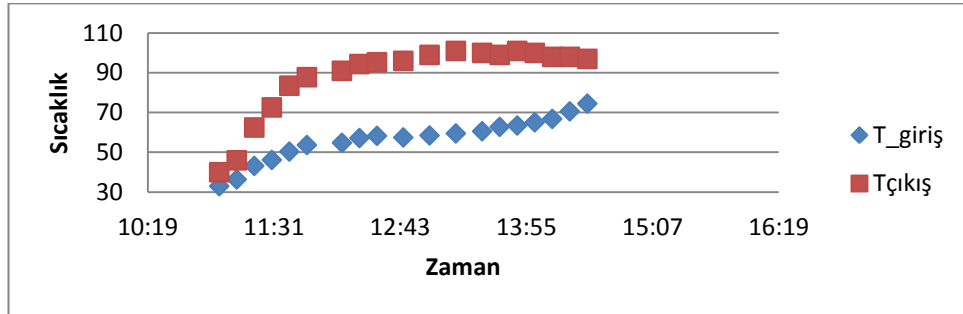


Şekil 1.26. 12.07.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

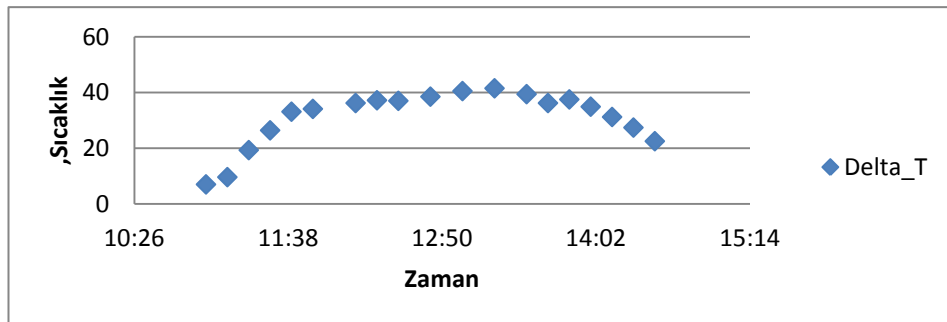
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kollektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.13. 13.07.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	33	40	25	40	0,2	7
11:10	36,4	46	26	41	0,2	9,6
11:20	43,2	62,5	28	42	0,2	19,3
11:30	46,2	72,6	29	43	0,2	26,4
11:40	50,4	83,5	30	45	0,2	33,1
11:50	53,7	87,8	31	44	0,2	34,1
12:10	54,8	91	33	45	0,2	36,2
12:20	57,2	94,4	33	45	0,2	37,2
12:30	58,3	95,3	34	47	0,2	37
12:45	57,5	96	35	48	0,2	38,5
13:00	58,5	99	36	49	0,2	40,5
13:15	59,5	101	38	50	0,2	41,5
13:30	60,6	100	39	50	0,2	39,4
13:40	62,8	99	40	51	0,2	36,2
13:50	63,5	101	41	54	0,2	37,5
14:00	65,1	100	43	53	0,2	34,9
14:10	66,8	98	44	55	0,2	31,2
14:20	70,6	98	45	54	0,2	27,4
14:30	74,5	97	46	52	0,2	22,5



Şekil 1.27. 13.07.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

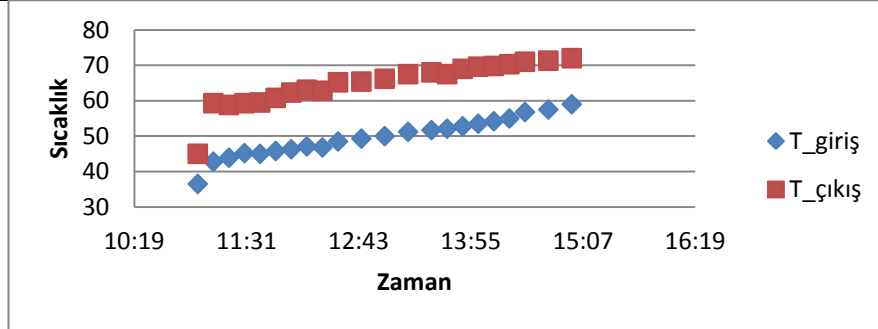


Şekil 1.28. 12.07.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

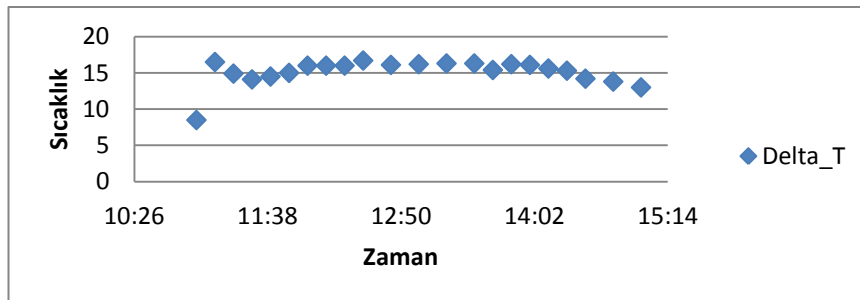
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.14. 18.07.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	36,5	45	28	32	0,4	8,5
11:10	42,8	59,3	29,6	33	0,4	16,5
11:20	43,9	58,8	31,2	35	0,4	14,9
11:30	45,2	59,3	33,4	36	0,4	14,1
11:40	45	59,5	35	37	0,4	14,5
11:50	45,8	60,8	36,1	38	0,4	15
12:00	46,3	62,3	37,5	38	0,4	16
12:10	47,1	63,1	38,8	40	0,4	16
12:20	46,8	62,8	40,2	41	0,4	16
12:30	48,5	65,2	41,7	42	0,4	16,7
12:45	49,3	65,4	43,4	44	0,4	16,1
13:00	50	66,2	45,4	47	0,4	16,2
13:15	51,2	67,5	47,7	47	0,4	16,3
13:30	51,7	68	50	49	0,4	16,3
13:40	52,1	67,5	51,2	50	0,4	15,4
13:50	52,8	69	53	49	0,4	16,2
14:00	53,5	69,6	53,4	48	0,4	16,1
14:10	54,2	69,8	53,5	48	0,4	15,6
14:20	55	70,3	53,5	46	0,4	15,3
14:30	56,8	71	53,6	45	0,4	14,2
14:45	57,5	71,3	53,7	44	0,4	13,8
15:00	59	72	54	44	0,4	13



