



**PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN  
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

**Görkem ŞANLI**

**Temmuz, 2010  
DENİZLİ**



**PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN  
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Görkem ŞANLI**

**Danışman: Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK**

**Temmuz, 2010**


**DENİZLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Görkem ŞANLI tarafından Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK yönetiminde hazırlanan “**Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK  
Jüri Üyesi (Danışman)

  
Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN  
Jüri Üyesi

  
Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILANCI  
Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
09/06/2010 tarih ve 15/3 sayılı kararıyla onaylanmıştır


  
**Prof. Dr. Halil KARAHAN**  
Müdür

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında yardımlarını benden esirgemeyen ve bilgilerini benimle paylaşan baőta tez danıőmanım Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK olmak üzere, Pamukkale Üniversitesi'ndeki hocalarıma, Temiz Enerji Evindeki alıőma hocalarım ve arkadaşlarıma ve Bereket Enerji A.Ő.'ye teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez süresi boyunca sürekli olarak bana manevi destek veren aileme teşekkür ederim.

Görkem ŞANLI

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza :   
Öğrenci Adı Soyadı: Görkem ŞANLI

## ÖZET

### PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

ŞANLI, Görkem

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

Haziran 2010

Ülkelerin çoğu enerji ihtiyaçlarını birincil kaynaklar olarak adlandırılan petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil kaynakları kullanarak elde ederler. Bu kaynakların kullanılması sonucu oluşan emisyonlar çevre kirliliğinin yanı sıra küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu kaynaklar rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı ömürleri bitecektir. 1971 yılındaki ilk petrol krizinden sonra ülkeler çıkarları doğrultusunda enerji de dışa bağımlı olmak istememişlerdir ve bu doğrultuda enerji ihtiyaçları için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Emisyonu olmaması, kolay bulunabilmesi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre maliyetinin daha ucuz olmasından dolayı güneş enerjisi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Teknolojik gelişmelerin her geçen gün artmasıyla güneş enerjisinden elektrik üretilmesi konusunda çalışmalar üzerinden durulmuş ve özellikle güneş enerjisinden yüksek sıcaklıklarda buhar elde ederek elektrik üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Buhar ve buhar türbinleri kullanarak elektrik üretimi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır. Orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları için yoğunlaştırıcı güneş sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin başında da parabolik oluk tipi güneş kollektörleri gelmektedir. Sistem güneş ışınlarını yansıtıcı yüzey sayesinde parabolik oluk tipi güneş kollektörünün odak noktasında yer alan alıcı boruya yansıtarak yoğunlaştırma yapmaktadır. Bu çalışmada da parabolik yoğunlaştırıcılar teorik olarak ele alınmıştır. Sistem içinde yer alan yansıtıcı kısım, emici boru, cam örtü ve güneş takip mekanizması detaylı bir şekilde incelenmiştir. Teorik olarak bir parabolik yoğunlaştırıcı tasarlanmıştır. Tasarlanan yoğunlaştırıcının Denizli ili için 2009-2010 yıllar güneş verilerine göre testi gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarında sistemin buhar türbinine kadar olan verimi %67 bulunmuş, sisteme gerekli buhar türbini kapasitesinin 300-500 kW arasında olacağı belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Parabolik Oluk Tipi Kollektör, Güneş Enerjisi, Elektrik Üretimi

Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK  
Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILANCI  
Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN

**ABSTRACT****PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTORS AS A THEORETICAL  
INVESTIGATION**

ŞANLI, Görkem

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

July 2010

Most of the countries obtain their energy need by utilizing fossil resources such as petroleum, coal, natural gas which are called primary resources. Emissions caused by these resources lead to not only environmental pollution but also global warming. Due to limited reservers these resources will be exhausted. After the first petroleum crisis in 1971, for the national interests, countries did not wanted to be foreign-dependent and thus they headed towards renewable energies. They concentrated on solar energy due to being easy to find, not to cause emission and low-cost then other renewable energies. With the progression on technologiocal development, studies focused on the electric generation from solar energy and especially generating energy from solar energy by producing steam at high temperatures started to become widespread. To generate electric by using steam and steam turbine, high temperatures are needed. For the high and intermediate temperatre applications condensating solar systems are being used. The primary system of these is parabolic trough type solar collectors. Due to the solar rays reflecting surfaces, by reflecting to the reciever tube at the focal point of the parabolic trough type solar collector it makes condensation. In this study parabolic condensator is dealt with theoretically. Reflecting part, absorber tube, glass covering and solar tracing mechanism within the system are investigated in detail. A parabolic condensator is designed theoretically. Designed condensator is tested in Denizli acoording to the solar datas of 2009-2010 .According to the results the yield of the system until the steam turbine is found to be 67% , the needed stem turbine capacity determined to be 300-500 kW.

**Keyword:** Parabolic trough collector, Solar energy, Electricity generation

Assoc. Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

Assist. Assoc. Dr. Ahmet YILANCI

Assist. Assoc. Dr. Koray ÜLGEN



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
Yüksek Lisans Tezi Onay Formu.....	ii
Teşekkür .....	iii
Özet .....	v
Abstract .....	vi
İçindekiler .....	vii
Şekiller Dizini .....	x
Tablolar Dizini .....	xii
Semboller Dizini .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Giriş .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	7
2.1. Literatür Araştırması .....	7
2.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Dünyadaki Uygulamalar .....	14
3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER .....	16
3.1. Güneş .....	16
3.1.1. Güneş ışınımı .....	16
3.1.2. Güneş açıları .....	18
3.2. Güneş Enerjisi .....	22
3.3. Güneş Enerjisi Uygulamaları .....	22
3.3.1. Düşük sıcaklık uygulamaları .....	22
3.3.1.1. Düzlemsel kolektörler .....	23
3.3.1.2. Vakumlu güneş kolektörleri .....	24
3.3.1.3. Güneş havuzları .....	24
3.3.2. Orta sıcaklık uygulamaları .....	25
3.3.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları .....	25
3.4. Güneş Yoğunlaştırıcı Sistemler .....	26
3.4.1. Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcılar .....	27
3.4.2. Fresnel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar .....	27
3.4.3. Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcı .....	28
3.4.4. Güneş kuleleri .....	29

3.4.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılar .....	32
4. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI .....	33
4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcı .....	33
4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Boyutlandırılması Hesabı .....	37
4.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısında Optik Kayıp Ve Analizi .....	39
4.4. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısında Isıl Kayıp .....	44
4.5. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısında Isıl Analiz .....	49
5. PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICISININ TASARLANMASI VE DENİZLİ İLİ İÇİN PERFORMANS ANALİZİ .....	52
5.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısında Tasarlanması .....	52
5.1.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyin tasarımı .....	53
5.1.1.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzey malzemesinin belirlenmesi .....	53
5.1.1.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyin boyutlandırılması .....	54
5.1.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında emici boru ve cam örtü tasarımı .....	59
5.1.2.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında emici boru tasarımı ....	59
5.1.2.1.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında emici boru malzemesi seçimi .....	60
5.1.2.1.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında emici borunun boyutlandırılması .....	62
5.1.2.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında cam örtü tasarımı .....	64
5.1.2.3. Emici boru ve cam örtünün birleştirilmesi .....	67
5.1.3. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının takip sisteminin belirlenmesi .....	68
5.2. Tasarlanan Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Optik ve Isıl Analizinin Yapılması .....	69
5.2.1. Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının optik analizi ve emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınım enerjisinin belirlenmesi .....	71
5.2.2. Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının ısı analizi ve ısı transfer akışkanına aktarılan enerjinin belirlenmesi .....	74

5.3. Tasarlanan Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısında Kullanılacak Buhar Türbini Kapasitesinin Belirlenmesi .....	76
5.4. Tasarlanan Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Maliyet Hesapları .	79
5.4.1. Tasarlanan yansıtıcı yüzeyin maliyeti .....	80
5.4.2. Tasarlanan emici boru ve cam örtü maliyeti .....	80
5.4.3. Takip sistemi maliyeti .....	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	82
Kaynaklar .....	86
Ekler A .....	92
Ekler B .....	109
Ekler C .....	118
Öz Geçmiş .....	127

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Şekil 1.1.</b> Annex I ülkeleri ile Türkiye'nin 1 kWh elektrik üretimleri sırasında kullanılan petrol, kömür ve doğal gaz sonucu atmosfere saldıkları CO <sub>2</sub> miktarları .....	2
<b>Şekil 1.2.</b> Fosil yakıtların emisyonları .....	2
<b>Şekil 1.3.</b> Yenilenebilir enerji kaynakları .....	4
<b>Şekil 3.1.</b> Atmosfer dışı güneş ışınımının (Go <sub>λ</sub> ) spektral dağılımı .....	17
<b>Şekil 3.2.</b> Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi .....	19
<b>Şekil 3.3.</b> Zenit açısının gösterimi .....	20
<b>Şekil 3.4.</b> Eğim ve yön açılarının şematik gösterimi .....	21
<b>Şekil 3.5.</b> Düzlemsel kollektör .....	23
<b>Şekil 3.6.</b> Güneş havuz sistemi .....	25
<b>Şekil 3.7.</b> Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcı .....	27
<b>Şekil 3.8.</b> Fresnel mercekli yoğunlaştırıcının şematik gösterimi .....	28
<b>Şekil 3.9.</b> Fresnel mercekli yoğunlaştırıcı .....	28
<b>Şekil 3.10.</b> Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcı .....	29
<b>Şekil 3.11.</b> Güç kulesi .....	30
<b>Şekil 3.12.</b> Depola sistemli güneş kulesi .....	31
<b>Şekil 3.13.</b> Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı .....	32
<b>Şekil 4.1.</b> Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı .....	34
<b>Şekil 4.2.</b> Parabolik güneş santrallerinde kollektörlerin dizilişi .....	34
<b>Şekil 4.3.</b> Isı transfer akışkanı olarak yağ kullanılması durumunda parabolik sistemin şematik gösterimi .....	35
<b>Şekil 4.4.</b> Isı transfer akışkanı olarak su kullanılması durumunda parabolik sistemin şematik gösterimi .....	36
<b>Şekil 4.5.</b> Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı .....	37
<b>Şekil 4.6.</b> Parabolik yoğunlaştırıcının üç boyutlu hali .....	38
<b>Şekil 4.7.</b> Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısındaki ışın transfer şeması .....	40
<b>Şekil 4.8.</b> Kesişim faktörünün emici boru çapına göre değişimi .....	42
<b>Şekil 4.9.</b> Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi .....	43
<b>Şekil 4.10.</b> Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması .....	44
<b>Şekil 5.1.</b> İki boyutlu parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyi ve emici kısım arasındaki geometrik ölçüler .....	55

<b>Şekil 5.2.</b> Parabolik yansıtıcı yüzeydeki aynaların yerleşme şekli .....	56
<b>Şekil 5.3.</b> Flabeg aynalarının yüzey yapısı .....	57
<b>Şekil 5.4.</b> Parabolik yansıtıcı yüzeye gelen ve yansıtılan güneş ışın konisinin açıklık açısı .....	62
<b>Şekil 5.5.</b> Parabolik yansıtıcı yüzeyden yansıtılan güneş ışın konisinin yayılım açısı kadar dağılırarak oluşturduğu açıklığın gösterimi .....	63
<b>Şekil 5.6.</b> 1 mm et kalınlığına sahip Schott firmasının ürettiği cam tüplerinin dalga boyundaki iletim grafiği .....	66
<b>Şekil 5.7.</b> Körüklü cam-metal ile birleştirilmiş emici boru-cam örtü birleşimi .....	67
<b>Şekil 5.8.</b> Körüklü cam-metal ile birleştirilmiş emici boru-cam örtü birleşimi yandan görünüşü .....	67
<b>Şekil 5.9.</b> Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı sistemindeki belirli noktalardaki bilinen termodinamik veriler .....	92

## TABLOLAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 1.1.</b> Fosil yakıtların dünyadaki rezervleri .....	3
<b>Tablo 1.2.</b> SEGS santrallerinin özellikleri.....	15
<b>Tablo 5.1.</b> Bazı yansıtıcı malzemeler ve yansıtma oranları.....	53
<b>Tablo 5.2.</b> Ayna tipleri, boyutları ve özellikleri .....	58
<b>Tablo 5.3.</b> Bazı yüzeylerin güneş ışınlarını emme ve yayma özellikleri.....	60
<b>Tablo 5.4.</b> Bazı selektif yüzeyle kaplı emici boruların ışıma özellikleri.....	61
<b>Tablo 5.5.</b> Bazı cam malzeme yüzeylerin 0,3-3 $\mu\text{m}$ dalga boyu aralığındaki yansıtıcılık, soğuruculuk ve geçirgenlikleri .....	65
<b>Tablo 5.6.</b> Schott firmasının ürettiği cam tüplerin fiziksel özellikleri .....	66
<b>Tablo 5.7.</b> Tasarlanan parabolik olu tipi güneş yoğunlaştırıcının karakteristik değerleri .....	70
<b>Tablo 5.8.</b> Tasarlanan parabolik olu tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyin teknik verileri .....	70
<b>Tablo 5.9.</b> Tasarlanan parabolik olu tipi güneş yoğunlaştırıcı emici boru teknik verileri .....	71
<b>Tablo 5.10.</b> Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı cam örtü teknik verileri .....	71
<b>Tablo 5.11.</b> Aylara göre hesaplanan cam örtü sıcaklıkları .....	75
<b>Tablo 5.12.</b> Isı transfer akışkanına aktarılan aylık ortalama enerji .....	76
<b>Tablo 5.13.</b> Kollektör çıkışı entropi ve entalpi değerleri .....	79

## SEMBOLLER DİZİNİ

$\rho$ :	Parabolik yüzey olarak kullanılan yansıtıcı malzeme yansıtma katsayısı
L:	Kollektör uzunluğu (m)
b:	Parabolün x eksenindeki yarım uzunluğu (m)
$D_{ebi}$ :	Emici boru iç çapı (m)
$D_{ebd}$ :	Emici boru dış çapı (m)
$D_{cö}$ :	Cam örtü çapı (m)
GI:	Atmosferden geçip kollektöre düşen ışınım ( $W/m^2$ )
$\rho_y$ :	Yansıtıcı yüzey yansıtma katsayısı
$k_{eff}$ :	Hareketli hava ile aynı miktarda ısıyı iletmesi gereken boşluktaki hareketsiz havanın etkin ısı iletkenliği
k:	Isı iletim katsayısı
$T_{eb,ort}$ :	Emici boru ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{cöi}$ :	Cam örtü iç sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{ebd}$ :	Emici boru dış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_g$ :	Suyun kollektöre giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{ç}$ :	Suyun kollektörden çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$ :	Emici boru ile cam örtü iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T = T_{ebd} - T_{cöi}$ )
$\sigma$ :	Stefan-Boltzman sabiti ( $W/m^2K^4$ )
$\varepsilon_{cö}$ :	Cam örtü ısı yayıcılık katsayısı
$\varepsilon_{eb}$ :	Emici boru ısı yayıcılık katsayısı
$h_{cöt}$ :	Cam örtü ile dış hava arasındaki rüzgâra bağlı zorlanmış ısı taşınım transfer katsayısı
$h_{cöi}$ :	Cam örtü ile dış hava arasındaki ışınım transferi katsayısına eşit taşınım transfer katsayısı
$h_{ebi}$ :	Emici boru yüzeyi ile cam örtü arasındaki ışınım eşdeğer ısı taşınım katsayısı
Ra:	Rayleigh sayısı
$Ra^*$ :	Düzeltilmiş Rayleigh sayısı
g:	Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$\beta$ :	Hacimsel genleşme katsayısı ( $\beta = 1/T_{eb,cö}$ )

$\alpha$ :	Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{eb,c\ddot{o}}$ sıcaklığındaki ısı yayılım hızı
$\nu$ :	Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın $T_{eb,c\ddot{o}}$ sıcaklığındaki kinematik viskozitesi
$Q_{ITA}$ :	Isı transfer akışkanına aktarılan net enerji ( $W/m^2$ )
$Q_G$ :	Cam örtüye gelen güneş ışınımı ( $W/m^2$ )
$Q_k$ :	Isı enerji kaybı ( $W/m^2$ )
$h_a$ :	Dış ortam havasının taşım ısı transfer katsayısı
$A_{c\ddot{o}}$ :	Cam örtü dış yüzey alanı ( $m^2$ )
$K$ :	Işın gelme açısı düzeltme faktörü
$U_O$ :	Emici boru içindeki akışkandan çevreye olan toplam ısı transfer katsayısı
$U_L$ :	Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı
$k_{ebi}$ :	Emici boru iletim katsayısı
$T_a$ :	Dış ortam sıcaklığı (K)
$T_g$ :	Gökyüzü sıcaklığı (K)
$A_{ebd}$ :	Emici boru dış yüzey alanı ( $m^2$ )
$A_{kga}$ :	Gölgelemeyen kollektör alanı ( $m^2$ )
$s$ :	Entropi (kJ/kgK)
$h$ :	Entalpi (kJ/kg)
$W_{pompa}$ :	Pompa'nın yaptığı iş (kW)
$W_{türbin}$ :	Türbinin yaptığı iş (kW)
$u$ :	İç enerji (kJ/kg)
SEGS:	Solar Energy Generating Systems
YO:	Yoğunlaştırma oranı
AB:	Avrupa Birliği



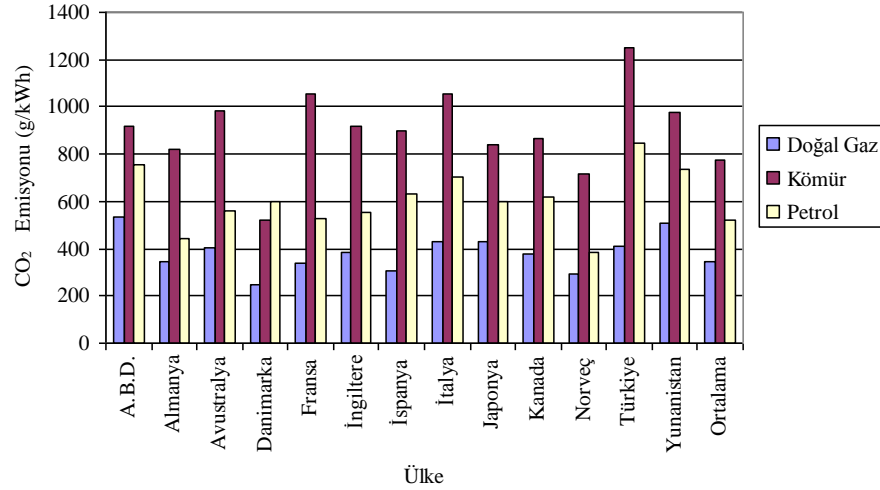
# BÖLÜM I

## GİRİŞ

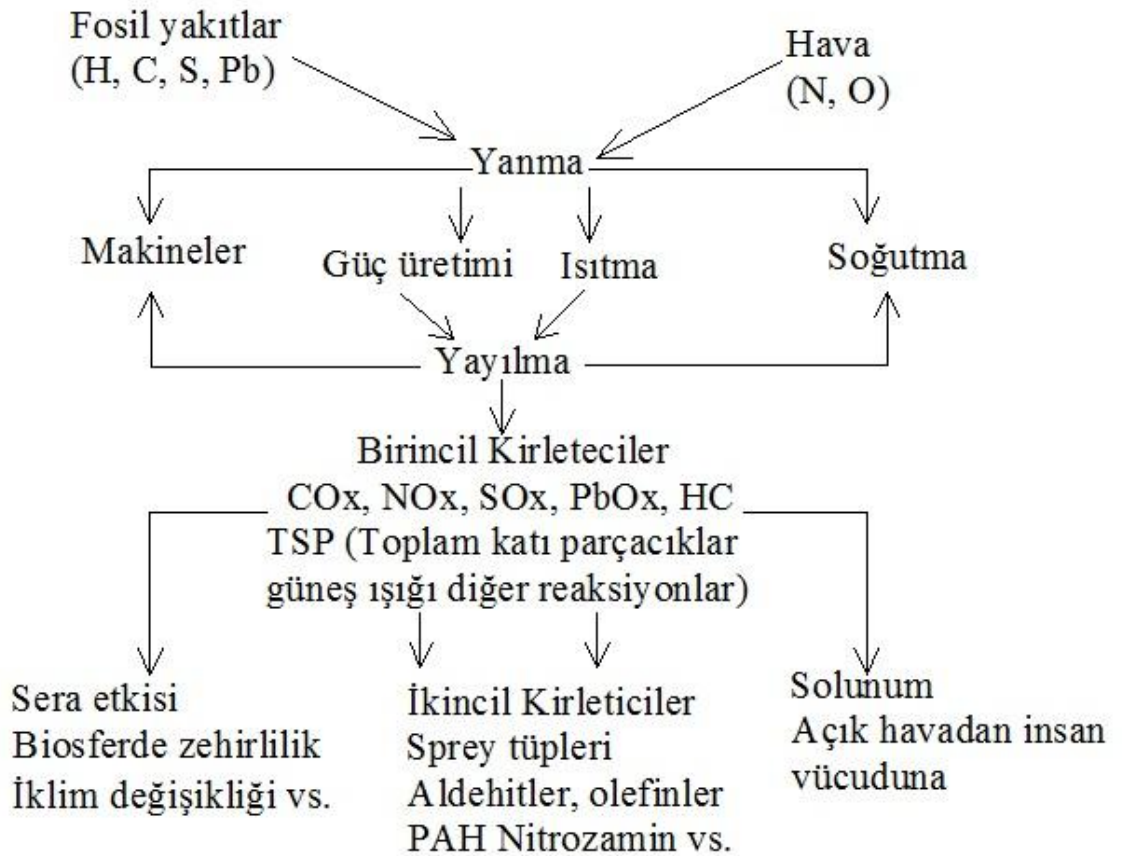
### 1.1. Giriş

Günümüzde enerji tüketimi oldukça artmıştır ve bir sorun haline gelmiştir. Dünya nüfusunun hızlı artması, teknolojik gelişmeler, yaşam standartlarının artması ve sanayileşme bu durumu tetiklemiştir. Enerji tüketimi ve üretimi arasındaki fark da gün geçtikçe açılmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bu farkı azaltmak için enerji tüketimlerine bağlı olarak enerji üretimlerini artmaya çalışmaktadırlar. Enerji sorunu ülkelerin kendi sorunları olmaktan çıkıp global bir sorun olmuştur. Bundan dolayı ülkelerin siyasi, askeri ve ekonomik planlarının büyük bir bölümünü, enerji sorunu yönlendirmektedir. Yirminci yüzyılın sonlarında ve yirmi birinci yüz yıldaki askeri hareketler (savaş, işgal...), uluslararası anlaşmaların temelinde enerji büyük rol oynamıştır.

Enerji ihtiyacı daha çok konvansiyonel (fosil) kaynaklar olan kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlarla sağlanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması küresel ısınma ve çevre kirliliğine yol açmakta, insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bunun nedeni fosil kaynaklı yakıtların bileşiminde bulunan karbon, hidrojen, sülfür ve diğer elementlerdir. Bu elementler yanma sonucunda tepkimelere girerek çeşitli zararlı emisyonlar oluşturmaktadırlar (karbondioksit, karbon monoksit, kükürt dioksit...). Küresel ısınma sonucunda iklim değişikliği meydana gelebilmektedir. İklim değişikliği sonucu su kaynakları azalmakta, kuraklık ve orman yangınları meydana gelmekte, bulaşıcı hastalıklar artmaktadır. Gün geçtikçe ormanların azalmasıyla bu süreç daha da hızlanmaya başlamıştır. Şekil 1.1'de Annex I ülkeleri ile Türkiye'nin 1 kWh elektrik üretimleri sırasında kullanılan petrol, kömür ve doğal gaz sonucu atmosfere saldıkları CO<sub>2</sub> miktarları gösterilmektedir. Şekil 1.2'de fosil yakıtların yanması sonucu oluşan emisyon şeması görülmektedir.



