

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİM DALI**

**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ İLE METAL ERGİTME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ KEMAL ÖZCAN**

**TEMMUZ 2015  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ İLE METAL ERGİTME**

**Ali Kemal ÖZCAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"YÜKSEK LİSANS (MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 / 05 / 2015**

**Tezin Savunma Tarihi : 07 / 07 / 2015**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ**

**Trabzon 2015**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği  
Ali Kemal ÖZCAN Tarafından Hazırlanan**

**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ İLE METAL ERGİTME**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 16/06/2015 gün ve 1607 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Tülin BALI**

**Üye : Doç. Dr. Haydar KÜÇÜK**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ**



**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Küreselleşen dünyamızda enerji önemli bir yer tutmaktadır. Aslında dünyamızda bol miktarda var olan doğal enerji kaynaklarının pek kullanılmadığı aşikârdır. Doğal enerji kaynaklarımızın daha fazla kullanılması ve mevcut enerji kaynaklarına alternatif olacak bir çalışma hazırladık. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle görüntüsüz optik sistemler daha kolay imal edilebilir ve kullanılabilir hale gelmiştir. Diğer taraftan güneş kuşağında bulunan ülkemizin güneşten daha fazla yararlanarak bunu fırsata dönüştürmesi gerekir. Gelecekte güneş enerjisi ile ilgili çalışmaların daha da artacağı ve sanayi de daha fazla pay sahibi olacağını öngörmekteyiz.

Tez çalışması sürecinde öncelikle maddi ve manevi olarak destekleyen aileme ve bana verdiği değerli fikir ve görüşleri ile yardımını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ' a teşekkürlerimi sunarım.

Ali Kemal ÖZCAN

Trabzon 2015

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi ile Metal Ergitme**” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım **Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ**’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/05/2015

Ali Kemal ÖZCAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Güneş Enerjisi.....	1
1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	3
1.4. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.....	7
1.5. Isıl Güneş Teknolojileri.....	13
1.6. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji Sistemleri.....	14
1.6.1. Doğrusal Yoğunlaştırıcılar.....	14
1.6.1.1. Parabolik Oluk Yoğunlaştırıcı Sistemler.....	15
1.6.1.2. Fresnel Aynalı Yoğunlaştırıcılar.....	15
1.6.2. Noktasal Yoğunlaştırıcılar.....	15
1.6.2.1. Parabolik Çanak Sistemleri.....	17
1.6.2.2. Merkezi Alıcı Sistemler.....	20
1.6.2.3. Güneş Fırınları.....	21
1.6.2.3.1. Reaktörlü Güneş Fırınları.....	23
1.6.2.3.2. Yüksek Güneş Fırınları.....	28
1.7. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjili Sistemlerde Güneş Takibi.....	31
1.7.1. Heliostatların Güneş Takibi.....	33
1.7.1.1. Heliostat Çerçevesi.....	34
1.7.1.2. Heliostat Kolu.....	36
1.7.1.3. Heliostat Ayağı.....	38
1.7.1.4. Ayna ve Birim Çerçevesi.....	38

1.7.1.5.	Donanım ve Yazılım Kontrol Sistemi.....	39
2.	PARABOLİK ÇANAK TİPİ YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİYLE METAL ERGİTME.....	43
2.1.	Parabolik Çanak Tipi Güneş Fırınının Kurulumu.....	43
2.2.	Oyuk Alıcı Seçimi, İmalatı ve Sisteme Montajı.....	47
2.3.	Deneyin Yapılışı ve Değerlendirmeler.....	50
2.3.1.	Bulgular ve Tartışma.....	56
2.4.	Uygulamadaki Ölçümlerin Teorik Hesaplamalarla Karşılaştırılması.....	57
2.4.1.	Ölçüm Cihazları.....	57
2.4.2.	Güneş Radyasyonunun Ölçümü ve Teorik Hesabı.....	60
2.4.3.	Teorik Odak Sıcaklığı Hesabı ve Ölçümlerle Karşılaştırılması.....	63
2.4.4.	Sıcaklık ve Radyasyon Ölçümündeki Belirsizlik Analizi.....	65
2.5.	Sistemin Maliyeti.....	66
3.	TASARLANAN SİSTEMİN ENERJİ DENGESİ.....	68
3.1.	Durgunluk Isısı.....	68
3.2.	Çanağın Odak Görüntüsü Özellikleri.....	69
3.3.	Alıcının Isıl Dengesi ve Termal verimi.....	72
4.	SONUÇLAR.....	78
5.	KAYNAKLAR.....	81
6.	EKLER.....	84
	ÖZGEÇMİŞ	

## **Yüksek Lisans Tezi**

### **ÖZET**

## **YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ İLE METAL ERGİTME**

**Ali Kemal ÖZCAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cevdet DEMİRTAŞ**

**2015, 82 Sayfa, 13 sayfa ek**

Fosil kaynakların kısıtlılığı ve üretimde meydana getirilen çevre kirliliği ile enerji üretiminde hem yenilenebilir ve sınırsız hem de çevreyle uyumlu kaynakların araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde bulunan güneş enerjisi de araştırılmayı ve geliştirilmeyi bekleyen önemli enerji kaynağıdır.

Bu çalışmada güneş enerjisinin doğrudan kullanımı ile endüstriyel işlem ısısının elde edilmesi amaçlanmıştır. Güneş enerjisi ile ısı uygulamalarda daha yüksek sıcaklık elde etmek için parabolik çanak veya heliostat yoğunlaştırıcılara gerek duyulmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada yüzey yansıtıcılığı artırılan parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcı sistemler kullanıldı. Güneş ışığının yoğunlaştırılması ile noktasal olarak elde edilen ısı enerjisi ile bazı metallerin ergitilmesi, metallerin ergime noktalarının belirlenmesi ve ergiyen bu metallerin dökümü gerçekleştirildi. Ayrıca parabolik çanaklı fırının ısı kaybını azaltmak ve ergitme işlemini gerçekleştirmek için bir pota tasarlandı. Parabolik çanaklı güneş fırınında boş haldeki elde edilen pota verimi yaklaşık olarak % 70'tir. Potada kurşun metali ergitme işleminden elde edilen termal verim yaklaşık % 20'dir. Bu fırının günlük verimini artırmak için, hem odaklamanın iyileştirilmesi hem de güneş takibinin gerekliliği vurgulandı.

**Anahtar Kelimeler:** Parabolik çanak, güneş fırını, güneş enerjisi



**Master Thesis**

**SUMMARY**

**MELTING OF METALS WITH CONCENTRATED SOLAR POWER**

**Ali Kemal ÖZCAN**

**Karadeniz Technical University**

**Institute of Science and Technology**

**Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assoc. Doc. Cevdet DEMİRTAŞ**

**2015, 82 pages, 13 pages Appendix**

Limitation of fossil energy sources, environmental pollution occurring in the production and for energy production; both unlimited and renewable and also environmentally compatible resources are requirements of research and development. Renewable sources of energy in which solar energy is an important source of energy waiting to be explored and to be developed.

This study aimed to obtain an industrial process heat by direct use of solar energy. Parabolic dish or heliostat concentrators are needed to achieve higher temperatures in the thermal applications with solar energy. Therefore, increased surface reflectivity parabolic dish concentrators were used in this study. Melting some metals of the heat energy obtained by concentration of sunlight as a point, determination of melting point metals and casting this molten metals were carried out. Also, a crucible designed to perform melting operation and to reduce the heat loss of the parabolic dish furnace. The efficiency of crucible in the cases empty of type parabolic dish solar furnace was obtained approximately 70 %. Thermal efficiency of lead metal melting process in the crucible was obtained about 20 %. To increase the yield daily of the furnace was emphasized both requirements following of the sun and improving of focusing.

**Key Words:** Parabolic dish, solar furnace, solar energy

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Türkiye'deki yıllık güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı.....	5
Şekil 2. Lavoisier'in güneş fırını .....	8
Şekil 3. 1MW güneş fırını, Font-Romeu Odeillo.....	10
Şekil 4. İki aşamalı ayna güneş yoğunlaştırılmış sisteminin prensibi.....	11
Şekil 5. Römork üzerinde iki aşamalı güneş yoğunlaştırıcı sistem.....	12
Şekil 6. Katı parçacık alıcı ile iki aşamalı yoğunlaştırılmış çanak sistemi.....	12
Şekil 7. Dört ana YGS teknolojisi.....	16
Şekil 8. Çanak Sistemlerin (Stirling Dish) bir fotoğrafı.....	18
Şekil 9. PSA'deki güneş fırını (Almeria Solar Plant, İspanya).....	22
Şekil 10. Sinterleme işlemi esnasında güneş fırını ve elektrikli fırının karşılaştırılması....	23
Şekil 11. Güneş ve lazerle işlenmiş çelik sertlik profilleri.....	24
Şekil 12. 1000kW CNRS güneş fırını, (a) Prosesin şekli, (b) 500 litrelik döner fırın.....	26
Şekil 13. Katı atıklardan metal ayırmak için PSI'de geliştirilen Güneş reaktörü.....	27
Şekil 14. Zamanın bir fonksiyonu olarak bor ve fosfor içeriğinin değişimi.....	28
Şekil 15. Yüksek sıcaklıklı güneş fırın sisteminin gösterimi.....	29
Şekil 16. Güneşin günlük ve yıllık olarak zahiri hareketi.....	32
Şekil 17. Heliostatın sütun veya satır hareketinin gösterimi.....	34
Şekil 18. Heliostatın küresel hareketinin genel görünüşü.....	35
Şekil 19. Heliostatın yerel hareketini gösteren şematik diyagramı.....	36
Şekil 20. Her bir aynanın üç işlevini yerine getiren birim çerçevenin düzeneği.....	39
Şekil 21. Bu fotoğraf CCD kamera tarafından yakalanan aynanın ön-ayar işlemini.....	42
Şekil 22. Parabolik çanağın iki boyutlu gösterimi .....	44
Şekil 23. Krom nikelaj ile kaplı parabolik çanağın fotoğrafı.....	46
Şekil 24. Tasarlanan açık konik potanın şematik gösterimi.....	48
Şekil 25. Tasarlanan potanın cam kaplı fotoğrafı.....	49
Şekil 26. Alıcı potanın sisteme monte edilen fotoğrafı.....	50
Şekil 27. Potadaki parçacıkların rejime gelme süresi.....	51
Şekil 28. Odak noktasından alınan sıcaklık ölçümü fotoğrafı.....	52
Şekil 29. Potanın güneş şiddetine göre maksimum odak ve iç duvar sıcaklığı değişimi....	53

**Sayfa No**

Şekil 30. Güneş şiddetine göre pota odak ve iç duvar sıcaklıkları değişimi.....	53
Şekil 31. Mevcut çanağın ölçülen güneşin yükseklik ve dönme açıları.....	54
Şekil 32. Kapalı konik bir alıcının güneş şiddetiyle odak sıcaklığı değişimi.....	55
Şekil 33. Ergiyen kalın çinko plakanın dökümü ve numunesi fotoğrafı.....	56
Şekil 34. CEM DT- 1307 Solarimetre.....	58
Şekil 35. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi Termokupllar.....	59
Şekil 36. Yatay ve eğimli yüzeye gelen direkt ışınım.....	62
Şekil 37. Güneş şiddetine göre teorik odak sıcaklığı ve ölçülen odak sıcaklığı değişimi....	64
Şekil 38. Güneş şiddetine göre teorik odak sıcaklığı ve ölçülen odak sıcaklığı değişimi...	64
Şekil 39. Galvanizli çelik sac üzerindeki odak görüntüsü fotoğrafı.....	70
Şekil 40. Farklı yüzeylerde odak yarıçapı ile yakalama faktörünün değişimi.....	71
Şekil 41. Alıcının eğimine göre ısı kaybı değişimi.....	75
Şekil 42. Çanak eğimi açıları ve sistemin genel görünüşü.....	75
Şekil 43. Farklı metallere göre ergiyen metal akış miktarı.....	76
Ek Şekil 1. Güneş paneli açısı tespit diyagramı.....	91
Ek Şekil 2. Farklı açık pota alıcı şekilleri.....	92
Ek Şekil 3. 18 Haziranda ölçülen güneş yükselme açıları.....	93
Ek Şekil 4. 18 Haziranda ölçülen güneş dönme açıları.....	93
Ek Şekil 5. Kalın alüminyum sac ve ergimiş durumdaki fotoğrafı.....	94
Ek Şekil 6. Ergiyen ince alüminyum sac fotoğrafı.....	94
Ek Şekil 7. Kurşun sac ve ergitilen numunenin fotoğrafı.....	95
Ek Şekil 8. Odak düzleminde üzerinde 1 cm arayla ölçülen sıcaklık değişimi.....	95
Ek şekil 9. Şekil 35. Oyuk yüzeyin yayma gücünün $\epsilon_{eff}$ ile $A_w/ A_1$ değişimi.....	96

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Parabolik çanağın özellikleri.....	45
Tablo 2. CEM DT- 1307 Solarimetre'nin teknik özellikleri.....	58
Tablo 3. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi termokupl'a ait teknik özellikler...	60
Tablo 4. Güneş yoğunlaştırıcı çanak sisteminin toplam maliyeti.....	67
Tablo 5. Elde edilen sıcaklığa göre toplam ısı kaybı katsayısı.....	69
Ek Tablo 1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	84
Ek Tablo 2. Türkiye'de Bölgelere göre Güneş Işınım Miktarı ve Güneşlenme Süreleri....	85
Ek Tablo 3. Türkiye'de Birincil Enerji Kaynakları Üretim ve Tüketim Değerleri.....	86
Ek Tablo 4. Bazı yüzeylerin güneş ısınımı yutma, ısı iletim neşretme oranları.....	87
Ek Tablo 5. Seçici yüzeyler ve siyah boyalı yüzeylerin teknik özellikleri.....	88
Ek Tablo 6. Kapalı pota ve cam potanın güneş şiddetine göre pota iç sıcaklıkları değişimi.....	88
Ek Tablo 7. Çeşitli malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayıları.....	89
Ek Tablo 8. 18 Haziran 2015 alüminyum üzerinden alınan ölçümlere göre toplam ısı kayıbı katsayıları.....	90

## SEMBOLLER DİZİNİ

<b><u>SEMBOL</u></b>	<b><u>AÇIKLAMA</u></b>	<b><u>BİRİM</u></b>
$A_1 (A_2)$	Alıcı boşluğu açıklık (dış yüzey) alanı	$(m^2)$
$A_p$	Çanak yoğunlaştırıcısının açıklık alanı	$(m^2)$
$A_r$	Alıcı (odak görüntüsü) alanı	$(m^2)$
$A_w$	Pota iç yüzeyinin ısı transfer alanı	$(m^2)$
$A_0$	Açıklık yüzeyinin dış alanı	$(m^2)$
$D$	Çanak açıklık çapı	$(m)$
$f$	Odak uzaklığı	$(m)$
$G(x, z)$	Z - X düzleminde akı dağılımı	$(W/m^2)$
$Gr$	Grashof sayısı	
$h$	Kolektör yüksekliği	$(m)$
$h_0$	Alıcının açıklığından toplam ısı taşınım katsayısı	$(W/m^2K)$
$h_2$	Dış yutucu yüzeyin toplam ısı taşınım katsayısı	$(W/m^2K)$
$h_1$	Açıklığın dış yüzeyinden toplam ısı taşınım katsayısı	$(W/m^2K)$
$I$	Güneş yoğunluğu	$(W/m^2)$
$I_b$	Direkt ışınım	$(W/m^2)$
$I_d$	Yayıllı ışınım	$(W/m^2)$
$I_t$	Toplam ışınım	$(W/m^2)$
$k$	Isı iletim katsayısı	$(W/mK)$
$L_e$	Ergime gizil ısısı	$(J/gr)$
$m$	Ergime akış miktarı	$(gr/sn)$
$Nu$	Nusselt sayısı	
$Pr$	Prandtl sayısı	
$Ra$	Rayleigh sayısı	
$R_b$	Geometrik faktör	
$Re$	Reynolds sayısı	
$Q_{CC}$	Açıklıktan taşınım ile ısı kaybı	$(W/m^2)$
$Q_{CK}$	Açıklıktan iletimle ısı kaybı	$(W/m^2)$
$Q_{CR}$	Açıklıktan ışınlama ile ısı kaybı	$(W/m^2)$
$Q_L$	Alıcıdan toplam ısı kaybı	$(W/m^2)$

<b><u>SEMBOL</u></b>	<b><u>ACIKLAMA</u></b>	<b><u>BİRİM</u></b>
$Q_{SC}$	Dış yutucu yüzeyden taşınım ile ısı kaybı	(W/m <sup>2</sup> )
$Q_{SR}$	Dış yutucu yüzeyden ışımla ısı kaybı	(W/m <sup>2</sup> )
$Q_u$	Kullanılan enerji	(W/m <sup>2</sup> )
$T_{st}$	Durgunluk sıcaklığı	(°C)
$T_a$	Ortam sıcaklığı	(°C)
$U_L$	Toplam ısı kaybı katsayılarına	(W/m <sup>2</sup> K)
$V$	Rüzgâr hızı	(m/s)
$W$	Odak görüntü genişliği	(m)
$w_x$	X düzleminde odak görüntü genişliği	(m)
$w_z$	Z düzleminde odak görüntü genişliği	(m)
$Y.O$	Yoğunlaştırma oranı	
$\alpha$	Isıl yayıcılık katsayısı	(m <sup>2</sup> /s)
$\alpha$	Alıcı yüzeyinin yutma oranı	
$\alpha_{eff}$	Açıklığın soğurma etkisi	
$\alpha!$	Yarım optik koni açısı	(derece)
$(\alpha\rho)_{eff}$	Yutucu ve yansıtıcı ürün verimi	
$\delta$	Sapma(dağılma) açısı	(mrad)
$\epsilon_{eff}$	Açıklığın(oyuk) kızılötesi yayma gücüne etkisi	
$\epsilon$	Alıcı dış yüzey yayma gücü	
$\lambda$	Hedef açısı	Derece (°)
$\beta$	Isıl genleşme katsayısı	(1/K)
$\beta$	Eğim açısı	Derece (°)
$\eta_t$	Alıcının termal ısı verim	
$\rho$	Çanak yansıtıcılığı	
$\rho_o$	Başlangıç dönme açısı	Derece (°)
$\theta_o$	Başlangıç yükselme açısı	Derece (°)
$\theta_a$	Kolektör yarım kabul açısı	Derece (°)
$\theta_z$	Yükselme açısı	Derece (°)
$\varphi$	Gerçek ön yüz açısı	Derece (°)
$\Phi$	Göz önüne alınan yerin enlem açısı	Derece (°)
$\emptyset$	Kenar açısı	Derece (°)
$\emptyset_0(X_0, Z_0)$	Pota açıklığının yakalama faktörü	

<b><u>SEMBOL</u></b>	<b><u>AÇIKLAMA</u></b>	<b><u>BİRİM</u></b>
$\sigma$	Stefan - Boltzmann sabiti	
$\sigma_x$	X düzleminde standart sapma	
$\sigma_z$	Z düzleminde standart sapma	
$\nu$	Kinematik viskozite	(m <sup>2</sup> /s)
$\omega_s$	Güneş doğuş açısı	Derece(°)

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Güneş enerjisi bilinen en eski birincil enerji kaynağıdır. Temizdir, yenilenebilir ve dünyamızın her tarafında fazlasıyla mevcuttur. Hemen hemen bütün enerji kaynakları doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisinden türemişlerdir. Enerji, endüstriyel olarak gelişmenin ülkelerin refah düzeyinin ve gelişmişliğin en önemli göstergesidir. Enerji kaynaklarını iyi değerlendirmek, verimli ve çevreyi koruyan sistemlerle mümkündür.

Son yıllarda özellikle fosil yakıtların çevreye olan zararları ve bu tür enerji kaynaklarının gittikçe azalmasıyla beraber, küresel ısınma ve iklim değişiklikleri sebebiyle temiz enerji kaynaklarına duyulan gereksinim giderek artmıştır. Öte yandan enerji kullanımındaki artışın karşılanması için tükenmekte olan fosil yakıtların alternatifi yalnızca nükleer yakıtlarla mümkün görülmektedir. Dolayısıyla bu durum yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelimi giderek artırmaktadır. Güneş, diğer yenilenebilir enerji kaynakları (hidro, rüzgâr, jeotermal, nükleer gibi) arasında en basit teknolojiye, uygulanabilirlik açısından en kolay yöntemlere ve en bol kaynağa sahiptir. Ayrıca gün geçtikçe güneş enerjisi Ar-Ge çalışmalarına artan ilgi, üretimde artışa ve işletim maliyetlerinde azalmaya neden olmaktadır.

Güneş enerjisinin geçmişte sınırlı alanlarda kullanılmasına rağmen günümüzde ve gelecekte birçok alanda kullanılacağı ve yaygın hale geleceği düşünülmektedir. Dolayısıyla güneş enerjisinin alt yapısı bakımından gerekli olan yatırımların yapılması ile birlikte yüksek maliyetlerinde de düşüş olacağı ön görülmektedir. Böylece özellikle sanayide güneş enerjisinin kullanılması ile enerji üretiminde çevreye yararlı olacaktır ve ayrıca ilk maliyeti dışında pek gideri olmadığından daima kazanç sağlayacaktır.

### **1.2. Güneş Enerjisi**

Güneş, dünyadaki tüm varlıkların enerji kaynağıdır. Dünya gibi diğer gezegenlerde güneş sistemi içerisinde yer alır. Güneşin yapısı hakkında öncelikle bazı bilgiler sunulmuştur. Çapı yaklaşık 1,4 milyon kilometre olan güneşin iç çevresinde çok yoğun gazlar bulunur. Yeryüzünden yaklaşık 151.106 milyon km uzaklıktadır. Nükleer yakıtlar



dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmekte ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneş merkezi füzyon reaksiyonu için uygun bir ortamdır. Bir reaksiyonun basit olarak tanımı; protonla bombardımana tutulan hidrojen molekülü, hidrojenin türevi olan döteryuma dönüşür. Kararsız hale geçen iki döteryum çekirdeği birleşerek daha ağır olan helyuma dönüşür. Açıkta kalan iki proton ise reaksiyon zincirinin bu tanımına uygun olarak devam etmesini sağlar. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji çok fazladır. Güneşin bu enerjiye sahip olabilmesi için saniyede 10–38 füzyon reaksiyonuna ihtiyaç duyduğu hesaplanmıştır. Bu da yaklaşık olarak saniyede 657 milyon ton hidrojenin 653 ton helyuma dönüşmesi demektir. Bu reaksiyonlar sonucu kaybolan kütle enerjiye dönüşür. Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.104 kW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 kW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışınımın değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni, atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı emmeleri yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri 1367 W/m<sup>2</sup>'dir ve bu değer güneş sabiti olarak alınır.

Güneş merkezindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşırken, yayımlanan ışınımın spektrumunu belirleyen yüzey tabakasının (fotosfer) sıcaklığı 6000 °K'dir. Işınım, elektromagnetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı (birim dalga boyuna birim alana, birim zamana gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Diğer yıldızlardan yeryüzüne elektromagnetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir. Ancak yer kürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yer küreye gelen ışınımın büyükçe bir bölümü görünür bölgededir. Enerji taşıyan birimler gibi düşünülebilecek “fotonlar”, spektrumun görünür bölgesinin kırmızı yanında daha küçük enerji, mavi-mor yanında daha büyük enerji taşırlar. Seçilen bir dalga boyundaki fotonun taşıdığı enerji ve o dalga boyunda birim yüzeye birim zamanda gelen foton sayısı, seçilen dalga boyundaki gücü tanımlar. Dünyamıza güneşten gelen spektrumun, kırmızının ötesinde kalan kızılötesi ve morun ötesinde kalan morötesi bölgelerinde bulunan ışınımında toplam enerjiye önemli bir katkısı vardır. Güneşin gücü, yani bir saniyede güneş sisteminin verdiği enerji çok büyük olmasına rağmen yer küre atmosferinin dışına ulaşan tutar, yalnızca küçük bir bölümdür. Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki seçilen nokta olarak ele alınıp buna hava kütle sıfırı adı verilir. Hava küre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm

spektrumun üzerinden ele alınırsa, ulaşılan değer  $1267 \text{ W/m}^2$  olup bu değer “güneş değişmezi” olarak kullanılır. Güneş ışınları hava küreyi geçerken spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları hava küreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi gaz moleküllerinin yanında aerosol ve toz zerreciklerine saçılarak yeryüzüne ancak hava küre dışındaki enerjinin % 70’i ulaşır. Deniz seviyesinde açık bir havada optiksel hava-kütle; güneş ışınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, doğrudan güneşten gelen ve hava kürede saçıldıktan sonra difüzyona uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışınların, saçılmış ışına oranı değişir. Örneğin; bulutlu bir günde güneş ışınlarının büyük bir bölümü, saçılmış ışınlardan oluşurken, bulutsuz güneşli bir günde güneş enerjisinin büyük bir bölümü doğrudan ışınlardan oluşacaktır. Doğrudan ve yayılmış ışınım toplamı, küresel ışınım olarak adlandırılır. Uygulamalarda yeryüzüne gelen ışınım ise, örneğin Trabzon ili için güneşli bir gün için güneş ışınım şiddeti ortalama  $850\text{-}900 \text{ W/m}^2$  arasında olduğu gözlemlenmektedir.

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanılan güneş enerjisi, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelecektir.

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısı uygulamaları düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üçe ayrılır. Diğer bir uygulama türü ise güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Üzerine düşen güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için bir akümülatöre gerek vardır (Karamanov, 2007). Ayrıca ısı uygulamaları gibi güneşin takip edilmesi güneş pillerinin verimini artırabilmektedir.

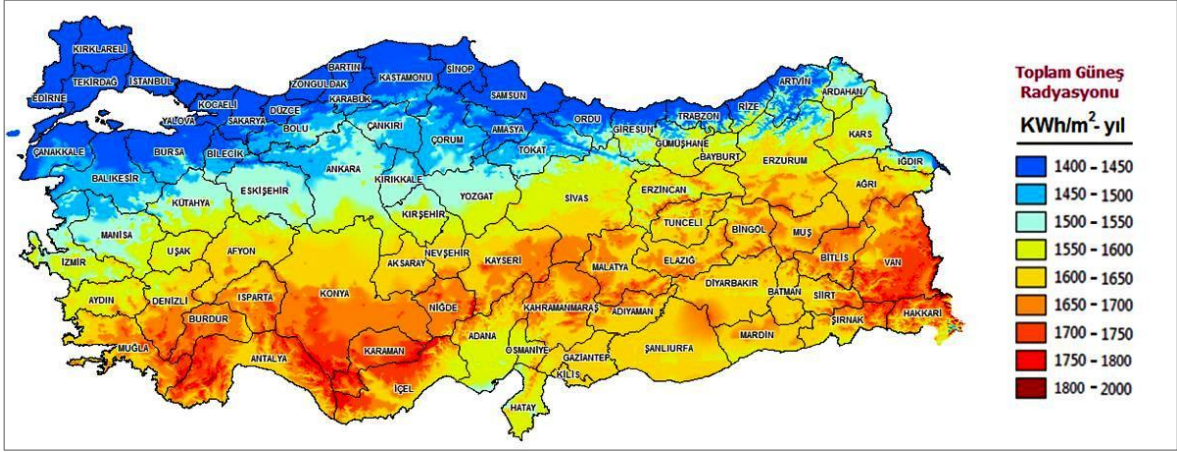
### **1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi**

Güneş enerjisinden en iyi şekilde yararlanabilmek için, “Güneş Kuşağı” adı verilen,  $45^\circ$  kuzey-güney enlemleri arasında kalan bölgede yer almak gerekmektedir. Türkiye  $36^\circ\text{-}42^\circ$  kuzey enlemleri ve  $26^\circ\text{-}45^\circ$  doğu boylamları arasında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından orta zenginlikte bir ülke durumundadır. 1966–1982 yıllarında ölçülen

güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı  $1311 \text{ kWh/m}^2$ , ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, bu da günlük toplam 7,2 saate eşittir. Bu rakam günlük  $3,6 \text{ kWh/m}^2$  güce eşittir. Aylara göre Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri Ek Tablo 1'de verilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresinin yüksek olmasına karşılık düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık uygulamalarında sınırlı sayıda kullanılmaktadır. Sanayinin toplam enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinden yalnızca % 0,1 oranında faydalanılmaktadır. 9,8 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısıl uygulamalar olmak üzere yıllık 26,2 milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümünün % 63'ünde ve tüm yıl boyunca % 17'sinden yararlanabilir (Alaçakır, 2015).

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek güneş enerjisi potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılında EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) ile DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri) arasında işbirliği yapılarak, ülkemizin gerçek güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla yeni bir proje başlatılmıştır. Çeşitli illerde yeni gözlem istasyonları kurularak enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri alınmıştır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden % 20–25 daha fazla olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini öncelikle ışınım şiddetini ortaya koyarak başlamada fayda vardır. Işınım şiddeti, güneşten gelen enerjiye bağlı olarak hesaplanan bir değerdir. Dünya'ya gelen enerji ise yaklaşık olarak 170 milyon MW/sn ve bu değer dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20 katına eşittir. Türkiye'de yıllık toplam enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu göz önüne alınırsa dünyaya 1 saniyede ulaşan enerji Türkiye'nin toplam enerji üretiminin 1,7 katıdır. Ayrıca, yapılan ölçümlere göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmış ve Türkiye'nin % 63'ünde 10 ay, % 17'sinde ise 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkün olduğunu göstermektedir (Alan ve Tuna, 2013). Şekil 1'de Türkiye'deki yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli verilmektedir. Burada 1985 – 2006 yılları arasında EİE tarafından yapılan ölçümler yıllık saatlik güneş ölçüm değerlerini içermektedir



Şekil 1. Türkiye’deki yıllık güneş enerjisi potansiyelinin dağılımı (Alan ve Tuna, 2013).

Türkiye’deki güneş ışınım şiddetinin aylara göre dağılımına bakıldığında ise en yüksek değerlerin Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında bulunduğu görülmektedir. Bu aylarda sırasıyla günlük 6,14, 6,57 ve 6,50 kWh/m<sup>2</sup>’lik değerlere ulaşılmaktadır. En az güneş ışınımını ise 1,59 kWh/m<sup>2</sup>-gün ile Aralık ayında yaşamaktadır.

Güneş enerjisi potansiyelini ortaya koymak için kullanılan diğer gösterge ise güneşlenme süresidir. Yeryüzünde bir düzleme gelen güneş ışığının düzlemde 120 W/m<sup>2</sup>’yi geçtikten sonraki kalma süresine güneşlenme süresi denir. Işınım şiddeti gibi güneşlenme süresi de dünya’nın şekli ve konumuna bağlı olarak değişir. Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süreleri genel olarak ülkenin güneyine inildikçe artmaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri’nde değerler 8’e kadar çıkmaktadır. 8,2 saatle yıllık ortalama güneşlenme süresinin en fazla olduğu il Antalya’dır. En az ortalama ise 4,1 saatle Rize’ye aittir.

Güneşlenme süresinin aylara göre ise Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 10 ila 11 saat ile en üst düzeylere çıkan ve en düşük olduğu ay olan Aralık’ta dahi en düşük 3,75 saate kadar inmektedir. Türkiye’de güneşlenme sürelerinin ve ışınım şiddetlerinin bölgelere göre ise en yüksek değerlerin Güneydoğu Anadolu’da olduğu görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde aylık 126 ile 407 saat arasında değişen güneşlenme süreleri görülmektedir. Bölgeyi, sırasıyla aylık 101 ile 360 saat arasındaki güneşlenme süreleri ile Akdeniz, aylık 98 ile 381 saat arasındaki güneşlenme süreleri ile İç Anadolu Bölgesi izlemektedir. Türkiye’de bölgelere göre güneş ışınım miktarı ve güneşlenme süreleri Ek Tablo 2’de verilmiştir.

Türkiye’de birincil enerji kaynakları üretim ve tüketim oranlarına bakıldığında, Türkiye’de güneş enerjisi üretiminin toplam enerji üretimi içerisindeki payının % 0,29 toplam enerji tüketimi içerisindeki payının ise % 0,18 olduğu görülmektedir. Ayrıca, üretim ve tüketim miktarlarına göre yapılan sıralamaların her ikisinde de güneş enerjisi, toplam 12 enerji kaynağı içerisinde 11. sırasındadır. Bu durum, güneş enerjisinden faydalanmanın yeterli olmadığını göstermektedir. Türkiye’deki toplam enerji üretiminin, toplam tüketimin yaklaşık % 64’ünü karşıladığı ve bu nedenle birçok kaynakta dış alım yapıldığı göz önüne alındığında güneş enerjisi üretiminin artırılması gerektiği açık biçimde anlaşılmaktadır. Türkiye’de birincil enerji kaynakları üretim ve tüketim değerleri Ek Tablo 3’te verilmiştir.

Ülkemizde 1970’li yılların sonlarında başlayan güneş enerjisinden sıcak su üretimi günümüze kadar artarak devam etmiştir. Bugün, Türkiye su ısıtma amacıyla kurulu güneş kolektörleri miktarı bakımından yaklaşık 18 milyon m<sup>2</sup> ile dünyada ABD ve Japonya’dan sonra 3. sırada bulunmaktadır. Türkiye, bu rakamla dünya sıralamasında önemli bir yeredir, fakat kurulu olan altyapının nüfusa oranlanması sonucunda 0,23 m<sup>2</sup>/kişi ile bu listenin sonlarında yer almaktadır. Bu kurulu altyapının ülke ekonomisine yıllık faydası her yıl petroldeki değişikliklere orantılı olarak değişmekle birlikte yaklaşık 700–800 milyon dolardır (Alan ve Tuna, 2013). Ayrıca Türkiye’de güneş enerjisi sistemlerini üreten sanayi her geçen gün gelişmekte ve büyümektedir.

Araştırmalar göre Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları ile Avrupa’nın ikinci büyük gücü olduğunu göstermektedir. Bu kapasite; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, biyoenerji ve foto-voltaj kaynakların toplamıdır. Bu enerji kaynakları içinde güneş enerjinin payı potansiyelinden daha düşüktür. Burada Türkiye için önemli olan doğru kararların alınmasıyla, yenilenebilir enerji sistemlerinin, kalıcı ve verimli yapıların oluşmasını sağlamasıdır.

- Güneş enerjisinin avantajları:

Küresel ısınmanın giderek arttığı bir ortamda güneş enerjisi üretiminde karbon yayılımı meydana gelmez. Hava kirliliğine neden olmaz. Güneş enerjisinin bir diğer çevreci özelliği de çalışırken ses çıkarmadığından gürültü kirliliğine de neden olmaz. Güneş enerjisi yakıt maliyeti gerektirmeden sıcak su, ısınma, soğutma, endüstriyel uygulamalar, elektrik üretimi gibi birçok uygulamayı sağlamaktadır.