Şekil 1.29. 18.07.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

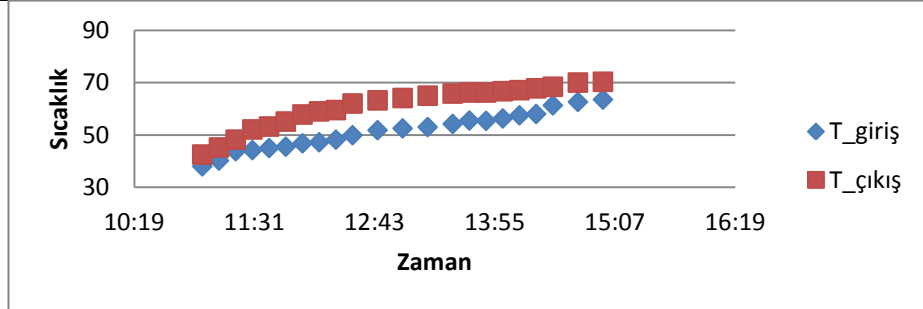


Şekil 1.30. 18.07.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

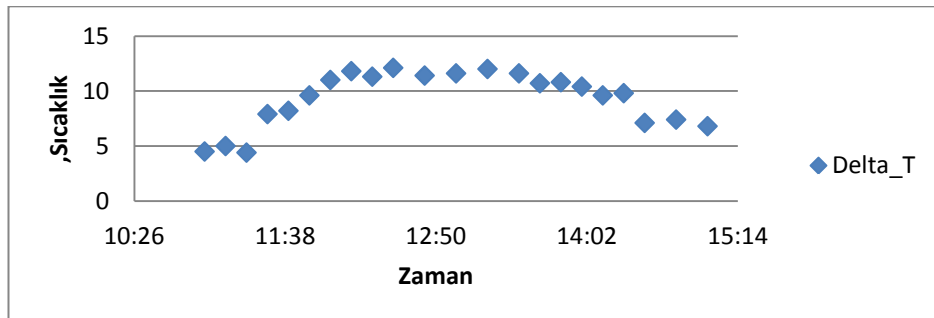
EK-1 (Devam) Parabolik oluk tipi güneş kolektörü ile elde edilen deneysel veriler

Çizelge 1.15. 23.07.2012 tarihli çalışmada elde edilen deneysel veriler

Saat	T _{giriş} (°C)	T _{çıkış} (°C)	T _{tank} (°C)	T _{cam} (°C)	Debi (l/min)	ΔT (°C)
11:00	38	42,5	28	32	0,6	4,5
11:10	40,2	45,2	29,6	33	0,6	5
11:20	43,8	48,2	31,2	35	0,6	4,4
11:30	44,2	52,1	33,4	36	0,6	7,9
11:40	45	53,2	35	37	0,6	8,2
11:50	45,5	55,1	36,1	38	0,6	9,6
12:00	46,8	57,8	37,5	38	0,6	11
12:10	47,2	59	38,8	40	0,6	11,8
12:20	48,2	59,5	40,2	41	0,6	11,3
12:30	49,9	62	41,7	42	0,6	12,1
12:45	51,8	63,2	43,4	44	0,6	11,4
13:00	52,5	64,1	45,4	47	0,6	11,6
13:15	53	65	47,7	47	0,6	12
13:30	54,2	65,8	50	49	0,6	11,6
13:40	55,5	66,2	51,2	50	0,6	10,7
13:50	55,4	66,2	53	49	0,6	10,8
14:00	56,3	66,7	53,4	48	0,6	10,4
14:10	57,5	67,1	53,5	48	0,6	9,6
14:20	58	67,8	53,5	46	0,6	9,8
14:30	61,3	68,4	53,6	45	0,6	7,1
14:45	62,6	70	53,7	44	0,6	7,4
15:00	63,5	70,3	54	44	0,6	6,8



Şekil 1.31. 23.07.2012 tarihli deneysel çalışma giriş ve çıkış sıcaklıkları

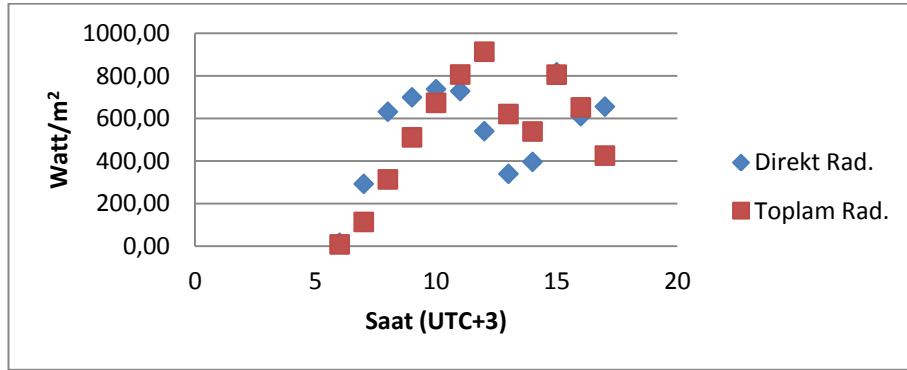


Şekil 1.32. 23.07.2012 tarihli deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık farkı

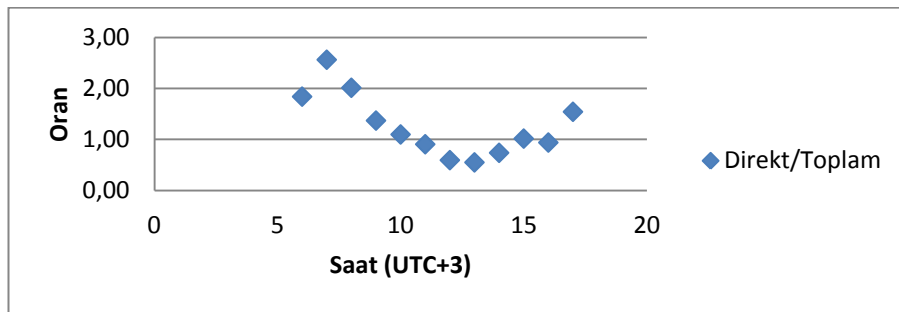
EK-2. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.1. MGM’ den alınan 20.04. 2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	1026.4	17.11	558.9	9.32	1.84
4	7	17602	293.37	6876.6	114.61	2.56
5	8	37902.5	631.71	18857.2	314.29	2.01
6	9	41969.8	699.50	30693.2	511.55	1.37
7	10	44266.3	737.77	40404.5	673.41	1.10
8	11	43711.4	728.52	48386.7	806.45	0.90
9	12	32441.5	540.69	54804	913.40	0.59
10	13	20427	340.45	37269	621.15	0.55
11	14	23798.5	396.64	32347.9	539.13	0.74
12	15	49036.5	817.28	48350.8	805.85	1.01
13	16	36652.7	610.88	39124.6	652.08	0.94
14	17	39342.8	655.71	25555.1	425.92	1.54



