



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**PARABOLİK OLUK KOLLEKTÖRLERİ VE MERKEZİ  
ALICILI GÜNEŞ KULELERİ İLE ENERJİ ÜRETİM  
ANALİZİ VE UYGULAMASI**

**Gülay İŞLER  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**BİLECİK, 2018**

**Ref. No: 10177590**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**PARABOLİK OLUK KOLLEKTÖRLERİ VE MERKEZİ  
ALICILI GÜNEŞ KULELERİ İLE ENERJİ ÜRETİM  
ANALİZİ VE UYGULAMASI**

**Gülay İŞLER  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**BİLECİK, 2018**



**BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences  
Department of Energy Systems Engineering**

**ENERGY PRODUCTION ANALYSIS AND  
APPLICATIONS OF PARABOLIC THROUGH  
COLLECTOR AND SOLAR POWER TOWER**

**Gülay İŞLER  
Master's Thesis**

**Thesis Advisor  
Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**BILECIK, 2018**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS  
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 29/11/2017 tarih ve 60 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/01/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gülay İŞLER'in "*Parabolik Oluk Kolektörleri ve Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleri ile Enerji Üretim Analizi ve Uygulaması*" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy-çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE**

**(TEZ DANIŞMANI): Prof. Dr. Mehmet KURBAN**

**ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Gürhan ERTAŞGIN**

**ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Murat BAŞARAN**

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve ..... sayılı kararı.

**İMZA/ MÜHÜR**

## TEŐEKKÖR

Tez çalıőmam süresince bana bilgi ve deneyimlerini aktaran, mesleki ve insani davranıőlarıyla bana örnek olan, katkı ve ilgisini esirgemeyen tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet KURBAN'a, tez dönemi süresince bana destek olan hayat arkadaşım Mustafa Tuğrul İŞLER'e, kızım Aylin İŞLER'e, oğlum Berkay İŞLER'e ve Sevgili Aileme çok teşekkür ederim.

Gölay İŞLER

Ocak, 2018

## ÖZET

Günümüzde fosil enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde edilmesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat çevreye verdikleri zararlar ve fosil enerji kaynakların giderek azalması neticesinde, insanoğlu yeni arayışlar içine girmiştir. Bunun sonucunda farklı yöntem ve teknikler ile yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmesi için araştırılmaya başlanmıştır.

Yapılan araştırmalar sonucu enerji üretiminde yenilenebilir bir enerji kaynağı ve çevre dostu olan güneş enerjisinden elektrik üretme fikri yaygınlaşmıştır. Bunun için fotovoltaik pillerin yanı sıra farklı yöntemler de ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerden olan parabolik oluk güneş kollektörleri ve merkezi alıcılı güneş kulelerinin kullanılması Dünya'da giderek artış göstermekte ve gelişmektedir. Türkiye'de de bu teknolojinin önümüzdeki yıllarda kullanılması ve yaygınlaşması beklenmektedir.

Bu nedenle bu tez çalışmasında, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kullanılan parabolik oluk güneş kollektörlerinin ve merkezi alıcılı güneş kulelerinin ayrı ayrı analizleri yapıp Bilecik bölgesi için bu sistemlerin tek başlarına ve hibrid olarak uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Sistemlerin hibrid çalışması durumunda enerji üretim potansiyeli karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleri, Parabolik Oluk Güneş Sistemleri

## ABSTRACT

Today, it is widely used to obtain electricity from fossil energy sources. However as the damage to the environment and the fossil energy resources are gradually diminishing, mankind has been searching for new ways. As a result, different methods and techniques have been started to be developed as renewable energy sources.

Research has resulted in the idea of generating electricity from renewable energy sources and environmentally friendly solar energy. In addition to photovoltaic batteries, different methods have emerged for this. The use of parabolic gutter solar collectors and solar receivers with central receivers from these methods is increasing and developing in the world. It is expected that this technology will be used and widespread in Turkey in the coming years.

For this reason, in this thesis study, parabolic gutter solar collectors used for obtaining electricity from solar energy and solar receivers with central receivers are analyzed separately and applications of these systems as a hybrid and as a single system for Bilecik region are carried out. In case of hybrid operation of systems, energy production is given as a comparative comparison.

**Keywords:** Solar Energy, Solar Tower, Parabolic Through Solar Systems

## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

**JURİ ONAY SAYFASI**

**TEŞEKKÜR**

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar .....	2
1.1.1. Teorik çalışmalar .....	2
1.2. Tezin Amacı ve İçeriği .....	6
<b>2. GÜNEŞ ENERJİSİ</b> .....	<b>8</b>
2.1. Dünyanın Güneş Enerji Potansiyeli .....	9
2.2. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli.....	10
<b>3. Güneş enerjisinden Elektrik enerjisi üretimi</b> .....	<b>15</b>
3.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi ile Elektrik Enerjisi Üretimi .....	15
3.1.1. Şebekeden bağımsız PV sistemleri .....	17
3.1.2. Şebeke bağlantılı PV sistemleri .....	18
3.1.3. Karma PV sistemleri .....	18
3.2. Isıl Güneş Enerjisi Teknolojisi ile Elektrik Enerjisi Üretimi .....	19
3.2.1. Düşük sıcaklık uygulamaları .....	19
3.2.2. Orta sıcaklık uygulamaları.....	23
3.2.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları.....	24
3.3. Yoğunlaştırıcı Sistemler ile Elektrik Enerjisi Üretimi .....	24
3.3.1. Doğrusal parabolik oluk kolektörler .....	24
3.3.2. Doğrusal fresnel oluk kolektörler .....	25
3.3.3. Noktasal merkezi alıcılı kolektörler (Güneş kulesi) .....	26
3.3.4. Noktasal merkezi alıcılı çanak kolektörler .....	26

3.3.5. Yoğunlaştırıcıli fotovoltaiik kollektörler .....	27
3.3.6. Yoğunlaştırılmış güneş enerjili hibrid santral (Güneş lalesi) .....	29
3.4. Güneş Termal Güç Santrallerin Tasarım İlkeleri .....	29
3.4.1. Güneş enerjisi ve iklim değerlendirmesi .....	29
3.4.2. Uzun dönem performans değerlendirmesi .....	29
3.4.3. İzleme modülünün seçimi .....	30
3.4.4. Parametrelerinin optimizasyonu .....	30
3.4.5. Basınç düşmesi .....	30
3.4.6. Boru boyutlandırması .....	30
3.4.7. Kapasite seçimi .....	31
3.4.8. Korozyon .....	31
<b>4. PARABOLİK OLUK KOLLEKTÖRLER .....</b>	<b>32</b>
4.1. Parabolik Oluk Kollektörlerle Elektrik Enerjisi Üretilmesi .....	32
4.2. Dünyada Parabolik Oluk Sistem Güneş Santral Uygulamaları: .....	36
4.2.1. Solar energy generating systems (SEGS) .....	36
4.2.2. Nevada solar one .....	37
4.2.3. Andasol .....	37
4.3. Türkiye’de Parabolik Oluk Kollektör Santral Uygulamaları .....	38
<b>5. MERKEZİ ALICILI GÜNEŞ KULELERİ .....</b>	<b>39</b>
5.1. Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleri ile Enerji Üretimi .....	39
5.2. Merkezi Alıcılı Güneş Kulelerinde Toplayıcı alan .....	41
5.2.1. Heliostatların izleme, hareket ve kontrol sistemleri .....	43
5.2.2. Merkezi alıcılı güneş kulelerinde saha verimliği .....	44
5.2.3. Heliostat aynalarının temizlenmesi .....	45
5.3. Merkezi Alıcılı Güneş Kulelerinde Alıcılar .....	46
5.3.1. Merkezi alıcılı güneş kulelerinde alıcı teknolojisini .....	46
5.3.2. Alıcı konfigürasyonları .....	47
5.4. Merkezi Alıcılı Güneş Kulelerinde Güç Bloğu .....	49
5.5. Dünyada Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleriyle Santral Uygulamaları .....	49
5.5.1. PS20 Güneş kulesi .....	49
5.6. Türkiye’de Merkezi Alıcılı Güneş Kulesi Santral Uygulamaları .....	51
5.6.1. Greenway Mersin güneş kulesi .....	51

<b>6. PARABOLİK OLUK VE MERKEZİ ALICILI GÜNEŞ KULELERİNİN HİBRİD UYGULAMASI .....</b>	<b>52</b>
6.1. Bilecik İline ait Meteorolojik Veriler .....	52
6.2. Parabolik Oluk Kollektör Santralının SAM Programıyla Optimizasyonu .....	64
6.3. Merkezi Alıcılı Güneş Kulesi Santralının SAM Programıyla Optimizasyonu ....	67
6.4. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti, LCOE (Levelized Cost of Energy).....	72
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>75</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>
<b>EK1: Dünyada Bulunan İşletme Halindeki Parabolik Oluk Kollektörlü Santraller.....</b>	<b>82</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Çizelge 2.1.</b> Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (YEGM, 2016). ....	12
<b>Çizelge 2.2.</b> Türkiye'nin yıllık toplam potansiyel güneş enerjisinin coğrafi bölgelere dağılımı(YEGM, 2016).....	13
<b>Çizelge 5.1.</b> Dünyada bulunan işletme halindeki güneş kulesi santralleri.....	50
<b>Çizelge 6.1.</b> Bilecik bölgesinin uzun yıllarda gerçekleşen ortalama sıcaklık değerleri (1939- 2016) (MGM, 2017).....	53
<b>Çizelge 6.2.</b> Parabolik oluk kollektör ve merkezi alıcılı güneş kulesi santral tasarımı ..	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Dünyaya gelen güneş ışınımları (YEGM, 2016). .....	10
Şekil 2.2. Dünyanın güneş enerjisi potansiyel haritası (NASA, 2008).....	10
Şekil 2.3. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyel haritası (E.İ.E, 2016).....	11
Şekil 3.1. Güneş pili ve fotovoltaiik modül. ....	16
Şekil 3.2. Şebekeden bağımsız PV sistemlerinin şematik yapısı.....	18
Şekil 3.3. Şebeke bağlantılı PV sistemlerinin şematik yapısı.....	18
Şekil 3.4. Karma PV sistemlerinin şematik yapısı.....	19
Şekil 3.5. Düzlemsel güneş kolektörün yapısı.....	20
Şekil 3.6. Güneş havuzlarının yapısı.....	20
Şekil 3.7. Su arıtma sistemlerinin yapısı.....	21
Şekil 3.8. Güneş mimarisi yapısı. ....	21
Şekil 3.9. Ürün kurutma ve seralar. ....	22
Şekil 3.10. Güneş ocakları. ....	22
Şekil 3.11. Güneş bacaları. ....	23
Şekil 3.12. Vakumlu güneş kolektörünün yapısı.....	23
Şekil 3.13. Doğrusal parabolik oluk kolektörlerin yapısı. ....	25
Şekil 3.14. Fresnel oluk kolektörlerin yapısı. ....	25
Şekil 3.15. Merkezi alıcılı kolektörlerin yapısı.....	26
Şekil 3.16. Merkezi alıcılı çanak kolektörlerin yapısı. ....	27
Şekil 3.17. CPV sistemleri. ....	28
Şekil 3.18. Güneş lalesinin yapısı. ....	29
Şekil 4.1. Termal parabolik oluk kolektörlü santralın temel çalışma prensibi. ....	32
Şekil 4.2. Parabolik oluk kolektörleri. ....	34
Şekil 4.3. Isı transfer akışkanı olarak yağ kullanılırsa şematik gösterimi. ....	35
Şekil 4.4. Isı transfer akışkanı olarak su kullanılırsa şematik gösterimi.....	35
Şekil 4.5. SEGS I güç santrali (NREL, 2017). ....	36
Şekil 4.6. Andasol I güç santrali (NREL, 2017). ....	37

<b>Şekil 5.1.</b> Heliostat ayna görseli. ....	39
<b>Şekil 5.2.</b> Merkezi alıcılı güneş kollektörlerinin şematik olarak gösterimi. ....	40
<b>Şekil 5.3.</b> Güneş kulesi sisteminin bileşenleri. ....	41
<b>Şekil 5.4.</b> Heliostatın temel birleşenleri. ....	42
<b>Şekil 5.5.</b> Sabit kesimli aynadan yapılmış 120 m <sup>2</sup> lik heliostat yapısı. ....	42
<b>Şekil 5.6.</b> Gerili membran heliostat aynasının görseli. ....	43
<b>Şekil 5.7.</b> Alıcıların sınıflandırılması. ....	47
<b>Şekil 5.8.</b> Harici ve kavite alıcıların şematik gösterimi. ....	48
<b>Şekil 5.9.</b> PS20 güneş kulesi (NREL, 2017). ....	50
<b>Şekil 5.10.</b> Greenway tesisi (Greenwaycsp, 2013). ....	51
<b>Şekil 6.1.</b> Bilecik ili için global güneş radyasyon dağılımı (YEGM, 2017). ....	52
<b>Şekil 6.2.</b> SAM programına Bilecik bölgesinin lokasyon ve meteorolojik bilgilerinin verilmesi. ....	54
<b>Şekil 6.3.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik yatay toplam ışıınım (W/m <sup>2</sup> ) değerleri. ....	55
<b>Şekil 6.4.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik doğrudan ışıınım (W/m <sup>2</sup> ) değerleri. ....	55
<b>Şekil 6.5.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik yatay difüzyon ışıınım (W/m <sup>2</sup> ) değerleri. ....	56
<b>Şekil 6.6.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik kuru termometre sıcaklık (°C) değerleri. ....	56
<b>Şekil 6.7.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik yaş termometre sıcaklık (°C) değerleri. ....	57
<b>Şekil 6.8.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik bağıl nem (%) değerleri. ....	57
<b>Şekil 6.9.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik basınç (mbar) değerleri. ....	58
<b>Şekil 6.10.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik rüzgâr hızı (m/sn) değerleri. ....	58
<b>Şekil 6.11.</b> Bilecik bölgesine ait saatlik rüzgâr yönü (derece) değerleri. ....	59
<b>Şekil 6.12.</b> Bilecik bölgesinin aylara ait günlük ortalama yatay toplam ışıınım değerleri. ....	60
<b>Şekil 6.13.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama doğrudan ışıınım değerleri. ....	60
<b>Şekil 6.14.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama yatay difüzyon ışıınım değerleri. ....	61
<b>Şekil 6.15.</b> Bilecik bölgesinin aylara ait günlük ortalama kuru termometre sıcaklık değerleri. ....	61
<b>Şekil 6.16.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama yaş termometre sıcaklık değerleri. ....	62
<b>Şekil 6.17.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama bağıl nem (%) değerleri. ....	62

<b>Şekil 6.18.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama basınç (mbar) değerleri.....	63
<b>Şekil 6.19.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama rüzgâr hızı (m/sn) değerleri. .....	63
<b>Şekil 6.20.</b> Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama rüzgâr hızı (m/sn) değerleri. .....	64
<b>Şekil 6.21.</b> SAM yazılımıyla hesaplanan, parabolik oluk santral sahasına ait bilgiler..	65
<b>Şekil 6.22.</b> SAM yazılımında parabolik oluk kollektör parametre sonuçları. ....	65
<b>Şekil 6.23.</b> SAM yazılımı alıcı parametreleri hesaplama sonuçları.....	66
<b>Şekil 6.24.</b> SAM parabolik oluk kollektör santralinin simülasyon sonuçları. ....	67
<b>Şekil 6.25.</b> SAM yazılımıyla hesaplanan, heliostat sahasına ait bilgiler. ....	68
<b>Şekil 6.26.</b> Heliostatların saha dağılımları.....	69
<b>Şekil 6.27.</b> Kule ve alıcı parametreleri hesaplama sonuçları .....	69
<b>Şekil 6.28.</b> SAM güneş kulesi simülasyon sonuçları.....	70
<b>Şekil 6.29.</b> İki Sistemin beraber çalışmasının şematik gösterimi. ....	71

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

°C	: Santigrat derece
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Metre kare
m <sup>3</sup>	: Metre küp
W	: wat
kW	: Kilovat
MW	: Megavat
W/m <sup>2</sup>	: Wat/metre kare
kwh	: Kilovat saat
kwh/m <sup>2</sup>	: Kilovat saat/metre kare
cm <sup>2</sup>	: Santimetre kare
mm	: Milimetre
m <sup>2</sup> /MW	: Metre kare/Megavat
km	: Kilometre
kwt	: Kilovatsaat
mbar	: Milibar
m/sn	: Metre/Saniye
m <sup>2</sup> /L	: Metre kare/Litre
cal/g °C	: Özgül ısı
g	: Kütle
kg/s	: Kilogram/saat

**Kısaltmalar**

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
SEGS	: Solar Energy Generating Systems
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
GES	: Güneş Enerji Santrali
GaAs	: Galyum Arsenit GaAs
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
CuInSe <sub>2</sub>	: Bakır İndiyum Diselenid
CPV	: Yoğunlaştırıcılı fotovoltaik
PV	: Fotovoltaik
SAM	: System Advisor Model
DMİ	: Devlet Meydanları İşletmesi
EİE:	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
LCOE	: Levelized Cost of Energy

## 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanların kullandığı enerji kaynakları teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli olarak değişmektedir. Çağımızda dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşmenin gelişmesi, tüm ülkeleri yeni kaynak arayışına itmiştir. Fosil enerji kaynaklarının azalması sonucu ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili çalışmalarını arttırmışlardır. İlk enerji santralleri enerji ihtiyacını termik, hidroelektrik ve nükleer enerjiden sağlarken, günümüzde teknolojik gelişmelerle birlikte rüzgâr, güneş enerjisi, biyoyakıtlar ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan da sağlanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ulaşılması en kolay olan güneş enerjisidir. Güneşten eski zamanlardan beri yararlanılmasına rağmen, enerji olarak kullanılması için çalışmalar bu yüzyılın ilk çeyreğinde başlamış olup, son 15 yıllık zaman diliminde gelişim göstermiştir. Güneş enerjisinden birçok alanda faydalanma mevcut olup, çevreye zararının minimum olması nedeniyle temiz bir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisi kullanılan sistemlerde, faydalanılan enerji miktarı bölgenin coğrafik yapısına ve meteorolojik özelliklerine bağlıdır. Buna göre kurulan sistemlerin elemanlarının boyutları da farklılık göstermektedir. Kullanılacak malzemelerin seçiminde bölgelerin hava şartları ve ülkelerin sahip olduğu uygun teknolojik imkanların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Güneş enerjisi teknolojilerinden ikisi parabolik oluk kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kuleleridir. Birçok gelişmiş ülke parabolik oluk kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kuleleri üzerine araştırma ve uygulamalar yapmışlardır. Bu iki sistemde de güneşin ısı enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Üretilen enerjinin büyüklüğü kurulan tesisin büyüklüğüyle doğru orantılıdır. Kurulum için geniş düzlüklere ve yüksek maliyetlere ihtiyaç duyulur.

Parabolik oluk kolektörlerinde optimum enerji kazanımına ulaşabilmek için 880 °C gibi yüksek bir ısıya ihtiyaç duyulmaktadır. Parabolik oluk kolektörlerinde bu yüksek ısıya ulaşmak için genellikle ara ısıtıcı (fosil yakıtla çalışan) kullanılmaktadır. Gece gündüz oluşan ısı farkı da problem oluşturmaktadır. Parabolik oluk kolektörleri ile merkezi alıcılı güneş kulelerinin hibrid (birlikte) çalışması durumunda sistemin çalışması için gerekli olan yüksek ısıya daha çabuk ulaşılabilecektir. Ayrıca merkezi alıcılı

güneş kulesiyle birlikte çalışan bir sistem kurulursa gece gündüz ısı farkı problemini azaltabiliriz. İki sistem birbirini tamamlayarak verimli bir şekilde çalışabilir.

## 1.1. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

### 1.1.1. Teorik çalışmalar

Güneş enerjisi ilk M.Ö. 250’de Arşimet tarafından aynalar kullanılarak Sirakuza’yı kuşatan gemileri güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasıyla yaktığı bilinmektedir. Güneş enerjisi alanında 1600 yılında merceğin ilk kez bulunmasıyla çalışmalar hız kazanmıştır. 19. Yüzyılın ortalarına doğru Mouchot’un parabolik ayna yardımıyla gelen güneş ışınımını belirli bir yüzeye odaklamış ve böylelikle minik bir buhar makinası icat etmiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Shuman ve Boys, parabolik aynaları kullanarak bir buhar üreticisi yapmışlardır. Bu sistem sayesinde Nil nehrinden su pompasıyla su çekmişlerdir (Shuman, 1913).

Edenburn, parabolik silindirik şeklindeki yansıtıcıyı ve yuvarlak kesitli onun etrafını saran emici yüzeyi çalışmalarında incelemiştir (Edenburn, 1976).

Lorin ve Hull, merkezi alıcılı güneş kulelerinde heliostat alan düzenlemesinde maksimum güç eldesine ulaşmak için optik sistem araştırmaları yapmıştır (Lorin, 1977).

Gaul ve Rabl, parabolik yoğunlaştırıcının ortalama optik verimini araştırmışlardır. Günün tüm saatlerinde güneşten gelen ışınımın ve oluşan verimi kaydetmişlerdir (Gaul, 1979).

Gee, çizgisel odaklama yapan güneş yoğunlaştırıcılarından güneşin ışınımı takip eden sistemleri incelemiştir. Takip eden sistemleri birbirleriyle karşılaştırıp, deneysel olarak çalışmıştır (Gee, 1980).

Rabl ve arkadaşları, parabolik oluk sistemler üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır. Yoğunlaştırmanın en yüksek olması için gerekli olan  $C_{max}=(1/\sin\theta_c)^m$  eşitliğini bulmuşlardır (Rabl, 1980).

Pereira ve arkadaşları, tahliye kanalı olan ve olmayan parabolik yoğunlaştırıcı sistemlerin dizaynını yapmışlar. Farklı tipik değerlendirmelerin sonuçlarını incelemişlerdir. Boşaltım kanalı olan sistemlerde normal şartlarda 150 °C ’de sistemin verimini %40 olarak hesaplamışlardır (Pereira, 1980).

Cope ve Tully, yoğunlaştırıcı sistemlerin güneşi takip etme biçimlerinin güneşin geliş açılarının hesaplanmasını denklemlerle hesaplamışlardır. Gözleme hatalarını deneysel verilerle kıyaslamışlardır (Cope, 1982).

Barra ve Franceshi, ısı uygulamlarda kullanılmak üzere 50 m<sup>2</sup>'lik bir alana sahip Parabolik oluk kollektör yansıtıcı yüzey tasarlamıştır (Barra, 1982).

Jeter, parabolik oluk yoğunlaştırıcıların üstüne düşen güneş ışınımının sonlu eleman desteğiyle çözümlemesini yapmıştır. Yoğunlaştırıcı sistemin verimini ve yoğunlaştırma oranını hesaplamıştır (Jeter, 1983).

Hession ve Bonwick, farklı büyüklükteki yoğunlaştırıcıları izleyen sistem üzerinde çalışmışlardır. Güneş ışınımını izleyebilen ışığa karşı duyarlı devre tasarlamış ve blok diyagram oluşturmuşlardır (Hession, 1984).

Ecevit ve Goshtaspour, ısı üretiminde kullanılması planlanan parabolik oluk yoğunlaştırıcıların ısı ve optiksel olarak çalışmaları araştırmışlar ve bu sistem için uyumlu malzeme araştırmasına girmişlerdir. Yaptıkları araştırmalarla birlikte tasarım yapıp, üretime geçmişlerdir (Ecevit, 1985).

Jeter, parabolik oluk sistemleri üzerine yoğunlaşan ışınların dağılımı üzerine yarı-sonlu formüller geliştirmiş ve optik verimin hesaplanması üzerine çalışmalarda bulunmuştur (Jeter, 1986).

Eltez, düz yansıtıcı kule projesinde odaklanan ve yansıtıcı yüzeylerin yapısal özelliklerini araştırmıştır. Bir gök cismini kesen dikey dairenin ufka değdiği noktanın referans noktasına kuzey açısız mesafesiyle ve yüksekliğinin açısız olarak değişimlerini, birden fazla yansıtıcıyı sabit tutarak, çizgisel olarak odaklanmasına imkân veren ve güneş kulesindeki alıcıya yansıtılmasıyla ilgili ışınım ve ısı aktarımlarının geometrik ve optiksel olarak araştırmasını yapmıştır (Eltez, 1986).

Espana ve Rodriguez, düzenli olmayan koşullarda, parabolik güneş yoğunlaştırıcılarının doğrusal olmayan differansiyel denklemlerine takribî analitik çözümleriyle ilgilenmiştir (Espana, 1987).

Prapas ve arkadaşları, gelen ışınları izleme yöntemleriyle parabolik yoğunlaştırıcılarda ayrıntılı optik araştırmalarda bulunmuşlardır. Difüzyon güneş ışınımının yüzdelerini hesaplamışlardır (Prapas, 1987).

Karaduman, parabolik güneş yoğunlaştırıcılarının faaliyetlerini bulabilmek için, pompalı ve linear akışkanı ısıtabilen bir uygulamayla çalışabilen yoğunlaştırılmış parabolik güneş sistemi planlamış, üretmiş ve verimliliği ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur (Karaduman, 1989).

Yeşilata, parabolik tipli güneş yoğunlaştırıcısının güneşin ışınlarını takip eden bir sistem tasarımı yapmıştır. Yoğunlaştırıcılarda ısı veriminin bulunmasına yönelik çalışmalarda bulunmuştur (Yeşilata, 1990).

Eltez, yoğunlaştırıcıların hareket sistemini, ısı güç gereksinimi araştırmış ve birçok çalışmalarda bulunmuştur. Tekstil fabrikasının enerjiye duyduğu gereksinimi ve yoğunlaştırıcı sistemlerin buna katkısını araştırmıştır (Eltez, 1990).

Pereira ve arkadaşları, ikili parabolik oluk yoğunlaştırıcılarda boru soğutucu kullanılan sistemlerde araştırmalar yapmışlardır. Toplam ısı kayıplarını azaltan çalışmalarda bulunup yüksek akışkan sıcaklıklarına ulaşmaya çalışmışlardır (Pereira, 1991).

Pinazo ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcılarına gelen güneş ışınım açıları ile ilgili araştırmalar yapmışlardır (Pinazo, 1992).

Usta, güneş enerjisi ile çalışan  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  akışkanlı çift kullanarak soğurmalı soğutma sistemini tasarlamıştır (Usta, 1995).

Fradenraich ve arkadaşları, çizgisel odaklı güneş yoğunlaştırıcılarında ısı gücün ve sıcaklığın hesaplanmasıyla ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır (Fradenraich, 1997).

Kalogirou ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcı sisteminde buhar üretmek için gerekli olan sistemi tasarlayıp bunu simülasyon programıyla desteklemişlerdir (Kalogirou, 1997).

Genç, güneşi tek bir düzlemde takip eden parabolik oluk yoğunlaştırıcısının araştırmasını yapmıştır. Güneşi fotosel desteğiyle tek eksen üzerinde sistemin takip etmesi üzerine çalışmalarda bulunmuştur (Genç, 1998).

Odeh ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcısı buhar makinası modellemesi yapmışlardır. Ayrıca tasarladıkları sistemde ısı verim ve meydana gelen ısı kayıpları araştırmışlardır (Odeh, 1998).

Siala ve Elayeb, merkezi alıcılı güneş küllerinde grafiksel metod yöntemini kullanarak heliostatları dizayn etmeye çalışmışlar. Matematiksel formülleri kullanarak dizaynlarını grafiksel verilere dökmüşlerdir (Saila, 2001).

Price ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcılarında güneş enerjisinden elektrik üretme yöntemlerinde meydana gelen gelişmelerle ilgili bilgi vermişlerdir (Price, 2002).

Eck ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcısıyla buhar üretilmesi konusunda araştırmalarda bulunmuşlardır. İspanya'da kurulan sistemde yapılan testlerde çıkan sonuçları tartışmışlardır (Eck, 2002).

Rincon ve arkadaşları, iki boyutlu yoğunlaştırıcı sistem tasarlamışlardır. Bu sistemi parabolik yoğunlaştırıcılarla karşılaştırıp, pratikte uygulanmasından söz etmişlerdir (Rincon, 2002).

Zarza ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcısında emici borulardan anında buhar üretimiyle ilgili çalışmalarda bulunmuş. Yeni tip güneş santrallerini araştırıp ve geliştirilmesiyle ilgilenmişlerdir (Zarza, 2002).

Hermann ve arkadaşları, parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılan ısı depolama tanklarının maliyet ve verimlikleri üzerine araştırma yapmışlardır (Hermann, 2002).

Sözen ve arkadaşları, parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı sistemde ısı pompası olarak kullanılan  $NH_3-H_2O$  soğurmalı soğutma sistemini araştırmışlardır (Sözen, 2002).

Çolak, yüksek sıcaklıkta oluşan güneş ışınması alanın da çalışmalarda bulunmuştur. Parabolik oluk yoğunlaştırıcılarında kullanılan optik ve ısı için gerekli olan parçaların matematiksel olarak modellenmesini yapmıştır (Çolak, 2003).

Üçgül ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcılar da kullanılan optik, enerjetik ve ekserjetik verimliliğini araştırmıştır (Üçgül,2003).

Segal ve Epstein, merkezi alıcılı güneş kulelerinde alıcının çalışma sıcaklığı ve heliostat alan yoğunlukları üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır (Segal, 2003).

Chen ve arkadaşları, merkezi alıcılı güneş kulerinde iki farklı heliostat tasarımı yaparak bunların performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında sadece heliostat yerleşim düzenlemelerini değiştirmişlerdir (Chen, 2004).

Kribus ve arkadaşları, merkezi alıcılı güneş kulelerinde alıcı dizaynlarıyla uğraşmışlar ve sıcaklık ile güç değişimlerinin nasıl olduğu üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır (Kribus, 2004).

Sanchez ve Romero, heliostat konumlandırmasında yıllık normalize enerji yüzeyleri adlı metod üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntemde heliostat aynalar kurulan bölgeye yıllık gelen güneş miktarına göre yerleştirilir (Sanchez, 2006).

Chaouchi ve arkadaşları, parabolik yoğunlaştırıcı sistemlerde tuzlu suyun tuzdan arındırılması yöntemleriyle uğraşmışlar (Chaouchi, 2007).

Mazlovmi ve arkadaşları, parabolik yoğunlaştırıcı sisteminde lityum-bromür soğutma sistemini kullanmışlardır. 17 kW değere ulaşabilen bir ev için tasarlanmıştır. İş akışkanı olarak su kullanmışlardır (Mazlovmi, 2008).