**Şekil 1.1.** Annex I ülkeleri ile Türkiye'nin 1 kWh elektrik üretimleri sırasında kullanılan petrol, kömür ve doğal gaz sonucu atmosfere saldıkları CO<sub>2</sub> miktarları (Yılancı, 2008)



**Şekil 1.2.** Fosil yakıtların emisyonları (Tatlı, 1993)

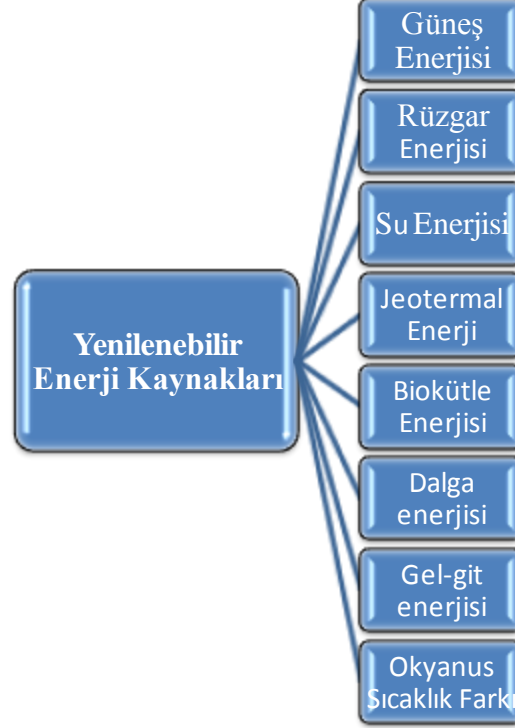
Ayrıca fosil kaynakların rezervleri sınırlıdır ve bu kaynaklar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Bu durumun sonucu olarak konvansiyonel kaynaklara sahip gelişmiş ülkeler ile gelişmekte olan ve çağdaş enerji hizmetlerinden yararlanmak isteyen ülkeler arasında enerji güvenliğini sağlamak amacıyla çeşitli antlaşmalar ve politikalar oluşturulmuştur. Dünya petrol fiyatlarındaki hızlı artış ve sera gazı emisyonlarına Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü ile getirilen sınırlamalarla önlem alınmaya çalışılmıştır. Tablo 1.1’de fosil kaynaklı yakıtların dünyadaki rezervleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.1.** Fosil yakıtların dünyadaki rezervleri (BP, 2009)

Yıl	Fosil Enerji Kaynağı	Bölgeler					
		Kuzey Amerika	Güney ve Orta Amerika	Avrupa ve Batı Asya	Orta Doğu	Afrika	Pasifik Asya
1988	Petrol (milyar varil)	100	69.2	77.3	653	59	39.9
	Doğal gaz (trilyon m <sup>3</sup> )	9.51	4.79	44.53	34.34	7.68	8.86
	Kömür (milyon ton)	-	-	-	-	-	-
1998	Petrol (milyar varil)	65.3	95.6	104.9	684.3	77.2	41.3
	Doğal gaz (trilyon m <sup>3</sup> )	7.24	6.35	59.09	53.17	10.77	11.39
	Kömür (milyon ton)	-	-	-	-	-	-
2007	Petrol (milyar varil)	71.3	123.5	144.6	755	125.3	41.3
	Doğal gaz (trilyon m <sup>3</sup> )	8.88	7.27	57.39	74.17	14.57	14.80
	Kömür (milyon ton)	-	-	-	-	-	-
2008	Petrol (milyar varil)	70.9	123.2	142.2	754.1	125.6	42
	Doğal gaz (trilyon m <sup>3</sup> )	8.87	7.31	62.89	75.91	14.65	15.39
	Kömür (milyon ton)	246097	15006	272246	33399	259253	

Bütün bu nedenlerle fosil kaynaklara alternatif olabilecek sürdürülebilir ve yenilebilir enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Özellikle 1973’teki enerji krizinin ardından yoğun ilgi haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmezdir ve kendilerini yenileyebilirler. Fosil kaynaklı yakıtlar gibi çevreyi kirletici etkisi yoktur.

Ekonomik ve dünyanın her yerinde bu kaynakların var olması ülkeleri enerjide dışa bağımlı hale gelmekten kurtarmaktadır. Şekil 1.3’de yenilenebilir enerji kaynakları verilmiştir.



Şekil 1.3. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarından okyanus sıcaklık farkı, gel-git enerjisi ve dalga enerjisi dünyanın belirli özelliklerindeki bölgelerinden olduğundan bu kaynakların kullanıldığı teknolojiler bu bölgelerde kullanılır. Dolayısıyla diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre kullanım yerleri kısıtlıdır. Biokütle enerjisi maliyeti düşük ve yüksek miktarda üretimi yapılabilen bir enerji kaynağıdır. Teknolojik gelişmelerle daha çok taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar kadar olmasa da çevreye zararlı emisyonları mevcuttur. Biokütle enerjinin sürülebilir olması için sürekli olarak tarımsal üretimi yapılmalıdır. Jeotermal enerji uzun süreden beri sıcak su temini ve ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Dünyada belirli bölgelerde bulunmasından dolayı kullanım yerleri kısıtlıdır. Su enerjisi daha çok elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Hidrolik santral ve baraj teknolojilerinden yararlanır. Küresel ısınmayla birlikte kuraklığın arttığı zamanlarda su enerjisinin kullanımı azalmaktadır. Rüzgâr enerjisi yenilebilir kaynaklar içinde maliyeti en düşük enerjidir. Dünyanın belirli bölgelerinde istenilen seviyelerde üretimi yapıldığından kullanım yerleri sınırlıdır. Ayrıca yapılan

araştırmalarda rüzgâr türbini kurulan yerlerde bazı kuş türlerinin öldüğü ve neslinin tükenmeye başladığı görölmektedir.

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

Güneş enerjisi üzerindeki ilk çalışmalar, ısıtma, kurutma, sıcak su elde etme ve pişirme üzerine olmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte buhar üretimi, elektrik üretimi güneş enerjisinin uygulama alanları olmuştur. Özellikle güneş enerjisinden elektrik üretilmesi konusunda çalışmalar yoğunlaşmış ve güneş enerjisinden yüksek sıcaklıklarda buhar elde ederek elektrik üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. Buhar ve buhar türbinleri kullanarak elektrik üretimi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır. Yüksek sıcakları çıkmak için yoğunlaştırıcı sistemler geliştirilmiştir.

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneşten gelen ışınları belirli bir bölgeye yoğunlaştıran sistemlerdir. Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarından yüksek sıcaklıklarda yararlanmak için kullanılmaktadır. İki tip güneş yoğunlaştırıcısı mevcuttur. Bunlar eksen boyunca yoğunlaştırıcılar ve noktasal yoğunlaştırıcılar. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarla eksen boyunca yoğunlaştırma yapılmaktadır.

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılar, odak ekseni boyunca yerleştirilmiş emici boru içerisinden geçen akışkan, emilen enerjiyi alarak sıcaklığı yükselir. Parabolik şeklinde tasarlanmış yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını odak ekseninde yer alan ve eksen boyunca uzanan emici boruya yansıtır. Emici boru üzerine gelen enerji, boru içindeki akışkana verilerek akışkanın sıcaklığı arttırılmış olur. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarıyla yüksek sıcaklıklara çıkılabilir (300 °C'nin üzeri).

Hazırlanan tez çalışması kapsamında ilk bölümde konuya genel bir bakış açısı kazandırmak amacıyla dünyadaki enerji sorunu, fosil kaynaklı yakıtlar ve kullanılmaları sonucundaki etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarına değinilmekte, güneş enerjisi vurgulanmakta ve tezin asıl konusu olan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları hakkında kısaca bilgi verilmektedir.

İkinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmekte ve parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının dünyadaki uygulamaları incelenmektedir.

Üçüncü bölümde güneş, güneş ışıınımı, güneş açıları, güneş enerjisi ve yoğunlaştırıcı sistemler hakkında bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölüm de parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları detaylı olarak anlatılmaktadır. Parabolik kollektörün boyutlandırılması, sistemdeki ısı ve optik kayıpların bulunması gibi denklemler detaylı olarak ele alınmaktadır.

Beşinci bölümde Denizli ili verileri için parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı tasarlanmaktadır. Bu amaçla parabolik sistemdeki bölümlerin malzemeleri seçilmekte, boyutlandırılması ve ısı ve optik kayıplar hesaplanmakta, sistem için gerekli buhar türbini kapasitesinin belirlenmesi yapılmaktadır. Sistemin ekonomik verileri hakkında bilgiler verilmektedir.

Son bölüm olan altıncı bölümde yapılan hesaplamalar ve analizler değerlendirilerek sistemin kullanılmasının önemi vurgulanmaktadır.

## BÖLÜM II

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1. Literatür Araştırması

Güneş enerjisinden uzun yıllardan beri yararlanılmaktadır. Archimed'in M.Ö. 250'de aynaları kullanarak güneş ışınlarını Sirakuza'yı kuşatan gemilere yoğunlaştırarak yaktığı söylenmektedir. 1600 yılında merceğin bulunmasıyla güneş enerjisinin alanındaki çalışmalar artmıştır. 1860 yılında Mouchot parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınımını odaklamış ve küçük buhar makinesi yapmıştır (Kılıç, 1983).

Shuman ve Boys (1913), parabolik aynalar sayesinde bir buhar üretici yapmışlardır. Bu sayede 50 Beygir Gücündeki su pompasıyla Nil nehrinden su çekebilmişlerdir.

Gaul ve Rabl (1979), parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıların ortalama optik verimlerini incelemişlerdir. Güneş ışınımı ile verim değişmesini günün her saatine göre göstermişlerdir.

Gee (1980), çizgisel odaklamalı güneş yoğunlaştırıcılarının, izleyici tipleri ve çalışma sistemlerini incelemiş, izleyici tiplerini karşılaştırmış, konu ile ilgili deneysel çalışmaları ve gelişmeleri değerlendirmişlerdir.

Rabl ve arkadaşları (1980), parabolik yoğunlaştırıcının farklı uygulamalar inceleyerek, maksimum yoğunlaştırma için  $C_{max}=(1/\sin\theta_c)^m$  eşitliğini elde etmişlerdir. İki boyutlu sistemler için  $m=1$ , üç boyutlu sistemler için  $m=2$ 'dir.

Pereira ve arkadaşları (1980), tahliye kanallı ve tahliye kanalsız parabolik yoğunlaştırıcılarının tasarımını yapmışlar ve sistemin çeşitli karakteristik değerlerini incelemişlerdir. Tahliye kanallı sistemlerde, kararlı şartlarda 150 °C'de yoğunlaştırıcının verimini %40 olarak belirlemişlerdir.

Cope ve Tully (1982), yoğunlaştırıcıların güneşi izleme stratejilerini güneş konumunun hesaplanabileceği denklemlerle incelemiş ve mevcut yoğunlaştırıcılar üzerindeki izleme hatalarını deneysel değerlerle karşılaştırmışlardır.

Jeter (1983), parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı yüzeyinin üzerine gelen güneş ışınımının sonlu elemanlar yardımıyla analizini yapmış, bu modeli kullanarak yoğunlaştırıcının yoğunlaştırma oranını ve verimini hesaplamışlardır.

Hession ve Bonwick (1984), değişik boyutlardaki yoğunlaştırıcılar için takip sistemlerini denemişlerdir. Takip sistemi için güneşi hassas şekilde izleyen ışığa duyarlı devre yapmışlar ve blok diyagramını vermişlerdir.

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

Jeter (1986), parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı üzerine yoğunlaştırılan ışınların dağılımının yarı-sonlu formülasyonunu yaparak, optik verimin etkin bir şekilde hesaplanması üzerinde çalışmıştır.

Eltez (1986), sabit yansıtıcı çizgisel odaklı kule projesinde yansıtıcı-odaklayıcı yüzeyin şekillendirilmesini incelemiştir. Güneşin günlük azimut ve yükseklik açısındaki değişimleri, çok sayıda yansıtıcı düzeneği hareket ettirmeye gerek kalmadan, çizgisel odaklamaya olanak sağlayan ve kule üzerindeki alıcıya yansıtan bir uzay yüzeyi üzerindeki ışınım ile ısı aktarımının optik ve geometrik analizini yapmıştır.

Espana ve Rodriguez (1987), kararsız şartlarda, parabolik tipi güneş yoğunlaştırıcılarının lineer olmayan diferansiyel denklemlerine yaklaşık analitik çözümler elde ettiler.

Prapas ve arkadaşları (1987), ışın takip metotlarıyla parabolik yoğunlaştırıcıların detaylı optik analizini yapmışlardır. Bu tip yoğunlaştırıcıların faydalanabileceği difüz güneş ışınımının yüzdesini belirlemişlerdir.



Karaduman (1989), çalışmasında parabolik güneş yoğunlaştırıcısının etkinliğini belirlemek için, pompalı ve doğrudan akışkanı ısıtan sistemle çalışan bir parabolik güneş yoğunlaştırıcısının tasarımı, imali ve performans deneylerini gerçekleştirmiştir. Yoğunlaştırıcıda 145,5 cm uzunluğunda cam kılıflı ve seçici yüzey kaplamalı bir boru, toplayıcı olarak kullanılmıştır. Yansıtıcı parabolik yüzeyin boyu 145,5 cm, eni 114 cm, çevresel uzunluğu 134 cm ve odak uzaklığı 28,5 cm olacak şekilde planlanmıştır. Çalışmada yansıtıcı olarak iki farklı malzeme incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmış, kolektör verimine etki eden tasarım parametreleri incelenmiştir.

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

Pereira ve arkadaşları (1991), boru soğutuculu iki kademeli parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılar için deneyler yapmışlardır. Bu tip yoğunlaştırıcılarda toplam ısı kayıplarını azaltarak yüksek akışkan sıcaklıkları elde ettiler.

Pinazo ve arkadaşları (1992), parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcısında güneş ışınımının gelme açısının analizlerini yapmışlardır.  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  geliş açıları için analitik bağıntılar elde etmişlerdir.

Fradenraich ve arkadaşları (1997), çizgisel odaklı güneş kolektörlerinde sıcaklık ve ısı güçlerin hesaplamaları için yeni çözümler geliştirmişlerdir.

Eltez (1990), yoğunlaştırıcı tiplerinin, hareket sistemleri, ısı özelliklerini incelemiş ve çeşitli uygulama örnekleri vermişlerdir. Çalışmasında bir tekstil fabrikasının enerji ihtiyacını ve güneş yoğunlaştırıcısının bu enerji ihtiyacına katkısını incelemiştir.

Usta (1995), güneş enerjisiyle çalışan  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  akışkan çifti kullanan soğurmalı soğutma sistemlerin tasarımlarının geliştirilmesi ve imalatı konusunda çalışmıştır. Sistemde yoğunlaştırıcı yüzeyi parabolik aynalardan oluşan, pyreks boru cam örtü içerisindeki siyaha boyanmış güneşi tek eksenle izleyen parabolik oluk tipi güneş

kollektörü kullanmış ve 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda testler yapmış ancak verimin düşük olduğunu görmüştür.

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

Genç (1998), güneşi tek ekseninde takip eden 3.70 m boyunda ve 40 mm çapındaki parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının tasarımını ve imalini yapmıştır. Yoğunlaştırıcının güneşi fotosel yardımıyla tek ekseninde takip etmesini sağlamıştır. Sistemin performans deneylerini Ankara iklim şartlarında incelemiştir. Bu çalışmada, gün boyu yapılan testlerde 75 °C kolektör çıkış sıcaklığı elde edilmiş ve yaklaşık 7 °C giriş çıkış sıcaklık farkı için %65 verim elde edilmiştir.

Odeh ve arkadaşları (1998), direkt buhar üretmek için parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı modellemişlerdir. Modellenen yoğunlaştırıcıdaki ısı kayıpları ve ısı verimin diğer özelliklerle değişimini incelemişlerdir.

Price ve arkadaşları (2002), güneş enerjisi ile elektrik elde edilmesinde kullanılan parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılardaki ilerlemelerden bahsetmişler ve konvansiyonel yakıt kullanan enerji santralleri ile rahatlıkla rekabet edebileceklerini vurgulamışlardır.

Quasching ve arkadaşları (2002), direkt ışımdaki değişimin parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı alanı üzerindeki etkileri üzerinde durulmuş, konu teknik ve ekonomik simülasyonlarla irdelenmiştir.

Eck ve arkadaşları (2002), parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısıyla direkt olarak buhar üretilmesi konusunda çalışmışlar ve İspanya'da kurulan test düzeneğinde elde edilen deneysel sonuçları tartışmışlardır.

Rincon ve arkadaşları (2002), güneş enerjisi için iki boyutlu yoğunlaştırıcı yeni yoğunlaştırıcı geliştirmişler, birleşik parabolik yoğunlaştırıcılar ile karşılaştırmışlar ve çeşitli uygulamalarından bahsetmişlerdir.

Almanza ve arkadaşları (2002), parabolik oluk tip güneş yoğunlaştırıcılarıyla direkt olarak buhar üretiminde, çelik emici borulardaki iki fazlı akış incelenmiş, boru giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkındaki değişiklikler ile borunun alt ve üst kısımlarının farklı sıcaklıklarda olmasının boruda eğilme ve kırılma problemleri yarattığı deneysel olarak irdelenmiştir.

Zarza ve arkadaşları (2002), yapmış oldukları bir araştırmada parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının emici borusunda direkt buhar üretimi ve bu buhardan faydalanarak elektrik üretimi için, yeni jenerasyon güneş santrallerinin geliştirilmesi konusunda çalışmışlardır.

Hermann ve arkadaşları (2002), elektrik üretimi için kurulan güneş santrallerinde, ışınımında olabilecek kesintiler ve pik yüklerin karşılanması amacıyla parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarla kurulan sistemlerde ısı depolama tanklarının önemi üzerinde durmuşlar ve yapmış oldukları araştırmada farklı ısı depolama tanklarını maliyet ve teknik yeterlilik açısından değerlendirmişler.

Sözen ve arkadaşları (2002), parabolik yoğunlaştırıcının kullanıldığı güneş enerjisiyle çalıştırılan bir adet  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  soğurmalı soğutma ısı pompasını geliştirmişler ve Ankara iklim koşullarında yaptıkları performans testleri ile geliştirilmesi gereken soğurmalı soğutma sistem elemanları üzerinde durmuşlardır.

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

Üçgül ve arkadaşları (2003), parabolik yoğunlaştırıcıların optik, enerjetik ve ekserjetik verimliliklerinin analizi yapmışlardır. Bu çalışmada parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcıların optik ve enerjetik analizleri sonunda elde edilen tüm alıcı yüzeye gelen toplam enerji miktarını veren;

$$E = \int_0^L e_2 * \frac{R}{\sqrt{R^2 - X^2}} dX$$

Denklemin yansıtıcı ve alıcı boyut parametreleri verilen tüm parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılara kolaylıkla uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. Tasarım parametreleri verilmiş olan parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcının Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarına ait Isparta güneşlenme verileri kullanılarak enerjetik analizi yapılmıştır.

Bakos (2006), parabolik oluk yoğunlaştırıcının iki eksenli sürekli güneş takip sistemi üzerinde çalışmıştır. Kolektörün topladığı enerjiyi ölçmüş ve 40° güneşe doğru eğilmiş sabit yüzeyli yoğunlaştırıcı ile kıyaslamıştır. Sonuç olarak hareketli iki eksenli güneşi takip eden yoğunlaştırıcının sabit kolektörden %46.46 daha fazla enerji topladığını elde etmiştir.

Riffelmann ve arkadaşları (2006), parabolik oluk yoğunlaştırıcı güneş güç santrallerinde istenilen kaliteyi sağlamak için sistemin optik verimini incelemişlerdir. Bu doğrultuda sistemin odak bölgesindeki güneş akışını ölçmek için iki metot geliştirmişlerdir. Bu metotlardan biri Parascan diğeri kamera-hedef metodudur. Parascan gelişmiş bir güneş akış yoğunluğu ölçüm cihazıdır. Cihazı alıcı eksenyle birlikte hareket ettirerek alıcı yüzeyin önündeki ve arkasındaki akış dağılımını ölçmüşler ve ölçüm sonucunda akış haritasıyla sistemin alıcı çevresindeki yakalama faktörü ve optik özellik analizlerini hesaplamışlardır. Kamera-hedef metodu, kalibre edilmiş kamera ile alıcı çevresindeki difüz ışınların resmini almışlardır. Alıcı çevresindeki hedef dikey ışınları tutmuşlardır. Yansıtılan ışınlar ile yakalanan resimleri inceleyerek optik hataları belirlemişlerdir.

Valan Arasu ve Sornakumar (2007), sıcak su üreten parabolik oluk yoğunlaştırıcılar için fibreglasla güçlendirilmiş parabolik oluğun dizayn ve üretimini yapmışlardır. Çalışmalarında toplam parabol kalınlığı 7 mm olmuştur. Fibreglasla güçlendirilmiş parabolik oluk 34 m/s hızla esen rüzgârın uygulayacağı kuvvete denk bir yük altında test edilmişler rüzgâr yükünden dolayı paraboldeki biçim bozukluğunun kabul edebilir olduğunu bulmuşlardır. Bu kolektörün ısıl performansı ASHRAE Standard 93'e göre

yapmışlar. Bu teste göre parabol yüzey hatalarındaki dağılımın standart sapmasını 0,0066 olarak tahmin etmişlerdir.

Chaouchi ve arkadaşları (2007), tuzlu suyu tuzdan arıtma alanında küçük bir parabolik yoğunlaştırıcı dizayn edip boyutlandırarak inşa etmişlerdir. Yaptıkları sistem için teorik bir model geliştirerek toplayıcı kısımdaki sıcaklıkları belirlemeye ve akış oranını sınınamaya çalışmışlardır. Sıcaklıklarda küçük farklar olmasına rağmen sınıadıkları akış oranında %42 hata almışlardır.

Mazlovmi ve arkadaşları (2008), İran Ahmaz'da tek güneş etkili lityum-bromür su emici soğutma sistemi tasarlamışlardır. Sistemin güneş enerjisini parabolik yoğunlaştırıcılarla sağlamışlardır. Sistem soğutma yükünün en fazla olduğu 17 kW değere ulaşabilen tipik bir ev için tasarlamışlardır. İş akışkanı olarak su kullanmışlardır. Yaptıkları test sonuçlarına göre kollektör kütle akış oranının kollektör açıklık oranına etkisinin ihmal edilebilir olduğunu ancak depolama tankına büyük etkisi olduğunu görmüşler ve kollektör alanını 57,6 m<sup>2</sup> civarında seçmişlerdir.

Krüger ve arkadaşları (2008), Akdeniz ülkeleri için kendine yeten yenilenebilir enerji hava iyileştirme projesi çerçevesi içinde Soliterm PTC 1800 isimli dört tane parabolik yoğunlaştırıcı test etmişlerdir. Özellikle 150-190 °C arasındaki sistemin verimlilikleriyle ilgilenmişlerdir. Test sonuçlarında iç sıcaklığın dalgalanmasını +/-0,1 K, iç sıcaklık ile dış sıcaklık arasındaki farkın 0,05 K'den daha az olduğunu görmüşlerdir. Sistemlerinde ısı kayıplar az olmasına karşın optik kayıpların fazla olduğunu fark etmişlerdir.

Fadar ve arkadaşları (2009), parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarıyla güçlendirilmiş iki emici yataklı sürekli soğutucu sistemin nümerik çalışmasını yapmışlardır. Soğutucu olarak amonyak emici olarak karbon seçmişlerdir. Sistem 17,5 mj/m<sup>2</sup> güneş radyasyonu, 30 °C yoğuşma sıcaklığı, 0 °C buharlaşma sıcaklığında günlük 0,8 m<sup>2</sup> kollektör alanı için 2515 kj faydalı soğutma üretmişlerdir. Sonuçlarda özgül soğutma gücünü 104 W/kg, soğutucu çevrimini 0,43 olarak görmüşlerdir.

Fadar ve arkadaşları (2009), parabolik yoğunlaştırıcı ve paslanmaz bir çelik ısı borusuyla birleşmiş yeni bir emici güneş soğutma sistemini etkinleştirilmiş karbon-amonyak çiftliyle incelenmişlerdir. Sistemin termodinamik bir modelini oluşturarak

simülasyonunu yapmışlardır. 0°C buharlaşma sıcaklığı, 28 °C yoğuşma sıcaklığı ve 24 °C emme sıcaklığında kollektör açıklığı 0,7 m, emici yatak dış radiusü 0,145 m, reaktör uzunluğu 0,5 m işletme şartlarında güneş performans katsayısını 0,18 bulmuşlar ve her kollektör açıklığı için optimum bir emici yatak radiusü olduğunu görmüşlerdir.

Garcia-Valladares ve Velazquez (2009), tek ve çift geçişli parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının ısı ve akış davranışlarının nümerik simülasyonlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında Sandia National Laboratories sağlanan deneysel verileri kullanmışlardır. İki geçişli parabolik oluk yoğunlaştırıcı kullanıldığında ısı transfer kayıplarının azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca reynold sayısı, kanal kalınlık oranı ve geri çevrim oranı arttığı zaman, istenen ısı transfer artışı ve çevreye olan ısı kayıpların düşüşünün arttığını elde etmişlerdir.

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

Wu ve arkadaşları (2010), parabolik çanak bir güneş termal güç sistemini incelemişler ve sistemin ortalama ısı-elektrik dönüşüm performansını değerlendirmişlerdir. Sistemin ortalama verimliliğini %20,6 bulmuşlardır.

## **2.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Dünyadaki Uygulamaları**

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılardan elektrik üretmek için dünyada pek çok santral kurulmuştur. Bunların başında; Amerika California Mojave çölündeki SEGS yaklaşık 20 yıldır çalışmaktadır. 9 tane santralleri bulunmaktadır. Tablo 1’de SEGS’deki 9 santralin özellikleri verilmektedir.

İspanya’da bulunan Andasol ise 50 MW kapasitedir. AB raporuna göre yılda 3589 saatte toplam 179 GWh üretim yapmaktadır. Sistem güneş olmadığı zaman geceleri de erimiş tuz sayesinde çalışmaktadır. 7.5 saat yetecek erimiş tuz deposu vardır (Solar Millennium AG, 2010).

Acciona Nevada Solar One 260 milyon Amerikan doları bütçesiyle kuruldu. Nominal kapasitesi 64 MW maksimum kapasitesi 75 MW'tır (Acciona North America, 2009).