Şekil 2.1. 20.04.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi

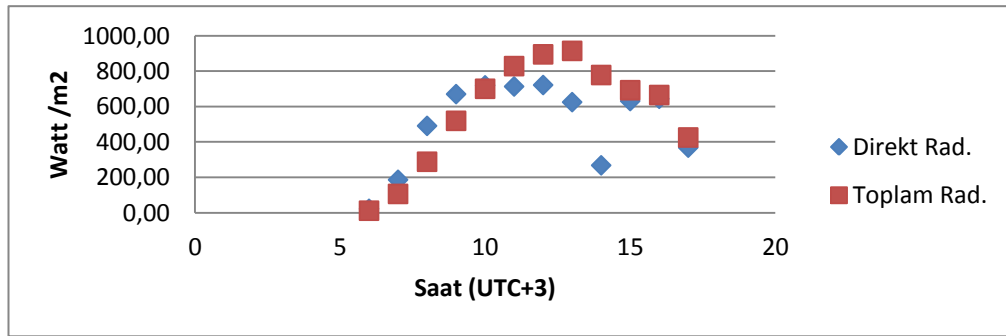


Şekil 2.2. 20.04.2012 tarihi direkt ışınlmın toplam ışınlma oranları

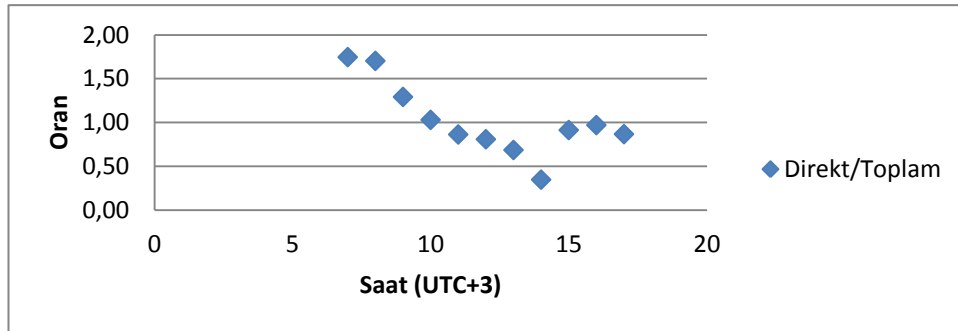
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.2. MGM' den alınan 24.04. 2012 tarihi güneş ışınım değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	1381.3	23.02	739.8	12.33	1.87
4	7	11219.5	186.99	6430.8	107.18	1.74
5	8	29486.7	491.45	17327.6	288.79	1.70
6	9	40244.6	670.74	31193	519.88	1.29
7	10	43209	720.15	42042.9	700.72	1.03
8	11	42818.8	713.65	49721.7	828.70	0.86
9	12	43322.9	722.05	53713.2	895.22	0.81
10	13	37525.6	625.43	54884.2	914.74	0.68
11	14	16114.7	268.58	46704.3	778.41	0.35
12	15	37882.7	631.38	41569.5	692.83	0.91
13	16	38666.8	644.45	39926.3	665.44	0.97
14	17	22107.3	368.46	25553	425.88	0.87



Şekil 2.3. 24.04.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınım değerlerinin değişimi

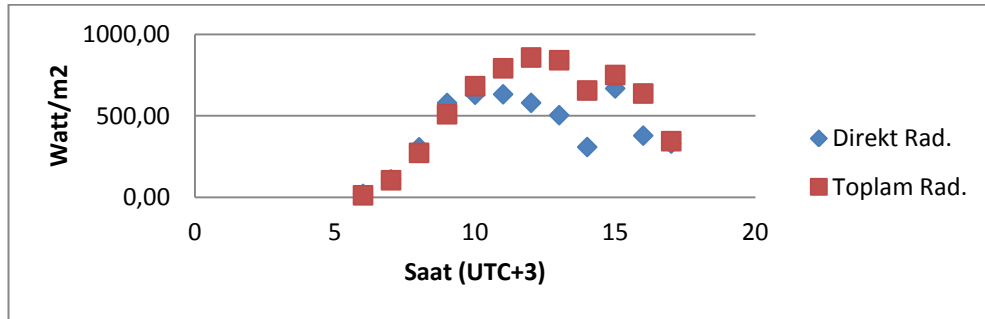


Şekil 2.4. 24.04.2012 tarihi direkt ışınımın toplam ışıma oranları

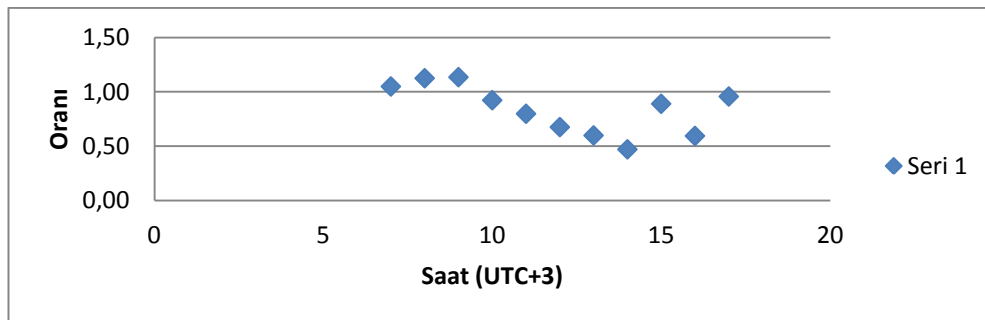
EK-2 (Devamı) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.3. MGM' den alınan 26.04. 2012 tarihi güneş ışıının değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	1299.4	21.66	783.4	13.06	1.66
4	7	6643.1	110.72	6328.6	105.48	1.05
5	8	18457.8	307.63	16399.5	273.33	1.13
6	9	34744.8	579.08	30606.6	510.11	1.14
7	10	37781	629.68	40932.4	682.21	0.92
8	11	37943.9	632.40	47503.3	791.72	0.80
9	12	34800.5	580.01	51478.1	857.97	0.68
10	13	30265.5	504.43	50476.1	841.27	0.60
11	14	18544	309.07	39336.9	655.62	0.47
12	15	40095	668.25	45041.7	750.70	0.89
13	16	22735	378.92	38227.5	637.13	0.59
14	17	19815.1	330.25	20693.2	344.89	0.96