Krüger ve arkadaşları, Akdeniz ülkeleri için temiz enerji kaynağı iyileştirme projesi çerçevesinde Soliterm PTC 1800 isimli parabolik yoğunlaştırıcıyı test etmişlerdir (Krüger, 2008).

Garcia-Valladares ve Velazquez, tek ve çift geçişli parabolik oluk yoğunlaştırıcı sisteminde güneş ısı ve akış durumlarının nümerik simülasyonu yapmışlardır (Garcia-Valladares, 2009).

Şenol ve arkadaşları, çalışmalarında güneş kulesi tasarımları üzerinde durmuşlar. Yaptıkları çalışmalar neticesinde 10 MW'lık santral için 380 m<sup>2</sup> alan yarıçapına, 120 m yüksekliğinde kuleye, 10x9.5 m heliostat boyutuyla ve 852 adet heliostatla toplamda 80.940 m<sup>2</sup>'lik yansıtma alanı tasarlamışlardır (Şenol, 2009).

Collado, merkezi alıcılı güneş küllerinde heliostat alan düzenlemelerinde gerekli olan gölgelenme kayıpları ve engellemeler üzerine çalışmalarda bulunmuştur (Collado, 2009).

Fernandez ve arkadaşları, parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemlerin tarihsel gelişimi ve bu sistemlerin inşası ve pazarlanmasıyla ilgili çalışmalarda bulunmuşlardır (Fernandez, 2010).

Xiudong Wei ve arkadaşları, heliostat sahası yerleşimi diye bilinen bir metod bulmuşlardır. Bu metod diğerlerine göre daha hızlı çalışmakta ve heliostat saha optimizasyonu en iyi şekilde yapılmaktadır (Xiudong, 2010).

## 1.2. Tezin Amacı ve İçeriği

Günümüzde fosil enerji kaynaklarının azalmaya başlaması ve çevreye verdikleri zararlar nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve ihtiyaç artmaktadır. Bunun sonucunda farklı yöntem ve teknikler kullanılarak yeni yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmesi araştırılmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemlilerinden biri olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmektedir. Parabolik oluk kollektör ve merkezi alıcılı güneş kulesi yöntemleriyle elektrik enerjisi üretmek tüm dünyada artış göstermekte ve gelişmektedir. Türkiye'de de bu teknolojinin önümüzdeki yıllarda kullanılması ve yaygınlaşması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında da güneş enerjisinden uygun sistemler kullanılarak daha fazla enerji elde etmek amacıyla, parabolik oluk güneş kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kulelerinin analizi ve uygulaması yapılacaktır. Sistemlerin hibrid çalışması durumunda enerji üretiminin analizleri karşılaştırmalı olarak verilecektir. Analiz edilen hibrid güneş sistemi kullanılarak elektrik enerjisi üretim potansiyeli belirlenecek ve Bilecik Bölgesi için uygulaması yapılacaktır. Bu tez çalışmasında uygulama bölümünde, Bilecik bölgesi için 2014 yılı meteoroloji veriler kullanılmış ve NREL (National Renewable Energy Laboratory)'in SAM yazılım programına kullanılarak gerekli tasarımlar yapılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir (SAM, 2014).

Tez yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş olmak üzere diğer bölümlerin de içerikleri şu şekildedir:

İkinci Bölümde, güneş enerjisi hakkında bilgiler verilerek Dünya'daki ve Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelleri ele alınmıştır.

Üçüncü Bölümde, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ele alınmış ve detaylı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü Bölümde, parabolik oluk kolektörlerle nasıl elektrik enerjisi üretildiği detaylı olarak ele alınmış, yapısı, çalışma prensibi ve verimliliklerine değinilmiştir.

Beşinci Bölümde, merkezi alıcılı güneş kulelerinin sistem yapısı, çalışma prensibi detaylı olarak anlatılmış ve verimlilikleri ele alınmıştır.

Altıncı Bölümde, tez çalışması kapsamında tarafımızdan geliştirilen parabolik oluk ve merkezi alıcılı güneş kulelerinin hibrid olarak kullanılmasıyla ilgili sistem tasarlanmış, beraber çalışması analiz edilmiş ve Bilecik ili için bir uygulaması tasarlanmıştır.

Yedinci Bölümde, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve konuyla ilişkili olarak çeşitli öneriler sunulmuştur.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, dünyamızın olmazsa olmazı en büyük enerji kaynağıdır. Dünyadaki tüm bitkiler fotosentez yapmak için güneş enerjisine ihtiyaç duyarlar. Dünyamız, güneş ışınları sayesinde gündüzleri ısınmaktadır. Fabrikaların üretim yapması, taşıtların çalışması, evlerin aydınlanması ve ısıtılması, elektrikli aletlerin çalışması için bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyacımız olan enerjiyi karşılamak için çoğunlukla fosil yakıtlardan yararlanılmaktadır.

Sanayileşmenin başlamasıyla birlikte fosil yakıtlar günümüze kadar enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Fakat kullanılan bu enerji kaynaklarının çevreye ve doğaya olumsuz katkıları vardır. Fabrikaların bacalarından çıkan dumanlar, taşıtların egzozlarından ve evlerin bacalarından çıkan dumanlar çevre kirliliği oluşturmakta, küresel ısınmaya neden olmakta ve dünyayı olumsuz etkilemektedir. Fosil yakıtların tükenmeye başlamasıyla birlikte tüm dünya ülkeleri yenilenebilir enerji kaynakları üzerine araştırma ve geliştirme yapmaya başlamışlardır. Bu çalışmalardan birçoğu da güneş enerjisi üzerine yapılmaktadır. Güneş enerjisi çevreye zarar vermeyen, kendisini yenileyebilen, ucuz ve bitmek tükenmek bilmeyen bir enerji kaynağı olduğu için tüm dünyada kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Güneş enerjisinin avantajları şunlardır:

- Tükenmeyen ve temiz bir enerji kaynağı olması.
- Tüm dünya ülkelerinin kolaylıkla yararlanacağı ve hiçbir ulaşım maliyeti hiç olmayan bir enerji kaynağı olması.
- Güneşi az ve çok gören yerlerde verimliliğin farklı olmasına rağmen her türlü zemin koşulunda enerji üretmek mümkündür.
- Güneş enerjisi karışık bir teknolojiye sahip olmaması nedeniyle tüm dünyada, yerel kuruluşlar ve bireysel olarak kolaylıkla yararlanılmaktadır.

Güneş enerjisinin dezavantajları ise şunlardır:

- Güneş enerjisinin yoğunluğu az olup sürekliliği yoktur. Gündüzleri fazla yoğunluğa ulaşılırken, geceleri yoğunluğa ulaşılabilmesi.
- Yatırım maliyetleri ve bakım giderlerinin fazla olması.
- Güneş ışınım enerji miktarının kontrol edilemez olması.
- Bütün kullanım alanlarında, enerji arz ve talep arasında zaman farkıyla karşılaşılması.

- Işınım talebinin fazla olduğu zamanlarda bu enerji tekrardan kullanılması için depolanmalıdır. Enerjinin depolanmasıyla ilgili sorunlarla karşılaşılması.

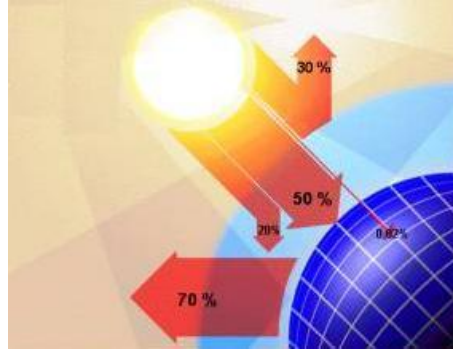
## 2.1. Dünyanın Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş dünyamıza ortalama 150 milyon km uzaklıkta olup çapı 1,39 milyon km'dir. Dünyamız hem kendi çevresinde dönmekte, hem de güneşin etrafında eliptik bir yörüngede dönmektedir. Bu yüzden dünyamıza gelen güneş enerjisi yıl içerisinde sürekli olarak değişmektedir. Güneşten dünyamıza saniyede, 170 milyar MW'lık ışınım ulaşmaktadır. Bu güneş enerjisinin, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır (YEGM, 2016).

Dünyanın kendi etrafında dönmesiyle gece ve gündüzler oluşur. Dünyanın kendi etrafındaki dönüş eksenine güneş eksenine etrafında dolanma görüngesi düzlemiyle 23.50'lik bir açı yapmaktadır. Yeryüzüne düşen güneş şiddeti yörünge boyunca sürekli değişmekte ve mevsimler oluşmaktadır. Yıl boyunca bu eğrilik yüzünden gece-gündüz uzunluklarında da değişim olmaktadır. Yere düşen güneş radyasyon oranı da dünya üstünde bulunduğu konuma, mevsimlere ve gün içindeki saatlere göre tüm dünyada farklılık gösterir (YEGM, 2016).

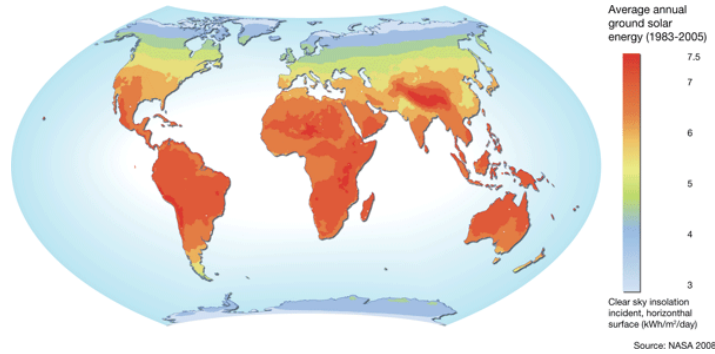
Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreciyle açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu olay güneşte var olan hidrojen gazının tepkimeler sonucu helyum gazına dönüşmesiyle oluşur. Güneş enerjisinin dünyaya gelen küçük bir bölümü bile, insanlığın sahip olduğu enerji tüketiminin kat kat fazlasıdır. 1970 yılından sonra güneş enerjisinden yararlanma çalışmaları hız kazanmıştır. Temiz enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi sistemleri teknoloji bakımından büyük ilerlemeler göstermiş ve kurulum maliyetleri azalmaya başlamıştır (YEGM, 2016).

Güneş enerjisinin şiddeti dünyanın atmosferinin dışında kalan yaklaşık değeri 1370 W/m<sup>2</sup> dir. Fakat yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferin yapısından dolayı 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasındadır. Bu yüzden güneş enerjisinin tamamı dünyamıza ulaşmamaktadır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır fakat atmosfer tarafından %30 kadarı geriye yansıtılır. Kalan %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Güneş enerjisinin dünyamıza yansımaları Şekil 2.1' de gösterilmiştir (YEGM, 2016).



**Şekil 2.1.** Dünyaya gelen güneş ışınımları (YEGM, 2016).

Güneş enerjisiyle dünyamızın sıcaklığı yükselir ve yeryüzü yaşanılabilir bir hal alır. Bu ısınma rüzgâr hareketlerine ve okyanustaki suların hareketlenmesine neden olur. Dünyamızın küre şeklinde olması ve ekseninin de eğik olması nedeniyle dünyanın her bölgesine güneş ışınları farklı miktarlarda almaktadır. Şekil 2.2’de dünyamızın güneş potansiyeli haritası görülmektedir.



**Şekil 2.2.** Dünyanın güneş enerjisi potansiyel haritası (NASA, 2008).

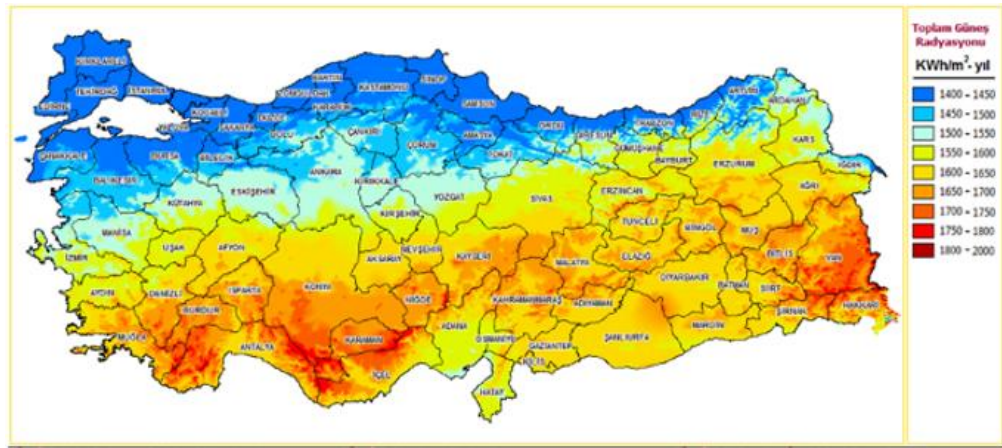
## 2.2. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeyle kıyaslandığında şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün (DMİ) 1966-1982 yıllarına ait verileri kullanılıp, ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verileri mevcut olup bu verilerin kullanımıyla ilgili E.İ.E tarafından yapılan çalışmalara göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat olup, bu da günlük olarak 7.2 saatte eşit gelmektedir. Ortalama yıllık

toplam ışı nım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup> bu da günlük olarak toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup> eşit gelmektedir (YEGM, 2016).

Ülkemiz 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ülkemizde gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim m<sup>2</sup> den ortalama 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretilebilir (Özgöçmen, 2007).

Şekil 2.3' de Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyel haritası verilmiştir.



Şekil 2.3. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyel haritası (E.İ.E, 2016).

Türkiye sahip olduğu coğrafi konum itibariyle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri güneş enerjisinin en fazla olduğu bölgelerdir. Türkiye'nin aylara göre ortalama güneş enerjisi potansiyeli Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Türkiye'nin aylara göre ortalama güneş enerjisi potansiyeli (YEGM, 2016).

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
	Kcal/cm <sup>2</sup> -ay	kWh/m <sup>2</sup> -ay	
<b>OCAK</b>	4,45	51,75	103
<b>ŞUBAT</b>	5,44	63,27	105
<b>MART</b>	8,31	96,65	165
<b>NİSAN</b>	10,51	122,23	197
<b>MAYIS</b>	13,23	153,86	273
<b>HAZİRAN</b>	14,51	168,75	325
<b>TEMMUZ</b>	15,08	175,38	365
<b>AĞUSTOS</b>	13,62	158,40	343
<b>EYLÜL</b>	10,60	123,28	280
<b>EKİM</b>	7,73	89,90	214
<b>KASIM</b>	5,23	60,82	157
<b>ARALIK</b>	4,03	46,87	103
<b>TOPLAM</b>	112,74	1311	2640

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisini alan kısmı Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz bölgesi takip etmektedir. Daha sonra yapılan çalışmalarla, Türkiye'nin gerçek potansiyel güneş enerjisinin bu verilerden daha fazla olduğu anlaşılmıştır. 1992 yılında D.M.İ ile E.İ.E arasında anlaşarak, Türkiye'nin gerçek güneş enerjisini belirlemek amacıyla yeni bir proje başlatmışlardır. Türkiye'nin her yerinde gözlem istasyonu kurarak enerji amaçlı güneş ışıyım ölçümlerinin alınmasına başlanmıştır (YEGM, 2016).

Çalışmalar sonucunda, Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli mevcut değerlerden %20-25 oranında daha fazla olacağını kanısına varmışlardır (Ateş, 2009).

Türkiye'nin yıllık toplam potansiyel güneş enerjisinin coğrafi bölgelere dağılımı Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Türkiye'nin yıllık toplam potansiyel güneş enerjisinin coğrafi bölgelere dağılımı (YEGM, 2016).

<b>BÖLGE</b>	<b>TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m<sup>2</sup>-yıl)</b>	<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl )</b>
<b>GÜNEYDOĞU ANADOLU</b>	1460	2993
<b>AKDENİZ</b>	1390	2956
<b>DOĞU ANADOLU</b>	1365	2664
<b>İÇ ANADOLU</b>	1314	2628
<b>EGE</b>	1304	2738
<b>MARMARA</b>	1168	2409
<b>KARADENİZ</b>	1120	1971

Meteorolojik şartlar göz önünde bulundurulduğunda güneş enerjisinin dünyamıza ulaşma miktarları şöyledir (Güneş Sistemleri, 2008).

- Bulutlu yaz günlerinde ışığın %80'ninin emilmesine rağmen 300 W/m<sup>2</sup>'lik bir ışınım gücüne sahiptir.
- Az bulutlu günlerde 200W/m<sup>2</sup> ile 700 W/m<sup>2</sup> arası bir ışınım gücüne sahiptir.
- Güneşli günlerde ise 700W/m<sup>2</sup> ile 1000 W/m<sup>2</sup> arası bir ışınım gücü vardır.

Türkiye'de 2012 yılından beri hesaplanan toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık olarak 18.640.000 m<sup>2</sup>'dir. Senelik olarak düzlemsel güneş kolektörü üretimi 1.164.000 m<sup>2</sup>, vakum tüplü kolektör ise 57.600 m<sup>2</sup> hesaplanmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

2015 yılında güneş kolektörleriyle 811.000 TEP ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen bu ısı enerjisinin, konutlarda kullanım miktarı 528.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 283.000 TEP olarak bildirilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

Türkiye'de 2016 yılı sonu itibariyle kurulu gücü 402 MW olan 34 adet GES'e önlisans verilmiştir. Lisanssız kurulan GES'lerle birlikte santral sayısı 1.043 adet olup,

GES'lerin kurulu gücü ise 819,6 MW'dir. 2 adet lisanslı GES'le birlikte toplam kurulu gücümüz 832,5 MW'a ulaşmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

Güneş enerjisi üzerine yapılan ilk çalışmalar, ısıtma, kurutma, sıcak su elde etme ve pişirme üzerine olmuştur. Teknolojik gelişmelerle birlikte yoğunlaştırılmış ısı uygulamalarda buhardan yüksek sıcaklıklar elde edilmekte ve buhardan elektrik enerjisi üretimi uygulamaları artmaktadır. Güneş enerjisinden, hem elektriksel hem de ısı olarak yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknoloji farklılıkları bakımından çeşitlilik göstermektedir. Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi 2 farklı teknolojiyle sağlanmaktadır. Bunlardan ilki ışığın doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesiyle çalışan Fotovoltaik güneş pili teknolojileri (PV) ve ikincisi Isıl güneş teknolojileri yüksek sıcaklık prensibiyle çalışan yoğunlaştırıcı sistemler kullanılmaktadır.

GES'ler de tasarım yaparken dikkat edilmesi gereken bazı önemli unsurlar vardır. Bunlar; bölgeye düşen yıllık ışınım miktarının araştırılması, iklim koşullarının değerlendirilmesi, değişkenlerin optimizasyonu ve bölge seçimi çok önemlidir (YEGM, 2016).

GES'nin kurulacağı yerin seçilmesinde önemli parametreler vardır. Bunlar; seçilecek olan bölgenin yıllık yağış miktarının düşük olması, bulutsuz ve sissiz bir geçecek gün sayısının fazla olması, hava kirliliğinin minimum seviyelerde olması, fazla gölge olan alanlardan (ormanlık ve ağaçlık) uzak olması ve rüzgâr hızının düşük olması gerekmektedir (YEGM, 2016).

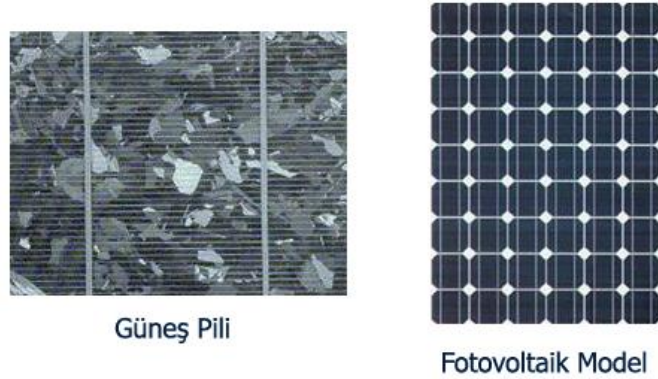
#### 3.1. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Teknolojisi ile Elektrik Enerjisi Üretimi

Fotovoltaik hücreler denen yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler. Fotovoltaik hücrelerin yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire biçiminde olabilen, güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında ve kalınlıkları ise ortalama 0,1- 0,4 mm arasında olmaktadır (YEGM, 2016).

Güneş hücreleri üzerine ışık düştüğü zamanlarda uçlarda elektrik gerilimi oluştururlar ve hücrelerin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı pillerin yüzeylerine düşen güneş enerjisidir (YEGM, 2016).

PV sistemleri güneş hücrelerinin yapısal özelliklerine göre %5 ile %30 arasında bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine çevrilebilirler. Birden fazla güneş hücresinin seri veya paralel bağlanarak, bir yüzey üzerine monte edilmesiyle güç çıkışını arttırmak mümkündür. Bu tip yapılara fotovoltaik modül ya da güneş hücresi

modülü denilmektedir. Şekil 3.1’ de güneş pili ve fotovoltaik modül görselleri verilmiştir (YEGM, 2016).



**Şekil 3.1.** Güneş pili ve fotovoltaik modül.

Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapımı için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellürid gibi maddelerdir (YEGM, 2016).

- **Kristal Silisyum:** Başlangıçta büyütülüp sonrada 150-200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlene bilen tek kristal silisyum bloklarında üretilmiş olan güneş pillerinde laboratuvar koşullarında %24, ticari modüllerde %15'in üzerinde verim elde edilebilmektedir. Dökme silisyum blok dilimlenerek elde edilen yöntemde ise çok kristal silisyum güneş pillerinin maliyetleri daha ucuz olmakla birlikte verimlilikleri %2-5 oranında daha düşüktür. Verimlilikleri, laboratuvar koşullarında %18, ticari modüllerde ise %14'tür.
- **Galyum Arsenit:** Bu pillerle yapılan çalışmalarda; laboratuvar koşullarında %25 ve %28 optik yoğunlaştırıcılı verim elde edilebilmektedir. Farklı yarı iletkenlerle birlikte yapılan çalışmalar da çok eklemli GaAs piller kullanılarak verim %30 civarlarına çıkarılabilmektedir. GaAs güneş pilleri, uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde çoğunlukla kullanılmaktadır.
- **Amorf Silisyum:** Bu piller kristal yapı özelliği göstermezler. Laboratuvar koşullarında %10, ticari modüllerde %5-7 verim alınmaktadır. Kullanım alanları daha çok küçük elektronik cihazlar da güç kaynağı olarak

kullanılmaktadır. Direkt güneş ışınımının az olduğu bölgelerde bu tip piller santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Farklı bir kullanım alanıysa, binalarda entegre olarak yarı saydam cam yüzeylerde, bina dış yüzey koruyucusu ve enerji üretmek için kullanılabilir.

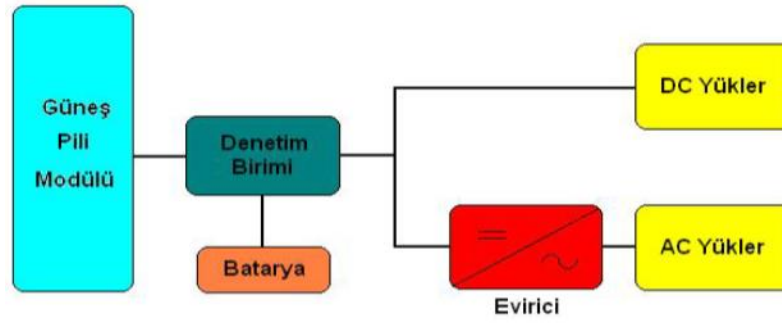
- **Kadmiyum Tellürid:** Çok kristal bir yapıda olan CdTe'ler de laboratuvar koşullarında %16, ticari modüllerde %7 verim alınmaktadır. Bu pillerin kullanılmasıyla güneş hücresi maliyetlerinin düşeceği tahmin edilmektedir.
- **Bakır İndiyum Diselenid:** Çok kristal bir hücre yapısına sahip bu pillerde laboratuvar koşullarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip modüllerde ise %10,2 verim alınmaktadır.
- **Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler:** Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla yapılan uygulamalarda modül verimi %20, hücre verimi ise %30'ların üzerine çıkmaktadır. Yoğunlaştırıcılar genellikle basit ve ucuz plastik malzemeden veya camdan üretilmektedir.

Günümüzde güneş pilleri elektrik enerjisi üretmek için yapılan tüm uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. PV modülleri tasarlanan uygulamalara bağlanarak, akümülatör, invertör, akü şarj denetleme aygıtları ve farklı elektronik destek devreleri ile beraber kullanımlarında PV sistemini oluşturmaktadırlar. Temelde şebeke bağlantılı PV sistemleri, şebekeden bağımsız PV sistemleri ve karma PV sistemleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (YEGM, 2016).

### 3.1.1. Şebekeden bağımsız PV sistemleri

Önceleri yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yerlerde, jeneratöre yakıt taşımalarının çok zor olduğu maliyetin fazla olduğu durumda kullanılırken, şimdilerde ise şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde şebeke bağlantısı olan evlerin çatılarında kurulabilmektedir. Gelişen santral uygulamalarında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte sistemlerin ürettiği enerji miktarı 1 W'tan 100 kW'lara kadar ulaşabilmektedir (YEGM, 2016).

Şekil 3.2'de sistemin şematik yapısı verilmiştir.

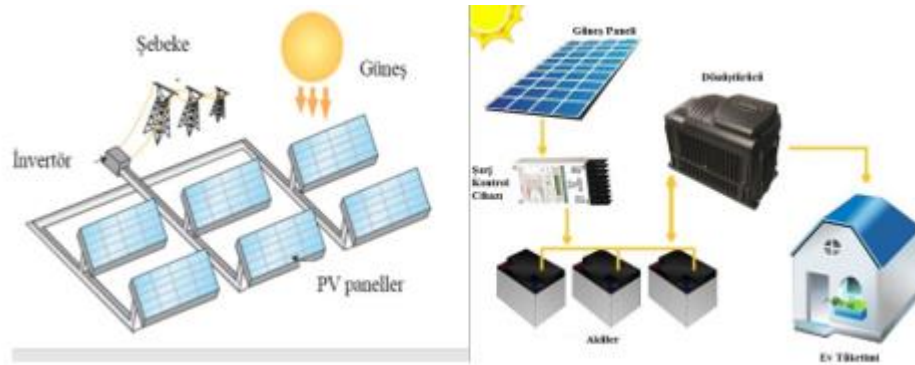


Şekil 3.2. Şebekeden bağımsız PV sistemlerinin şematik yapısı.

### 3.1.2. Şebeke bağlantılı PV sistemleri

Yüksek kapasiteli güç santrallerinde ve güç kapasitesi az binalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse bir evin elektrik ihtiyacı bu sistemden karşılanıp fazla üretilen elektrik şehir şebekesine verilebilmektedir. Gerekli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şehir şebekesinden enerji alınmaktadır. Bu sistemler depolamaya ihtiyaç duymazlar, sadece üretilen elektriğin doğru akımdan alternatif akıma çevrilmesi ve şebekeyle uyumlu olması gerekmektedir (YEGM, 2016).

Şekil 3.3’de sistemin şematik yapısı verilmiştir.

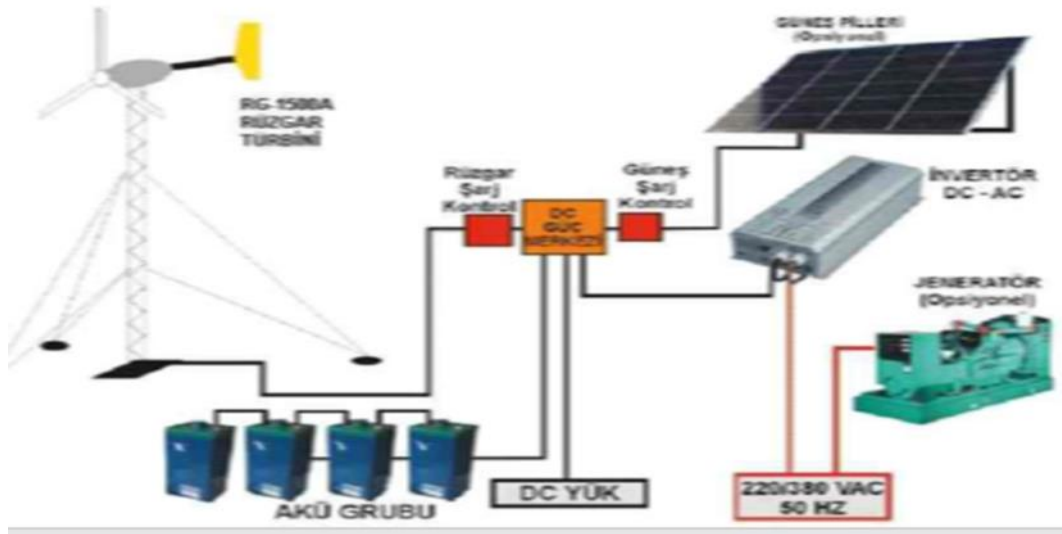


Şekil 3.3. Şebeke bağlantılı PV sistemlerinin şematik yapısı.

### 3.1.3. Karma PV sistemleri

Güneş panellerin dışında elektrik üreten başka sistemlerin de olması durum da hibrid bağlı sistemler mevcuttur. Birincil elektrik üretim kaynağı güneş panelleri olup, gerektiğinde devreye alınabilen ikincil bir enerji kaynağı sisteme elektrik üretebilir.

Şekil 3.4. Karma PV sistemlerinin şematik yapısı gösterilmektedir.



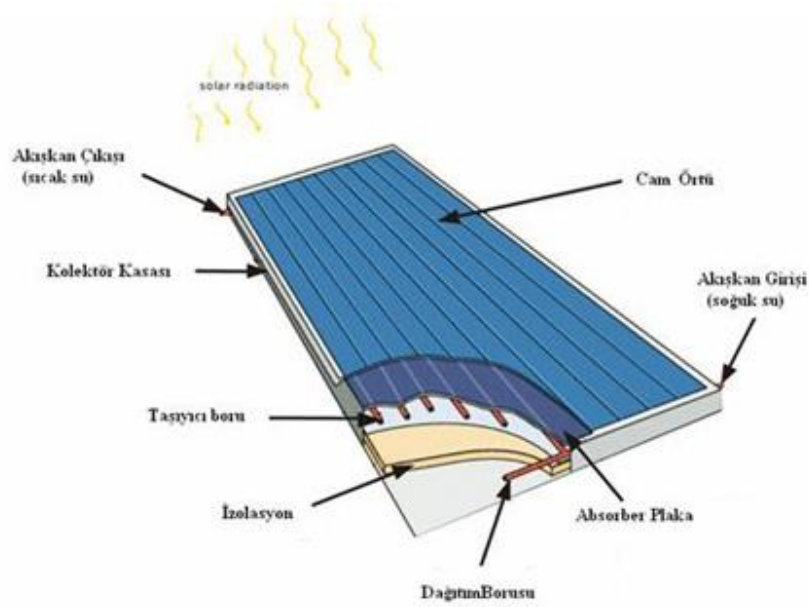
Şekil 3.4. Karma PV sistemlerinin şematik yapısı.