**Tablo 1.2.** SEGS santrallerinin özellikleri (Wikipedia, 2010)

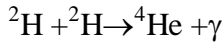
Santral	Kuruluş Yılı	Kuruluş Yeri	Net Türbin Kapasitesi (MW)	Kapladığı Alan (m <sup>2</sup> )	Akışkan Sıcaklığı (°C)	Ortalama Elektrik Üretimi 1998-2002 (MWh)
SEGS I	1984	Daggett	14	82,960	307	16,500
SEGS II	1985	Daggett	30	165,376	316	32,500
SEGS III	1986	Kramer Jtc.	30	230,300	349	68,555
SEGS IV	1986	Kramer Jtc.	30	230,300	349	68,278
SEGS V	1987	Kramer Jtc.	30	233,120	349	72,879
SEGS VI	1988	Kramer Jtc.	30	188,000	391	67,758
SEGS VII	1988	Kramer Jtc.	30	194,280	391	65,048
SEGS VIII	1989	Harper Like	80	464,340	391	137,990
SEGS IX	1990	Harper Like	80	483,960		125,036

## BÖLÜM III

### GÜNEŞ ENERJİSİ VE GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER

#### 3.1. Güneş

Dünyanın en büyük enerji kaynağı olarak bilinen güneş, sıcak gazlardan oluşan ve çevresine ısı ve ışık yayan bir yıldızdır. Güneşin yüzey sıcaklığı 5500 °C, çekirdeğinin sıcaklığı ise yaklaşık olarak 15,6 milyon °C'dir. Güneş yüzeyi kütlelerinin %74'ünü ve hacminin %92'sini oluşturan hidrojen, kütlelerinin %24-25'ünü ve hacminin %7'sini oluşturan helyum ile Fe, Ni, O, Si, S, Mg, C, Ne, Ca, ve Cr gibi diğer elementlerden oluşur. Güneş çekirdeğinde yer alan füzyon süreciyle ışınım enerjisi ortaya çıkar. Bunun nedeni güneşteki hidrojen gazlarının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyondur (Wikipedia, 2010).



Güneş'teki nükleer reaksiyonun ilk elementi olan hidrojen evrendeki en basit elementidir. Çekirdeğinde sadece tek bir proton yer alır. Helyumun çekirdeğinde ise iki proton ve iki nötron bulunur. Güneş'te gerçekleşen işlem dört hidrojenin birleşip bir helyum yapmasıdır. Bu işlem sırasında çok büyük bir enerji açığa çıkar. Dünya'ya gelen ısı ve ışık enerjisinin neredeyse tamamı, Güneş'in içindeki bu nükleer reaksiyonla oluşmaktadır.

#### 3.1.2. Güneş ışınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı yere, zamana ve meteorolojik koşullara göre değişmekte olup, 0.3 – 2.5 µm dalga boyu bandında maksimum 1 kW/m<sup>2</sup> güçtedir. Günlük enerji akışı ise 3 – 30 MJ/m<sup>2</sup>gün (0.8 – 8 kWh/m<sup>2</sup>gün) aralığında olup değeri değişmektedir.

Güneş ışınım şiddeti yaklaşık olarak 1367 W/m<sup>2</sup> değerinde ve sabittir. Ancak dünya yüzeyine bu ışınım şiddetinin direkt olarak maksimum 1100 W/m<sup>2</sup>'si ulaşır. Bunun nedeni dünyayı çevreleyen atmosfer tabakasıdır. Atmosfer gelen ışınım enerjisinin

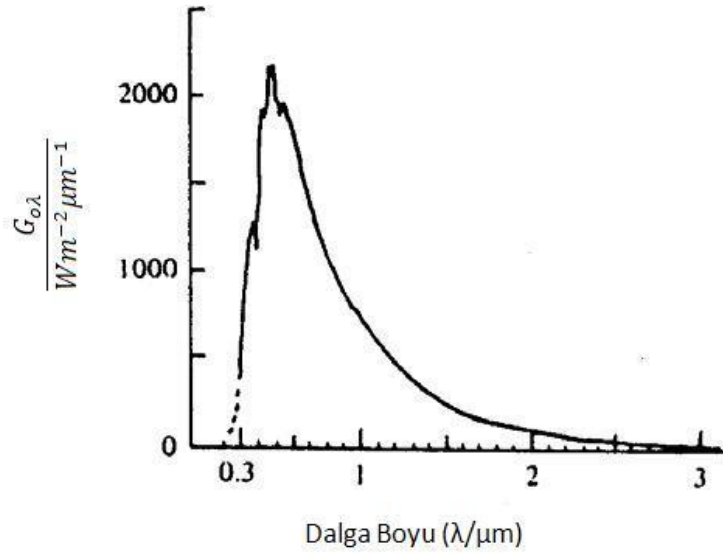


%6'sını yansıtır, %16'sını da sönümler. Geri kalan ışınım enerjisi dünya üzerine ulaşır. Sonuç olarak dünya üzerine düşen ortalama güneş ışınımı  $350 \text{ W/m}^2$ 'dir. Dünya dışından gelen ışınımın yılın günlerine göre güneş sabiti değeri değişiklik gösterir. Bu değişim aşağıdaki formüllerden hesaplanır (Beckman, 2006).

$$G_{I_a} = G_{I_{sa}} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3.1)$$

$$G_{I_a} = G_{I_{sa}} (1.000110 + 0.034221 \cos B + 0.001280 \sin B + 0.000719 \cos 2B + 0.000077 \sin 2B) \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.1 yeterli hassasiyette sonuç verirken, eşitlik 3.2 daha fazla bir hassasiyette ( $\pm 0.01\%$ ) sonuç vermektedir. B yılın günlerine göre değişen bir katsayıdır. Güneşten gelen ışınlar atmosfere geldiğinde spektral olarak dağılmaktadır.



**Şekil 3.1.** Atmosfer dışı güneş ışınımının ( $G_{0\lambda}$ ) spektral dağılımı (Beckman, 2006)

Spektral eğri altındaki alan hesaplandığında, Güneş Sabiti  $1367 \text{ W/m}^2$  değeri bulunur. Bu değer, atmosfer dışında dünyaya birim zamanda gelen güneş ışınımıdır ve güneş yüzeyindeki değişiklikler ile güneş-dünya mesafesinin mevsimlere göre değişmesi (eliptik yörünge) sonucu  $\pm\%1.5$  ve  $\pm\%4$  mertebelerinde değişmektedir. Spektral aralık 3 bölgeye ayrılır (Beckman, 2006):

1. Bölge: Ultraviyole (mavi ötesi) bölge ( $\lambda < 0.4 \mu\text{m}$ ): ışınımın %9'u
2. Bölge: Görünür bölge ( $0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$ ): ışınımın %45'i
3. Bölge: Infrared (kırmızı ötesi) bölge ( $\lambda > 0.7 \mu\text{m}$ ): ışınımın %46'sı

2.5  $\mu\text{m}$ 'den uzun dalgalı ışınımın güneş enerjisine önemli bir katkısı bulunmamaktadır.

Güneşten doğrudan gelen ve yansıtılarak gelen ışınım direk ışınım ve difüz ışınım olarak adlandırılır. Pratik yönden aralarındaki en önemli fark, direk ışınımın odaklanarak yoğunlaştırılabileceğidir. Direk ve difüz ışınımın beraberce toplam ışınım olarak adlandırılır. Direk ışınımın toplam ışınımına oranı 0.9 (tamamen bulutsuz hava) ile 0 (tamamen bulutlu hava) arasında değişir (Beckman, 2006).

### 3.1.3. Güneş açıları

Güneş ışınları ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar vardır. Dünyanın kendi çevresindeki dönüş eksenini, güneş çevresindeki dolanma yörüngesi düzlemiyle  $23.5^\circ$ 'lik bir açı yaptığından, yeryüzüne düşen güneş ışınımı ve güneş ışınları açısı yörünge boyunca (yıl boyunca) değişmekte ve mevsimler de böylece oluşmaktadır. Bu açılar hakkında bilgi edinilerek güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir.

Güneş yükseklik açısı ( $\alpha_s$ ): Güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır. Zenit açısı tamamlayıcısıdır. Aşağıdaki gibi hesaplanır (Beckman, 2006).

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

Güneş azimut açısı ( $\gamma_s$ ): Direkt güneş ışınımının yatay plaka üzerine güneydoğudan (-), güneybatıya (+) doğru açısal yer değiştirmesidir. Örneğin saat 12:00'de  $180^\circ$ 'dir (Beckman, 2006).

Yüzey azimut açısı ( $\gamma$ ): Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır.  $-180^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında değişebilir. Güneye bakan yüzey için sıfır olur. Doğuya yönelen yüzeyde eksi, batıya yönelen yüzeyde ise artı değer alır (Beckman, 2006).

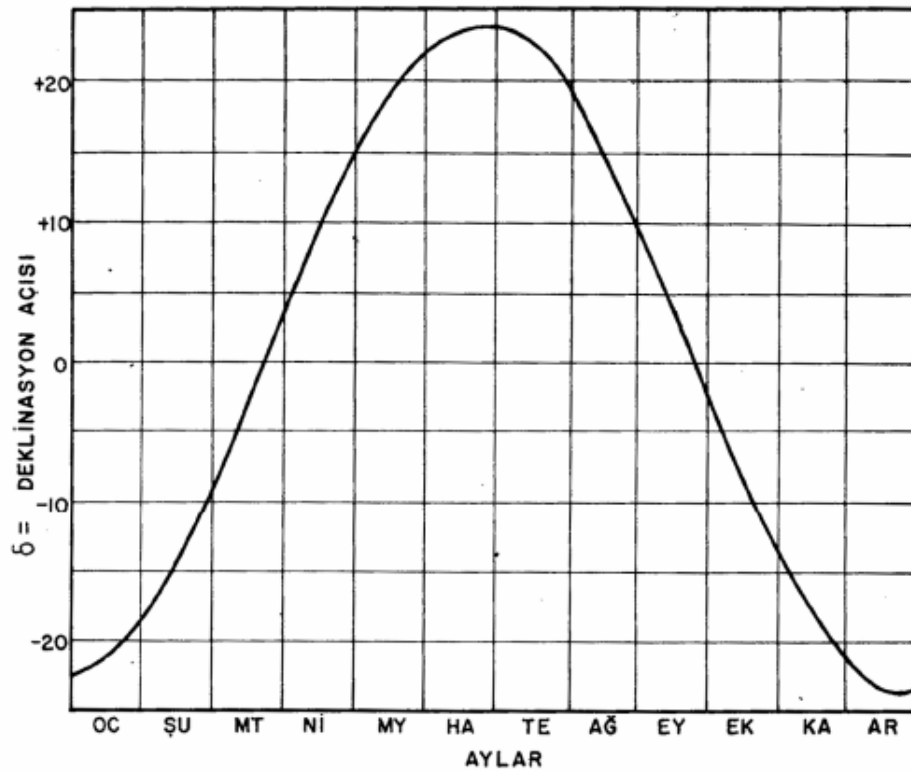
Deklınasyon Açısı ( $\delta$ ): Ekvator düzlemine göre güneş ögle vaktindeyken güneşin açısal konumudur. Kuzeyde pozitif değerdedir ve  $-23.45^\circ$  ile  $23.45^\circ$  arasındadır. Dünyanın kendi eksenini ile yörünge düzleminin normalini arasındaki  $23^\circ45'$ lik açıdan dolayı meydana gelir. Deklınasyon açısı ekvator düzleminin  $\delta$  açısı COOPER Formülüyle hesaplanır. “n” 1 Ocak’tan itibaren hesaplama yapılan güne kadar olan gün sayısı olmak üzere COOPER formülü aşağıdaki gibidir (Beckman, 2006).

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

Ekinoks dönemlerinde (21 Mart - 22 Eylül) deklınasyon açısı  $\delta=0$  alınır.

Max: 21 Haziran  $\delta= 23^\circ45'$

Min: 22 Aralık  $\delta= - 23^\circ45'$



**şekil 3.2.** Deklınasyon açısının yıl boyunca değişimini (Beckman, 2006)

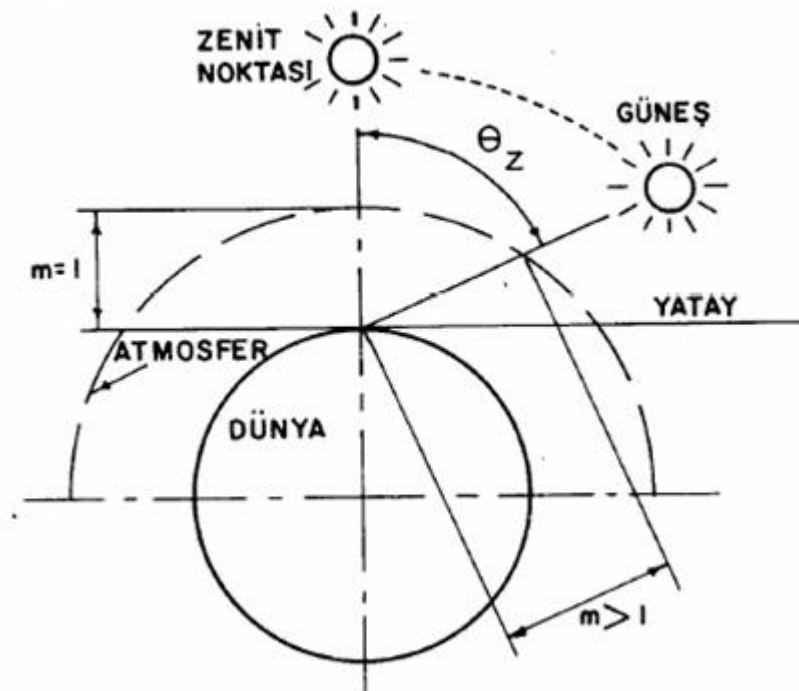
Hava kütlesi (m): Işın radyasyonun geçtiği atmosfer kütlesinin, güneş tam tepede iken işın radyasyonun içinden geçeceği atmosfer kütlesine oranıdır (Beckman, 2006).

$$m = 1 / \cos \theta_z \quad (3.5)$$

Zenit Açısı ( $\theta_z$ ): Direkt güneş ışınımı ile yatay düzlem normalinin arasında kalan açıdır. Zenit açısı güneş doğuş ve batısında  $90^\circ$  iken, ışınların dik geldiği durumda  $0^\circ$ 'dir. Zenit açısı,

$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanır (Beckman, 2006).

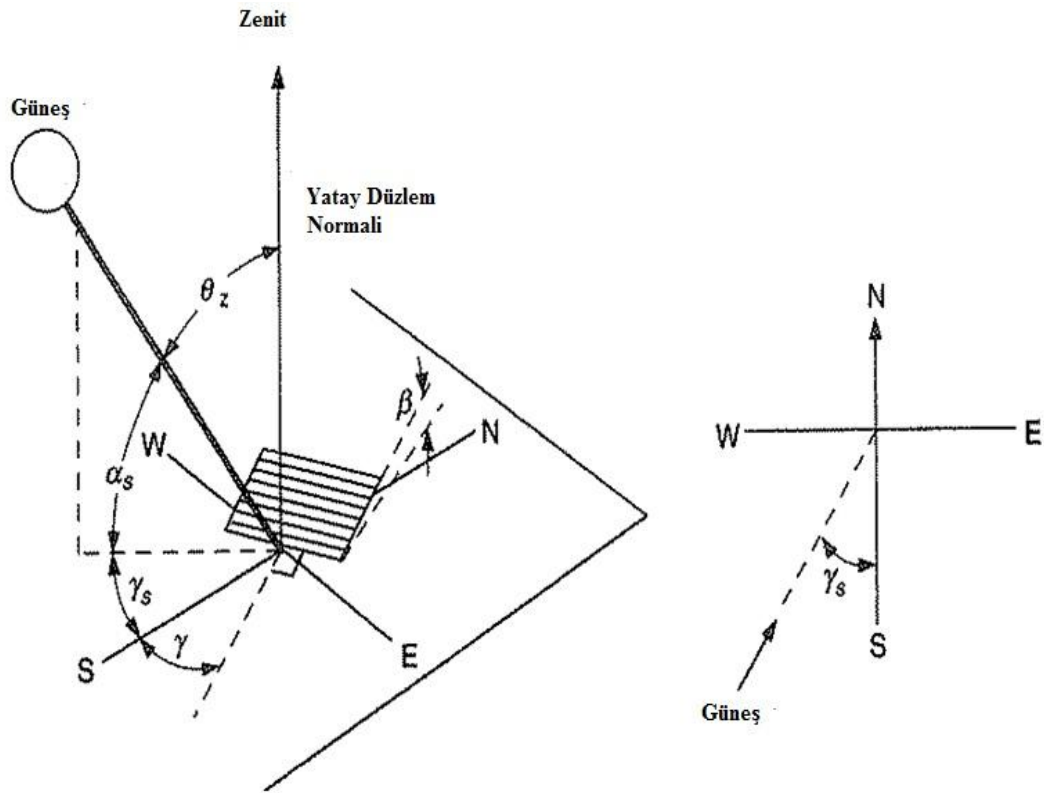


Şekil 3.3. Zenit açısının gösterimi (Beckman, 2006)

Enlem açısı ( $\Phi$ ): Ekvatorun kuzey veya güney konumuna göre olan açıdır. Enlem kuzey yarım küre için artı değerli olup  $-90^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında değişir (Beckman, 2006).

Saat açısı ( $\omega$ ): Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat  $15^\circ$  boylama eşittir. Öğleden önce açı eksi ve öğleden sonra artı değer alır. Örneğin saat 10:00 için açı  $-30^\circ$  ve saat 15:00 için  $+45^\circ$  olur (Beckman, 2006).

Eğim açısı ( $\beta$ ): Söz konusu yüzeyle yatay düzlem arasındaki açıdır.  $0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasındadır (Beckman, 2006).



Şekil 3.4. Eğim ve yön açılarının şematik gösterimi (Beckman, 2006)

**Gelme açısı ( $\theta$ ):** Eğik yüzeyin dikeyi ile ışın arasındaki açıdır. Güneş ışınları yüzeye paralel geldiği zaman  $\theta=90^\circ$ 'dir. Yeryüzüne gelen güneş ışınlarının geliş açısı ( $\theta$ ) için geliştirilen literatürde genel bir ifade geliştirilmiştir (Beckman, 2006).

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta * \sin\phi * \cos\beta - \sin\delta * \cos\phi * \cos\gamma * \sin\beta + \cos\delta * \cos\phi * \cos\beta \\ &* \cos\omega + \cos\delta * \sin\phi * \sin\beta * \cos\gamma * \cos\omega + \cos\delta * \sin\beta * \sin\gamma \\ &* \sin\omega \end{aligned} \quad (3.7)$$

$0^\circ$  ile  $180^\circ$  arasındaki yüzey azimut açısıyla, sabit yüzey güney veya kuzeye doğru eğimli olduğunda, genel açı denklemindeki (3.7) bazı terimler geçerliliğini yitirir. Dik yüzeyler için  $\beta=90^\circ$  ise geliş açısı genel açı denklemini aşağıdaki gibi olur (Beckman, 2006).

$$\cos\theta = -\sin\delta * \cos\phi * \cos\gamma + \cos\delta * \sin\phi * \cos\gamma * \cos\omega + \cos\delta * \sin\gamma * \sin\omega \quad (3.8)$$

Yatay yüzeyler için geliş açısı güneş zenit açısıdır. Bu değer güneş ufkun üzerinde olduğunda  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında olmalıdır. Bu durum için  $\beta=0$  iken zenit açısı ifadesi;

$$\cos\theta_z = \cos\phi * \cos\delta * \cos\omega + \sin\phi * \sin\delta \quad (3.9)$$

şeklinde olur (Beckman, 2006).

### 3.2. Güneş Enerjisi

Güneş, çevresinde dolanan gezegenler ve dünya için, temel bir enerji kaynağıdır. Özellikle, dünyada yaşayan canlılar vazgeçilmez bir kaynaktır. Bugün kullanılan çeşitli enerji kaynaklarının büyük kısmı, güneşin sebep olduğu olaylar sonucu ortaya çıkar. Günlük güneş enerjisi ile dünya aydınlatılabilmekte; yağışlar ile su döngüsü sağlanabilmekte ve en önemlisi de fotosentez ile canlı yaşam sürdürülebilmektedir.

Güneş enerjisi tükenmez olmasının yanı sıra fosil kaynaklar gibi kullanılması sonucunda emisyonları olmadığından çevreyi kirletici etkisi yoktur. Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen hemen her yerde kullanılabilir. Dünyanın her yerinde bulunduğu için ülkeler enerji bakımından dışa bağımlı olmak zorunda değildir. Güneş enerji sistemlerinin işletme masrafları düşüktür. Güneşin gün boyunca sürekli olmamasından güneş enerjisinin depolanması gerekmektedir. Güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri fazladır. Birim yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı düşük olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır.

### 3.3. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Güneş enerjisi sistemleri, uygulamada kullanılacak sıcaklıklara göre,

- Düşük sıcaklık uygulamaları (20-100 °C)
- Orta sıcaklık uygulamaları (100-300 °C)
- Yüksek sıcaklık uygulamaları (>300 °C) şeklinde ayrılırlar.

#### 3.3.1. Düşük sıcaklık uygulamaları

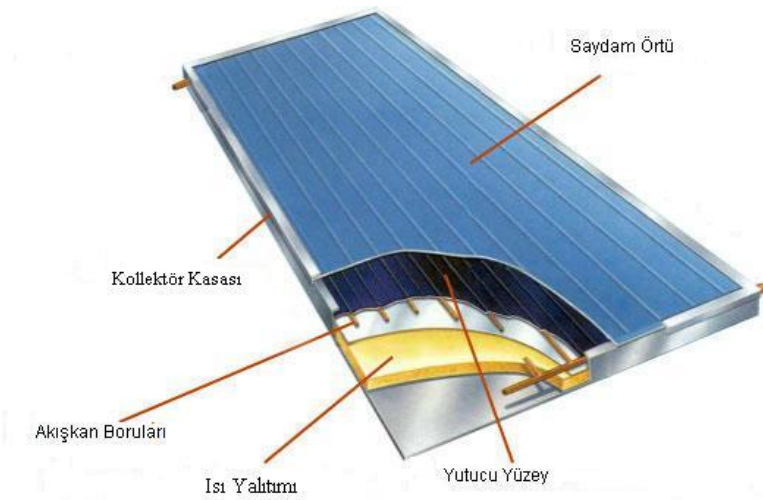
Düşük sıcaklık uygulamalarının bazıları:

- Konutların ısıtılması, soğutulması

- Konutlardaki suyun ısıtılması
- Yüzme havuzlarının ısıtılması
- Sera ısıtılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Tuz üretimi
- Güneş pompaları
- Arı su elde edilmesi
- Güneş ocakları ve fırınlarıdır.

### 3.3.1.1. Düzlemsel kolektörler

Düşük sıcaklık uygulamasında en çok kullanılan sistem düz kolektörlerdir. Sistemin çalışma prensibi güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesidir. Düzlemsel güneş kolektörleri genel olarak; saydam örtü, güneş ışınımını toplayan yutucu yüzey, yüzeye bulunan taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve gövdeden oluşur. Sistemin en önemli parçası güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı akışkana aktaran yutucu yüzeydir.



**Şekil 3.5.** Düzlemsel kolektör (Güneş enerji sistemleri, 2010)

Düzlemsel kolektörler, güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştüren en basit ve en yaygın olarak kullanılan güneş sistemlerinden birisidir. Toplayıcı verimi; yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Yutucu yüzeyin üzeri selektif malzemeyle kaplanarak toplayıcı veriminde

önemli artışlar sağlanmaktadır. Yutucu yüzey kaplamalarının başlıca görevi güneş ışınımını mümkün olduğu kadar yutması ve ısıya dönüştürmesidir. Selektif malzemeyle kaplamanın temel amacı, kısa dalga boylu ışınımın tamamına yakın kısmının yutulması buna karşılık uzun dalga boylu ışınım yayıcılığının en aza indirilmesidir. Böylece plaka sıcaklığı daha da yükseltilecek akışkana aktarılan ısı arttırılmış olur. Genellikle bu sistemin çalışma sıcaklıkları 70-100 °C arasındadır. En çok kullanıldığı alanlar otellerin ve konutların ısıtılması ve sıcak su teminidir.