Güneş enerjisi sistemleri enerji ihtiyacına göre kolay kurulabilir sistemlerdir. Ayrıca enerji ihtiyacının artması durumunda, hızlı ve kolay bir şekilde bu sistemler

genişletilebilir. Bu sistemler, üretim ve kurulum maliyetlerinden sonra kullanımda çok fazla bakım maliyeti oluşmazlar. Güneş sistemlerinin ilk kurulum ve üretim maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen uzun dönemde düşünüldüğünde fosil yakıtlara göre başlangıçtaki ödenen maliyetin geri dönüşümü vardır. Özellikle foto-voltaj güneş hücrelerinin ve diğer topaçların araştırma, geliştirme ve üretim çalışmaları yapıldığı ülkeye ciddi bilimsel ve teknolojik altyapıyı sağlamaktadır. Aynı zamanda bu ülkelerdeki güneş enerjisi sistemleri kurulum ve yatırım maliyetlerini ciddi oranda azaltmaktadır.

- Güneş enerjisinin dezavantajları:

Güneş enerjisi sistemlerinin verimi güneşin durumuna bağlıdır. Bulutlu havalar, çevre kirliliği, güneşin yönü bazı sistemlerde verimi direkt etkilemektedir. En önemli dezavantajı foto-voltaj panellerin ve takip sistemli topaçların üretim ve kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Özellikle elektrik üretimi yapan topaç tiplerinde gölgelemeyi önlemek için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin gece enerji sürekliliği sağlayabilmesi için depolama sistemlerine ihtiyaç duyar. Ayrıca binalarda kullanılan güneş topaçları görünüm ve yer açısından bazı sorunlara yol açabilmektedir.

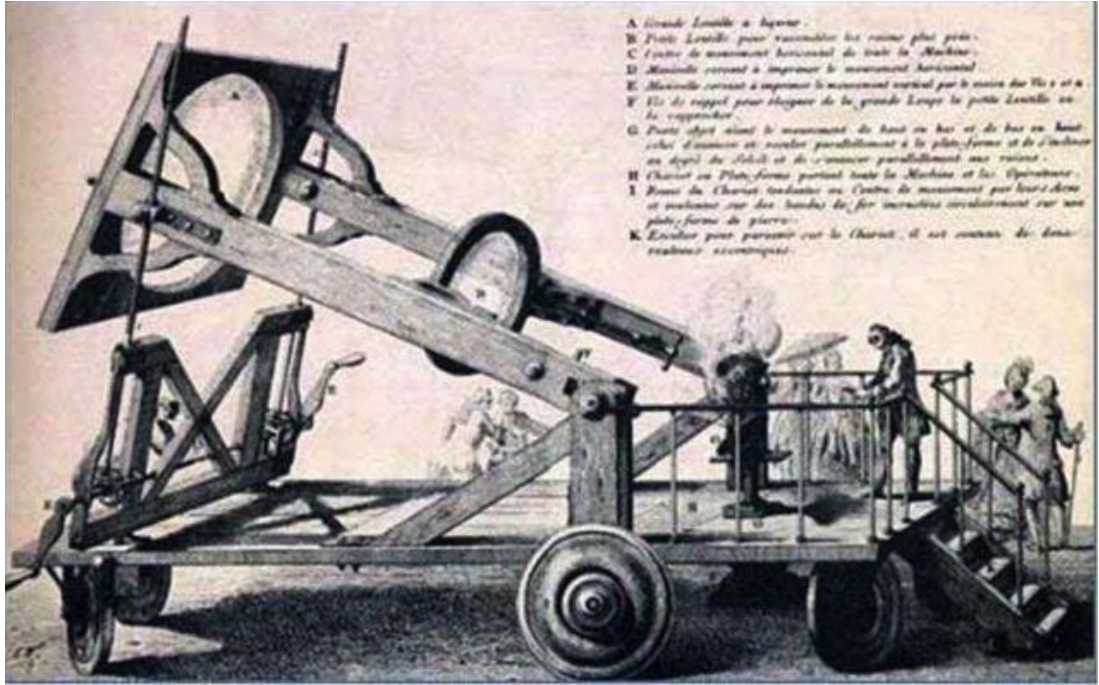
Foto-voltaj hücrelerde kullanılan yarı iletken maddeler kullanım ömrü bittikten sonra çevre kirliliğine neden olabilmektedirler. Güneş enerjisi teknolojisi ulaşım amaçlı uygulamalar (otomobil vb.) için henüz yeterli verime sahip değildir (Tunç, 2011).

#### **1.4. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi**

En eski ve ünlü Arşimet tarihini raporlayan Trombe ve Buffon, yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin kullanımının tarihini izlemek için sadece birkaç kelimeye rastlamıştı. M.Ö. 215'te Arşimet bronz aynalar ile güneş enerjisi kullanılarak Syracuse kuşatmasında Romen deniz filosu ahşap gemilerini yakarak muhtemelen batırmıştı. Buffon bu deney üzerinde kendisi yeniden çalıştı ve yüz kırk aynanın her birini aynı yüzey üzerine odaklayarak metalleri eritmeyi ve bir odun yığını yakmayı başardı. Ancak yüksek sıcaklıklar elde etmek için güneş enerjisini kullanan ilk kişi o değildi.

17. Yüzyılda XIV. Kral Louis'e hediye olarak verilen kral aynası olarak ta bilinen 1 m çapında bazı ayna ve lensler ile yaklaşık 1000 °C sıcaklığa ulaşmayı başardı. Bu ayna kullanılarak, çok hızlı bir şekilde demir ve gümüş ergitildi. Aynı zamanda, bakır ile kaplı ahşap aynalar camın taşlarını değiştirmek için kullanılmıştır. Ayrıca bu fırınların doğuşu

şöyledir: Farklı odak mesafelerinde iki içbükey aynalar yüz yüze yerleştirilir. Birinci odağa bir ısı kaynağı yerleştirilir ve ikinci odaktaki hedefte yüksek sıcaklıklar elde edilmiştir. 17. yüzyıl sonunda ve 18. yüzyılın başlarında yüksek sıcaklıkta füzyon deneyi için içbükey aynalar yerine lensler kullanılmıştır. Bu lensler güneş radyasyonunu yukarıdan aşağıya yoğunlaştırma avantajına sahiptir. Birkaç denemeden sonra sistematik olmayan deneyler en verimli şekilde gerçekleştirilmiştir. 1773 yılında Lavoisier (i) alkol dolu bir lens ile platinyum ergime sıcaklığına (1773 °C) yaklaşmayı ve hızlı bir şekilde demir ergitmeyi (1500 °C) başardı ve (ii) Lavoisier havada güneş fırınının odağında elması yaktığı gibi elmasın allotropik bir karbon formu olduğunu kanıtladı. Şekil 2’de Lavoisier’in güneş fırını gösterilmektedir. Ayrıca o azot (Nitrojen) gibi özel atmosfer altındaki metalleri geri kazanmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Lavoisier tarafından yapılan deneyler, madde (cevher) ile güneş enerjisi etkileşimini incelemek ve yüksek sıcaklıklar üretmek amacıyla son kez yapılmıştı. Daha sonraki araştırmalarda güneş enerjisi, yemek (gıda) pişirmek için bir kazan imal edilerek kullanılmıştır (Herschell, 1834; Mouchot, 1861; Flamant ve Pichelin, 2014).



Şekil 2. Lavoisier'in güneş fırını (Flamant ve Pichelin, 2014).

Ardından, Lavoisier'den iki asır sonra Trombe, ikinci dünya savaşından sonra 2 m çapında Alman ayna kullanarak bir fırın geliştirmiş ve yüksek refrakter torya ( $>3000$  °C), hafniya (2780 °C), zirkonya (2680 °C), krom oksit (2260 °C) ve alümina (2050 °C) gibi seramikleri eritmede yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin etkili olduğunu göstermiştir. 1950'de Trombe tarafından yapılan ilk deneylerde kısaca: Gaz fazında sentezleme, büyük boyutta numune elde etmek için refrakter bileşiklerinin sürekli iyileştirilmesi, farklı bileşikler kullanılarak ayrıştırma reaksiyonları, kimyasal reaksiyonları ve oksitleri karıştırarak füzyon çalışmaları yapmıştı. Trombe, 2 kW'lık bir güneş fırını üzerindeki tüm bu deneylerden sonra, büyük yüzeylerde yüksek sıcaklıkları elde etmek için büyük boyutta güneş fırınları üzerinde çalışmak gerektiğini ve aynı zamanda endüstriyel amaçlar için yeni refrakter malzemeleri hazırlamasının gerekli olduğunu açıklamıştı. Üstelik Trombe, iki önemli işlevin olduğunu vurguladı. Bunlar belirgin güneş hareketinin takibi ve yoğunlaştırıcıdır. İlk Mont-Louis 50 kW'lık (Fransa) güneş fırını ve sonra 1970 yılında Fransa'da yapılan 1 MW güneş fırını hala dünyanın en büyük güneş fırınıdır. Şekil 3'te Font-Romeu Odeillo 1 MW güneş fırını gösterilmektedir. Ayrıca benzer bir yapıdaki fırında Özbekistan'da faaliyet göstermektedir.

20. yüzyılda insanların yaşamına giren petrol, güneş enerjisi kullanımıyla ilgili gelişmeleri bir ölçüde frenlemiştir. Güneş enerjisi teknolojisinin gelişim süreci içerisinde yüksek sıcaklık üretmeye yönelik güneş fırınları önemli yer tutmuştur. 1974'teki yapay bunalımı ve petrol fiyatlarının artması sonucu güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar, yeniden hız kazanmıştır. Özellikle evlerde sıcak su sağlanmasında güneş toplacıları kullanımı bu yüzyılda yaygınlaşmıştır. Yine, yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin kullanıldığı güneş santralleri bu yüzyılda yapılmaya başlanılmıştır.



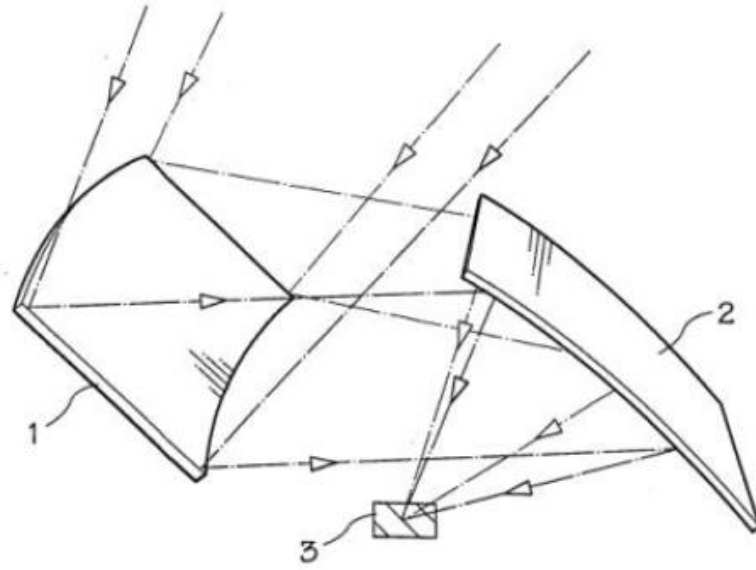


Şekil 3. 1 MW güneş fırını, Font-Romeu Odeillo (Flamant ve Pichelin, 2014).

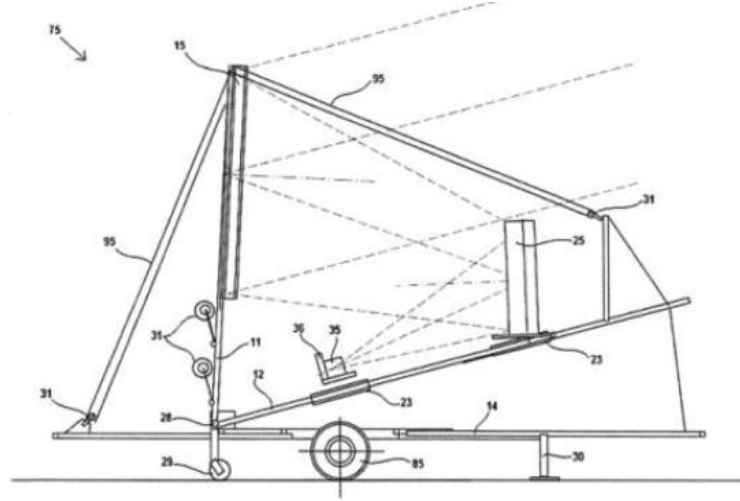
Güneş enerjisinin metallerin eritilmesinde kullanılması ile ilgili çalışmalardan bir tanesi de South Shore Bureau'nda yaşayan araştırmacı Peter Kinley tarafından yapılmıştır. Lunenburg'da yaşayan mühendisler metalleri eritmek için güneş enerjisinin basit bir metodunu geliştirdiler. Daha sonra Prometheus Projesi'ni kullandılar. Bu projede sadece 5 m<sup>2</sup> büyüklüğünde bir ayna kullanıldı. Bu aynalar ile güneş ışınlarını doğrudan potanın içine yansıtarak 660 °C de alüminyumı ergittiler. Araştırmacı Peter Kinley, çığır açan sonuçların sanayi ve konut sektörleri için şaşırtıcı bir potansiyele sahip olduğu düşüncesini savundu ve bu sistemin, metalleri eritmede ve konutlara sıcak su sağlamada çevre dostu bir yol olduğu düşüncesindeydi. Yüksek yağ maliyeti ile gemi ve teknelerin imali için gereken metalleri dökümhanede eritmek çok pahalıdır. Kinley, güneş enerjisini odaklamanın ve metalleri eritmenin bir yolunu bulmak istedi. Bu buluş, Lunenburg dışında, Lilydale çiftlik evinin arkasında küçük bir deney olarak başlamıştı. Kinley, Linenburg Endüstri Döküm ve Mühendislik Başkanlığı'nda dökümhaneler için yenilenebilir, uzun süreli ve ucuz bir enerji kaynağı bulmak için çalışmıştı. Onun ilk örneği Alpha, kontra plak muhafaza içinde cilalı paslanmaz çelik levhalar kullanmıştı. Bu sistem, kurşun ve çinkodan yapılan yatak madeni adı verilen metali eriten 407 °C bir sıcaklık üretti. Kinley, çok geniş bir ölçekte mercek yapmanın mümkün olabileceğine karar verdi. Kinley daha sonra, bir dökümhane buluşu gibi ürettiği sıcaklıkların bir bilgisayar modelini oluşturmak için Halifax Dalhousie

Üniversitesi ile çalışmış ve Gamma II sıcaklığını ölçmede kullandığı platin termo elemanları (termokupl) ergitmişti. Çünkü henüz ispat edilmemiş olsa bile 1800 °C sıcaklığa ulaşmıştı. Son zamanlarda demir eritildiğinde sıcaklığın 2800 °C de olduğu kanıtlanmıştır. Kısa vadede, dökümhane, dekoratif kapı tokmakları, hediyelik eşya olarak tüm küçük dökümler, oluşturmak için Gamma II'yi kullanmayı hedeflemiştir (Ware ve Bureau, 2014).

Şekil 4'te iki aşamalı ayna ile yoğunlaştırılmış güneş sisteminin prensibini gösteren bir ray diyagramı gösterilmektedir. Bu şekilde 1 numara, birinci yoğunlaştırıcı ve güneşi takip eder, 2 numara ikinci bir yoğunlaştırıcı ve sabittir ve 3 numara, ışınların odaklandığı yerdir. Benzer olarak düzenlenmiş bir römork üzerine monte edilen çift yoğunlaştırıcı sisteminin şematik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.

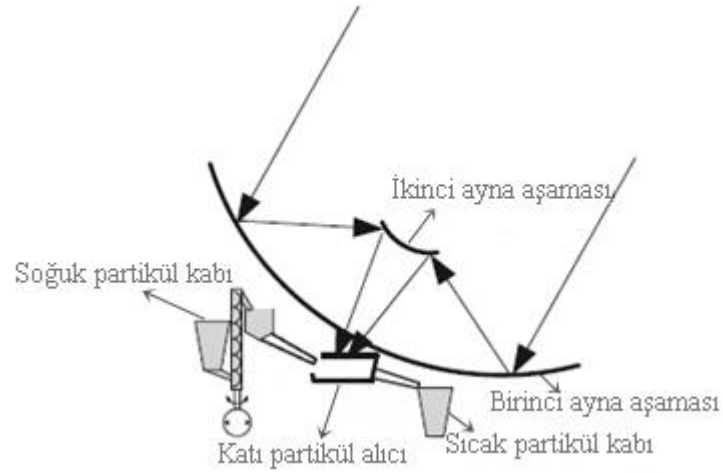


Şekil 4. iki aşamalı ayna güneş yoğunlaştırılmış sisteminin prensibi (Ware ve Bureau, 2014).



Şekil 5. Römork üzerinde iki aşamalı güneş yoğunlaştırıcı sistemin şematik gösterimi (Ware ve Bureau, 2014).

Güneş enerjisiyle ısı işlemlerin başka bir yolu da spiral bir katı parçacık alıcı olarak Şekil 6'da gösterilmektedir. Işınlara, iki aşamalı bir solar çanak yoğunlaştırıcısının merkezine yerleştirilen oyuk spiral alıcıya odaklanır. Alıcı, sıcaklık artışıyla ve direkt olarak yoğunlaştırılan ışınları emen taneciklere sarmal bir yol boyunca hareket sağlar. Parçacıkların kütle akış hızı kolayca kontrol edilebilir ve bu alıcıda parçacıkların kalma süresi önceki alıcılardan çok daha uzundur. Bu tasarımın kullanılabilirliği bakımından ve seri bir şekilde ergitme işleminin yapılmasında etkili olduğu anlaşılmaktadır. İki aşamalı sistemlerin benzer şekilleri de mevcuttur.



Şekil 6. Katı parçacık alıcı ile iki aşamalı yoğunlaştırılmış çanak sisteminin gösterimi (Xiao vd., 2013).

## 1.5. Isıl Güneş Teknolojileri

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar ısıl güneş teknolojileri ve güneş pilleridir. Isıl güneş teknolojilerinde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilmesi gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Isıl güneş teknolojileri; düşük sıcaklık, orta sıcaklık ve yüksek sıcaklık olmak üzere üç grupta incelenir. Düşük sıcaklık (70 °C) uygulamaları olarak evlerin çatılarına kurulan ve sıcak su üretimine kullanılan düzlemsel toplayıcılarıdır. Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş enerjisini ısı enerjisi olarak bir akışkana aktaran aygıtlardır. Basit ve ucuz olması nedeniyle en yaygın kullanılan güneş enerjisi uygulamasıdır. Evlerde, yüzme havuzlarında ve sanayi tesislerinde sıcak su üretimi için kullanılırlar. Orta veya yüksek sıcaklık uygulamaları ise yoğunlaştırma yapan ısıl sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak güneş ışınlarının tek noktada toplanmasıyla yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Kesiti parabolik olan kolektörlerin (çanak veya oluk) iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler sayesinde güneş ışınlarını odakta yer alan bir alıcıya odaklarlar. Orta sıcaklık (350–400 °C) uygulamalarına parabolik oluk kolektörler örnek olarak verilebilir. Parabolik çanak (800 °C), merkezi alıcılar (565 °C), güneş fırınları (3000 °C) yüksek sıcaklık uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir (URL-1, 2014).

Güneş enerjisi tarımsal ve endüstriyel ürünlerin kurutulması, acı ve tuzlu suların damıtılması, yemek pişirme ve endüstriyel pişirme, güneş motorları, yüksek sıcaklık uygulaması olarak metal eritme (güneş fırınları) alanlarında kullanılabilir. Güneş enerjisinin tarım alanındaki en önemli uygulamaları, ürün kurutma ve seralardır. Kabinet tipinde ya da zorlanmış hava akımlı depolu biçimde yapılan tarımsal kurutucularda düz yüzeyli kolektörler kullanılır. Güneş imbikleri de denilen, deniz suyundan ya da acı sulardan tatlı su ve tuz minerali üreten güneşli distilasyon üniteleri yine düz yüzeyli kolektörlü düşük sıcaklık uygulamalarıdır. Güneşle ısıtılan seralar ise pasif yapıda olabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilir. Dünyada kırsal yörelerde sınırlı bir biçimde kullanılmaktadır. Güneşli kaynatıcılar ve yemek pişiriciler, güneşli sterilizörler ise genelde odaklı kolektörlü olup, güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasıyla elde edilen yüksek sıcaklıklı ısıyı kullanırlar. Bu kolektörler çoğu kez çanak biçimindedir. Ancak, pişiricilerin düz yansıtıcı plakalarla donatılmış ısı kutusu tipleri de vardır. Çift camlı, kutu tipli ocaklar güneşli saatlerde yemek pişirilmesini

sağlayabilirler. Hindistan, Çin gibi bazı ülkelerde yemek pişirmek için güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-4, 2015). Ülkemizde güneş enerjisi ile yemek pişirmek daha çok güney kesimlerinde yaygındır.

Güneş enerjisi ile mekanik enerji üretmek için, sıcak hava motorlarından (Stirling ve Ericsson çevrimli) ve güneş buhar güç sistemlerinden (Rankine ve Brayton çevrimli) yararlanılmaktadır. Bu motorlar ve türbinlerle sulama pompaları başta olmak üzere çeşitli iş makineleri çalıştırılabilmektedir. Güneşli su pompaları, güneşli sıcak hava motorlarıyla (Stirling motorları), özel buharlı güç çevrimine dayalı güneş kuvvet makineleriyle çalıştırılmaktadır. Stirling motorlu tesislerde çanak tipi odaklı kolektörler kullanılırken, buharlı güç çevrimine dayalı olanlarda klasik düz yüzeyli, vakum borulu, ısı borulu ve uzunlamasına silindirik odaklı (oluk tipi) kolektörler kullanılmaktadır (URL-4, 2015). Güneş enerjisi uygulamaları; sıcak su üretimi, bitkisel ürünlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, deniz suyunun damıtılması, elektrik üretimi, hacim ısıtılması ve soğutulması, sulama suyunun pompalanması, endüstriyel işlem ısısı üretme, metal ergitme ve serleştirme, hidrojen gazı üretimi, fotokimyasal ve foto sentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

## **1.6. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji Sistemleri**

Orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak yoğunlaştırılmış güneş enerjili sistemleri daha ayrıntılı bir şekilde ele alındı. Doğrusal yoğunlaştırıcılar ve noktasal yoğunlaştırıcılar olarak ikiye ayrılırlar.

### **1.6.1. Doğrusal Yoğunlaştırıcılar**

Parabolik eğri yüzeye sahip bir yansıtıcı eleman yardımıyla bir eksen boyunca yoğunlaştırılan sistemlerdir. Odak boyunca yerleştirilen soğurucu bir boru içinden uygun bir akışkan (hava, su, yağ, vs) geçirilerek ısı alınır. Orta sıcaklık uygulamalarında kullanılan bu tip sistemler yoğunlaştırma oranlarının yüksek olmasından dolayı 400 °C civarındaki sıcaklıklara ulaşabilmektedirler. Doğrusal yoğunlaştırıcıları parabolik oluk ve frensel aynalı yoğunlaştırıcılar olarak ikiye ayrılır.

### **1.6.1.1. Parabolik Oluk Yoğunlaştırıcı Sistemler**

Parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemler en yaygın kullanılan ve teknik olarak yeterliliği kanıtlanmış sistemlerdir. Bir parabolik oluk kolektör, ışın demetlerini odak eksenine üstünde konumlandırılmış alıcı borusu üzerinde yoğunlaştıran, doğrusal parabolik bir aynadan oluşur. Alıcı parabolik aynanın orta kısmının biraz üstüne yerleştirilmiş, içinde çalışma sıvısı bulunan bir borudur. Genellikle kuzey-güney ekseninde yerleştirilmiş ayna gündüz saatlerinde Güneş'i doğudan batıya doğru (tek ekseninde) izleyerek ışınımı alıcı üstünde, eksen boyunca odaklar ve boru içinden akmakta olan çalışma sıvısını (sentetik yağ veya ergimiş tuz) 150–350 °C sıcaklığa kadar ısıtabilir ve ısınmış çalışma sıvısı güç üretimindeki ısı kaynağı durumuna gelir. Bir sonraki aşamada çalışma sıvısı üzerindeki ısı, çevrim suyuna aktarılır ve elde edilen su buharı türbini döndürür. Parabolik oluk kolektörler, güneş tarlası üzerinde paralel ve seri bağlı sıralar halinde yerleştirilebilir ve böylece geniş bir alan üzerine düşen güneş enerjisi güç merkezinde toplanarak elektriğe dönüştürülür. Kaliforniya'daki SEGS ve Nevada'daki Nevada Solar One santralleri, İspanya'daki çok sayıda santral bu teknoloji ile kurulmuştur. (Livatyalı ve Yıldırım, 2011). Şekil 7a'da parabolik oluk gösterimi verilmiştir.

### **1.6.1.2. Fresnel Aynalı Yoğunlaştırıcılar**

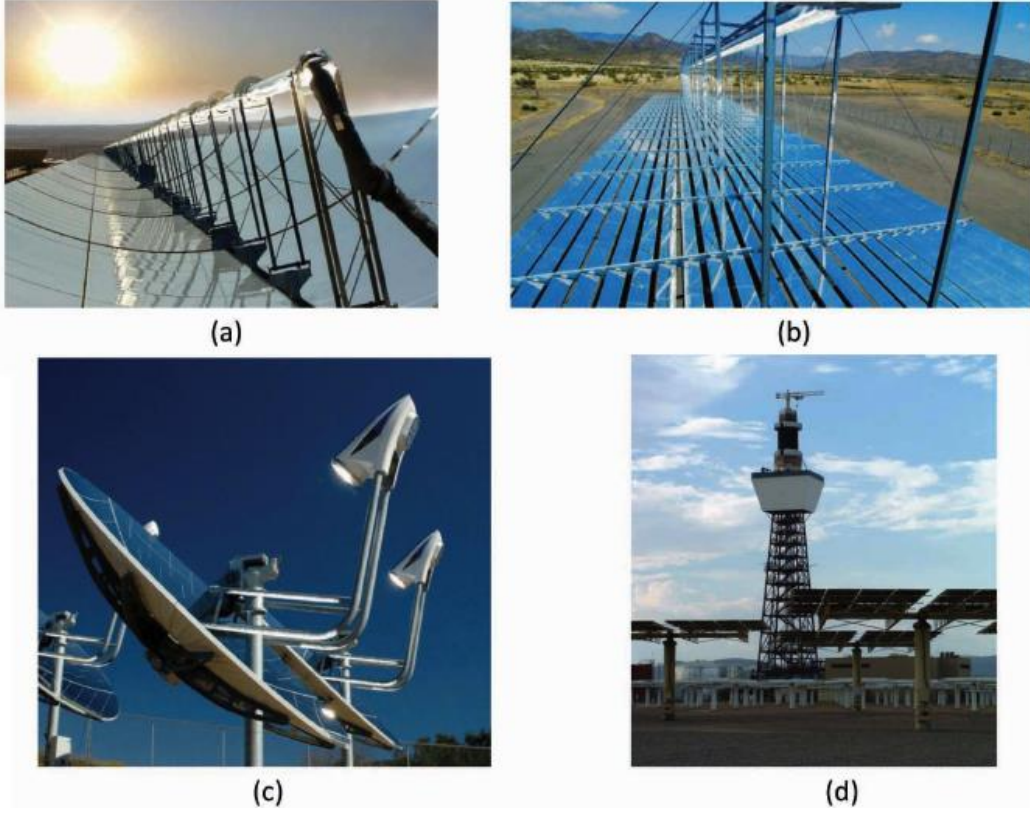
Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar yan yana, çok sayıda dar ve düz aynanın doğrudan ışınımı ayrı bantlar halinde, orta üst kısımdaki alıcı boru üstünde doğrudan odaklaması ile çalışır. Fresnel aynalı yoğunlaştırıcıların gösterimi Şekil 7b'de verilmektedir. Parabolik oluk kolektörlere kıyasla imalatları daha ekonomik olan bu sistemde güneş ışınımını daha geniş bir alandan toplamak ve çalışma sıvısı kullanmadan suyu doğrudan ısıtmak mümkündür. Ancak toplam sistem verimi daha düşüktür ve ticari olarak parabolik oluk kolektörler kadar yaygınlaşmamıştır.

### **1.6.2. Noktasal Yoğunlaştırıcılar**

Güneş ışığını kullanarak yüksek sıcaklıklara ulaşmak için noktasal odaklama yapan sistemlere noktasal yoğunlaştırıcı sistemler adı verilir. Güneşi iki boyutta izleyen bu

sistemler parabolik çanak, merkezi alıcı ve güneş reaktörlü yüksek fırınlar olarak sıralanmaktadır.

Parabolik çanak toplayıcılarda, odak noktasına yerleştirilen katı, sıvı veya gaz fazları olarak bir alıcı ile ısı enerjisi alınır. Bir Çanak sistemi Şekil 7c'de gösterilmektedir. Merkezi alıcı (Kule tipi) sistemlerde, tek tek odaklama yapan heliostat denilen aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini alıcı denilen bir kule üzerine monte edilmiş ısı değiştiriciye yansıtır ve yoğunlaştırır. Bir merkezi alıcı (güneş kulesi) Şekil 7d'de gösterildi. Ayrıca güneş reaktörlü yüksek fırınlarda da heliostatların yerel hareketinden dolayı noktasal bir odaklama yapıldığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Dört ana YGS teknolojisi (a) Parabolik oluk, (b) Fresnel aynalar, (c) Parabolik çanak, (d) Güneş kulesi (Livatyalı ve Yıldırım, 2011).

### 1.6.2.1 Parabolik Çanak Sistemleri

Parabolik çanak sistemleri birçok güneş enerjili işlemlerde kullanılabilir. Bunlar elektrik üretimi için Stirling motorlu parabolik çanak sistemler, metal ergitme ve diğer ısı gücü üretimi için parabolik güneş fırınları olarak ele alınabilir.

Kinoshita'e (1985) göre, bir güneş toplayıcısı (çanak) seçilirken veya imal edilirken performansı etkileyen değişkenler şunlardır;

- f/D oranı (odak uzunluğu/çanak çapı) yaklaşık olarak 0.5 olması verimi artırırken, daha düşük veya yüksek oranlarda verimi azaltır.

- Yüzey yansıtıcılığı, yarı küresel ve dik açılı yansıma olarak 0,8–0.95 arası veya daha yüksek olması durumunda verim artar.

- Eğim sorununu gidermek için tam parabolik olma ve  $0.5^\circ$  eğimden daha yüksek eğim hataları verimi azaltır.

- Takip sorunu için güneşi iki yönlü izleme ile kosinüs kaybının olmaması nedeniyle parabolik bir çanak sistemi (nokta odaklama) diğer sistemlere göre avantajlıdır. Yıl boyunca daha yararlı enerji üretimi ve artan radyasyon sayesinde daha yüksek bir verim elde edilmesi için, iki eksenli takip mekanizması ile çanak açıklığının gelen güneş radyasyonunun her normalini tutmasını sağlar.

- Yoğunlaştırma oranı, yani çanak açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı büyüdükçe verim de artacaktır.

#### (i). Stirling Motorlu Çanak Sistemleri

Parabolik çanak sistemlerinde büyük çukur bir aynanın odağındaki alıcı üstünde toplanan ısı, hemen arkasındaki Stirling (gaz) motoru tarafından mekanik enerjiye ve dolayısıyla elektriğe dönüştürülür. Güneş'i iki eksenle takip eden parabolik çanak sistemlerde odaklanma oranı yüksektir ve alıcı sıcaklığı 250–700 °C mertebesine çıkar. Su gerektirmeyen bu sistemler tek tek veya çok sayıda kullanılabilir, ancak kurulum maliyetleri yüksektir (Livatyalı ve Yıldırım, 2011).

Çanak Sistemler (Stirling Dish), yoğunlaştırıcı sistem olmasına ve bu grupta sınıflandırılmasına rağmen, direk elektrik üretimi gerçekleştiren sistemlerdir. Modüler üniteler halinde 5 kW–30 kW arasında sistemler ticari olarak bulunmaktadır. Bu sistemler güneşi iki eksenle takip ederek, güneş ışınlarını odakta bulunan özel bir motor olan Stirling motorlarına yoğunlaştırır. Bu motorlar, kapalı devre gazların sıcaklık ve basınç değişimlerine göre faz değiştirme prensibiyle çalışan, ısının mekanik enerjiye



dönüştürüldüğü motorlardır. Motorlarda gaz olarak helyum, hidrojen, nitrojen ve hava kullanılabilir. Bu motor tarafından üretilen kinetik enerji doğrudan elektrik üretebilen bir jeneratöre aktarılır ve elektrik üretilebilir. Bir Çanak Stirling motorlu sistemin fotoğrafı Şekil 8’de görülmektedir.

Modüler yapısı ve elektrik üretmek için türbin jeneratör setine ihtiyaç duymaması nedeni ile avantajlıdır. Ancak Stirling motorunun bu uygulama için daha sağlam ve sürdürülebilir çalışır hale gelmesi gereklidir. Birçok Avrupa ülkesinde ve ABD’de örneğin Sandia Güneş Enerjisi Laboratuvarlarında birkaç firmanın geliştirdiği bu sistemler test etmektedir. Ülkemizde de Stirling Çanak sistemleri ile elektrik üretimi çalışmaları gittikçe yaygınlaşmaktadır.



Şekil 8. Çanak sistemlerin (Stirling Dish) bir fotoğrafı (URL–5, 2015).

#### (ii). Parabolik Çanak ile Güneş Fırını

Küçük ölçekli güneş fırını tek bir parabolik yansıtıcı aracılığı ile gerçekleştirilir. Ancak hedef hareketli olması gerekir ve çok yüksek sıcaklığa ulaşılabilmesi sınırlıdır. Dolayısıyla bu cihaz, genellikle 2000°C altında kullanılır (Ari Rabl, 1985; Stine Harrigan, 1985; Jaffe, 1989; Winter vd., 1991; Chen vd., 2002).

Güneş enerjili çanak tipi fırınlar, güneş toplayıcı sistem olarak adlandırılan bir odaksal alıcı ve bir yoğunlaştırıcı ile gerçekleştirilmektedir. Güneş enerjisi ile odak noktasına yerleştirilen metal bir alıcıyı ergetmek mümkündür. Bu fırınlar çok yüksek yoğunlaştırma oranına sahip olduğundan yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Güneş fırınları teknolojisi yüksek sıcaklık araştırmacıları için çok uygundur. Çünkü ısı üretimi, herhangi bir kirlenici madde olmaksızın çok temiz ve maliyetsiz bir şekilde yapılır. Ayrıca güneş enerjisi, yüksek sıcaklık malzeme deneyleri ve dökümhane uygulamalarını içermektedir.