### 3.2. Isıl Güneş Enerjisi Teknolojisi ile Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş enerjisi uygulamaları ısı ve elektrik üretimi olarak ikiye ayrılmaktadır. Isı üretimi ise düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üçe ayrılmaktadır

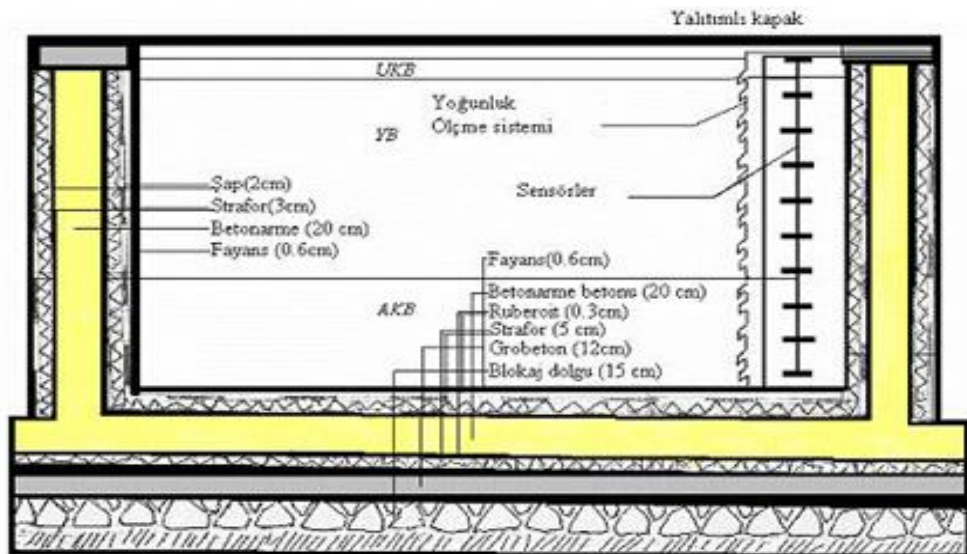
#### 3.2.1. Düşük sıcaklık uygulamaları

- **Düzlemsel Güneş Kolektörleri:** Güneş enerjisini toplayıp bunu bir akışkana ısı olarak aktarabilen sistemlerdir. Çoğunlukla evlerde sıcak su ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Sıcaklıkları maksimum 70 °C'dir. Düzlemsel güneş kolektörlerin yapısı üst sıradan alt sıraya doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında belirli bir miktarda boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümlerin hepsini içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Emici plakanın yüzeyi çoğunlukla koyu renkli olup bazı durumlar da seçiciliği artırmak için özel bir maddeyle kaplanabilir. Düzlemsel güneş kolektörleri, bölgenin enlemine bağlı olarak güneşi en üst seviyede alacak şekilde ve sabit bir açıyla kurulurlar. Bu sistemler, evlerin yanında, yüzme havuzlarında ve sanayi tesislerinde sıcak su sağlanması için rahatlıkla kullanılabilir. Şekil 3.5'te düzlemsel güneş kolektörünün yapısı gösterilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.5. Düzlemsel güneş kolektörünün yapısı.

- **Güneş havuzları:** Emilen güneş ışınımını yaklaşık %20 verim ile ısı enerjisine çevirir. 5-6 m derinliğinde içi su ile dolu olan zemini siyah renkle kaplı güneşten ışınımınla 90 °C'de sıcak su elde etmek amacıyla kullanılır. Suya eklenen tuz yoğunluğunun ayarlanmasıyla ısının havuz içinde dağılımı düzenlenir. Tuz yoğunluğundan dolayı dibе çöker ve böylelikle zemin renginin de siyah olmasından dolayı bu bölgedeki su daha sıcak olur. Dipte elde edilen sıcak su dışarıya pompalanarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 3.6'ta güneş havuzlarının yapısı verilmiştir (YEGM, 2016).



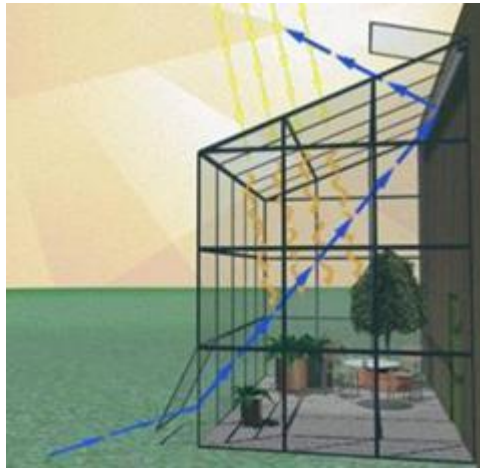
Şekil 3.6. Güneş havuzlarının yapısı.

- **Su arıtma sistemleri:** Çok derin olmayan bir havuzun üst yüzeyine eğim verilmiş olup cam-şeffaf bir yüzeyle kapatılmıştır. Havuzun içinde suyun güneşten gelen ışınlarla ısınması sonucu buharlaşan su kapaklar üzerinde yoğunlaşması sağlanır. Böylelikle su bir kaba toplanmaktadır. Bu yöntem daha çok temiz su kaynaklarının az bulunduğu yerlerde kullanılır. Şekil 3.7’de su arıtma sistemlerinin yapısı verilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.7. Su arıtma sistemlerinin yapısı.

- **Güneş mimarisi:** Bu yöntemde binaların inşaatı esnasında dış yüzeylerine güneş pilleri ve güneş kolektörleri döşenmesiyle, binanın iklimlendirilmesi ve iç aydınlatmasında yararlanılmaktadır. Şekil 3.8’te güneş mimarisi yapısı verilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.8. Güneş mimarisi yapısı.

- **Ürün kurutma ve seralar:** Bu sistemler basit yapıda olabileceği gibi iklimlendirmeyi sağlayabilecek karışık yapıda da olabilir ve daha çok tarım alanında kullanılan bir yöntemdir. Şekil 3.9’da ürün kurutma ve seralar görseli verilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.9. Ürün kurutma ve seralar.

- **Güneş Ocakları:** Çanak şeklinde yapıya sahip olup, çanağın iç kısmı ışınımı yansıtabilmesi için özel bir malzemeden yapılmıştır. Genellikle yemek pişirmede kullanılır. Şekil 3.10’da Güneş ocakları gösterilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.10. Güneş ocakları.

- **Güneş Bacaları:** Güneşle ısınan yüksek havanın yükselmesi prensibine dayanan enerji santralleridir. Güneşi geçiren düz yüzeyin altında ısınan hava ortadaki bacadan yükselirken yüksek hızlara ulaşmaktadır. Oluşan rüzgârın kinetik enerjisi türbin yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir. Teoride 30-100 MW güç üretebilir. Şekil 3.11’de Güneş bacaları şekli gösterilmiştir (YEGM, 2016).

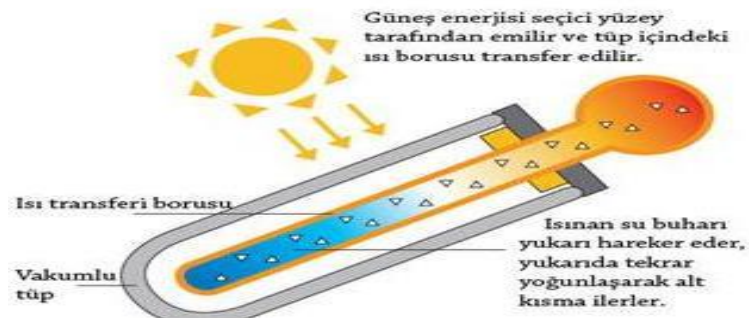


Şekil 3.11. Güneş bacaları.

### 3.2.2. Orta sıcaklık uygulamaları

Sıcaklığın 100 °C-350 °C arası olan uygulamalardır.

- **Vakumlu Güneş Kollektörleri:** Vakumlu cam borular ve gerekirse emici yüzeyine gelen enerjiyi yükseltmek için metalik ya da cam yansıtıcılar kullanılabilir. Bu sistemler daha yüksek sıcaklıklara (100-120 °C) ulaşabildiği için kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yiyecek dondurma ve bina soğutmada aktif olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.12’de vakumlu güneş kolektörünün yapısı verilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.12. Vakumlu güneş kolektörünün yapısı.

### 3.2.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları

Yoğunlaştırıcı sistemlerin çalışma prensibi, güneş enerjisinin sıcak su ve buhar üretiminde kullanılmasıyla açığa çıkan termal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi şeklindedir. Sıcaklığın 350°C den fazla olduğu uygulamalardır (YEGM, 2016).

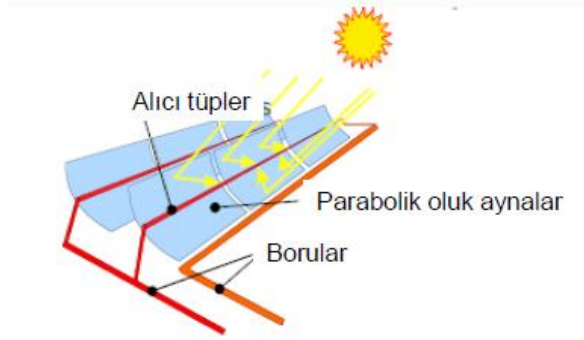
### 3.3. Yoğunlaştırıcı Sistemler ile Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş enerjisinin doğrusal ve noktasal yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanmasıyla oluşan kızgın buhardan, buhar türbinleri sayesinde elektrik üretilmesidir. Yoğunlaştırıcı sistemler genellikle aynı prensipte çalışmalarına rağmen, güneş enerjisini toplama biçimleri ve farklı özellikteki kolektörlerin kullanılmasıyla farklılık gösterir (YEGM, 2016).

Doğrusal yoğunlaştırmada; güneşten yansıtıcı yüzeye gelen ışınlar, odaklanma noktasına sahip alıcı yüzeyde toplanıp, yüzeyi oluşturan emici boru içerisinden geçen akışkan ısıtılır. Akışkanın ulaşacağı sıcaklık; akış hızı, anlık güneşin ışınım değerine ve yoğunlaştırma oranına bağlıdır. Bu sistemlerde kullanılan en önemli kavram yoğunlaştırma oranıdır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranıdır. Noktasal yoğunlaştırmadaysa, güneşten yansıtıcı yüzeye gelen ışınların tamamına yakınının, kule biçimindeki merkezi alıcının odak noktasına yansıtılmasıyla toplanması şeklinde yoğunlaştırma yapılmaktadır (YEGM, 2016).

#### 3.3.1. Doğrusal parabolik oluk kolektörler

Güneş ışınlarının enerjisi yoğunlaştıran parabol şeklindeki aynalarla bir boruya yansıtılması ve boru içindeki sıvıyı ısıtmasıyla oluşan yüksek basınçlı buhardan türbin vasıtasıyla elektrik enerjisi elde edilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Sıcaklık uygulamaları en fazla 400°C seviyelerine çıkmaktadır. Dünyada fotovoltaiik uygulamalardan sonra en fazla kullanılan yöntemdir. Şekil 3.13'te doğrusal parabolik oluk kolektörlerin yapısı gösterilmektedir (YEGM, 2016).

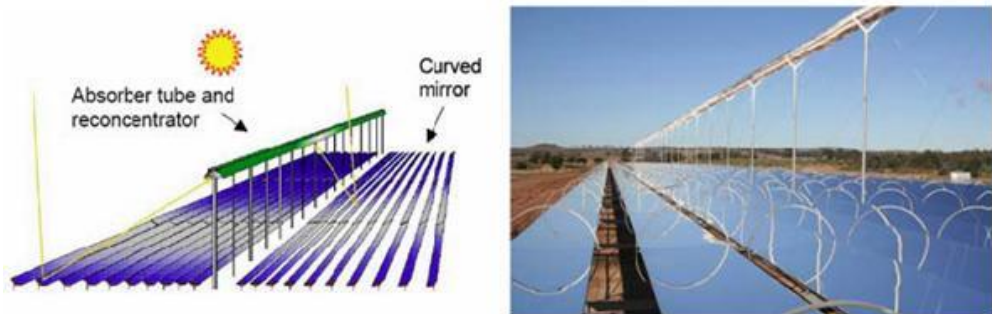


**Şekil 3.13.** Doğrusal parabolik oluk kolektörlerin yapısı.

Bu tez çalışmasının da konusu olduğu için 4. bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

### 3.3.2. Doğrusal fresnel oluk kolektörler

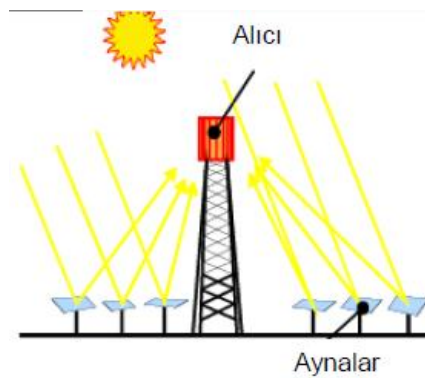
Yansıtma işlemi güneşi izleyebilen sıra sıra dizilmiş aynalarla gerçekleştirilir. Sabit bir yükseklikteki alıcı yansıtıcı aynalardan ortalama 10 m yükseklikte kurulur. Parabolik oluk kolektörlere göre yüksekliğin sabit olması bu sistemlerde optik verimin düşük olmasına neden olmaktadır. Işınımın dağılmasıyla yansıma kayıpları fazladır. Alıcı yüksekliğini düşürmekle optik verim artırılabilir. Fakat bu durumda da güneş enerjisini toplama alanı azalacağından daha çok kolektör kullanmak gerekir bu da yatırım maliyetlerini arttıracaktır. Yansıtıcı aynaların aynı hizada tutulması yerine yandan boylamasına bakıldığında parçalı oluklu sistemlere benzer şekilde sıralanmasıyla optik verim artırılabilir. En büyük santrali 31.4 MW büyüklükte olup Puerto Errad 1+2 İspanya'da dır. Şekil 3.14'te fresnel oluk kolektörlerin yapısı gösterilmiştir (YEGM, 2016).



**Şekil 3.14.** Fresnel oluk kolektörlerin yapısı.

### 3.3.3. Noktasal merkezi alıcılı kollektörler (Güneş kulesi)

Bu sistemlerde teke tek odaklama yapan heliostat aynaları kullanılarak, güneşten gelen ışınları, merkezi bir kule şeklindeki alıcıya yansıtılır ve yoğunlaştırılır. Alıcıda bulunan ve içinden geçen akışkan boru, güneş ışınlarını üç boyutta hacimsel olarak emer ve bu sıvının Rankine makineye pompalanmasıyla elektrik enerjisi üretilir. Isı transfer akışkanı olarak sıvı tuz veya hava kullanılmakta, sistemin sıcaklığı 800°C'ye ulaşmaktadır. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol altında tutulmaktadır, böylelikle alıcının sürekli güneş alması sağlanmaktadır. Bu sistemlerin kapasite ve sıcaklıkları, sanayilerde kıyaslanabilir düzeyde olup Ar-Ge çalışmaları sürmektedir. MW başına maliyet yaklaşık 3,5-4,5 Milyon €'bulup, 35000 m<sup>2</sup>/MW alan gereksinimi vardır. Şekil 3.15'te merkezi alıcılı güneş kulesi yapısı gösterilmiştir (YEGM, 2016).



Şekil 3.15. Merkezi alıcılı kollektörlerin yapısı.

Bu tez çalışmasının konusu olduğu için 5.bölüm de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

### 3.3.4. Noktasal merkezi alıcılı çanak kollektörler

Yüzeyleri yansıtıcı aynalarla kaplı olup, gelen güneş enerjisi aynalar vasıtasıyla Stirling motoru üzerine yoğunlaştırılıp, odaklama bölgesinden çalışma sıvısı alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Çanak kollektör ve Stirling motorlarla enerji verimliliği %30 civarlarındadır (YEGM, 2016).

Bu sistemden sağlanan elektrik, farklı yöntemlerle elektrik üreten santrallere yardım amacıyla kullanılır. Maden ocakları, radar istasyonları ve şehirden uzak yerleşim yerlerinde elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılır. Ayrıca endüstride buhar üretimi,

yeraltı enjeksiyonu ve petrol çıkarılması işlemlerinde de kullanılır. Küçük modüllerden oluştuğundan enerji ihtiyacı duyulan yerlerin yakınlarında ve ihtiyaç kapasitesinde tesis edilir. Henüz ekonomik olmayan parabolik çanak kolektörleri yapılacak araştırma çalışmalarıyla ekonomik hale getirilebilir. 10 kW'lık güç için 1 milyon €'luk bir yatırım maliyeti gerekmekte, bu yüzden pahalı bir teknolojidir.

Şekil 3.16'ta merkezi alıcılı çanak kolektörlerin yapısı gösterilmiştir (YEGM, 2016).



**Şekil 3.16.** Merkezi alıcılı çanak kolektörlerin yapısı.

### 3.3.5. Yoğunlaştırıcı fotovoltaiik kolektörler

Güneş enerjisi, sıklıkla silisyumlu fotovoltaiik hücreler tarafından soğurularak elektrik enerjisine dönüştürülür. Gereken silisyum miktarı fazlaysa enerji verimi düşüktür. Bu nedenle uygulaması pahalıdır. Silisyum harici ince filmler ya da CPV (yoğunlaştırıcı fotovoltaiik) teknolojileriyle, gereken ekipmanlar daha ucuza mal edilebilir. İnce film teknolojileri verimli ve güvenilirdir, üretimi ucuzdur. Ancak Ga, In gibi hammaddelerinin nadir bulunması ve pahalı olması yaygınlaşmasına engel olmaktadır. Gereken hammaddeler daha kolay ve ucuza temin edilebilirse güneş enerjisi, fotovoltaiik pillerle sık kullanılan kömür fueloil gibi yakıtlarla rekabet edebilir. Şekil 3.17'de CPV sistemleri gösterilmiştir (YEGM, 2016).



**Şekil 3.17.** CPV sistemleri.

CPV teknolojisi, az malzeme kullanılması dolayısıyla daha düşük maliyet, yüksek kazanç ve daha kullanışlı pratik bir yol sunmaktadır. CPV, güneş ışınlarını küçük bir hücrenin ( $1 \text{ cm}^2$ ) üzerine odaklar ve enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. CPV teknolojilerinde ayna ve mercekler gibi daha ucuz optik yansıtıcılar ve yoğunlaştırıcılar kullanılır (YEGM, 2016).

CPV teknolojisinde ışığın odaklandığı hedef noktaya Silisyumdan farklı bir yarı iletken malzeme yerleştirilir. Çok küçük bir alana optik yoğunlaştırıcılarla ışık ışınlarının odaklanması ile daha yüksek kazanım sağlanabilmektedir. Burada kullanılan malzemeler Silisyumdan yaklaşık 10 kat daha pahalı olmasına rağmen yüksek verim ve birim başına sadece  $1 \text{ cm}^2$  kadar yarı iletken kullanımından dolayı metrekare başına maliyet daha düşük olmaktadır. Hatta son yıllarda yapılan çalışmalara göre; bu sistemlerde çok modüllü güneş hücrelerinin kullanılmasıyla verim yaklaşık %40'lara ulaşmıştır. Çok modüllü PV sistemler, güneş spektrumunun daha geniş bir kısmını soğurarak daha çok enerji üretmektedir (YEGM, 2016).

Sonuç olarak, aynı miktardaki enerji için, diğer PV sistemlere göre aktif yarı iletken malzemenin maliyeti binde biri kadardır. Üretilen elektriğin maliyeti günümüzde kullanılanın yarısından azdır. Doğrusal kollektörlerin veriminin yaklaşık iki katı verime sahiptir (YEGM, 2016).

### 3.3.6. Yoğunlaştırılmış güneş enerjili hibrid santral (Güneş lalesi)

Sistemin literatürdeki adı Solar Tulip, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi hibrid santral anlamına gelmektedir. Sistemin boyu yerden 35 metre yükseklikte olup 50 adet aynanın odaklanmasıyla güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sistemle maximum 80 ailenin elektrik ihtiyacı karşılanabilmektedir. Fakat türbin bölgesindeki hava sıcaklığı 1000 °C'lere çıkabilmektedir. Sıcaklık farkından oluşan sıcak hava akımıyla türbin döndürülür. Şekil 3.18'de güneş lalesinin yapısı gösterilmiştir (Inhabitat, 2010).



Şekil 3.18. Güneş lalesinin yapısı.

## 3.4. Güneş Termal Güç Santrallerin Tasarım İlkeleri

### 3.4.1. Güneş enerjisi ve iklim değerlendirmesi

Kurulacak olan santral bölgesinin yıllık güneşlenme süresi en az 2000 saat olmalıdır. Yıllık m<sup>2</sup> başına 1500 kWh'lık güneş enerjisi ışımasına ihtiyaç vardır. Günlük en az ortalama 4 saatlik güneşlenme süresinin olması ve yıl içinde en az 150 gün bu şekilde olmalıdır. Bu koşulları sağlayan bölgelerde güneş santral tasarımları çalışmalarına başlanabilir (YEGM, 2016).

### 3.4.2. Uzun dönem performans değerlendirmesi

Değerlendirme yapılırken saatlik direkt güneş enerjisi değerleri kullanılır. Değerlerin ölçülemediği sürelerde bir simülasyon programıyla toplam günlük güneş enerjisi miktarları hesaplanmaktadır. Coğrafi alan ve kolektörlerin seçiminde uzun dönem yıllık güneş enerjisi verilerinden yararlanılmaktadır (YEGM, 2016).

### 3.4.3. İzleme modülünün seçimi

Doğrusal yoğunlaştırıcı kollektörleri, Kuzey-Güney veya Doğu-Batı doğrultularında yerleştirilebilir. Yön tayini yaparken maksimum güneş enerjisinin hangi doğrultudan geldiği dikkate alınarak kollektör yerleştirilmesi yapılır. Kuzey-Güney doğrultusunda yerleştirme yapılırsa verim daha fazladır (YEGM, 2016).

### 3.4.4. Parametrelerinin optimizasyonu

Doğrusal yoğunlaştırmalı sistemlerinde ısı akışkanı olarak termal yağ kullanılmaktadır. Çalışma parametrelerinin optimizasyonda alttaki unsurlar önemlidir. Isı transfer yağının seçiminde, uygun ısı transfer akışkanının seçilmesiyle santralin verimliliği artırılabilir. Bu akışkanın dolaştığı sistem parçaları, 0°C ile 300°C arasında değişen sıcaklıklarda bulunurlar. Güç santrallerinde kullanılan ısı transfer akışkanında aşağıdaki özellikler aranır.

- Yüksek yanma noktası 500°C 'den büyük
- Düşük buharlaşma basıncı
- Düşük sıcaklıklarda yüksek akışkanlık
- Yüksek yoğunluk
- Yüksek sıcaklıklarda 300°C'de sürekli çalışabilme

Bu kriterlerin hepsini sağlayan bir yağda ayrıca 0°C ile 300°C arasında basınç düşmesinin minimum olmalıdır (YEGM, 2016).

### 3.4.5. Basınç düşmesi

Güneş santrallerinin önemli çalışma prensiplerinden biriside işletme basıncıdır. İşletme basıncının maksimum ve minimum değerleri, işletme sıcaklığının maksimum ve minimum değerleriyle sınırlanır. Bu basıncın alt limiti ısı transfer akışkanının buharlaşmasını engellemelidir (YEGM, 2016).

### 3.4.6. Boru boyutlandırması

Sıvının sistem içinde rahat hareket edebilmesi için kullanılan boru şebekesi, emici borulardan ve elastik yapılardaki hortumlardan oluşmalıdır. Kollektörlerde bulunan emici borular sabittir. Kollektörler arasındaki bağlantıyı sağlayan borular elastik yapıda ki hortumlar hareketli olduğu için uygun olarak boyutlandırılması çok önemlidir. Boruların çapının artırılmasıyla akışkan hızı ve basıncı düşer. Hızın düşmesiyle artan ısı kayıpları maliyeti arttırmaktadır. Borunun çapı belirlenirken, sistem

iç basıncının alçalmasının minimum olmalıdır. Sistem basıncı işletme maliyetinin minimum seviyeye getirmesine önem verilmelidir (YEGM, 2016).

#### **3.4.7. Kapasite seçimi**

Sistemin kolektör giriş ve çıkışları arasındaki sıcaklık farkı maksimum yapılmalıdır. Isı tranfer akışkanı kolektörlerden aldığı enerjinin hepsini buhar jenaratörüne bırakıp, en az sıcaklıkta sisteme geri dönmelidir. Isı değişimi sağlayan yapı buhar jenaratörünün verimini arttırmaktadır (YEGM, 2016).

#### **3.4.8. Korozyon**

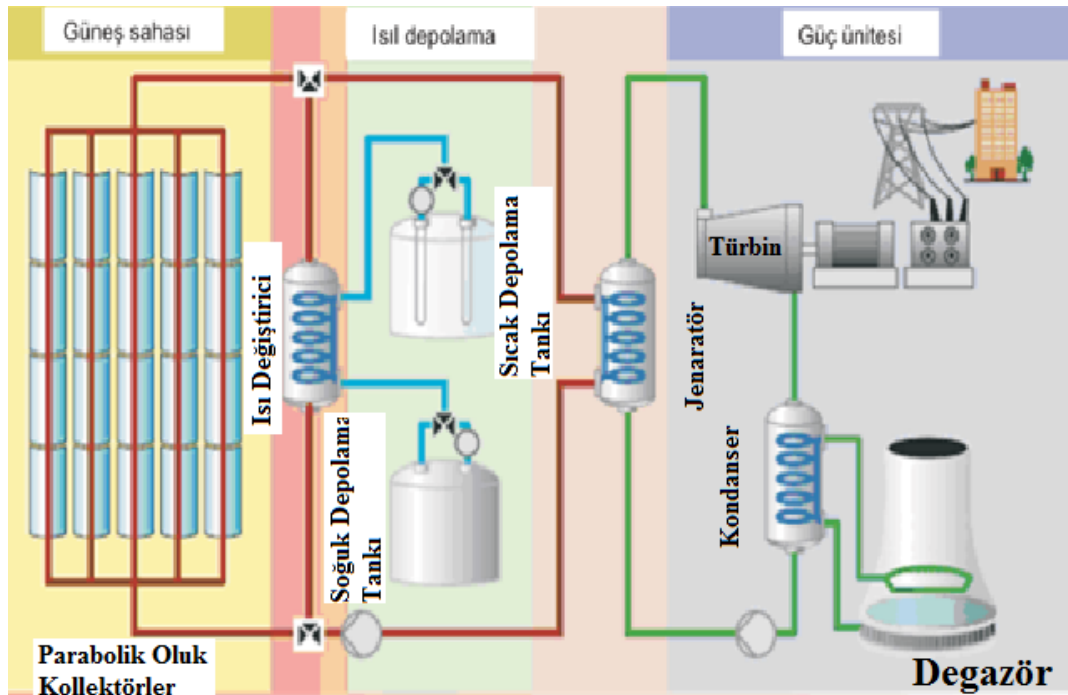
Prosesin kısımlarının ve kolektörlerin korozyona maruz kalmaması için ısı kayıpları en az seviyelerde tutulmalıdır. Yoğunlaşan buhar, ısı değişimi ayarlayan birimde korozyona meydan vermemesi için kaliteli ısıtıcılarda kızgın buhar haline getirilir ve sistemde bu şekilde kullanılır (YEGM, 2016).

## 4. PARABOLİK OLUK KOLLEKTÖRLER

### 4.1. Parabolik Oluk Kollektörlerle Elektrik Enerjisi Üretilmesi

Parabolik oluk kollektörleriyle orta ve yüksek sıcaklıklarda elde edilebilen doymuş ya da kızgın buhar, sanayi tesislerinde direkt olarak ısıl amaçlı kullanılabilir, uygun bir termodinamik bir çevrimden geçirilerek elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu tip güç santralleri güneş tarlası, ısıl depolama ve güç ünitesi elektrik üretim için gerekli olan bölümlerden oluşmaktadır. Doğrusal yoğunlaştırma yaptırılan bu sistemlerde, proses ısısı için güneşten gelen ışınımınla 300°C 'nin üzerinde sıcaklıklara ulaşılabilir. Isı transfer akışkanı olarak su veya termal yağ kullanılır. Fakat yüksek kızgın buhar elde etmek için genellikle yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı termal yağ kullanılır. Sistem farklı bölümlerden oluşmuştur (YEGM, 2016).

Şekil 4.1'de termal parabolik oluk kollektör santralinin temel çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Termal parabolik oluk kollektörlü santralinin temel çalışma prensibi.

- **Güneş sahası:** Birinden bağımsız şekilde birbirlerine paralel olarak bağlanmış parabolik oluk kollektörden oluşan alandır. Parabolik oluk kollektörleri güneşten gelen ışınları genellikle 4 mm kalınlığında ve yüksek yansıtma oranı (bu oran yaklaşık %94 olan) aynalar kullanılarak, kollektörün odağında

bulunan emici borulara güneş ışınımaları yansıtılır. Parabolik oluk kollektörleri yatay olarak hareket kabiliyetleri engellenmeyecek şekilde yapılmış metal parçalardan oluşturulmuştur. Bu sistemlerde aynaların güneş ışınımalarını takip edebilmeleri için bir sensör ve takip sistemleri bulunmaktadır (YEGM, 2016).