Şekil 2.5. 26.04.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışıının değerlerinin değişimi

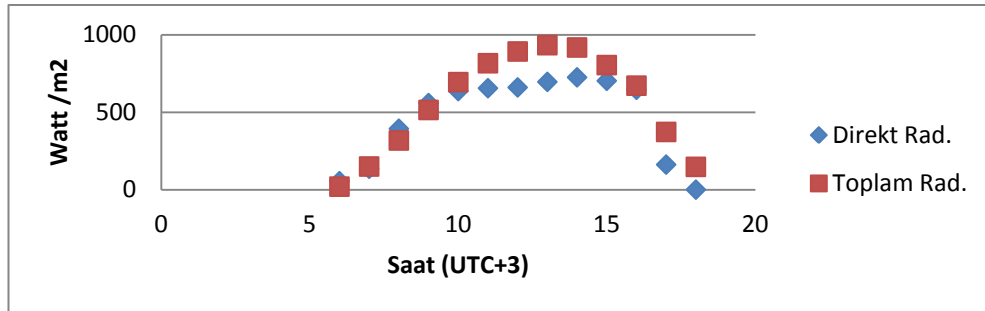


Şekil 2.6. 26.04.2012 tarihi direkt ışıının toplam ışıına oranları

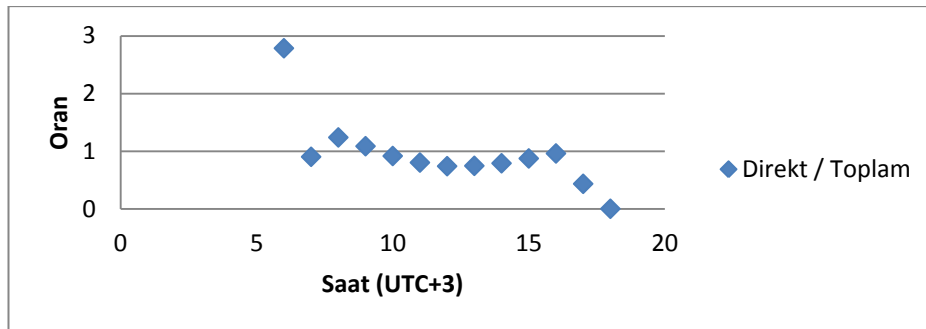
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.4. MGM' den alınan 04.05.2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	3300.5	55.008	1185.5	19.76	2.78
4	7	8097.3	134.96	8971.9	149.53	0.90
5	8	23587.3	393.12	19043.8	317.40	1.24
6	9	33515.9	558.6	30849.8	514.16	1.09
7	10	38139.6	635.66	41608.7	693.48	0.92
8	11	39266.6	654.44	48921.2	815.35	0.80
9	12	39567.3	659.46	53466.2	891.10	0.74
10	13	41712.3	695.21	55908.6	931.81	0.75
11	14	43469.7	724.5	55011.1	916.85	0.79
12	15	42124.8	702.08	48206.5	803.44	0.87
13	16	38646.5	644.11	40242.5	670.71	0.96
14	17	9711.1	161.85	22344.8	372.41	0.43
15	18	18.5	0.3083	8829	147.15	0.0021