Yüksek ergime noktalı çelik gibi metallerin imalatında güneş enerjisini kullanabilmek için, güneş ışınlarını birleştiren ve onu bir noktaya kolayca odaklayıp çok büyük ısı üreten bir sisteme ihtiyaç duyulur. Açıkçası güneş fırınının çıkışı bir potanın içine yoğunlaştırılarak çelik üretimi yapılabilir. Güneş ışığı ile doğrudan demir cevheri elde etmek ve metalleri ergetmek çok zor olduğu için geçmişte kızgın bir hava sütunu kullanılmıştır. Sıradan bir güneş fırını kullanarak böyle bir sütunu çalıştırmanın problemi, sabit hava akımının tek bir noktada sadece ayna ile kolayca ısıtılamadığı görülmüştür. Bunun yerine, gerekli zamanda ısı verilerek tüm uzunluk boyunca giren hava akımını etkileme yoluna gidilmiştir. Fırında karanlık yol üzerindeki parlayan ışık, ısı yayıcı malzeme, ısının geri ışınımı ve bu karanlık tarafından emilir. Hava akımı sıcak tünel içerisinde dökümhaneye doğru hareket eder. Bu bölge dayanılmaz sıcak hale gelir ve hava dökümhanenin dış duvarına doğru akar ve yan taraflara nüfuz eder. Periyodik olarak tünelin yanındaki duvar açılabilir. Bu açıklıklar, daha büyük çift bölmeli pencerelerden yapılabilir. Ancak her durumda yükselen hava borusunun duvarında bir noktaya odaklanarak daha fazla güneş ışığı girişi sağlanabilir. Bu tünelin duvarına, son derece ısı yayıcı ve ısıya karşı son derece dayanıklı olan koyu bir malzemeden yapılmış bir levha yerleştirilmiştir. Böylece sıcak hava tünelde spiral bir şekilde doğal olarak yukarı doğru hareket etmesine neden olur. Tüneldeki son dönemece yaklaşıldığında ışınlar iki büyük parabolik yoğunlaştırıcı aynalara yansıtılır. Heliostatlar sayesinde bu yoğunlaştırıcılara güneş ışığı yönlendirilmiştir. Ayrıca hava akımının sıcaklığını artırmak için güneş ısıtıcılar da kullanılabilir. Hava böylece fırına gitmeye hazır hale getirilir.

Modern bir yüksek fırına giren önceden ısıtılarak, oksijence zenginleştirilmiş havanın sıcaklığı 900 °C ile 1300 °C arasında değişir. Isıtılan hava demir cevheri, kok kömürü ve kireçtaşı karışımından geçer. Yeterince sıcak cevheri ergetmek için neredeyse 2000 °C sıcaklık, daha fazla ısı ve oksijen tepkimeleri gereklidir. Karbon monoksit daha sonra oksijen, karbon dioksit ve ergimiş demirin oluşmasıyla cevher ile reaksiyona girer.

Kireçtaşı, sıvı metal üzerinde yüzer ve sıvı cürufu kolayca uzaklaştırılır. Saf olmayan maddeler bir araya getirilir. Aşırı sıcak hava yüksek fırının yerine yerleştirilecek olan tek şeydir. Her şey kok kömürü, kireçtaşı ve demir cevheri girişleri dâhil olmak üzere, aynı kalacaktır. Gerekirse, ısıtılan buhar kullanılarak doğrudan çelik kabın döndürme gücünü sağlayarak (erimiş kütlelerin yakınlığı ile borulardaki buharlaşan su) elektrik üretiminde kullanılabilir. Buhar aynı zamanda, bir jeneratör sürücüsüdür ve böylece elektrik sağlayabilir. Azaltılmış hava akımı, soğutucu hava akımı ile karıştırılır. Bu arada, hala sıcak kalan hava, kok fırını gibi yüksek sıcaklıklar gerektiren başka amaçlar için yönlendirilebilir. Özellikle hava sıcaklığı düzenleyen bu vasıtalar buhar türbinleri için de kullanılabilir. Hava akımı gerekli sıcaklık seviyelerine ulaşamadığı takdirde alternatif olarak, güneş ısısını artırmak için başka, daha geleneksel enerji kaynağı doğal gaz gibi hava akışı kullanılabilir (URL-2, 2014).

Güneş sistemiyle çelik dönüşümü, geçmişten gelen bir yöntemdir. Çünkü bu yöntem, basit geri dönüşüm dizaynına sahip sıradan basit bir fırın gibi görülmektedir. İlkeler çok basittir. 1600 °C den az bir sıcaklıkta demir veya normal karbon çeliği sıvılaşmaktadır. Bu önemli bir ayrıntıdır. Çünkü eğer sizin güneş ısıtıcınızdaki hava akımı bu sıcaklık değerlerine ulaşabilirse, kolay bir şekilde sıvının içinde hurda çelik eritilebilir ve düşük bir maliyetle çeliğin geri dönüşümü yapılabilir. Çoğu çeliğin ham demirden daha küçük erime noktası vardır. Yapılması gereken 1600 °C seviyesinde hava akımını ısıtmak ve daha sonra bir demir fırınına benzer bir yapıya kanal ile göndermektir. Ama bunun yerine demir cevheri, kok kömürü ve kireçtaşı bırakılarak bu fırının üstüne sadece hurda çelik dökümü yapılabilir. Çeliklerin hiçbiri 1600 °C sıcaklıkta sıvılaşmaya karşı direnç oluşturmaz. Sadece güneş fırınına gelen hava akımı bu sıcaklığa ulaşmakta zorlanır. Geleneksel fırınlarla ilgili daha detaylı olarak eklenen yeni çalışmalar ve yeni teknikler doğrultusunda güneş fırınları bölümünde ele alacaktır. Ayrıca parabolik çanak tipi güneş fırınları ikinci bölümde daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

### **1.6.2.2. Merkezi Alıcı Sistemler**

Güneş kulesi denilen sistemler güneşi izleyen ve ışınımı yüksek bir kule üzerine yerleştirilmiş alıcı üzerine yansıtan çok sayıda aynadan (heliostat) oluşur. Alıcı içinden geçen ergimiş tuz, sıcak gaz veya su gibi bir çalışma sıvısı alıcı içerisinde yaklaşık olarak 500–1000 °C sıcaklığa ulaşabilir ve ısıyı kulenin hemen dibindeki güç merkezine taşır ve

enerji dönüşümü buhar veya gaz türbini tarafından sağlanır. Yüksek maliyet nedeniyle henüz yaygınlık kazanamamış bu sistemlerde, hem verim daha yüksektir hem de güneş ışınımının zayıfladığı veya güneşin olmadığı saatler de elektrik üretimi sağlamak üzere enerji (ısı) depolamak daha kolaydır.

Kule tipi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşmasında en büyük engel sistem maliyetinin yüksek oluşudur. Diğer bir problem ise çalışma sıvısı olarak en çok tercih edilen sentetik ısıtıcı yağların, 390 °C üstündeki sıcaklıkta hızlıca bozuldukları için kullanılamamasıdır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin kalbi durumundaki ısı motoru ise çalışma sıcaklığı yükseldikçe daha verimli oluyor. Gerek sistemi basitleştirmek ve ucuzlatmak, gerekse çalışma sıcaklığını yükselterek verimi artırmak için önerilen çözümlerden biri alıcı borular içinde doğrudan buhar üretimidir. Bu durumda çalışma sıvısı ile su arasında ısı geçişini sağlayan bir kazana gerek kalmıyor. Sentetik yağların çalışma sıcaklığı 350 °C, çalışma basıncı 30 bar iken, doğrudan buhar üretimi ile 550 °C ve 110 bar değerlerine çıkılabilmektedir.

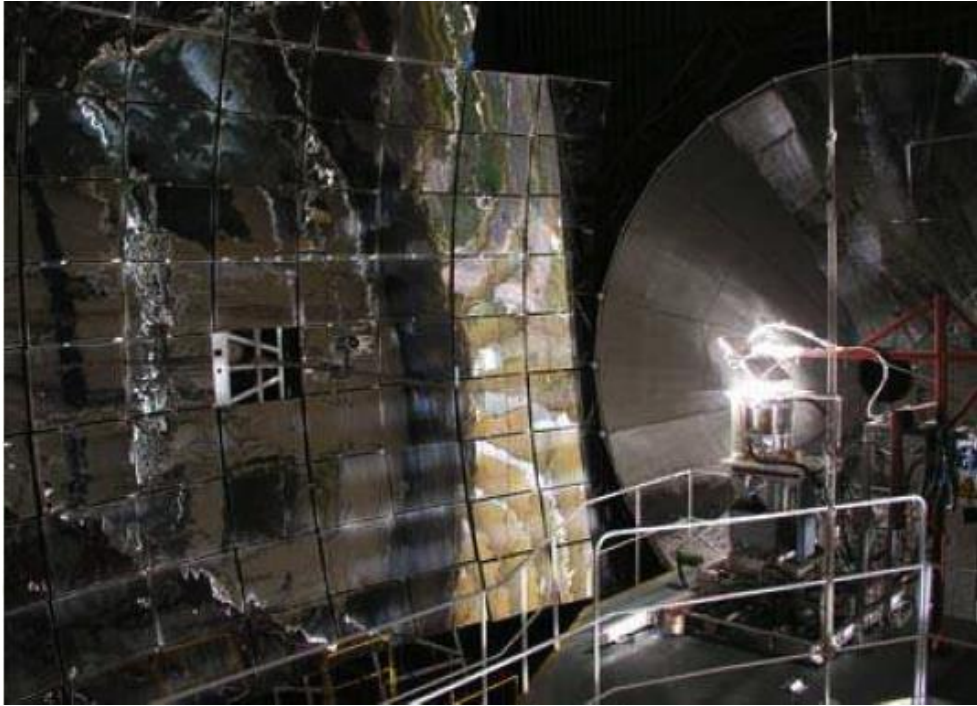
Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi araştırmalarında lider ülkeler arasında Almanya, İspanya, ABD, İtalya, Fransa ve İsviçre var. Bu ülkelerde üniversitelerin ve araştırma enstitülerinin yanı sıra sektörde faaliyet gösteren çok sayıda firma da var. Türkiye'nin güneş potansiyeli Enerji Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresinin 2007 yılında yaptırdığı GEPA başlıklı haritalarda ortaya konulmuştur. Buna göre, 2010 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi araştırmacıları, Türk-Alman ortaklığı olan Solitem Firması ile ortaklaşa ODTÜ Kıbrıs Yerleşkesi'nde 120 kW (ısı) gücünde bir pilot elektrik, ısıtma ve soğutma tesisi kurmuştur. Hitit Solar Firması doğrudan buhar üretimi esaslı parabolik oluk bir sistem geliştirmiş ve Zorlu Enerji Firması için 500 kW gücünde buhar üreten bir pilot tesisi 2009'da Denizli'de kurmuştur (Livatyalı ve Yıldırım, 2011).

### **1.6.2.3. Güneş Fırınları**

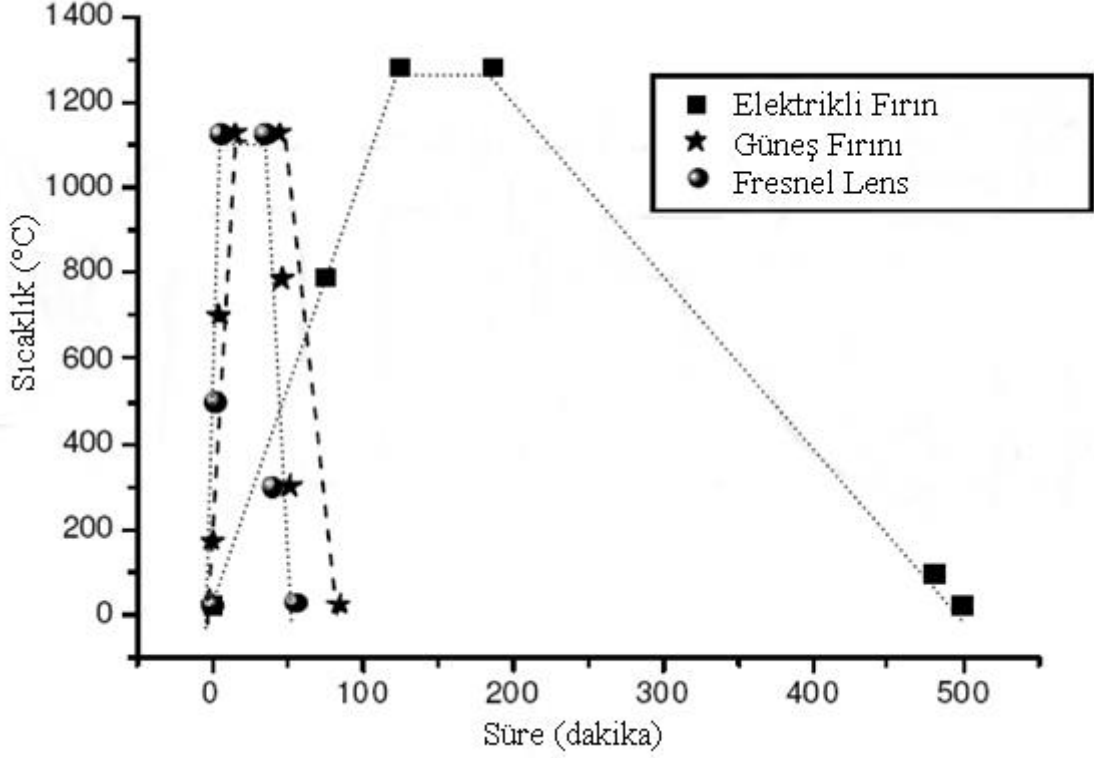
Geleneksel güneş fırınları mükemmel bir odaklama için optik görüntüleme sistemine dayanır. Çift kademeli sistemler kullanılarak büyük ölçekli güneş fırını Centre National de la Recherche Scientifique'de (CRNS), Odeillo ve Özbek Bilimler Akademisi'nde çeşitli uygulamalar için yüksek güç (1000 kW ısıtıcı gücü veya üzeri) ve yüksek sıcaklık (3000–3800 °C) üretebilir (Kreider, 1979; Azimov, 1987; Riskiev ve Suleimanov, 1991; Chen vd., 2002).

Güneş fırınlarına bir örnekte PSA'daki ( Almeria Solar Plant) fırın verilebilir. Şekil 9'da PSA'daki güneş fırını gösterilmektedir. 28 düz yüze 160 m<sup>2</sup> heliostata sahip fırında güneş ışınları yoğunlaştırıcının optik eksenine paralel olarak yansıtılmışlardır. 98.5 m parabolik çanak yüzey alanına ve 7.45 m odak uzaklığına sahip fırının 1000 W/m<sup>2</sup> güneş radyasyonunda 3000 kW/ m<sup>2</sup> ısı akısı ile toplam 58 kW güce ulaşmışlardır.

PSA'da parabolik fırın ile ve ETSII-UCLM'de (Castilla La Mancha Üniversitesi) ise fresnel lens ile bazı metalleri (M2 takım çeliği, bronz, karbon bazlı çelikler gibi bazı alaşımlar) sinterlemede kullanmışlar. Aynı zamanda geleneksel fırınlarda da yapılan sinterleme işlemini karşılaştırmışlardır. Şekil 10'da sinterleme işlemi esnasında güneş fırınları ve geleneksel fırınların zamana göre ulaşılan sıcaklık değerleri gösterilmiştir. Sonuç olarak elektrikli fırınlarda 1260 °C elde edilen sıcaklıkta işlem gören numuneler (M2 takım çeliği) (580 Hv) mikro sertliğe, güneş fırını veya fresnel lens ile yapılan sinterlemede ise hem 1125 °C' de (760–900 Hv) mikro sertlik elde etmişler hem de daha kısa sürede işlemişlerdir. Dolayısıyla güneş fırınları ile, elektrikli fırınlara göre daha yüksek mikro yapıya ulaşmışlardır (Herranz ve Rodriguez, 2010).



Şekil 9. PSA'daki güneş fırını İspanya (Herranz ve Rodriguez, 2010).



Şekil 10. Sinterleme işlemi esnasında güneş fırını ve elektrikli fırının karşılaştırılması (Herranz ve Rodriguez, 2010).

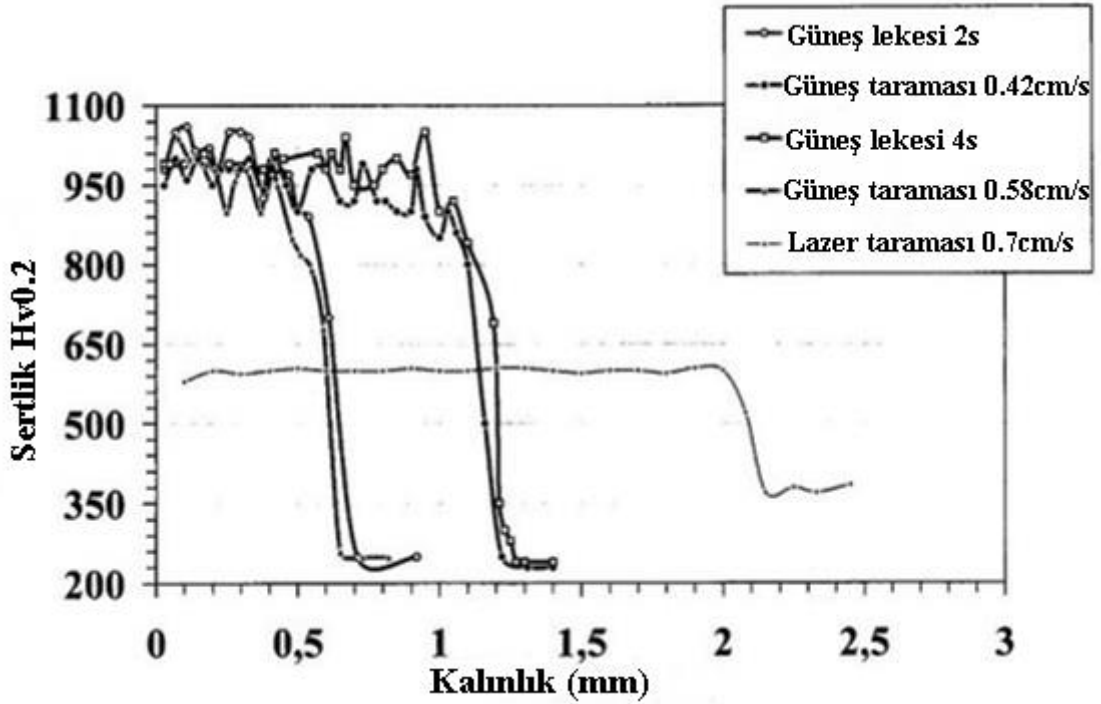
Güneş fırınlarını, reaktörlü ve yüksek güneş fırınları olarak iki bölüme ayırmak mümkündür. Bu fırınlarda ulaşılan sıcaklıklar birbirine yakındır. Bu fırınların ikisi de çift kademeli sistemler olmasına rağmen yapısı bakımından farklılıklar gösterir.

#### 1.6.2.3.1. Reaktörlü Güneş Fırınları

Güneş fırınları, gereksinimlere göre malzeme ısı döngüsü (ısıtma ve soğutma periyotları) kontrolü için, güneş fırınlarının (tipik olarak sırasıyla bir 1 kW güneş fırını için 0,5 cm ve Odeillo'deki 1 MW güneş fırınları için 20 cm) büyüklüğüne göre büyük numune boyutlarını ışına maruz bırakmak için, kuvars reaktörler (güneş ışınlarına saydam) kullanılır. Bu reaktörlerin çok temiz atmosfer ve kontrol altında çalışması ile çok kısa bir sürede (bir kaç saniye içinde 3000 °C) çok yüksek sıcaklığa ulaştığından bu sıcaklıklarda malzemeleri çalıştırmak ve işlemek için oldukça faydalıdır. Yüzey işlemleri, ergime ve döküm malzemelerin saflaştırılması şeklinde incelenebilir.

## (i). Yüzey İşlemleri

Yüzey işlemleri yüzey sertleştirme ve yüzey kaplamayı kapsar. Flamant ve Pichelin (2014), sertleşme dönüşümü adı verilen metalik malzemelerin ısı olarak yüzeysel iyileştirilmesini PSA'de inceleyerek bazı bilgilere ulaşmışlardır. Öncelikle ısıtılmadan beklenen faz dönüşümünü üretmek için yüzey ısıtılarak döküm malzemesi oluşturmuşlar. Isı kaynağı kesildiğinde ısıtılmış bölgede kendinden su verilerek sert bir faz oluşturmuşlardır. En sık kullanılan faz dönüşümü demir karbon alaşımlarının östenizasyonudur. Başlangıç materyali, ferrit (kübik merkezli Fe- $\alpha$ ) artı perlit (Fe- $\alpha$  ve sementit Fe<sub>3</sub>C) 850 °C' nin üzerinde bir sıcaklıkta ostenite (Fe- $\alpha$  kübik merkezli yüz) dönüştürülür. Hızlı bir şekilde su verme yapılırsa bileşim, kuadratik merkezli martenzit olarak adlandırılan daha sert bir faz oluşur. Alaşımsız XC55 çelik 14 MW/m<sup>2</sup> tepe akış yoğunluğuyla güneşle sertleştirmede kullanmışlar. Flamant ve Pichelin'e (2014) göre elde edilen sonuçlar Şekil 11' de gösterildi. Buna göre yüzeysel tabakada (kalınlığı 0,5–1 mm) etkilenmemiş bölgeden yaklaşık 200 Hv güneş muamelesi ile 1000 Hv süper sertliğine kadar sertlik önemli ölçüde artar. Buradaki lazer uygulaması için 5kW CO<sub>2</sub> lazer ışını kullanmışlardır.



Şekil 11. Güneş ve lazerle işlenmiş çelik sertlik profilleri (Flamant ve Pichelin, 2014)

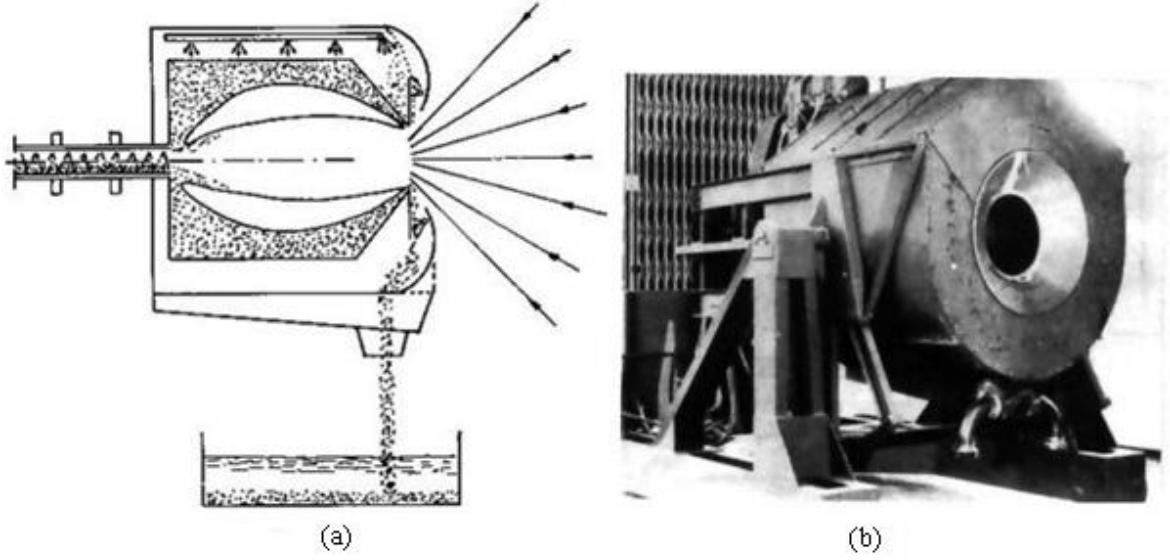
Flamant ve Pichelin (2014), güneş kaplaması için, karbon çelik üzerinde hızlı bir katılaşma ardından paslanmaz çelik tozunun (AISI 316) ergitilmesi için çalıştılar. Sürekli bir tarama işlemi ile bir dikey eksenli güneş fırınının odak noktasında kontrollü bir hız (0,8, 1,6 ve 1,8 mm/s) ile numuneyi hareket ettirerek gerçekleştirilmiş. Bir vakum odası kullanmışlar ve operasyonları  $13,4 \text{ MW/m}^2$  bir ortalama akış altında gerçekleştirmişler. Yoğun bir katı tabakanın şerit uzunluğu 55 mm, genişliği 6 mm ve kalınlığı 2 mm olarak elde etmişler. Elde edilen östenitik paslanmaz çelik korozyona karşı iyi dirençli olduğunu savundular.

(ii). Ergime ve Döküm Malzemelerin Saflaştırılması:

Refrakter oksitlerin ergitilmesi, tozlardan döküm malzemeleri üretmek için 1950–1960 yıllarında Trombe ve foex tarafından yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Flamant ve Pichelin (2014), metalik duvarları ile malzemenin kirliliğini önlemek amacıyla kendinden potalı kavramı kullanılarak örneğin  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{ZrO}_2$  döner fırınlarda ergitmişler. Temel prensip olarak bir güneş fırınının odağına yerleştirilen ve içine oksit tozları doldurulan su soğutmalı döner bir oyuk (silindirik şekilde) kullanmışlar. Sıvının yoğunluğu tozun yoğunluğundan daha yüksek olduğu için, işlemin başlangıcında sıvı bir boşluk oluştuğu ve sonra da sıvı boşluğu merkezkaç kuvvetleri etkisiyle sabitleştirilmiş fırın içinde genişlediğini göstermişler. Tüm tanecikler, sıvı yüzeyi ile duvar arasında mevcut olan ısı farkından dolayı ergimedini savundular.

Şekil 4a'da gösterildiği gibi fırındaki işlem kesintili ya da sürekli olabilir. Şekil 4b'de 500 litrelik bir döner fırın gösterilmektedir. Bu potada 340 kg  $\text{SiO}_2$  üretilebilir olduğunu ve üstelik kuvars ve alümina için oksit arıtma (saflaştırma) yapılabildiğini göstermişlerdir. Ayrıca bu malzemeler için toplam safsızlıkların 100 ppm için % 99,8'i saflaştırılmış ve 200 ppm toplam safsızlıkların % 99,5'ini arıtabilmişlerdir.

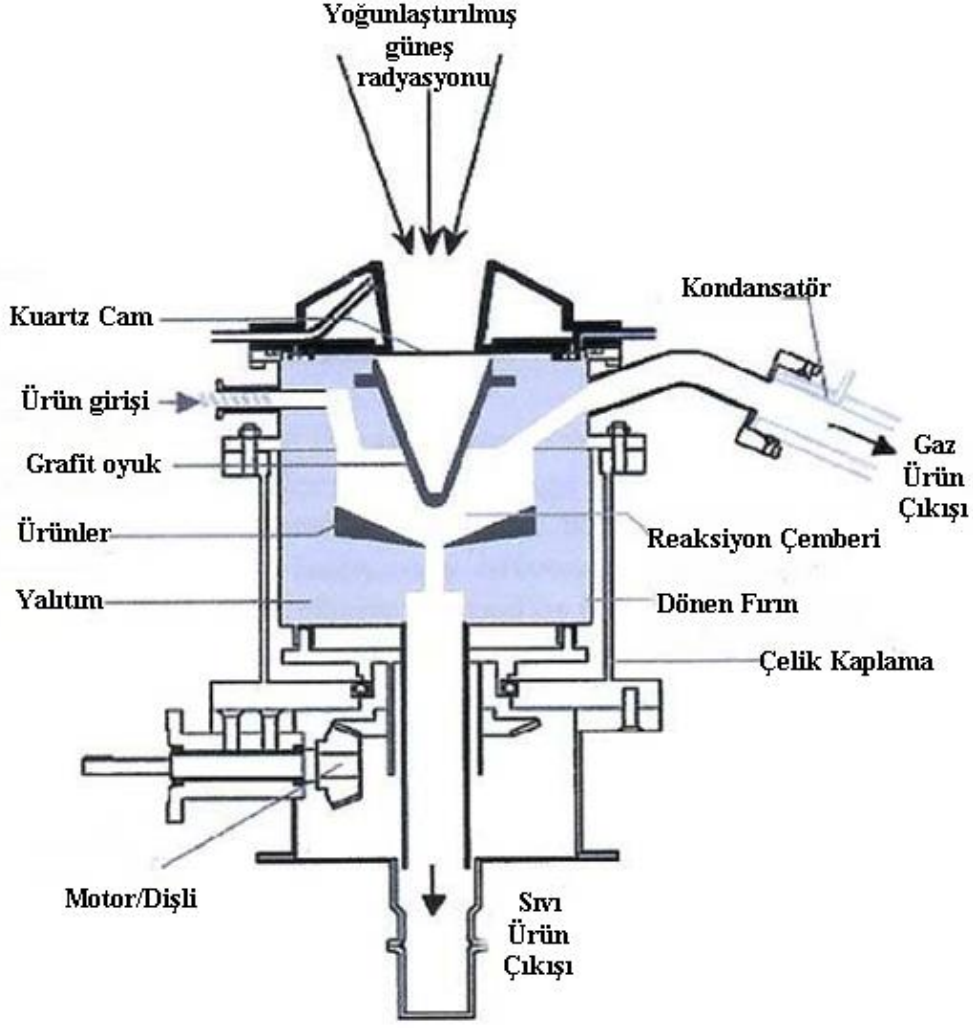




Sekil 12. 1000 kW CNRS güneş fırınındaki oksit ergitilen döner fırını, a) prosesin şekli, b) 500 litrelik döner fırın (Flamant ve Pichelin, 2014).

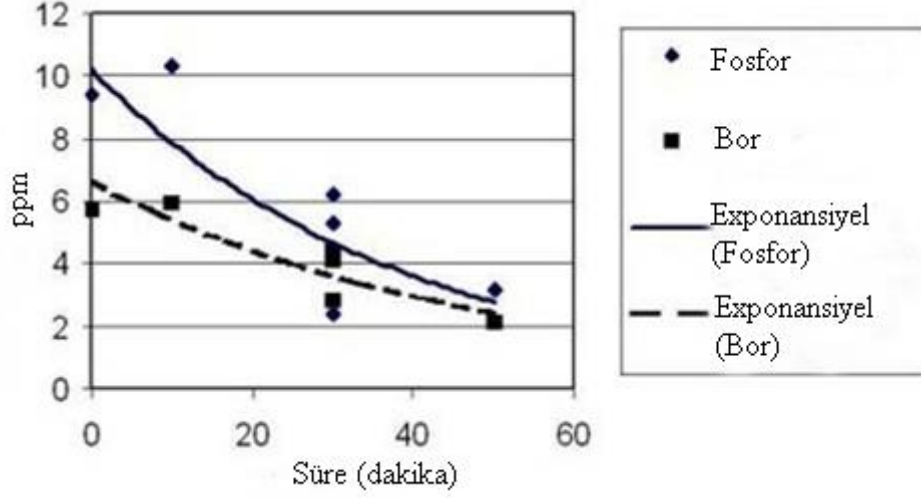
Ergimiş maddelerden değerli bileşenler veya yabancı maddelerin buharlaşması sırasıyla malzeme geri dönüşümü veya malzeme arıtılmasına neden olabilmektedir. Her iki uygulama için de aynı prensip uygulanabilir. Bu prensip, oksijen kısmi basıncı, toplam basınç ve sıcaklığa bağlı bir sıvı ile denge halindeki kimyasal türlerin buhar basınç dengesi ile kontrol edilen, bir veya daha fazla kimyasal bileşiklere ait selektif buharlaşması elde edilebilir. Bu yöntem, geçmişte cevherlerden Nb ve Ta ayrılması için uygulanmıştır.

ETH VE PSI'den güneş takımı atık (elektrikli ark fırını tozu, EAFD) metalı geri kazanmak için kullanmışlar. Bu takım 1120–1400 °K sıcaklık aralığında Zn ve Pb'nin buhar basıncını artırmak amacıyla karbon ekledi. Dolaylı ısıtma yapan ve katı atıklardan metal ayırmak için PSI'de geliştirilen güneş reaktörü Şekil 13'te gösterilmiştir. Çinko'nun (Zn) % 90'ı ve (Pb) % 99'unun ayrılması sırasıyla sürekli ve kesikli işlemler için elde etmişlerdir.



Şekil 13. Katı atıklardan metal ayırmak için PSI’de geliştirilen güneş reaktörü (Flamant ve Pichelin, 2014).

Basınç azalması yabancı maddelerin daha etkin bir şekilde ayrılmasını sağlayabilir. Bor’un ortadan kaldırılması için  $H_2O$  (nemlendirilmiş argon) ile ve fosfor’un ortadan kaldırılması için düşük basınçta (0.05 atmosfer) çalışma yapmışlar. Örneklerdeki fosfor ve bor konsantrasyonlarını 1820–1970 °K sıcaklık aralığında güneş ışınlaması ile 50 dakikada azaltıldığını gösterdiler (Flamant ve Pichelin, 2014). Bu ayırımın zamana göre değişen miktarı (ppm) Şekil 14’te gösterilmektedir.



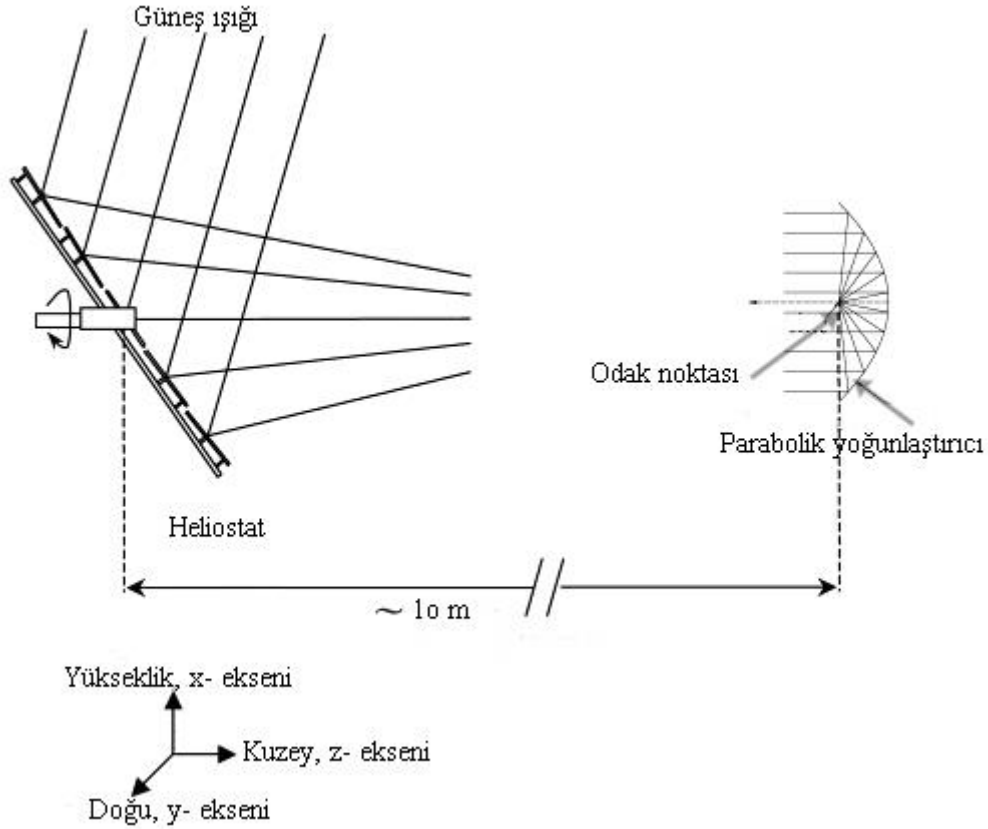
Şekil 14. Zamanın bir fonksiyonu olarak bor ve fosfor içeriğinin değişimi (Flamant ve Pichelin, 2014).