- **Isı toplama elemanı:** Genellikle emici boru malzemesi olarak alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Yaygın olarak çelik kullanılmaktadır. Emici borunun yüzeyi cam tüpten oluşmaktadır. Güneşten gelen ışınımının yaklaşık %97'sini emebilen bir yapıdan olup, çelik alıcı boru ve cam-metal karışımı bileşiklerden oluşmuştur. Emici boruların üzerinde yüksek sıcaklıklardan dolayı oluşan ısı kayıplarını azaltmak için cam tüp ile emici boru arasına hava vakumlanmış ve vakum pompasıyla boşaltılmaktadır. Bu aradaki boşluk yaklaşık 0,1 atmosferlik bir basınç altındadır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan bu cam tüpler radyasyon kayıplarını minimum düzeyde tutabilmek ve geçirgenliğin fazla olması için emici borular selektif bir malzemeyle kaplanır. Selektif malzemelerin emicilikleri yüksek olmasına rağmen yansıtıcılığı düşüktür. Genellikle kaplama işlemi, püskürtme, elektroliz kaplama ve kimyasal banyo kaplama yöntemleriyle olur. Körüklü cam-metal birleştiriciler yüksek sıcaklıktan dolayı oluşan genleşmeleri en aza indirmek için kullanılır (YEGM, 2016).
- **Kontrol Sistemleri:** Güneş sahası kontrol sistemi, genel kontrol sistemi ve her kollektör gruplarında bulunan lokal kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Genel kontrol sistemi gelen güneş ışınımını takip eder buna göre sistemi duruma göre açar veya kapatır. Lokal kontrol sistemleriyle beraber kontrollü şekilde bu işlem yapılır. Lokal kontrol sistemleri kollektör gruplarının hepsini tek tek kontrol ederek güneşi takip etmelerini sağlar (YEGM, 2016).
- **Buhar Üretim Sistemi:** Ön ısıtma, buhar üretimi ve süper ısıtma bölümlerinden oluşmaktadır. Buhar 371°C ve 100 bar basınca bu birimlerden geçirilip elektrik üretmek için buhar türbinine ulaştırılır. Buhar yeni bir çevrime gönderilmeden önce yeniden aynı sıcaklıklara kadar ısıtılır ve tekrar türbine gönderilir. Bu işlemden sonra kondanserde soğutulan buhar sıkıştırılıp su haline getirilerek yeni bir çevrime gönderilir (YEGM, 2016).

Güneş enerjisinin yeterli, yetersiz veya hiç olmama durumuna göre sistem üç değişik şekilde çalışır. Güneş enerjinin yeterli olduğu durumlarda, ısı transfer akışkanı doğrudan güneş tarlasından geçer. Yetersiz veya hiç olmama durumlarında ise doğal gazlı ısıtıcılarla desteklenir veya tamamen bu ısıtıcılar devreye sokulur. Her iki enerji kaynağının da kullanıldığı durumlarda, hem güneş enerjisinden hem doğal gazdan yararlanabilmek için bypass vanası açık bırakılır. Bu durumda güneş tarlasında ısınan sıvı, destek ısıtıcılar yardımı ile çalışma sıcaklığına ulaşmaya kadar ısıtılır (YEGM, 2016).

Doğrusal yoğunlaştırıcı parabolik oluk kolektörün yapısı Şekil 4.2’de gösterilmiştir (YEGM, 2016).

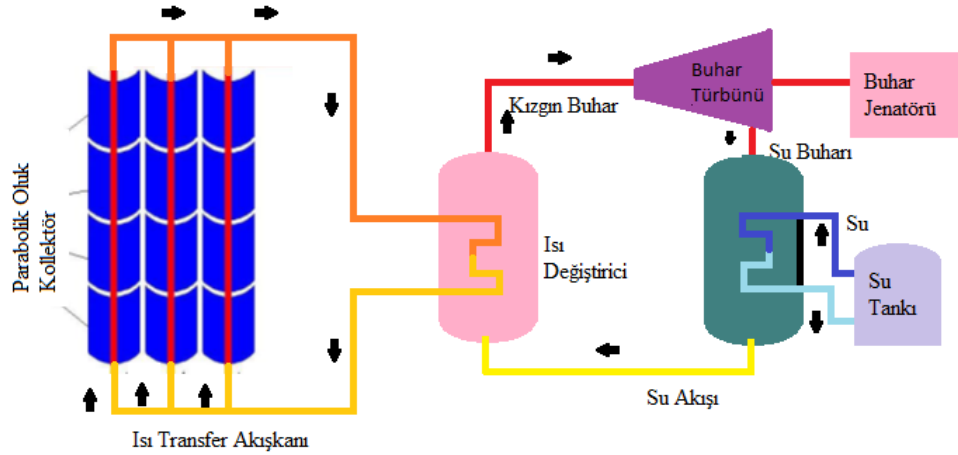


**Şekil 4.2.** Parabolik oluk kolektörleri.

Kolektörler genellikle güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için kuzey-güney ekseninde yerleştirilirler. Tek eksenli izleyiciler sayesinde doğu-batı yönünde de güneşi takip edebilirler (YEGM, 2016).

Parabolik oluk kolektörlerin kullanım amacı güneşten gelen ışınları minimum kayıpla ısı transfer akışkanına taşımak ve bu doğrultuda sistemde kullanılması gerekli malzemeler ve sistemin tasarlanması, sistemin kurulması gereken yerin ve sistemin çevresindeki ortamla uyumu çok önemlidir (YEGM, 2016).

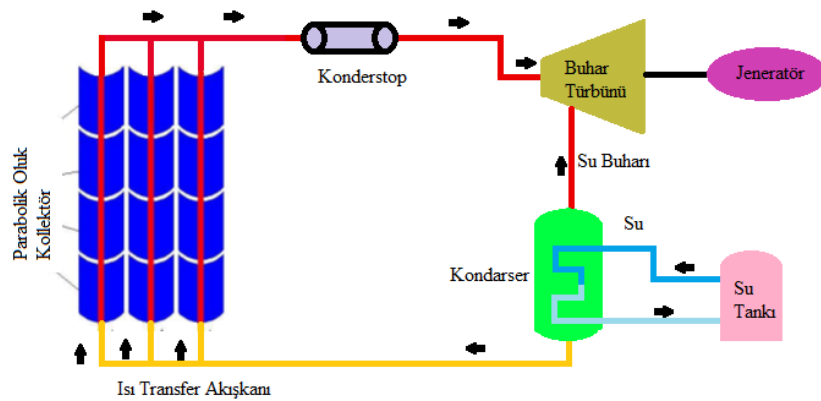
Isı transfer maddesi olarak yağ kullanılırsa vasıtalı yollarla buhar veya elektrik üretilmektedir. Şekil 4.3’de ısı transfer akışkanı olarak yağ kullanılırsa parabolik sistem gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Isı transfer akışkanı olarak yağ kullanılırsa şematik gösterimi.

Yoğunlaştırma işleminden sonra sıcaklığı yükselen yağ ısı enerjisini, yağdan daha düşük sıcaklıktaki suya ısı değiştiriciler yardımıyla aktarılmasıyla suyun buharlaşması sağlanmaktadır. Buharın buhar türbinine gönderilmesiyle elektrik enerjisi üretilir. Buhar türbininden çıkan su buharı soğutularak tekrardan su akışını sağlamak için sisteme borularla geri döndürülür.

Isı transfer aracı olarak su kullanılırsa, ısı değiştiricisine gerek kalmadan yoğunlaştırma işlemi yapılır ve bu sayede buhar buhar türbinine gönderilerek elektrik enerjisi üretilir. Şekil 4.4'te ısı transfer akışkanı olarak su kullanılırsa parabolik sistem gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Isı transfer akışkanı olarak su kullanılırsa şematik gösterimi.

Günümüzde daha yüksek verim elde etmek için doğrudan buhar üretimi ve özel tuz karışımları da kullanılmaktadır. Transfer sıvısı boruların içinden geçirilerek elde edilen ısı eşanjörler yardımıyla suya iletilerek ön-ısıtma, buhar jeneratörü kullanılarak buharlaştırma ve kızdırma işlemlerinden geçirilerek 390°C ve 70-90 bar kızgın buhar elde edilir. Rankin çevrimli buhar türbine gelen bu kızgın buharın türbini döndürmesiyle 350 MW'tan fazla enerji elde etmek mümkündür (YEGM, 2016).

## 4.2. Dünyada Parabolik Oluk Sistem Güneş Santral Uygulamaları:

### 4.2.1. Solar energy generating systems (SEGS)

ABD'nin Kaliforniya Eyaletinde Mojave çölünde 1984 yılında SEGS 1 kurulan 9 adet elektrik santralinden oluşmaktadır. Kurulu gücü 354 MW olan her bir santralin güçleri 1 adet 14 MW, 7 adet 30 MW ve 2 adet 80 MW santrallerden oluşmaktadır. Santralde parabolik oluk kolektörleri kullanılmakta olup kapasite faktörü %21'dir. SEGS1 sistemin uzunluğu 370 km olan 936.384 adet parabolik aynadan oluşmaktadır. Yansıtıcılar otomatik olarak gün boyunca güneşi takip etmektedir. Güneş ışınları Parabolik ayna odağına monte edilmiş borulara yansıtılır. Ortalama odaklanma oranı %71-80 arasındadır. Güneş enerjisi çıkış aralığı 307°C ye ulaşmaktadır. Sıcak ve soğuk tank olmak üzere 2 tanka sahiptir. Depolama sistemi 1999 yılında yangınla hasar görmüş fakat değiştirilmemiştir (NREL, 2017).



Şekil 4.5. SEGS I güç santrali (NREL, 2017).

#### 4.2.2. Nevada solar one

Acciona Enerji firmasının 1999 yılında ABD’de Nevada çölünde kurulan dünyanın 3. büyük tesisidir. Parabolik oluk kolektörlerinin kullanıldığı tesisin kurulu gücü 64 MW’lık nominal bir güce sahip olup maksimum 70 MW’lık üretim kapasitesine sahiptir. Senelik 134,000 MWh’lık enerji üretimi planlanmaktadır. 760 sıra parabolik oluk sistem ve 180.000 aynadan oluşmaktadır. Termal tüplerin her birinin uzunluğu 4 metre olup 18.240 adet kullanılmıştır. Güneş enerjisinin giriş sıcaklığı 318°C olup güneş enerjisi çıkış aralığı 393°C’ye ulaşmaktadır. Tesis 266 milyon dolara mal olup, yaklaşık 1.6 km<sup>2</sup>’lik bir alana kurulmuştur (NREL, 2017).

#### 4.2.3. Andasol

İspanya’nın güneyinde kurulan parabolik oluk yoğunlaştırıcılarından oluşan her biri 50 MW’lık kurulu gücü olan Andasol I 2008, Andasol II 2009 ve Andasol III 2011 yılında enerji üretmeye başlamıştır. Senelik olarak her bir santralden senelik 158,000 MWh’lık üretim kapasitesine sahiptir. Isı depolama tankları sayesinde güneşin olmadığı 7,5 saat tam verimle çalışabilmektedir. Sıcak ve soğuk tank olmak üzere 2 tanka sahiptir. Her bir tank 14 m yükseklikte ve 36 m çapındadır. Yıllık verimlilik %16 civarındadır. Güneş enerjisinin giriş sıcaklığı 293°C olup güneş enerjisi çıkış aralığı 393°C’ye ulaşmaktadır. Andasol I 300 milyon dolara mal olmuştur (NREL, 2017).



**Şekil 4.6.** Andasol I güç santrali (NREL, 2017).

Dünyada bulunan işletme halindeki parabolik oluk kolektör güneş santralleri EK1’de gösterilmiştir (NREL, 2017).

### 4.3. Türkiye’de Parabolik Oluk Kollektör Santral Uygulamaları

Zorlu Şirketler grubuna ait Hitit Enerji tarafından 2009 yılında Denizli’de deneme amaçlı parabolik oluk kolektörlerle çalışan bir güneş santrali kurulmuştur. Sistemin çıkış gücü 500 kWt’tır. Sistem sentetik yağ yerine su ile çalışmaktadır. Bu tesis hibrid olarak jeotermal enerji tesisi ile birlikte çalışabilmektedir. Şirket ABD Colorado şehrindeki Solar TAC daimi sergi sahasında, kurulan sistemin benzerini 1000 kW çıkış gücüne sahip bir tesisi gösteri amacıyla kurmuştur. Testleri halen sürmektedir.

2010 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Solitem şirketi işbirliğiyle üniversitenin Kıbrıs kampüsünde 120 kWt gücünde parabolik oluk kolektörlerle çalışan deneme amaçlı bir tesis kurulmuştur. Bu sistem, 216 m<sup>2</sup> gibi göreceli olarak küçük bir alanda güneş ışınımını toplayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi (MAM), İnosol Enerji ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi işbirliğiyle İstanbul İkitelli’de 500 kW kurulu güce sahip %100 yerli sermaye ile parabolik oluk kolektörleriyle enerji üretimi yapan bir tesis deneme amaçlı kurulmuştur.

Türkiye’de ileriki yıllarda şu an deneme amaçlı kurulan elektrik santrallerinin sayısında artış gösterecektir. Bu deneme tesisleri büyük projelere motivasyon kaynağı olmaktadır.

## 5. MERKEZİ ALICILI GÜNEŞ KULELERİ

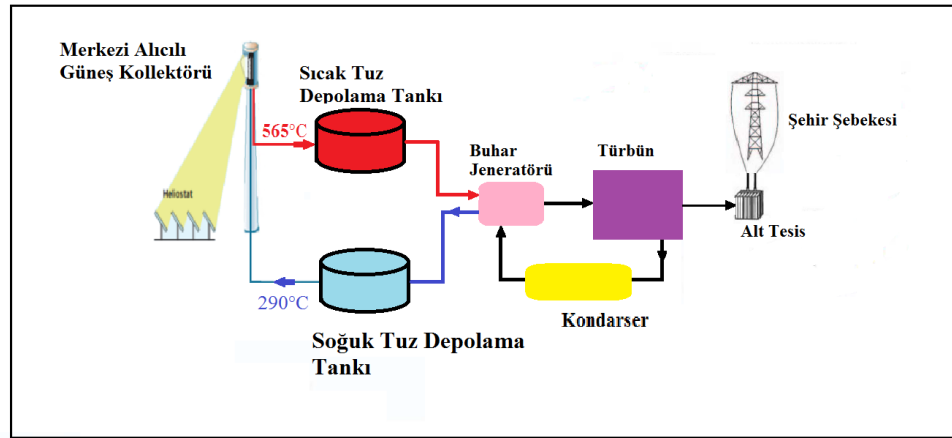
### 5.1. Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleri ile Enerji Üretimi

Merkezi alıcılı güneş kuleleri, güneşten gelen ışınları iki eksende izleyen ve ışınımı yüksek bir kule tepesine yerleştirilmiş olan ısı değiştiriciye (alıcı) yoğunlaştırarak ısıl enerjiden elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sistemde güneşten gelen ışınları yansıtan heliostat adında yüzlerce veya binlerce güneşi takip eden aynalar kullanılır. Şekil 5.1'de Heliostat ayna görseli gösterilmiştir. Güneş kulesi santrallerinde kurulu güçleri 30 MW'dan 400 MW'a kadar enerji üretimlerine uygundur. Bu sistemlerle 1000°C'nin üzerinde sıcaklıklar elde edilebilmektedir.



Şekil 5.1. Heliostat ayna görseli.

Sistemin çalışma prensibi; güneş güç kulesinde bulunan 290°C olan sıvı haldeki erimiş tuz akışkanı soğuk depolama tankından ısı değiştiricisine pompalanır, burada sistemin sıcaklığı 565°C'ye kadar çıkarılır ve sıcak depolama tankına gönderilir. Bu sistemlerden enerji üretileceği zaman, sıcak tuz, rankine çevrim buhar türbini ve buhar jeneratör sistemini çalıştırmak için kızgın buhar üreten sisteme gönderilir. Buhar türbininden enerjisi alınan buhar kondanserde yoğunlaşması, soğutma suyu boruların buhardan ısı almasıyla gerçekleşir ve tekrardan soğuk depolama tankına geri gönderilir. Burada depolanır, ihtiyaç halinde tekrardan sisteme alınır. Merkezi alıcılı güneş kolektörlerinin şematik olarak çalışması Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.2.** Merkezi alıcılı güneş kolektörlerinin şematik olarak gösterimi.

Diğer ısı uygulamalara kıyasla daha verimli olmasına rağmen sistemin sıcaklığın çok yüksek derecelere kadar çıkabildiği için emniyet ve güvenlik bu sistemlerde çok önemlidir.

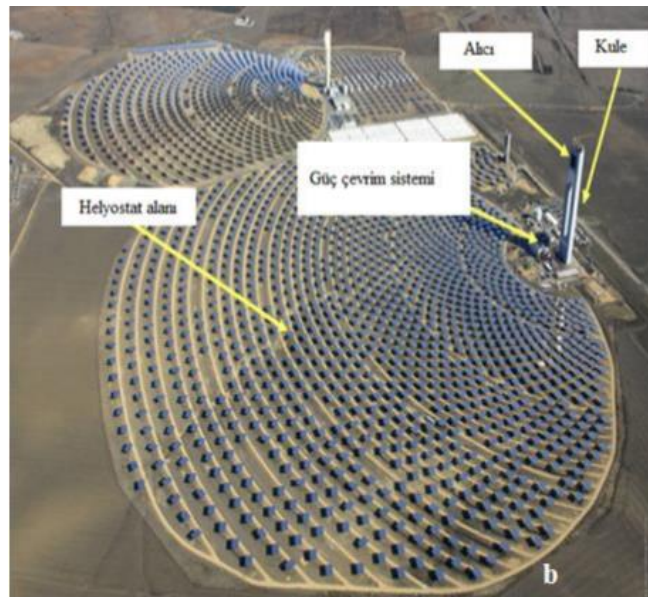
Merkezi alıcılı güneş kulelerinin alıcılarında günümüzde doğrudan su buharı ve nitrat tuzları kullanılır. Tuzlu su alıcıdaki ısıyı alarak buharlaşmakta ve buhar türbinini döndürüp elektrik üretimini sağlamaktadır. Su kullanılan uygulamalar diğerlerine göre ekonomik olmasına rağmen ısı verimleri düşüktür. Akışkan madde olarak gaz kullanıldığı durumlarda enerji dönüşümü gaz türbinleriyle sağlanmaktadır. İlk uygulamalarda su buharı direk olarak alıcıda üretilirken şimdilerde yüksek ısı iletim gücüne sahip ve ısı depolama özelliğinden dolayı erimiş nitrat tuzları kullanılır. Kullanılan bu potasyum nitrat ve sodyum nitrat tuzlarının yanıcı ve zehirleyici olmaması nedeniyle bu sistemlerde güvenle kullanılabilir. Tuzun kazara yere dökülmesi halinde tuz toprağa zarar vermeden, kürek yardımıyla tuz tekrardan sisteme tekrardan ilave edilebilir. Sistemin çalışmasında herhangi bir zararlı gaz ve radyasyon oluşmaz ve çevreye herhangi bir zarar vermezler.

En uygun depolama kapasitesini belirleyebilmek için sistemin tasarım projesinin çok iyi yapılmalıdır. 13 saatte kadar tam kapasiteyle üretim yapabilmek için türbin gücünü yeterli kapasitede karşılayabilmesi için depolama tankları uygun tasarlanmalıdır. Tesisin yıllık verimini etkilemeyecek şekilde heliostatlar ve kulenin

çevresindeki alan uygun şekilde düzenlenmelidir. Alan ve alıcının boyutu tesisin ihtiyacı olan büyüklükte kuruluş gücüne göre değişim göstermektedir. Tam kapasite de üretim yapan tesiste aynı anda ısıl depolama sistemi de yapılabilir. Güneş kulesi sistemi tarafından karşılanan ısıl gücün, türbün jeneratörü pik ısıl güç gereksinimine oranına Güneş Çarpanı denir.

Birden çok sayıda diziler halinde bulunan, heliostat aynalar güneşi iki eksende takip ünitelerinden oluşan heliostat alanıdır. Santralin güneş bölümü ile konvansiyonel güç blok bölümü bir arayüz olan alıcı kısmıdır. Bu bölüm yoğunlaştırılmış akının soğurulduğu bölümdür. Diğer bir kısımda buhar jeneratörü ve türbin sistemini içine alan güç bölümüdür. Ayrıca güneş kulesi sistemlerinde ana kontrol birimi, kesintisiz güç kaynağı ve ısı atıcı sistemleri bulunmaktadır.

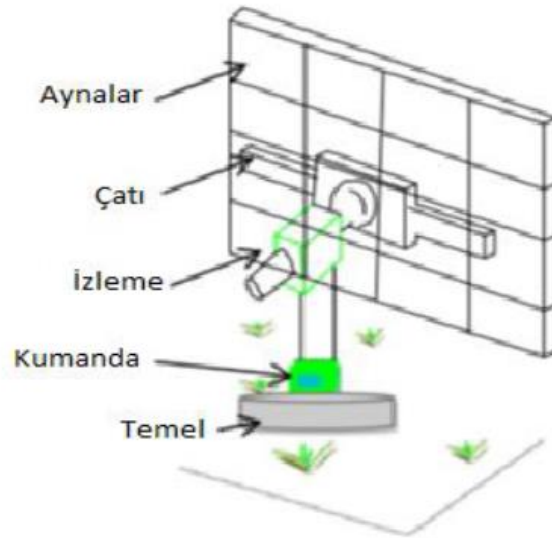
Şekil 5.3' te sistemin şematik yapısı gösterilmiştir (Alnaser, 2004).



Şekil 5.3. Güneş kulesi sisteminin bileşenleri.

## 5.2. Merkezi Alıcılı Güneş Kulelerinde Toplayıcı alan

Birden çok heliostat aynalarından oluşan toplayıcı alanda bulunan heliostatların temel birleşenleri dizi ayna, takip izleme sistemi, çatı, yapı temeli ve kontrol sistemleridir. Her bir heliostat 100-120 m<sup>2</sup> lik geniş yansıtıcı yüzeye sahip, hafif ve eskiye nazaran daha ucuz malzemelerden üretilebilmektedir. Şekil 5.4'te heliostatın temel birleşenleri gösterilmiştir (Behar, 2013).



**Şekil 5.4.** Heliostatın temel birleşenleri.

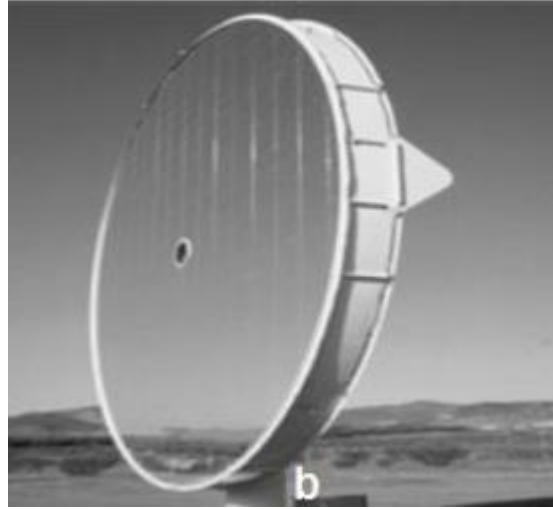
Birçok uygulamada metrekareye düşen birim maliyetini azaltmak için heliostatların üretiminde iki temel bakış biçimi geliştirilmiştir. Bunlardan ilki farklı ayna kesitlerinden imal edilmiş eğri yüzeyler kullanılarak yansıtıcı yüzeyin alanı arttırılmaktadır. Yansıtıcı alanın büyütülmesi beraberinde optik hataları ve heliostatların temizlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu aynalar güneşi iki eksenli olarak takip edebilmektedirler. Şekil 5.5'te sıradan kesimli aynadan yapılmış heliostat yapısı gösterilmiştir (Lovegrove, 2004).



**Şekil 5.5.** Sabit kesimli aynadan yapılmış 120 m<sup>2</sup> lik heliostat yapısı.

İkincisi ise yeni tipte yansıtıcı malzemeden ve gerdirilebilir membran heliostatlarında polimer yansıtıcılar kullanılmaktadır. Bu membranlar ince cam aynalarla kaplanmaktadır. Bunun dışında birçok yansıtıcı polimer film çeşitleri

denenmiş olup bunlardan gerekli performans alınamamıştır. Bu çeşit heliostat aynalarında odaklanma, heliostat gövdesinin içine küçük bir vakum yapılarak sağlanmaktadır. Böylelikle heliostatların üzerlerine düşen güneş ışınları, kuledeki alıcılara odaklanarak gönderilmiş olur. Şekil 5.6’te gerili membran heliostat aynasının görseli gösterilmiştir. Şuanki uygulamalarda optimum heliostat büyüklükleri 100 m<sup>2</sup> ile 150 m<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Lovegrove, 2004).



Şekil 5.6. Gerili membran heliostat aynasının görseli.

### 5.2.1. Heliostatların izleme, hareket ve kontrol sistemleri

Sistemin performansı, tesisin yıllık verimi ve ekonomiklik bakımından heliostat alanın düzenlenmesi çok önemlidir. Kule yüksekliğinin belirlenmesi, buna uygun heliostat boyutlarının uygun olması, heliostat alanın etkin olarak kullanılabilmesi, heliostat aralıklarının gölgelenmelere engel olmak için uygun belirlenmesi sistem için önemli değerlerdir. Dünya da kabul görmüş, Siala ve Elayeb tarafından bulunmuş olan heliostat alan dizayn metodu örnek alınarak HELIOYER isimli yazılım programı geliştirilmiştir. Bu programla heliostatların belli bir aralıkla düzenlemesi, gölgelenmelerin engellenmesi ve yerleşim planı grafiksel olarak belirlenebilmektedir. Yöntemin en önemli tarafı heliostat alanının yuvarlaklara ayrılması ve her bir yuvarlağa bir heliostat ayna yerleştirilmesinin yapılmasıdır. Bu programda her bir yuvarlağın yarıçapı belirlenip diğer yuvarlağın yarı çapının olması gereken değerin belirlenmesi ve buna göre heliostatların yerleri belirlenebilir. Her bir güç değeri için heliostatın uzunluğu, heliostatın boyu, heliostat merkezinin yerden yüksekliği, alıcının boyutları,

ışımının yansıtıldığı alıcının odak noktasının yerden yüksekliği, arazi eğimi ve alan yarı çapları programa girilerek olması gereken ayna boyutu, alıcının boyutu, kulenin boyunun yüksekliği, alan yarıçapı ve heliostatların hangi konumda yerleştirileceği hesaplanabilmektedir (Siala, 2001).

Yoğunlaştırılmış güneş ışınımının hesaplanmasında yaygın olarak ışın izleme ve sarım yöntemleri kullanılmaktadır (Garcia, 2008).

- Işın izleme yönteminin amacı, birinci yüzeyden gelen ışın demetlerinden rastgale seçilmesi ve ikinci yüzeye bu ışınlardan hangilerinin ulaştığının bulunması prensibine dayanır. Yüzeye etki eden ışınımın sayısı yüzeyde oluşan ışınım ile doğru orantılıdır (Garcia, 2008).
- Sarım yönteminde ise aynalardan yansıtılan ışınlar, güneşin geliş şekli ve heliostat hatalarına denk gelen normal Gauss dağılımlarının sarımları ile hesaplanabilen konum hataları ile değerlendirilmektedir (Lovegrove, 2004).

Heliostat aynaların hareket mekanizması hataları diğer hatalardan daha fazladır. Heliostat hareket mekanizmalarının sistemi karşılayabilmesi için bazı özellikleri olmalıdır;

- Hareketli mekanizmaları ve rüzgârdan dolayı oluşan sarsıntıları en aza indirecek şekilde dayanıklı olmalı ve alçak frekanslı titreşimlerin önüne geçebilmesi için sert bir yapıda olmalıdır.
- Yüksek indirgenme olaylarıyla birlikte yavaş hareket kabiliyetleri olmalıdır.
- Güneş ışınlarını alması için hassas konumlanma yapılabilmesi için aynalar tek başlarına rahat hareket edebilme kabiliyetleri olmamalıdır.
- Şiddetli rüzgarlara ve farklı hava olaylarında durma konumuna çabucak getirilebilmedir. Böylelikle bu olaylardan en az şekilde etkilenmiş olurlar.
- Dışarıdan gelen olumsuz etkilere karşı sağlam bir yapıda olmalı, bakımları kolay olmalı ve üretim maliyetleri düşük seviyelerde olmalıdır.

### **5.2.2. Merkezi alıcılı güneş kulelerinde saha verimliliği**

Heliostat alan verimlilikleri optik alan olarak açıklanmaktadır. Optik verimlilik dediğimiz şey, alıcıya gelen net ışınımın, güneşten gelen ışınımın toplam ayna alanıyla çarpımına oranıdır. Merkezi alıcılı güneş kulesi santrallerinde, kosinüs kayıpları, engelleme, gölgeleme kayıpları ve atmosferik sönmelenme sistemin optik

verimliliğini etkileyen faktörlerdir (Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yüksek Planlama Kurulu, 2009).

- **Kosinüs Kayıpları:** Alıcıya gelmesi planlanan ışınımın heliostat ayna düzleminden alıcıya aktarılması doğrudan gelen normal ışınım ile alıcı açısı arasındaki açının açıortayı doğrultusunda olmalıdır.
- **Engelleme:** Yansıyan ışınımın alıcı yerine diğer heliostat aynalarının arkasına çarpması sonucu oluşmaktadır.
- **Gölgeleme:** Güneşten gelen ışınımın heliostat ayna düzlemine düşmediği durumlarda gerçekleşir. Bazen kulenin de gölgelemesi bu kapsama girmektedir. Gölgelemeler daha çok engelleme şartlarının birbirine daha yakın aralıklarla olduğu ve güneş ışınımının çok eğik açılarla geldiği durumlarda gerçekleşir. Güneş ışınları yıl boyunca dünyamıza farklı açılarla geldiği için gölgelenmelere pek engel olunamamaktadır.
- **Atmosferik Sönümlenme:** Işınımın atmosferde aerosoller ve molüküller boyunca saçılması ve soğurulmasından dolayı ışınımın hepsi dünyamıza ulaşamaz, bu nedenle heliostat aynalara da ışınım kayıpları oluşur. Alıcı ile heliostat arasındaki mesafe ne kadar fazla olursa, atmosferik sönümlenme o oranda fazla olur.
- **Kesişme Verimliliği:** Güneşten yansıyan ışınımın alıcı yüzeyine düşen payına kesişme verimliliği denir. Alıcı yüzeyinin daha geniş tutulmasıyla alıcının taşıdığı kayıplarının azaltılması sistemin verimini arttırmaktadır.
- **Yansıtıcılık:** Güneşten gelen ışınımın heliostat aynalara düşen ışınımın oranına yansıtıcılık denilmekle birlikte, yansıtıcılık ayna yüzeyinin verimliliğiyle doğru orantılı olarak değişmektedir.