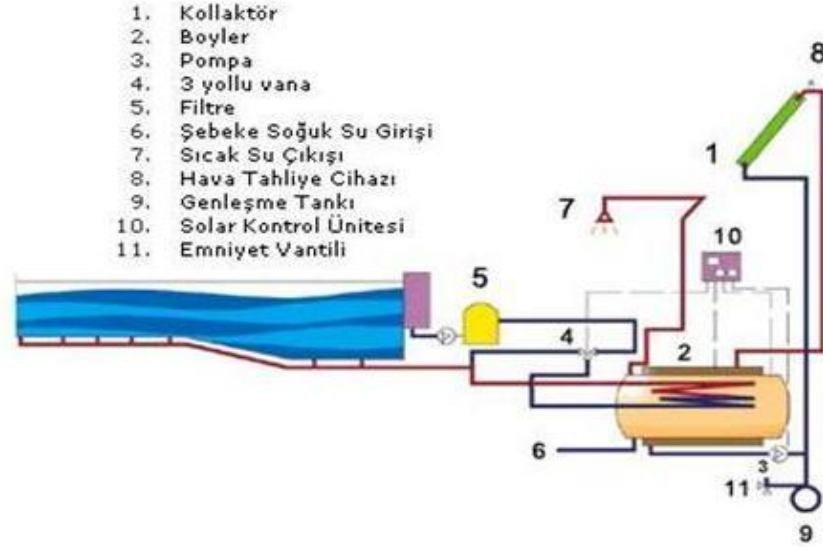
### **3.3.1.2. Vakumlu güneş kolektörleri**

Çalışma sıcaklıkları 100 °C civarında olan bu sistemler, güneş ışınım enerjisini iç içe bulunan iki tüpün içinden geçen akışkanı aktarma prensibiyle çalışmaktadır. İki tüp arası vakumlanmıştır. Böylece tüpten çevreye ısı kaybı azaltılmıştır.

### **3.3.1.3. Güneş havuzları**

Güneş havuzları, tuzlu suyun kaynama noktasının altındaki sıcaklıklarda güneş enerjisinin toplanmasını ve depolanmasını sağlar. Suyla kaplı havuzun zemini siyah renkli olup güneş ışınlarını yakalar. Havuzdaki ısı dağılımı, suya eklenen tuz (sodyum klorür ve magnezyum klorür) konsantrasyonu ile ayarlanır. Bu sistem kullanılmasıyla havuz suyu 90-95 °C sıcaklığa çıkabilmektedir. Güneş havuzlarıyla sıcak su elde edilebildiği gibi elektrik üretimi de yapılmaktadır.





Şekil 3.6. Güneş havuz sistemi (Genç Bilim,2010)

### 3.3.2. Orta sıcaklık uygulamaları

Orta sıcaklık uygulamalarında yoğunlaştırıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler güneş ışınlarını yansıtarak ya da kırarak doğrusal (çizgisel) ya da noktasal şekilde yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yoğunlaştırma işlemi ile 300 °C kadar sıcaklıklar elde edilebilir. İstenilen sıcaklıklara ulaşmak ve verimi yükseltmek için yoğunlaştırıcı sistemlerde güneş takip mekanizması kullanılır. Güneş ışınlarını yansıtma için aynalar ya da alüminyum levhalardan yararlanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarından bazıları,

- Sanayi için sıcak su ve buhar temini
- Büyük alanların ısıtılması ve soğutulması
- Elektrik üretimidir.

### 3.3.3. Yüksek sıcaklık uygulamaları

300 °C'nin üzerinde sıcaklık elde edilen bu sistemlerde, güneş ışınlarını noktasal olarak yoğunlaştıran sistemler kullanılmaktadır. Güneş ışınlarını yansıtma için aynalardan yararlanılmıştır. Metallerin ısıtılması, kesilmesi ve kalıplanmasına, elektrik üretilmesinde bu sistemlerden yararlanılabilmektedir.

### 3.4. Güneş Yoğunlaştırıcı Sistemler

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını belirli bir bölgeye yoğunlaştıran sistemlerdir. Bu sayede yoğunlaştırma yapılan bölgenin sıcaklığı yükseltilmiş olur. Güneş yoğunlaştırıcı sistemler noktasal ve doğrusal yoğunlaştırma yapabilmekte ve yüksek sıcaklıklara çıkılabilmektedir.

Güneş yoğunlaştırıcıları, güneş ışınlarını yoğunlaştırma işini yansıtıcı yüzeylerle yapmaktadır. Yansıtıcı yüzey üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur. Dolayısıyla güneş ışınları belirli bir kayıpla yoğunlaştırılmış olur. Yoğunlaştırma yapılan yüzeyin sıcaklığı yükselmektedir. Yüzeyden ısı transfer akışkanına iletim ya da taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. Dış yüzeyin sıcaklığı belirli bir süreden sonra çevre ortamın sıcaklığından yüksek olacağından dış yüzeyden çevre ortama taşınım ile ısı geçişi olur. Bu durum sistem için ısı kaybıdır.

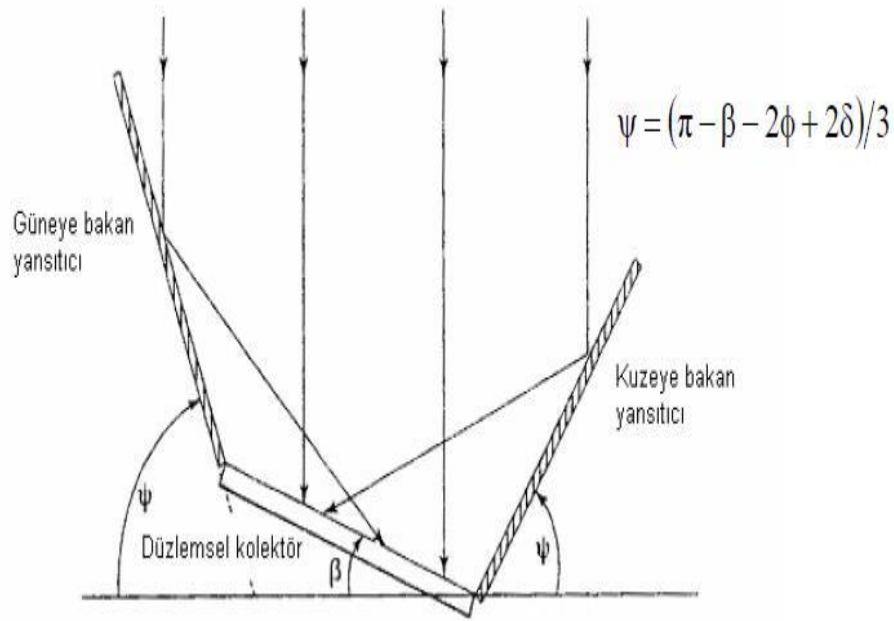
Güneş yoğunlaştırma sistemleri,

- Düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcılar
- Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılar
- Birleşik parabolik yoğunlaştırıcılar
- Frensel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar
- Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar
- Güneş kuleleri

şeklinde çeşitlere ayrılırlar. Bu sınıflandırma yoğunlaştırma işinin çizgisel ya da noktasal olarak yapılmasına göre oluşturulmuştur. Burada düzlem yansıtıcı düzlemsel yoğunlaştırıcılar, parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları, frensel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar ve birleşik parabolik yoğunlaştırıcı çizgisel odaklamalı, parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcılar ve sabit dairesel odaklayıcı ve hareketli alıcı yoğunlaştırıcılar noktasal odaklamalıdır.

### 3.4.1. Düzlem yansıtıcılı düzlemsel yoğunlaştırıcılar

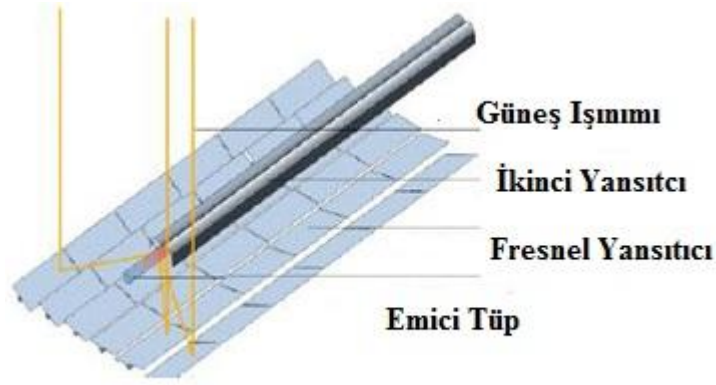
Düzlemsel kollektörün çevresine yansıtıcı yüzeyler yerleştirilerek oluşturulmuş sistemlerdir. Sistemde kullanılan yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınımını ayna gibi ya da difüz şeklinde yansıtabilirler. Gelen ışınımın difüz kısmını da kullanmaları bu sistemlerin avantajlarından. Sistemin çalışma sıcaklıkları 140-150 °C'lere çıkabilmektedir. Güneş ışınlarını yoğunlaştırma oranları 1-4 aralığındadır.



Şekil 3.7. Düzlem yansıtıcılı düzlemsel yoğunlaştırıcı (Kıncay, 2008)

### 3.4.2. Fresnel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar

Çalışma prensibi olarak parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları gibi çalışmaktadırlar. İki sistem arasındaki en belirgin fark bu sistemlerde yansıtıcı yüzey olarak düzlemsel aynalar kullanılmaktadır. Fresnel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar güneşi tek eksenden takip ettiklerinden ve çizgisel odaklama yaptıklarından verimler diğer yoğunlaştırıcı yoğunlaştırıcılara göre düşüktür. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının kullanıldığı her yerde kullanılabilirler ve maliyetleri daha düşüktür.



**Şekil 3.8.** Fresnel mercekli kollektörün şematik gösterimi (Songür, 2008)



**Şekil 3.9.** Fresnel mercekli kolektör (Songür, 2008)

### 3.4.3. Paraboloidal çanak tipi yoğunlaştırıcılar

Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcılar noktasal olarak yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları sistemin odakta yer alan Stirling motor üzerine yoğunlaştırılarak enerji elde etme yöntemine dayanmaktadır. Sisteme yoğunlaştırılan ısı enerjisi, sistemin odak bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling motor yardımı ile

elektrik enerjisine çevrilebilir. Sistemin güneşi iki eksenle takibi ile sürekli olarak güneş izlenerek sistemin ısı verim artırılır. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilir.

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



**Şekil 3.10.** Paraboloidal çanak yoğunlaştırıcı (Bilgiustam, 2009)

Elektrik üretiminden başka, bu kollektörler buhar ya da sıcak hava üretimi için de kullanılır. Ayrıca, endüstride buhar üretimi, yer altı enjeksiyonu, petrol çıkartılması gibi işlemler için kullanılır. Sistemin yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı diğer güneş sistemlerden daha az kullanılmaktadır.

#### **3.4.4. Güneş kuleleri**

Güneş kule sistemleri merkezi alıcı güç santralleridir. Sistem heliostat adı verilen büyük bir alana yerleştirilmiş çok sayıda yansıtıcılarla gelen güneş ışınlarını heliostatların merkezinde bulunan kulenin tepesine yoğunlaştırır. Heliostatlar, merkezi bir bilgisayar yardımı ile güneşi takip ederek güneş enerjisini kule üzerindeki alıcıya yansıtırlar. Yoğunlaştırılmış yüksek ısı enerjisi alıcıdaki akışkanı ısıtır. Isınan akışkan

buhar jeneratörüne gönderilerek buhar üretilir. Üretilen buharda buhar türbininden geçirilerek elektrik enerjisi elde edilir. Çevrimi tamamlayan buhar kondansatörde soğutma suyu çevrimi ile soğutulur ve sisteme geri gönderilir. Isı transfer akışkanı buhar jeneratöründen geçtikten sonra alıcıya gönderilir.



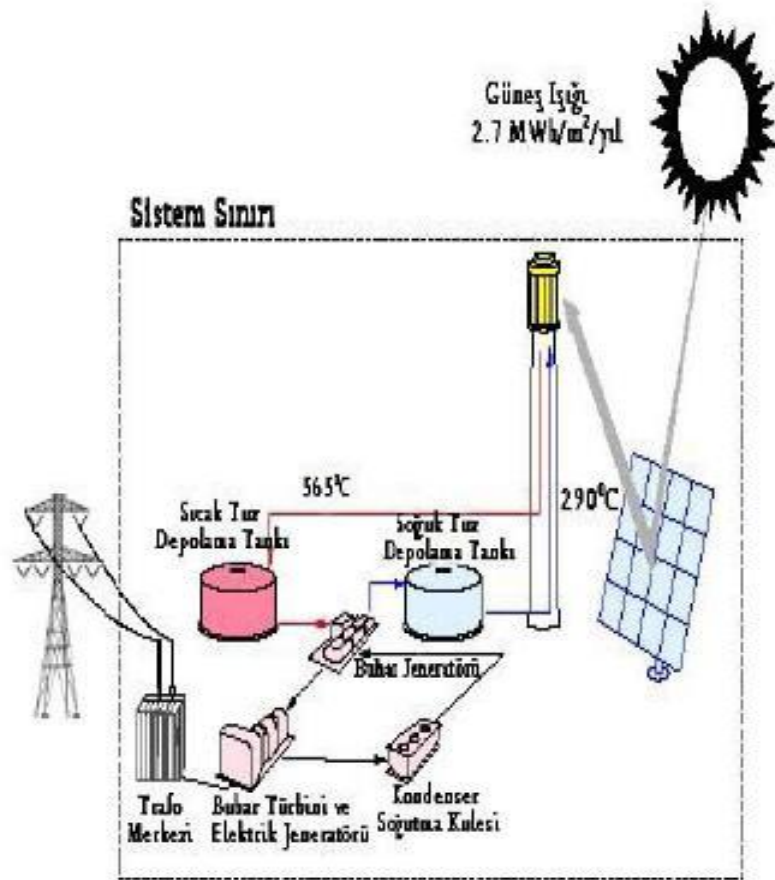
**Şekil 3.11.** Güç kulesi (Kıncay, 2008)

Güneş kulelerinin ilk yatırım maliyeti, klasik fosil yakıtlı enerji sistemlerine göre daha yüksek olmakla beraber diğer güneş enerji sistemleri gibi yanma sonucu çevreye atılan emisyonlarının oluşmaması, ayrıca sınırsız bir enerji kaynağı olması sistemin avantajıdır. Yapılan araştırmalarda ilk yatırım maliyetinin, daha ileri teknoloji ile tasarlanıp kule sayısı artırılarak düşürülmesi beklenmektedir. Sistemin bir diğer avantajı da buhar türbininde meydana gelen çürük buharın düşük enerji ihtiyaçlı diğer endüstriyel proseslerde kullanılmasıdır. Bu sayede sistemin tasarrufu artar (Kıncay, 2008).

Sistemde heliostat denilen yansıtıcı yüzey olarak aynalar kullanılmaktadır. Heliostatların güneşi iki eksenle takip edilmesi sağlanmaktadır. Her heliostat

birbirinden bağımsız olarak hareket eder. Isı transfer akışkanı olarak yağ ya da su kullanılabilir. Sistemde kullanılan ısı transfer akışkana göre ortalama 600 °C üzerinde sıcaklıklara ulaşılabilir. Heliostatların yerleşimi için büyük alanlara ihtiyaç vardır. Güneş kulesini çevreleyen heliostat alanı, tesisin yıllık verimini optimize edecek şekilde planlanır. Tipik bir kurulumda güneş enerjisinin toplanması, türbine buhar sağlayacak maksimum gereksinim değerinin aşılmasıyla meydana gelir.

Güneş kulelerinin güneşin olmadığı zamanlarda da çalışmasını sağlamak için depolama sistemleri geliştirilmiştir. Böylece sistemin sürekliliği sağlanır. Güneş güç kulesi sisteminde, 290 °C'da sıvı haldeki tuz eriği, soğuk depolama tankından alıcıya doğru pompalanır. Burada sıcaklığı 565 °C'ye kadar çıkarılarak sıcak depolama tankına gönderilir. Tesisten güç çekileceği zaman sıcak tuz, klasik bir Rankine çevrim türbini- (jeneratör) sistemi için aşırı kızdırılmış buhar üreten bir buhar üretme sistemine pompalanır. Buhar jeneratöründeki tuz soğuk tanka geri dönerek depolanır ve sonunda da alıcıda yeniden kızdırılır (Kıncay, 2008).



Şekil 3.12. Depola sistemli güneş kulesi (Kıncay, 2008)

### 3.4.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları

Yansıtıcı yüzey kısmı parabolik şekilde olan bu yoğunlaştırıcılar güneşten gelen ışınlarını, parabolün merkezinde yer alan toplayıcı kısma yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Toplayıcı kısmına gelen ışınlar, bu kısımda bulunan emici boru içindeki akışkana aktarılarak enerji toplanmış olur. Tezin asıl konusu olan bu sistemler 4. Bölümde daha detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3.13. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı (Kıncay, 2008)



## BÖLÜM IV

### PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ

#### 4.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü (Yoğunlaştırıcısı)

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı, yoğunlaştırıcı sistemlerin en çok kullanılanıdır. Bu sistem parabol şeklinde bir yansıtıcı yüzey, toplama kısmında bulunan emici boru ve emici boruyu çevreleyen cam örtü, takip mekanizması, ısı transfer akışkanı, sistemi taşıyan gövdeden oluşmaktadır.

Güneşten ışınlar ilk önce sistemin yansıtıcı yüzeyine gelir. Parabol şeklindeki bu yüzey ışınları parabolün odak noktasında bulunan ve eksen boyunca uzayan toplayıcı kısımdaki emici boruya yoğunlaştırır. Bu işlem sonunda sıcaklığı yükselen emici borudan, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanına ısı transferiyle enerji aktarımı olarak akışkanın sıcaklığı yükseltilir.

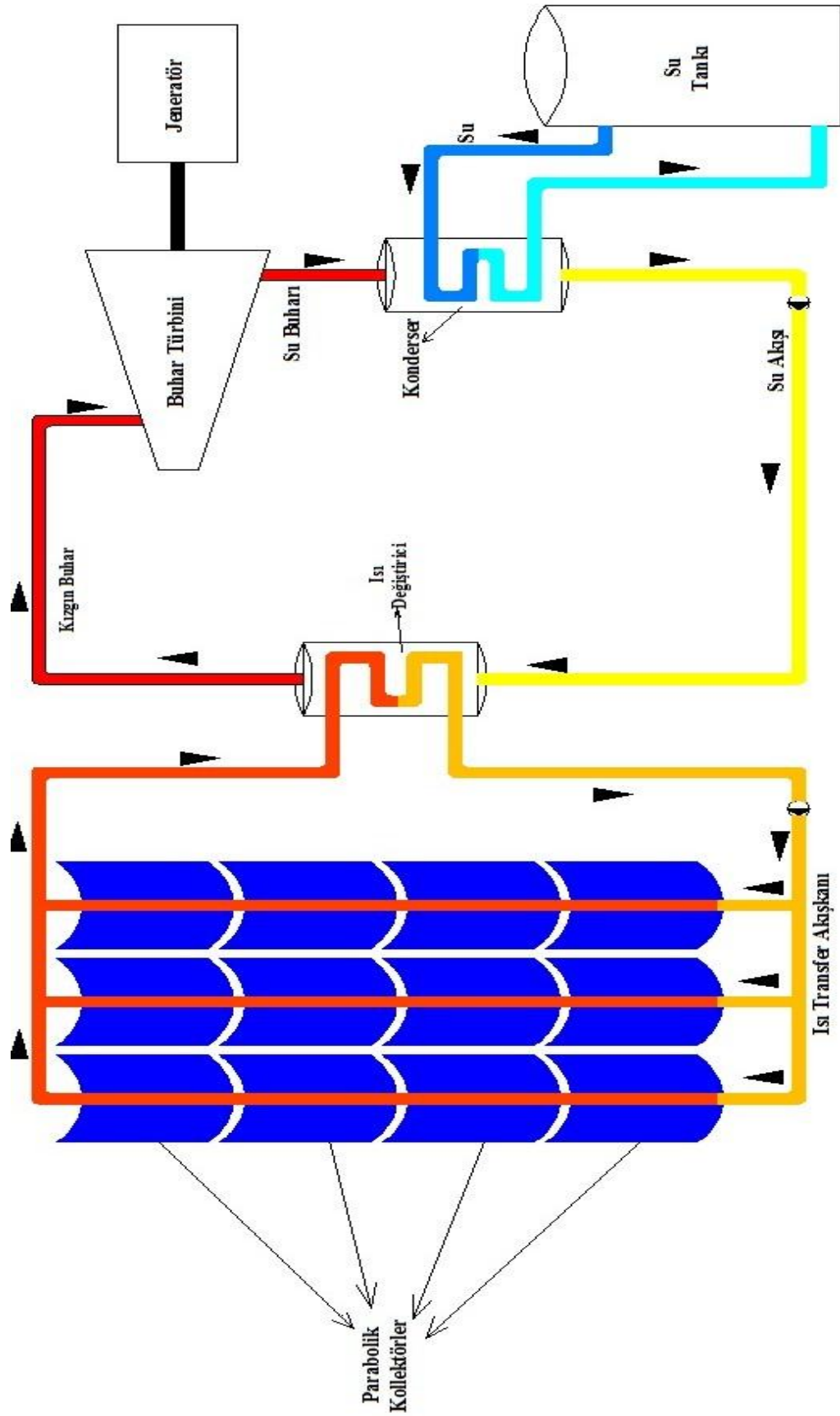
Sıcaklığı yükselen akışkan ile dolaylı yoldan ya da direkt olarak buhar ve elektrik üretimi yapılabilmektedir. Eğer ısı transfer akışkanı olarak yağ kullanılırsa dolaylı yoldan buhar ya da elektrik üretimi yapılır. Yoğunlaştırma işlemi sonucunda sıcaklığı yükselen yağ ısı enerjisini, yağdan daha düşük sıcaklıktaki suya ısı değiştiriciler aracılığıyla aktararak suyun buharlaşması sağlanır. Buhar halindeki su buhar türbinine gönderilerek elektrik üretimi yapılır. Eğer ısı transfer akışkanı olarak su kullanılırsa, ısı değiştiricisine gerek kalmadan yoğunlaştırma işlemiyle su buhar haline geçirilebilir. Bu buharda daha sonra elektrik üretimi için buhar türbinine gönderilir.



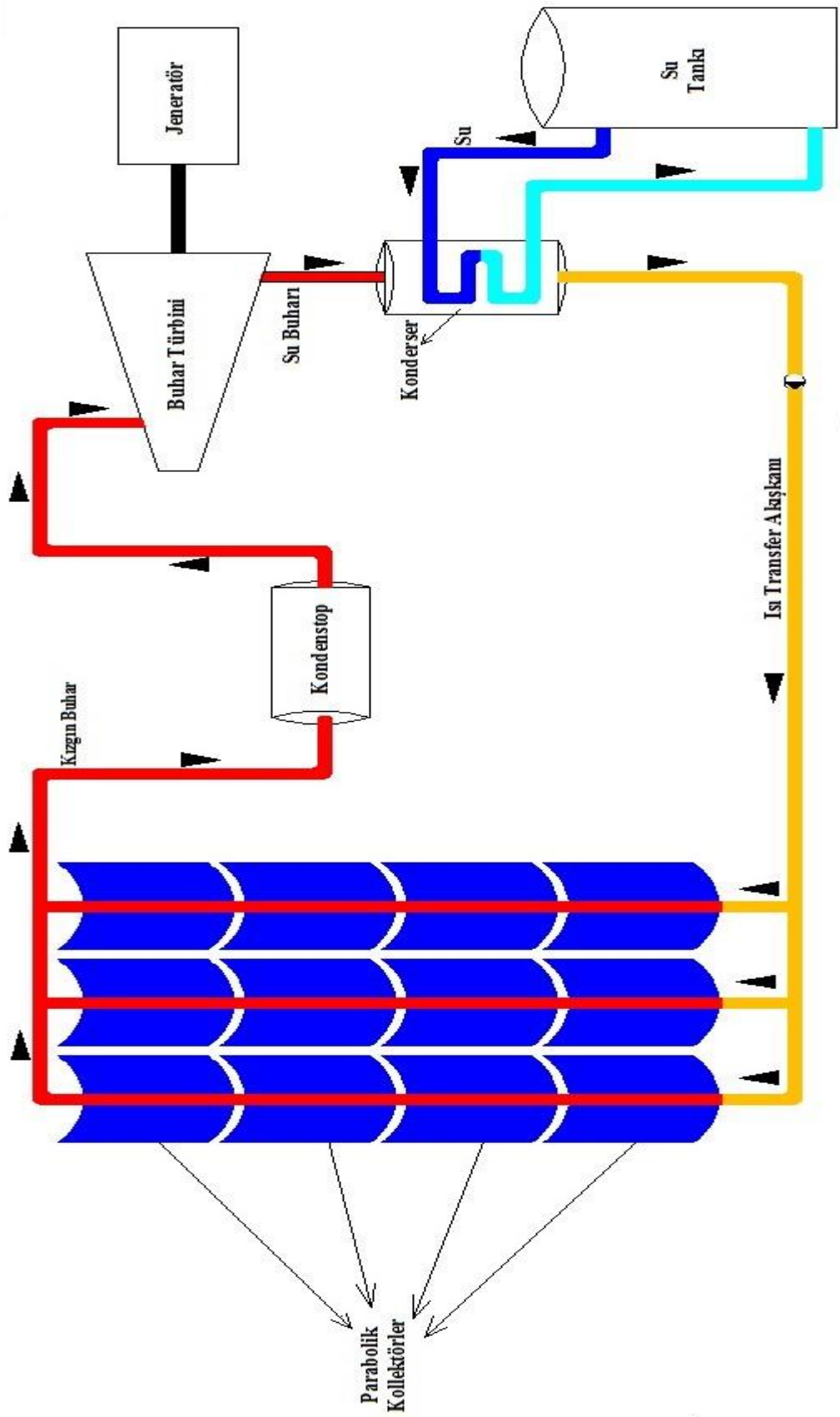
**Şekil 4.1.** Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı (Kearney, 2007)



**Şekil 4.2.** Parabolik güneş santrallerinde yoğunlaştırıcıların dizilişi (Kearney, 2007)



Şekil 4.3. Isı transfer akışkanı olarak yağ kullanılması durumunda parabolik sistemin şematik gösterimi

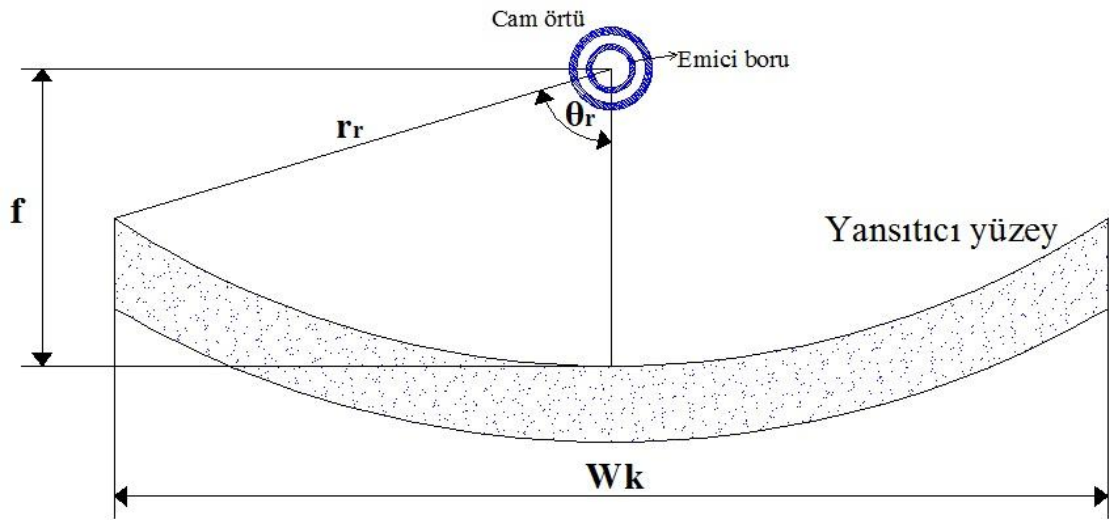


Şekil 4.4. Isı transfer akışkanı olarak su kullanılması durumunda parabolik sistemin şematik gösterimi

Sistemin amacı güneşten gelen ışınları en az kayıpla ısı transfer akışkanına aktarmaktır. Bu amaç doğrultusunda sistemde kullanılacak malzemeler ve sistemin tasarımı, sistemin kurulacağı yer ve sistemin çevre ortamla ilişkisi çok önemlidir.