#### 1.6.2.3.2. Yüksek Güneş Fırınları

İkinci bir yoğunlaştırıcı aşama ve kendinden odaklanan heliostat kullanılarak oluşturulan yüksek sıcaklıklı güneş fırın sisteminin düzeni Şekil 15'te gösterilmiştir. Heliostat birincil bir yoğunlaştırıcı tarafından güneş enerjisi toplayıcısı olarak hareket eder. Açıklık boyutu ve odak uzunluğu/yoğunlaştırıcı çapı oranı ( $f/D$ ) ile ikincil yoğunlaştırıcısı, küçük açıklık boyutuna sahip alüminyum parabolik bir çanaktan oluşabilir. Hedef tutucu (parabolik çanak) sıcak noktayı bulmanın kolaylığını sağlamak için üç serbestlik derecesinde ayarlanabilir.

İki aşamalı heliostat teorisi olarak model heliostatların uygulaması, optik hizalama ve tasarımı hakkında bazı bilgileri ele alındı. Örneğin, uygulamada her biri 40x40 cm boyutlarında 25 ayna toplam 4 m<sup>2</sup> yansıtıcı alanı oluşturmak için beş satır ve sütun halinde düzenlenebilir. Heliostat parçalarının tasarımındaki ana unsurlar şunlardır; 25 ayna yüzeyi taşıyan bir ayna destek çerçevesinin takibi için, bir dönme ve yükseklik sistemi gereklidir. Ayrıca ayna çerçevesine sabitlenmiş olan merkezi bir aynaya göre 24 yüzeyin takip biriminin eksen dışı sapmalarını (her bir saniyeyi) telafi etmek için iki eksenli ayrı bir takip sistemi gereklidir. Dönme-yükseklik sistemi bir U şekilli kola ve yükseklik olarak hareket eden bir çerçevenin takibi için, ikinci bir takip sistemini taşıyan döner bir takip mekanizmasından oluşur. Ana ayna olarak bilinen hareketli çerçeve, hareketsiz bir aynayı

(çerçeveye göre) taşır. Yani heliostatın merkezindeki ana aynanın yerel hareketi yoktur. Takip eden aynalar beş satır ve sütun halinde dizilmiştir ve sekiz adım motoru birinci dereceden sapmaları ortadan kaldırmak için yazılan formülleri uygulayan bir bilgisayar programı aracılığıyla ana aynaya göre dış dört satır ve sütunları döndürür. Küçük bir göz açıklığında parabolik bir aynayı kapsayan yoğunlaştırılmış ikinci bir aşama ile düşük maliyetli yüksek sıcaklıklı güneş fırını inşa edilebilir. Geçmişte güneş fırınlarıyla 3400 °C en yüksek fırın sıcaklığında saf tungsten tellerinin ergitilmesi başarılmıştır (Chen vd., 2002).



Şekil 15. Yüksek sıcaklıklı güneş fırını sisteminin gösterimi (Chen vd., 2002).

Heliostat, iki boyutlu bir diziden oluşan ana bir ayna ve onu takip edip çevreleyen aynalardan oluşur. Sabit hedefli ana aynanın üzerine bağlı aynaların tüm güneş görüntüleri üst üste gelecek şekilde sapma düzeltme yöntemi ve döndürme-yükseklik takip etme modu kullanılarak yeni formüller türetilir. Birinci yansımadan sonra odaklanan alan küçüktür ve böylece ikinci bir yoğunlaştırıcı aşamanın tasarımı basitleştirilebilir. Küçük boyutlu

parabolik çanağın tam geometrisi kolayca imal edilebilir. Bu nedenle tüm sistemin maliyet-etkililiği öngörülebilir. Ek olarak, her birim ayna son nokta (odak) büyüklüğünü en aza indirmek için hafifçe içbükey olmalıdır. Aynaların bükülmesi mümkün olduğunca küre şekline yakın olarak, tek tip ve kararlı olmalıdır.

Parabolik yoğunlaştırıcıya gelen ışınlar paralel olmamasına rağmen parabolik yansıtıcı oldukça yeterli yüksek yoğunlaştırma oranı ile ışınları yoğunlaştırabilir. Böylece, güneş fırını, yoğunlaştırma oranı veya elde edilen sıcaklığın L mesafesi (heliostat ve çanak arası uzaklık) ile ilişkili olduğu görülmektedir. Heliostat ve parabolik yoğunlaştırıcı, aynı yükseklikte ve aralarındaki mesafe ise yaklaşık 10 m alınabilir. Optik hizalama heliostatın dönme eksenini garantiye almak için yapılır ve yoğunlaştırıcının optik eksenini ile eş eksenlidir. Hizalamada heliostatın dönme eksenini boyunca bir lazer ışını kullanılabilir. Parabolik yoğunlaştırıcı boyunca da lazer ışını yerleştirilebilir ve böylece alıcı açıklığının merkezi ve tepe noktası lazer ışını ile iyice hizalanır.

İki sıcaklık ölçme yöntemi kullanılır; çift-ısı ve (malzeme eritme) malzemenin ısı reaksiyonudur. Birinci yöntemde 1300 °C'ye kadar maksimum sıcaklık ile K-tipi bir çift-ısı yöntemi kullanılmaktadır. İkinci yöntemde alüminyum, bakır, paslanmaz çelik, demir, çeşitli seramik ve tungsten gibi malzemelerin çeşitli türleri kullanılmaktadır. Test malzemesinin eritme başarısını, fırın sıcaklığı o malzemenin erime noktası sıcaklığına gerçekten ulaştığında gösterir. Yaklaşık 50x50 mm boyutunda metal bir plaka kesilir. Numune ayarlı hedef tutucu kullanılarak sıcak nokta alanın dikey olarak yerleştirilerek sıcaklık ölçüm deneyleri yapılabilir.

#### (i). K-Tipi Çift-Isıl Ölçüm Yöntemi

Sıcak bölgenin yakınına (sıcak noktaya yapılmaz) güneş ışığı yoğunlaştırmak için kaplamasız çift-ısı tele maruz bırakılarak ölçüm yapılır. Bu sıcaklık göstergesi rakamları 1000 °C'den daha fazla sıcaklık için çok hızlı artış olduğu ortaya çıkmıştır. Aslında deney halinde, prob sıcak noktaya oldukça yakın olabilir ve sadece birkaç saniye maruz bırakılmasından sonra tel eritilebilir. Böylece, çift-ısı tellerin (kromel ve alümel) erime noktasına 1300 °C deki sıcak noktayı aştığında varılabilir. Bu nedenle ölçüm için daha pratik bir yöntem malzeme eritmedir.

#### (ii). Malzeme Eritme Ölçüm Metodu

Bir yüksek güneş fırınında aşağıdaki malzemeleri başarılı bir şekilde eritmeyi başarmışlardır. Bunlar; alüminyum (kalın plaka) 660 °C, bakır (kalın plaka) 1084 °C,

paslanmaz çelik (kalın plaka) 1384 °C, demir (kalın plaka) 1535 °C ve tungsten (tel) 3400 °C (Chen vd. (2002),

Yukarıda bahsedilen malzeme ergitme testleri en az 3400 °C de bir sıcaklık elde edebilen bir güneş fırını sistemi olduğu kanıtlanmıştır. Tungsten tel bir mikroskop altında incelenebilir. Genel olarak, tungsten tel üç farklı bölgeye ayrılabilir. Orijinal tungsten teli ile karşılaştırıldığında renginde hiçbir fark yoktur. Tungstenin ergitme noktası yaklaşık 3400 °C'dir. Aslında tungsten trioksit ( $WO_3$ ) rengi sarı olan bu kristal yapılı malzeme kristalize edilebilir ve ergitilebilir.  $WO_3$ 'ün ergitme noktası ise yaklaşık 1470 °C'dir. Sarı kristalli yapının yanında telin bir kısmı sarı renkli bir tortu (kalıntı) vardır. Bu tungsten oksitlenmesinin ( $WO_3$ ) bir sonucudur. Tungsten oksitlenmesi ise 500–650 °C üstünde bir sıcaklıkta meydana gelir (Chen vd., 2002).

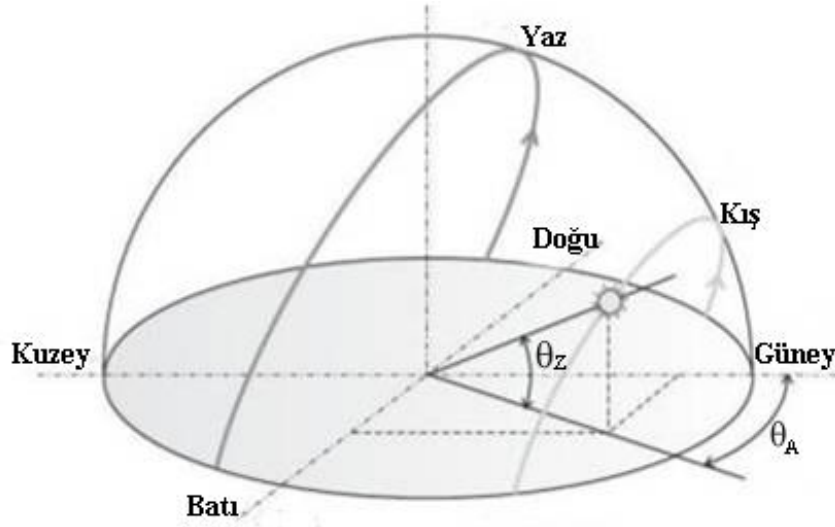
### **1.7. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjili Sistemlerde Güneş Takibi**

Güneş takip sistemleri, güneş panelleri, heliostat, parabolik çanak ve oluk gibi gün içerisinde sürekli olarak güneşi takip ederek ürettikleri enerjiyi arttırmaya yönelik olarak tasarlanmış izleyici sistemlerdir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjili sistemlerin daima güneşi takip etmesi gerekir. Bu sistemlerin verimi üzerine düşen ışığın miktarına bağlıdır. Güneş enerjili sistemleri gelen güneş ışığına dik olarak yönelten elemanlara izleyici denir. Tek bir ekseninde örneğin doğu-batı ekseninde sistemi hareket ettirmekte kullanılan izleyicilerin, soğuk rüzgârlı iklimlerde izleyicinin çalışması için yeterli ısı enerjisi elde edilmesi gibi problemler oluşturmaktaydı. İleriki uygulamalarda sistemi hareket ettirmek için elektrik şebekesine bağlı lineer aktuatörler kullanılmaktadır. İki aktuatörden biri sistemi doğudan batıya, diğeri ise kuzeyden güneye hareket ettirmekte kullanılabilir. Her iki aktuatör, izleyiciyi güneşe dik konumda sabit tutan bir çift LDR katıyla kontrol edilebilmektedir (URL-3, 2014). Parabolik çanaklar için uygun bir güneş paneli ekleyip hareketteki (dönme ve yükselme) kullanacağı enerjiyi de kendisi üretebilir.

Güneşin dünyaya ulaşan enerjisi, mevsimler ve gün içerisindeki zaman dilimlerine göre farklılık gösterir. Bu sebeple projeler tasarlanırken sistemin kurulacağı yerin yıllık ortalama meteorolojik bilgileri (Kapalı gün sayısı, bulutlu gün sayısı, donlu geçen gün sayısı) çok önem taşımaktadır. Bu veriler dikkate alınarak sistem tasarlanır. Güneşin günlük olarak doğudan batıya doğru yaptığı hareketin eksensel olarak değişimi ve

kuzeyden güneye doğru olan hareketin eksensel değişimi Şekil 16’da görülmektedir. Türkiye 42–36 kuzey enleminde yer almaktadır ve bu yüzden kışın ve yazın güneş ışığında ortalama  $300^\circ$  açı değişikliği olmaktadır. Güneş ışınları yazın 21 Haziranda en dik açı ile yere ulaşır, 21 Aralık ise açı azalarak değişim gösterir.  $\theta_A$  azimuth (enlem), güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareketi göstermektedir. Ayrıca güneşin zahiri yüksekliğinin  $\theta_z$  zenith (boylam), kış mevsiminden yaz mevsimine farklılık gösterdiği dikkate alınmalıdır (URL–3, 2014).



Şekil 16. Güneşin günlük ve yıllık olarak zahiri hareketi (URL–7, 2015)

Ek Şekil 1’de kolektör veya panellerin güney tarafına doğru tutulduğu kabul edilmektedir. Çizelgenin y eksenini güneş paneli yüzeyi ve zemin arasındaki açıyı göstermektedir. X ekseninde yılın günleri vardır. Her biri  $5^\circ$  aralıkla 15 eğri çizilmiştir. Çizelgede, önce bulunulan yere en yakın enleme bakılır. Daha sonra x ekseninde o anki tarihe karşılık gelen yere kadar eğri takip edilir. Y ekseninde karşılık gelen açı güneş panelinin yüzeyi ve zemin arasındaki açıyı göstermektedir. Bu açı, bu tarihte öğle vaktinde güneş ışınlarının güneş panele dik olarak geleceği açıdır. Bu hesapta iki parametre kullanılmaktadır. Bunlar bulunulan yerin enlemi ve güneş enlemidir Güneş enlemi, güneşin öğle vakti direkt yukarda olduğu enlemdir. Bu, yaz gündönümündeki (21 Haziran)  $23,5^\circ$  kuzey enleminden, kış gündönümündeki (21 Aralık)  $23,5^\circ$  güney enlemine kadar değişir. Güneşin ekvator eksenini üzerinde olduğu ekinoks durumlarında (21 Mart ve 21 Eylül)

güneş  $0^\circ$  enlemededir. Herhangi bir günde, güneşin üzerinde olduğu enlem denklem 1,1 kullanılarak hesaplanır. T yılın geçen gün sayısıdır (URL-3, 2014).

$$D=12,5^\circ \sin[(T/365,25)*360^\circ] \quad (1,1)$$

Güneş takip sistemleri iki ana bölümde incelenir. Bunlar; mekanik düzenek ve kontrol sistemidir.

Yatay hareket için bir DC motor ve düşey hareket için bir doğrusal hareket kolu, LDR, sürücü devrelerinin bulunduğu ana kontrol kartı, dişliler, rulmanlar ve aktarma elemanları sistemin mekanik tasarımını kapsamaktadır. Motor seçiminde yüksek torklu motor olmasına, yani sistem ağırlığını kaldırabilecek güçte olmasına dikkat edilmez.

Mekanik sistemin iki temel hareketinin doğu-batı ve kuzey-güney hareketleridir. Güneş takip sisteminin en önemli özelliği, sistemin güneşi takip ederek güneşin doğuşundan batışına kadar olan süre içerisinde güneş ışınlarının kolektöre veya panellere dik düşmesini sağlamasıdır. Tasarımı ve imalatı yapılan sistemin bu yeteneği sayesinde güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanılabilir.

Sistemin güneşi izleyebilmesi için öncelikle güneşin konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemi sistemdeki güneş algılama elemanı gerçekleştirilebilir. Sistemin denetim algoritmasını mikro denetleyicili bir kontrol devresi gerçekleştirilebilir. Sistemde bulunan doğu-batı ve yükselme alçalma motorları ile de güneş takip sisteminin iki eksenli hareketi sağlanmaktadır (Çamur vd., 2011).

Güneş algılama elemanı, kontrol sistemi ile senkronize çalışabilir. Algılama elemanlarından gelen bilgiler kontrol devresinde değerlendirilerek sistemin iki eksenli hareketini sağlamak üzere doğu-batı ve yükselme-alçalma motorlarının sürücü devrelerine uygun konum sinyalleri gönderilir. Konum sinyalleri neticesinde motor sürücüleri motorları tahrik ederek güneş takip sisteminin iki eksenli hareketi sağlanmaktadır. Bu işlem, güneş ışınlarının güneşin sisteme dik gelmesi sağlanana kadar devam etmektedir.

### **1.7.1. Heliostatların Güneş Takibi**

Heliostatlarda güneş takibi ise (günlük ve yıllık) küresel hareket (birincil izleme) ve yerel harekete olarak (ikincil izleme) yapılır. Heliostat çerçevesi yükseklik ve döndürme olarak iki serbestlik derecesine sahiptir. Döndürme hareketi ayağa bağlı U şekilli kolu



döndürmek için dişli kutusu düzeneğiyle ilişkilendirilen ve bir adım motoru ile gerçekleştirilir.

Dönen milin açısal hareketini izlemek için, optik bir kodlayıcı doğrudan dönen milin ucuna bağlanmıştır. Optik kodlayıcının çıkış sinyali bir geri besleme sinyali olarak bir seri bağlantı yoluyla kontrol edilmek için bilgisayara gönderilir.

Yerel hareket için, hareketli çerçeve bağlı aynaların nispeten hareketi için bir referanstır. Ana ayna çerçevenin merkezinde durağan olarak monte edilmiştir ve 24 bağlı ayna hareketleri satırları için 4 kumanda çubuğu ve sütunlar için 4 kumanda çubuğu aracılığıyla tahrik edilmektedir. 8 doğrusal adım motoru birinci dereceden sapmaları ortadan kaldırmak için bir bilgisayar programı aracılığıyla ana aynaya göre dış dört satır ve sütunu döndürür (Chen, vd., 2002). Heliostatın sütun veya satır hareketi Şekil 17'de görülmektedir. Heliostatların yapısı üç ana bileşene bölünebilir. Bunlar heliostat çerçevesi, heliostat kolu ve heliostat ayağıdır.

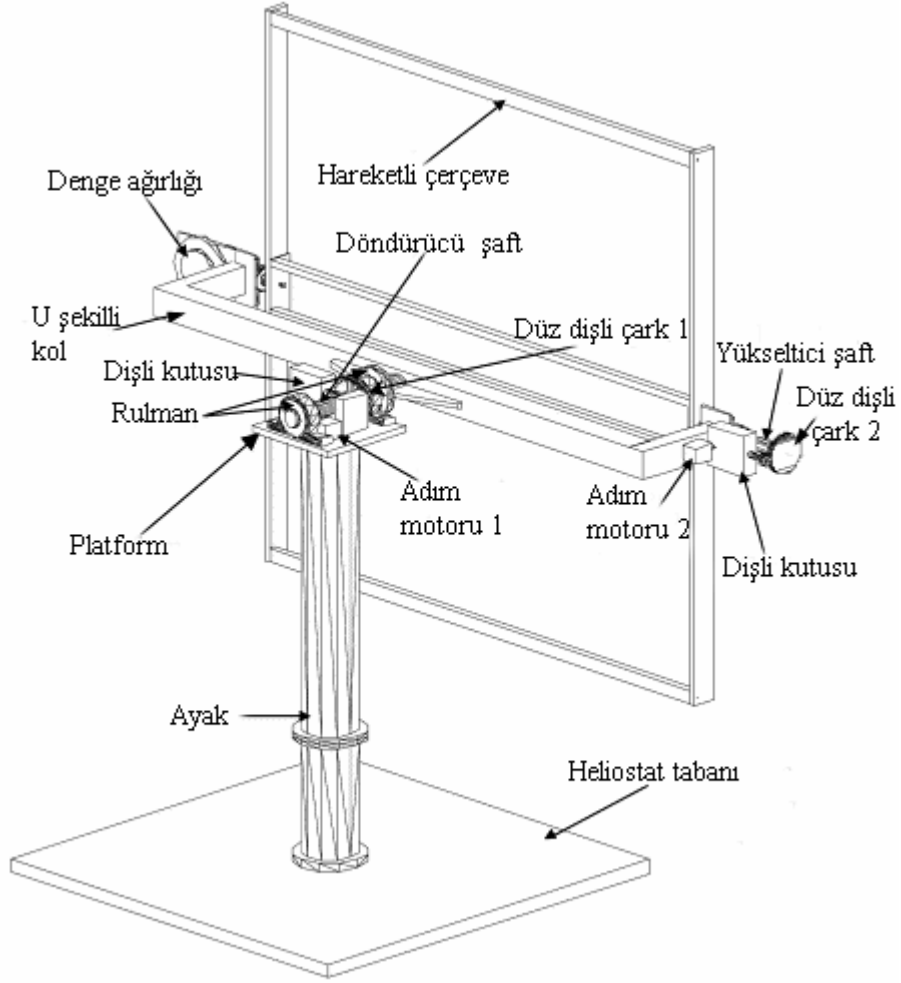


Şekil 17. Heliostatın sütun veya satır hareketinin gösterimi (Chen vd., 2002).

#### 1.7.1.1. Heliostat Çerçevesi

Heliostat güneş takibi esnasında (günlük ve yıllık) küresel hareket (birincil izleme) ve yerel harekete (ikincil izleme) sahiptir. Küresel hareket Şekil 18'de gösterilmektedir.

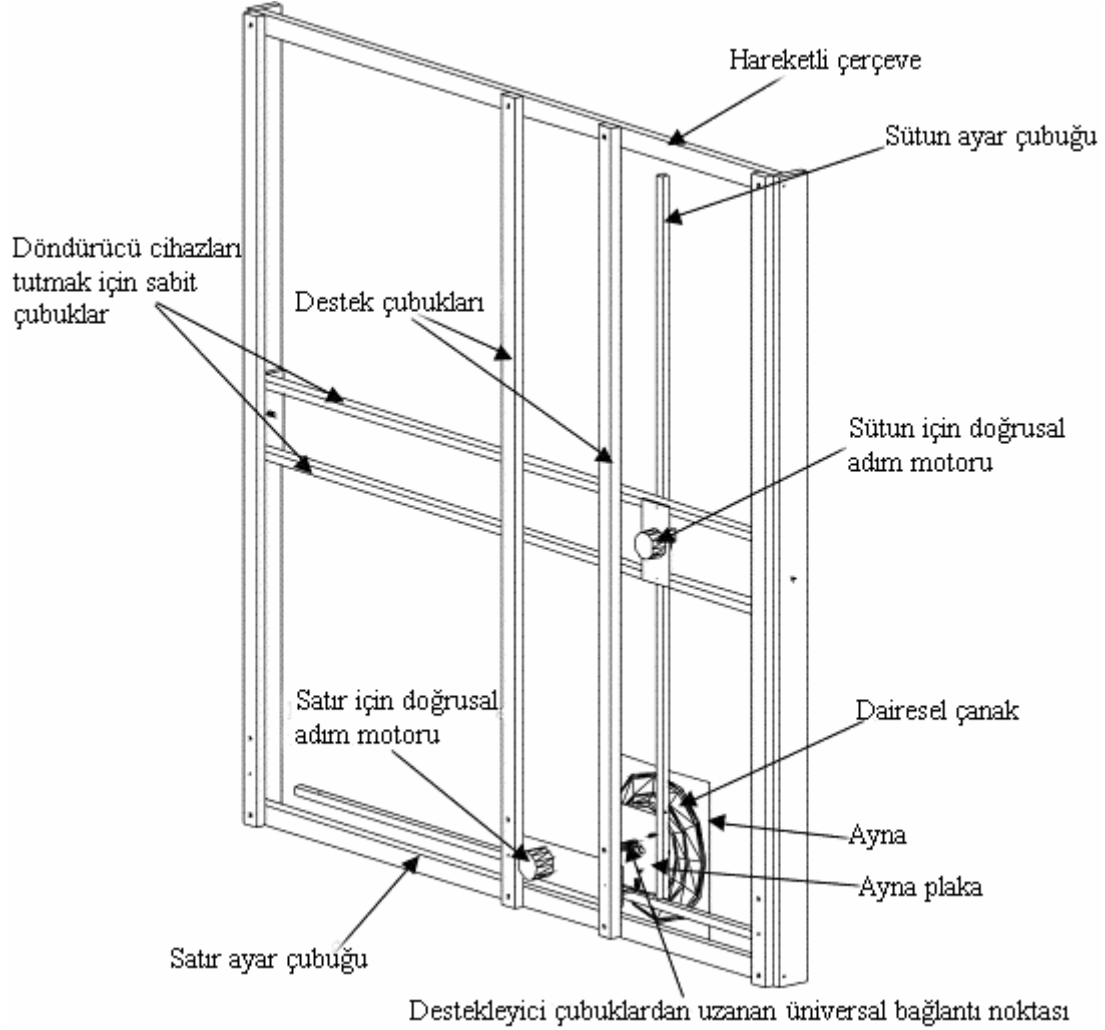
Heliostat çerçevesi yükseklik ve döndürme olarak iki serbestlik derecesine sahiptir. Döndürme hareketi ayağa bağlı U şekilli kolu döndürmek için dişli kutusu düzeneğiyle ilişkilendirilen ve bir adım motoru ile gerçekleştirilebilir. Yükseklik hareketi ya U şekilli kola göre açılmal yer değiştirmesi ile ya da yükseklik eksenini boyunca direkt tahrik edilmesi ile yapılabilir. U kolunun ucunda sabitlenmiş bir dişli kutusu takımı ve bir adım motoru kullanılır. Dönme hareketini dengelemek için kolun karşı ucuna bir denge ağırlığı eklenebilir.



şekil 18. Heliostatın küresel hareketinin genel görünüşü (Chen vd., 2002).

Yerel hareket yapısı şekil 19’da gösterilmiştir. Hareketli çerçeve birim aynaların nispeten hareketi için bir referanstır. Ana ayna çerçevenin merkezinde durağan olarak monte edilerek ve 24 bağlı ayna hareketleri satırları için 4 kumanda (harekete geçirme) ubuğu ve sütunlar için 4 kumanda çubuğu aracılığıyla tahrik edilebilir. Güneş

görüntülerinin üst üste gelmesiyle elde edilmesi gereken sadece küçük eğilen açılar düşünüldüğünde, çubukların hareket ettirilmesi için doğrusal adım motorları kullanılabilir. Her bir bağlı çıkıntı bir yuvanın içine yerleştirilir ve sonra bir gergi rondelâ ile kilitlenebilir. Bu kurulum yuvaya dik doğrultuda dönerek aynaya serbestlik olanağı sağlamaktadır.



Şekil 19. Heliostatın yerel hareketini gösteren şematik diyagramı (Chen vd., 2002).

### 1.7.1.2. Heliostat Kolu

Heliostat kol, hareketli çerçeveyi tutan U şekilli bir yapıdadır. Kolun ana işlevi kolun kendi döndürme işlevini yerine getirirken heliostat çerçevenin yükseklik eksenini etrafında

dönmesini sağlamaktadır. Kol yapısı, dönme eksenini etrafında heliostat çerçeveye dönüş sağlamak için döndüren bir mile bağlanır.

Kol uzunluğunun uygunluğu, ayak üzerindeki tüm heliostat çerçevenin ağırlığından dolayı hareket torkunu azaltmak için önemlidir. Birim ayna için döndürme cihazlarının düzeneği yansıtıcı yüzeyin arkasında konumlanmıştır ve bu durum yükseklik ekseninde uzanan belirli bir kalınlıkta olan bir çerçeveye yol açabilir. Sonuç olarak, çerçeve yükseklik eksenini etrafında döndürüldüğünde kol yapısı heliostat çerçeveyi bir yere çarpmasını engellemek için daha uzun kol boyundan kaçınmak gereklidir. Hareketli çerçeve günlük güneş takibi esnasında dönüş eksenini etrafında döndürüldüğünde heliostat noktasal hatalara sebep olacaktır. Chen vd.'e (2002) göre noktasal hatanın düzeltilmesi denklem (1,2) ile ifade edilen  $\delta\theta$  ile  $\theta' = \theta - \delta\theta$  sentezlenmesi aracılığıyla yükseklik açısı ayarlanabilir.

$$\delta\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{H_Z \sin\theta}{L - H_Z \cos\theta} \right) \quad (1.2)$$

Burada L hedef noktaya yükseklik eksenini ve dönüş eksenini arasındaki kesişme noktasından yatay mesafedir; H ise yükseklik ekseninden ana aynanın kayma mesafesidir. Denklem (1,3) ve (1,4)'teki yapılan düzeltmeler ikincil izleme açıları için de gereklidir.

$$\sigma' = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{H_x \cos(2\delta\theta) + \cos(\theta + \delta\theta)}{H_x \cos(2\delta\theta) \sin(\theta + \delta\theta) + L - H_Z \cos(\theta - \delta\theta)} \right) \quad (1.3)$$

$$\gamma' = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{H_y}{L \cos(\theta - \delta\theta) - H_Z} \right) \quad (1.4)$$

Burada  $H_x$  (ana aynanın üstündeki satırlar için pozitif ve ana aynanın altındaki satırlar için negatif) ana satırın merkez arasındaki mesafesidir ve söz konusu birim ayna satırın merkezine yerleştirilir.  $H_y$  (önden görünümde ana aynanın sağındaki sütunlar için negatif ve ana aynanın solundaki sütunlar için pozitif) birim aynaya ait karşılık gelen sütunun merkezi ve ana ayna sütununun merkezi arasındaki mesafedir.

### 1.7.1.3. Heliostat Ayağı

Ayak heliostatın dönen milini ve çerçevesini destekler. Ayağın altı L mesafesini ayarlamak için hareket edebilen bir tabana sabitlenir. Ayak çelikten veya bir betondan yapılabilir. Rulman, dişli kutusu düzeneği, bir adım motoru, optik bir kodlayıcı ve dönen mil ayak üzerinde bulunan bir platforma vidalanabilir. Dönen mil platforma sıkıca kilitli iki rulman ile yatay olarak desteklenebilir. Düz bir dişli mile kaynaklanmıştır ve böylece iki kademeli dişli kutusuna bağlanarak başka bir düz dişli ile tahrik edilebilir. Bir adım motoru döndürme milinin hareketine geçmesi için dişli kutusuna bağlanır. Dönen milin açısal hareketini izlemek için, optik bir kodlayıcı doğrudan dönen milin ucuna bağlanabilir. Optik kodlayıcının çıkış sinyali bir geri besleme sinyali olarak bir seri bağlantı yoluyla kontrol edilmesi bilgisayara gönderilir. Aynı sürüş donanımı ayrıca yükseklik hareketi için heliostat kolunun bir ucuna monte edilebilir. Heliostat ve çanak arası 10 ile 20 m arası mesafede en iyi odaklama etkisine sahiptir.

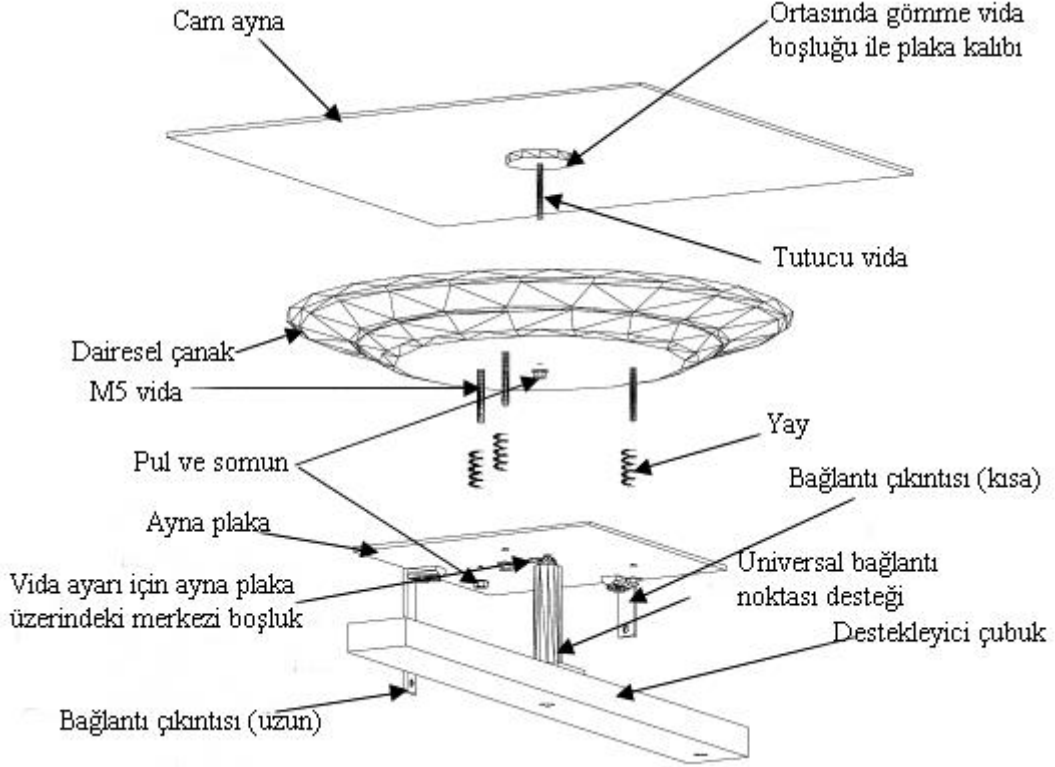
### 1.7.1.4. Ayna ve Birim Çerçevesi

Optik hizalama yapmak için her bir bağlı ayna bir çerçeve birimi üzerine monte edilmiştir. 3 mm kalınlıklı bir ayna farklı kalınlık çalışmasının birçok denemeden sonra da kullanılabilir. Her bir aynanın üç işlevini yerine getirebilecek birim çerçevenin düzeneği Şekil 20’de gösterilmektedir. Bunlar içbükey bir şekil için ayna yüzeyinin eğilmesi ile ön odaklama, ana görüntü üzerine birim aynaların güneş görüntüleri örtüşmesi için el ile ön ayarlama ve satır ve sütun hareketleri için aynanın iki boyuttaki hareketidir.

Birim aynanın ortasında eğriliğini ayarlamak için bir çekme vidası kullanılabilir. Ön ayar vida-yay düzenekleri üç seti halinde yapılabilmektedir. Üç setin konumu, merkez nokta olarak her birinin hareketi, aynadan yansıyan güneş ışınları hedefe iki serbestlik derecesinde el ile rahatça ayarlanabilir bir şekilde birim çerçeve içinde düzenlenebilir. Birim aynaların sürekli hareketi ek çıkıntıları bağlayan çubuk bir satır ve sütun hareketi ile elde edilebilir.