Şekil 2.7. 04.5.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi

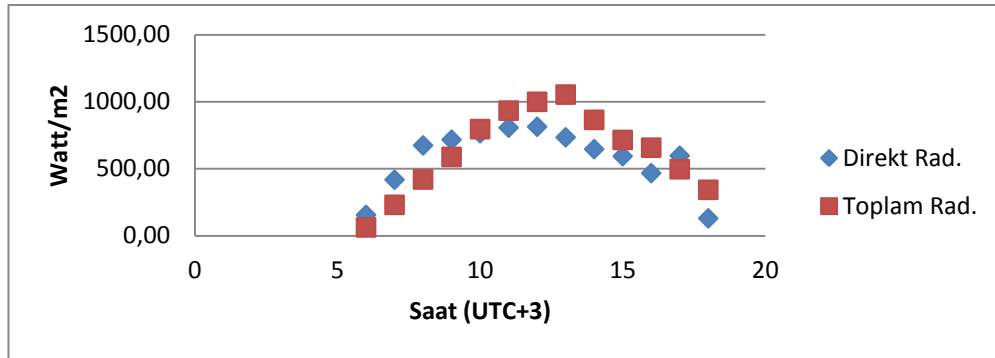


Şekil 2.8. 04.05.2012 tarihi direkt ışınlmın toplam ışınlma oranları

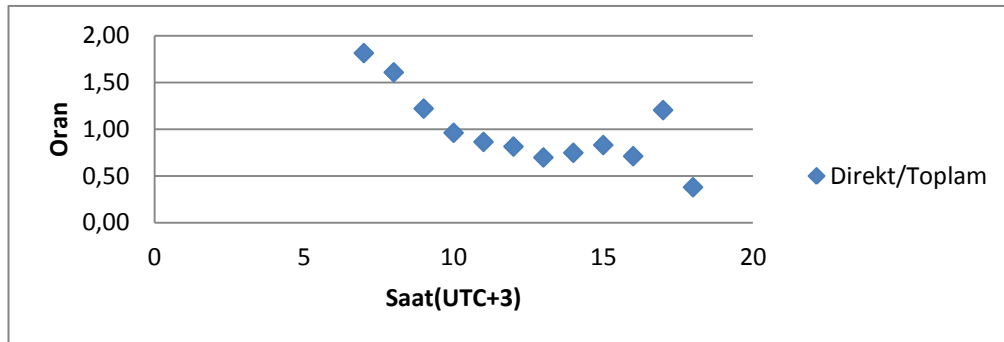
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.5. MGM' den alınan 08.06.2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	9331.4	155.52	3707	61.78	2.52
4	7	25046.7	417.45	13818.1	230.30	1.81
5	8	40404.8	673.41	25147.1	419.12	1.61
6	9	42969.1	716.15	35239.4	587.32	1.22
7	10	45811.6	763.53	47690	794.83	0.96
8	11	48340.4	805.67	55979.5	932.99	0.86
9	12	48764.5	812.74	59917.6	998.63	0.81
10	13	44033.7	733.90	63164.2	1052.74	0.70
11	14	38734.3	645.57	51848.8	864.15	0.75
12	15	35556.1	592.60	42853.3	714.22	0.83
13	16	28007	466.78	39399.1	656.65	0.71
14	17	35791.6	596.53	29745.2	495.75	1.20
15	18	7786.3	129.77	20538.2	342.30	0.38



Şekil 2.9. 08.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi

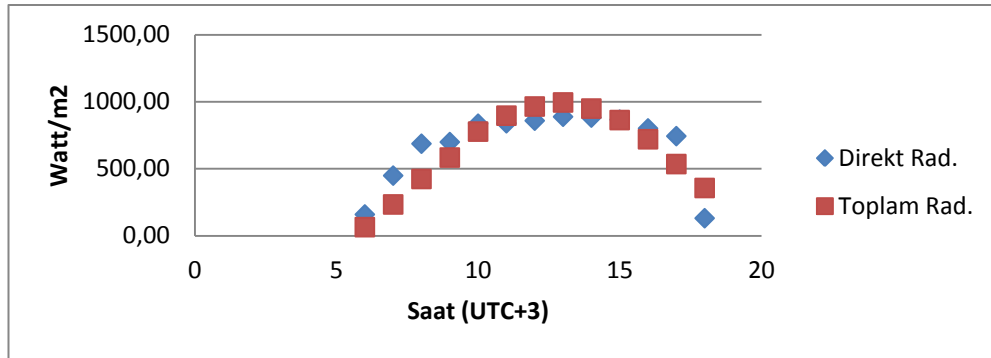


Şekil 2.10. 08.06.2012 tarihi direkt ışınlmın toplam ışınlma oranları

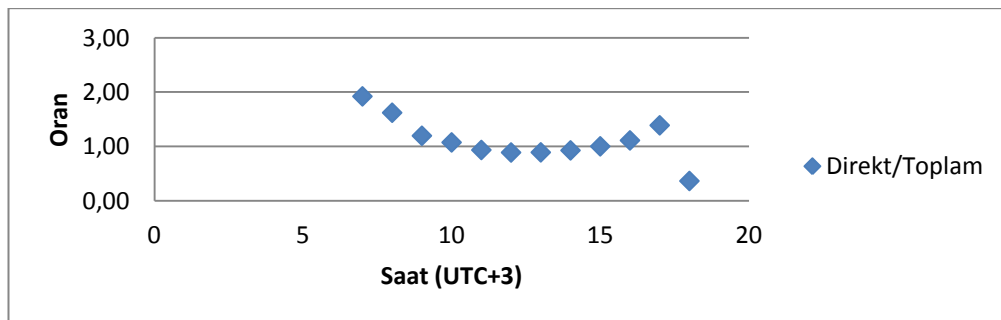
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.6. MGM' den alınan 11.06.2012 tarihi güneş ışıınım değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	9514.5	158.58	3833.4	63.89	2.48
4	7	26893.4	448.22	13988.1	233.14	1.92
5	8	41170.8	686.18	25386.9	423.12	1.62
6	9	41913.5	698.56	34981.3	583.02	1.20
7	10	50129.4	835.49	46596.6	776.61	1.08
8	11	50314.5	838.58	53724.8	895.41	0.94
9	12	51472.8	857.88	57814.3	963.57	0.89
10	13	53244	887.40	59631.2	993.85	0.89
11	14	52860	881.00	56895.4	948.26	0.93
12	15	51944.3	865.74	51748.6	862.48	1.00
13	16	48018.7	800.31	43162.5	719.38	1.11
14	17	44568.7	742.81	32061.8	534.36	1.39
15	18	7826.5	130.44	21358.8	355.98	0.37



Şekil 2.11. 11.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışıınım değerlerinin değişimi