#### 4.2. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Boyutlandırılması Hesabı

Parabolik yoğunlaştırıcının performans hesapları yapılmadan önce sistemin boyutlandırılması gerekmektedir. Parabolik yoğunlaştırıcının iki boyutlu görünümü ve önemli değerleri Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcının genel parabolik yüzey denklemi aşağıda verilmiştir.

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

x ve y eksenlere olan uzaklıklar, f ise odak uzaklığıdır.

Kenar açısı (Beckman, 2006);

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

olarak tanımlanır.

Yansıtıcı yüzeyin herhangi bir noktasındaki yerel yansıtıcı yarıçapı aşağıdaki gösterilmiştir (Beckman, 2006).

$$r = \frac{2f}{1 + \cos\theta} \quad (4.3)$$

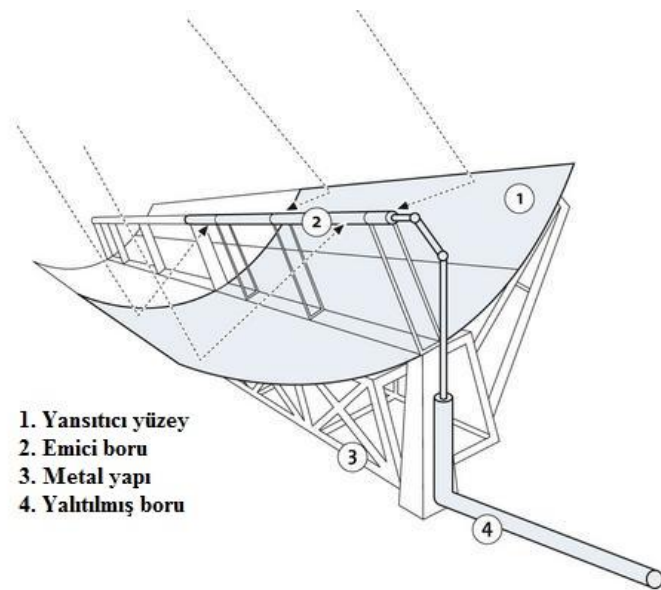
Parabolik yüzeyin uzunluğunu bulmak için, parabolün orta noktasını 0,0 olarak kabul edersek, aşağıdaki eşitliğe göre hesaplarız.

$$L_{PYU} = 2 \int_a^b \left( \sqrt{1 + (y')^2} \right) dx \quad (4.4)$$

Emici boru için gerekli minimum çap (Beckman, 2006);

$$D_{min} = \frac{W_k}{\sin\theta_r} \sin(\theta_s + \delta/2) \quad (4.5)$$

olarak hesaplanır.



**Şekil. 4.6.** Parabolik yoğunlaştırıcının üç boyutlu hali

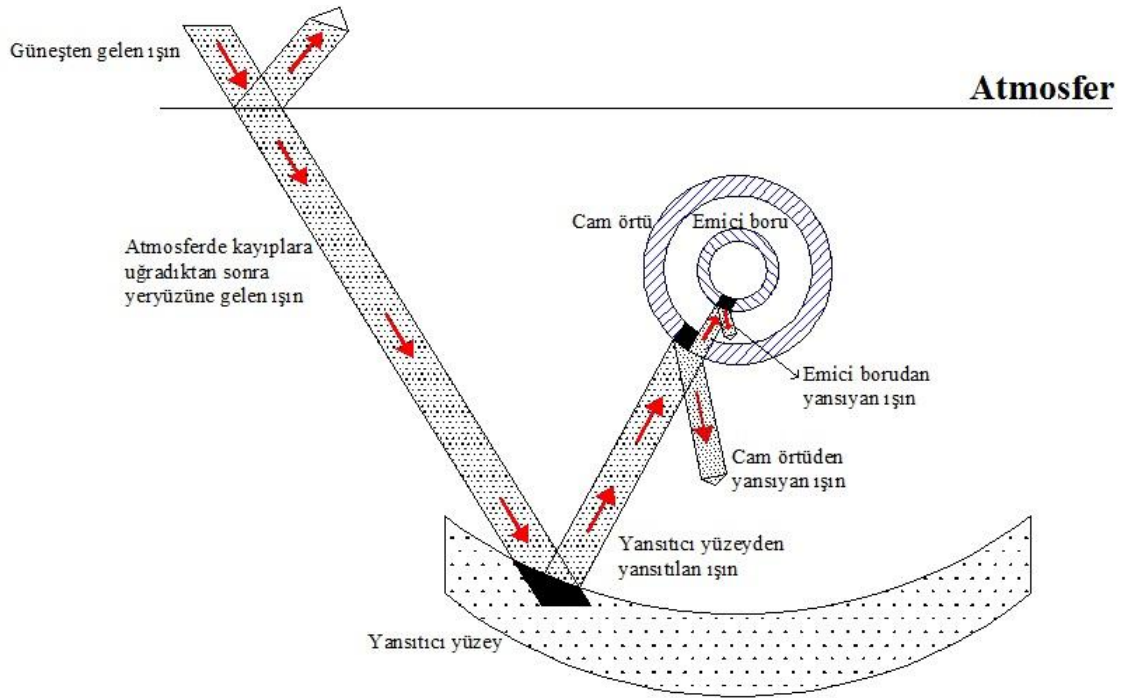
Yoğunlaştırıcı sistemlerde güneş ışınları, sistemin odağında bulunan toplayıcı kısmına noktasal ya da doğrusal yoğunlaştırma yapılmaktadır. Yoğunlaştırma işleminden dolayı karşımıza yoğunlaştırma oranı tanımı çıkmaktadır. Literatürde bu tanım geometrik yoğunlaştırma oranı ve ışın şiddeti yoğunlaştırma oranı iki farklı şekilde kullanılır. Işın şiddeti yoğunlaştırma oranı güneş ışın şiddetinin, yüzey üzerine düşen güneş ışınması şiddeti olarak tanımlanır. Geometrik yoğunlaştırma oranı, yansıtıcı yüzey alanının emici yüzey alanına oranı şeklinde tanımlanır. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları doğrusal yoğunlaştırma yapan sistemlerdir ve hesaplamalarında geometrik yoğunlaştırma oranı kullanılır. Yoğunlaştırma oranı (Beckman, 2006):

$$YO = \frac{D}{\pi d} \quad (4.6)$$

şeklinde hesaplanır.

#### **4.3. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcılarda Optik Kayıp Ve Analizi**

Güneşten gelen ışınlar, ısı transfer akışkanına aynı şiddetle ulaşmaz. Belirli kayıplara uğradıktan sonra iş akışkanına ulaşırlar. Güneşten çıkan ışınlar atmosferde kayıplara uğrayarak dünyaya gelir. Atmosferi geçen ışınlar ısı transfer akışkanına gelene kadar sırasıyla, yansıtıcı yüzey, cam örtü ve emici boruda optik kayıplara uğrarlar.



**Şekil 4.7.** Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıdaki ışın transfer şeması

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi güneşten çıkan ışınlar ilk önce atmosferde belirli bir kayba uğradıktan sonra yeryüzüne ulaşırlar. Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları, yansıtıcı yüzey malzemesinin soğurma katsayısına bağlı olarak yansıtıcı yüzey tarafından bir kısmı soğurularak yansıtılır. Yansıtıcı yüzeyden yoğunlaştırılan ışınlar toplayıcı kısımda ilk önce cam örtüye gelir. Cam örtü malzemesinin yansıtma katsayısı ve soğurma katsayısına göre bu yüzey gelen ışınların bir kısmı geri yansıtılır, bir kısmı soğurularak geçirilir. Cam örtüden geçen güneş ışınları emici boruya gelir. Emici boru yansıtma ve soğurma katsayısına bağlı olarak güneş ışınlarının bir kısmı yansıtılıp bir kısmı emici boru tarafında soğurularak ısı transfer akışkanına geçirilir.

Her kademedeki optik kayıp ve optik verimlerin tek tek belirlenmesi ve bize işlemlerde kolaylık sağlaması için şekil 4.1’de görülen ışınları adlandırarak olursak,

$G_I$  = Sabit güneş ısı akısı ( $1367 \text{ W/m}^2$ )

$G_{I_A}$  = Atmosferde kayıplara uğradıktan sonraki güneş ışınları (Direkt gelen)

$G_{I_{YY}}$  = Yansıtıcı yüzeye düşen güneş ışınları (Dik olarak)

$G_{I_{YO}}$  = Yansıtıcı yüzeyden odağa yönlendirilen güneş ışınları

$G_{I_C}$  = Cam örtüye isabet eden güneş ışınları

$G_{I_{EB}}$  = Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınları



$G_{IE}$ =Boruda depolanan güneş ısısı şeklinde olur.

Bu bilgiler doğrultusunda sistemin optik verimi,

$$\eta_{optik} = \frac{G_{IE}}{G_A} \quad (4.7)$$

olarak tanımlanır. Şekil 4.1'deki ışın şemasındaki her kademedeki verim,

$$\eta_1 = \frac{G_{YO}}{G_{YY}} \quad : \text{Yansıtıcı yüzey yansıtma optik verimi (Literatürde gelme açısı düzeltme faktörü olarak tanımlanır.)}$$

$$\eta_2 = \frac{G_{YO}}{G_{YY}} \quad : \text{Yansıtıcı yüzey yansıtma optik verimi}$$

$$\eta_3 = \frac{G_C}{G_{YO}} \quad : \text{Yansıtıcı yüzey odaklama verimi (Literatürde kesişim faktörü olarak tanımlanır.)}$$

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

$$\eta_5 = \frac{G_{IE}}{G_{EB}} \quad : \text{Emici boru optik verimi}$$

$$\eta_{optik} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \quad (4.8)$$

Verilen bilgiler doğrultusunda toplayıcı kısmındaki emici borunun yutması gereken enerji  $Q_G$  olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

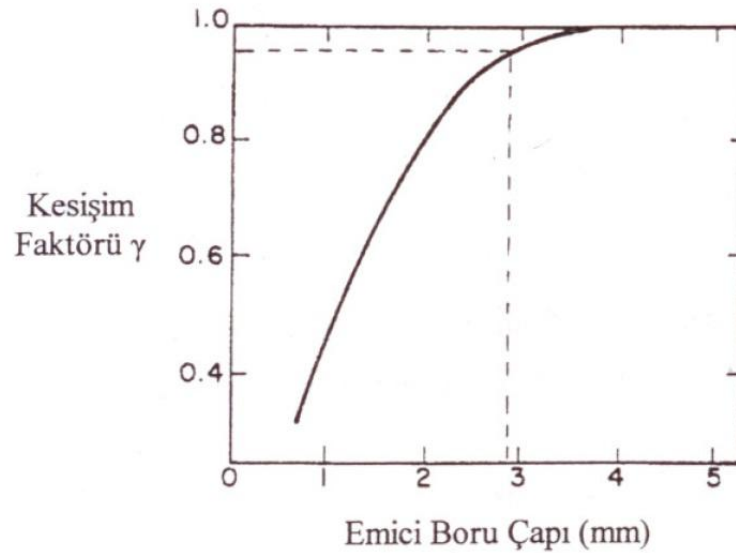
$$Q_G = G_A * \eta_{optik} = G_A * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 * \eta_5 \quad (4.9)$$

$$G_{YO} = G_A * \rho_y * \eta_1 \quad (4.10)$$

$$G_{EB} = G_{YO} * \tau_{cö} * \eta_3 \quad (4.11)$$

$$Q_G = GI_{IE} = GI_{EB} * \alpha_{eb} \quad (4.12)$$

Yukarıdaki denklemlerden  $\eta_3$  kesişim faktörü olarak tanımlamıştık. Kesişim faktörü, parabolik yansıtıcı yüzey tarafından yansıtılan güneş ışınlarının emici yüzeyde toplanan kısmını ifade etmektedir. Literatürde  $\eta_3 \geq 0.9$  verilmektedir (Çolak, 2003). Yansıtıcı yüzeyin kirli olması  $\eta_3$  değerini düşürmektedir. Bu yüzden yansıtıcı yüzey sürekli temiz tutulmalıdır. Emici boru çapının artırılması ile  $\eta_3$  değeri artırılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken emici boru çapı artırılırken ısı kayıplarında artacağıdır. Bu nedenle  $\eta_3$ 'i arttıracak optimum emici boru çapının seçilmesi gereklidir.



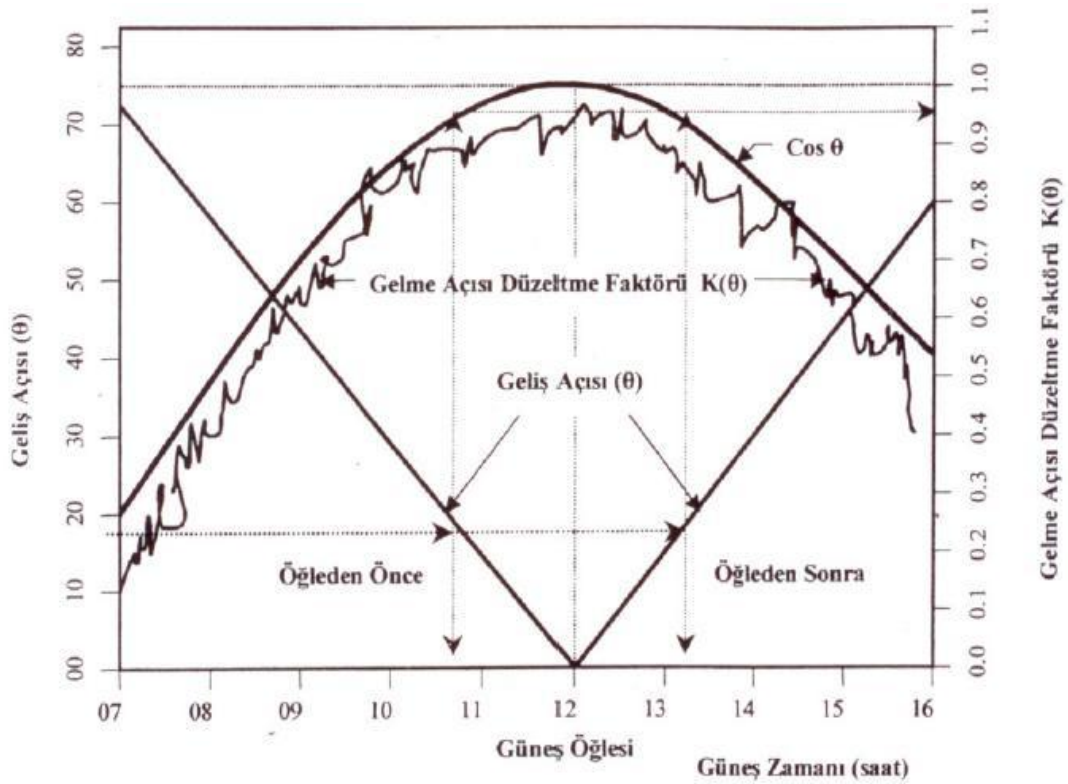
**Şekil 4.8.** Kesişim faktörünün emici boru çapına göre değişimi (Beckman, 2006)

$\eta_1$  gelme açısı düzeltme faktörüdür. Kollektör açıklık alanına belirli bir açıda gelen güneş ışınlarının optik veriminin, dik geldiği konumdaki optik verimine oranıdır.  $\eta_1$  yansıtıcı yüzey açıklık alanına gelen ışının geliş açısının bir fonksiyonu olup, yüzey normalinden olan sapmalarını hesaba katmak için kullanılır. Literatürde K olarak gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Beckman, 2006).

$$K(\theta) = \cos\theta \quad (4.13)$$

Gelme açısı düzeltme faktörünün belirlenmesi için TS 9449 standartları kullanılır. Literatürde test sonuçları verilen IST parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısına ait

verilerden elde edilen güneş zamanı ve gelme açısı  $\theta$ 'ya bağlı olarak  $\cos\theta$  ve deneysel olarak bulunan gelme açısı düzeltme faktörü  $K(\theta)$ 'nın değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.9. Gelme açısı düzeltme faktörünün geliş açısına göre değişimi (Beckman, 2006)

Kollektör boyları kısaltıldıkça uç nokta ışın kayıplarının, toplam ulaşan ışına oranı artmakta ve bu nedenle büyük önem kazanmaktadır. Bu yüzden kısa kollektörlerin testlerinde uç nokta ışın kayıplarının etkisini dikkate alan, aşağıda verilen korelasyon Rabl tarafından geliştirilmiştir ve aşağıdaki gibidir (Beckman, 2006).

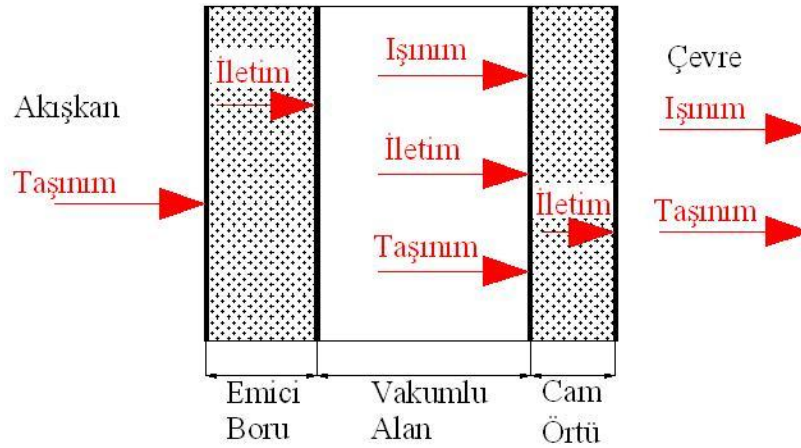
$$K(\theta) = 1 - \frac{f}{L_k} \left( 1 + \frac{W_k^2}{48f^2} \right) \tan\theta \quad (4.14)$$

Buraya kadar güneşten gelen ışınların, toplayıcı kısmındaki emici boruya gelene kadar ki optik kayıplarının nasıl hesaplanacağı ve emici boruya yüzeyine gelen güneş ışınım değerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

#### 4.4. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcıda Isıl Kayıp

Sistemde optik kayıpların yanı sıra ısı kayıplarda meydana gelmektedir. Yansıtıcı yüzeyden odak da yer alan emici boruya yansıtılan güneş ışınlarının büyük bir bölümü emici boru tarafından yutulur. Bu işlem sonunda emici boru içinde geçen akışkanın sıcaklığı yükselir. Dolayısıyla akışkan ve çevre arasında sıcaklık farkı oluşur. Bunun sonucunda da akışkandan çevreye ısı transferi meydana gelir.

Akışkandan çevreye olan ısı transferi; akışkanla emici boru yüzeyi arasında taşınım, emici boru iç yüzeyi ve dış yüzeyi arasında iletim, emici boru dış yüzeyiyle cam örtünün iç yüzeyi arasında iletim-taşınım-ışınım (eğer vakumlu alan içindeki hava tam olarak alınmışsa iletim-ışınım, alınmamışsa taşınım-ışınım), cam örtü iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında iletim, cam örtü dış yüzeyiyle çevre arasında taşınım-ışınım şeklinde olmaktadır. Literatürde cam örtünün et kalınlığı diğer boyutlara oranla çok küçük kabul edildiğinden cam örtü iç yüzeyiyle dış yüzeyi arasında iletimle olan ısı kayıpları ihmal edilebilir (Beckman, 2006). Şekil 4.4'de ısı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması gösterilmiştir.



**Şekil 4.10.** Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması

Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılarda meydana gelen ısı kayıpları,

- Çevre sıcaklığı
- Rüzgâr hızı

- Akışkan özellikleri (sıcaklık, basınç, viskozite...)
- Kollektöre gelen direkt güneş ışınım şiddeti
- Kollektör boyutları
- Cam örtünün boyutu ve özellikleri
- Emici boru (selektif malzemeyle kaplanmış) boyutu ve özellikleri (ısı iletim katsayısı, kalınlığı, Işın yutma ve yayma oranı) ısı kayıpları etkileyen faktörlerdir.

Görüldüğü gibi ısı kayıplar daha çok sistemin emici boru-cam örtü kısmında olmaktadır. Emici boru sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça ısı kayıplar artmaktadır.

Emici borudan çevreye olan ısı kaybını  $Q_k$  olarak tanımlarsak, emici boru ile cam tüpün iç yüzeyi arasındaki ışıma ve iletim ısı transferi toplamına eşit olmaktadır (Beckman, 2006).

$$Q_k = \frac{2\pi k_{eff} L}{\ln\left(\frac{D_{cöi}}{D_{ebd}}\right)} (T_{eb,ort} - T_{cöi}) + \frac{\pi D_{ebd} L \sigma (T_{eb,ort}^4 - T_{cöi}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{eb}} + \frac{1 - \epsilon_{cö}}{\epsilon_{cö}} \left(\frac{D_{ebd}}{D_{cöi}}\right)} \quad (4.15)$$

Eşitlik 4.15'i daha sade bir biçimde yazarsak (Beckman, 2006);

$$Q_k = (h_{ebt} + h_{ebi})(T_{eb,ort} - T_{cöi}) \quad (4.16)$$

Burada,  $h_{ebt}$ : Emici boru yüzeyi ile cam örtü arasındaki ısı taşınım katsayısı

$h_{ebi}$ : Emici boru yüzeyi ile cam örtü arasındaki ışıma eşdeğer ısı taşınım katsayısı

Yatay emici boru ile eşmerkezli cam örtü arasındaki halka şeklinde çevrilmiş doğal taşınım ısı transfer katsayısı  $h_{ebt}$ , Raithby ve Hollands'a ait korelasyon kullanılarak aşağıdaki gibi tanımlanır (Beckman, 2006).

$$h_{ebt} = \frac{2 * k_{eff}}{D_{ebd} * \ln(D_{cö}/D_{ebd})} \quad (4.17)$$

$k_{eff}$  etkin iletim katsayıdır. Literatürde emici boru ile cam örtü arasındaki alanda eğer hava tam boşaltılmışsa taşınım ile ısı transferi olmaz. Ancak içeride hava bulunursa, hava hareketsiz olacağından iletimle ısı transferi olacağı söylenmektedir. Bundan dolayı iletimle ısı transferi doğal taşınımın da etkisi düşünülerek hesaba alınır. Bu yüzden hesaplama da ısı iletim katsayısı  $k$  yerine  $k_{eff}$  katsayısı kullanılır (Kıncay, 2008).

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0.317(Ra^*)^{1/4} \quad (4.18)$$

$k_{eff}$ : hareketli hava ile aynı miktardaki ısı iletmesi gereken boşluktaki hareketsiz havanın ısı iletkenliği olarak tanımlanan etkin ısı iletim katsayısı.