Heliostat sahasında konumlandırılan her ayna için yukarıda sayılan özellikler verimlilik için gereklidir. Her bir heliostat aynasının verimliliği aynı değildir. Yıllık verimde ise toplam saha verimliliği hesaplanır.

### 5.2.3. Heliostat aynalarının temizlenmesi

Güneş kulesi sistemlerinde aynaların kirlenmesiyle elde edilecek performans verimi azalmaktadır. Bu yüzden aynaların yüzeyleri kirlenmeden tutmayan malzemeden yapılmalı, doğal yollardan (Yağmur ve karda) temizlenmesi kolay olmalıdır. Ayna

temizliğinde en önemli parametre en az miktarda su kullanılması ve temizliğinin ardından en yüksek yansıtıcılığın elde edilmesidir (Fichtner, 2012).

Günümüzde ayna temizliği için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; basınçlı suyla dönen fırça yardımıyla temizlenmesi, yağmurlama yöntemiyle basınçlı su sıkılarak, çok tazyikli su ile yıkama ve su sıkılarak aynaların nemlendirilmesiyle silecek kullanılmasıdır (Fichtner, 2012).

### **5.3. Merkezi Alıcılı Güneş Kulelerinde Alıcılar**

Alıcılar, güneşten gelen ışınımın soğurulduğu ve yüksek sıcaklık elde edilip termodinamik çevrimlerde kullanılarak ısı enerjisine dönüştürüldüğü ısı değiştiricileridir. Alıcılardan yüksek ısı elde edildiği için teknolojileri ileri seviyelerde ve kurulurken kaliteli yüksek verim elde etmeye uygun malzemeler seçilir (Romero, 2007).

Merkezi alıcılı güneş kuleleri santrallerinde doğrudan ve dolaylı yollardan ısı transferi yapan farklı iki yöntem vardır. Doğrudan ısı transferinde güneşten gelen ışınım alıcı tarafından direkt olarak güç çevrim akışkanına gönderilmesiyle oluşurken, dolaylı ısı transferinde gelen ışınım alıcıdan bir aracı akışkana aktarılıp buradan güç çevrim akışkanının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Aracı akışkan olarak genellikle hava, sodyum nitrat, potasyum nitrat tuzları, su/buhar ve helyum gazı kullanılmaktadır (Aichmayer, 2011).

#### **5.3.1. Merkezi alıcılı güneş kulelerinde alıcı teknolojisi**

Heliostattan yansıyan ışınım alıcıda yüksek yoğunlaştırma oranlarına ulaşmaktadır. Yoğunlaştırma oranı ne kadar fazla ise alıcının verimi fazla olur. Bunun sonucunda güç çevriminden de yüksek verimlilik elde edilir.

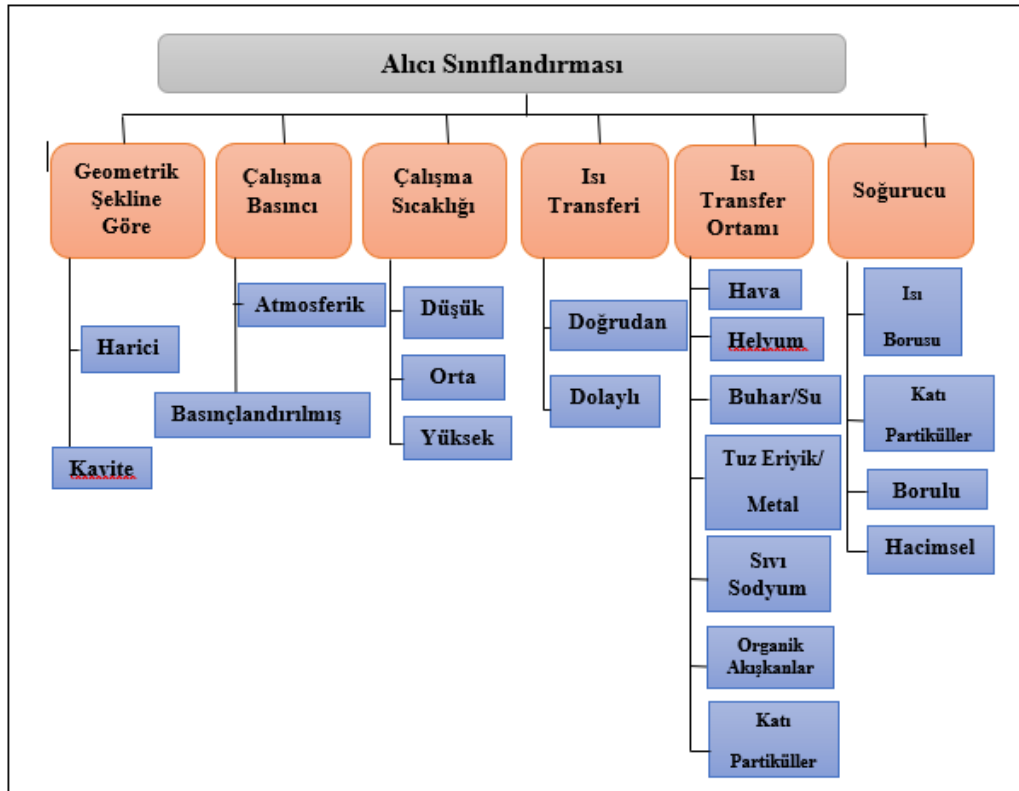
Alıcılar ışımadan kaynaklanan kayıplarını en aza indirmek için siyah cisim gibi davranmaktadırlar. Bu yüzden bağlantı borularında siyah renk veya gözenekli soğurucular kullanılmaktadır. Heliostatlardan gelen tüm ışınım alıcıda toplandığı için alıcıların verimliliklerinin iyi olması ve dayanıklı olması beklenmektedir.

Farklı tipte akışkan madde kullanıldığında farklı akışkan çıkış sıcaklıklarına ulaşılmaktadır. Akışkan madde olarak hava kullanıldığı durumlarda elde edilen sıcaklık değeri 700°C ile 800°C arasında iken eriyik tuzlarında akışkan çıkış sıcaklığı 540°C ile 565°C arasındadır. Sıvı sodyumda akışkan çıkış sıcaklığı 540°C civarındadır. Su/Buhar

kullanıldığı durumlarda ise 490°C ile 525°C civarında çıkış sıcaklığına ulaşılmaktadır (Romero, 2007).

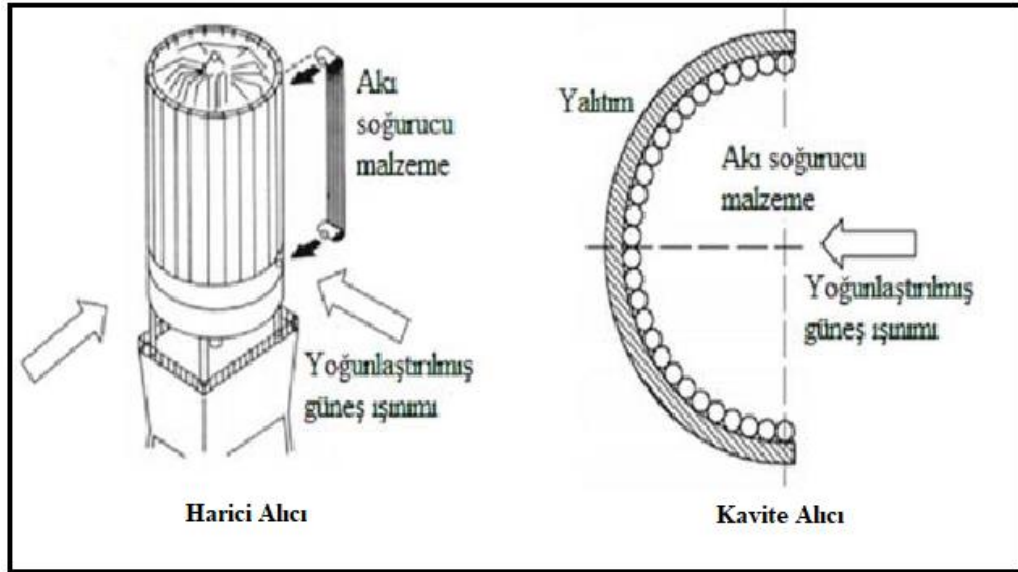
### 5.3.2. Alıcı konfigürasyonları

Alıcılar geometrik şekillerine, çalışma basıncına, çalışma sıcaklığı, ısı transferi, ısı transfer ortamı ve soğutucu türlerine göre sınıflandırılırlar. Şekil 5.7’de alıcı sınıflandırması şematik olarak verilmiştir (Aichmayer, 2011).



Şekil 5.7. Alıcıların sınıflandırılması.

**Geometrik şekline göre alıcılar:** Harici ve kavite olarak iki farklı tasarımda ihmal edilmişlerdir. Harici alıcıların yapısı düz plakalardan oluşan boru panel veya silindirik yapıda tasarlanmışlardır. Daha çok silindirik yapıda ihmal edilmekte ve alıcının etrafında çevrili olan santrallerde kullanılmaktadır. Kavite alıcılarında ise güneşten gelen ışınlar heliostatlardan yansıma yapan ışınım öncelikle ufak bir delikten geçerek kutu şeklindeki bir bölüme girer ve daha sonra ısı transfer yüzeyine çarpar. Kavite alıcılar daha çok güney veya kuzey yönünde kurulan santral sistemlerinde daha verimli çalışır. Şekil 5.8’de alıcıların şekilleri gösterilmiştir (Aichmayer, 2011).



Şekil 5.8. Harici ve kavite alıcıların şematik gösterimi.

**Çalışma basıncına göre alıcılar:** Basınçlarına göre atmosferik çevre basıncında ve basınçlandırılma altında çalışma diye ikiye ayrılmaktadır. Basıncılı uygulamalarda çalışma basıncı birkaç bar değerindeyken atmosferik basınç altında 20-25 bar seviyelerine çıkabilir (Aichmayer, 2011).

**Çalışma sıcaklığına göre alıcılar:** Alıcılar sıcaklıklarına göre düşük sıcaklık ortalama 550°C, orta sıcaklıklarda ortalama 800°C ve yüksek sıcaklıklarda ortalama 800°C' ye kadar çıkabilmektedirler. Fakat bu sıcaklıklara ulaşmak için sistem için seçilen ısı akışkanı da önemli rol oynamaktadır (Aichmayer, 2011).

**Isı transferine göre alıcılar:** Doğrudan ve dolaylı yollardan diye ikiye ayrılmaktadır.

**Isı transfer ortamına göre alıcılar:** Bu alıcılar daha çok kullandıkları ısı transfer maddeleriyle birbirlerinden ayrılırlar. Bunlar gaz, sıvı ve katı alıcılilar olarak adlandırılırlar. Gaz alıcılar hava, helyum ve buhar ısı akışkanına sahiptirler. Sıvı alıcılarda ısı transferi olarak su, tuz eriyiği, sıvı sodyum ve organik akışkanlar kullanılırlar. Katı alıcılarda ise metal ve katı partikül maddeleri kullanılır.

**Soğurucu türlerine göre alıcılar:** Merkezi alıcılı güneş kulelerinde kullanılan soğurucuların görevi, güneşten gelen ışınımın alıcıya yansıtılması sonucu oluşan ışınımın soğurulması ve soğurulan ısının ısı transfer akışkanına göndermektir (Aichmayer, 2011).

Soğurucu ısı transfer yüzeyleri borulu ve hacimsel alıcılar sıklıkla kullanılmaktadır (Romero, 2007). Bunun yanında katı partikül alıcıların kullanılmasıyla sıcaklık 1000 °C'lerin üzerine çıkarılabilmektedir. Bu alıcılarda kuma benzeyen seramik tanecikler kavite tipinde bir alıcı boyunca akmakta ve güneşten gelen yoğunlaşmış ışınımlar direkt olarak ışıma uğramaktadırlar. Isıtılmış partiküller depolama tanklarında depolanıp istenildiği durumlarda kullanılabilir (Aichmayer, 2011).

#### **5.4. Merkezi Alıcılı Güneş Kulelerinde Güç Bloğu**

Buharla çalışan güneş santrallerinde, alıcıdan geçerek buhar olarak güç bloğuna oradan tekrardan alıcıya herhangi bir ara ısı değiştirici olmadan direk geçer. Alıcıda toplanan ısı enerjisi türbin, jeneratör ve alternatörlerin kullanıldığı güç bloklarında elektrik enerjisine çevrilir. Kızdırıcı kullanılan güç santrallerinde ise rankine çevrim modelli yüksek ve alçak basınçlara dayanıklı türbinler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde alıcıdan gelen sıcak akışkan ara ısıtıcı kızdırıcıdan geçirilerek yüksek basınç türbine gönderilir. Yüksek buhar türbinde sıcaklığı alınan akışkan, alıcının ara ısıtıcısında tekrardan ısıtılır ve alçak basınç türbinine gönderilir.

### **5.5. Dünyada Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleriyle Santral Uygulamaları**

#### **5.5.1. PS20 güneş kulesi**

PS10 güneş kulesinin hemen yanı başında inşa edilmiş olup 20 MW'lık kurulu güce sahiptir. 1255 adet heliostat aynası kullanılmış olup her biri 120m<sup>2</sup> lik bir alan kaplamaktadır. Kulenin yüksekliği 165 m'dir. Güneş kulesinin odağında güneş enerjisi alıcısı ve buhar türbini mevcuttur. Alıcıların çıkış sıcaklığı 250°C -300°C arasındadır. Isı depolama süresi sadece 1 saattir (NREL, 2017).



**Şekil 5.9.** PS20 güneş kulesi (NREL, 2017).

Dünyada bulunan işletme halindeki güneş kulesi santralleri Çizelge 5.1 de gösterilmiştir (NREL, 2017).

**Çizelge 5.1.** Dünyada bulunan işletme halindeki güneş kulesi santralleri.

SIRA NO	SANTRAL İSMİ	GÜÇ ÜLKE	İNŞAA YILI
1	ACME Solar Tower	2.5 MW HİNDİSTAN	2011
2	Crescent Dunes Solar Energy Project (Tonopah)	110 MW ABD	2015
3	Dahan Power Plant	1 MW ÇİN	2012
4	Gemasolar Thermosolar Plant (Gemasolar)	20 MW İSPANYA	2011
5	Greenway CSP Mersin Tower Plant	1 MW TÜRKİYE	2012
6	Ivanpah Solar Electric Generating System (ISEGS)	377 MW ABD	2014
7	Jemalong Solar Thermal Station	1.1 MW AVUSTURALYA	2016
8	Jülich Solar Tower	1.5 MW ALMANYA	2008
9	Khi Solar One	50 MW GÜNEY AFRİKA	2016
10	Planta Solar 10 (PS10)	11 MW İSPANYA	2007
11	Planta Solar 20 (PS20)	20 MW İSPANYA	2009
12	Sierra SunTower (Sierra)	5 MW ABD	2009
13	SunCan Dunhuang 10 MW Phase I	10 MW ÇİN	2016
14	Sundrop CSP Project	1.5 MW AVUSTURALYA	2016

## 5.6. Türkiye’de Merkezi Alıcılı Güneş Kulesi Santral Uygulamaları

### 5.6.1. Greenway Mersin güneş kulesi

Türkiye’nin ilk merkezi alıcılı güneş kulesi santrali 2012 yılında Greenway firması tarafından mersinde kurulmuştur. Yerli teknoloji ve Türk mühendisleri tarafından kurulmuş olup, ‘Lego’ tipi tasarıma sahiptir. Lego şeklinde kurulduğu için portatif bir özellik göstermektedir. Güneş kulesi 50 m yüksekliğe sahip olup, 510 adet heliostat aynadan oluşmaktadır. Bu santral 1MW’lık kurulu güce sahiptir. Hibrid santral olması nedeniyle güneş ışınlarının olmadığı zamanlarda doğalgaz ile çalıştırılabilecek bir sistem mevcuttur (Greenwaycsp, 2013).



Şekil 5.10. Greenway tesisi (Greenwaycsp, 2013).

Türkiye’de şu an Greenway firması tarafından kurulan sadece bir tesis bulunmaktadır. İleriki yıllarda yatırım maliyetleri azaltılırsa ve elektrik enerjisi ihtiyacı artacağı için bu santrallerin kurulumu artacaktır.

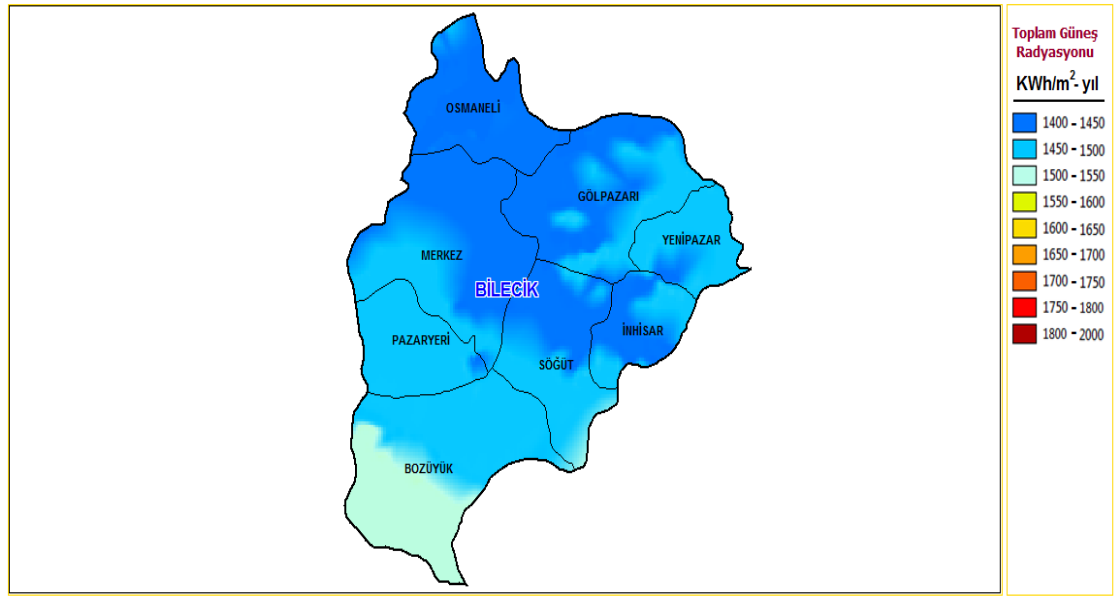
## 6. PARABOLİK OLUK VE MERKEZİ ALICILI GÜNEŞ KULELERİNİN HİBRİD UYGULAMASI

Bu çalışmada, parabolik oluk güneş kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kulelerinin birlikte hibrid olarak çalışması durumunda enerji üretiminin verimliliğini ve Bilecik ili için bunun uygulanması durumunda elektrik enerjisi üretim potansiyelini belirleyeceğiz.

### 6.1. Bilecik İline ait Meteorolojik Veriler

Çalışmamıza, öncelikle meteoroloji genel müdürlüğünden Bilecik ili için gerekli olan aylık güneşlenme süreleri verilerini aldık. Bilecik ili için global güneş radyasyon verileri incelendiğinde ve güneşlenme süreleri dikkate alındığında güneş potansiyeli açısından avantajlı durumdadır. Bunu aşağıdaki tabloda düzenledik. Bu verileri verimli bir enerji üretimi yapmak için çalışmamızda kullandık.

Bilecik ili için global güneş radyasyon dağılımı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Bilecik ili için global güneş radyasyon dağılımı (YEGM, 2017).

**Çizelge 6.1.** Bilecik bölgesinin uzun yıllarda gerçekleşen ortalama sıcaklık değerleri (1939- 2016) (MGM, 2017).

<b>BİLECİK</b>	<b>Ocak</b>	<b>Şubat</b>	<b>Mart</b>	<b>Nisan</b>	<b>Mayıs</b>	<b>Haz</b>	<b>Tem</b>	<b>Ağust</b>	<b>Eylül</b>	<b>Ekim</b>	<b>Kasım</b>	<b>Aralık</b>
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>	2.5	3.7	6.4	11.5	16.2	19.9	22.1	22.0	18.3	13.8	9.1	4.5
<b>Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	5.9	7.7	11.4	17.0	21.9	25.8	28.3	28.6	24.8	19.4	13.6	8.0
<b>Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	-0.4	0.3	2.4	6.7	10.8	14.1	16.2	16.3	13.1	9.5	5.6	1.8
<b>Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)</b>	3.2	3.6	4.5	6.1	8.0	9.4	10.3	10.0	8.2	5.5	4.2	3.1
<b>Ortalama Yağışlı Gün Sayısı</b>	13.8	12.7	12.6	10.5	10.1	7.4	3.9	3.3	5.0	8.4	9.7	13.1
<b>Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)</b>	50.2	42.5	47.2	41.8	47.2	38.9	18.2	11.9	21.7	40.4	37.4	55.2
<b>En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	20.4	24.6	30.2	33.3	35.8	38.2	41.0	40.6	38.4	34.3	27.4	25.0
<b>En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	-16.0	-14.3	-11.6	-6.0	1.0	5.0	7.7	8.2	3.2	-0.8	-9.2	-14.5

Bilecik ili için 30 MW gücünde parabolik oluk kollektör ve 20 MW gücünde merkezi alıcılı güneş kulesi santrallerinin tasarlanması için verimlilik ve santral için gerekli olan yıllık enerji gereksinimlerinin hesaplaması yapılmıştır. Bunun için NREL laboratuvarının yenilenebilir enerji alanında hesaplamalar yapabilen SAM yazılım programıyla sistem tasarımı ve ekonomi hesaplamaları yapılmıştır (SAM, 2014).

Bilecik ili için gerekli olan hava verilerinin olduğu EPW uzantılı dosyayı [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/default.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/default.html) sitesinden bulduk ve bunu SAM programına Şekil 6.2' de yükledik (SAM, 2014).

**Solar Resource Library**  
Use the buttons above to download the latest NSRDB files and add them to your solar resource library. Click Folder Settings to add your own weather files to the library. The default library contains legacy weather files. See Help for details.

Weather file: C:\Users\mtugr\Desktop\bilecik\TUR\_BC\_Bilecik\_TurTMY.epw

**-Header Data from Weather File-**

City	Bilecik	Time zone	GMT 2	Latitude	40.15 °N	Folder settings...
State	Bilecik	Elevation	539 m	Longitude	29.967 °E	Refresh library
Country	TUR	Data Source	TurTMY	Station ID	171200	Open default library folder...

**-Annual Averages Calculated from Weather File Data-**

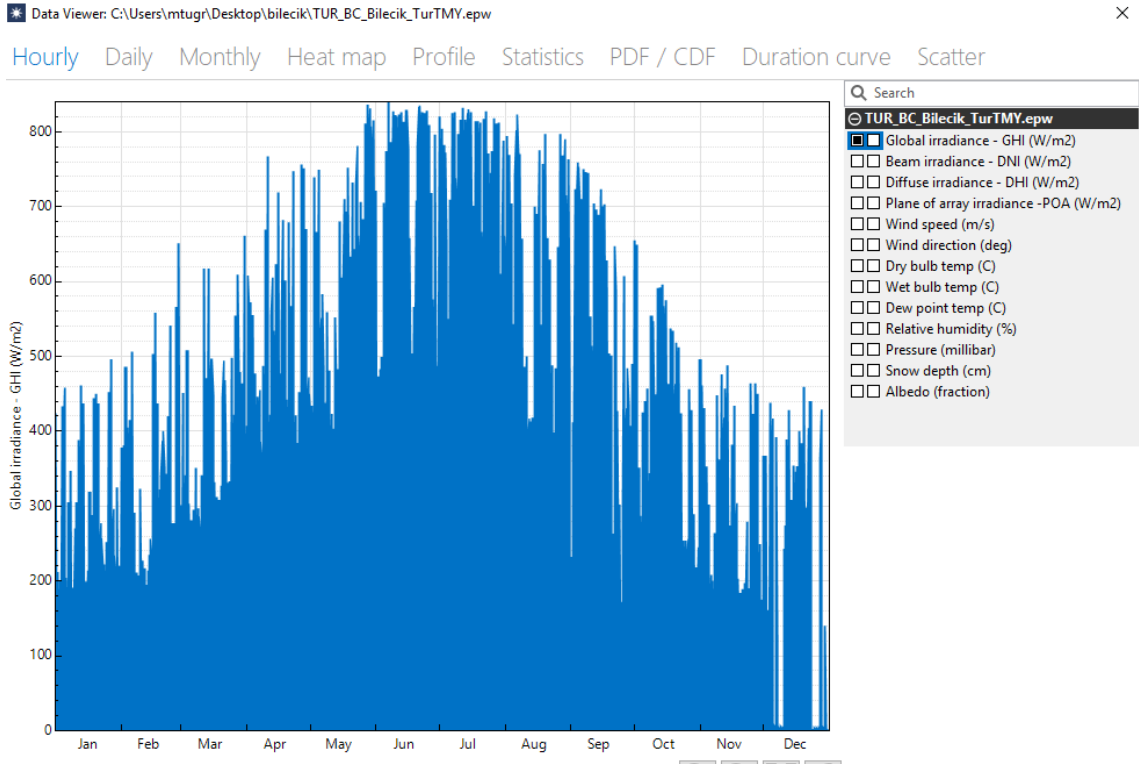
Global horizontal	3.73 kWh/m <sup>2</sup> /day	Average temperature	10.9 °C	View weather file data...
Direct normal (beam)	2.52 kWh/m <sup>2</sup> /day	Average wind speed	2.1 m/s	
Diffuse horizontal	2.30 kWh/m <sup>2</sup> /day			

**Şekil 6.2.** SAM programına Bilecik bölgesinin lokasyon ve meteorolojik bilgilerinin verilmesi.

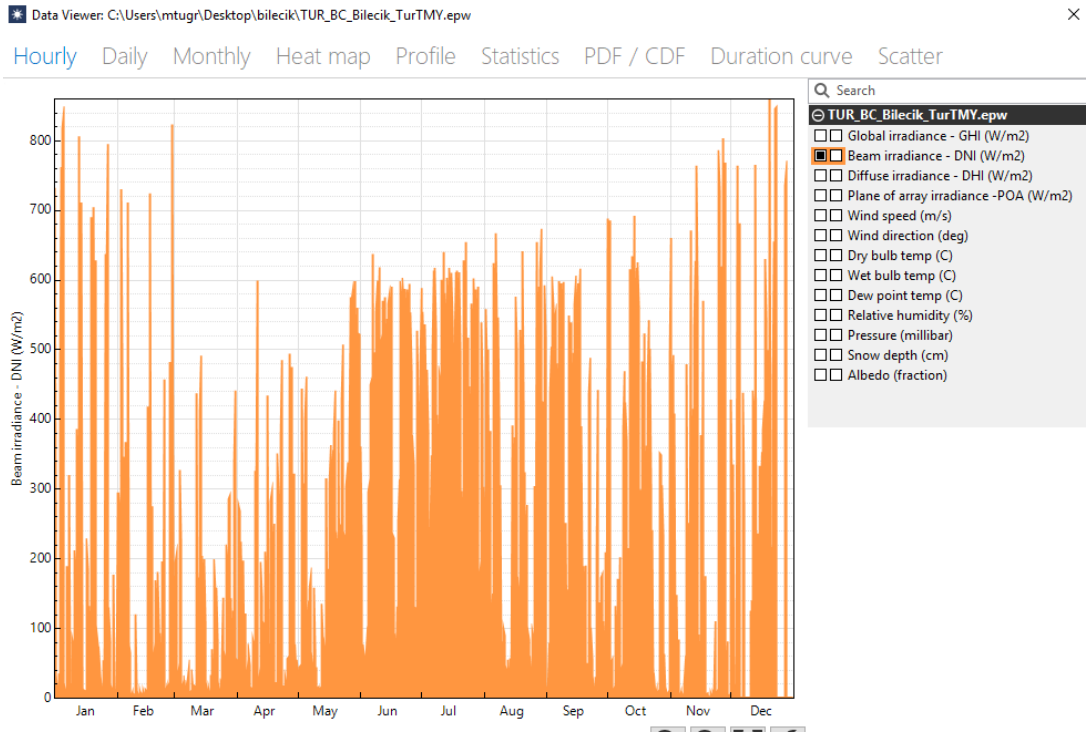
Bilecik bölgesinin programda global radyasyon dağılımı  $1361.45 \text{ kWh/m}^2$  ve doğrudan ışıınım ise  $920 \text{ W/m}^2$  yıllık olarak bulunmuştur.

Yoğunlaştırılmış termal güneş enerjisi uygulamalarında, enlem ve boylam derecesi, deniz seviyesinden yüksekliği, doğrudan normal ışıınım, atmosferik basınç, bağıl nem ve sıcaklık gibi veriler SAM yazılım programı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

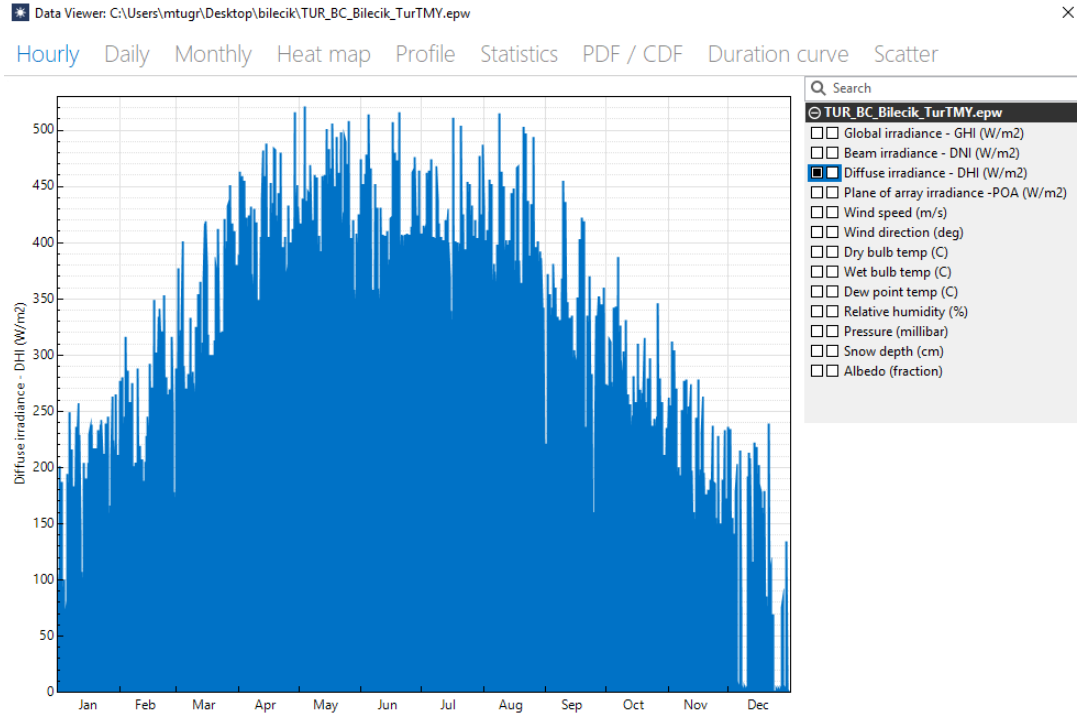
2014 yılında Bilecik bölgesine ait saatlik yatay toplam ışıınımı (Şekil 6.3), doğrudan ışıınımı (Şekil 6.4), yatay difüzyon ışıınımı (Şekil 6.5), kuru termometre sıcaklığı (Şekil 3.6), yağ termometre sıcaklığı (Şekil 6.7), bağıl nem (Şekil 6.8), basınç (Şekil 6.9), rüzgâr hızı (Şekil 6.10) ve rüzgâr yönü (Şekil 6.11) saatlik değerlerinin grafikleri SAM programından saatlik data verilerinden bulunmuştur (SAM, 2014).