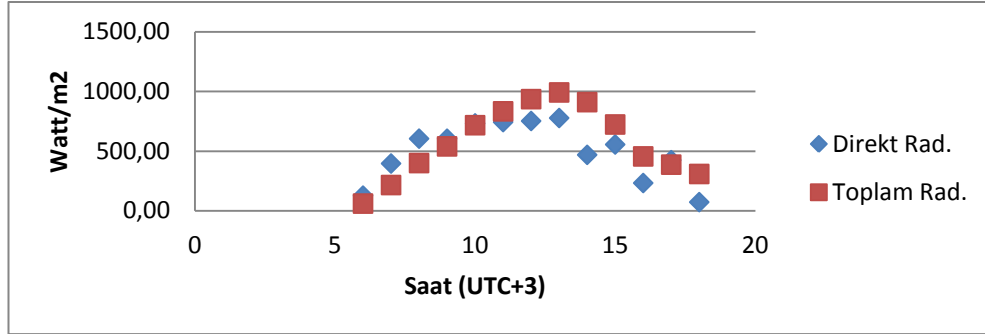


Şekil 2.12. 11.06.2012 tarihi direkt ışıınımın toplam ışıınıma oranları

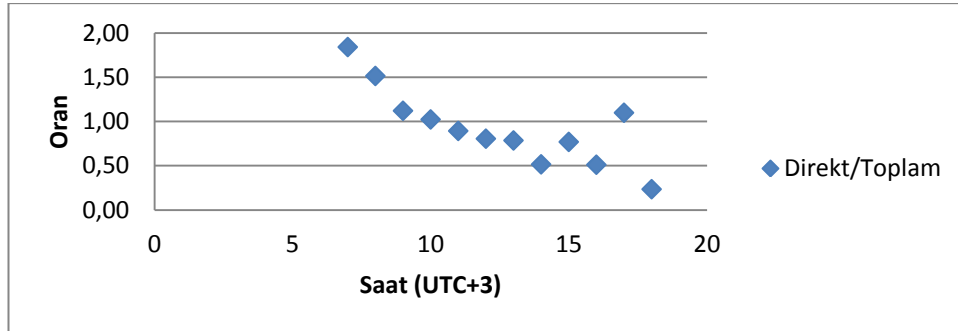
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.7. MGM' den alınan 12.06.2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	7567	126.12	3577.3	59.62	2.12
4	7	23716.1	395.27	12895.6	214.93	1.84
5	8	36206.2	603.44	23940.6	399.01	1.51
6	9	36175.6	602.93	32318.8	538.65	1.12
7	10	43878.3	731.31	42956.9	715.95	1.02
8	11	44512.5	741.88	49931.1	832.19	0.89
9	12	45079.4	751.32	56060.5	934.34	0.80
10	13	46582.2	776.37	59417.8	990.30	0.78
11	14	28068.7	467.81	54560.7	909.35	0.51
12	15	33271.2	554.52	43326.9	722.12	0.77
13	16	13918.9	231.98	27282.2	454.70	0.51
14	17	25397.2	423.29	23152.7	385.88	1.10
15	18	4313.3	71.89	18451	307.52	0.23



Şekil 2.13. 12.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi

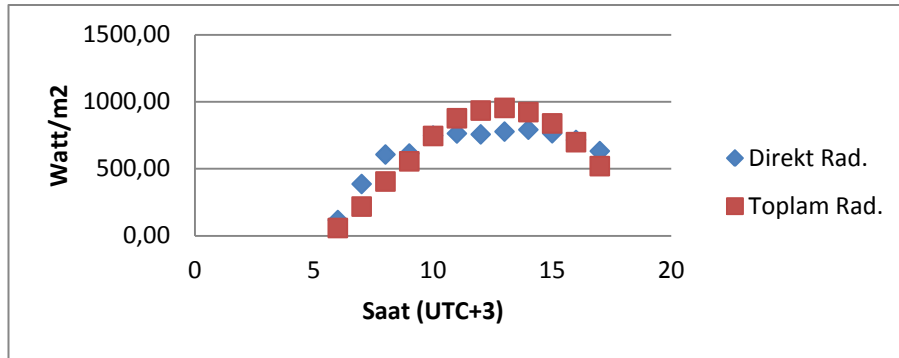


Şekil 2.14. 12.06.2012 tarihi direkt ışınlmın toplam ışınlma oranları

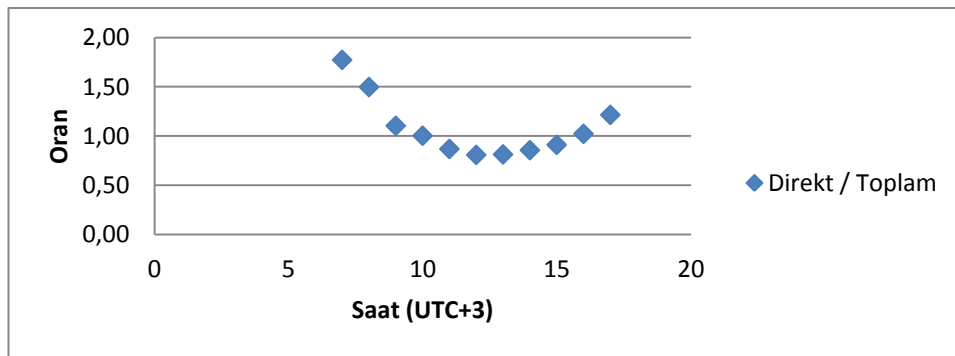
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.8. MGM' den alınan 13.06.2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	7018.2	116.97	3451.5	57.53	2.03
4	7	23147.7	385.80	13051.8	217.53	1.77
5	8	36332.7	605.55	24252.5	404.21	1.50
6	9	36781.9	613.03	33294.4	554.91	1.10
7	10	44815.2	746.92	44639.3	743.99	1.00
8	11	45738.9	762.32	52567.1	876.12	0.87
9	12	45354.5	755.91	56007.6	933.46	0.81
10	13	46596.8	776.61	57190.6	953.18	0.81
11	14	47442	790.70	55322.7	922.05	0.86
12	15	45834.5	763.91	50253.4	837.56	0.91
13	16	42842.4	714.04	41866.3	697.77	1.02
14	17	37869.1	631.15	31149.5	519.16	1.22
15	18	0	0.00	18451	307.52	0.00