$Ra^*$ : Düzeltilmiş Rayleigh sayısı

$$(Ra^*)^{1/4} = \left[ \frac{\ln(D_{ebd}/D_{cöi})}{b^{3/4}(1/(D_{ebd})^{3/5} + 1/(D_{cöi})^{3/5})^{5/4}} \right] Ra^{1/4} \quad (4.19)$$

$$Ra = \frac{g * \beta * \Delta T * L^3}{\alpha * \nu} \quad (4.20)$$

Ra: Rayleigh sayısı

g: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

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

$\beta$ : Hacimsel genleşme katsayısı ( $\beta = 1/T_{eb,cö}$ )

$T_{eb,cö}$ : Emici boru ile cam örtü arasındaki ortalama sıcaklık ( $T_{eb,cö} = \frac{T_{ebd} + T_{cöi}}{2}$ )

$\alpha$ : Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın  $T_{eb,cö}$  sıcaklığındaki ısı yayılım hızı

$\nu$ : Emici boru ile cam örtü arasındaki havanın  $T_{eb,cö}$  sıcaklığındaki kinematik viskozitesi

L: Emici boru ile cam örtü arasındaki boşluk ( $L = \frac{D_{cöi} - D_{ebd}}{2}$ )

Eşitlik 4.16'deki  $h_{eb1}$  katsayısı (Beckman, 2006);

$$h_{eb1} = \frac{\sigma(T_{ebd}^2 + T_{cöi})(T_{ebd} + T_{cöi})}{\frac{1 - \epsilon_{eb}}{\epsilon_{eb}} + \frac{1}{F_{rc}} + \left(\frac{1 - \epsilon_{cö}}{\epsilon_{cö}}\right) \frac{D_{ebd}}{D_{cöi}}} \quad (4.21)$$

şeklinde tanımlanır.

Emici boru ile cam örtü arasındaki olan ısı transfer toplamı, cam örtüdeki et kalınlığından dolayı oluşan iletimle ısı transferine, cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ışınlım ve taşınım ile olan ısı transferi toplamına eşittir. Cam örtü et kalınlığından dolayı olan iletimle ısı transferi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$Q_k = \frac{2\pi L k_c (T_{c\ddot{o}i} - T_{c\ddot{o}d})}{\ln\left(\frac{D_{c\ddot{o}d}}{D_{c\ddot{o}i}}\right)} \quad (4.22)$$

Cam örtü dış yüzeyinden çevreye olan ışınlım ve taşınım ile ısı transferi;

$$Q_k = \pi D_{c\ddot{o}d} L_k h_w (T_{c\ddot{o}d} - T_a) + \varepsilon_{c\ddot{o}} \pi D_{c\ddot{o}d} L_k \sigma (T_{c\ddot{o}d}^4 - T_{gk}^4) \quad (4.23)$$

şeklinde gösterilir. Emici boru ile çevre arasındaki ısı kayıp eşitlik 4.24'te gösterilmiştir (Beckman, 2006).

$$Q_k = U_L * A_{ebd} * (T_{ebd} - T_a) \quad (4.24)$$

$U_L$ : Emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı

$$U_L = \left[ \frac{1}{(h_{ebt}) + (h_{eb1})} + \frac{A_{ebd}}{A_c} \frac{1}{(h_{c\ddot{o}t}) + (h_{c\ddot{o}i})} \right]^{-1} \quad (4.25)$$

$A_{ebd}$ : Emici boru dış yüzey alanı

$T_{ebd}$ : Emici boru dış yüzey sıcaklığı

$T_a$ : Çevre ortam sıcaklığı

Buraya kadar emici boru dış yüzeyinden çevreye olan ısı transferi hesaplanmıştır. Emici boru içinde geçen akışkan ile emici boru arasındaki ısı transferi de göz önüne alınacak olursa, emici boru dış yüzeyi ile çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı  $U_L$  yerine, emici boru içindeki akışkandan çevreye olan toplam ısı transfer katsayısı  $U_0$  yazılmalıdır.  $U_0$  katsayısı (Beckman, 2006);

$$U_o = \left[ \frac{1}{U_L} + \frac{D_{ebd}}{h_a D_{ebi}} + \frac{D_{ebd} \ln(D_{ebd} - D_{ebi})}{2k_{ebi}} \right]^{-1} \quad (4.25)$$

olarak gösterilir.

$h_a$ : Emici boru içindeki akışkanın ısı taşınım katsayısı

$k_{ebi}$ : Emici borunun ısı iletim katsayısı

Emici boru içindeki akışkandan emici boru iç yüzeyine taşınım olan ısı transferi olur. Isı taşınım katsayısı ( $h_a$ ) akışın laminar veya türbülanslı olmasına göre farklılık gösterir. Boru içi akışın tam gelişmiş olması varsayılırsa  $h_a$  hesaplanabilir. Bu varsayımın yapılmasının nedeni uzunluk/çap oranının büyük olmasıdır, genellikle 20'den fazladır. Reynold sayısı ( $Re$ ) 2000'den küçükse akış laminardır ve ısı transfer katsayısı  $h_a$  (Çolak, 2003),

$$Nu = 3,66$$

$Re$  sayısı 2000'den büyükse ısı transfer katsayısı  $h_a$ ,

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4.26)$$

denklemlerinden yola çıkarak hesaplanır. Burada;

$Re$ : Reynold sayısı

$Nu$ : Nussel sayısı

$Pr$ : Prandl sayısı

$$Re = \frac{VD_{ebi}}{v_a} = \frac{\rho_a D_{ebi}}{\mu_a} \quad (4.27)$$

$$Pr = c_s \frac{\mu_a}{k_a} \quad (4.28)$$



$$Nu = \frac{h_a D_{ebi}}{k_a} \quad (4.29)$$

$$h_a = \frac{Nu * k_a}{D_{ebi}} \quad (4.30)$$

$k_a$ : Akışkanın ısı iletim katsayısı

$\nu_a$ : Akışkanın viskozitesi

$\rho_a$ : Akışkanın yoğunluğu

$c_a$ : Akışkanın özgül ısı

$V$ : Akışkanın hızıdır. Akışkanın debisi  $\dot{m}$  ise,  $V$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_a \left( \frac{\pi}{4} D_{ebi}^2 \right)} \quad (4.31)$$

#### 4.5. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcıda Isıl Analiz

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcının ısı analiziyle, ısı performans modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda önceden yaptığımız ısı ve optik kayıplarda elde ettiğimiz denklemleri birleştirip sistemimize uyarlarız.

$$Q_{ITA} = Q_G - Q_k \quad (4.32)$$

$$Q_{ITA} = \dot{m} c_s \Delta T_s \quad (4.33)$$

$$Q_G = G I_A A_{kga} \eta_{optik} \quad (4.35)$$

$\Delta T_s$ = Isı transfer akışkanı giriş ve çıkış sıcaklık farkı

$A_{kga}$ = Kollektörün gölgelenmeyen alanı

Yansıtıcı yüzey, yansıtıcı yüzey alanına düşen güneş ışınların hepsini yansıtmaz. Sistemin odak noktasında yer alan ve boydan boya uzanan toplayıcı kısım en dışındaki boru olan cam örtü, yansıtıcı yüzeye alanı üzerine gölgeleme etkisi yapar. Hesaplamalar yapılırken, bu etki dikkate alınarak işlemler yapılır.

$$A_{kga} = A_{ta} - A_g = L_K W_K - L_K D_{cöd} \quad (4.35)$$

Eşitlik 4.32'deki  $Q_k$ 'yi daha önce eşitlik 4.24'de tanımlanmıştı. Bu eşitliklerden yola çıkarak birim kollektör boyunda ısı transfer akışkanına aktarılan güneş ısı enerjisi ( $q_{ITA}$ ) (Beckman, 2006):

$$q_{ITA} = \frac{A_{kga} G I_A \eta_{optik}}{L_K} - \frac{A_{ebd} U_L}{L_K} (T_{ebd} - T_a) \quad (4.36)$$

Literatürde eşitlik 4.36'daki  $T_{ebd}$  yerine, hesaplamaları kolaylaştırmak için ortalama ısı transfer akışkanı sıcaklığı ( $T_s$ ) yazılır. Bunun nedeni  $T_{ebd}$  değerinin bilinmemesi ve belirlenmesinin zor olmasıdır. Bu değişimi yaptıktan sonra eşitlik 4.36'nın hesaplanması için kollektör verim faktörü  $F'$ , ısı kazanç faktörü  $F_R$  ve akış faktörü  $F''$ 'nin belirlenmesi gerekmektedir.  $q_{ITA}$  eşitlik 4.36 eşit olmakla birlikte, ısı transfer akışkanı ile emici boru dış yüzeyi arasındaki ısı transferine (4.37) de eşit olmaktadır. Bu iki eşitlik birbirine eşitlenerek  $T_{ebd}$  yok edilir ve  $q_{ITA}$  eşitlik 4.38' eşitlenir. Eşitlik 4.38'de emici boru dış yüzey sıcaklığı ( $T_{ebd}$ ) yerine hesaplamaları kolaylaştırmak için ısı transfer akışkanı ortalama sıcaklığı ( $T_s$ ) kullanıldı. Ancak ısı transfer akışkanı ile emici boru dış yüzey sıcaklığı gerçekte birbirinden farklıdır. Gerçek durumda bu iki sıcaklığın eşit olması durumu için tanımlanan  $F''$ 'nin kullanılmasıyla  $T_{ebd}$  yerine  $T_s$  kullanılabilir (Beckman, 2006).

$$q_{ITA} = \frac{(A_{ebd}/L_K)(T_{ebd} - T_s)}{\frac{D_{ebd}}{h_f D_{ebi}} + \left( \frac{D_{ebd}}{2k_{eb}} \ln \left( \frac{D_{ebd}}{D_{ebi}} \right) \right)} \quad (4.37)$$

$$q_{ITA} = F'' \frac{A_{kga}}{L_K} \left[ G I_A \eta_{optik} - \frac{A_{ebd}}{A_{kga}} U_L (T_s - T_a) \right] \quad (4.38)$$

$$F'' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_{ebd}}{h_f D_{ebi}} + \left( \frac{D_{ebd}}{2k_{eb}} \ln \left( \frac{D_{ebd}}{D_{ebi}} \right) \right)} \quad (4.39)$$

$$F'' = \frac{U_O}{U_L} \quad (4.40)$$

Eşitlik 4.36'da ısı transfer akışkanına aktarılan faydalı ısı enerjisi  $q_{ITA}$ , yutucu yüzey ve akışkan ortalama sıcaklığına bağlı olarak tanımlanmıştır. Ancak akışkan sıcaklığının akış doğrultusunda değişmesi ve ortalama değerinin tahmininin zor olması nedeniyle, akışkana geçen ısı enerjisi kollektör giriş sıcaklığına bağlı olarak da tanımlanabilir. Kollektör ısı kazanç faktörü ( $F_R$ ), kollektör tarafından toplanan ve ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra ısı transfer akışkanına geçen faydalı ısı enerjisinin, emici yüzeyin her yerinin akışkanın giriş sıcaklığında olması durumundaki ısı transfer akışkanına geçen ısı enerjisi olarak tanımlanır (Beckman, 2006).

$$F_R = \frac{\dot{m}c_s}{A_{ebd}U_L} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_{ebd}U_L F^1}{\dot{m}c_s}\right) \right] \quad (4.41)$$

Kollektör akış faktörü ( $F_F$ ), kollektör ısı kazanç faktörü  $F_R$ 'nin, kolektör verim faktörünün  $F^1$ 'ne oranı olarak tanımlanır. Eğer akışkanın akış yönünde bir sıcaklık artışı yoksa  $F_R = F^1$  alınır. Kararlı hal koşullarında kollektör emici yüzeyinden ısı transfer akışkanına aktarılan ısı ( $Q_{ITA}$ ) eşitlik 4.43 olarak bulunabilir (Beckman, 2006).

$$F_F = \frac{F_R}{F^1} = \frac{\dot{m}c_s}{A_{ebd}U_L F^1} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_{ebd}U_L F^1}{\dot{m}c_s}\right) \right] \quad (4.42)$$

$$Q_{ITA} = F_R A_{kga} \left[ G I_A \eta_{optik} - \frac{A_{ebd}}{A_{kga}} U_L (T_g - T_a) \right] \quad (4.43)$$

## BÖLÜM V

### PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICISININ TASARLANMASI VE DENİZLİ İLİ İÇİN PERFORMANS ANALİZİ

#### 5.1. Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Tasarlanması

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcıları çizgisel yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey üzerine düşen direkt güneş ışınları, yansıtıcı yüzey malzemesinin güneş ışınları soğurma, yansıtma ve yansıtma katsayısı, yansıtıcı yüzeyin tasarım (geometrik) hataları gibi nedenlerle optik kayıplara uğrayarak yansıtılır. Yansıtıcı yüzeyden yansıtılan (yoğunlaştırılan) ışınlar, sistemin odağında yer alan ve kollektör boyunca uzanan emici kısma gelir. Emici kısım cam örtü ve emici borudan oluşur. Cam örtü, yoğunlaştırma işlemi sonucunda sıcaklığı yükselmiş emici borudan çevre ortama ısı transferini azaltmak amacıyla emici boru çevresini kaplayacak şekilde yerleştirilir. Cam örtü malzemesinin güneş ışınları geçirgenliği yüksek, güneş ışınlarını yansıtıcılığı düşük olmalıdır. İç kısmında emici borudaki sıcaklık artışından dolayı yüksek ısılara ve emici boruyu çevrelediğinden onu dış ortamlara karşı (toz, dolu...) koruma görevi de görür. Bu yüzden darbelere dayanıklı olmalıdır. Emici boru malzemesi yansıtıcılığı düşük geçirgenliği yüksek ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalıdır. Emici borunun yansıtıcılığını düşürmek için üzeri selektif yüzey malzemesi ile kaplanır.

Bu bölümde sistem dört kısma ayrılarak ele alınmıştır; yansıtıcı bölüm, emici bölüm, taşıyıcı kısım, izleyici sistemi. Bütün kısımlardaki malzeme seçimi ve tasarımı optik ve ısı kayıplar en aza indirecek şekilde, ekonomik ve işletme koşulları göz önüne alınmıştır. Sistemde ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Yoğunlaştırma işlemi sonucunda sistem çıkışında 350 °C civarında kızgın su buharı üretimi ve bu doğrultu da sistemin en uygun şekilde tasarlanması amaçlanmıştır. Çalışmada yansıtıcı yüzey ve emici kısım üzerinde durulmuş, optik ve ısı kayıplar hesaplanarak sistemin termodinamik analizi hedef alındığından, taşıyıcı kısım tasarlanmasına yer verilmemiştir.

### 5.1.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyin tasarımı

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının yoğunlaştırma yapan bölümü parabolik yansıtıcı kısımdır. Güneş ışınları sistemde ilk olarak buraya gelir ve parabolik yansıtıcı yüzeyden odak noktasında yer alan ve kollektör boyunca uzanan emici boruya yoğunlaştırılır. Yansıtıcı bölümün optik verime etkisi çoktur. Bu yüzden parabolik yansıtıcı yüzey optimum şekilde tasarlanmalıdır.

#### 5.1.1.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzey malzemesinin belirlenmesi

Güneşten gelen ışınlar parabol şeklindeki yansıtıcı yüzey ile emici boruya yoğunlaştırılır. Gelen ışıklardan dolayı emici boruda oluşan ısı da içinden geçen akışkana aktarılır. Sistemin hedefi güneşten gelen ışınların büyük bir bölümünün emici boruya yansıtılarak en az kayıpla ısı transferi akışkanına geçirilmesidir. Bu yüzden parabolik yansıtıcı olarak kullanılacak yüzey malzemesinin yansıtıcılık katsayısı yüksek, tutuculuk katsayısının düşük olmalıdır. Tablo 5.1’de parabolik yansıtıcıyı yüzey olarak kullanılan bazı malzemeler ve yansıtma katsayıları verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Bazı yansıtıcı malzemeler ve yansıtma oranları (Çolak, 2003)

Yansıtıcı Yüzey Malzemesi	Yansıtıcılık ( $\rho$ )
Gümüş	$0,94 \pm 0,02$
Altın	$0,76 \pm 0,03$
Alüminyum kaplı akrilik	0,86
Alüminyum	$0,82 \pm 0,05$
Bakır	0,75
Ayna	0,88-0,95
Cilalanmış alüminyum	0,86-0,89

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında yansıtıcı yüzey olarak daha çok aynalar kullanılmaktadır. Bunun yanında gümüş, altın ve alüminyum yansıtıcı yüzey malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler içinde gümüş çok pahalıdır ancak yansıtıcılık oranı yüksektir. Altının yansıtıcılık değerleri düşük ve pahalıdır, bu yüzden pek tercih edilmez. Alüminyum yüzey malzemelerinin yansıtıcılık değeri ortalama seviyelerdedir, diğer malzemelere göre daha ucuzlardır ve toz, dolu taş gibi dış etkilere karşı daha hassastırlar. Aynaların yansıtıcılık değerleri, aynanın üretilmesinde kullanılan

teknolojilere göre tablodaki veri aralığında değişmekte olmasına karşın, diğer yansıtıcı malzemelere göre şekil verilme kabiliyetleri daha zor, kırılma güçleri yüksek ve ağırlardır.

Bu çalışmada tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı için yukarıdaki nedenler ve tablo 5.1'deki değerler dikkate alınarak, ayna yansıtıcı yüzey olarak seçilmiştir. Yansıtıcı yüzey malzemesi seçildikten sonra yansıtıcı yüzeyin teknik analizi yapılarak boyutlandırılması yapılacaktır.

### 5.1.1.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı yansıtıcı yüzeyin boyutlandırılması

Bölüm 4'de sistemin boyutlandırılması hesapları detaylı bir şekilde verilmiştir. Tasarlanması düşünölen parabolik kolektör sistemi için her bir kolektör yansıtıcı yüzey genişliği ve uzunluğu;

Kolektör genişliği ( $W_k$ ) = 5.76 m

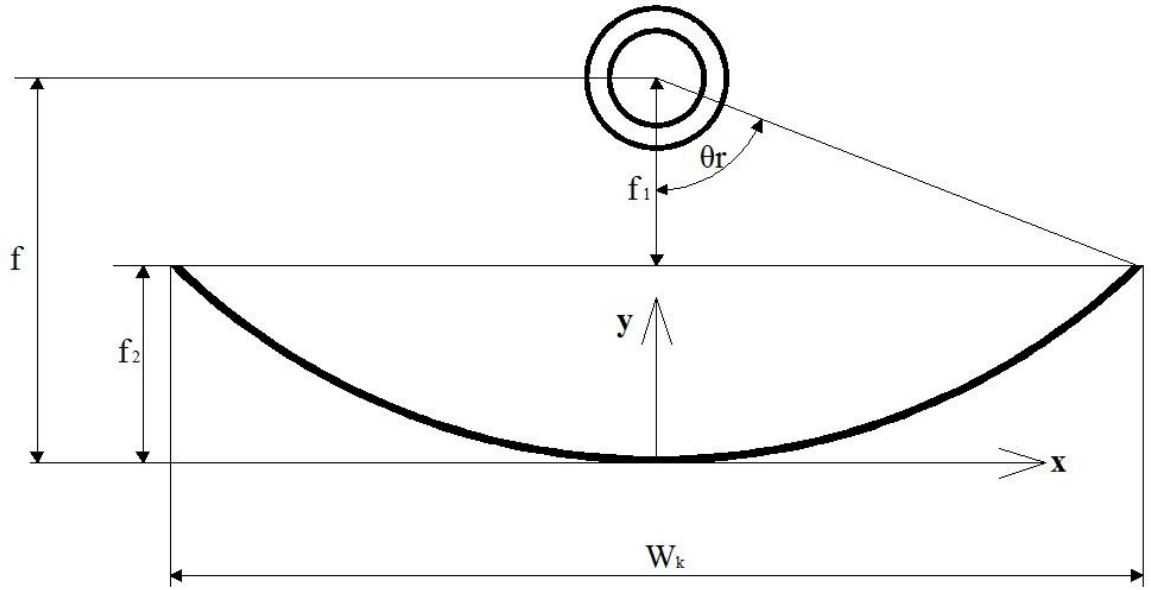
Kolektör uzunluğu ( $L_k$ ) = 12 m

olarak seçilmiştir. Literatürde kenar açısı ( $\theta_r$ ) 70-120° arasında değişmektedir. Tasarlanması düşünölen sistem için kenar açısı 80° seçilmiştir (Kıncay, 2008).

Kenar açısı, kolektör genişlik ve boyu belirlendikten sonra sistemin odak uzaklığını iki yolla bulunabilir. Birinci olarak eşitlik 4.2'den bulunur.

$$80 = \tan^{-1} \left[ \frac{8 \left( \frac{f}{5.7} \right)}{16 \left( \frac{f}{5.7} \right)^2 - 1} \right] \rightarrow f = 1.71 \text{ m} \quad (5.1)$$

Odak uzaklığı ikinci olarak üçgende açı özellikleri ve parabolik denklemden hesaplanabilir.



**Şekil 5.1.** İki boyutlu parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyi ve emici kısmı arasındaki geometrik ölçüler

Şekil 5.1'deki değerlere göre ilk olarak  $f_1$  değeri üçgende açı bağlantılarından bulunur.

$$f_1 = \frac{W_k/2}{\tan\theta_r} = \frac{2850}{\tan 80} \cong 502.531 \text{ mm} \quad (5.2)$$

$f_2$  değerinin üçgen bağlantıları ile bulunmasının zor olduğundan, odak uzaklığını bulmak için eşitlik 4.1'deki parabolik denklemden yararlanılır. Şekil 5.1'de parabolün x noktasındaki değeri  $W_k/2$ , y noktasındaki değeri  $f_2$ 'dir. Bu değerler eşitlik 4.1'de yerine konulursa;

$$f_2 = \frac{2850^2}{4f} \quad (5.2)$$

elde edilir. Burada  $f$  yerine  $f_1 + f_2$  yazılarak eşitlik 5.4'teki denklem çözüldüğünde  $f_2$  bulunur. Son olarak da  $f_1 + f_2$  işlemi yapılarak odak uzaklığı belirlenmiş olur.

$$f_2 = \frac{2850^2}{4(f_1 + f_2)} = \frac{2850^2}{4(502.531 + f_2)} \quad (5.3)$$

$$4f_1^2 + 2010.124f_2 - 2850^2 = 0 \quad (5.4)$$

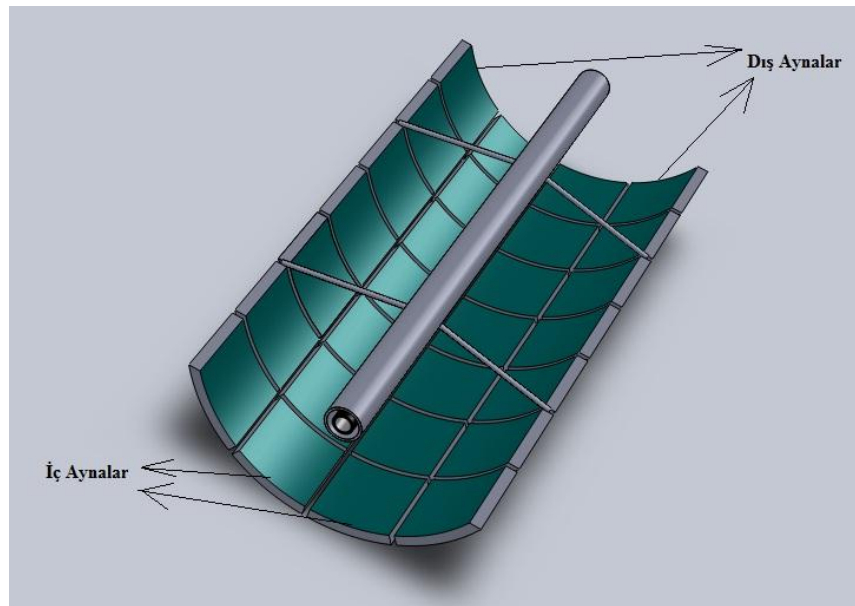
Eşitlik 5.4'teki denklemin pozitif kökü  $f_2$  olarak seçileceğinden  $f_2 = 1197.643 \text{ mm}$  olarak bulunur. Odak uzaklığını bulmak için  $f_1 + f_2$  topladığımızda  $f = 1700.134 \text{ mm}$  bulunur. Bu değer ile Eşitlik 5.1'deki değer yaklaşık olarak birbirine eşittir. Tasarladığımız parabolik kollektör için bulunan değerler parabol denkleminde (eşitlik 4.1) yerine konursa,

$$y = \frac{x^2}{6800} \quad (5.5)$$

elde edilir. Parabol uzunluğunu eşitlik 4.4'den hesaplanır. Eşitlik 4.4'de a yerine 0, b yerine  $W_k/2$  değerleri yazılarak işlem yapılır.

$$L_{PYU} = 2 \int_0^{2.88} \left( \sqrt{1 + ((x^2/6.8)')^2} \right) dx \rightarrow L_{PYU} = 6.38 \text{ m} \quad (5.6)$$

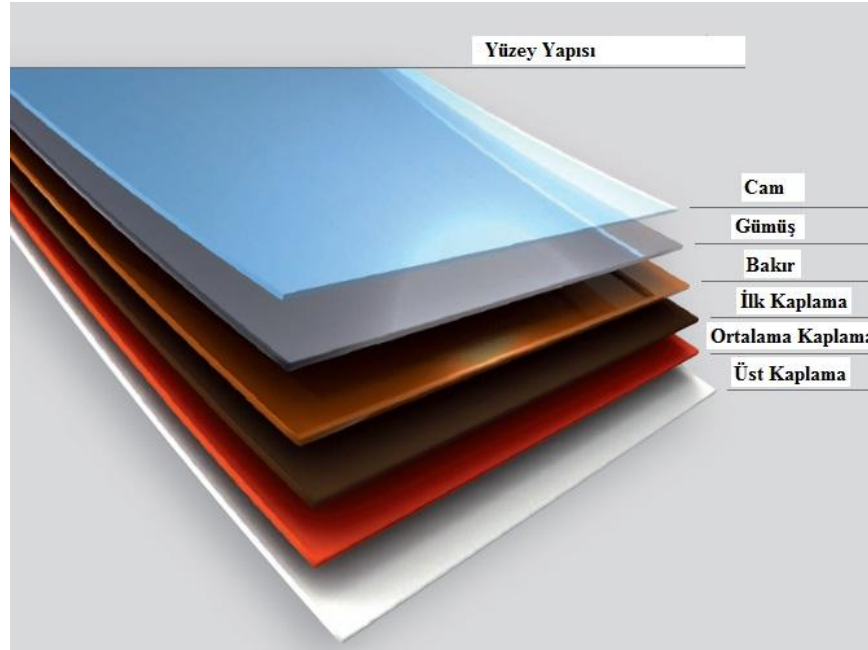
Parabolik oluk yoğunlaştırıcı sisteminde bir olukta dört kollektör ve her kollektörün boyu 12 m'dir. Kollektörde kullanılan aynalar şekil 5.2'deki gibi odak noktasının sağ tarafında iki, sol tarafında iki olacak şekilde parabol boyu dikkate alınarak kollektör boyunca yerleştirilir. Bu yerleşime göre parabolik yansıtıcı yüzeyde kullanılacak aynalar yukarıda verilen ölçüler altında boyutlandırılır.