### 1.7.1.5. Donanım ve Yazılım Kontrol Sistemi

Birincil takip etmede, iki adım motoru bir mil (şaft) ile birleştirilebilir ve takip etme iki optik kodlayıcı tarafından kapalı döngü halinde bulunabilir. Bu kodlayıcı ile millerin dönme açıları incelenebilir ve (RS-232 gibi) ara birimi sayesinde uzaktaki bir bilgisayara geri besleme sinyali gönderilir. Windows-tabanlı kontrol programı, Helio 32, kontrol sistemini yönetmek için Microsoft Visual C++ kullanılarak geliştirilebilir. Helio 32, günün sayısını ve güneş zamanını, yani enleme göre  $\rho$  ve  $\theta$ ' anlık birincil izleme açılarını hesaplamaktadır. Aynı zamanda geliş açısı ve hedef mesafesini, anlık ikincil izleme açılarını, yani diğer birim ayna pozisyonuna göre  $\sigma'$  ve  $\gamma'$  hesaplamaktadır.



Şekil 20. Her bir aynanın üç işlevini yerine getiren birim çerçevenin düzeni (Chen vd., 2002).

Birincil izlemede, hesaplanan değerler daha sonra bir diferansiyel pozisyon elde etmek için bilgisayar hafızasındaki kayıtlı hareketli çerçevenin mevcut pozisyonları ile karşılaştırılır. Eğer, açısal derecede pozisyon farkı (örneğin  $0.018^\circ$ ) optik olarak kodlayıcının çözünürlüğünden büyükse, bilgisayar hesaplanan pozisyon için hareketli

çerçeveyi harekete geçirmek için ilgili adım motoruna komuta vererek, pozisyon belleğe kaydedilir ve daha sonra güncellenir. Bütün görev planlanan 1s aralıklarla tekrarlanan döngüler içinde çalışmaktadır.

İkincil izlemede, heliostatın odadaki boyutunun ince ayarı için ve sapmaları en aza indirmek için uygulanmaktadır. Bu bağlamda, birim ayna kontrolünde akıllı bir açık döngü izleme sistemi kullanılır. İkincil izlemede, birim aynaların kontrolü için, sekiz doğrusal tahrik motorlarına her saniye komut verilir.

Yazılım aynı zamanda heliostat çerçevesinin istenmeyen hareketine neden olan rüzgâr etkisi faktörlerini de dikkate alır. Anormal pozisyon değişiklikleri incelenmesi üzerine, örneğin tipik değerden beş kez daha çok olduğunda, bir sonraki zamanlanmış düzeltme için bekler ve program bunları yok sayar. Çift yoğunlaştırıcı heliostatta, hızlı ve uygun bir optik hizalama için özel bir teknik geliştirilmiştir (Chen vd., 2002). İşlem iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama birincil izleme doğruluğunu sağlamak için heliostatın doğru parametrelerini belirlemektir. İkinci aşama, ikincil izlemenin kalan sapmayı azaltmak için birim aynaların hizalanmasıdır.

#### (i). Birincil İzleme İçin Optik Hizalama

Büyük bir dikkatle birincil izleme için optik hizalama payı verilmiştir. Çünkü heliostat prototipi kapalı döngü yapılı olduğundan, birincil izleme doğruluğu şunlara bağlıdır; enlem ( $\Phi$ ), güneş süresi (ST), gün sayısı (NOD), hedef açısı ( $\lambda$ ), ön yüz açısı ( $\varphi$ ), vb. Uygulamada, hareketli çerçevenin başlangıç yönlendirme açıları, yani  $\rho_0$  ve  $\theta_0$ , aynı zamanda izleme doğruluğunu etkiler. Tüm bu parametreler arasında, bazıları başlangıçtaki dönme açısı ( $\rho_0$ ) ve başlangıçtaki yükseklik açısı ( $\theta_0$ ), ön yüzün açısı ( $\varphi$ ), ve hedef açısı ( $\lambda$ ) gibi tam olarak elde edilemez. Bu yerin gerçek kuzeyinin tespitinin doğruluğuna ve ölçme araçlarının sınırlılığından kaynaklanır.

Birincil izleme için optik hizalama çalışmalarına verimli bir şekilde yardımcı olmak üzere, bazı parametreleri belirlemek için bir teknik geliştirilmiştir ki ana görüntünün hareketini analiz ederek doğrudan ölçümü kesin olarak elde edilemez. Matematiksel olarak, N bilinmeyen parametreleri elde etmek için N eşzamanlı denklemler kullanılmıştır. Parametreleri belirlemek için bilgisayar analiz metodunda, eğer N eşzamanlı denklemlere sahip olunursa, N farklı kez güneş gerektiğinde ana görüntünün koordinat noktası N ölçülür. Pratik olarak, güneş görüntüsünün konumu yüksek çözünürlüklü şarj-çiftli aygıt (CCD) kamera kullanılarak video yakalama yöntemi ile çok hassas ölçülebilir.

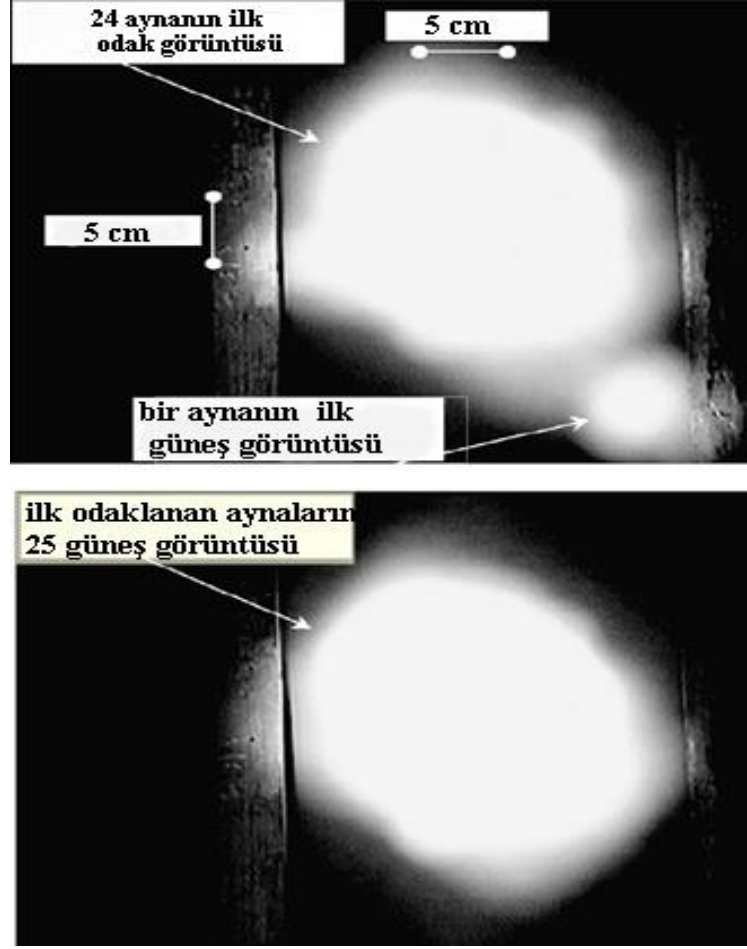
Programın örneğini veren bir uygulamada heliostat pozisyonu sabit olduğunda örneğin ön yüz açısı ve hedef açısı kabaca ölçülür ve daha sonra elde edilen ikinci montaj şekilleri olarak yeni parametreler öncekilerle değiştirilerek kullanılır Chen vd. (2002). Bu ayar sayesinde, ana görüntülerin maksimum pozisyon değişimi daha az olmuştur. Bunun zaten mekanik hata aralığı içerisinde olduğu ileri sürülmüştü. Eğer mekanik parçalar ileride daha da geliştirilebilir ise gözlemlenen takip hatasını azaltmada 4 verinin ayarları üçüncü şekli elde etmek için programa eklenir. Daha sonra üçüncü montaj şekilleri daha iyi bir sonuç elde etmek için bilgisayar kontrollü güneş takibi için kullanılabilir. Bu işlem nihai doğruluk derecesine ulaşılan kadar tekrar edilebilir.

#### (ii). Birim Aynaların Optik Hizalaması

Birim aynalar optik hizalamada iki önemli görevi vardır; bunlar gömme vidayı çekerek ayna ön odaklama ve üç ön ayarlı vidayı ayarlayarak birim ayna ön ayarır. Hedefte odaklanan güneş görüntülerin parlaklığını azaltmak için, bir optik filtre CCD kamera lensine ilave edilmiştir. Birim ayna hizalamasında bez birim ayna yukarı açılarak, vidayı çekerek ayarlanması ile birim aynanın ön odaklaması ve birim aynanın her birinin görüntüsünü ana aynanın görüntüsünün üzerine bindirilerek ayarlanır. Tüm bu işlemler sayesinde, ayarlamalar elle yapılmasına rağmen görüntü bir CCD sistemiyle okutulabilir. Şekil 21’de birim aynanın ön-odaklı güneş görüntüsü 24 güneş görüntüsü grubuna göre nasıl ayarlandığını göstermektedir (Chen vd., 2002).

Birim aynaların optik hizalama sonrası, güneş takibinin tüm işlemi içinde, satır ve sütun hareketleri sayesinde ikincil takibe sahip birim aynalar sürekli kontrol edilebilir. Bu, sapmanın ilk düzeninin ortadan kaldırmasını sağlamıştır. Son olarak bu konuyla ilgili hem teori ve hem de deneysel olarak detaylı çalışmalar devam etmektedir.





Şekil 21. Bir CCD kamera ile yakalanan aynanın ön-ayar işlemi (Chen vd., 2002).

## 2. PARABOLİK ÇANAK TİPİ YOGUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİYLE METAL ERGİTME

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinde parabolik çanak sistemleri genelde yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Yüksek sıcaklık uygulamalarından olan güneş fırınları ise ısı teknolojilerde yüksek sıcaklık araştırmacıları için çok uygundur. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisiyle yapılan ısı uygulamalarının birisi de metallerin eritilmesi işlemidir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanılarak demir, çelik, alüminyum, çinko, galvanizli sac, kurşun, bakır, gümüş gibi birçok metal güneş fırınlarında hem eritilebilmekte hem de geri kazanılabilmektedir. Ayrıca birçok element veya bileşiklerin parabolik güneş fırınlarıyla ergime noktaları hızlı bir şekilde ölçümünü yapılabilmektedir.

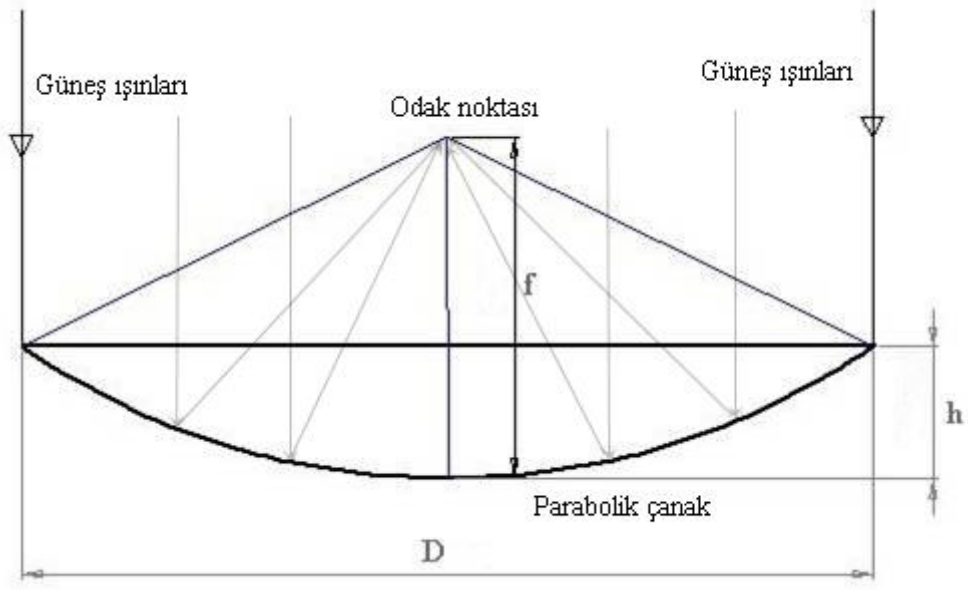
### 2.1. Parabolik Çanak Tipi Güneş Fırınının Kurulumu

Sistemin kurulumuna geçmeden önce sistem için önemli sayılan başlıca unsurlar şunlardır; parabolik bir çanağın temin edilmesi veya imali, sistem düzeneğinin hazırlanması, yansıtıcı malzeme seçimi, alıcılar (pota) ve güneş takip sistemidir.

Parabolik çanağın maliyeti açıklığının artmasıyla hızlıca artmaktadır. Bu nedenle sistem için ikinci el bir çanağın daha uygun olacağı kanısına varıldı. Bu yoğunlaştırıcı çanağın gerekli bazı eğim hataları giderilmeye çalışıldı ve zımpara yardımıyla açıklığı temizlendi. Mevcut alüminyum parabolik çanağın parabol olup olmadığını anlamak için bazı ölçümler yapıldı. Çanağın yüzeyinde yapılan ölçümler doğrultusunda parabolik bir yüzeye sahip olduğu doğrulandı. Hafif olması nedeniyle alüminyum malzemeden tercih edilen çanağın şematik gösterimi Şekil 22'de verildi. Parabolik eğrinin silindirik koordinatlardaki eşitliği denklem (2,1)'deki gibi hesaplandı (Skouri vd., 2013). f Odak uzaklığı ise benzer şekilde denklem (2,2) ile hesaplandı. Burada z, parabolik eğrinin fonksiyonu, h parabolik çanağın derinliğidir.

$$z = \frac{r^2}{4f} \quad (2.1)$$

$$f = \frac{D^2}{16h} \quad (2.2)$$



Şekil 22. Parabolik çanağın iki boyutlu gösterimi

D yay açıklığındaki parabolün yüzey alanı ise şöyle tanımlandı (Skouri vd., 2013). Bir parabolün açıklık alanı  $S_0$  ise denklem (2,4)'teki gibi elde edilir.

$$S = \frac{8\pi}{3} f^2 \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{r}{2f} \right)^2 \right]^{3/2} - 1 \right\} \quad (2.3)$$

$$S_0 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.4)$$

Yoğunlaştırma oranı, parabolik çanağın açıklık alanının odakdaki görüntüsüne oranıdır. Odak görüntüsü çapı yaklaşık 0.06 m olarak ölçüldü. Mevcut çanağın odak alanı aşağıda hesaplandı. Mevcut çanağın özellikleri Tablo 1'de özetlendi.

$$A_f = \pi \left( \frac{w}{2} \right)^2 = 0.0028 \text{ m}^2$$

$$Y.O = \frac{S_0}{A_f} = \frac{A_p}{A_r} = \frac{1.58 \text{ m}^2}{0.00283 \text{ m}^2} \cong 558$$

Tablo 1. Mevcut çanağın özellikleri

Özellikler	Sembol	Değer
Parabolik çanak açıklığının çapı	D	1.42 m
Parabolik çanak açıklık alanı	S <sub>o</sub>	1.58 m <sup>2</sup>
Parabolün derinliği	h	0.22 m
Parabolün odak uzaklığı	f	0.57 m
Yoğunlaştırma oranı	Y.O	558.8
Odak genişliği	W	0.06 m

Çanak yoğunlaştırıcının optik olarak en ideali paraboloid aynadır ve imali çok pahalıdır, açıklık alanı ile hızlıca maliyeti artmaktadır. Başlangıçta yüksek maliyeti nedeniyle kavisli cam aynanın kullanımı terk edildi. Üstelik şiddetli hava koşullarında (kuvvetli rüzgâr) özellikle kış aylarında mevcut çalışma alanında aynanın kırılma olasılığını artırmaktadır. Ek olarak yapının toplam ağırlığı da önemli ölçüde artmaktadır. Ancak uygulamada yarı küresel ve küçük ayna parçaların benzer formlarından bir çanak yoğunlaştırıcı imal etmek daha kolaydır. Bunun yanında, parabolik çanaklarda yansıtıcı olarak, gümüş-alüminyum (Ag-Al) ile kaplı polimer film, alüminyum folyo, cilalanmış alüminyum ve krom nikelaj folyo kullanılmaktadır. Dikkate değer bir gelişme ise cam metal tasarımından gerilmiş zara geçilmesidir. Ayrıca yüzey malzemesi düşük maliyetli ve uzun süre dayanabilmelidir. Başka bir seçenek 0,8–0,9 aralığındaki yansıtıcılığı ile cilalanmış alüminyum bir yüzey kullanılması durumunda ayna, anotlaşma ile çevreden korunabilir. Ayrıca cilalanmış alüminyum bir oksit kaplaması oluşturması sayesinde su ve açık havadan korunur. Cilalanmış alüminyum iyi bir çevre kararlılığına rağmen yapısı bu tür malzemeler de büyük eğim hataları verebilmektedir. Bazı yüzeylerin güneş ışınımı yutma, ısı ısıtım neşretme oranları Ek Tablo 5’te verildi.

Yansıtıcı malzeme olarak ilk deneylerde yapışkanlı alüminyum folyo kullanıldı. Yaklaşık olarak yansıtıcılığı 0.75–0.85 arasında olan Al folyonun hafif olması, yapışabilir olması maliyetinin düşük olması ve bulunabilir olması ilk tercih sebebiydi. Ölçümlerde 1,5 m parabolik çanakla alüminyum folyonun en yüksek 450 °C’ye çıkmasına rağmen, araştırmalar sonucu daha yüksek yansıtıcılığa sahip olan krom nikelaj folyo kullanıldı. Krom nikelaj folyo yaklaşık olarak 0.90 yansıtıcılık katsayısına sahiptir. Şekil 23’te krom nikelaj ile kaplanan parabolik çanak gösterilmektedir. 1 m–2 m boyutlarında krom nikelaj yansıtıcı yüzey malzemesi yaklaşık 1,5 m çanak için yeterlidir. Bu yüzey malzemesinin kesimi için, yaklaşık 0.80 m genişliğinde 0.05 m eninde olacak şekilde çizildi ve sıfırdan

başlayıp sonunda 0.05 m olacak şekilde çapraz kesimi yapıldı. Yüzey malzemesi çanağa yapıştırılırken ise kesilen folyonun çanak merkezinde sıfır ve çanak kenarında 0.05 m olacak şekilde yapıştırılmasına özen gösterildi.



şekil 23. Krom nikelaj ile kaplı parabolik çanağın fotoğrafı

Parabolik anak fırın sisteminin güneş takibi el yardımıyla sağa sola ve yukarı aşağı hareket ettirilerek yapıldı. Burada sistem için gerekirse bir güneş takip sistemi tasarlanabilir.

## 2.2. Oyuk Alıcı Seçimi, İmalatı ve Sisteme Montajı

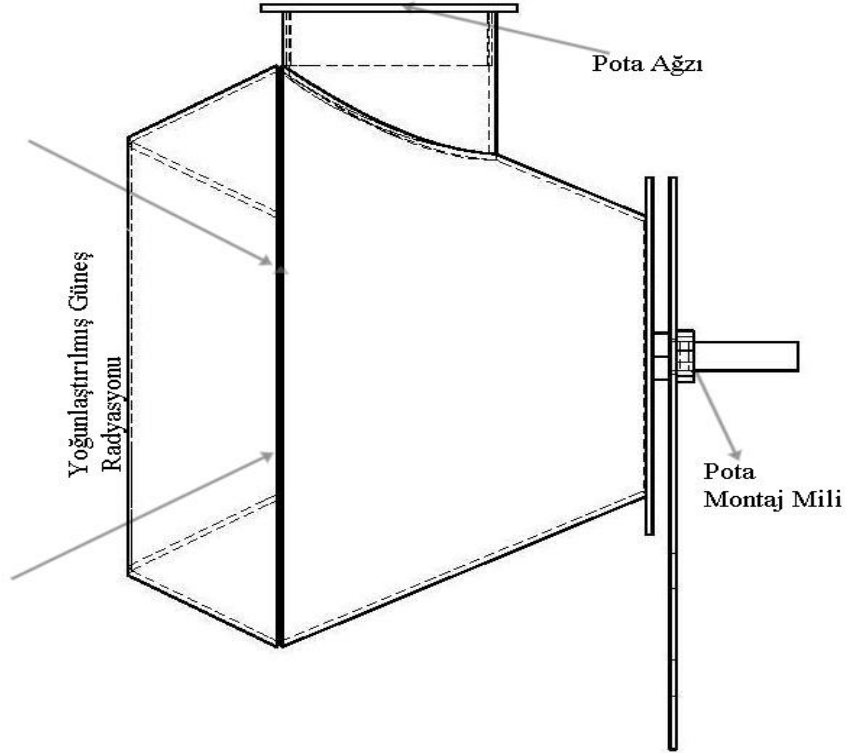
Yoğunlaştırılmış çanak sisteminin oyuk alıcısı güneş radyasyonu emer ve kullanılması için ısı enerjisiye dönüştürür. Alıcının ısı kaybı tüm sistemin termal verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, en az ısı kaybı ile gelen güneş enerjisinin maksimum miktarda emilmesi için alıcının yapılandırılması önemlidir. Alıcılar açık pota ve kapalı pota olarak ikiye ayrılır. Açık pota ışınların girdiği açıklık olarak atmosfere açıktır ve yoğunlaştırılmış güneş ışınları direk olarak çalışma malzemesine veya malzemenin olduğu çepere çarpar. Kapalı potada ise güneş ışınlarını geçiren bir madde ile veya güneş ışınlarını geçirmeyen emiciliği yüksek bir madde ile açıklığı kapatılır.

Yüksek sıcaklık çalışmalarında seçici yüzeylerin verimleri daha yüksektir. Düşük çalışma sıcaklıklarında seçici olmayan yüzey ( $\alpha > 0.90$  ve  $0.50 \leq \epsilon \leq 1.00$ ) siyah boyalı kaplamalar daha uygun görülmektedir. Alıcılar ( $\alpha > 0.90$  ve  $0.00 \leq \epsilon \leq 0.20$ ) seçici yüzey olarak tercih edilirse sıcaklık yükselmesinde daha az ışınım geri yayarlar. Dolayısıyla alıcı imalinde seçici yüzey olan demir-çelik sac kullanıldı. Bazı seçici yüzeylerin ve siyah boyalı yüzeylerin teknik özellikleri Ek Tablo 2’de verilmektedir.

Reddy ve Kumar (2008), tarafından farklı açıklık oranlarına (0,1–1 arasında) sahip alıcılar araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre açıklık alanının azaltılmasıyla taşınım kaybının büyük bir şekilde azaldığı tespit edildi. Ek Şekil 2’de farklı açık pota alıcı şekilleri gösterilmektedir. Taşınım kaybı açıklığı yere paralel olan pota için eğim artışı ile azaldığı fark edildi; çanak eğimi  $0^\circ$ ’de en yüksek kayıp, çanak eğimi  $90^\circ$ ’ye yaklaştıkça kayıp azalmaktadır. Bu sayede doğal taşınım akış alanını azaltarak eğim arttıkça pota içinde sıcak havanın durgunluğu nedeniyle kayıp azalır. Farklı alıcı şekillerinden pota seçimi için daha önce elde edilen veriler incelendi. Alıcı şekillerine göre 0.25 ve 0,5 açıklık oranlarına göre yarı küresel açık potada en yüksek taşınım kaybı ve kübik potada en düşük taşınım kaybı olduğu tespit edildi. Diğer şekillerine göre büyük bir durgunluk bölgesi alanının varlığı nedeniyle kübik alıcıların taşınım kaybı daha düşüktür.

Bu çalışmada yarı küresel, kübik, konik ve silindirik alıcılar göz önüne alınarak açık konik bir alıcı tasarlandı. Şekil 24’te tasarlanan açık potanın şematik gösterimi verilmektedir. Pota iç hacmi yaklaşık olarak  $8 \text{ cm}^3$  döküm kalıbı yapmak için tasarlandı. Pota dolu haldeyken  $8 \text{ cm}^3$ ’ten biraz daha büyüktür. Pota açıklığı yere paralel olduğunda pota içerisindeki metallerin düşmemesi için açıklığa sıcaklığa dayanıklı demir örgü konabilir. Ergitilen metaller pota açıklığından döküm kabına her durumda direk akacak

şekilde tasarımı yapıldı ve döküm kabı çanak ile hareketli olacak şekilde pota açıklık kenarına bağlandı. Eklenecek metal parçaları ise pota ağzı dikey doğrultuda olacak şekilde pota içerisine konular. Burada önemli bir nokta ise metallerin bir bütün halinde olmasıdır. Bütün halinde olan cevher veya metalin daha kolay ergiyeceği görüldü. Dolayısıyla ince veya çok küçük parçalarda odaklama sorunu yaşanabilir.



Şekil 24. Tasarlanan açık konik potanın şematik gösterimi

Alıcı pota ısı kaybını azaltmak için taş yünü ile sarılarak alüminyum folyo ile kaplandı. Pota daha sonra yoğunlaştırılmış güneş ışınlarından yalıtım malzemesini korumak için yüksek sıcaklığa dayanıklı bir silikonla ön yüzü sıvandı. Şekil 25'te konik alıcının yalıtımlı fotoğrafı verilmektedir. Çanak sisteminin hesaplanan odak uzaklığına göre alıcı ayarlandı ve pota ön yüzü kolektöre bakacak şekilde monte edildi.



Şekil 25. Tasarlanan potanın cam kaplı fotoğrafı

Güneş ışınlarının krom nikelaj ile kaplanmış yoğunlaştırıcıdan yansmasıyla alıcının açıklığına odaklanacak şekilde ayarlandı. Yansıyan ışınların alıcı içerisinde tüm güneş ışınlarını yakalamak için oyuk şekilde tasarlandı. Burada önemli bir ölçüt ise pota açıklığının tüm ışınların yakalayacak şekilde küçük yapılarak (mükemmel odaklama) alıcının ısı kaybının azaltılacağı ve dolayısıyla alıcı verimini de artıracaktır. Yine pota açıklığı azaldıkça doğal taşınım da azalacaktır. Pota içi duvar yayıcılığı ise düşük olmalı ve emiciliği de yüksek olan metallere seçilmelidir. Çünkü pota iç yüzeyinin yayıcılığı ve yansıtıcılığının yüksek olması durumunda potanın radyasyon kaybı artacaktır. Dolayısıyla açık potalarda pota iç yüzeyi emici malzemelerden seçildi. Açık konik potanın sisteme monte edilmiş hali Şekil 26'da görülmektedir. Diğer yandan cam ile kaplı bir pota imalinde ise pota iç duvar yansıtıcılığı yüksek olabilir. Çünkü kapalı bir sistem olduğu için seçilen duvar malzemesinin yansıtıcı olması pota içerisindeki sıcaklığı artırmaktadır.



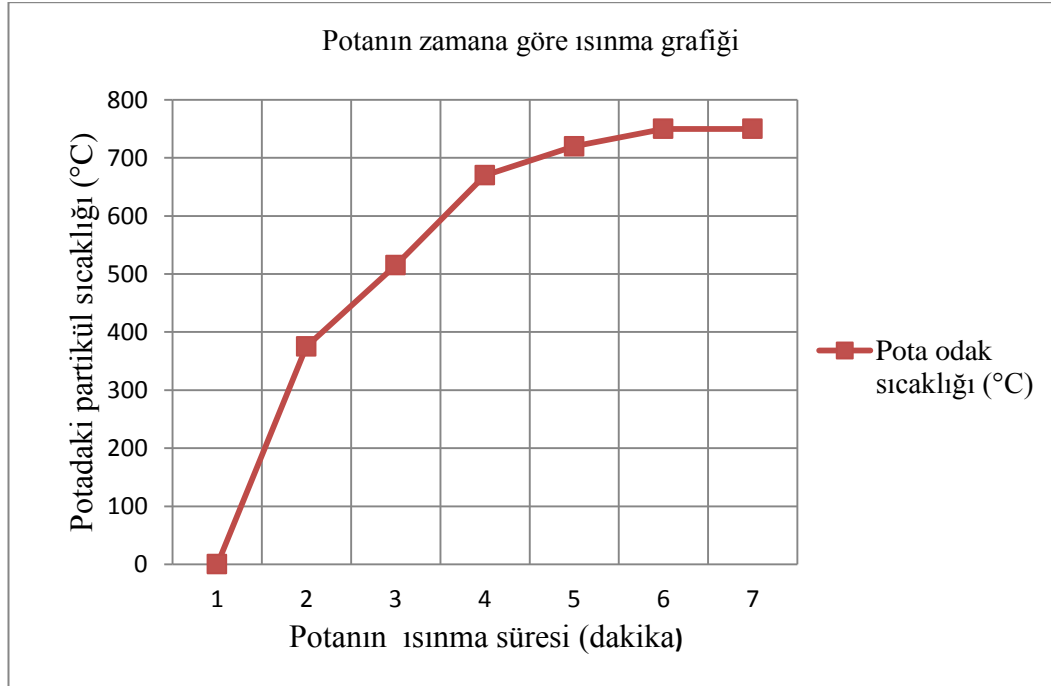


Şekil 26. Alıcının sisteme monte edilen fotoğrafı

### 2.3. Deneilerin Yapılışı ve Değerlendirmeler

Sistem montajı sonrası güneşli bir günde sistemin verimliliği için öncelikle sıcaklık ölçümleri yapıldı. Çanak sistemini güneşe yönlendirmek için yüksekliği ve dönme açısı ayarlandı. Daha sonra sıcaklık ölçümünü doğrulamak için metal ergitme işlemleri yapıldı. Güneş ışınlarının direk olarak metale yoğunlaştırılmasıyla hızlı bir şekilde metali ergittiği görüldü. Burada güneşin sabah ya da akşam saatlerinde olması önemli değildir. Sadece güneş yoğunluğunun yüksek olması yani bulut, yağmur ve sisin olmadığı durumlarda etkisi oldukça yüksektir. Deneye öncelikle eğrime noktası düşük metallerle başlandı. İlk olarak kalay ve kurşun daha sonra çinko ve son olarak alüminyum ergitme işlemi yapıldı. Özellikle kalın alüminyum plaka ergitilirken bulutlu bir gün içinde sıcaklığın yükselip düşmesine rağmen güneşin yoğunluğunun artmasıyla hemen ergitildiği gözlemlendi.

Cam pota saat 15.00'a kadar denendi ve daha sonra kapalı pota odağa yerleştirildi elde edilen sonuçlar için tablo oluşturuldu. Ölçümleri 7 Mayıs 2015 Trabzon'da yapılan kapalı pota ve cam kaplı potanın güneş şiddetine göre pota iç sıcaklıkları Ek Tablo 7'de verilmiştir. Cam kaplı pota ve kapalı pota karşılaştırıldı. Odadaki cam geçirgen olduğu için pota iç duvar sıcaklığı ölçümü yapıldı. Potaların iç sıcaklıkları birbirine yakındır. Cam potanın iç hacmi daha büyük olduğu için iç duvarlardaki ısı daha düşüktür. Ancak burada önemli bir faktör ise camın ışığı geçirgenlik katsayısıdır. Kullanılan camın geçirgenliği yaklaşık olarak 0,6'dır. Dolayısıyla camın dayanıklı olmasına rağmen ışığı daha az geçirir. Seramik cam iletken olarak ise bakırın iletkenliğine yakındır. Bu camın (seramik cam) kullanılmasından vazgeçildi. Radyasyonu engellediğinden bu cam ergitme için yeterli olmadığı anlaşıldı. Burada geçirgenliği yüksek ve sıcaklığa dayanıklı kuvars cam kullanılabilir. Deneylere daha sonra potaya kaplanan cam çıkarıldı ve böylece güneş ışınları direk metale yoğunlaştırılarak başarılı bir şekilde eğritme işlemi yapıldı. Bütün ergitme işlemleri, güneş ışınlarının potanın içinde birleşecek şekilde açık pota ile gerçekleştirildi. Diğer taraftan potaya konulan metal parçalarının sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 4-5 dakika içinde ulaşabileceği en yüksek sıcaklığa çıkmayı başarmıştır. Potanın rejime gelme süresi Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 27. Potadaki parçacıkların rejime gelme süresi

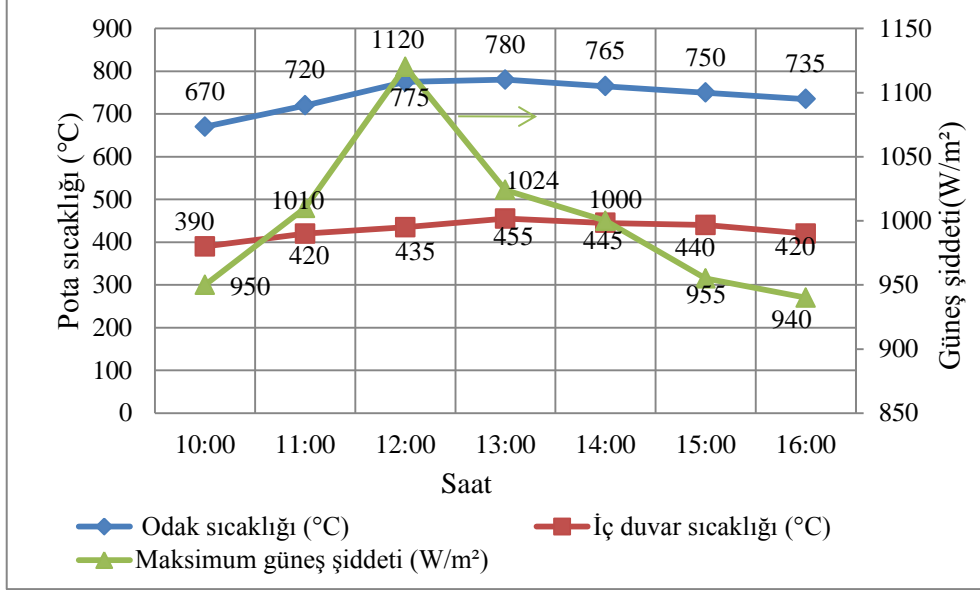
Sıcaklık ölçümü için iki yöntem kullanılmaktadır; yüksek sıcaklık ölçen termokupl ve (malzeme ergitme) malzemenin ısı reaksiyonudur. Birinci yöntemde 1300 °C'ye kadar maksimum sıcaklık ölçebilen K-tipi bir termokupl kullanıldı. K-tipi bir termokupl ile odak noktası ölçümü alınan parabolik çanaklı fırının fotoğrafı Şekil 28'de gösterilmektedir.