Şekil 2.15. 13.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi

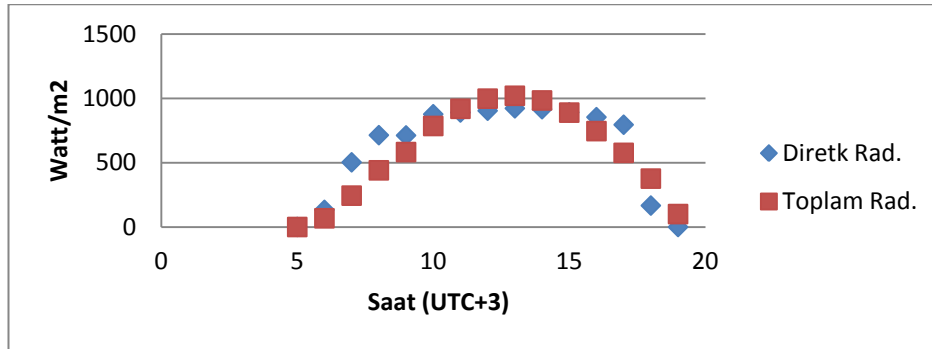


Şekil 2.16. 13.06.2012 tarihi direkt ışınlmın toplam ışınlma oranları

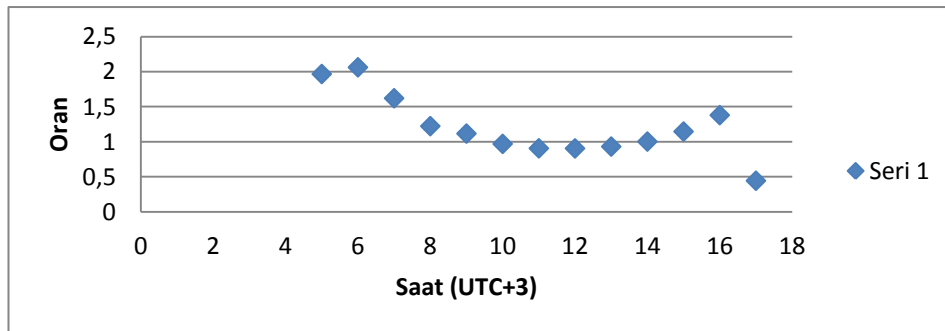
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.9. MGM' den alınan 21.06.2012 tarihi güneş ışınlm değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
2	5	36.5	0.608333		0	-
3	6	7994.3	133.2383	4064.2	67.73667	1.967005
4	7	30143.7	502.395	14617.1	243.6183	2.062222
5	8	42804.9	713.415	26410.4	440.1733	1.620759
6	9	42682.6	711.3767	34915.8	581.93	1.222444
7	10	52557.3	875.955	47082.4	784.7067	1.116283
8	11	53371.2	889.52	55078.9	917.9817	0.968995
9	12	54184.2	903.07	59807.8	996.7967	0.905972
10	13	55304.6	921.7433	61146.6	1019.11	0.904459
11	14	54902.5	915.0417	58969.9	982.8317	0.931026
12	15	53420.9	890.3483	53306	888.4333	1.002155
13	16	51187.2	853.12	44693.5	744.8917	1.145294
14	17	47660.2	794.3367	34552.1	575.8683	1.379372
15	18	9986	166.4333	22547.1	375.785	0.442895
16	19	0	0	6024.4	100.4067	0



Şekil 2.17. 21.06.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışınlm değerlerinin değişimi

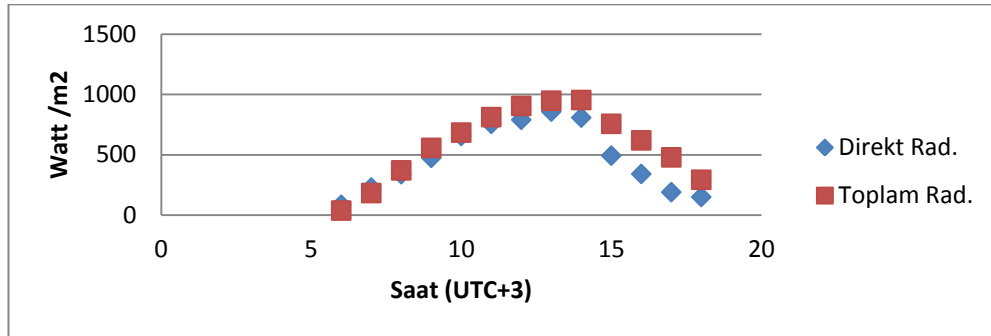


Şekil 2.18. 21.06.2012 tarihi direkt ışınlmın toplam ışınlma oranları

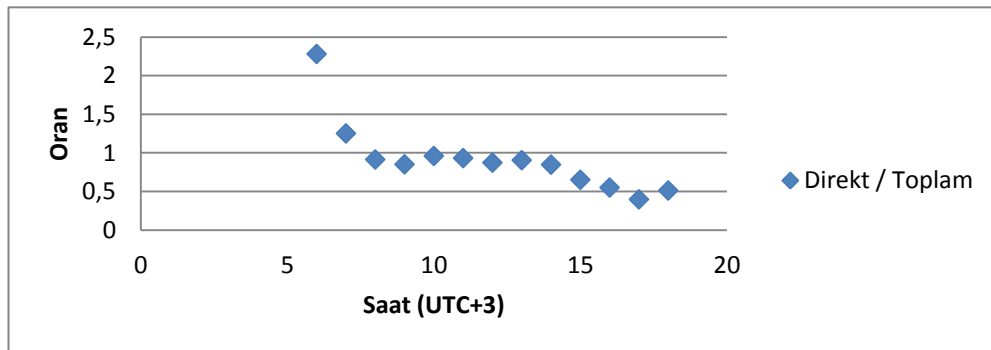
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.10. MGM' den alınan 12.07.2012 tarihi güneş ışıınım değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	5117.1	85.28	2244.6	37.41	2.28
4	7	13685	228.08	10940.5	182.34	1.25
5	8	20299.3	338.32	22210.7	370.19	0.91
6	9	28423.1	473.72	33403.3	556.72	0.85
7	10	39329.9	655.50	40987.5	683.12	0.96
8	11	45327.4	755.46	48672.1	811.2	0.93
9	12	47346.5	789.11	54226.9	903.78	0.87
10	13	51425.8	857.10	56836.7	947.28	0.90
11	14	48437.6	807.29	57173.5	952.89	0.85
12	15	29538.6	492.31	45343.3	755.72	0.65
13	16	20429.8	340.50	37111.4	618.52	0.55
14	17	11398.5	189.97	28678.9	477.98	0.40
15	18	8997.7	149.96	17562.9	292.72	0.51



Şekil 2.19. 12.07.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışıınım değerlerinin değişimi