Şekil 5.2. Parabolik yansıtıcı yüzeydeki aynaların yerleşme şekli



Buraya kadar parabolik yansıtıcı yüzeyin genel boyutları belirlenmiştir. Belirlenen boyutlar göre parabolik yansıtıcı Alman Flabeg firmasının parabolik yoğunlaştırıcılar için ürettiği aynalardan seçilmiştir. Flabeg firması parabolik yoğunlaştırıcılar için üç tip ayna üretimi yapmaktadır. Ayna tipleri ve özellikleri tablo 5.2’de verilmiştir. Flabeg firmasının ürettiği aynalar şuan dünyada var olan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı sistemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 5.3. Flabeg aynalarının yüzey yapısı (Flabeg, 2010)

Flabeg firması aynalarını özel olarak test etmektedir. Yapılan testlerde ürettikleri aynalardan yansıtılan ışınların %99,9’i emici tüpe gelmektedir. Aynalar uzun ömürlü, hava şartlarına ve korozyona karşı dayanıklıdır. Ayna yüzeyi çeşitli katmanlardan oluşur. Gümüş yansıtıcı yüzey ıslak kimyasal süreci sonucunda çeşitli katmanlarla birleştirilir. Camın altında gümüş yüzey, onun altında koruyucu bakır tabaka, bakır tabakanın altında üç kat kaplama bulunmaktadır.

**Tablo 5.2.** Flabeg firmasının ürettiği ayna tipleri, boyutları ve özellikleri (Flabeg, 2010)

Özellikler	Parabolik Ayna Tipleri		
	RP-2	RP-3	RP-4
İç Ayna Boyutu (mm)	1570*1400	1700*1641	1570*1900
Dış Ayna Boyutu (mm)	1570*1324	1700*1568	1570*1900
İç Ayna Alanı (m <sup>2</sup> )	2,2	2,79	2,98
Dış Ayna Alanı (m <sup>2</sup> )	2,08	2,67	2,98
Ayna Kalınlığı (4 mm)	Var	Var	Var
Ayna Kalınlığı (5 mm)	Var	Var	Var
İç Ayna Ağırlığı (4 mm)	22	28	30
Dış Ayna Ağırlığı (4 mm)	21	27	30
İç Ayna Ağırlığı (5 mm)	28	35	37
Dış Ayna Ağırlığı (5 mm)	26	33	37
Güneş Işımları Yansıtıcılık Katsayısı	% 93,5	% 93,5	% 93,5
Eğim Sapması	-	<10 mm	-
Odak Sapması	-	<2,3 mrad	-

Parabol boyu 6380 mm olarak bulunduğundan sistemde kullanılacak yansıtıcı yüzey ayna tipi hesaplanan parabol boyuna en yakın olan tip seçilmiştir. Odak noktasının iki sağına iki soluna birer tane iç ve birer tane dış ayna konulduğunda parabol boyu her ayna tipi için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{RP-2 için Parabol boyu} = 2*(1400+1324) = 5448 \text{ mm} \quad (5.7)$$

$$\text{RP-3 için Parabol boyu} = 2*(1641+1568) = 6418 \text{ mm} \quad (5.8)$$

$$\text{RP-4 için parabol boyu} = 2 \cdot (1900 + 1900) = 7600 \text{ mm} \quad (5.9)$$

Parabol boyu hesaplanan değerlerden en yakın değer RP-3 tipi çıkmıştır. Bundan dolayı parabolik yansıtıcı yüzey ayna tipi Flabeg firmasının RP-3 tipi seçilmiştir. Kollektör boyu 12 m olduğundan RP-3 tipi aynalardan yan yana eninin boyutlarına göre yedi tane konulur. Toplamda bir kolektör için 28 ayna, bir kolektör için 112 ayna gerekmektedir.

### **5.1.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı emici boru ve cam örtü tasarımı**

Güneşten gelen ışınlar parabolik yansıtıcı yüzeylerle sistemin odağında yer alan toplayıcı kısma yoğunlaştırılır. Toplayıcı kısım emici boru, cam örtü ve bu iki yapıyı kaplayan selektif malzemelerle kaplanır. Toplayıcı kısmın tasarımı yapılırken parabolik sistemin yoğunlaştırma oranı, işletme koşulları, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanının özellikleri ve sistemin ısı kapasitesi dikkate alınmalıdır.

#### **5.1.2.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı emici boru tasarımı**

Emici boru çapının seçilmesi optimizasyon sorunudur. Boru çapı yüksek seçilirse odağa yoğunlaştırılan güneş ışınlarını yakalamak daha kolay olur. Ancak borunun alanı büyüyeceğinden, kolektör yüzey alanına düşen borunun gölgesi büyüyecek bunda dolayı yoğunlaştırma oranı azalacaktır. Borunun dış yüzey alanı büyüdüğü için çevreye olan ısı kayıpları artacaktır. Boru çapı küçük seçilirse boru içi akışım türbülanslı hale getirilmesi ve boru dış yüzey alanı küçüleceğinden çevreye olan ısı kayıpları azalacaktır. Odağa yoğunlaştırılan güneş ışınları yakalamak daha zor olacaktır. Kısacası boru çapı büyük seçilirse optik verim artarken ısı verim düşmektedir, boru çapı küçük seçilirse optik verim azalırken ısı verim artmaktadır. Ayrıca kullanılacak emici boru malzemesinin güneş ışınlarını yansıtıcılık, yutuculuk ve soğuruculuk değerleri göz önüne alınarak seçimi de önemlidir. Bu yüzden emici boru tasarımı en uygun durumdaki tasarım yapılmalıdır.

### 5.1.2.1.1. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarında emici boru malzemesi seçimi

Yoğunlaştırılarak emici boruya gelen güneş ışınları iletim yoluyla ısı transfer akışkanına gelir. Dolayısıyla emici boru ısı iletimi yüksek malzemelerden yapılmalıdır. Emici boru üzerine yansıtılan güneş ışınları kısa dalga boylu ışınlar, emici borudan dış ortama yansıtılan ışınlar uzun dalga boylu ışınlardır. Bu yüzden emici boru malzemesinin kısa dalga boylu ışınları yutma oranı yüksek, uzun dalga boylu ışınları yansıtma oranı düşük olması gerekir. Tablo 5.3’de bazı yüzeylerin güneş ışınlarını emme ve yayma özellikleri verilmiştir.

**Tablo 5.3.** Bazı yüzeylerin güneş ışınlarını emme ve yayma özellikleri (Çolak, 2003)

Yansıtıcı Yüzeyler	Güneş Işınlarını Emme Oranı ( $\alpha$ )	Güneş Işınlarını Yayma Oranı ( $\epsilon$ )
Beyaz Boya (Al. üzerine)	0,20	0,91
Su	0,94	0,95-0,96
Siyah Boya (cılalı)	0,90	0,90
Siyah Boya (mat)	0,94-0,98	0,88
Galvanizli Çelik (temiz)	0,65	0,13
Alüminyum	0,15	0,05
Krom	0,49	0,08
Parlatılmış Çinko	0,46	0,02

Emici yüzey malzemeleri olarak genellikle alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik kullanılır. Bu malzemelerin içinde piyasada en çok bulunanı çeliktir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek fakat diğer malzemelere göre daha pahalı, ama diğerlerine göre korozyona daha çabuk uğrar. Alüminyumunda başka bir metalle birleşmesi zordur.

Emici borunun ışınları tutuculuğunu arttırmak için üzerisi selektif malzemelerle kaplanır. Selektif malzemeler, emiciliği yüksek yansıtıcılığı düşük malzemelerdir. Kısa dalga boylu ışınların tamamına yakını emen buna karşın uzun dalga boylu ışınların olabildiğince az yayan yüzeyler olarak da tanımlanabilir. Bu malzemeleri emici boruya kaplama işlemi, püskürtme yöntemi, elektroliz kaplama, kimyasal banyo ile kaplamayla

olur. Parabolik sistemin ısı veriminin artırılmasında selektif yüzeylerin kaplanması büyük rol oynar. Tablo 5.4.'de bazı selektif yüzeyle kaplı emici boruların ışıma özellikleri verilmiştir.

**Tablo 5.4.** Bazı selektif yüzeyle kaplı emici boruların ışıma özellikleri (Çolak, 2003)

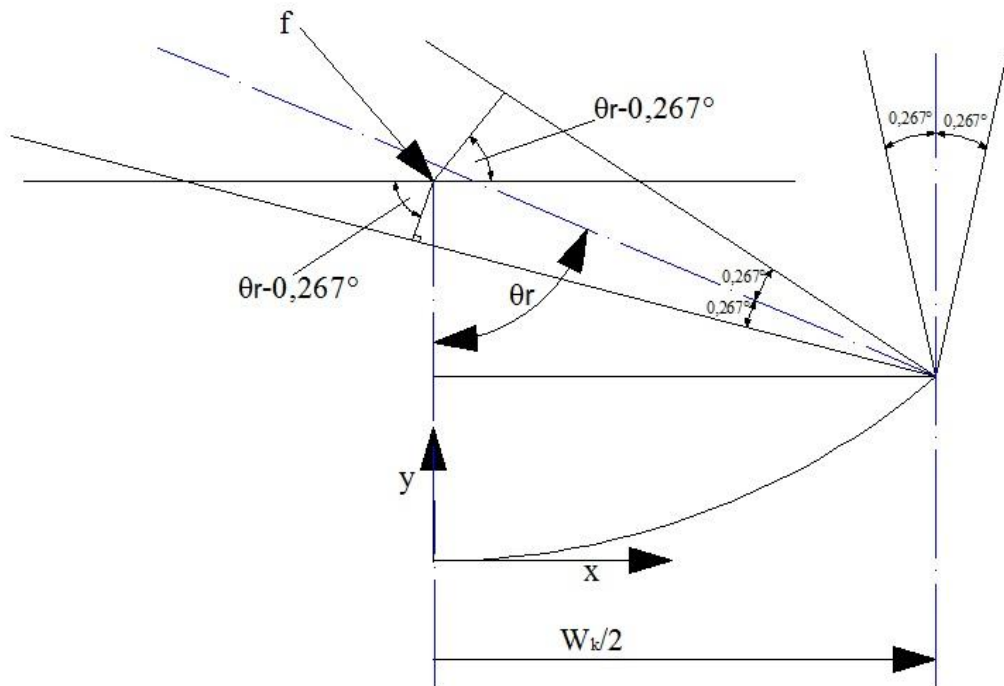
<b>Selektif Yüzey Kaplama</b>	<b>Alt Kaplama (Emici Boru)</b>	<b>Güneş Işımlarını Emme Oranı (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Güneş Işımlarını Yayma Oranı (<math>\epsilon</math>)</b>
Krom	Çelik	0,95	0,16
Krom	Çinko	0,91	0,08
Krom	Bakır	0,92	0,08
Siyah Krom	Bakır Çelik	0,95-0,97 0,91-0,97	0,08-0,14 0,07-0,16
Nikel üzerine siyah krom	Bakır, Çelik Alüminyum	0,90-0,95 0,95	0,09-0,15 0,5
Nikel	Galvanizli çelik	0,93	0,08
Nikel	Çinko kaplı alüminyum	0,94	0,10
Siyah nikel	Çelik	0,89-0,96	0,07-0,17
Nikel üzerine siyah nikel	Çelik, Bakır	0,87-0,96	0,07-0,10
Alüminyum oksit	-	0,85-0,95	0,11-0,34
Demir oksit	Çelik	0,83	0,06
Bakır oksit	Alüminyum	0,93	0,11
Kurşun sülfür	Alüminyum	0,89	0,20
Çinko oksit	Çinko	0,95	0,08
Kobalt oksit	Nikel	0,87	0,07
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13
Kobalt	Galvanizli çelik	0,91	0,12
Siyah bakır	Bakır	0,85-0,95	0,10-0,15

Emici boru malzemesinin yutuculuk değerinin yüksek, yansıtma değerinin düşük olması istendiğinden, tablo 5.4. incelendiğinde teknik ve ekonomik durumlar dikkate alınarak sistemimizde kullanılacak emici boru malzemesi CrNi paslanmaz çelik üzerine krom selektif yüzeyi seçilmiştir.

### 5.1.2.1.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında emici borunun boyutlandırılması

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

Güneş ışınları yeryüzüne ( $\theta_s=0,53^\circ$ ) tepe açısı olan bir koni biçiminde gelmektedir. Bu açı güneşsel kesişim açısı olarak tanımlanır. Burada koni eksenine, bir kenarının yaptığı açı literatürde yarım açı olarak tanımlanır ve değeri  $0,53/2$ 'den  $0,267^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Yansıtıcı yüzeyin en kritik noktası olan kenarına, bir koni biçiminde gelen direkt güneşsel ışın yansıtıcı yüzeyden yansyarak odak üzerinde belli bir açısal açıklıkta odaklanır. Bu açı gelen ışın konisinin açısı olan  $0,53^\circ$ 'ye eşittir (Beckman, 2006).



**Şekil 5.4.** Parabolik yansıtıcı yüzeye gelen ve yansıtılan güneş ışın konisinin açıklık açısı (Beckman, 2006)

Parabolik yüzeyden yansıtılan güneş ışınlarının hepsinin parabolün odağında yer alan emici boru üzerine odaklanması gerekmektedir. Bunun için emici boru çapının



Eşitlik 5.11'deki veri dikkate alınarak emici boru çapı 70 mm, et kalınlığı 1.5 mm seçilmiştir. Boru uzunlukları her kollektörde 4 tane boru yan yana olacak şekilde 3,1 m'dir.

### 5.1.2.2. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında cam örtü tasarımı

Parabolik sistemlerde cam örtü ısı kayıpları azaltmak için kullanılır. Parabolik yansıtıcı yüzeylerden emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınları emici borunun ısınmasına neden olur. Sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olmaya başlar. Emici borudan çevreye olan ısı transfer miktarı ne kadar fazla olursa ısı transfer akışkanına aktarılan enerjide o kadar düşmektedir. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu durumu önlemek için emici boru çevresi cam örtü ile çevrelenir. Böylece ısı kayıplar azaltılmış olunur.

Cam örtüye gelen güneş ışınları kısa dalga boylu ışınlardır. Emici borudan yayılan ışınlarda uzun dalga boylu ışınlardır. Cam örtülerin uzun ve kısa dalga boylu ışınları geçirme, yutma ve yansıtma özellikleri farklıdır. Gelen güneş ışınlarının büyük bir bölümü 0.3  $\mu\text{m}$  ile 3  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralıklarında geldiklerinden, birçok güneş enerjisi uygulamasında, cam örtülerin özellikleri dalga boyundan bağımsız düşünülebilir. Cam örtü için kullanılacak malzemelerin kısa dalga boylu güneş ışınlarını geçirme oranı yüksek, emici borudan yayılan uzun dalga boylu ışınları geçirme oranları düşük olmalıdır.

Cam örtünün gölgesi parabolik yansıtıcı yüzey üzerine düştüğünden, yansıtıcı yüzeyde gölgelenme etkisi yapmaktadır. Bu durum sonucunda yansıtılacak güneş ışınımı alanı azalacağından yoğunlaştırılan güneş ışını da azalacaktır. Cam örtü çapı ne kadar küçük seçilirse gölgelenme etkisi o kadar azalacaktır. Diğer taraftan cam örtünün temel amacı emici borudan çevreye olan ısı kayıpların azalmasını sağlamaktır. Bunun için cam örtü çapı ne kadar büyük olursa emici boru ile cam örtü arasındaki mesafe artacağından ısı kayıplar azalacaktır. Her iki durumda bize gösteriyor ki cam örtü boyutlandırılması gölgelenme etkisi ve ısı kayıplar dikkate alınarak yapılmalıdır.

Cam örtüler emici borudan olan ısı kayıpları önlediği gibi, emici boruyu toz, dolu gibi dış etkilerden de korumaktadır. Bu yüzden cam örtüler dayanıklı olmalıdır. Ayrıca



yüksek sıcaklıklar ve mor ötesi ışınlardan etkilenmemelidir. Tablo 5.5’de bazı cam örtü malzemeleri ve 0.3-3 µm dalga boyu aralığındaki ışımsal özellikleri verilmiştir.

**Tablo 5.5.** Bazı cam malzeme yüzeylerin 0,3-3 µm dalga boyu aralığındaki yansıtıcılık, soğuruculuk ve geçirgenlikleri (Çolak, 2003)

Cam	Geçirgenlik ( $\tau$ )	Soğuruculuk ( $\alpha$ )	Yansıtıcılık ( $\rho$ )
Pyreks	0.90	0.02	0.08
Klasik pencere camı	0.87	0.04	0.09
Düzgün plaka	0.77	0.16	0.07
Isı soğurucu tabaka	0.41	0.53	0.06
Çift pencere camı	0.76	0.04 ± 0.04	0.16 – 0.24
Çift düzgün plaka	0.60	0.07 ± 0.10	0.32 – 0.34
Gümüşlenmiş su beyazı cam	-	-	0.88
Düşük demirli borosilikat cam	0.92	0.02	0.06

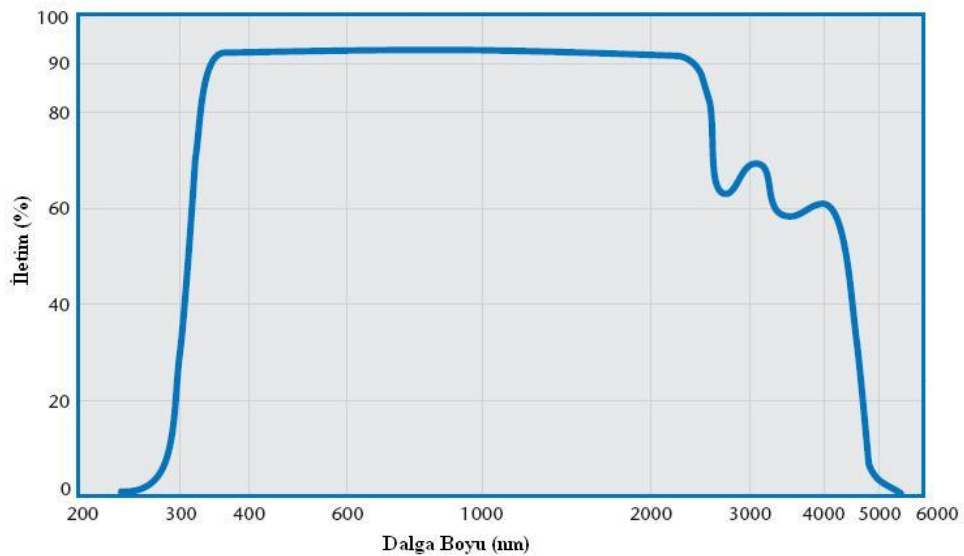
Cam örtü malzemesi olarak genellikle camlar kullanılır. Camlar, 0.3 µm-3 µm dalga boyu arasındaki güneş ışınlarının çoğunu geçirirler, uzun dalga boylu ışınları geçirmezler. Camların ışınları geçirme oranı içindeki demir-oksit miktarıyla değişmektedir. Camdaki demir-oksit miktarı arttıkça geçirgenlikleri azalır. Bu yüzden cam örtü için seçilen camın demir-oksit miktarı % 0.05’den daha küçük olmalıdır. Camların geçirgenliklerini arttırmak için camların yansıtma özelliklerini azaltan ve camın bir ya da iki yüzeyine yansıtma önleyici madde ile kaplanır.

Camlar yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve güneş ışınlarından dolayı bozuluma uğramazlar. Kırılgan ve şekil verilmesi zor malzemelerdir. Esnek ve metallere karşı dirençleri fazla değildir. Bu yüzden montajı yapılırken lastik kasketler içinde yapılır. Aksi halde kenarlarda kalan açıklıktan içeri hava girişi olur. Bu yüzden ısı geçiş katsayısı büyür ve nem girişi sebebiyle cam örtü-emici boru arasında yoğuşma olur. Bu durum ışın geçişini azaltarak optik verimi düşürür.

Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında kullanılacak cam örtü Alman Schott firmasının ürettiği borosilikat malzemeli cam tüplerden seçilmiştir.

**Tablo 5.6.** Schott firmasının ürettiği cam tüplerin fiziksel özellikleri (Schott, 2010)

Ortalama doğrusal ısı genleşme katsayısı (20°C-300°C) DIN ISO 7991'e göre	$9,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Değişim Sıcaklığı	525 °C
Yoğunluk $\rho$ (25°C'de)	2,5 g/cm <sup>3</sup>
Elastisite Modülü E	$73 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$
Poisson Oranı $\mu$	0,22
Isı İletkenlik Katsayısı $\lambda$	1,1 W/mK
Gerilim-Optik Katsayısı (DIN 52 314)	$2,7 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$
Yansıtıcılık Değeri $\rho$	>%92



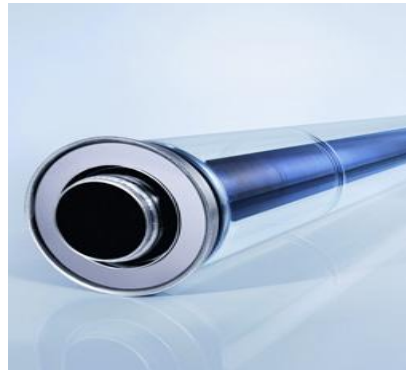
**Şekil 5.6.** 1 mm et kalınlığına sahip Schott firmasının ürettiği cam tüplerinin dalga boyundaki iletim grafiği (Schott, 2010)

Cam örtünün dış çapı 120 mm, et kalınlığı 3 mm, her cam örtü tüpünün boyu da 3 m olarak belirlenmiştir. Tablo 5.6'da Schott firmasının ürettiği cam tüplerin fiziksel özellikleri, şekil 5.6'da ise cam tüplerin dalga boyu altındaki iletim yüzdeleri gösterilmektedir.

### 5.1.2.3. Emici boru ve cam örtünün birleştirilmesi

Emici boru tasarlanması yapıldıktan sonra, emici borudan çevreye olan ısı kayıpları azaltmak için emici borunun çevresi cam örtü ile kaplanır. Emici boru ile cam örtü birleştirilirken en büyük problem iki malzemenin farklı sıcaklıklardaki genleşme katsayılarıdır.

Parabolik yansıtıcılardan emici boru üzerine yoğunlaştırılan ışınlardan dolayı emici boru sıcaklığı yükselmektedir ve bunun sonucunda genleşmektedir. Yoğunlaştırma işlemi ve emici borudan yansıyan ışınlardan dolayı cam örtü sıcaklığı da emici boru kadar olmasa da yükselmekte ve genleşmektedir. İki malzemenin gerek yüzey sıcaklıkları gerekse genleşme katsayıları da farklı olduğundan genleşme miktarları da farklı olmaktadır. Emici boru cam örtüye göre daha fazla genleşmektedir. Bu nedenden dolayı emici boru ve cam örtüyü birleştirmek için körüklü cam-metal birleşimi kullanılmaktadır. Şekil 5.7 ve 5.8'de körüklü cam-metal ile birleştirilmiş emici boru cam örtü birleşimi görülmektedir.