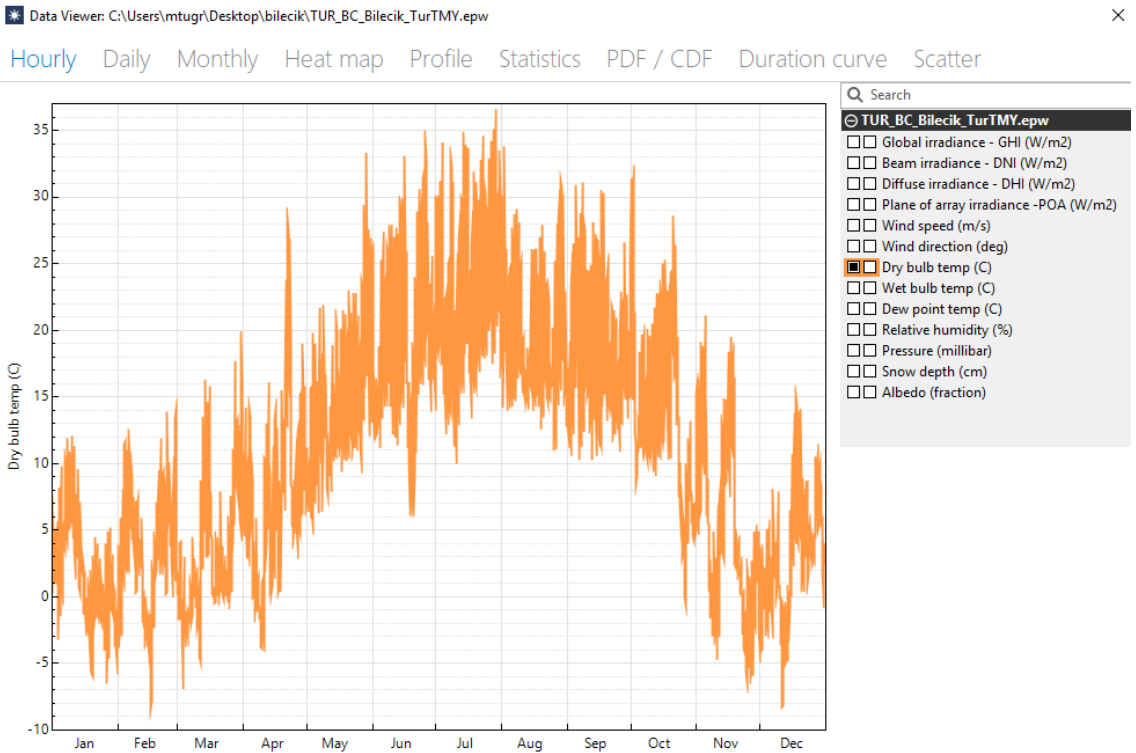
Şekil 6.3. Bilecik bölgesine ait saatlik yatay toplam ışınlm ( $W/m^2$ ) değerleri.



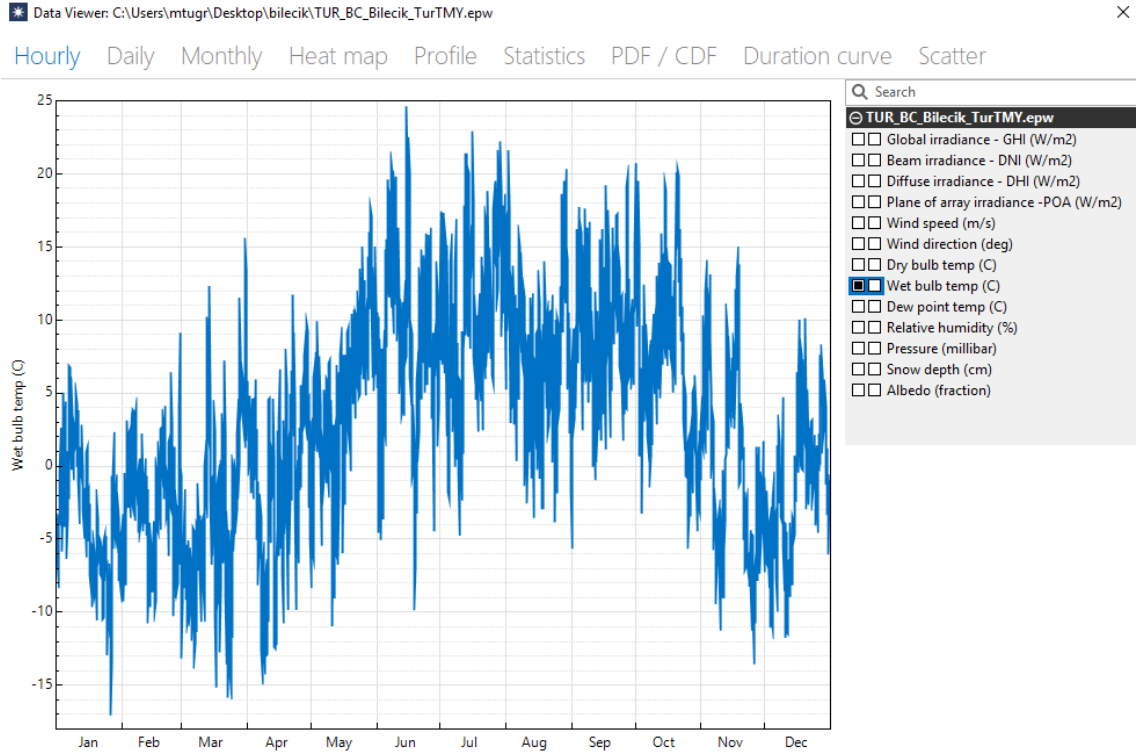
Şekil 6.4. Bilecik bölgesine ait saatlik doğrudan ışınlm ( $W/m^2$ ) değerleri.



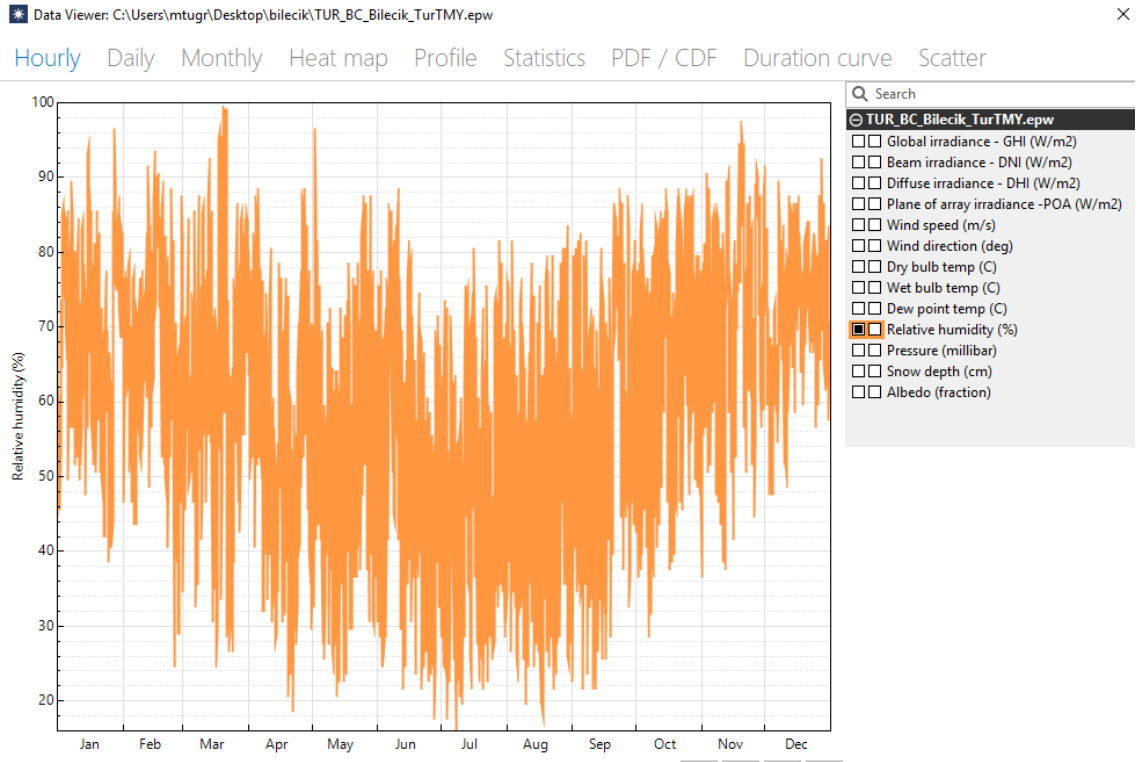
Şekil 6.5. Bilecik bölgesine ait saatlik yatay difüzyon ışınım ( $W/m^2$ ) değerleri.



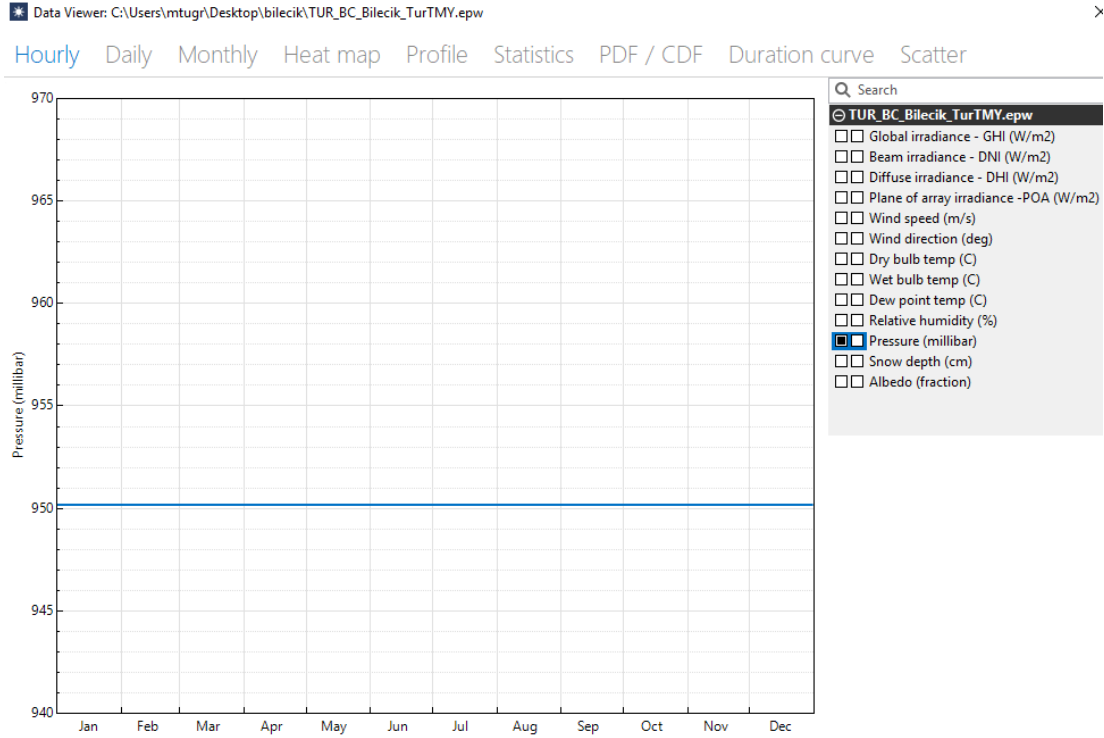
Şekil 6.6. Bilecik bölgesine ait saatlik kuru termometre sıcaklık ( $^{\circ}C$ ) değerleri.



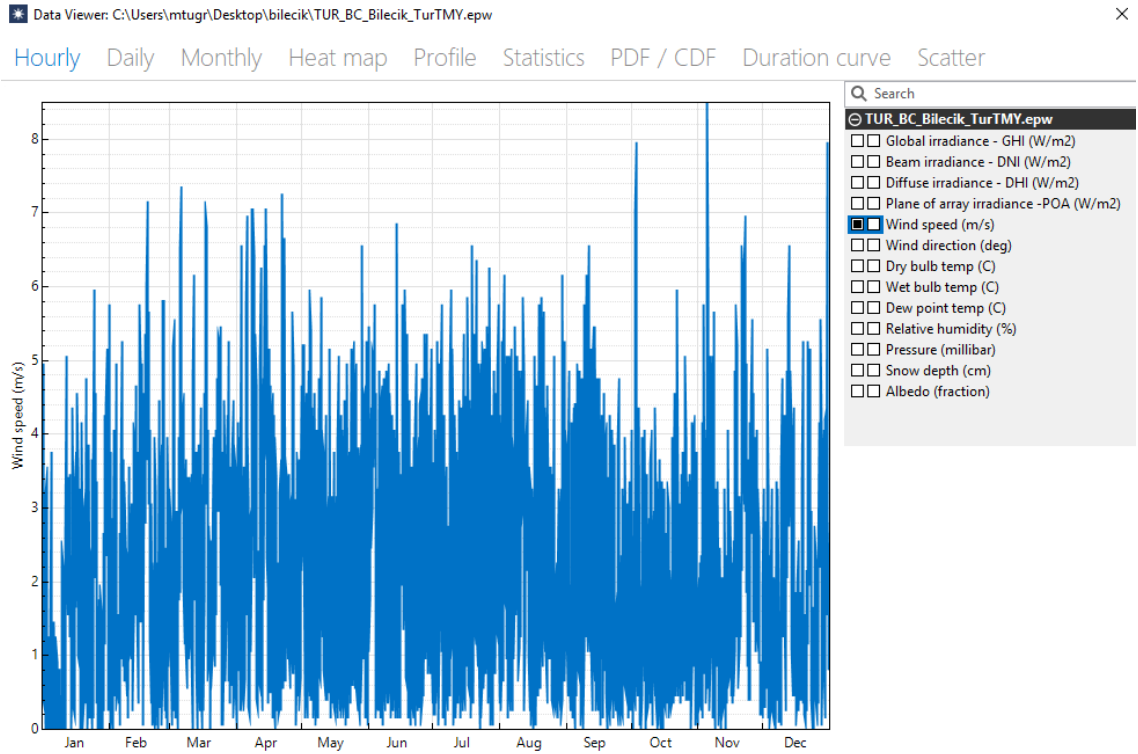
Şekil 6.7. Bilecik bölgesine ait saatlik yaş termometre sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) değerleri.



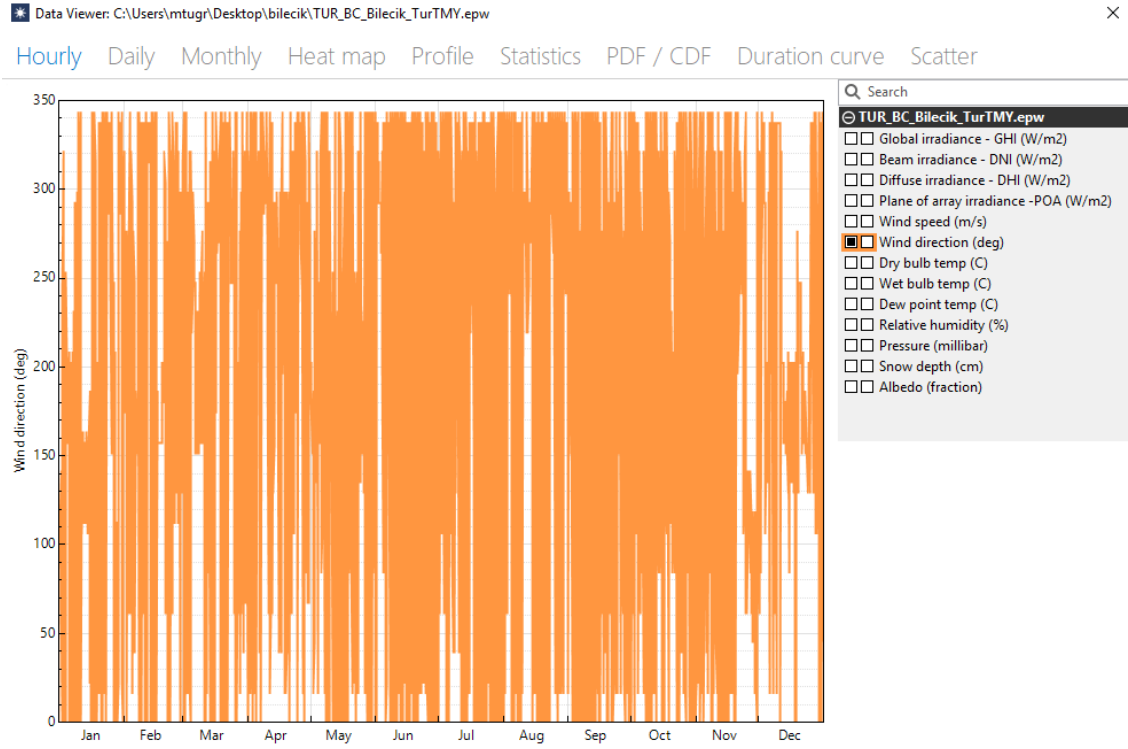
Şekil 6.8. Bilecik bölgesine ait saatlik bağıl nem (%) değerleri.



Şekil 6.9. Bilecik bölgesine ait saatlik basınç (mbar) değerleri.

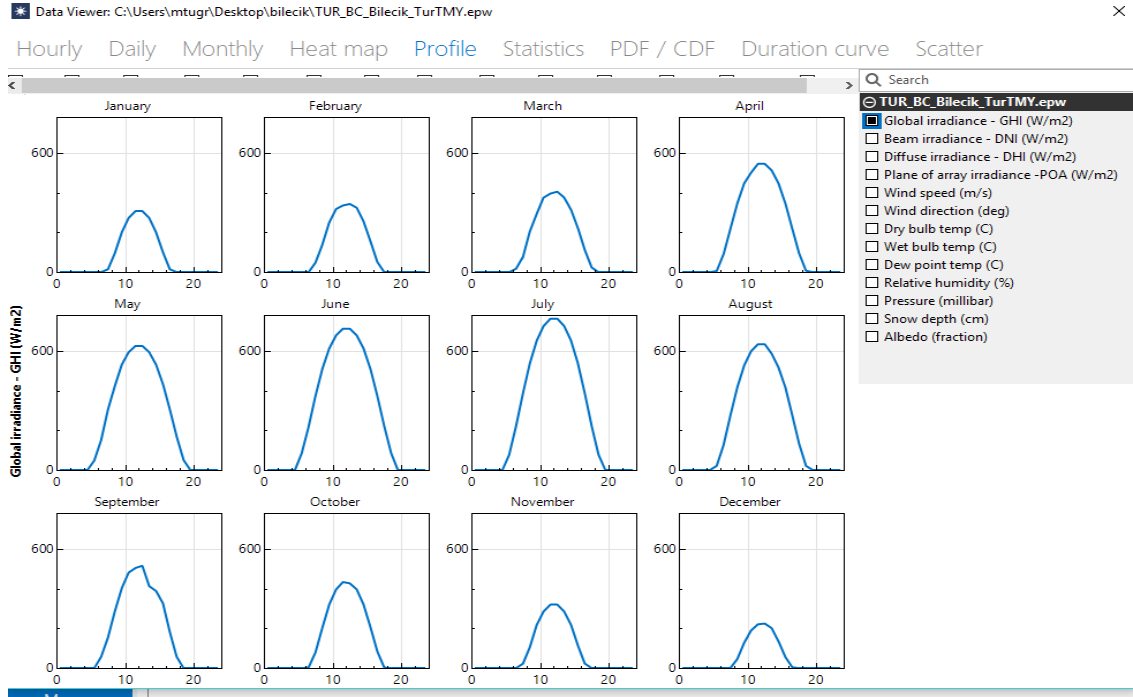


Şekil 6.10. Bilecik bölgesine ait saatlik rüzgâr hızı (m/sn) değerleri.

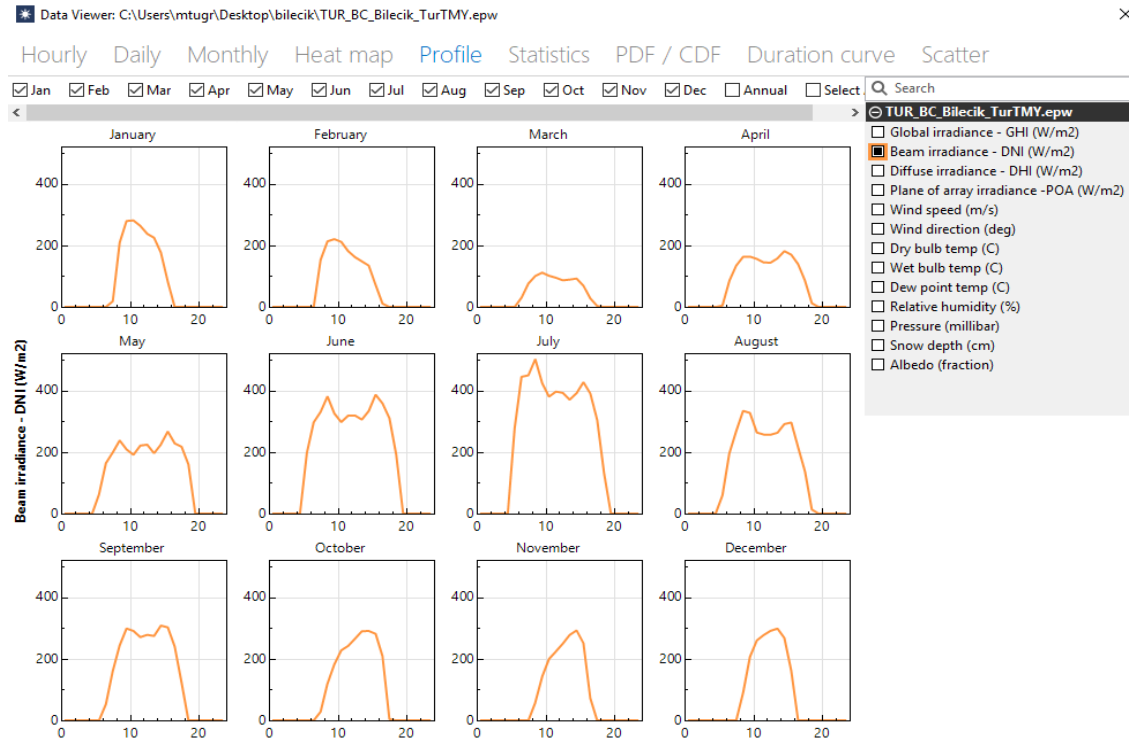


**Şekil 6.11.** Bilecik bölgesine ait saatlik rüzgâr yönü (derece) değerleri.

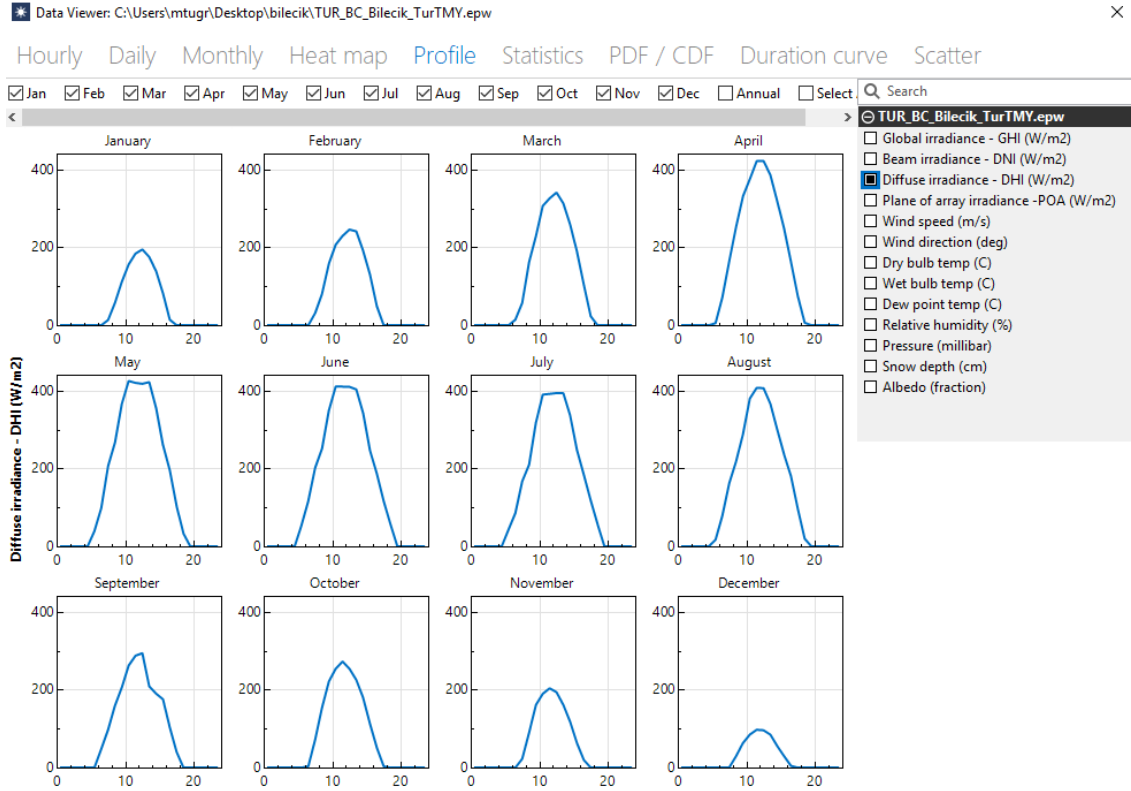
2014 yılı Bilecik bölgesinin aylara ait günlük ortalama yatay toplam ışıınımı (Şekil 6.12), doğrudan ışıınımı (Şekil 6.13), yatay difüzyon ışıınımı (Şekil 6.14), kuru termometre sıcaklığı (Şekil 6.15), yaş termometre sıcaklığı (Şekil 6.16), bağıl nem (Şekil 6.17), basınç (Şekil 6.18), rüzgâr hızı (Şekil 6.19) ve rüzgâr yönü (Şekil 6.20) de aylık değerlerinin grafikleri SAM programından aylık data verilerinden elde edilmiştir (SAM, 2014).



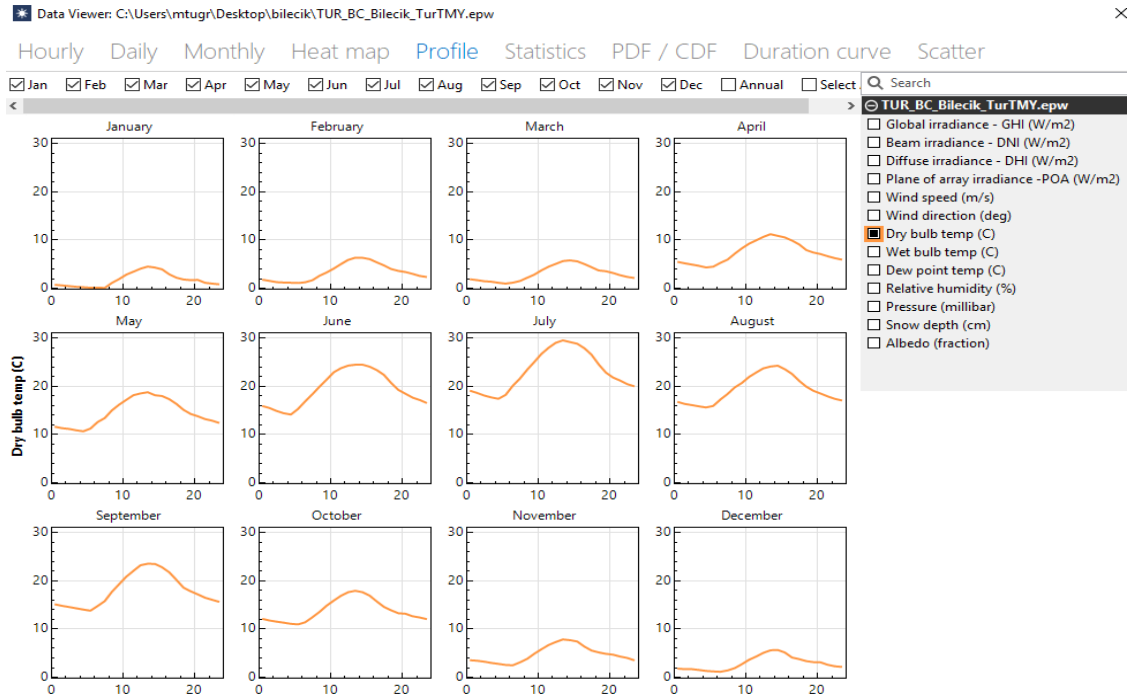
Şekil 6.12. Bilecik bölgesinin aylara ait günlük ortalama yatay toplam ışınım değerleri.



Şekil 6.13. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama doğrudan ışınım değerleri.