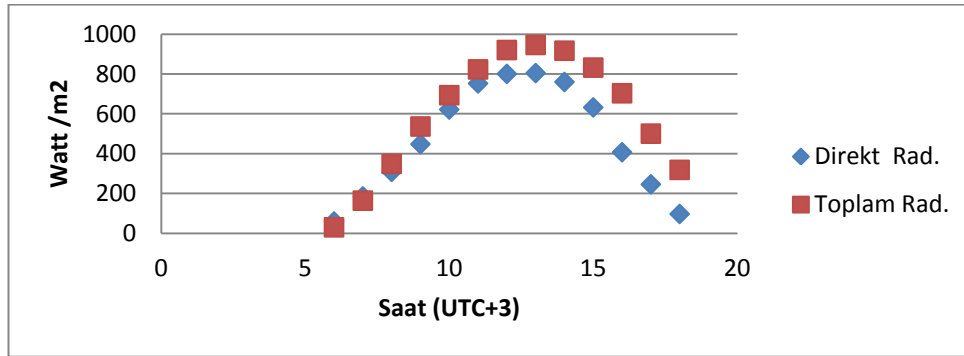


Şekil 2.20. 12.07.2012 tarihi direkt ışıınımın toplam ışıınıma oranları

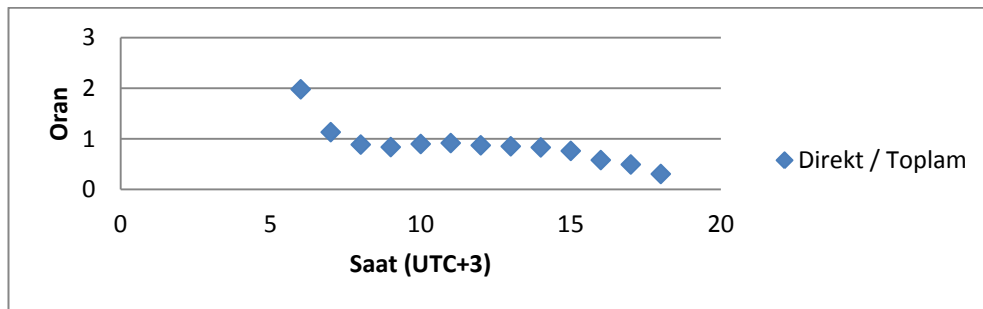
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.11. MGM' den alınan 18.07.2012 tarihi güneş ışıınım değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	3552.9	59.22	1798.6	29.98	1.98
4	7	11111.5	185.19	9833.6	163.89	1.13
5	8	18503.7	308.39	20922.5	348.71	0.88
6	9	26867.1	447.78	32177.2	536.29	0.85
7	10	37296	621.6	41612	693.53	0.90
8	11	45162.7	752.71	49383.3	823.06	0.91
9	12	48040.2	800.67	55220.5	920.34	0.87
10	13	48276.9	804.615	56746.7	945.78	0.85
11	14	45597.1	759.95	55015.3	916.92	0.83
12	15	37934.2	632.24	49928.3	832.14	0.76
13	16	24426.1	407.10	42195.3	703.26	0.58
14	17	14767.5	246.13	30021.2	500.35	0.49
15	18	5819.4	96.99	19107.3	318.46	0.31



Şekil 2.21. 18.07.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışıınım değerlerinin değişimi

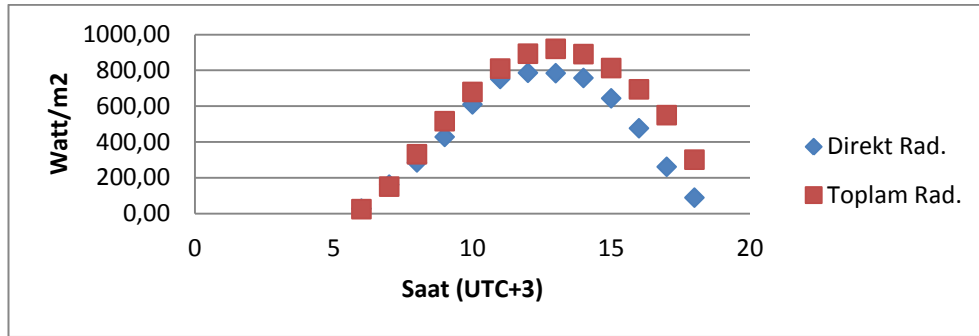


Şekil 2.22. 18.07.2012 tarihi direkt ışıınımın toplam ışıınıma oranları

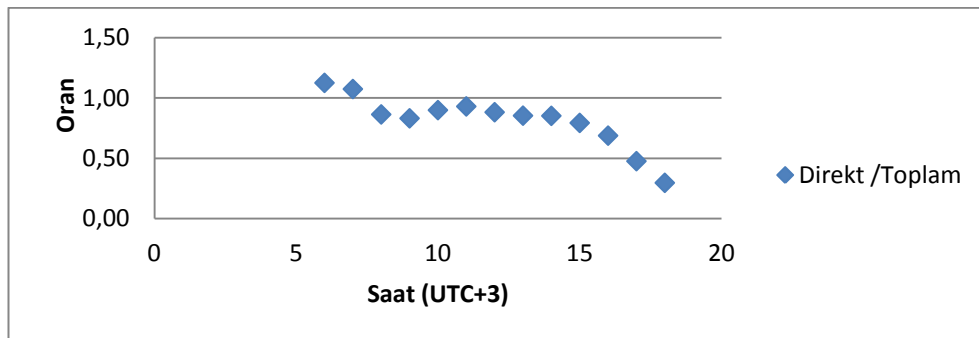
EK-2 (Devam) MGM' den Alınan Güneş Işınım Değerleri

Çizelge 2.12. MGM' den alınan 23.07.2012 tarihi güneş ışıınım değerleri

Saat (utc)	Saat (utc+3)	Saatlik Toplam Direkt Rad.	Saatlik direkt rad. Ortalaması	Saatlik Toplam Global Rad.	Toplam Global Rad. Ortalaması	Direkt rad / Toplam Rad
3	6	1657.2	27.62	1474.7	24.58	1.12
4	7	9686.7	161.45	9030.3	150.51	1.07
5	8	17133.7	285.56	19870.3	331.17	0.86
6	9	25675.6	427.93	30935.8	515.60	0.83
7	10	36567.5	609.46	40732.5	678.88	0.90
8	11	45086	751.43	48557.4	809.29	0.93
9	12	47145.1	785.75	53543.8	892.40	0.88
10	13	47027.6	783.79	55184.5	919.74	0.85
11	14	45424	757.07	53411.5	890.19	0.85
12	15	38605.1	643.42	48737.4	812.29	0.79
13	16	28577.2	476.29	41620.7	693.68	0.69
14	17	15666	261.10	32965.9	549.43	0.48
15	18	5339.1	88.99	18054.5	300.91	0.30



Şekil 2.23. 23.07.2012 tarihi direkt ve toplam güneş ışıınım değerlerinin değişimi



Şekil 2.24. 21.07.2012 tarihi direkt ışıınımın toplam ışıınıma oranları

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CİCİBİYİK, Can
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 21.02.1987 Adana
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (535) 690 55 13
 e-mail : c.cicibiyik@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2010
Lise	Seyhan Danışman Gazi Anadolu Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	Teknoprom Kömür, Enerji ve Kimyasal Teknolojiler, AR-GE, Proje, Mühendislik, Uygulama, Eğitim ve Danışmanlık	Kimya Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Basketbol, Halk dansları, Futbol, Su sporları