Şekil 28. Odak noktasından alınan sıcaklık ölçümü fotoğrafı

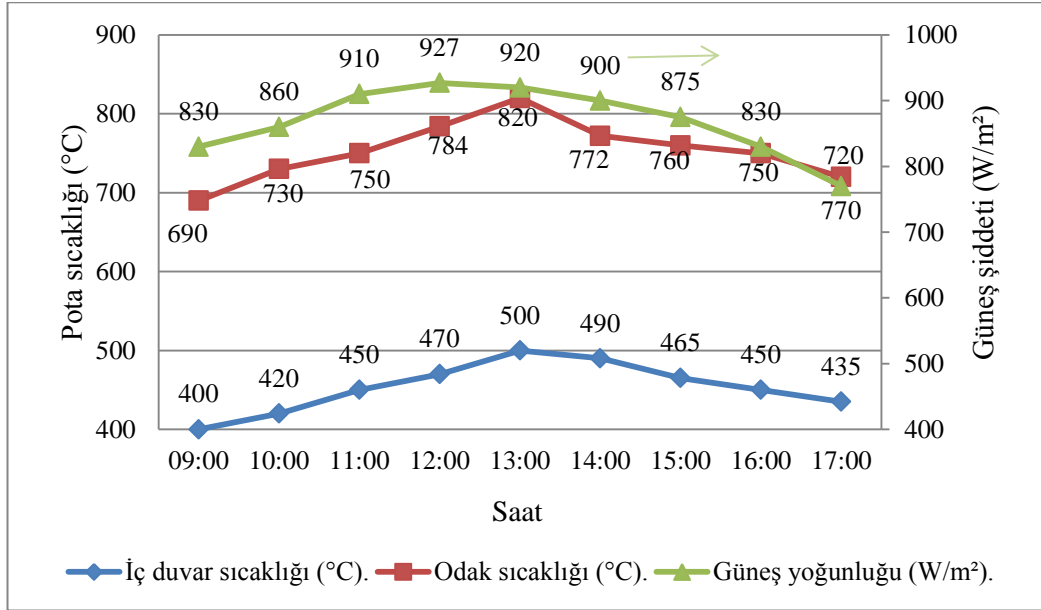
İkinci yöntemde alüminyum, kalay, galvanizli sac, çinko ve kurşun gibi malzemelerin çeşitli türleri ergitmede kullanıldı. Test malzemesinin ergitme başarısı, fırın sıcaklığı o malzemenin erime noktasına gerçekten ulaştığını göstermiştir.

Ölçümü 15 Mayıs 2015 tarihinde yapılan açık konik potanın güneş şiddetine göre ulaşılan en büyük sıcaklık değerleri Şekil 29'da gösterilmektedir. Sabah ve akşam saatlerinde güneş yoğunluğu biraz daha düşüktür. Buna bağlı olarak potada ölçülen odak sıcaklığı da düşük ölçüldü. Öğle saatlerinde ise 12.00–13.00 arası maksimum güneş şiddetine göre potanın odağında maksimum sıcaklık elde edildi.



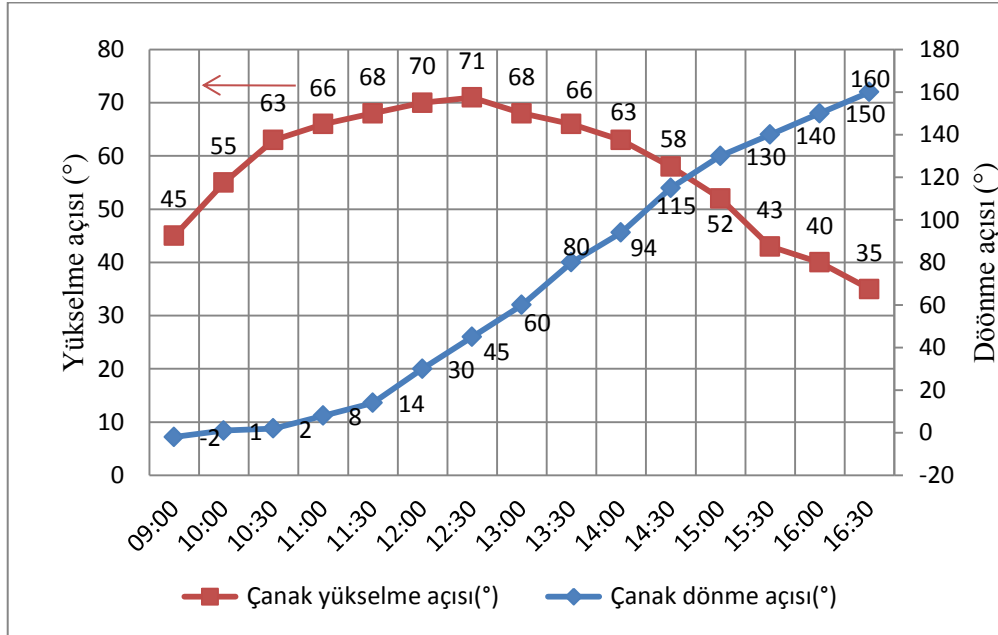
Şekil 29. Potanın güneş şiddetine göre maksimum odak ve iç duvar sıcaklığı değişimi

18 Haziranda güneş ışınım şiddetine göre odak ve iç duvar sıcaklık değişimi Şekil 30'da gösterildi. Buna göre mayıs ayına göre daha düşük güneş ışınım şiddetine sahip olmasına rağmen pota odak sıcaklığı ve pota iç duvar sıcaklıklarında fazla bir değişiklik olmadığı görüldü.



Şekil 30. Güneş şiddetine göre pota odak ve iç duvar sıcaklıkları değişimi

18 Mayıs 2015'te parabolik çanak sistemin güneşi takibi esnasında yükseklik ve dönme açıları ölçülmüştür. Şekil 31'de çanağın dönme ve yükselme açıları grafik olarak gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere mayıs ayı için güneşin yaklaşık  $180^\circ$  döndüğü ve yükselme açısının da yaklaşık  $72^\circ$  ye kadar çıktığı görülmektedir. Yine 18 Haziranda ölçümü alınan güneşin yükselme (güney-kuzey) hareketi Ek Şekil 3'te ve dönme (doğu-batı) hareketi Ek Şekil 4'te verildi. Yükselme açısının ( $77^\circ$ ) artmasıyla potadaki doğal taşınım düşeceği hesap edilmektedir. Dolayısıyla öğle saatlerinde (çanak eğimi  $90^\circ$  ye yaklaştıkça) potadaki havanın durgunluğu sebebiyle potada daha yüksek sıcaklık elde edildi.

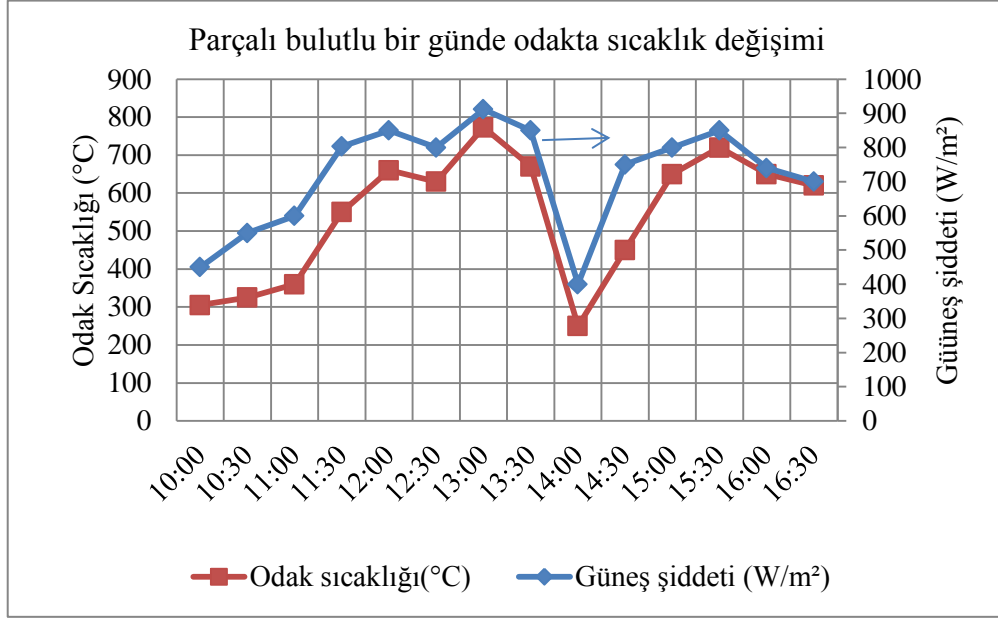


Şekil 31. Mevcut çanağın ölçülen güneşin yükseklik ve dönme açıları

18 Mayıs'ta parabolik çanak sistemi odağına yerleştirilen kapalı konik bir alıcı üzerinden alınan sıcaklık değerlerinin güneş şiddeti ile değişimi Şekil 32'de verilmektedir. Parçalı bulutlu bir gün olması nedeniyle güneş şiddetinin düşmesiyle odakta ölçülen sıcaklıkta düşmüştür. İç sıcaklıkta ani bir değişiklik olmamıştır. Yine kapladığı hacim olarak açık potaya göre nispeten daha küçük olan kapalı potanın odakta ulaşılan değerleri daha yüksektir.

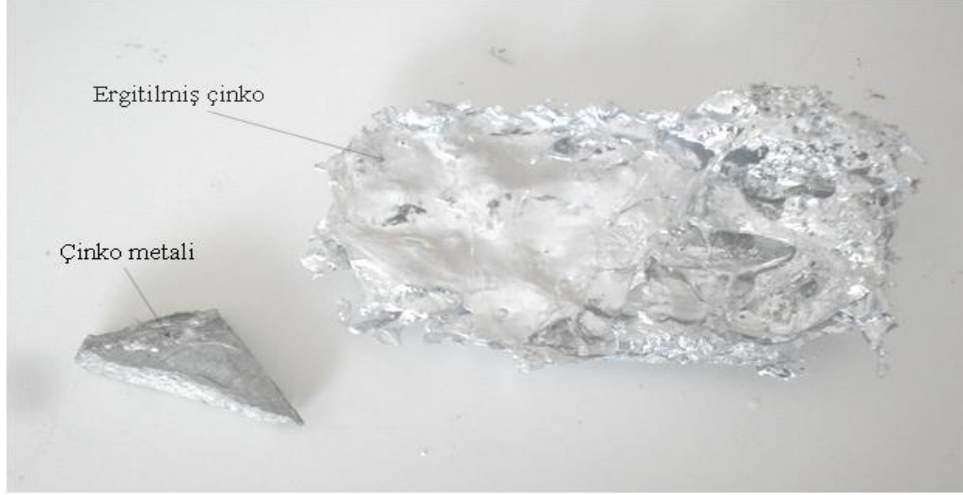
Metal ergitmede güneş ışınlarının alıcıya odaklandığında enerjinin kaybolmaması için direk olarak numune üzerine gelmesi gerekmektedir. Cam kaplı pota ve kapalı pota için radyasyon kayıplarının fazla olması nedeniyle ergitme işlemi için uygun olmadığı

görüldü. Ancak cam olarak kuvars malzeme kullanılmasında daha iyi netice verecektir. Parabolik çanak fırını sisteminin daha uygun olan yoğunlaştırılmış ışınların direk olarak numune üzerine gelen (oyuk) açık pota hareketli çanak için uygun görüldü. Ayrıca potanın ön yüzüne küçük hurda parçalarının da ergitilmesinin kolaylaştırılması için demirden bir kafes yerleştirildi. Böylece kafeste toplanan sıvının kalıba akması kolaylaştırıldı.



Şekil 32. Kapalı konik bir alıcının güneş şiddetiyle odak sıcaklığı değişimi

Parabolik çanaklı fırında metal eritmek için potaya numune yerleştirildi. Burada numunenin kalın plaka ya da metal cevheri şeklinde olabilir. Pota azgından numune odağı görecektir şekilde yerleştirilir. Metalin akışının sürekliliği için potanın koni halinde olması nedeniyle eriyen metalin yerine diğer parçalar gelir. Eriyen metal kalıp yapılan bir kaba düşer ve kalıbın şeklini alır yani metalin dökümü gerçekleştirilir. Eriyen kalın çinko plakanın dökümü ve çinko numunesi fotoğrafı Şekil 30'da görülmektedir. 419,5 °C eğrime noktası olan çinko'nun uygulaması yapıldı. Uygulamada çinkonun gerçekten 419–420 °C de eğritildiği gözlemlendi.



Şekil 33. Ergiyen kalın çinko plakanın dökümü ve numunesi fotoğrafı

### 2.3.1. Bulgular ve Tartışma

Deneylede başlangıçta ince kalay sac (232 °C), kurşun sac (327 °C), kalın çinko plaka (419 °C) ve kalın alüminyum sac (660 °C) başarıyla ergitilmiştir. Galvanizli çelik sac üzerinde yapılan deneyde odak sıcaklığının 800 °C'ye çıkmasına rağmen ergitilememiştir. Bu sacın ergitilmesi için ve diğer yüksek eğrime noktalı metallerin eğritilmesinde mevcut (1,5 m) parabolik çanak fırını şimdilik yetersizdir.

Deneylede kurşun, çinko ve alüminyum metalleri üzerinde ergitme işlemleri gerçekleştirildi. 15 Mayıs'ta saat 15.00 civarında çinko metalini ergitmeye başlandı. Çinkonun ergitilmesi deneyinde başlangıçta yaklaşık iki dakika ısınma süreci sonrası 40 gr ağırlığındaki çinko metalinin toplam 3 dakika içerisinde tamamen ergitildiği gözlemlendi. Bu sıradaki güneş ışınım şiddeti 940 W/m<sup>2</sup>-950 W/m<sup>2</sup> ve çanak eğimi  $\theta=52^\circ$  olduğu ölçüldü.

Kurşun için 16 Haziran saat 12.00 de deneye başlandı. Yaklaşık 2 dakikada pota sıcaklığı 370 °C ulaştı. Yaklaşık 3 dakikada 150 gr kurşun ergitildi. Bu sıradaki çanak eğimi yaklaşık  $\theta=75^\circ$  ve güneş ışınım şiddeti 920 W/m<sup>2</sup>-930 W/m<sup>2</sup> arasında değiştiği gözlemlendi. Ek şekil 7'de kurşun sacın eğritilen miktarının fotoğrafı verildi.

17 Haziranda saat 10.00'da alüminyum ergitme işlemine başlandı. Alüminyum için potanın rejime gelme süresi yaklaşık olarak 5 dakikadır. Alüminyumun özgül ısısının çinko ve kurşuna göre yüksek oluşu ısınma süresini uzattığı görüldü. Yaklaşık 10 dakikada 40 gr atık alüminyumun ergitilmesi gerçekleştirildi. Bu deney sırasında güneş ışınım şiddeti

yaklaşık  $880 \text{ W/m}^2$  ve çanak eğimi  $\theta=55^\circ$  olarak ölçüldü. Ayrıca ergitilen kalın alüminyum sac Ek Şekil 5'te ve ergitilen ince alüminyum sac fotoğrafı Ek Şekil 6'da gösterildi.

Son olarak deneylerden ergitme sürelerinin yüksek ergime noktalı metallere daha uzun olduğu gözlemlendi. Örneğin alüminyum ergitilmesinde ergime hızı en düşüktür. Dolayısıyla bu fırında ergime hızları metallere göre değişmektedir. Burada metallere ısıtma ısılarının farkından dolayı ergitmede hesaplanan termal verimleri de farklılık gösterir. Eklemek gerekirse düşük ergime noktalı metallere düşük özgül ısılarına sahip olmasından daha hızlı bir şekilde ergimeye başladığı gözlemlendi. Ayrıca genel olarak ergime hızının artırılması için potadaki odaklanmanın iyi yapılması gereklidir. Bir diğer etken ise potaya konulan metallere ince sac şeklinde olmasından dolayı metallere aralarındaki boşlukların olması ergimeyi geciktirdiği görüldü. Ergitiminin homojen olması için ve ergitiminin hızlı biçimde olması için potaya uygun büyüklükte kalın metallere konulması ergitmedeki verimi de artıracaktır.

## **2.4. Uygulamadaki Ölçümlerin Teorik Hesaplamalarla Karşılaştırılması**

Sistemde ölçümleri yapılan güneş radyasyonu ve odak sıcaklığı ısı veriminin hesabı için gereklidir. Deney yapılan yerin önceki anlık ışınım değerleri bilinmesi gerekir. Dolayısıyla deneylerde ölçülen anlık ışınım değerleri ile önceki aylık ortalama ışınım değerleri karşılaştırılabilir. Sıcaklık hesabı için ise açıklık üzerinde elde edilen teorik odak sıcaklığı ile uygulamada ölçülen odak sıcaklığının karşılaştırması yapıldı.

### **2.4.1. Ölçüm Cihazları**

Parabolik çanaklı güneş fırınında yapılan ölçümlerde bazı ölçüm cihazlarına gerek duyulmaktadır. Bunlardan biri birim yüzeye gelen güneş ışınım şiddetini ölçmek için CEM-DT 1307 Solarimetre'dir. Ölçümlerde kullanmak için temin edilen CEM DT- 1307 Solarimetrenin genel görünümü Şekil 34'te gösterilmiştir. Ayrıca CEM DT- 1307 Solarimetre'nin teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.





Şekil 34. CEM DT- 1307 Solarimetre

Tablo 2. CEM DT- 1307 Solarimetre'nin teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	1999 W/m <sup>2</sup> 634 BTU (ft <sup>2</sup> *h)
Çalışma sıcaklığı	5 °C – 40 °C (Maksimum nem % 80)
Depolama sıcaklığı	-10 °C – 60 °C (Maksimum nem % 70)
Tepki süresi	0.25 sn
Çözünürlük	1 W/m <sup>2</sup> , 1 BTU (ft <sup>2</sup> *h)
Doğruluk	±10 W/m <sup>2</sup> (± 3 BTU) veya ±% 5, ±0.38 W/m <sup>2</sup> /°C
Birim	W/m <sup>2</sup> , BTU (ft <sup>2</sup> *h)
Pil	1.5 Vx3A
Boyut	(162x63x28) mm
Ağırlığı (bataryası ile)	250 gr

Parabolik çanaklı güneş fırınında elde edilen sıcaklığı ölçmek için, K tipi termokupl ile kullanılan CEM DT-610B dijital termometre kullanıldı. Temin edilen ve deneylerde kullanılan CEM DT-610B dijital termometre ve K tipi termokupllar Şekil 35’te gösterilmiştir. Ayrıca bu cihazın teknik özellikleri de Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 35. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi Termokupllar

Deneysel çalışmada kullanılan CEM DT- 1307 Solarimetre’nin, standart test koşullarında ( $1000 \text{ W/m}^2$  ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) üretici firmalar tarafından kalibre edilmiştir. CEM DT-1307 Solarimetre’nin  $1000 \text{ W/m}^2$  güneş ışınım şiddeti için ( $\pm 10 \text{ w/m}^2$ ) toplam  $\pm \% 5$  hata oranı ile ışınım şiddeti ölçülmektedir. Ayrıca üretici firma tarafından kalibre edilen CEM DT-610B dijital termometrenin  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  için  $\pm \% 0,5$  hata oranına ve K tipi termokupl için  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de  $\% 0.75$  hata oranına sahiptir. Bu hata oranları ile sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Bu değerler deneysel çalışma için yeterli hassasiyettedir.

Tablo 3. CEM DT-610B Dijital termometre ve K tipi termokupl'a ait teknik özellikler

Ölçüm aralığı	-50 °C (-58 °F) ve 1300 °C (2000 °F)
Hassasiyeti	±% 0.5 veya ±1°C (0–1000 °C)
Çalışma sıcaklığı	(-20 ÷ 60) °C
Okuma oranı	2.5 sefer/sn
Çözünürlük	0.1 °C - 1°C
Dijital termometrenin boyutları	162 mm (H) x 76 mm (W) 38,5 mm (D)
Sıcaklık probu	Çift K tipi termokupl
Ölçüm aralığı	-200°C - 1200°C
Termokupl eleman teli	Nikel Krom-Nikel (NiCr-Ni)
Termokupl doğruluğu	±2.2 °C veya ±% 0.75 (0–800 °C)
Termokupl yalıtım ısısı	Maksimum 260 °C (500°F) (Teflon izoleli)
Termokupl duyarlılığı	41µV/°C

#### 2.4.2. Güneş Radyasyonunun Ölçümü ve Teorik Hesabı

Kollektörün teorik ısıl analizinde kullanılacak ışınım değerini hesaplamak için bazı güneş açılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu açılardan bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

$\Phi$ : Göz önüne alınan yerin enlem açısıdır.  $-90^\circ$  ve  $+90^\circ$  arasında değişir. Kuzeyde “-“, güneyde “+” değer alır. Kollektör yerleştirme eğimi genellikle göz önüne alınan yerin enlem açısıdır

$\delta$ : Deklinasyon açısıdır, Ekvator düzlemi ve göz önüne alınan yerin öğle vakti güneş ışınları arasındaki açıdır.

$\beta$ : Eğim açısıdır. Kollektörün yatay düzlemle yaptığı açıdır.

$\omega$ : Saat açısıdır. Göz önüne alınan yerin meridyenine bağlı bir açıdır. Herhangi iki saat arasında 15 derecelik fark oluşur.

$\theta$ : Geliş açısıdır. Direkt güneş ışınları ile yüzey normali arasındaki açıdır.

$\theta_a$ : Azimut açısı, yatay yüzeyin yatayı ile direkt ışınım arasındaki açıdır.

$\theta_z$ : Zenit açısı, yatay yüzeyin dikeyi ile direkt güneş ışınımı arasındaki açıdır.

Güneş enerjisi sistemlerinde dizayn ve performans hesaplamaları yaparken eğimli yüzey üzerine gelen günlük ışınım miktarı önemlidir.  $m^2$  başına yatay düzleme düşen günlük ışınım miktarı denklem (2,5)'te verilmektedir (Akkoç, 2012).

$$I_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) x \left( \cos \theta \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \theta \sin \delta \right) \quad (2.5)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{360}{365} (n + 284) \right) \quad (2.6)$$

Burada  $G_{sc}$ , güneş sabitidir ( $1300 \text{ W/m}^2$ ), Işınım değerleri için gerekli olan ve yukarıda açıklanan deklinasyon açısı denklem (2,6) ile hesaplanabilir. 'n' 1 Ocak'tan itibaren sayılan gün sayısıdır. Güneş doğuş açısı denklem (2,7)'den, saat açısı da derece ( $^\circ$ ) cinsinden denklem (2,8)'den hesaplanabilir;

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \theta \tan \delta) \quad (2.7)$$

$$\omega = (GZ - 12) \times 15 \quad (2.8)$$

Burada  $GZ$ , güneş zamanını ifade etmektedir. 18 Haziran için gün sayısı  $n=169$ , Trabzon için enlem açısı  $-41^\circ$  alındı, deklinasyon açısı  $19.05^\circ$  olarak hesaplandı. Günlük ışınım miktarı ise yaklaşık  $15 \text{ MJ/m}^2$  olarak hesaplandı.

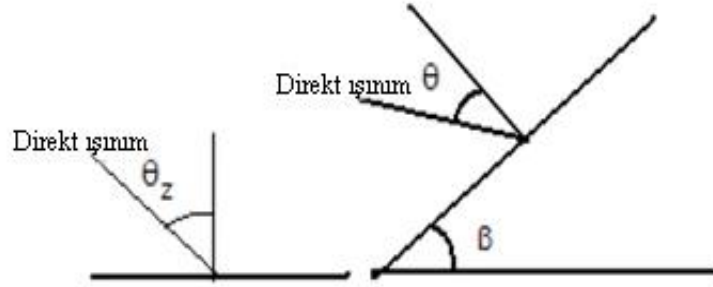
Güneş şiddeti ölçümünde toplam ışınım miktarını ölçen bir cihaz kullanıldı. Dolayısıyla direkt ve yayılı ışınımın ayrı bir hesabına gerek duyulmadı. Güneş şiddeti ölçümünün teorikte doğrulanması için direkt, yayılı ve yansıyan ışınım hesabında gerekli olan aylık anlık ışınım değerleri bilinmesi gereklidir. Ölçüm yapılan yerin daha önceden edinilen (DMİ) açık gün anlık ışınım değerlerine göre direkt ve yayılı ışınım değerleri hesaplanabilir ve karşılaştırmaları yapılabilir. Deneyde ölçülen toplam ışınım şiddetinin daha önceki toplam ışınım şiddetleri ile benzerlik gösterdiği görüldü.

Toplam ışınım  $I_t$ , Direkt ve yayılı ışınımın yeryüzüne gelen toplamıdır. Direkt ışınım  $I_b$ , Atmosferde ve bulutlarda saçılmadan gelen, direkt yeryüzüne ulaşan ışınımıdır. Yayılı ışınım  $I_d$ , Atmosferden ve gökyüzünden saçılan ve yayılarak yeryüzüne gelen ışınımıdır. Hesaplamalar toplam ışınım şiddeti değerleri üzerinden yapılmaktadır.

Bu ışınım türlerini ölçmekte kullanılan birçok cihaz mevcuttur. Solarimetre ve Piranometre toplam ışınım miktarını ölçen cihazlardır. Sabit bir şekilde kollektör sistemine yerleştirilir ve güneşi takip etmez. Gölgeleme bandıyla kullanıldığında yalnız yayılı ışınımı

ölçer. Pirheliometre de direkt ışınımı ölçmeye yarayan cihazdır. Bu cihazların kullanımında güneş takibi söz konusudur. Deney düzeneğinde solarimetre çanak kenarına monte edildi. Dolayısıyla çanağın güneşi her takip etmesinde solarimetrenin de güneşi takip etmesi sağlandı. Böylece anlık güneş şiddetinin günlük maksimum miktardaki ölçümleri yapıldı.

Yüzeyin normali ile güneş ışınlarının geliş açısı eşit olduğunda maksimum enerjiyi elde etmek mümkündür. Bundan dolayı, çanak eğim açısı önemlidir. Denklem (2,9) kullanılarak eğimli yüzeylerdeki toplam ışınım miktarı tespit edilebilir.  $R_b$  geometrik faktördür ve eğimli yüzeye yatay düzleme gelen direkt ışınım oranıdır. Şekil 36'da yatay düzleme ve eğimli yüzeye direkt gelen ışınım ve eğim faktörü gösterilmektedir.



Şekil 36. Yatay ve eğimli yüzeye gelen direkt ışınım (Akkoç, 2012).

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.9)$$

$$I_t = I_b R_b + I_b \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_s \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (2.10)$$

Burada  $\beta$  kolektör yerleştirme açısı ve  $\rho_s$  zemin yansıtma katsayısıdır. Zeminin durumuna göre yansıtma katsayısı değeri  $\rho_s$ , örneğin deney yapılan yere göre yağ çim ve betonlu alanlar için 0.20 alınabilir. Ayrıca İki yönlü güneş takibi ile kolektörün (çanak) güneşe daima yönlendirilerek kosinüs kayıplarını yok ettiği ( $\cos 90=0$ ) denklem (2,10)'dan anlaşılmaktadır.

### 2.4.2. Teorik Odak Sıcaklığı Hesabı ve Ölçümlerle Karşılaştırılması

Deneyleerde yapılan sıcaklık ölçümlerin doğruluğunu kanıtlamak için teorik odak noktası sıcaklığı hesabı yapıldı. Anlık ışıınım değerlerine göre odak sıcaklığı hesaplandı. Pota açıklığı üzerindeki net ısı akısı, Irradiation ve Radiosity arasındaki farktan yararlanarak hesaplanabilir (Neber ve Lee, 2012). Denklem (2.14)'teki gibi teorik odak sıcaklığı hesaplanabilir.

$$q_A = (G_A - J_A)A_1 \quad (2.11)$$

$$G_A = \sigma T_a^4 + YO * I \quad (2.12)$$

$$J_A = \epsilon_{\text{eff}} \sigma T_A^4 + (1 - \epsilon_{\text{eff}}) G_A \quad (2.13)$$

$$q_A = \epsilon_{\text{eff}} A_1 (YO I - \sigma T_S^4 + \sigma T_a^4)$$

$$q_A = I A_p \rho$$

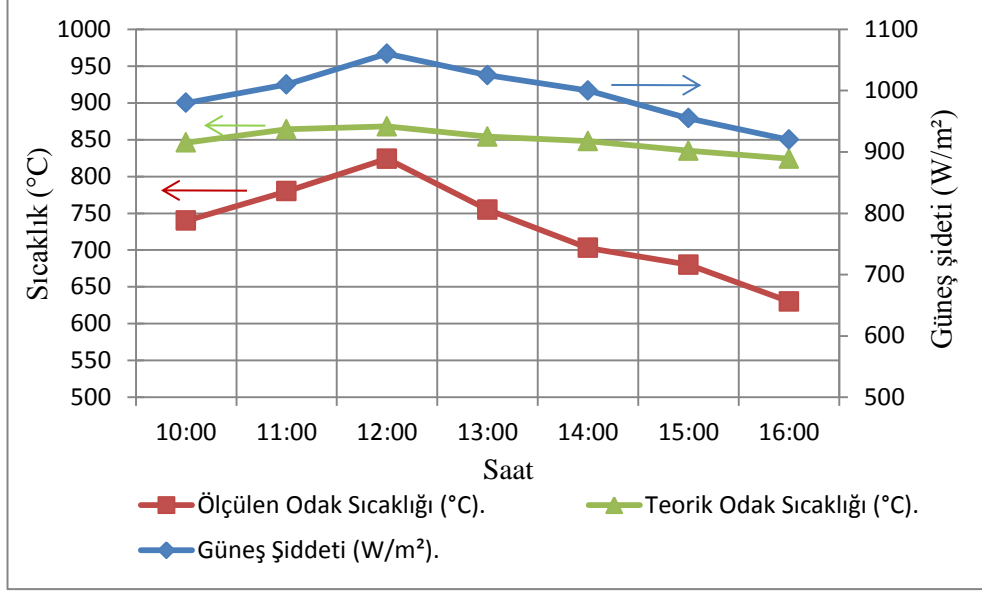
$$T_S = \sqrt[4]{-\frac{q_A}{\sigma \epsilon_{\text{eff}} A_r} + \frac{YO I}{\sigma} + T_a^4} \quad (2.14)$$

Burada  $q_A$  açıklık üzerindeki açıklığa giren net ısı akısı ( $W/m^2$ ),  $J_A$  açıklıktaki Radiosity ( $W/m^2$ ),  $G_A$  açıklıktaki Irradiation ( $W/m^2$ ),  $A_1$  açıklık alanıdır ( $m^2$ ).  $T_s$  odak sıcaklığıdır. Teorik odak sıcaklığı üzerinden potaya giren net enerji miktarı ise denklem (2.15)'teki gibi hesaplanabilir. Potadaki ısı kaybı ise denklem (2.16)'daki gibi hesaplanabilir (Neber ve Lee, 2012). Buradaki ısı kaybı katsayısı  $U_L$  değeri Tablo 3'te verildi

$$\eta_A = \frac{q_A - q_K}{A_p I} \quad (2.15)$$

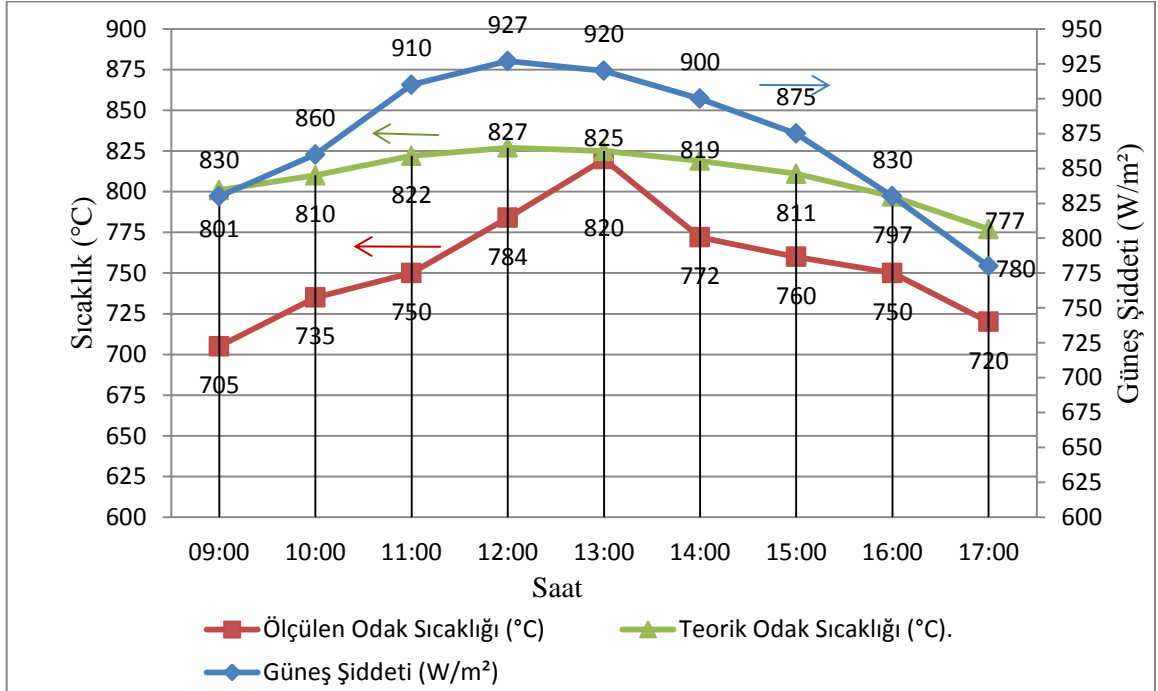
$$q_K = U_L A_r (T_S - T_a) \quad (2.16)$$

Hesaplanan teorik pota odak ve uygulamada ölçülen (7 Mayıs) değerleri Şekil 37'de verildi. Bu grafiğe göre aynı güneş ışıınım şiddetine göre teorik odak sıcaklık değerlerinin daha yüksek olduğu görüldü. Ayrıca öğle saatlerinde yapılan ölçümlerin ve hesaplanan teorik sıcaklıkların birbirine yaklaştığı görüldü. Bunun nedeninin daha çok doğal taşınım miktarının azaldığı düşünülmektedir. Alıcının (pota) verimi ise ortalama  $U_L = 150 W/m^2K$  ve  $1000 W/m^2$  değerine göre yaklaşık % 71 olarak hesaplandı. Bu değer uygulamadaki yapılan ölçümlerle yapılan pota veriminin (% 70) birbirine yakın olduğu görüldü.



Şekil 37. Güneş şiddetine göre teorik odak sıcaklığı ve ölçülen odak sıcaklığı değişimi

18 Haziranda yapılan uygulamada ve hesaplanan teorik odak sıcaklıkları Şekil. 38'de gösterildi. Grafikten de anlaşılacağı üzere Mayıs ayı ile benzer değerlerin ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 38. Güneş şiddetine göre teorik odak sıcaklığı ve ölçülen odak sıcaklığı değişimi

### 2.4.3. Sıcaklık ve Radyasyon Ölçümündeki Belirsizlik Analizi

Deneyle yapıldıktan sonra deneye ait sistematik veya sabit hataların tespiti için belirsizlik analizi hesabı yapıldı. Belirsizlik analizi ile ölçümlerde en büyük hataya neden olan değişken hemen tespit edilebilir ve sonuçların hassasiyeti hakkında yöntemsel bir yaklaşım sunar. Genel olarak ölçümlerdeki hatalar, dikkatsizlik ve tecrübesizlikten kaynaklanan hatalar, sabit ve sistematik hatalar ve rastgele hatalardır.

Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek hatalar, sistemden kaynaklı ve deneylerde kullanılan ölçüm aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneylerde çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar ve oranları şunlardır;

- a1 Termokupl çiftlerinden kaynaklanan hata =  $\pm 0,0075 \text{ }^\circ\text{C}$
- a2 Digital termometreden kaynaklanan ortalama hata =  $\pm 0,005 \text{ }^\circ\text{C}$
- a3 Bağlantı elemanı ve noktalarından kaynaklanan ortalama hata =  $\pm 0,001 \text{ }^\circ\text{C}$
- a4 Potanın iç duvar sıcaklığının ölçülmesinde yapılan ortalama hata =  $\pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$
- a5 Potanın odak sıcaklığı ölçülmesinde yapılan ortalama hata =  $\pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$

Pota iç duvar sıcaklığı ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata  $W_{Tw1}$  Denklem (2.17) kullanılarak hesaplanabilir.

$$W_{Tw1} = \left[ \left( \frac{W_{a1}}{a1} \right)^2 + \left( \frac{W_{a2}}{a2} \right)^2 + \left( \frac{W_{a3}}{a3} \right)^2 + \left( \frac{W_{a4}}{a4} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$

$$W_{Tw1} = [(a1)^2 + (a2)^2 + (a3)^2 + (a4)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.18)$$

$$W_{Tw1} = [(0.0075)^2 + (0.005)^2 + (0.001)^2 + (0.05)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_T = \pm 0.000907 \text{ }^\circ\text{C} \cong \pm \% 0.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$W_{Tw1} = \pm 0.0508 \text{ }^\circ\text{C} \cong \pm \% 5.08 \text{ }^\circ\text{C}$$

K tipi Termokupl ve dijital termometre cihazından kaynaklanan belirsizlik oranı % 0,9'dur. Pota iç duvarının ölçümünde yapılan ortalama toplam belirsizlik oranı yaklaşık % 5'tir. Sıcaklık ölçümlerinde, hesaplanan belirsizlik değerleri de değerlendirilerek hesaplarda işlemlere eklenir.

Güneş radyasyonunun ölçülmesindeki, sabit ve sistematik hataların önceden belirlenmesi gerekir. Güneş radyasyonunun ölçülmesindeki hatalar, ölçme yöntemi ve ölçü



aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneylerde radyasyon ölçümlerinde kaynaklanan bazı hata ve oranları şunlardır;

- b1 Solarimetreden kaynaklanan ortalama hata =  $\pm 0.05 \text{ W/m}^2$
- b2 Solarimetre bağlantı elemanı ve noktalarındaki ortalama hata =  $\pm 0.01 \text{ W/m}^2$
- b3 Solarimetrenin yerleştirildiği konumdan kaynaklanan hata =  $\pm 0.02 \text{ W/m}^2$

$$W_R = [(b1)^2 + (b2)^2 + (b3)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_R = [(0.05)^2 + (0.01)^2 + (0.02)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$W_R = \pm 0.0547 \text{ W/m}^2 \cong \pm \% 5.5 \text{ W/m}^2$$

CEM DT-1307 Solarimetre cihazındaki ölçüm belirsizliği % 5,1  $\text{W/m}^2$ 'dir. Solarimetrenin yerleştirildiği yerdeki toplam belirsizliği ise % 5.5  $\text{W/m}^2$  hesaplandı. Güneş radyasyonun ölçüm sonucuna belirsizlik değerleri de eklenir veya çıkarılır. Böylece ölçümlerden kaynaklanan hataların ortalama değerleri de hesaplara katılır.

## 2.5. Sistemin Maliyeti

Sistemin önemli bazı parçaları şunlardır; Parabolik çanak, yansıtıcı malzeme, oyuk alıcı, mekanik ve kontrol sistemi dâhil güneş takip mekanizmasıdır. Bu çalışmadaki mevcut sistem için en maliyetlisi güneş takip sistemidir. Dolayısıyla takip mekanizması el yardımıyla hareket edebilen bir mekanizma geliştirildi. Parabolik çanaklar açıklığına (çapına) göre maliyeti artmaktadır. Bu yüzden sistem için biraz kullanılmış parabolik çanak temin edildi. Yansıtıcı malzeme olarak ilk başta seçilen alüminyum folyo ise Sonradan çanağa yapıştıırılan krom nikelaj folyodan çok daha ucuzdur. Ancak yansıtıcılığı düşük olması nedeniyle krom nikelaj tercih edildi. Alıcı potalar ise 1,5 mm demir saçtan imal edildi. Kurulan sistem için maliyet analizi Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Güneş yoğunlaştırıcı çanak sisteminin toplam maliyeti

Yoğunlaştırıcı çanak sisteminin kısımları	Maliyeti (TL)
Parabolik çanak (1.5 m)	200
Yansıtıcı malzeme (2 m)	100
Alıcı pota imali ve kaynak işleri	100
İşçilik ve diğer malzemeler	150
Toplam	550 TL

### 3. TASARLANAN SİSTEMİN ENERJİ DENGESİ

#### 3.1. Durgunluk Isısı

Durgunluk ısısındaki (Hava akışının yüzeye sürtünmesinden kaynaklanan ısı) toplayıcı çanağın performansının deneysel araştırılması ve malzeme özelliğinden kaynaklanan kolektör performansındaki değişiklikleri belirlemek için kolay bir test yöntemi uygulandı. Bir yoğunlaştırıcı için durgunluk noktası geri ısı alımı olmayan bir durumdur. Sabit güneşlenme radyasyonu için kolektör, durgunluk noktasında maksimum sıcaklığa ulaşır. Alıcı/emiciden yayılan kızılötesi gücünün yanı sıra başlıca malzeme ile ilgili özellikleri emiciliği kapsar. Çanak yoğunlaştırıcının ısı performansını toplayıcının temel bir özelliği olarak durgunluk sıcaklıkta alıcı/emici yüzeyi ile ilgilidir. Diğer yaygın olarak kullanılan parametreler geometrik yoğunlaştırma oranı ve açıklık alanıdır. Durgunluk sıcaklığı diğer bir deyişle toplayıcıdan yararlı enerji türeten aracı bir akışkan olmadığında yutucunun denge sıcaklığıdır.

Yararlı enerjinin ( $Q_u$ ) olmadığında akışın olmadığı duruma karşılık gelen çanak yoğunlaştırıcının durgunluk sıcaklığı ( $T_{st}$ ) ve sabit güneşlenme ( $I$ ) için toplanmıştır ve durgunluk anında sistem en yüksek sıcaklığa ulaşır. Bu durumda alıcı için enerji dengesi aşağıda verilmektedir (Kaushika ve Reddy, 1999).

$$Q_u = A_p I (\rho \alpha)_{eff} - U_L (T_{st} - T_a) A_r \quad (3.1)$$

Durgunluk durumunda yani yararlı enerjinin olmadığı durumda  $Q_u=0$ 'dır ve böylece (3.2) eşitliği elde edilebilir.

$$U_L = \frac{Y O I (\rho \alpha)_{eff}}{(T_{st} - T_a)} \quad (3.2)$$

Durgunluk sıcaklığı ( $T_{st}$ ), çevre sıcaklığı ( $T_a$ ) ve güneş radyasyonu ( $I$ ) 7 Mayıs'ta ölçümleri 1 saat arayla alınarak hesaplanan değerler Tablo 5'te verildi. Toplam ısı kaybı katsayısı ( $U_L$ ) alıcıdan taşınım, iletim ve ışıma kayıplarının eklenmesinden kaynaklanır. Hesaplamalarda mevcut parabolik çanak için yoğunlaştırma oranı 558,8 olarak, galvanizli

oksitlenmiş çelik yutucu plaka malzemesi için yansıtıcılık ve yutuculuk verimliliği (0.20x0.80) alındı. Açık alıcının  $U_L$  148,4 W/m<sup>2</sup>/K ortalama değeri hesaplandı.

Tablo 5. Elde edilen sıcaklığa göre toplam ısı kaybı katsayısı

Saat	Güneş Şiddeti (W/m <sup>2</sup> )	Çanak Eğimi (°)	Durgunluk Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Toplam ısı Kaybı Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
10.00	980	60	740	14	141.3
11.00	1010	66	780	16	140.4
12.00	1060	70	824	18	139.6
13.00	1025	68	755	19	147.8
14.00	1000	63	703	20	155.5
15.00	955	52	680	21	153.8
16.00	920	40	630	21	160.4

18 Haziran 2015'teki deneyde güneş radyasyonuna göre alüminyum sac üzerinden alınan sıcaklık değerleri ve toplam ısı kaybı katsayıları Ek Tablo 8'de verildi. Ayrıca güneş yükselme ve dönme açıları da ölçülerek tabloya eklendi. Alüminyum üzerinde alınan değerlerde toplam ısı kaybı katsayıları daha düşük olarak hesaplandı. Burada alüminyumun yutuculuk ve yansıtıcılık etkililiği daha düşük olması nedeniyle ve radyasyona göre daha yüksek sıcaklıklar elde edilmesinden dolayı ısı kaybı daha düşük hesaplandı.

### 3.2. Çanağın odak görüntüsü özellikleri

Odak bölgesindeki akı dağılımını hesaplamak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Odak düzlemindeki akı dağılımı ile ilgili bilgiler oyuk alıcı açıklığının yakalama faktörünün belirlenmesi için de kullanılabilir. Son yıllarda oldukça kusurlu optikler ve kısa odak uzunluğunun düşük maliyetli çanak uygulamalarında akı hesabı önerilmiştir. Bu alıcılar ile sistemin değerlendirilmesinde tam odak düzleminde olmayan ve odak bölgesinin tamamında kesişme faktörü ve akı dağılımı gereklidir. Odak düzlemindeki akı dağılımı iki eliptik normal dağılımının bileşimi olarak kabul edilebilir. Bir parabolik çanak

yoğunlaştırıcıda güneş konilerinin merkezi ışınları, aşağıdaki ve yukarıdaki bölgede ayrı olarak yer değiştiren ve odak noktasında kesişen çanağın karşılıklı iki yarısından yansıtılır. Koni optik kavramına göre, parabolik çanağın her bir noktasından yansıyan güneş radyasyonu odak düzleminde Şekil 39'daki gibi eliptik bir görüntü olarak çıkarılacaktır. Alıcıya yerleştirilen bu numunenin üzerinden 1cm arayla ölçülen sıcaklık değerleri şematik olarak Ek Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 39. Galvanizli çelik sac üzerindeki odak görüntüsü fotoğrafı

Çanağın her yarım kürede akı eşleme sayesinde çok sayıda yöneliş ve boyutların çok sayıda eliptik görüntüleri üst üste gelecektir. Çanağın diğer yarısının eşlemesi de özdeş olacak ve ilk odak düzleminde üst üste gelecektir. Diğer paralel düzlemler iki bileşenli eşleşmeler dışında yer değiştirecektir. Eğer iki yarıya karşılık gelen dağılımlar  $x=+\mu$  de ise maksimumdur (burada  $\mu=c_2z$ ,  $c_2$  orantılılık sabitidir), meydana gelen dağılım denklem (3,3)'te verilmiştir. X ve z eksenleri boyunca odak görüntüsü genişlikleri ile  $\sigma_x$  ve  $\sigma_z$  ilişkisine sahiptir. Bu arada mevcut çanak için odak genişliği 0.06 m olarak ölçülmüştür. Yakalama faktörü yoğunlaştırıcı yüzeyden yansıyan toplam radyasyonun emicide kesişen solar radyasyonun oranı olarak tanımlanabilir. Kaushika ve Reddy'e (1999) göre, denklem (3,3) odaksal enerji dağılımına karşılık yakalama faktörü denklem (3,4) ile hesaplandı.

$$G(x, z) = \frac{1}{4\sigma_x\sigma_z} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_x^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_x^2}\right) + \exp\left(-\frac{x+\mu^2}{2\sigma_x^2}\right) \right] \quad (3.3)$$

$$\Phi_0(x_0, z_0) = 0.5 \exp(-c_1 z_0^2) [2 \exp(-ku^2) - \exp(-k(x_0 + u)^2) - \exp(-k(x_0 - u)^2) + 2k\mu D_0] \quad (3.4)$$

$$D_0 = \int_{-\mu}^{-\mu+x_0} \exp(-kv^2) dv - \int_{\mu}^{\mu+x_0} \exp(-ku^2) du$$

$$c_1 = \frac{1}{2\sigma_z^2}, k = \frac{1}{2\sigma_x^2}$$

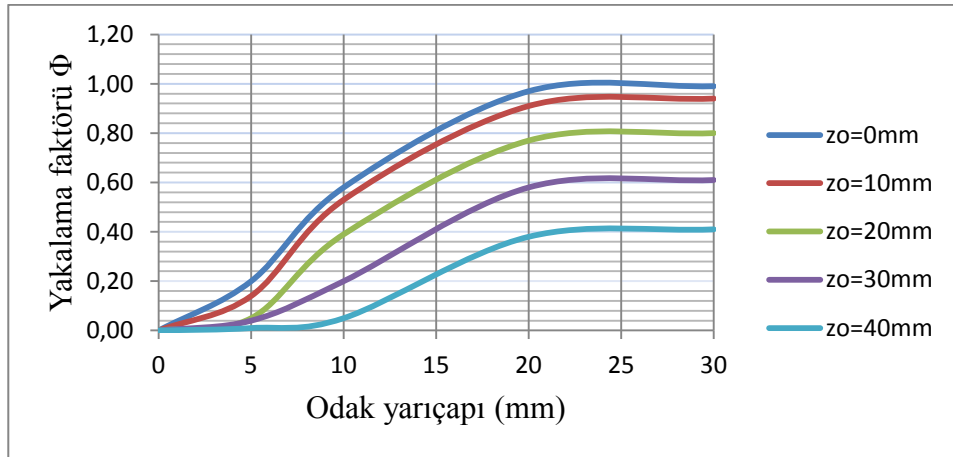
$$\sigma_x = \frac{w_x}{8} = \frac{1}{8} \left[ \frac{4F \sin\alpha'}{(1+\cos\Phi) \cos(\Phi+\alpha')} \right] \quad (3.5)$$

$$\sigma_x = \frac{w_x}{8} = \frac{0.06}{8} = 0.0075 \text{ m}$$

$$\sigma_z = \frac{w_z}{2} = \frac{1}{2} \left[ \frac{2F \sin\alpha'}{(1+\cos\Phi)} \left( \frac{1}{\sin(\Phi-\alpha')} + \frac{1}{\sin(\Phi+\alpha')} \right) \right] \quad (3.6)$$

$$\sigma_z = \frac{w_z}{2} = \frac{0.06}{2} = 0.03 \text{ m}$$

Bulunan odak genişliği ilişkileri  $c_1$ ,  $k$  eşitliklerinde yerlerine yazıldı. Mevcut yoğunlaştırıcı için kesişme faktörünün değeri  $Z_0 = 0, 10, 20, 30, 40\text{mm}$  de bulunan düzlemlerde açıklık alanlarının farklı değerlerine karşılık olarak (3,4) denklemi ile hesaplanır. Şekil 40'da farklı yüzeylerde odak yarıçapı ile yakalama faktörünün değişimi gösterildi. Alıcı tasarlanırken odaktaki görüntü genişliğine göre oyuk bir alıcı düşünüldü. Görüntü genişliği de yakalama faktörüyle ilişkilidir.



Şekil 40. Farklı yüzeylerde odak yarıçapı ile yakalama faktörünün değişimi

### 3.3. Alıcının Isıl Dengesi ve Termal Verimi

Odak emici yoğunlaştırılan güneş radyasyonunu alır ve bir sonraki işlemde kullanılmak üzere ısı enerjiye dönüştürür. Bir alıcının temel özelliği, en az kayıpla ısı transferi ve yansıtılan güneş enerjisinin maksimum miktarda emilmesidir. Genel olarak bir oyuk alıcı bu amaca ulaşmak için kullanılır. Mevcut çanak yoğunlaştırıcının odak görüntüsü genişliği yaklaşık 0.06 m olarak ölçülmüştür ve nispeten daha büyük açıklığa sahip oyuk bir emici gerekli olacaktır. Yakalama faktörünün etkisiyle verilen grafikten yararlanılarak 0.08 m pota açıklığı düşünüldü. Sistem için iki farklı oyuk alıcı geliştirildi. Bu alıcılar demir saçtan imal edildi. Mevcut çanak yoğunlaştırıcı için alıcının ısı verimi için teorik olarak analizini gerçekleştirildi.

Hareket halinde olmayan bir toplayıcının ısı dönüşüm verimliliği denklem (3.7) ile ifade edilebilir. Kaushika ve Reddy'e (1999) göre,  $\eta_R$  alıcı verimliliğidir ve denklem (3,8) ile hesaplandı.

$$\eta_{\text{Toplam}} = \eta_R \rho \quad (3.7)$$

$$\eta_R = [\Phi_0 \alpha_{\text{eff}} + (1 - \Phi_0) \alpha] - \frac{Q_L}{(SAP \rho)} \quad (3.8)$$

Burada  $\Phi_0$  yakalama faktörü (0.95–1),  $\alpha_{\text{eff}}$  potanın yutuculuk etkisi (0.95),  $\alpha$  numune ya da ürünün yutuculuk oranı,  $\rho$  parabolik çanak yansıtıcılık oranı,  $Q_L$  alıcının toplam ısı kaybı oranıdır. Alıcının iletim, taşınım ve ışınım kayıplarını ve emici yüzeyin dışındaki taşınım ve ışınım kayıplarını içermektedir. Böylece açık alıcının toplam kayıp ısı oranı  $Q_L$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$Q_L = Q_{CK} + Q_{CC} + Q_{CR} + Q_{SC} + Q_{SR} \quad (3.9)$$

$$Q_{CK} = \frac{1}{\frac{1}{A_0 h_1} + \frac{1}{K \sqrt{A_0 A_w}}} (T_{r1} - T_a) \quad (3.10)$$

$$Q_{CC} = A_1 h_0 (T_{r1} - T_a) \quad (3.11)$$

$$Q_{CR} = A_1 \epsilon_{\text{eff}} \sigma (T_{r1} + 273,3)^4 \quad (3.12)$$

$$Q_{SC} = A_2 h_2 (T_{r2} - T_a) \quad (3.13)$$

$$Q_{SR} = A_2 \epsilon_{c2} \sigma (T_{r2} + 273,3)^4 \quad (3.14)$$

Burada  $A_o$  açıklık dış yüzey alanı ( $0.005 \text{ m}^2$ ),  $A_w$  ( $0.071 \text{ m}^2$ ) pota iç yüzey alanıdır. Mevcut alıcı için  $A_w/A_1=18.68$  hesaplandı. Alıcının dış yüzeyinden toplam ısı taşınım katsayısı  $h_1$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), iç duvar sıcaklığı  $Tr_1$  (ortalama  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ), dış duvar sıcaklığı  $Tr_2$  (yalıtım üzerinde  $75 \text{ }^\circ\text{C}-85 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $T_a$  çevre sıcaklığı ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ve  $k$  pota malzemesi ısı iletim katsayısı ( $\text{W}/\text{mK}$ )'dır. Ek Tablo 7'de çeşitli malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayıları verildi. Ayrıca  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabiti ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$ ) ve  $h_0$  ve  $h_2$  ısı taşınım katsayılarıdır. Taşınım gücü ve serbest boyutsuz ilişkisinin incelenmesinden bağlantı kurulabilir. Mevcut geometri için,  $h_0$  ve  $h_2$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$h_0=h_{on}+h_{of}, h_2=h_{2n}+h_{2f}, h_{on}=1.45(T_1-T_a)^{0.333}, h_{2n}=1.45(T_2-T_a)^{0.333}, h_{of}=h_{2f}=4.22(v)^{0.805}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1}{1 + \frac{1}{(\epsilon_{c1}-1) \left(\frac{A_1}{A_w}\right)}} \quad (3.15)$$

$\epsilon_{eff}$ , açıklığın kızıl ötesi yayma gücü ışınımsal ısı kayıplarının önemli bir bileşenidir  $\epsilon_{c1}=0,2$  (çelik için) alıcının iç yüzey yayıcılığı,  $\epsilon_{c2}$  alıcı dış yüzey yayıcılığı,  $v$  ( $\text{m}/\text{s}$ ) rüzgâr hızıdır. Potanın  $\epsilon_{eff}=1.096$  olarak hesaplandı. Oyuk bir alıcının farklı değerlerindeki dış yüzey yayma gücünün ( $\epsilon_{c1}$ )  $\epsilon_{eff}$  ile  $A_w/A_1$  değişimi Ek Şekil 9'da gösterilmektedir.

Pota açıklığındaki taşınım kaybı potanın şekline, potanın eğimine ve açıklık oranına bağlıdır. Pota için açıklıktan  $h_o$  ısı taşınım kaybı katsayısının aşağıdaki korelasyon yardımıyla bulunması ile açıklıktaki doğal taşınım kaybı bulunur. Ortalama ısı transfer katsayıları için, Taşınım Nusselt sayısı ( $Nu_C$ ) ( $Pr=0.71$  akışkan bir hava için) bağıntısının hesaplanması gereklidir. Taşınım Nusselt bağıntısı, çanak eğimi açıklık oranları ve Rayleigh Sayısı hesapları dikkate alınarak bir korelasyon geliştirilebilir (Prakash vd., 2012). Taşınım Nusselt sayısı ( $Nu_C$ ) hesabı denklem (3.16)'de verildi. Denklem (3.17)'deki gibi pota çapına bağlı olarak Rayleigh Sayısı hesaplandı.

$$Nu_C = 0.0136 Ra_D^{1/3} (1 + \cos\theta)^{2,3} \left(\frac{d}{D}\right)^{0.72} \quad (3.16)$$

$$Ra_D = \frac{g \beta \Delta T D^3}{\nu \alpha} \quad (3.17)$$

$(1+\cos\theta)^n$  burada  $n$  katsayısı pota açıklığının oranı ile değişir. Pota açıklık oranları örneğin 1, 0.5 ve 0.25 için  $n$  katsayısı sırasıyla  $n=2.3$ ,  $n=2.3$  ve 2.62 alınabilir. Mevcut pota için 0.5 açıklık oranına göre  $n=2.3$  alındı. Çanak eğimi ( $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ),  $d$  pota açıklık çapı ve  $D$



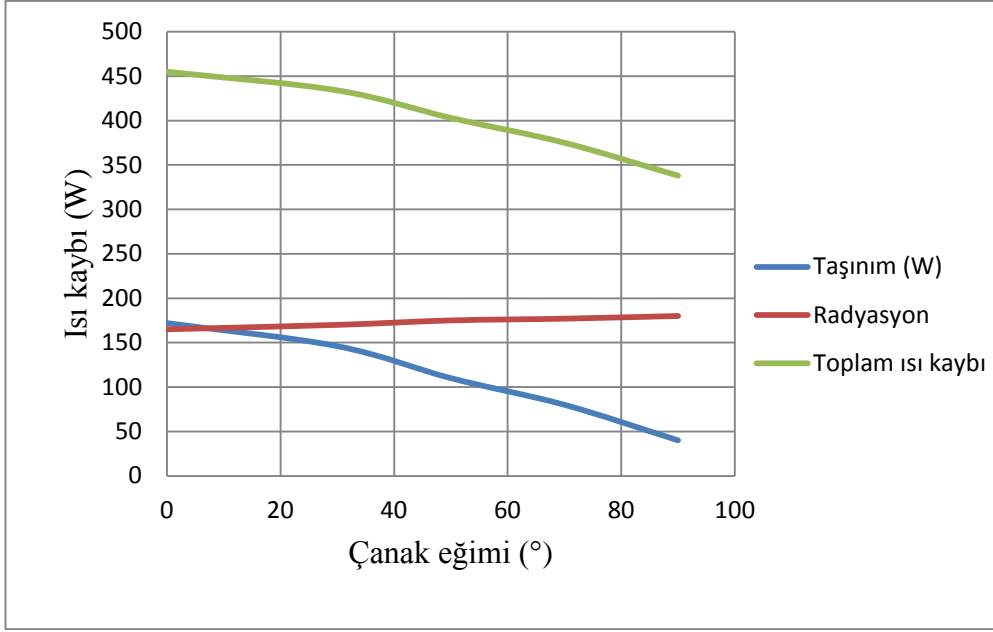
ise pota çapıdır. Yer çekimi ivmesi  $g$  ( $m/s^2$ ),  $\alpha$  ısı yayıcılık katsayısı ( $m^2/s$ ),  $\nu$  kinematik viskozite ( $m^2/s$ ),  $\beta$  ısı genleşme katsayısı ( $1/K$ ),  $\Delta T$  ( $K$ ) iç duvar ve çevre sıcaklığı farkıdır. Mevcut pota için hesaplanan  $Ra_D$  ortalama değeri  $0,1761 \times 10^8$ 'dir. Bu değer ve diğer parametreler (çanak eğimi ve açıklık oranları) Nusselt Sayısı bağıntısında yerine yazıldı. Hesaplanan Nusselt Sayısı ile açıklıktaki ısı transfer katsayısı ( $h_o$ ) hesaplandı. Böylece potanın açıklığındaki taşınım kaybı hesabı yapıldı. Taşınım ile ısı transfer katsayısı denklem (3.18) ile hesaplandı. Potanın doğal taşınım kaybı denklem (3.19) ile hesaplandı.

$$h_o = \frac{Nu_c k_f}{D} \quad (3.18)$$

$$Q_{CC} = h_o A_1 (T_w - T_a) \quad (3.19)$$

Akışkan ısı iletkenlik katsayısı  $k_f$  hava için ( $0,7-0,8$  W/mK), Elde edilen verilen ve belli parametreler doğrultusunda mevcut çanak için taşınım hesabı yapıldı. Durgun hava arttıkça taşınım kaybı, çanak eğiminin  $0^\circ$  den  $90^\circ$ 'ye doğru azalmaktadır (Reddy ve Kumar, 2008). Şekil 41'de görüldüğü gibi  $650$  °C de ve çelik pota için yaklaşık olarak  $\epsilon = 0,2$  için (yüzey yayıcılık oranı  $0 \leq \epsilon \leq 1$ ) ve eğim açısına göre  $167,9$  W değerinde radyasyonun sabit kaldığı görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak iletkenlerin yüzey yayıcılığı da artar. Dolayısıyla mevcut potanın açıklığındaki radyasyon kaybı ortalama  $160$  W ve  $180$  W arasında değişmektedir. Doğal taşınım kaybı ise çanak eğimi  $\theta = 50^\circ$ 'de yaklaşık  $110$  W,  $70^\circ$ 'de yaklaşık  $78$  W ve çanak eğimi  $90^\circ$  ye yaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Parabolik çanaklı fırınında ölçüleri alınan çanak eğim açıları ve sistemin genel görüntüsü Şekil 42'de gösterilmektedir. Ayrıca sistemin yukarı aşağı hareketi için şekilde görüldüğü gibi makaralı bir düzenek sisteme eklendi.

İletim, doğal taşınım, radyasyon, yüzey radyasyonu ve yüzey taşınım miktarları toplanarak toplam ısı kaybı hesaplandı. Böylece alıcı pota verimi ve sistemin toplam verimi hesaplandı. Ortalama  $850$  W/m<sup>2</sup> güneş ışınım şiddeti için ve  $70^\circ$  çanak eğiminde hesaplanan toplam ısı kaybı yaklaşık olarak  $375$  W'tır. Diğer parametrelerin de eklenmesiyle alıcı verimi denklem (3.8) ile hesaplandı. Alıcının (pota) verimi yaklaşık % 70 olarak hesaplandı. Parabolik çanak fırın sisteminin verimi ise yaklaşık % 60 olarak hesaplandı.



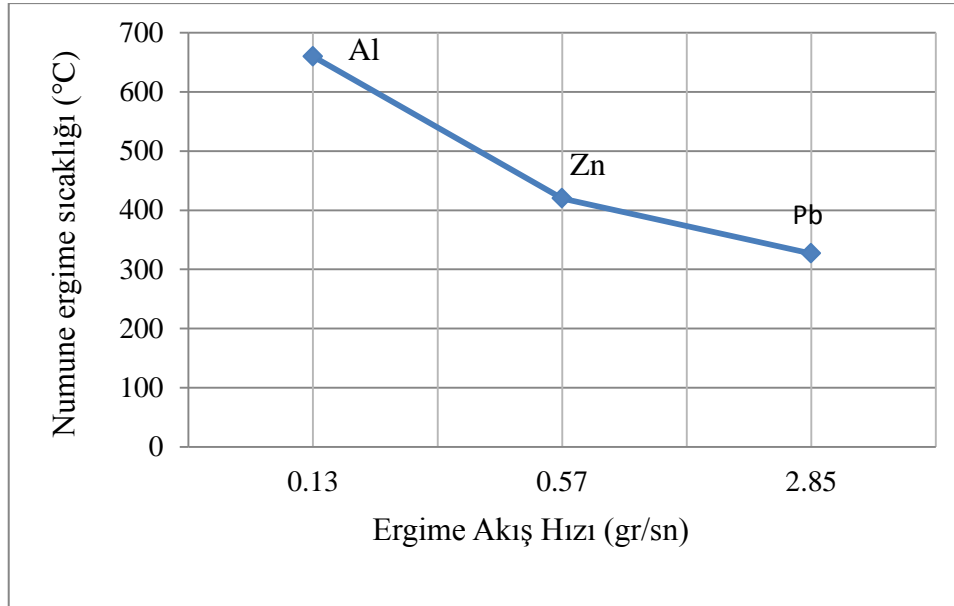
Şekil 41. Alıcının eğimine göre ısı kaybı değişimi



Şekil 42. Çanak eğimi açıları ve sistemin genel görünüşü

Deneyleerde kullanılan metal parçalarının ergime noktası sıcaklığı arttıkça zamana göre ergime miktarlarının azaldığı gözlemlendi. Bu bağlamda yüksek sıcaklıklı bir parçanın akışının daha yavaş olduğu düşünülebilir. Yine düşük sıcaklıklı parçaların daha hızlı bir akışa sahip olacağı gözlemlendi. Alüminyum, çinko ve kurşun metalleri üzerinde incelenen deney için, numune sıcaklığına göre ergitilen metal akış hızları (gr/sn) grafik olarak Şekil 43'te gösterildi.

Potada metal ergitmedeki termal verim ile alıcı potanın boş veya açık haldeki termal verimi farklıdır. Metal ergitme işleminde termal verim, kullanılan enerjinin üretilen enerjiye oranı olarak hesaplanır. Denklem (3.20)'deki gibi numune üzerindeki emilen net ısının, pota açıklık üzerine gelen radyasyon gücüne oranı olarak da düşünülebilir. Isınma ısı ve ergime gizil ısı toplanarak metale verilen ısı miktarı hesaplanır. Ölçülen sıcaklık değerlerine göre ergiyen metal akış hızı  $m$  (gr/sn) ölçüldü ve verim hesabında kullanıldı.



Şekil 43. Farklı metallere göre ergiyen metal akış miktarı

$$\eta_{\text{Termal}} = \frac{Q_{\text{in}} + Q_e}{Q_{\text{ape}}} = \frac{m c_p (T_c - T_g) + mL_e}{IA_p \rho} \quad (3.20)$$

Alüminyum için özgül ısı katsayısı 0,909 (J/grK), çinko için 0,3975 (J/grK) ve kurşun için ise 0,1298 (J/grK)'dir (Mcadams, 1954). Deneyleerde ölçülen çıkış sıcaklık değerleri, alüminyum için ortalama 660 °C çinko için 420 °C, kurşun için 327 °C'dir.

Ergime gizil ısıları ise  $L_{e,Al}=396.94$  J/gr,  $L_{e,Zn}=111.91$  J/gr,  $L_{e,Pb}=23.03$  J/gr'dır (URL-8, 2015).  $\rho=0.85$  yansıtma ve kayıp katsayısı, giriş sıcaklıkları  $15^{\circ}\text{C}$  alındı. Alüminyum için  $807$  W/m<sup>2</sup> güneş yoğunluğu ve  $0.133$  gr/sn akış hızı ile termal verim %14,2 olarak elde edildi. Çinko için ortalama  $880$  W/m<sup>2</sup> ve  $0.57$  gr/sn ile %16'dır. Kurşun için  $855$  W/m<sup>2</sup> ve  $2.85$  gr/sn ergime akış hızı ile % 20 alıcının termal verimi hesaplandı. Bu üç farklı metalin ergimedeki verimleri de farklıdır. Ergitme deneyleri farklı koşullar altında gerçekleştirildi. Ayrıca bu metallerin farklı özgül ısılarından dolayı ergime hızları da farklıdır. Metal ergitme işleminde, potaya gelen enerjinin bir kısmının odaktan yansıdığı için ve bir kısmının da pota tarafından emilmesinden dolayı verim düşüktür. Diğer taraftan potadaki odaklanmanın ve güneş takibinin iyileştirilmesi ile akış hızının artırılması sağlanabilir. Dolayısıyla böylece ergitme işlemindeki sistemin verimi de artırılabilir.

Sistemdeki potaya cam eklenerek ayrıca bir deney daha yapıldı. Cam seçilirken özellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı bir malzeme olmasına özen gösterildi. Kuvars cam geçirgenliği yüksek olmasına karşın maliyeti yüksek olduğundan ve bulunma zorluğundan  $800^{\circ}\text{C}$ 'ye dayanıklı seramik cam (şömine camı) potaya yerleştirildi. Seramik camın geçirgenliği kuvars cama göre düşüktür. Dolayısıyla potanın içine daha az güneş radyasyonu elde edildi. Ancak taşınım ile ısı kaybını azaltacağı düşünülerek bu pota iç sıcaklığının fazla değişmediği görüldü. Bu potanın sistemin sürekliliği halinde yaklaşık olarak  $400^{\circ}\text{C}$ – $450^{\circ}\text{C}$  arasında iç duvar sıcaklığı ölçüldü. Ayrıca cam potanın ısı kaybı hesabı ve sistemin verimi kapalı bir sistem olarak düşünülerek yapılabilir. Camlı pota ve açık pota arasında karşılaştırma yapılırsa; açık pota içine daha fazla yoğunlaştırılmış ışınlar girerken daha fazla doğal taşınım kaybı olmaktadır. Dolayısıyla daha yüksek sıcaklıklara ulaşıldığı için metal ergitmede açık potanın seçilmesi daha uygun olarak görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR

Son yıllarda enerjiye olan bağımlılık hız kazanmıştır. Bu enerjinin karşılanmasında, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmesi çok dikkat çekmektedir. Güneş enerjisi ile de sadece başlangıç maliyeti ile çeşitli enerjiler (ısı ve foto voltaj) elde etmek mümkündür.

Güneş enerjisi ile metal ergitme yeni bir yöntem değildir. Geçmişte metal ergitme de aynaların yansıtılmasıyla bir noktaya odaklayarak ateş yakma ve bazı ısı işlemler gerçekleştirilmiştir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle görüntüsüz optik sistemler daha kolay imal edilebilir ve kullanılabilir hale gelmiştir. Dahası güneş kuşağında bulunan ülkemizin de güneşten daha fazla yararlanarak bunu fırsata dönüştürmesi gerekir. Gelecekte güneş enerjisi ile ilgili çalışmaların daha da artacağı ve sanayi de daha fazla pay sahibi olacağı öngörülmektedir.