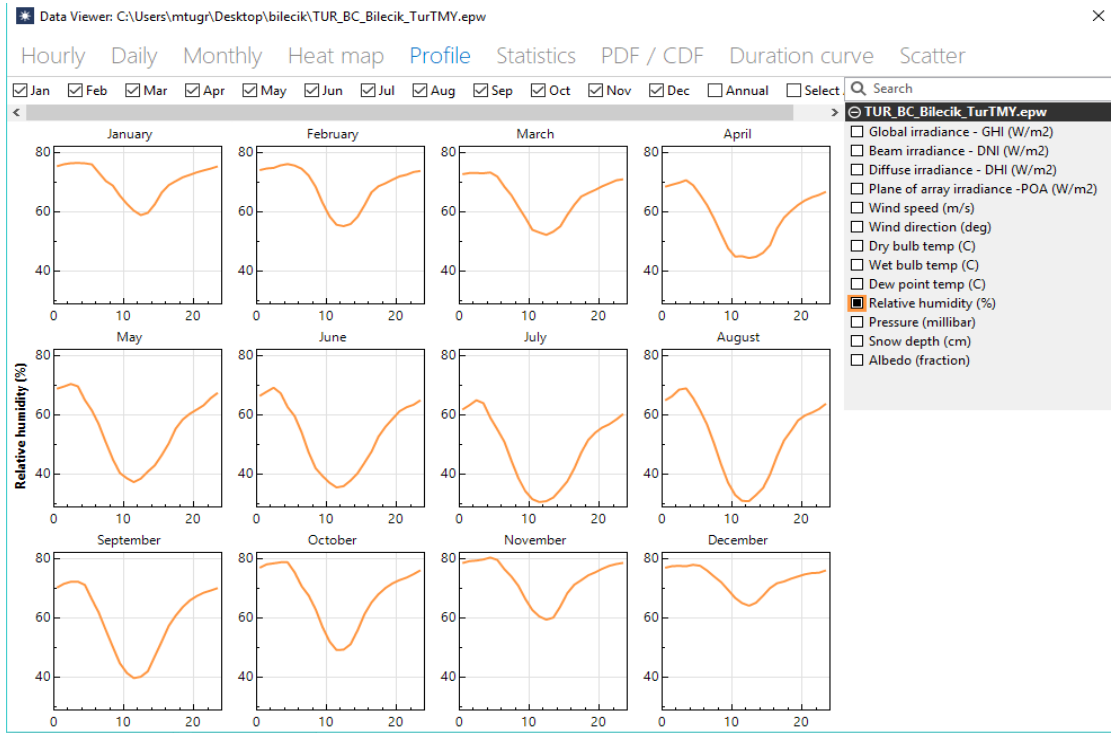
Şekil 6.14. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama yatay difüzyon ışınlam değerleri.



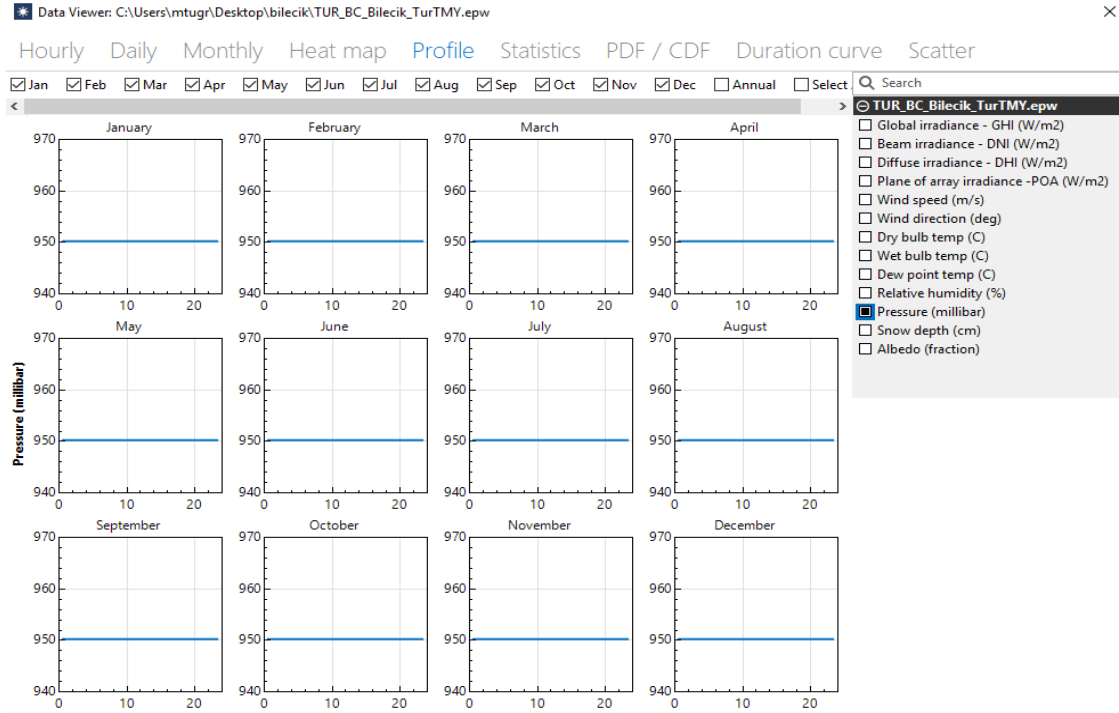
Şekil 6.15. Bilecik bölgesinin aylara ait günlük ortalama kuru termometre sıcaklık değerleri.



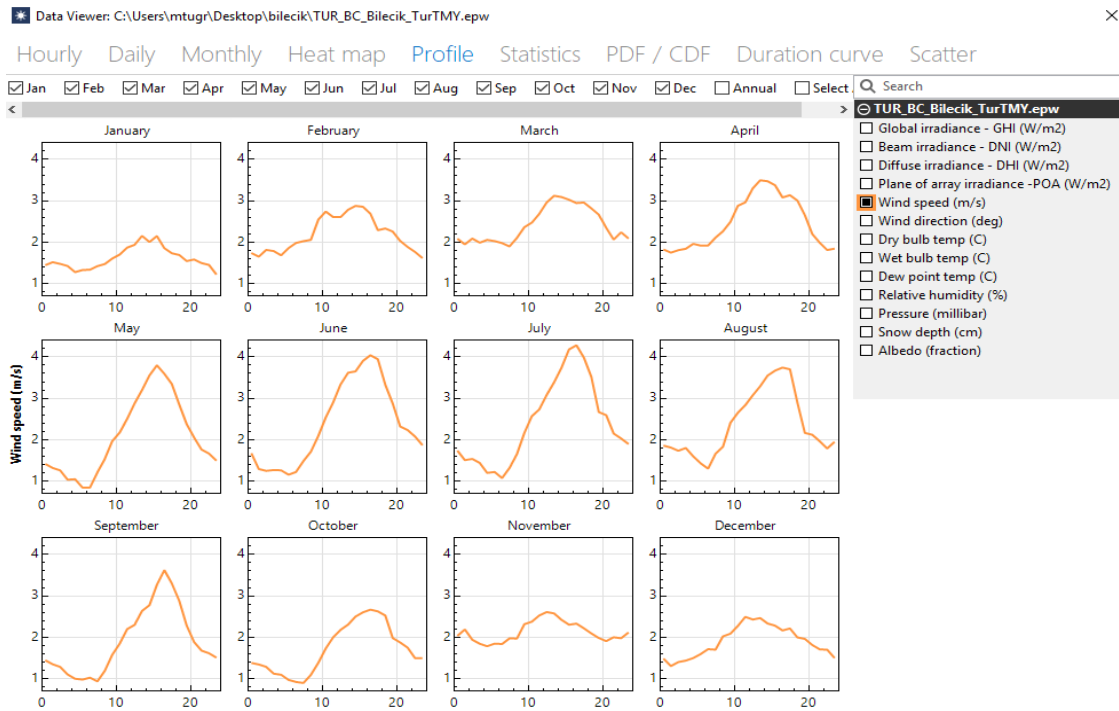
Şekil 6.16. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama yaş termometre sıcaklık değerleri.



Şekil 6.17. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama bağıl nem (%) değerleri.



Şekil 6.18. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama basınç (mbar) değerleri.



Şekil 6.19. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama rüzgâr hızı (m/sn) değerleri.



Şekil 6.20. Bilecik bölgesinin aylarına ait günlük ortalama rüzgâr hızı (m/sn) değerleri.

## 6.2. Parabolik Oluk Kollektör Santralinin SAM Programıyla Optimizasyonu

Bilecik ili için kurulması planlanan 30 MW gücündeki santral için gerekli parametreler programa girildikten sonra, yıllık en fazla enerji üretimi yapılabilmesi için SAM yazılım programının “parametric simulation” programı kullanılarak sahasının modellenmesi, alıcı bilgileri ve ideal hesaplamalar yapılmıştır (SAM, 2014).

SAM yazılımıyla hesaplanan güneş sahasına ait bilgiler Şekil 6.21’de gösterilmiştir (SAM, 2014).

Toplam kurulum için gerekli olan saha 94 akre (yaklaşık 380 dönüm), parabolik oluk kollektör aynalarını yıkamak için su tüketimi  $0,7 \text{ m}^2/\text{L}$  ve yılda yıkama sayısı 63 olarak belirlenmiştir. Her bir sırada 8 adet parabolik oluk kollektörü ve toplam 16 sıra ile toplamda 128 adet parabolik oluk kollektörü kullanılması planlanmıştır. Şekil 6.21’de SAM yazılımıyla hesaplanan, parabolik oluk santral sahasına ait bilgiler verilmiştir (SAM, 2014).

Solar Field Parameters		Heat Transfer Fluid	
<input type="radio"/> Option 1:	Solar multiple: 1	Field HTF fluid:	Therminol VP-1
<input checked="" type="radio"/> Option 2:	Field aperture: 100,000,000 m <sup>2</sup>	User-defined HTF fluid:	Edit...
	Row spacing: 15 m	Field HTF min operating temp:	12 °C
	Stow angle: 170 deg	Field HTF max operating temp:	400 °C
	Deploy angle: 10 deg	Design loop inlet temp:	293 °C
	Number of field subsections: 2	Design loop outlet temp:	391 °C
	Header pipe roughness: 4.57e-005 m	Min single loop flow rate:	1 kg/s
	HTF pump efficiency: 0.85	Max single loop flow rate:	12 kg/s
	Freeze protection temp: 150 °C	Min field flow velocity:	0.268562 m/s
	Irradiation at design: 950 W/m <sup>2</sup>	Max field flow velocity:	3.74479 m/s
	Allow partial defocusing: <input checked="" type="checkbox"/> Simultaneous	Header design min flow velocity:	2 m/s
		Header design max flow velocity:	3 m/s
Design Point			
Single loop aperture:	6540 m <sup>2</sup>	Actual number of loops:	16
Loop optical efficiency:	0.740558	Total aperture reflective area:	104640 m <sup>2</sup>
Total loop conversion efficiency:	0.710899	Actual solar multiple:	0.838607
Total required aperture, SM=1:	124778 m <sup>2</sup>	Field thermal output:	70.6691 MWt
Required number of loops, SM=1:	19.0793		
Collector Orientation			
Collector tilt:	0 deg	Tilt: horizontal=0, vertical=90	
Collector azimuth:	0 deg	Azimuth: equator=0, west=90, east=-90	
Mirror Washing		Plant Heat Capacity	
Water usage per wash:	0.7 L/m <sup>2</sup> , aper.	Hot piping thermal inertia:	0.2 kWh/K-MWt
Washes per year:	63	Cold piping thermal inertia:	0.2 kWh/K-MWt
		Field loop piping thermal inertia:	4.5 Wh/K-m

Şekil 6.21. SAM yazılımıyla hesaplanan, parabolik oluk santral sahasına ait bilgiler.

SAM yazılımında parabolik oluk olarak EuroTrough ET150 modeli seçilmiştir. Bir parabolik oluğun boyu 15 m, eni 5.75 metredir. SAM yazılımında hesaplanan parabolik oluk kollektör seçimi verileri Şekil 6.22’de gösterilmiştir (SAM, 2014).

Collector Library				
Search for:		Name		
Name	Reflective aper...	Aperture width...	Length of colle...	Number of mo...
EuroTrough ET150	817.5	5.75	150	12
Luz LS-2	235	5	49	6
Luz LS-3	545	5.75	100	12
Solarqenix SGX-1	470.3	5	100	12
Collector types in loop configuration: Cold - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - Hot				
Collector Type 1				
Collector name from library:	EuroTrough ET150			Apply Values from Library
Collector Geometry				
Reflective aperture area:	817.5 m <sup>2</sup>	Number of modules per assembly:	12	
Aperture width, total structure:	5.75 m	Average surface-to-focus path length:	2.11 m	
Length of collector assembly:	150 m	Piping distance between assemblies:	1 m	
Optical Parameters				
Incidence angle modifier coefficients:	Edit data...	Geometry effects:	0.98	
Tracking error:	0.99	Mirror reflectance:	0.935	
General optical error:	0.99	Dirt on mirror:	0.97	
Optical Calculations				
Length of single module:	12.5 m	End loss at summer solstice:	0.999648	
IAM at summer solstice:	0.999765	Optical efficiency at design:	0.871124	

Şekil 6.22. SAM yazılımında parabolik oluk kollektör parametre sonuçları.

SAM yazılımında alıcı olarak Schott PTR70 2008 modeli seçilmiştir. Bu alıcının teknik özellikleri Şekil 6.23’de verilmiştir. Sistem ısı transfer akışkanı olarak therminol VP-1 kullanılmıştır (SAM, 2014).

**Receiver Library**

Search for:  Name

Name	Absorber tube ...	Absorber tube ...	Glass envelo...	Glass envelo...
Schott PTR70	0.066	0.07	0.115	0.12
<b>Schott PTR70 2008</b>	<b>0.066</b>	<b>0.07</b>	<b>0.115</b>	<b>0.12</b>
Solel UVAC 3	0.066	0.07	0.115	0.121
Siemens LIVAC 2010	0.066	0.07	0.109	0.115

Receiver types in loop configuration:

**Receiver Type 1**

Receiver name from library:

**Receiver Geometry**

Absorber tube inner diameter	<input type="text" value="0.076"/> m	Absorber flow plug diameter	<input type="text" value="0"/> m
Absorber tube outer diameter	<input type="text" value="0.08"/> m	Internal surface roughness	<input type="text" value="4.5e-005"/>
Glass envelope inner diameter	<input type="text" value="0.115"/> m	Absorber flow pattern	<input type="text" value="Tube flow"/>
Glass envelope outer diameter	<input type="text" value="0.12"/> m	Absorber material type	<input type="text" value="304L"/>

**Şekil 6.23.** SAM yazılımı alıcı parametreleri hesaplama sonuçları.

SAM yazılımının simülasyon sonucuna göre Bilecik bölgesine kurulması planlanan 30 MW güçteki parabolik oluk kollektör santrali için yıllık üretebileceği enerji miktarı 5.941 MWh olarak hesaplanmıştır. Toplam kurulum için ihtiyaç duyulan alan yaklaşık 380 dönüm, yıllık kullanılan su miktarı 5.921 m<sup>3</sup> olup kapasite faktörü %2.5 olarak bulunmuştur. Şekil 6.24’te SAM parabolik oluk kollektör santralinin simülasyon sonuçları gösterilmiştir (SAM, 2014).

Metric	Value
Annual energy (year 1)	5,941,070 kWh
Gross-to-net conversion	53.0 %
Capacity factor (year 1)	2.5%
Annual Water Usage	5,921 m <sup>3</sup>
PPA price (year 1)	100.28 €/kWh
PPA price escalation	1.00 %/year
Levelized PPA price (nominal)	199.25 €/kWh
Levelized PPA price (real)	156.72 €/kWh
Levelized COE (nominal)	183.43 €/kWh
Levelized COE (real)	144.28 €/kWh
Net present value	\$9,914,701
Internal rate of return (IRR)	11.00 %
Year IRR is achieved	20
IRR at end of project	12.68 %
Net capital cost	\$131,240,096
Equity	\$63,117,800
Size of debt	\$68,122,296

Şekil 6.24. SAM parabolik oluk kollektör santralının simülasyon sonuçları.

### 6.3. Merkezi Alıcılı Güneş Kulesi Santralının SAM Programıyla Optimizasyonu

Bilecik ili için kurulması planlanan 20 MW gücündeki santral için gerekli parametreler programa girildikten sonra, yıllık en fazla enerji üretimi yapılabilmesi için SAM yazılım programının “parametric simulation” programı kullanılarak heliostat ayna sahasının modellenmesi, alıcı bilgileri ve ideal hesaplamalar yapılmıştır (SAM, 2014).

SAM yazılımında heliostat özellikleri olarak her heliostat için aynalı kısmın alanı, heliostat şekillerinin ve güneş sahasının sınırları mevcuttur. Heliostatların yansıtıcı yüzeylerinde iki eksenli güneşi takip eden izleme sistemleri olduğu varsayılır (SAM, 2014).

SAM yazılımıyla hesaplanan heliostat sahasına ait bilgiler Şekil 6.25’de gösterilmiştir.

Heliostat Properties	
Heliostat width	20 m
Heliostat height	8 m
Ratio of reflective area to profile	0.97
Single heliostat area	155.2 m <sup>2</sup>
Image error (slope, single-axis)	1.53 mrad
Reflected image conical error	4.32749 mrad
Number of heliostat facets - X	2
Number of heliostat facets - Y	8
Heliostat focusing method	Ideal
Heliostat canting method	On-axis

Heliostat Operation	
Heliostat stow/deploy angle	8 deg
Wind stow speed	15 m/s
Heliostat startup energy	0.025 kWe-hr
Heliostat tracking power	0.055 kWe
Design-point DNI	950 W/m <sup>2</sup>

Atmospheric Attenuation	
Polynomial coefficient 0	0.006789
Polynomial coefficient 1	0.1046 1/km
Polynomial coefficient 2	-0.017 1/km <sup>2</sup>
Polynomial coefficient 3	0.002845 1/km <sup>3</sup>
Average attenuation loss	4.5 %

Land Area	
Non-solar field land area	45 acres
Solar field land area multiplier	1
Base land area	318,286 acres
Total land area	363 acres
Total heliostat reflective area	219,763 m <sup>2</sup>

Solar Field Layout Constraints	
Max. heliostat distance to tower height ratio	9.5
Min. heliostat distance to tower height ratio	0.75
Tower height	82.2193 m
Maximum distance from tower	781.083 m
Minimum distance from tower	61.6645 m

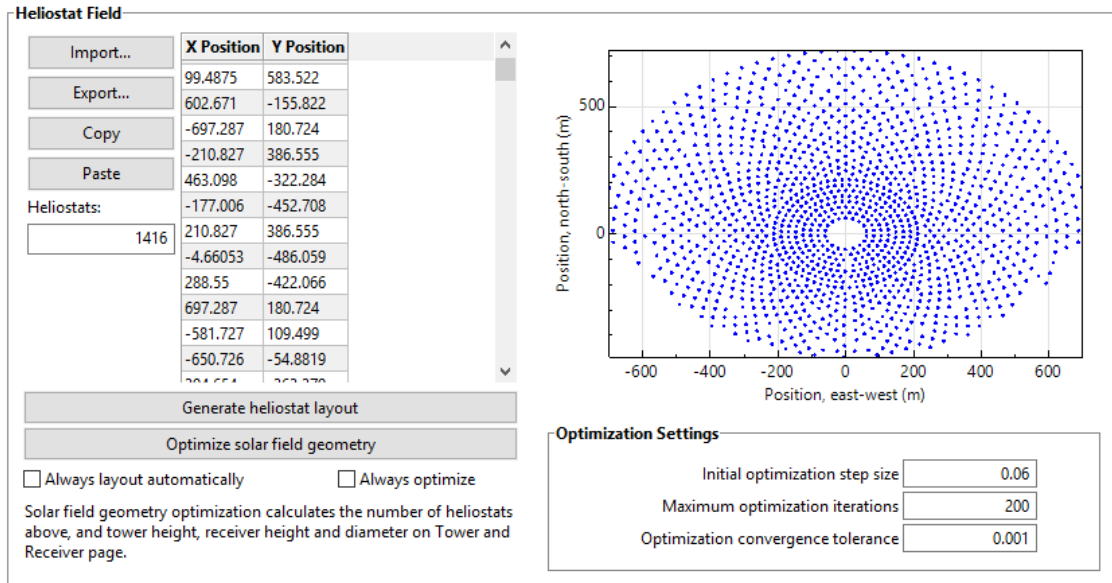
Mirror Washing	
Water usage per wash	0.70 L/m <sup>2</sup> ,aper.
Washes per year	63

Şekil 6.25. SAM yazılımıyla hesaplanan, heliostat sahasına ait bilgiler.

Her bir helyostatın boyunu 8 m, genişliğini ise 20 m seçtiğimizde tek bir heliostat için 155.2 m<sup>2</sup> 'lik bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Toplam kurulum için gerekli olan saha 363 akre (yaklaşık 1470 dönüm), heliostatları yıkamak için su tüketimi 0,7 m<sup>2</sup>/L ve yılda yıkama sayısı 63 olarak belirlenmiştir (SAM, 2014).

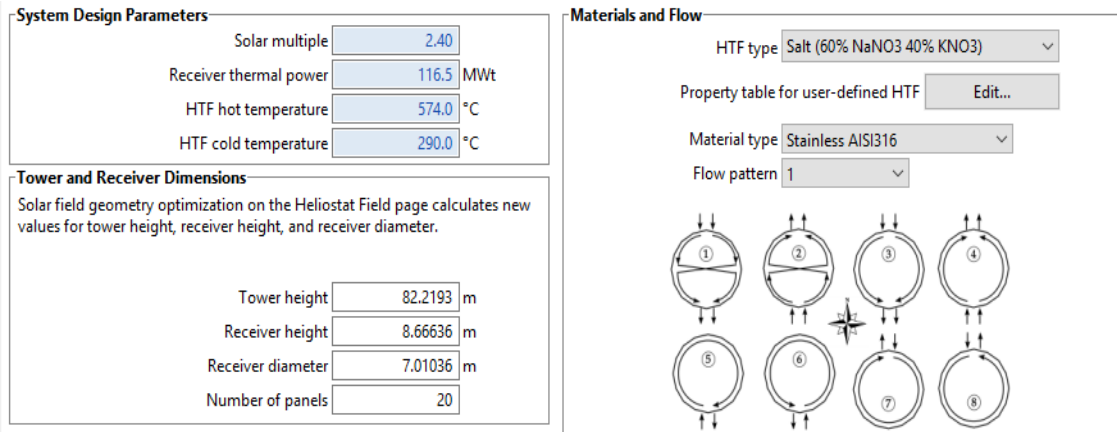
Yansıtıcı alanın profil alanına oranı 0.97 tercih edilmiş, çünkü bundan büyük değerler için enerji üretiminde bir artış olmadığı yapılan çalışmalarda bilinmektedir. Bu orana karşılık da yıllık enerji üretimi 21.532 MWh olarak bulunmuştur (SAM, 2014).

SAM yazılımında heliostat sahası dağılımı ve gerekli olan heliostat sayısı optimizasyon edilmiştir. Bilecik ili kuzey yarım kürede bulunduğu için heliostatların büyük bir bölümü kuzey yönünde konumlandırılmıştır. Toplam heliostat ayna sayısı 1416 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.26'de heliostatların saha dağılımları gösterilmiştir (SAM, 2014).



**Şekil 6.26.** Heliostatların saha dağılımları.

SAM yazılımının kule ve alıcı parametreleri hesaplama sonuçları Şekil 6.27'te gösterilmiştir (SAM, 2014).



**Şekil 6.27.** Kule ve alıcı parametreleri hesaplama sonuçları.

Hesaplamalardan kulenin boyu 82.2193 m olup, alıcı çapının optimum değeri 8.66 m olarak bulunmuştur. Alıcıdaki panel çiftlerinin sayısı 20 olarak bulunmuştur.

SAM yazılımının simülasyon sonucuna göre Bilecik bölgesine kurulması planlanan 20 MW güçteki Merkezi Alıcılı Güneş Kulesi için yıllık üretebileceği enerji miktarı 21.532 MWh olarak hesaplanmıştır. Toplam kurulum için ihtiyaç duyulan alan

yaklaşık 1470 dönüm, yıllık kullanılan su miktarı 11.381 m<sup>3</sup> olup kapasite faktörü %13.7 olarak bulunmuştur. Şekil 6.28'te SAM simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

Metric	Value
Annual energy (year 1)	21,532,414 kWh
Capacity factor (year 1)	13.7%
Annual Water Usage	11,381 m <sup>3</sup>
PPA price (year 1)	39.75 ¢/kWh
PPA price escalation	1.00 %/year
Levelized PPA price (nominal)	57.15 ¢/kWh
Levelized PPA price (real)	44.95 ¢/kWh
Levelized COE (nominal)	52.62 ¢/kWh
Levelized COE (real)	41.39 ¢/kWh
Net present value	\$10,287,824
Internal rate of return (IRR)	11.00 %
Year IRR is achieved	20
IRR at end of project	12.59 %
Net capital cost	\$151,515,808
Equity	\$75,712,896
Size of debt	\$75,802,912

**Şekil 6.28.** SAM güneş kulesi simülasyon sonuçları.

Parabolik oluk kollektör santralimizin kollektörlerden elde ettiğimiz sıvı sıcaklığı 342 °C ve merkezi alıcılı güneş kulesinin alıcısından elde edilen sıvı sıcaklığı 574 °C olarak SAM yazılım programı kullanılarak bulunmuştur. Her iki sistemde akışkan sıvı olarak therminol VP-1 sıvısı kullanılmıştır. Sistemlerin akış hızı SAM programından parabolik oluk kollektör sisteminden 350.3 kg/s, merkezi alıcılı güneş kulesi sisteminden 113.5 kg/s olarak elde edilmiştir. Her iki sistem birleştirildiğinde akış hızları kütle olarak kabul edilerek sistemin son ısı değeri hesaplanması planlanmıştır.

Farklı sıcaklıktaki sıvılar karşılaştırıldığında sıcaklığı düşük olan sıvının sıcaklığı artarken, sıcaklığı yüksek olan sıvının sıcaklığı azalır ve sonuçta iki sıvı bu iki sıvının sıcaklıkları arasında bir dengeye gelir. Bu işlem sırasında sıcaklığı artan sıvının aldığı ısı ( $Q_1$ ), sıcaklığı azalan sıvının verdiği ısıya ( $Q_2$ ) ye eşittir. Başlangıçta daha soğuk olan sıvının sıcaklığı ( $t_1=342^\circ\text{C}$ ), daha sıcak olan sıvının sıcaklığı ( $t_3=574^\circ\text{C}$ ) ve karıştırıldıktan sonraki son sıcaklık ( $t_2$ ) olsun.

Isınan sıvının aldığı ısı;

$$Q_1 = m_1 c_1 \Delta T_1 = m_1 c_1 (t_2 - t_1) \quad (5.1)$$

Soğuyan sıvının verdiği ısı;

$$Q_2 = m_2 c_2 \Delta T_2 = m_2 c_2 (t_3 - t_2) \quad (5.2)$$

Burada;

$c_{sivi}$  = Özgül ısı (cal/g °C)

m = Sıvının kütlesi (g)

Kütle olarak sistemden aldığımız akım miktarları kullanıldığında ve Terminol Vp-1 her iki sistemde de kullanıldığı için özgül ısı değeri olarak  $c_{sivi} = 1$  kabul edildiğinde;

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_1 c_{sivi} \Delta T_1 = m_2 c_{sivi} \Delta T_2$$

$$m_1 c_{sivi} (t_2 - t_1) = m_2 c_{sivi} (t_3 - t_2)$$

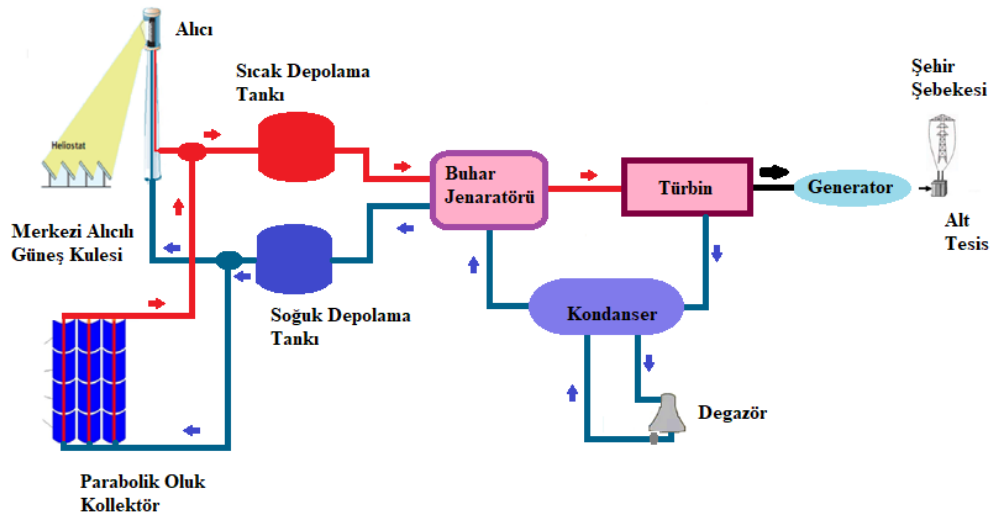
$$350,3 \times 1 \times (t_2 - 342) = 113,5 \times 1 \times (574 - t_2)$$

$$463,8 \times t_2 = 184951,6$$

$$t_2 = 398,77^\circ\text{C}$$

Sonuçta sistemin çalışma sıcaklığı  $t_2 = 398,77^\circ\text{C}$  bulunmuştur. Bu değer 0 kayıpla hesaplanmış olup sistemin ısı kayıpları gözardı edilmiştir.

Bilecik ili için tasarlanan parabolik oluk kolektörleri ve merkezi alıcılı güneş kulesinin beraber çalışmasının şematik gösterimi Şekil 6.29'de verilmiştir.



Şekil 6.29. İki sistemin beraber çalışmasının şematik gösterimi.

Çizelge 6.2’de parabolik oluk kollektör ve merkezi alıcılı güneş kulesi santral tasarımı gösterilmiştir (SAM, 2014).

**Çizelge 6.2.** Parabolik oluk kollektör ve merkezi alıcılı güneş kulesi santral tasarımı.

	<b>Parabolik Oluk Kollektör Santrali</b>	<b>Merkezi Alıcılı Güneş Kulesi Santrali</b>
<b>Güç kaynağı</b>	Merkezi	Merkezi
<b>Nominal Güç</b>	30 MW	20 MW
<b>Yıllık Enerji Üretimi</b>	5.941 MWh	21.532 MWh
<b>Kapasite Faktörü</b>	%2.5	%13.7
<b>Yıllık Su Kullanımı</b>	5.921 m <sup>3</sup>	11.381 m <sup>3</sup>
	Kollektör sayısı: 128 adet	Heliostat sayısı: 1416 adet
<b>Toplam Arazi Büyüküğü</b>	380 Dönüm	1470 Dönüm
<b>Kurulum Maliyeti (\$/W)</b>	Yaklaşık 2.7-4.0	Yaklaşık 2.5-4.4
<b>Ortalama Verim (%)</b>	%18	
<b>Yıllık Enerji Üretimi Ortalama</b>	30.000 MWh	

#### 6.4. Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti, LCOE (Levelized Cost of Energy)

Bir enerji santralinin kurulumu için yatırım, işletme, bakım vb. masrafların hepsinin dahil edilip hesaplanan enerji birim maliyetine seviyelendirilmiş enerji

maliyeti denir. Aynı zamanda enerjinin birim maliyetini karşılamak için enerjinin satılması gereken en az fiyatta diyebiliriz (SAM, 2014).

Santralin ürettiği elektriğin maliyeti için kullanılan ana ölçüm metotlarından biride LCOE'dir. Düşük LCOE miktarı elektriğin düşük bir maliyetle üretildiğini ve yatırım için daha yüksek bir kazanç anlama gelir. Güneş enerjisi santrallerinin ilk kurulum maliyetleri diğer santrallere göre oldukça pahalı olmasına rağmen bu santrallerin 20-30 yıllık ömrü boyunca bakım maliyetleri daha azdır ve yakıt maliyetleri hiç yoktur (SAM, 2014).

SAM simülasyon programıyla hesaplanan ABD'de NREL araştırmasına dayalı referans fiyatlarını Bilecik ili için kullandık (SAM, 2014).

Parabolik oluk kollektör santrali için Şekil 6.24'ten elde edilen Nominal LCOE değeri 183.43 ¢/kWh ve gerçek LCOE değeri 144.28 ¢ /kWh olarak hesaplanmıştır. Merkezi alıcılı güneş kulesi santrali içinde Şekil 6.28'ten elde edilen Nominal LCOE değeri 52.62 ¢/kWh ve gerçek LCOE değeri 41.39 ¢ /kWh olarak hesaplanmıştır (SAM, 2014).

Gerçek LCOE, sabit bir dolar kurunda ve enflasyondan arındırılmış değerdir. Nominal LCOE ise, bir cari dolar değeridir. SAM, tüm finansman seçenekleri için hem gerçek hem de nominal LCOE değerlerini hesaplar. Uzun vadeli analizlerde projenin ömrü boyunca uzun yıllar enflasyonun hesaplanması için reel (sabit) dolar uygun olabilirken, nominal (cari) dolar değerleri kısa vadeli analizler için daha uygun olabilir. Elde edilen gerçek LCOE değerleri parabolik oluk kollektör santrali için gerçek LCOE değeri 144.28 ¢ /kWh ve merkezi alıcılı güneş kuleleri için 41.39 ¢ /kWh olup, devletin güneş santrallerinden elektrik alım fiyatı yaklaşık olarak 13 ¢ /kWh olan değer çok üzerindedir. Bu da yatırımcıların yatırım miktarlarını geri kazanmalarını uzun zamana yayacağından güneş ısı santrallerinin teşvik edilmesi için elektrik alım fiyatının yükseltilmesi yararlı olacaktır (SAM, 2014).

İki sistemin teknoloji bakımından karşılaştırmak gerekirse; Parabolik oluk kollektörlerde tek eksenle takip ve doğrusal yoğunlaştırma yapıldığından sistemin verimliliği düşük ve takip sistemleri ucuz ve basittir. Merkezi alıcılı güneş kulelerinde ise iki eksenli takip ve noktasal yoğunlaştırılma yapıldığından sistemin verimliliği fazladır fakat takip sistemleri kompleks ve pahalıdır. Parabolik oluk kollektörler sistemleri büyük veya ufak uygulamalarda kullanılırken merkezi alıcılı güneş kuleleri sistemleri

büyük uygulamalarda gerçekleşir. Parabolik oluk kollektörler sistemlerin de kullanılan emici borular ve aynaların imal edilmesinde özel teknikler kullanılırken, merkezi alıcılı güneş kuleleri sistemlerinde heliostatları taşıyan yapılar kaba ve büyüktür (Yeşilata, 2010).

İki sistemi ekonomik bakımdan karşılaştırmak gerekirse; Parabolik oluk kollektörlerde ısı emici boruların ve aynaların kurulum maliyetleri yüksektir. Merkezi alıcılı güneş kulelerinde ısı toplamak için kurulan kule ve heliostat yapıları kaba olması nedeniyle maliyetleri fazla olup sadece elektrik üretmek amacıyla kullanılır. Parabolik oluk kollektör sistemleri ise hem elektrik hem de orta ve yüksek sıcaklıkta proses ısısı elde etmek amacıyla da kullanılabilir (Yeşilata, 2010).

Parabolik oluk kollektörlerin ve merkezi alıcılı güneş kulelerinin diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre en önemli avantajları, güneşin az olduğu günlerde veya güneş ışınlarının azaldığı ya da hiç olmadığı akşam saatlerinde sahip oldukları depolama tankları ve fosil yakıtla çalışan yakıt birimlerinin olması sayesinde bu zamanlarda elektrik enerjisi üretimi yapabilirler (Stoddard, 2006).

Güneş kulelerinin en önemli avantajlarından biri erimiş tuz kullanıldığı için santral yüksek sıcaklıklara ulaşılmaktadır. Parabolik oluk kollektörler sistemlerinde ısı transferi için yağ kullanıldığı durumlarda ısının yağdan tuza ve tekrardan tuzdan yağa dönüşümlerinde enerji kayıpları oluşmakta ve buda sistemin yüksek sıcaklıklara çıkmasını engellemektedir (Stoddard, 2006).

Yatırım maliyetlerini en çok heliostat alanı, kule alıcı sistemi ve güç blok ünitesi etkiler. Santral yatırımda tek başına en belirleyici kısım heliostat alanıdır. Santral yatırımlarının sadece %72'sini yedeklemesiz çalışan toplayıcı alan ve güç bloğu oluşturur. Bu oranın %60'nı ise heliostatlar oluşturmaktadır. Güneş alıcısının yatırım maliyeti ise %14 civarındadır. Santralin verimi açısından en önemli parçası alıcı kısmıdır. Bunun nedeni bu üniteye ısı transferi gerçekleşmektedir. Heliostat yatırımlarının en önemli kısmını yansıtıcı yüzey ve hareket düzenekleri oluşturmakta ve heliostat maliyetinin %70'lik kısmını kapsar (Boerema, 2013).

Rankine çevrimli buhar türbinlerinde sistemin çalışma sıcaklığı 565 °C iken Brayton çevrimli sistemde 800 °C'lere ulaşmaktadır (Boerema, 2013).

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişen dünyamızda fosil enerji kaynaklarının azalmaya başlaması ve bununla birlikte enerji ihtiyacının artması sonucu gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde belki de en önemlilerinden biri olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi dünyada yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisinden farklı yöntemlerle elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Güneş ışınlarının direk olarak fotovoltaik piller üzerine düşmesiyle doğrudan elektrik enerjisi üretmek mümkün olmaktadır. Fakat bu sistemlerin verimlilikleri düşük ve maliyetleri yüksek olduğu için bu yöntem dünyada beklenen yaygınlığa ulaşamamıştır. Sıcaklığın düşük, orta ve yüksek olduğu durumlarda güneş enerjisinden farklı yöntemlerle elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

Gelişmiş ülkelerde daha çok yoğunlaştırılmış güneş enerjisi yöntemleriyle elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri yüksek olmasına rağmen elde edilen enerji miktarının ve verimliliklerinin yüksek olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretme yöntemlerine değinilmiştir. Dünyamıza ve ülkemize gelen güneş enerjisi potansiyelleri incelenmiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim sistemleri ele alınmıştır. Bu sistemlerden parabolik oluk kollektör sistemleri ve merkezi alıcılı güneş kuleleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve hibrid kullanım durumu karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu analizler için SAM programı kullanılmış ve Bilecik bölgesi için simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bilecik bölgesine ait 2014 yılı EPW meteorolojik verileri SAM programına yüklenerek, Bilecik bölgesinin 2014 yılı aylarına ait günlük ortalama ve saatlik tüm meteorolojik değerlerine ait grafikler elde edilmiştir.

Bilecik bölgesinin SAM yazılım programında ortalama güneşlenme süresini 2320 saat, yıllık ortalama global yatay güneş ışınımı  $1361.45 \text{ kWh/m}^2$  ve doğrudan ışınımı ise  $920 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Bilecik bölgesindeki enerji üretimi için yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojilerinden olan 30 MW güce sahip parabolik oluk kollektör santrali ve 20 MW güce sahip olan merkezi alıcılı güneş kulesi santralinin ayrı

ayrı analizi yapılmış daha sonra bu iki sistemin hibrid kullanılması durumunda yıllık ne kadar enerji üretilebileceği belirlenmiştir.

SAM yazılımıyla hesaplanan değerlere göre Bilecik bölgesinin önemli bir güneş enerji potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. 30 MW güce sahip parabolik oluk kollektör santralinde yıllık 5.941 MW ve 20 MW güce sahip olan merkezi alıcılı güneş kulesi santralının de 21.532 MW hibrid kullanılması durumunda yıllık yaklaşık olarak 30.000 MW enerji üretilebileceği sonucuna varılmıştır. İki sistemin birlikte çalıştırılması durumunda toplam verimlilik yaklaşık %18 hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, parabolik oluk kollektör santralleri ile elektrik enerjisi üretim değerleri düşük çıkmıştır. Bunun nedeni, bu tip santrallerin istenilen sıcaklık değerlerine ulaşmak için dışarıdan doğalgaz veya fosil yakıtla çalışan ara ısıtıcıya ihtiyaç duymaktadırlar. Merkezi alıcılı güneş kulesi santralının hibrid kullanılmasıyla ara ısıtıcı kullanılmasına gerek kalmayacağı düşünülmektedir. İki sistemin beraber çalıştırılmasıyla güneşin olmadığı zamanlarda da ısı depolama sayesinde elektrik üretimi yapılabilecektir. Sistemin çalışması durumunda elde edilen ısı enerjisi buhara dönüştürülerek buhar türbinli generatör ile elektrik enerjisi üretilebilecektir.

Güneş kuleleri ve parabolik oluk kollektör sistemlerinin ilk yatırım maliyeti, fosil yakıtlı enerji sistemlerine göre daha yüksek olmasıyla beraber yanma sonucu çevreye zararlı atıkların oluşmaması, ayrıca sınırsız bir enerji kaynağı olması sistemin avantajlarından. İlk yatırım maliyetlerini düşürmek için daha ileri teknoloji ile tasarlanıp kule sayısı artırılabilir. Buhar türbininde meydana gelen çürük buharın da düşük enerji ihtiyacı diğer endüstriyel proseslerde kullanılması sistemin verimini daha da arttıracaktır. Bilecik bölgesinde güneşlenme süreleri dikkate alındığında böyle bir santralin kurulmasıyla ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin bir kısmı bu santralden karşılanabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Aichmayer, L., “Solar Receiver Design and Verification for Small Scale Polygeneration Unit, Master of Science Thesis”, *KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology*, Stockholm, Sweden, (2011).
- Alnaser, W.E., Eliagoubi, B., Al-Kalak, A., Trabelsi, H., Al-Maalej, M., El-Sayed, H.M., Alloush, M., “First solar radiation atlas for the Arab World Renewable Energy”, 29: 1085-1107 (2004).
- Ateş, B.M., Demir, H., Üresin, E., Tunç, Ş., Erdi, “*Dünya’da Ve Türkiye’de Güneş Enerjisi*”, *Ekc Form Ofset*, İstanbul, 2 -193 (2009).
- Barra, A., Franceshi, L., “The Parabolic Through Plants Using Body Receivers: Experimental and Theoretical Analysis”, *Solar Energy*, 28: 163-171 (1976).
- Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yüksek Planlama Kurulu, “Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Stratejisi Belgesi”, Ankara, Mayıs (2009).
- Behar, O., Khellaf, A., Mohammedi, K., “A review of studies on central receiver solar thermal power plants”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23:12-39 (2013).
- Boerema, N., Morrison, G., Taylor, R., Rosengarten, G., “High temperature solar thermal central-receiver billboard design”, *Solar Energy*, 97:356-368 (2013).
- Chaouchi, B., Zrelli, A., Gabsi, S., “Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator”, *Desalination*, 217: 118–126 (2007).
- Chen, Y.T., Kribus, A., Lim, B.H., Lim, C.S., Chong, K.K., Karni, J., Buck, R., Pfahl, A., Bligh, T.P., “Comparison Of Two Sun Tracking Methods In The Application of A Heliostat Field”, *Journal of Solar Energy Engineering*, 126:638-644 (2004).
- Cope, A. W. G., Tully, N., “Simple tracking strategies for solar concentrations”, *Solar Energy*, 25(5): 361-365 (1982).
- Çolak, L., “Güneşi takip eden parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin Matematiksel modellenmesi, tasarımı ve teknik optimizasyonu”, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 268 (2003).
- Ecevit, A., Goshtaspour, M., 1985, “Güneş Enerjisinde Yoğunlaştırıcı Toplaç”, *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Temel Bilimler Araştırma Grubu*, 86 (1985).
- Eck, M., Dteinmann, W. D., “Direct steam generation in parabolic troughs: First results of the DISS Project”, *Journal of Solar energy Engineering*, 124: 134-139 (2002).
- Edenburn, M.V., “Performance Analysis of a Cylindrical Parabolic Focusing Collector and Comparison with Experimental Results”, *Solar Energy*, 18: 437-444 (1976).

### KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Eltez, M., “Güneş enerjisi Yansıtıcı Yüzey Formlarının Endüstriyel Kullanımı”, *Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi*, 1(2): 45-50 (1990).
- Eltez, M., “Sabit Yansıtıcılı Çizgisel odaklı Kule Projesinde Yansıtıcı Odaklayıcı Yüzeyin Şekillendirilmesi”, *Doktora tezi, Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsü*, İzmir (1986).
- Erdoğan, H., Gümüş, B., Efe, S., Kutlu, C., Bayındır, H., Yakut, Y., Çıra, F., Aslan, R., “Yoğunlaştırıcılı Güneş Enerji Santralleri Ve Iısu Hes’e Alternatif Olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesine Uygulanabilirliği”, *Yenilenebilir Enerji Kayn. Sempozyumu*, Diyarbakır, 17 (2009).
- Espana D.M., Rodriguez, L., “Approximate steady-state modelling of solar trough Collectors”, *Solar Energy*, 38(6): 447-454 (1987)
- 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).
- Fichtner, “Solar Thermal Power Generation”, *Feasibility Study for the Solar Power Plant Birecik*, Turkey, Phase 2, Germany, April (2012).
- Fraidenraich, N., Gordon, J. M., Fernandes, R., “Improved solutions for temperature and thermal power delivery profiles in linear solar collectors”, *Solar Energy*, 61(3): 141-145 (1997).
- Garcia, P., Ferriere, A., Bezian, JJ., “Codes for solar flux calculation dedicated to central receiver system applications: A comparative review”, *Journal of Solar Energy*, 82(3): 189-197 (2008).
- 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).
- Gaul, H., Rabl, A., “Incidence angle modifier and average optical efficiency of parabolic trough collectors”, *Solar Energy*, 22(3): 1-9 (1979).
- Gee, R., “Line focus sun tracers,” Sect. Of Int., *Solar Energy*, New York, 501-504 (1980).
- Genç, A., “Güneşi tek ekseninde takip eden parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının performans deneyleri”, *Gazi üniversitesi*, Ankara, 98 (1998).
- Greenwaycsp, “Alan Uygulamaları Mersi 5 MWth Güneş Kulesi Fabrikası”, 2013 <http://www.greenwaycsp.com/en/field-applications/mersin-5-mwth-solar-tower-plant.aspx> (Ziyaret Edilme Tarihi, 14.10.2017).

### KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Güneş Sistemleri, “Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli”, 2008 <http://www.gunessistemleri.com/potansiyel.php> (Ziyaret Edilme Tarihi, 10.04.2016).
- Hermann, U., Kearney D. W., “Survey of thermal energy storage for parabolic trough power plants”, *Journal of Solar Energy Engineering*, 124: 145-152 (2002).
- Hession, P. J., Bonwick, W. J., “Experience with a sun tracker system”, *Solar Energy*, 32(1): 3-11 (1984).
- Inhabitat, “AROA'nın İkinci Güneş Lambası Santrali İspanya'da Yayılıyor”, 2010 <https://inhabitat.com/aroas-second-solar-tulip-power-plant-springs-up-in-spain/> (Ziyaret Edilme Tarihi, 6.10.2017).
- Jeter, S. M., “Calculation of the concentrated flux density distribution in parabolic trough collector by a semifinite formulation”, *Solar Energy*, 37(5): 335-345 (1986).
- Jeter, S. M., “Geometrical effects on the performance of trough collectors”, *Solar Energy*, 30(2): 109-113 (1983).
- 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).
- Karaduman, A., “Parabolik Güneş Kolektörü Sisteminin Tasarımı ve Yapımı”, *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, ODTÜ, Ankara (1989).
- Kılıç, A., Öztürk, A., “Güneş Enerjisi”, *Kıpaş Dağıtımçılık*, İstanbul (1983).
- Kribus, A., Vishnevetsky, I., Yogev, A., Rubinov, T., “Closed Loop Control of Heliostats”, *Energy*, 29: 905–913 (2004).
- Krüger, D., Pandian, Y., Hennecke, K., Schmitz, M., “Parabolic trough collector testing in the frame of the REACt Project”, *Desalination* 220: 612–618 (2008).
- Lorin, L., Hull, V., “An Educated Ray Trace Approach to Solar Tower Optics”, *Optical Engineering*, 16(5): 497-504 (1977).
- Lovegrove, K., Luzzi, A., “Solar Thermal Power Generation, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences Encyclopedia of Energy”, *Elsevier Science Inc.*, Australia, 669-683 (2004).
- Mazloumi, M., Naghashzadegan, M., Javaherdeh, K., “Simulation of solar lithium bromide–water absorption cooling system with parabolic trough collector”, *Energy Conversion and Management* 49: 2820–2832 (2008).
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), “Analizler› Resmi İstatistikler”, 2017 <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler/istatistik.aspx?m=BILECIK> (Ziyaret Edilme Tarihi, 4.10.2017).

### KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- NASA Yüzey meteorolojisi ve Güneş Enerjisi (SSE), “Birleşmiş Milletler Çevre Programı”, 2008  
[https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=solar\\_where](https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=solar_where)  
 (Ziyaret Edilme Tarihi, 1.04.2016).
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), “Concentrating Solar Power Projects”, 2017 <http://www.nrel.gov>, (Ziyaret Edilme Tarihi, 1.04.2017).
- Odeh, S. D., Morrison, G. L., Behnia, M., “Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors”, *Solar Energy*, 62(6): 395-406 (1998).
- Özgöçmen A., “Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
- Pereira, M. C., Gordon, M. J., Rabl, A., Winston, R., “High concentration two stage optics for parabolic trough solar collectors with tubular absorber and large rim angle”, *Solar Energy*, 49(6): 457-466 (1991).
- Pereira, M. C., Rabl, A., Winston, R., “Design and performance characteristics of compound parabolic concentrators with evacuated and with non-evacuated receivers”, *International Solar Energy Congress*, New Delhi, India, (1978).
- Pinazo, A. M., Canada, J., Arago, F., “Analysis of the incidence angle of the beam radiation on CPC”, *Solar Energy*, 49(3): 175-179 (1992).
- Prapas, E. D., Norton, B., Probert, S. D., “Optics of parabolic trough solar energy collectors possessing small concentration ratios”, *Solar Energy*, 39(6): 541-550 (1987).
- Price, H., Lüpfert, E., Kearney, D., Zarza, E., Mahoney, R., “Advances in parabolic trough solar power technology”, *Journal of Solar energy Engineering*, 124: 109-125 (2002).
- Rabl, A., Winston, R., Gallagher, J., “Applications of CPC’s in solar energy an Overview”, *Solar Energy*, 16(89): 25-30 (1980).
- Rincon, E. A., Osorio, F. A., “Anew trouglie nonimaging solar collector”, *Journal of Solar energy Engineering*, 124: 51-54 (2002).
- Romero, M., Zarza, A., Zarza, E., “Concentrating Solar Thermal Power”, *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy*, Taylor & Francis Group, U.K., 1099-1196, (2007).
- Sánchez, M., Romero, M., “Methodology for generation of heliostat field layout in central receiver systems based on yearly normalized energy surfaces”, *Solar Energy*, 80(7): 861-874 (2006).
- Segal, A., Epstein, M., “Optimized Working Temperatures of a Solar Central Receiver”, *Solar Energy*, 75:503-510 (2003).
- Shuman F., Boys C., “SUN-BOILER”, *U.S. Patent Application* No. 1/240,890 (1913).

- Siala, F.M.F., Elayeb, M.E., “Mathematical Formulation Of A Graphical Method For A No-Blocking Heliostat Field Layout”, *Renewable Energy*, 23:77-92 (2001).
- Sözen, A., Altıparmak, d., Usta, H., “Development and testing of a prototype of absorption heat pump system operated by solar energy”, *Applied Thermal engineering*, 22: 1847-1859 (2002).
- Stoddard, L., Abiecunas, J., O’Connel, R., “Economic, Energy, and Environmental Benefits of Concentrating Solar Power in California”, *NREL*, (2006).
- System Advisor Model (SAM)’s Help Manual, Version 2017.1.15, (2017).
- Şenol.,R., “Güneş Kulelerinden Elektrik Enerjisi Üretimini Araştırılması ve Optimizasyonu”, *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2009.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Güneş”, 2017 <http://enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Ziyaret Edilme Tarihi, 4.10.2017).
- Usta, H., “Güneş Enerjisi ile Çalışan Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Tasarımlarının Geliştirilmesi ve İmali”, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1995).
- Üçgül, İ., Öztürk, M., Özek, N., “Parabolik kollektörlerin optik, enerjetik ve ekserjetik verimliliklerinin analizi”, *Mühendis ve Makine*, 47: 49-55 (2003).
- Xiudong, W., Zhenwu, L., Zhifeng, W., Weixing Y., Hongxing, Z., Zhihao, Y., “A new method for the design of the heliostat field layout for solar tower power plant”, *Renewable Energy*, 35(9): 1970-1975 (2010).
- YEGM (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Kaynaklar Genel Müdürlüğü, “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri”, 2016 [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx), (Ziyaret Edilme Tarihi 1.04.2016).
- YEGM (TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Kaynaklar Genel Müdürlüğü), “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)”, 2017 <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/11.aspx>, (Ziyaret Edilme Tarihi, 11.10.2017).
- Yeşilata, B., “Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Kollektörlerinin Tasarımı, Dizaynı ve Isıl Veriminin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat Üniversitesi, Elazığ (1990).
- Yeşilata, B., Bulut, H., Şahinkaya, E., Uyanık, S., Aktacir, M.A., Nacar, M.A., Divitçi, E.U., “Diyarbakır-Şanlıurfa Bölgesi Yenielenebilir Enerji Raporu”, *Karacadağ Kalkınma Ajansı*, Diyarbakır, 2010.
- Zarza, E., Valenzuela, L., Leon, J., Weyers, H.D., Eck, M., Hennecke, K., “The DISS Project: Direct steam generation in parabolic trough systems, operation and maintenance experience and update on Project status”, *Journal of Solar Energy Engineering*, 124:126-133 (2002).

**EK1: Dünyada Bulunan İşletme Halindeki Parabolik Oluk Kollektörlü Santraller.**

<b>SIRA NO</b>	<b>SANTRAL İSMİ</b>	<b>GÜÇ ÜLKE</b>	<b>İNŞAA YILI</b>
1	Aalborg CSP-Brønderslev CSP with ORC project	16.6 MW DANİMARKA	2016
2	Abhijeet Solar Project	50 MW HİNDİSTAN	2015
3	Agua Prieta II	12 MW MEKSİKA	2014
4	Airlight Energy Ait-Baha Pilot Plant	3 MW FAS	2014
5	Andasol-1 (AS-1)	50 MW İSPANYA	2008
6	Andasol-2 (AS-2)	50 MW İSPANYA	2009
7	Andasol-3 (AS-3)	50 MW İSPANYA	2011
8	Archimede	4.72 MW İTALYA	2010
9	Arcosol 50 (Valle 1)	50 MW İSPANYA	2011
10	Arenales	50 MW İSPANYA	2013
11	ASE Demo Plant	0.35 MW İTALYA	2013
12	Aste 1A	50 MW İSPANYA	2012
13	Aste 1B	50 MW İSPANYA	2012
14	Astexol II	50 MW İSPANYA	2012
15	Bokpoort	50 MW GÜNEY AFRİKA	2016
16	Borges Termosolar	22.5 MW İSPANYA	2012
17	Casablanca	50 MW İSPANYA	2013
18	City of Medicine Hat ISCC Project	1.1 MW KANADA	2014
19	Enerstar (Villena)	50 MW İSPANYA	2013
20	Extresol-1 (EX-1)	50 MW İSPANYA	2010
21	Extresol-2 (EX-2)	50 MW İSPANYA	2010
22	Extresol-3 (EX-3)	50 MW İSPANYA	2012
23	Genesis Solar Energy Project	250 MW ABD	2014
24	Godawari Solar Project	50 MW HİNDİSTAN	2013
25	Guzmán	50 MW İSPANYA	2012
26	Helioenergy 1	50 MW İSPANYA	2011
27	Helioenergy 2	50 MW İSPANYA	2012
28	Helios I (Helios I)	50 MW İSPANYA	2012
29	Helios II (Helios II)	50 MW İSPANYA	2012
30	Ibersol Ciudad Real (Puertollano)	50 MW İSPANYA	2009
31	ISCC Ain Beni Mathar	20 MW FAS	2010
32	ISCC Hassi R'mel (ISCC Hassi R'mel)	20 MW CEZAYİR	2011
33	ISCC Kuraymat (ISCC Kuraymat)	20 MW MISIR	2011
34	KaXu Solar One	100 MW GÜNEY AFRİKA	2015

<b>SIRA NO</b>	<b>SANTRAL İSMİ</b>	<b>GÜÇ ÜLKE</b>	<b>İNŞAA YILI</b>
35	La Africana	50 MW İSPANYA	2012
36	La Dehesa	50 MW İSPANYA	2011
37	La Florida	50 MW İSPANYA	2010
38	La Risca (Alvarado I)	50 MW İSPANYA	2009
39	Lebrija 1 (LE-1)	50 MW İSPANYA	2011
40	Majadas I	50 MW İSPANYA	2010
41	Manchasol-1 (MS-1)	50 MW İSPANYA	2011
42	Manchasol-2 (MS-2)	50 MW İSPANYA	2011
43	Martin Next Generation Solar Energy Center (MNGSEC)	75 MW ABD	2010
44	Megha Solar Plant	50 MW HİNDİSTAN	2014
45	Mojave Solar Project	250 MW ABD	2014
46	Morón	50 MW İSPANYA	2012
47	National Solar Thermal Power Facility	1 MW HİNDİSTAN	2012
48	Nevada Solar One (NSO)	72 MW ABD	2007
49	NOOR I	146 MW FAS	2015
50	Olivenza 1	50 MW İSPANYA	2012
51	Orellana	50 MW İSPANYA	2012
52	Palma del Río I	50 MW İSPANYA	2011
53	Palma del Río II	50 MW İSPANYA	2010
54	Shams 1 (Shams 1)	100 MW ARABİSTAN	2013
55	Solaben 1	50 MW İSPANYA	2013
56	Solaben 2	50 MW İSPANYA	2012
57	Solaben 3	50 MW İSPANYA	2012
58	Solaben 6	50 MW İSPANYA	2013
59	Solacor 1	50 MW İSPANYA	2012
60	Solacor 2	50 MW İSPANYA	2012
61	Solana Generating Station (Solana)	250 MW ABD	2013
62	Solar Electric Generating Station II (SEGS II)	30 MW ABD	1985
63	Solar Electric Generating Station III (SEGS III)	30 MW ABD	1985
64	Solar Electric Generating Station IV (SEGS IV)	30 MW ABD	1989
65	Solar Electric Generating Station V (SEGS V)	30 MW ABD	1989
66	Solar Electric Generating Station VI (SEGS VI)	30 MW ABD	1989
67	Solar Electric Generating Station VII (SEGS VII)	30 MW ABD	1989

<b>SIRA NO</b>	<b>SANTRAL İSMİ</b>	<b>GÜÇ ÜLKE</b>	<b>İNŞAA YILI</b>
<b>68</b>	Solar Electric Generating Station VIII (SEGS VIII)	80 MW ABD	1989
<b>69</b>	Solar Electric Generating Station IX (SEGS IX)	80 MW ABD	1990
<b>70</b>	Solnova 1	50 MW İSPANYA	2009
<b>71</b>	Solnova 3	50 MW İSPANYA	2009
<b>72</b>	Solnova 4	50 MW İSPANYA	2009
<b>73</b>	Stillwater GeoSolar Hybrid Plant	2 MW ABD	2015
<b>74</b>	Termesol 50 (Valle 2)	50 MW İSPANYA	2011
<b>75</b>	Termosol 1	50 MW İSPANYA	2013
<b>76</b>	Termosol 2	50 MW İSPANYA	2013
<b>77</b>	Thai Solar Energy 1 (TSE1)	5 MW TAYLAND	2012

## ÖZGEÇMİŞ



### **Kişisel Bilgiler:**

**Adı Soyadı** : Gülay İŞLER,

**Doğum Yeri ve Tarihi** : İstanbul/1981

**Eğitim Durumu** : Fatih Üniversitesi Elektronik Mühendisliği

**Yüksek Lisans Öğrenimi** : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği

**Bildiği Yabancı Diller** : İngilizce

**Bilimsel Faaliyetleri** :

### **Ulusal Sempozyum/Konferans/Kongre Bildirileri**

- 1) İşler G., Kurban M., “Parabolik Oluk Kollektörleri ve Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleri Kullanılarak Enerji Üretim Analizi ve Uygulaması”, *V. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGREK2016)*, Eskişehir.

### **Poster Sunum**

- 1) İşler G., Kurban M., “Merkezi Alıcılı Güneş Kule Sisteminde Ayna Konumlandırma Analizi”, *V. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGREK2016)*, Eskişehir.

### **İş Deneyimi:**

**Çalıştığı yerler** : Vatan Bilgisayar Genel Müdürlük

### **İletişim Bilgileri:**

**Adres** : Ertuğrulgazi Mah. Erdal 1 Sok. No:6 D:3, 11100-BİLECİK

**E-Posta Adresi** : [gulayyisler@gmail.com](mailto:gulayyisler@gmail.com)

15/01/2018

İmza