Çalışmada düşük maliyetli parabolik çanaklı fırın sisteminin tasarımı araştırıldı. Elde edilen bilgiler ve uygulamalar doğrultusunda güneş enerjisinin kullanılması ve yaygınlaştırılması özellikle ısı enerji alanında olanaklar sağlayacaktır. Yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemleri ile basit bir optik odaklama yöntemiyle yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Bu sıcaklığı elde ederken de çevresel kirliliğe sebep olmadan temiz bir enerjinin kullanılması önemli bir kıstastır. Ayrıca ısı teknolojilerde ve elektrik üretiminde yoğunlaştırılmış güneş enerjili sistemler yenilenebilir ve sınırsız kaynak bakımından önem arz etmektedir.

Parabolik çanaklı fırınlarda atık metallerin geri kazanılmasında veya bazı metal cevherlerinin ayrıştırılmasında önemli bir yeri vardır. Ayrıca ergime noktası ölçümü yapılamayan bazı metal veya maddelerin bir kaç dakika içinde ölçümü yapılabilir. Deneyle kalay sac, kurşun sac, çinko sac ve alüminyum sac başarıyla ergitildi. Burada öncelikle düşük ergime noktalı metaller ergitildi ve daha sonra yüksek ergime noktalı metaller ergitildi. Deneyle metallerin ergime hızları, ergime noktalarına göre değişiklik gösterdiği gözlemlendi. Düşük ergime noktalı metallerin daha hızlı ergiyip aktığı görüldü. Yaklaşık olarak 40 gr çinko metali yaklaşık olarak 3 dakika içinde tamamen ergitildi. Kurşun ve kalay sacların 1 dakika içinde ergimeye başladı görüldü. Sistemin ergitme işlemlerini hızlıca yapması fırın kadar güneş enerjisinin ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir. Yaklaşık 1,5 m'lik parabolik çanak ile noktasal olarak ulaşılan en yüksek

sıcaklık 950 °C ölçüldü. Bu dereceye kadar bazı bileşiklerin ve metallerin ergitilmesi bu sistemle basit ve maliyetsiz bir şekilde yapılabilir. Atık metallerin ergitilmesi sonucu bazı küçük metal aletlerin mevcut fırın sistemiyle yapmak mümkündür. Bu sistemin güneşli bir gün için ortalama olarak 400–750 °C çalışma sıcaklığı aralığına sahip olduğu söylenebilir. Sistem konik bir alıcının iç duvar sıcaklığı 3 dakikada 275 °C ulaştığı ölçüldü. Yaklaşık 10 dakika sonra iç duvar sıcaklığı 400 °C ulaştığı ölçüldü. Burada iç duvar sıcaklığı güneşin gitmesiyle (bulut vb.) çok hızlı düşmediği görüldü. Odak sıcaklığı arttıkça iç duvar sıcaklığı da artmaya başladığı gözlemlendi. Sistemin ölçülen maksimum iç sıcaklığı ise ortalama 550 °C olarak ölçüldü.

Parabolik çanaklı fırın sisteminin tasarımında ısı kaybının azaltılmasında oyuk alıcıların verimliliği daha yüksektir. Bu alıcılar ısı iletkenliği düşük olan çelik gibi metallerden imal edilirler. Bunun yanında alıcı potaların imalinde iç yüzey yayıcılığı düşük malzeme seçilmelidir. Yüzey yayıcılığı düşük olmasının yanında yutuculuğu da yüksek olan metallerin seçimi radyasyon ve doğal taşınım kayıplarını azaltır. Tasarlanan potanın boş durumdaki verimi yaklaşık olarak % 70 olarak hesaplandı. Parabolik çanaklı fırın sisteminin verimi ise yaklaşık olarak % 60 hesaplandı. Burada alıcı verimin artırılması sistem verimliliğini de önemli ölçüde artıracaktır. Alıcı verimini artıran faktörler ise alıcı pota açıklığının odak görüntüsünden fazla büyük olmaması, alıcının mükemmel bir şekilde yalıtımlı olması ve alıcının iç yüzeyi yutucu malzemelerden seçilmelidir. Ergitme işleminde, parabolik çanaklı fırın sisteminden elde edilen termal verim metallere göre farklılık gösterir. Örneğin alüminyum metali için elde edilen termal verim yaklaşık % 14, çinko metalinden elde edilen verim % 16 ve kurşun metali için elde edilen termal verim ise yaklaşık olarak % 20'dir. Sistemin verimi için düzgün bir parabolik çanak, yüksek yansıtıcı katsayılı malzeme seçimi, mükemmel odaklama ve güneş takibi gereklidir. Burada güneş takibi noktasal odaklamalı sistemler için en önemli etkenlerden biridir. Sistemin her an güneş takibini yaparak günlük verimini maksimuma çıkarır.

Parabolik çanaklı fırın sisteminin geliştirilmesi veya büyütülmesi için daha büyük bir parabolik çanak ve nispeten daha büyük bir alıcı pota imal edilebilir. Metal ergitmenin seri bir şekilde yapılabilmesi için ise iki aşamalı yoğunlaştırıcı bir sistemin olması ergitme işleminin kolaylaştırabilir. Yani mevcut çanak çanağın odağına yerleştirilen ikinci bir yoğunlaştırıcı çukur ayna veya tümsek ayna (gerekli geometride) ile ışınlar çanağın merkezine odaklanır. Böylece ikinci bir yoğunlaştırma ile çanak merkezine yerleştirilen bir potada ergitme işleminin hızlı bir şekilde yapılması mümkün olabilir.

Parabolik anak sistemi ile daha farklı amaçlar doğrultusunda da kullanılabilir. Örneğin uygun bir Stirling motoru tasarlanıp odak bölgesine yerleştirilebilir. Elektrik retimi için Stirling anak sistemlerde istenen sıcaklık değeri yaklaşık 800–1000 C arasındadır. Buharlı Stirling motorları için daha düşük sıcaklıklarda çalışabilir. Dolayısıyla mevcut parabolik çanak sisteminin, uygun bir Stirling motorunu çalıştırabileceği öngörülmektedir. Eklemek gerekirse yine mevcut sistemin uygulamaları içerisinde kirli veya tuzlu sudan saf su elde edilmesi, su ısıtıcı olarak kullanılması, potada üretilen buhar türbinlere bağlanarak elektrik üretilmesi, bazı metallerin serleştirilmesi veya fırınlanması gibi işlemleri sıralanabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Akkoç, S., 2012. Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri ile Su Isıtma Sisteminin Matematiksel Modeli, Simülasyonu ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Alaçakır F.B, Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli, Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu, [www.nukte.org/node/163](http://www.nukte.org/node/163), 26 Nisan 2015
- Alan, C. ve Tuna, F., 2013. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Üzerine Bir İnceleme: Freiburg/Almanya Karşılaştırılması, Bildiriler Kitabı, pp (488-494)
- Chen, Y. T., Chong, K. K., Lim, C. S., Lim, B. H., Tan, K. K., Alıman O., Bligh, T. P., Tan, B. K. ve Ghazally I., 2002. Communicated by Lorin V.H., Report of the first prototype of non-imaging focusing heliostat and its application in high temperature solar furnace, Malaysia, PII : S0038 – 092X(02)00028 – 2, 81310, Malaysia
- Çamur, S., Arifoğlu, B., Beşer, E. ve Beşer, E. K., 2011. 3000 W Gücünde Güneş Takip Sisteminin Geliştirilmesi, Aylık Enerji, Elektrik, Elektronik Teknolojileri Dergisi, 70
- Flamant, G. ve Pichelin, M. B., Elaboration and testing of Materials Using Concentrated Solar Energy, (PROMES-CNRS), 7, rue du Four Solaire, Font Romeu, France, <http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e6-106-17.pdf>, 13 Kasım 2014
- Herranz, G. ve Rodriguez, G. P., 2010. Uses of Concentrated Solar Energy in Materials Science, University of Castilla La Mancha, ETSII, Ciudad Real, Spain 145- 170, Solar Energy
- Karakoç, Ş. M., 2010. Havalı Güneş Toplayıcıları ile Su Arıtma, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karamanov, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kaushika, N.D. ve Reddy, K.S., 1999. Performance of a low cost solar paraboloidal dish steam generating system, Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, , Energy Conversion Management 41 713-726, Hauz Khas, New Delhi, 110 016, India,
- Kinoshita, G.S., 1985, The Shenandoah Parabolic Dish Solar Collector
- Livatyalı, H. ve Baker, D., 2011. Güneş'ten Elektrik Üretiminin Termal Yolu: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi, Bilim ve Teknik, Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (Günam) ODTÜ,



- Livatyalı. H. ve Yıldırım, T., 2011. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler, Mühendis ve makine, cilt:53, sayı: 63, 16-20
- Mcadams, W.H., 1954. Heat Transfer Transmission, 3rd. Ed., McGraw-Hill, New York
- Neber, M. Ve Lee, H., 2012. Design of a high temperature cavity receiver for residential scale concentrated solar power, Santa Clara Üniversitesi, Energy 47, 481-487, USA
- Prakash, M., Kedare, S.B. ve Nayak ,J.K., 2012. Numerical study of natural convection loss from open cavities, Department of Energy Science and Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai 400076, India
- Reddy, K.S. ve Kumar, N.S., 2008. Combined laminar natural convection and surface radiation heat transfer in a modified cavity receiver of solar parabolic dish, International Journal of Thermal Sciences 47, 1647-1657, india
- Skouri, S., Salah, M., Bouadila, S., Balghouthi, M. ve Nasrallah S., 2013, Optical, geometric and termala study for solar parabolic concentrator efficiency improvement under Tunisia environment: A case study, The Researc and Technology Center of Termal Process Laboratory, B.P.95, 2050, Tunisia
- Tunç, G., 2011. Birleşik Parabolik Güneş Toplaçlarının Geometrik Özelliklerinin Analitik Çözümlemesi, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Varınca, K.B. ve Gönüllü M.T., 2006. Türkiyede Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, 1.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi,
- Xiao, G., Guo, K., Luo, Z., Ni, M. , Zhang, Y. ve Wang, C., 2013, Simulation and experimental study on a spiral solid particle solar receiver, State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China
- Ware, B. ve Bureau S. S., A New Way to Harness Sun's Rays, Solar Furnace will melt metal-foundry owner, <http://www.rexresearch.com/kinley/kinley.htm>, 07 Ağustos 2014
- URL-1. [www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) Yenilenebilir Enerji Kaynakları. 26 Şubat 2014
- URL-2. [www.millingquality.com/article/19159.html](http://www.millingquality.com/article/19159.html) Xinhai Mineral Processing Epc, Smelting Solar Steel for Mass Production and Recycling. 14 Mart 2014
- URL-3. [www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dc51a49\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/c7f5e8dc51a49_ek.pdf) Güneş Takip Sistemi. 19 Mart 2014
- URL-4. [www.enginsalli.blogcu.com/turkiye-de-gunes-enerjisi/2740382](http://www.enginsalli.blogcu.com/turkiye-de-gunes-enerjisi/2740382) Türkiye'de Güneş Enerjisi. 26 Nisan 2015

- URL-5. <http://www.renesis.com.tr/bilgi-bankasi-stirling-dish.php> Stirling Dish Çanak Sistemler 10 Mayıs 2015
- URL-6. [http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/documents/courses/149\\_201411072256201.pdf](http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/documents/courses/149_201411072256201.pdf) Güneş enerjisi ve uygulama notları II. 17 Mayıs 2015
- URL- 7. <http://www.slideshare.net/sweetswetansh/solar-tracker-report-swetansh> Dual Axis Solar Tracker. 20 Mayıs 2015
- URL-8. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Alüminyum>, çinko, kurşun Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 21 Mayıs 2015

## 6. EKLER

### Ek 1. Tablolar

Ek Tablo 1. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli  
(Alan ve Tuna, 2013)

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli (EİE)			
AYLAR	AYLIK ENERJİSİ (kcal/cm <sup>2</sup> -ay) - (kWh/m <sup>2</sup> -ay)	TOPLAM GÜNEŞ GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)	
OCAK	4.45	51.75	103.0
ŞUBAT	5.44	63.27	115.0
MART	8.31	96.65	165.0
NİSAN	10.51	122.23	197.0
MAYIS	13.23	153.86	273.0
HAZİRAN	14.51	168.75	325.0
TEMMUZ	15.08	175.38	365.0
AĞUSTOS	13.62	158.40	343.0
EYLÜL	10.60	123.28	280.0
EKİM	7.73	89.90	214.0
KASIM	5.23	60.82	157.0
ARALIK	4.03	46.87	103.0
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAMA	308.0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3.6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7.2 saat /gün

Ek-1'in devamı

Ek Tablo 2. Türkiye'de Bölgelere göre Güneş Işınım Miktarı ve Güneşlenme Süreleri  
(Alan ve Tuna, 2013)

Bölgeler	Güneş Işınımından Enerji			Güneşlenme Süresi		
	Yıllık ortalama (kWh/m <sup>2</sup> )	En Büyük (Haziran) (kWh/m <sup>2</sup> )	En Küçük (Aralık) (kWh/m <sup>2</sup> )	Yıllık Ortalama (saat)	En Büyük (Haziran) (saat)	En Küçük (Aralık) (saat)
G. Doğu Anadolu	1491	1980	729	3015	407	126
Akdeniz	1452	1864	476	2928	360	101
Ege	1406	1863	431	2726	371	96
İç Anadolu	1433	1855	412	2711	381	98
Doğu Anadolu	1389	1723	420	2693	373	165
Marmara	1144	1592	345	2526	351	87
Karadeniz	1086	1315	409	1966	273	82

Ek-1'in devamı

Ek Tablo 3. Türkiye'de Birincil Enerji Kaynakları Üretim ve Tüketim Değerleri  
(Alan ve Tuna, 2013).

<b>Kaynak</b>	<b>Üretim</b>	<b>Tüketim</b>	<b>Toplam Üretimdeki Payı (%)</b>	<b>Toplam Tüketimdeki Payı (%)</b>
Linyit (Bin Ton)	69.698	69.239	46,43	29,36
Hidrolik ve Jeotermal Elektrik (GWh)	52.464	52.464	34,95	22,25
Odun (Bin Ton)	11.306	11.306	7,53	4,79
Hayvan ve Bitki Artıkları (Bin Ton)	4.960	4.960	3,30	2,10
Rüzgâr (GWh)	2.916	2.916	1,94	1,24
Petrol (Bin Ton)	2.544	28.359	1,69	12,03
Taş Kömürü (Bin Ton)	2.524	25.568	1,68	10,84
Jeotermal Isı (Bin Tep)	1.391	1.391	0,93	0,59
Asfaltit (Bin Ton)	1.177	1.046	0,78	0,44
Doğal Gaz (10x6 m <sup>3</sup> )	682	38.129	0,45	16,17
Güneş (Bin Tep)	432	432	0,29	0,18
Biyoyakıt (Bin Ton)	14	14	0,01	0,01
<b>Toplam</b>	<b>150.108</b>	<b>235.824</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Ek-1'in devamı

Ek Tablo 4. Bazı yüzeylerin güneş ısınımı yutma, ısıtım neşretme oranları (Karakoç, 2010)

Yutucu yüzey	$\alpha$ (yutuculuk)	$\varepsilon$ (yayıcılık)	$\varepsilon/\alpha$ (seçicilik)
Magnezyum karbonat	0.025–0.04	0.79	0.03 – 0.05
Beyaz sıva	0.07	0.91	0.08
Kar (yeni yağmış)	0.13	0.82	0.16
Beyaz boya	0.2	0.91	0.22
Beyaz kâğıt	0.25 – 0.28	0.93	0.26 – 0.29
Buz	0.31	0.96	0.32
Yeşil yağlı boya	0.5	0.9	0.56
Kırmızı tuğla	0.55	0.92	0.6
Parlatılmış mermer	0.5 – 0,6	0.9	0.61
Pürüzlü beton	0.6	0.97	0.62
Yeşil çim	0.67	0.88	0.68
Kuru çim	0.68	0.9	0.76
Meyve bahçeleri	0.7	0.9	0.78
Çöl	0.75	0.9	0.83
Sürülmüş tarla	0.75 – 0,8	0.9	0.83–0.89
Meşe ormanı	0.82	0.9	0.96
Çamlık arazi	0.86	0.9	0.96
Gri boya	0.75	0.95	0.79
Kırmızı yağlı boya	0.74	0.9	0.82
Amyant	0.81	0.96	0.84
Kuru tuz	0.82	0.9	0.95
Su	0.94	0.95 – 0.96	0.98
Siyah boya, cilalı	0.9	0.9	1
İs	0.98	0.95	1.03
Siyah boya mat	0.94–0.98	0.88	1.07 – 1,1
Grafit	0.78	0.41	1.9
Alüminyum	0.15	0.05	3
Krom	0.49	0.08	6.13
Parlatılmış çinko	0.46	0.02	23
Galvanizli çelik temiz	0.65	0.13	5
Galvanizli oksitlenmiş çelik	0.8	0.28	1.86

Ek -1'in devamı

Ek Tablo 5. Seçici yüzeyler ve siyah boyalı yüzeylerin teknik özellikleri (URL-6, 2015)

Kaplama	Alt tabaka	Işınım yutma oranı, $\alpha$ , %	Işınımı geri yayma, $\epsilon$ , %	Çalışma sıcaklığı (°C)	Neme karşı drenci
Siyah krom	Bakır	0.95–0.97	0.08–0.14	326	İyi
	Çelik	0.92–0.97	0.07–0.16	427	Zayıf
Nikel üzerine siyah krom	Bakır	0.90–0.95	0.09–0.15	427	Çok iyi
	Çelik	0.90–0.95	0.09–0.15	427	Çok iyi
	Alüminyum	0.95	0.5	427	Bilinmiyor
Siyah nikel	Çelik	0.89–0.96	0.07–0.17		Değişken
Siyah bakır	Bakır	0.85–0.95	0.1–0.15	200	Zayıf
	Alüminyum	0.81–0.93	0.11–0.17	200	Bilinmiyor
	Nikel	0.81–0.93	0.11–0.17	200	Bilinmiyor
Al oksit	-	0.85–0.95	0.11–0.34	900	Bilinmiyor
Demir oksit	Çelik	0.85	0.08	427	iyi
Mat siyah boya	Bakır	0.90–0.98	0.85–0.92	120–130	Zayıf
	Çelik	0.90–0.98	0.85–0.92	120–130	Zayıf
	Alüminyum	0.90–0.98	0.85–0.92	120–130	Zayıf
Titanyum nitrit Asit (Tinox)	Bakır	0.97	0.5		

Ek Tablo 6. Kapalı pota ve cam potanın güneş şiddetine göre pota iç sıcaklık değişimi

Saat	Güneş şiddeti (W/m <sup>2</sup> )	Cam pota iç sıcaklık (°C)	Kapalı pota iç sıcaklık (°C)	Kapalı pota odak sıcaklığı (°C)	Çevre sıcaklığı (°C)
11.00	1010	383	-	-	19
11.30	1097	420	-	-	20
12.00	1120	435	-	-	20
13.00	1024	415	-	-	21
14.00	1000	390	-	-	21
15.00	955		405	680	20
15.30	945		435	803	19
16.00	940		455	780	19
16.30	920		425	745	19

Ek-1'in devamı

Ek Tablo 7. Çeşitli malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayıları  
(URL-6, 2015)

Malzeme	Özellikleri	Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	Sıcaklık (°C)			
			20	100	200	400
Bakır	Ticari	8300	372			
	Saf	2702	237	302	237	240
	Alaşım 2024 (% 4.5 Cu % 1.5 Mg %0.6 Mn)	2770	177	165	163	186
Çelik	Sade karbonlu	7854	60.5	58	56.7	48
Paslanmaz çelik sac	302 kalite	8055	15.1	16	17.3	20
	304 kalite	7900	14.9	12.6	16.618.3	19.8
	316 kalite	8238	13.4	15.2		21.3

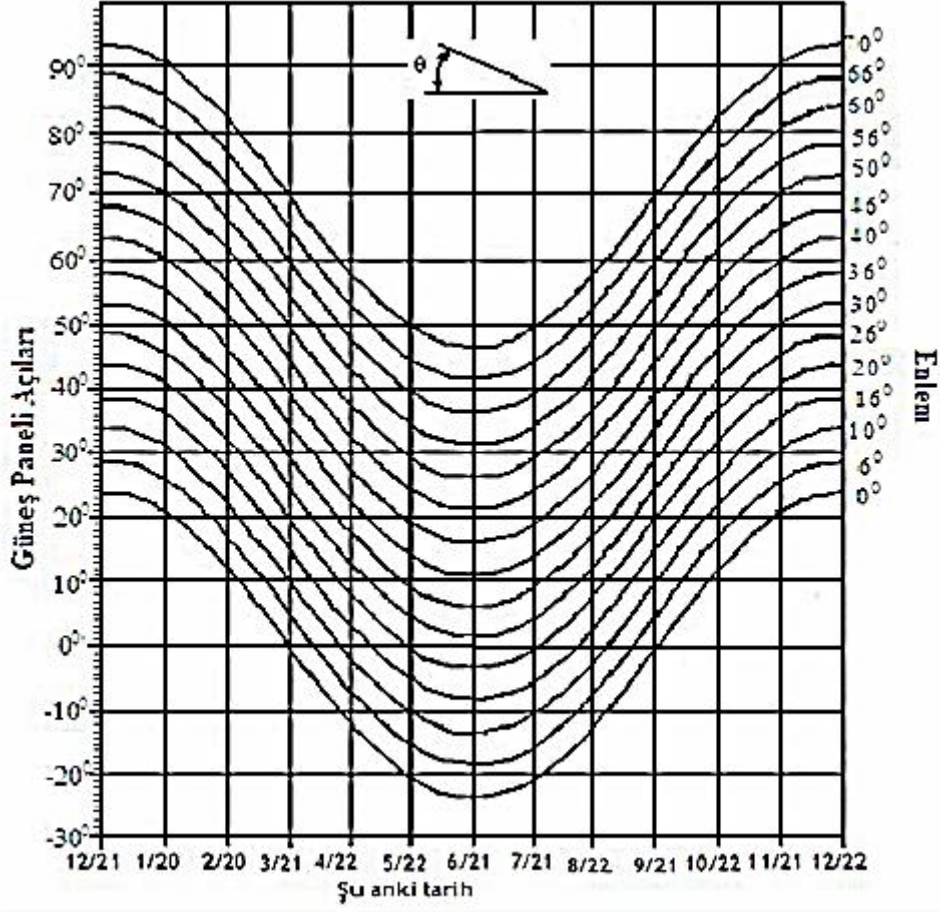


Ek-1'in devamı

Ek Tablo 8. 18 Haziran 2015 gününde alüminyum üzerinden alınan ölçümlere göre toplam ısı kaybı katsayıları

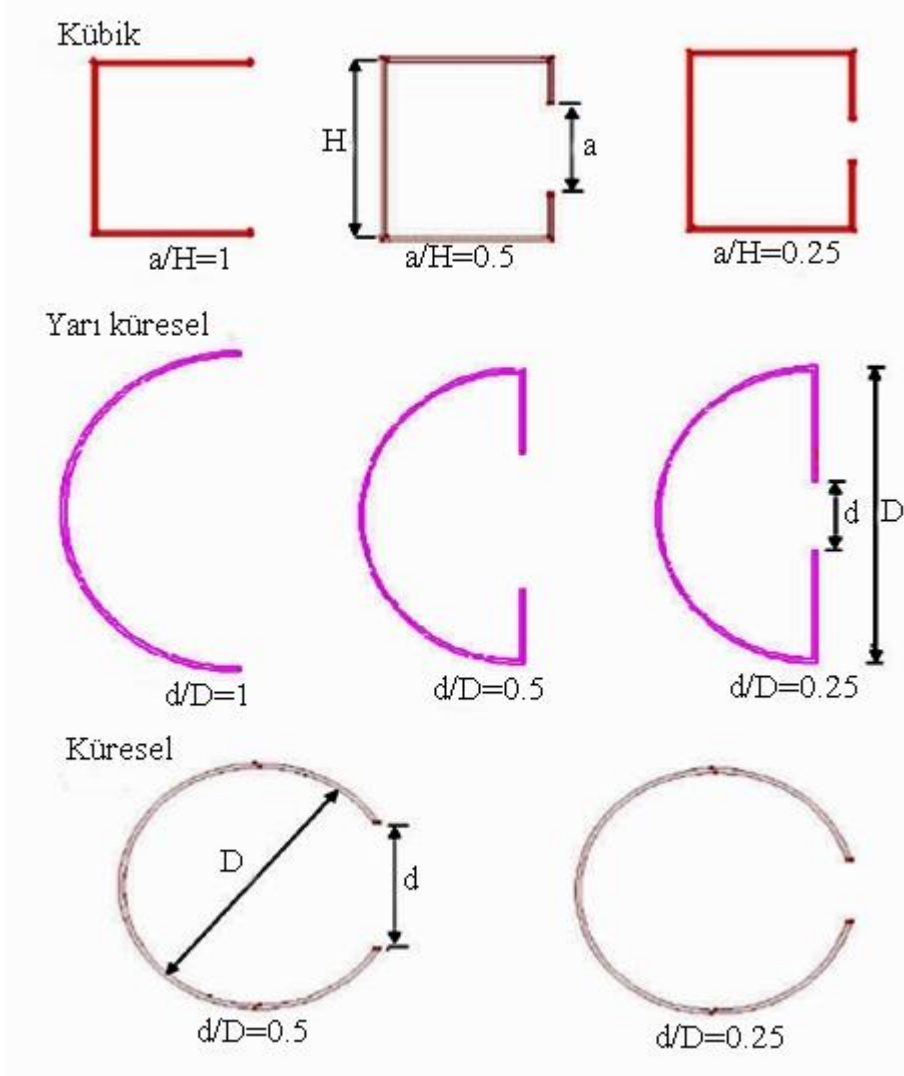
Saat	Güneş Şiddeti (W/m <sup>2</sup> )	Ortam Sıcaklığı (°C)	Odak Sıcaklığı (°C)	Çanak Eğimi (°)	Çanak Dönme Açısı (°)	Toplam ısı Kaybı Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
9.00	830	23	690	45	0	88.9
9.30	850	24	710	50	2	88.5
10.00	860	24	730	54	5	87
10.30	890	26	735	60	8	89.7
11.00	910	27	750	65	12	89.9
11.30	930	27	770	70	40	89.4
12.00	927	28	784	73	55	87.6
12.30	925	29	856	75	76	79.9
13.00	920	29	820	75	95	83.1
13.30	912	29	815	72	115	82.9
14.00	900	28	772	67	125	86.4
14.30	880	28	765	60	140	85.3
15.00	875	28	760	55	148	85.4
15.30	860	27	775	47	155	82.1
16.00	830	26	750	42	165	81.9
16.30	790	26	740	38	170	79
17.00	770	26	720	30	175	79.2

## Ek 2. Şekiller



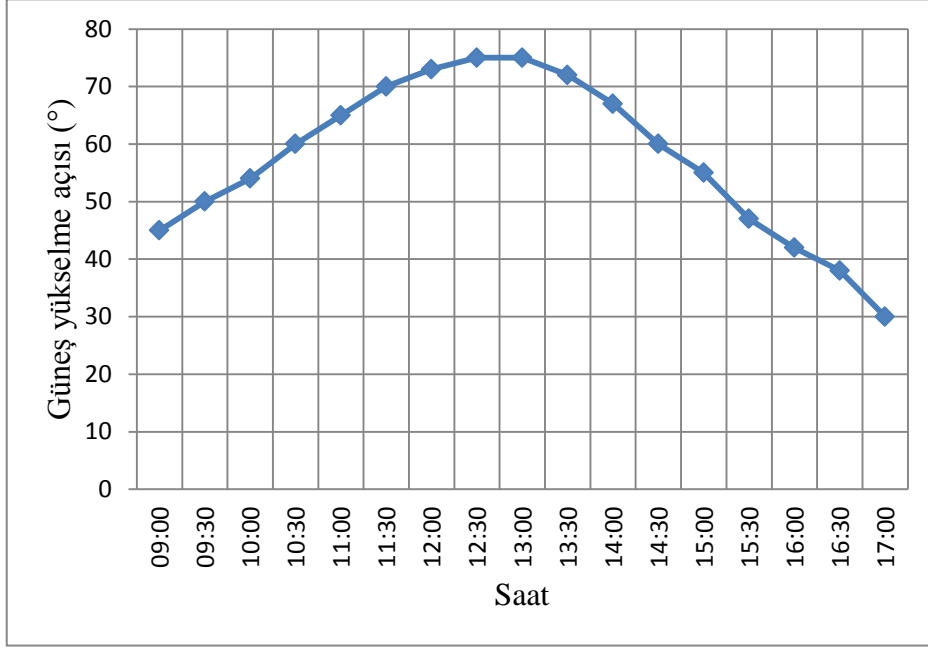
Ek Şekil 1: Güneş paneli açısı tespit diyagramı (URL-3, 2014)

Ek -2'nin devamı

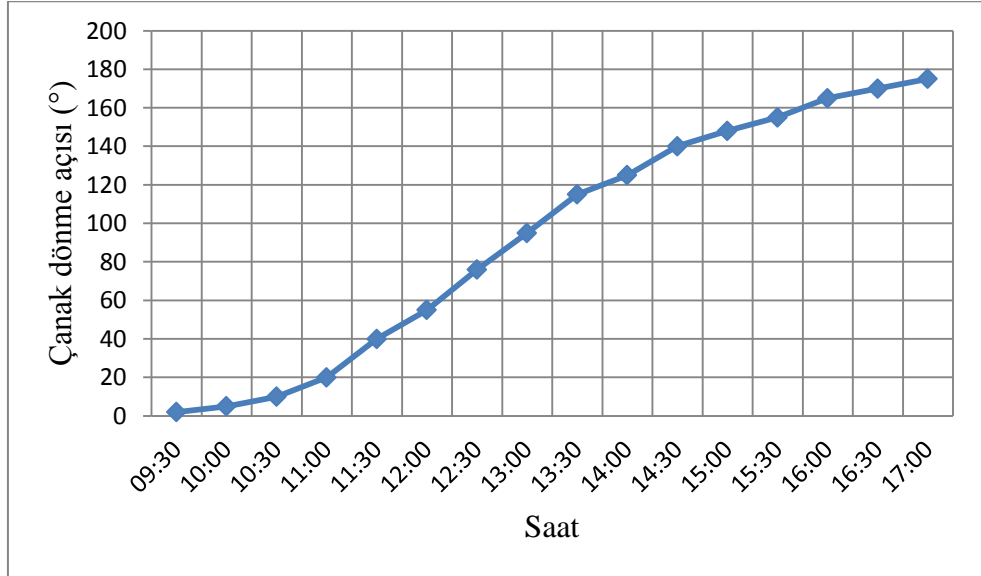


Ek Şekil 2. Farklı açık pota alıcı şekilleri (Prakash ve vd., 2012).

Ek- 2'nin devamı



Ek Şekil 3. 18 Haziranda ölçülen güneş yükselme açıları



Ek Şekil 4. 18 Haziranda ölçülen güneş dönme açıları

Ek- 2'nin devamı



Ek Şekil 5. Kalın Alüminyum sac ve ergimiş durumdaki fotoğrafı

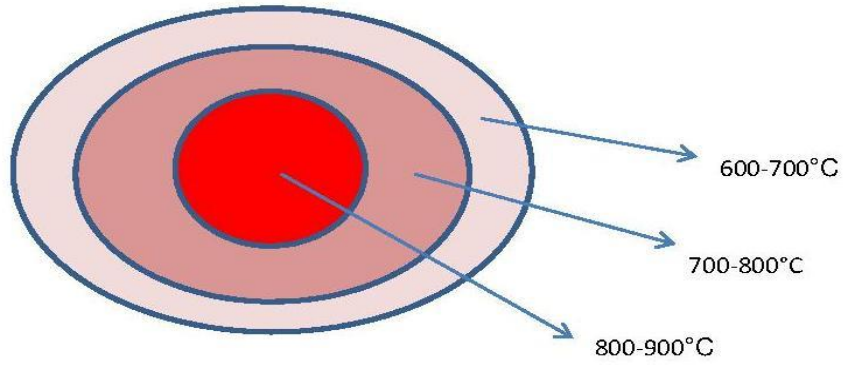


Ek Şekil 6. Ergiyen ince alüminyum sac fotoğrafı

Ek -2'nin devamı

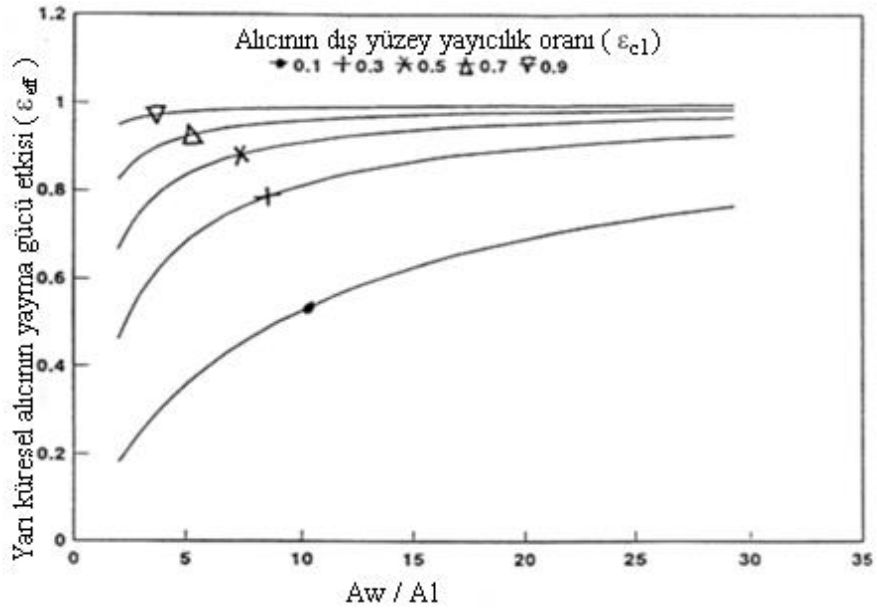


Ek Şekil 7. Kurşun sac ve ergitilen numunenin fotoğrafı



Ek Şekil 8. Odak düzleminde üzerinde 1 cm arayla ölçülen sıcaklık değişimi

Ek -2'nin devamı



Ek Şekil 9. Bir oyuk alıcının farklı değerlerindeki ( $\epsilon_{c1}$ ) dış yüzey yayma gücünün  $\epsilon_{eff}$  ile  $A_w / A_1$  değişimi (Kaushika ve Reddy, 1999).

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 tarihinde Trabzon ilinin Yomra ilçesinde doğdu. Yomra Özdil Çok Programlı Lisesini 2002 yılında bitirdi. 2009 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği programını tamamladı. Ardından 2010 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.