Şekil 5.7. Körüklü cam-metal ile birleştirilmiş emici boru-cam örtü birleşimi



Şekil 5.8. Körüklü cam-metal ile birleştirilmiş emici boru-cam örtü birleşimi yandan görünüşü

Körüklü cam-metal birleşiminde, körük kısmı emici borunun fazla genişip sistemin zarar görmesini engellemek için cam örtü ile temas halindedir. Emici borunun genişmesini karşılayarak, genişme sonucunda oluşacak cam örtü borunun kırılma ya da çatlamasını engeller ve sistemimizin düzenli şekilde çalışması sağlar.

Emici boru ve cam örtü birleştirildikten sonra arasındaki boş alanın ısı kayıpları azaltmak için vakumlandırılması önemlidir. Emici boru ile cam örtü arasındaki alan vakumlandırılmazsa, boş alan içerisindeki havadan dolayı ısı kayıpların hızı daha da artmaktadır. Boş alanın vakumlandırılması durumunda emici borudan çevreye ısı transfer hızı azalacağına ısı kayıplarda azalır. Emici kısımdaki vakum ortamı, konveksiyon kayıplarını azaltmak amacı ile Knudsen gaz iletim aralığı içerisinde olmalıdır. Vakum ortamı 0.0001mm Hg'de sağlanmaktadır. Vakum ortamına yerleştirilen kimyasal süngerler metal tüpten zamanla vakum ortamına sızan hidrojen ve diğer gazları emmeye yarar.

Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında emici boru ile cam örtü birleşiminde körüklü cam metal kullanılmıştır. Emici boru ve cam örtü arasındaki boş alan vakumlandırılmış ve vakum basıncı  $\leq 10^{-3}$  mbar'dır.

### 5.1.3. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının takip sisteminin belirlenmesi

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının optik verimlerinin artması için güneşten gelen ışınları en iyi şekilde almalıdır. Bu yüzden parabolik yansıtıcı yüzey gün boyunca üzerine gelen güneş ışınlarını dik alabilmesi için güneşi takip ettirilerek, güneşi izlemesi sağlanır. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinde dört farklı güneş takip sistemi vardır.

1. Güneşi doğu-batı ve kuzey-güney yönlerinde iki eksenle sürekli olarak izleyen takip sistemi: Güneş sürekli olarak takip edildiğinden takip verimi, saatlik veya mevsimlik değişmez. Hassas bilgisayar kontrolü gerektirir. Rüzgâr etkisi problem yaratır. Pahalıdır ve kolektör ile tesisatın boru bağlantıları zordur. Güneş takip verimi %100'dür (Çolak, 2003).
2. Güneşi kuzey-güney kutup ekseninde doğu-batı yönünde sürekli izleyen takip sistemi: Güneş takip verimi, saatlik önemli bir değişim göstermemesine karşın,

bölgenin enlem açısına bağlı olarak mevsimlik bazı değişimler gösterir. Bilgisayar kontrolü gerektirir. Kollektörler bölgesel enlem açısına eşit bir açıyla eğimli olarak monte edilmelidir. Rüzgâr etkisi büyük problemler oluşturabilir. Güneş takip verimi %96'dır (Çolak, 2003).

3. Güneşi kuzey-güney yatay ekseninde doğu-batı yönünde sürekli izleyen takip sistemi: Güneş takip veriminde, saatlik önemli bir değişim bulunmamasına karşın, mevsimlik değişimler büyük olur. Fotosel ve bilgisayar yazılımı ile ortak kontrol gereklidir. Güneşi izlemede geniş bir açısal yola ihtiyaç olduğu için, yatırım maliyeti yüksektir. Güneş takip verimi %77,3'tür (Çolak, 2003).
4. Güneşi doğu-batı yatay ekseninde kuzey-güney yönünde sürekli izleyen takip sistemi: güneş takip veriminde, mevsimlik önemli bir değişim bulunmamasına karşın, saatlik değişimler oldukça büyük olur. Fotosel ve bilgisayar yazılımı ile ortak kontrol gerekir. Güneşin doğusunda ve batısında kollektörün izleme açısı aynı olacaktır. Güneş takip verimi %67,2'dir (Çolak, 2003).

Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısında tek eksenli takip sistemi seçilmiştir. Kollektör kuzey-güney kutup ekseninde yerleştirilip güneşi doğu-batı yönünde izlemesi hedeflenmiştir. Takip sistemi seçilirken kullanımı ve kontrol kolaylığı, güneş takip verimi ve ekonomik veriler göz önünde bulundurulmuştur. Her olukta iki tane olacak şekilde 1,5 kW gücünde elektrik motoru kullanılmıştır. Geliştirilen yazılımla güneşin tarih ve saate göre koordinatları belirlenerek elektrik motorları vasıtasıyla güneş takibi sağlanmaktadır.

## **5.2. Tasarlanan Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Optik ve Isıl Analizinin Yapılması**

Buraya kadar parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının parabolik yansıtıcı yüzeyin, emici boru ve cam örtü boyutlandırılması ve malzeme seçimi yapıldı. Parabolik yansıtıcı yüzeyden yoğunlaştırılan ışınlar sonucunda ısı transfer akışkanın sıcaklığının 350°C civarlarına çıkarılması hedeflenmiştir.

Hesaplamalara ilk olarak yoğunlaştırma işlemi sonucunda emici boruya gelmesi gereken ışınım değerlerinin bulunmasıyla başlanacaktır. Daha sonra toplayıcı kısmındaki ısı kayıplar hesaplanmış ve yoğunlaştırılmış güneş ışın enerjisinden çıkarılarak ısı transfer akışkanına aktarılan enerji elde edilmiştir. Ayrıca sistemdeki bütün yüzeylerin sıcaklıkları belirlenmiştir. Tablo 5.7’de tasarlanan parabolik güneş kolektörünün karakteristik değerleri, tablo 5.8’de tasarlanan yansıtıcı yüzeyin teknik verileri, tablo 5.9’da tasarlanan emici borunun, tablo 5.10’da cam örtünün teknik verileri gösterilmiştir.

**Tablo 5.7.** Tasarlanan parabolik olu tipi güneş yoğunlaştırıcısının karakteristik değerleri

Toplam Kollektör Boyu	300 m
Kollektör Açıklık Alanı	1660 m <sup>2</sup>
Toplam Modül Sayısı	Birbirine paralel 2 modül
Toplam Kollektör Sayısı	24 (Her modülde 12 kollektör)
Kollektör Açıklığı	5,76 m
Kollektör Boyu	12 m
Odak Uzaklığı	1.71 m
Minimum Gerekli Emici Boru Çapı	57,8 mm
Kenar Açısı	80°

**Tablo 5.8.** Tasarlanan parabolik olu tipi güneş yoğunlaştırıcı yansıtıcı yüzeyin teknik verileri

Kullanılan Yansıtıcı Yüzey	Flabeg firmasının ürettiği RP-3 aynaları
Kullanılan İç Aynaların Boyutu (mm)	1700*1641
Kullanılan İç Aynaların Kalınlığı	4 mm
Kullanılan Dış Aynaların Boyutu (mm)	1700*1568
Kullanılan Dış Aynaların Kalınlığı	5 mm
Parabolik Yüzeyin Uzunluğu	6,38 m
Güneş Işımlarını Yansıtıcılık Değeri	% 93,5
Kesişim Faktörü	0,95

**Tablo 5.9.** Tasarlanan parabolik olu tipi güneş yoğunlaştırıcı emici boru teknik verileri

Emici Boru Malzemesi	Üzeri krom selektif malzemesiyle kaplı CrNi paslanmaz çelik
Emici Boru Dış Çapı	70 mm
Emici Botu Et Kalınlığı	1,5 mm
Isı İletkenlik Katsayısı	21 W/mK
Emici Boru Uzunluğu	3,1 m
Bir Kollektördeki Boru Âdeti	4
Güneş Işınlarmı Emicilik Değeri	0,95

**Tablo 5.10.** Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı cam örtü teknik verileri

Cam Örtü Malzemesi	Üzeri krom selektif malzemesiyle kaplı CrNi paslanmaz çelik
Cam Örtü Dış Çapı	120 mm
Cam Örtü Et Kalınlığı	3 mm
Isı İletkenlik Katsayısı	1,1 W/mK
Cam Örtü Uzunluğu	3 m
Bir Kollektördeki Cam Örtü Âdeti	4
Güneş Işınlarmı Geçirgenlik Değeri	0,92

### 5.2.1. Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının optik analizi ve emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınım enerjisinin belirlenmesi

Tasarlanan parabolik güneş yoğunlaştırıcısı yansıtıcı yüzeyine gelen güneş ışınlarının değerlerinin belirlenmesinde Pamukkale Üniversitesi Temiz Enerji Evinde bulunan “Vantage Pro2 Station” cihazından yararlanılmıştır. Cihazın iki alıcısından biri sabit yüzeye, diğeri güneşi takip eden sisteme yerleştirilerek güneş ışınım değeri ölçmesi sağlanarak veriler cihazın bağlı bulunduğu bilgisayara kayıt edilmiştir.

Vantage Pro2 Station cihazı yataya gelen güneş ışınlarının hepsini ölçmektedir. Parabolik yoğunlaştırıcılarda direkt ışınım değeri hesaplamalarda kullanılacağından, yapılan bir yazılımla yatay güneş ışın değerleri direkt güneş ışın değerlerine çevrilmiştir. Direkt güneş ışın değerinin yataya düşen güneş ışın değerlerinden % 15

daha az olduğu görülmüştür. Literatürde direkt güneş ışınlarının yataya düşen güneş ışınlarından %10-%25 arasında daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden hesap etmiş olduğumuz direkt güneş ışın değerleri teorik olarak uygundur.

Parabolik sistemlerde güneş ışınlarının ölçülmesi için pyronometre ölçme cihazları kullanılmaktadır. Cihaz bütün güneş ışın değerlerini ölçtüğü gibi üzerine çeşitli aparatlar eklenerek sadece direkt ışınım ya da sadece yayılı güneş ışın değeri ölçmekte mümkündür. Tez çalışmasının son zamanlarında pyronometre cihazı temin edildiğinden hesaplamalarda kullanılan güneş ışın değerleri için bu cihaz kullanılmamıştır. Vantage Pro2 Station ile ölçülen direkt güneş ışın değerleri ile pyronometre cihazıyla ölçülen direkt güneş ışın değerleri karşılaştırılmış ve ölçülen günler arasında güneş ışın değeri olarak maksimum %10 fark olduğu tespit edilmiştir. Aralarındaki bu farkın pyronometre direkt güneş ışınları herhangi bir yazılım yardımı almadan ölçerken, Vantage Pro2 Station cihazı önce yataya düşen güneş ışın değerlerini ölçüp sonra bilgisayar yazılımı sayesinde direkt güneş ışınım değerine dönüştürdüğünden olduğu sanılmaktadır.

Vantage Pro2 Station güneş ışın değeri ölçümü yanında rüzgâr hızı, nem, sıcaklık, yağmur oranı gibi birçok değer de ölçmektedir. Parabolik yoğunlaştırıcıların analizi için 2009 yılının bütün ayları ile 2010 yılının ilk dört ayının ölçüm değerleri dikkate alınmıştır. Belirtilen ayların direkt ışın ölçüm değerleri ek A'da verilmiştir.

Emici boruya yoğunlaştırılarak gelen güneş ışınım değeri eşitlik 4.9'da verilmiştir. Bu eşitlikte  $\eta_1$  gelme açısı düzeltme faktörü idi. Günün bütün saatlerinde güneş açıları göz önüne alınarak 0,95 seçilmiştir.  $\eta_2$  seçilen malzemeye göre değişmektedir. Yansıtıcı yüzey malzemesi olarak Flabeg firmasının ürettiği RP-3 aynaları kullanılmaktadır. Bu malzemenin güneş ışınlarını yansıtıcılık değeri ( $\eta_2$ ) 0,935'tir. Kesişim faktörü  $\eta_3$  0,95 olarak seçilmiştir. Cam örtü malzemesinden dolayı güneş ışınlarını geçirgenlik değeri ( $\eta_4$ ) 0,92, emici borunun güneş ışınlarını emicilik değeri ( $\eta_5$ ) 0,95'tir. Bütün bu değerler eşitlik 4.9'da yerine yazılırsa emici boruya gelen ışınım ( $Q_G$ ) eşitlik 5.12 elde edilir. Bütün katsayılar çarpıldığında sistemin optik verimi %73,7 olarak hesaplanmıştır.



$$Q_G=GI_A*0,95*0,935*0,95*0,92*0,95 \rightarrow Q_G=GI_A*0,737 \quad (5.12)$$

Eşitlik 5.12’de bulunan  $Q_A$  değeri  $m^2$ ’ye gelen enerjiyi vermektedir. Sistemimizin toplam açıklık alanı  $1728 m^2$  olduğundan, bulunan  $G_A$  değerleri toplam açıklık alan ile çarpılarak emici boruya ısı kayıpsız gelmesi gereken enerji bulunur (Eşitlik 5.13).

$$G_A=GI_A*0,737*1728 \rightarrow G_A=GI_A*1273,53 \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.13’de bütün alan dikkate alınmıştır. Ancak toplayıcı bölümündeki cam örtü parabolik yansıtıcı yüzeye gölgelenme etkisi yapmaktadır. Bu yüzden hesaplamada gölgelenmeyen alan kullanılmıştır. Gölgelenmeyen açıklık alanı eşitlik 4.35’te verilmiştir. Bu eşitliğe göre gölgelenmeyen açık alan hesaplanarak eşitlik 5.13 tekrardan düzenlenir.

$$A_{kga} = 5,76 * 300 - \left( 300 * \frac{\pi 0,12^2}{4} \right) \rightarrow A_{kga} = 1724,61 m^2 \quad (5.14)$$

$$G_A=GI_A*0,737*1724,61 \rightarrow G_A=GI_A*1271 \quad (5.15)$$

Ekler A’da bulunan tablolardaki direkt güneş ışınım değerleri eşitlik 5.15’deki  $GI_A$  yerine konulursa, belirtilen aylarda emici boruya aktarılan güneş ışın enerjisi bulunur.

Ekler B’deki grafiklerde Denizli ili şartlarında aylara göre emici boruya yoğunlaştırılan enerjiler verilmiştir. Grafiklere göre 2009 ve 2010 yılı kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) gece sürelerinin uzun, güneşli günlerin kısa olması ve üst üste güneşli gün ya da yağmurlu günlerin yaşanmasından dolayı belirtilen aylardaki grafiklerde dalgalanmaya neden olmuştur. Aynı aylarda güneş ışınlarının kuzey yarım küreye daha küçük açıyla düşmesinden dolayı, güneş ışınlarının taşıdığı enerji miktarı da azalmaktadır. Bu yüzden kış aylarında yoğunlaştırılan enerji miktarı diğer aylara göre daha düşük olmuştur. İlkbahar aylarından (Mart, Nisan, Mayıs), yaz aylarına (Haziran, Temmuz, Ağustos) doğru güneşli gün sayısı artarken, güneş ışınlarının dünyaya geliş açısı büyüyeceğinden güneşten gelen ışınların taşıdıkları enerji miktarlarda artacaktır. Bu yüzden yaz aylarında emici boruya yoğunlaştırılan enerji yıl içindeki maksimum seviyelere çıkmıştır. Son bahar aylarında (Eylül, Ekim, Kasım)

güneşli gün sayısı azalırken, güneş ışınlarının geliş açısı tekrardan küçülmeye başladığından emici boruya aktarılan enerji yaz aylarına göre daha düşük olmuştur.

### 5.2.2. Tasarlanan parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının ısıl analizi ve ısı transfer akışkanına aktarılan enerjinin belirlenmesi

Yansıtıcı yüzeyden emici boruya yoğunlaştırılan güneş ışınları, emici borunun sıcaklığını yükseltmektedir. Sıcaklığı yükselen emici borudan çevreye ısı transferi olmaktadır. Dolayısıyla ısı transfer akışkanına yoğunlaştırılan güneş ışınlarının bütün enerjisi aktarılmaz. Bu yüzden toplayıcı kısımdaki ısı kayıpların belirlenmesi gerekmektedir.

Parabolik sistemin ısıl analiz hesabı Bölüm IV’de detaylı olarak verilmiştir. Isıl hesaba başlamadan önce cam örtü sıcaklığı ve emici borunun dış yüzey sıcaklığının bilinmesi gerekir. Hesaplamalarda cam örtü ortalama sıcaklığı kullanılmıştır. Çünkü cam örtü iç ve dış sıcaklıklarından dolayı oluşan ısı kayıplar ihmal edilecek kadar küçüktür. Tablo 5.11’de aylara göre cam örtü ortalama sıcaklığı gösterilmektedir.

Cam örtü sıcaklığı kabul edilmiş ve ısıl hesaplamalar yapılmıştır. Isıl kayıp hesaplanıp, bütün ısı transfer katsayıları belirlendikten sonra eşitlik 5.16’daki denkleme göre cam örtü sıcaklığının doğruluğu kontrol edilmiştir.

$$A_{c\ddot{o}}(h_{c\ddot{o}i}+h_{c\ddot{o}t})(T_{c\ddot{o}}-T_a)=A_{e\text{bd}}(h_{e\text{bt}}+h_{e\text{bi}})(T_{e\text{bd}}-T_{c\ddot{o}}) \quad (5.16)$$

Kabul ettiğimiz cam örtü sıcaklığı ile eşitlik 5.16’da hesaplanan cam örtü sıcaklığı arasındaki fark 0,01 °C’nin altına düşene kadar deneme yanılma yöntemi yapılarak cam örtü sıcaklığı belirlenir.

**Tablo 5.11.** Aylara göre hesaplanan cam örtü sıcaklıkları

Aylar	Cam Örtü Sıcaklığı (°C)	
	2009	2010
Ocak	61,66	53,21
Şubat	68,39	58,93
Mart	82,84	66,57
Nisan	71,69	57,56
Mayıs	74	-
Haziran	72,25	-
Temmuz	61,20	-
Ağustos	58,58	-
Eylül	58,72	-
Ekim	56	-
Kasım	50	-
Aralık	56,57	-

Eşitlik 4.36'daki ısı kaybını bulma denklemi, emici boru dış yüzey sıcaklığı yerine ortalama ısı transfer akışkanı sıcaklığı yazılarak elde edilmiştir. Ancak akışkan sıcaklığının akış doğrultusunda değişmesi ve ortalama değerinin tahmininin zor olması nedeniyle, akışkana geçen ısı enerjisi kollektör giriş sıcaklığına bağlı olarak eşitlik 4.43'de tanımlanmış ve eşitlikte emici boru dış sıcaklığı olarak ısı transfer akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı (150 °C) alınmıştır. Isıl kayıplar bulunurken her ayın günlük ortalama sıcaklık, rüzgâr ve güneş radyasyon değerleri alınarak o ayın günlerine ait ortalama ısı verim bulunmuş ve günlere dağıtılmıştır. Isıl kayıplar hesaplandıktan sonra yoğunlaştırılan güneş ışın enerjisinden çıkarılarak ısı transfer akışkanına aktarılan enerji bulunmuştur ve ekler C'deki grafiklerde gösterilmiştir. Tablo 5.12'de ekler C'de olan grafiklerdeki belirtilen ayların ortalama değerleri alınarak emici boruya aktarılan enerji gösterilmektedir.

**Tablo 5.12.** Isı transfer akışkanına aktarılan aylık ortalama enerji

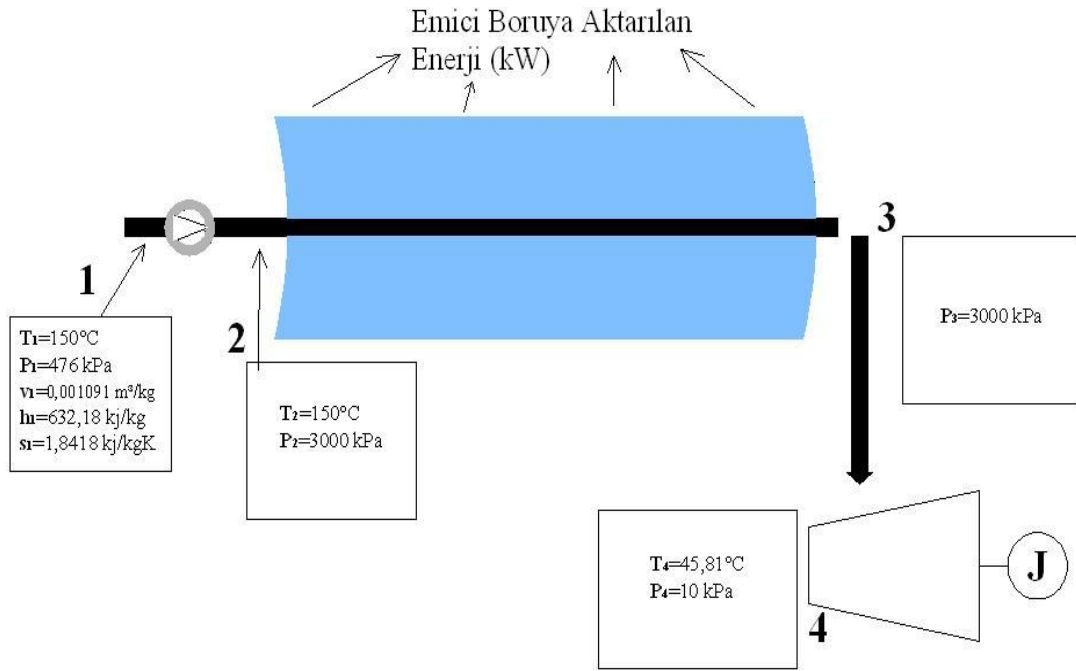
Aylar	Aktarılan Enerji (kW/m <sup>2</sup> )	
	2009	2010
Ocak	266,29	178,94
Şubat	309,12	297,09
Mart	674,41	665,18
Nisan	953,73	917,36
Mayıs	1025,88	-
Haziran	1144,11	-
Temmuz	1167,51	-
Ağustos	1020,79	-
Eylül	775,13	-
Ekim	581,50	-
Kasım	397,64	-
Aralık	248,05	-

Tablo 5.12’de belirtilen aylar içerisinde kış aylarında emici boruya aktarılan enerji en düşüktür. Çünkü güneş ışınlarının geliş açısı küçülmekte, rüzgâr hızı artmakta, dış ortam sıcaklığı düşmekte ve bu durumda ısı kayıpların artmasına neden olmakta ve güneşlenme süresi azalması gibi nedenlerdir. Kış aylarında emici boruya aktarılan en yüksek enerji 570 kW/m<sup>2</sup> iken en düşük değer 0 kW/m<sup>2</sup>’dir. Bu durumda kış aylarında istenilen sıcaklıklarda kızgın buhar elde edilmesi güçleşmektedir. Güneşli günlerin daha fazla olduğu ve güneş ışınlarının geliş açısının büyümesinden dolayı bahar ve yaz aylarında emici boruya aktarılan enerji kış aylarına göre daha fazla olmaktadır. Aktarılan enerji özellikle yaz aylarında güneş ışınları Denizli iline en büyük açıyla gelmekte ve dış ortam sıcaklığının yüksek, rüzgâr hızının düşük olması gibi dış ortam etkilerinin kış aylarına göre daha az olmasından dolayı yıl içinde maksimum değerler çıkmaktadır. Yaz aylarında emici boruya aktarılan enerji maksimum 1420 kW/m<sup>2</sup> iken minimum 380 kW/m<sup>2</sup> olmaktadır. Grafiklerdeki dalgalanmalar birbirini izleyen günlerin dış ortam havasının sürekli değişmesinden kaynaklanmaktadır.

### 5.3. Tasarlanan Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısında Kullanılacak Buhar Türbini Kapasitesinin Belirlenmesi

Isıl kayıplar, yoğunlaştırılan enerjiden çıkarılıp akışkana aktarılan net enerji belirlendikten sonra buhar türbinine giren ve çıkan enerji hesaplanmaya çalışılmıştır. Hesaplamalar için termodinamik bağıntılardan yararlanılmıştır.

Sistemin girişine doymuş su 150 °C’de gelmektedir. Tablolardan 150 °C’deki su için basınç, özgül hacim, entalpi ve entropi değerleri seçilmiştir. Kollektör girişine pompalanan suyun sıcaklığında bir değişme olmayıp basıncı arttırılmıştır. Kollektör çıkışında suyun sıcaklığı yükseltilmiş ve kızgın buhar fazına gelmiştir. Kolektör giriş ve çıkış arasında basınç değerinde bir değişme olmamıştır. Kızgın buhar kollektörden çıktıktan sonra buhar türbinine girer. Buhar türbininde kızgın buharın ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür ve atmosfer basıncında (10 kPa) sistemden çıkartılır. Bu bilgiler ışığında elimizde bulunan veriler şekil 5.40’da gösterilmiştir.



**Şekil 5.9.** Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcı sistemindeki belirli noktalardaki bilinen termodinamik veriler

Tasarlanan parabolik sistemde emici boru maksimum 4000 kPa’a kadar dayanabilmektedir. Bu yüzden sistemimizin işletme basıncı 3000 kPa olarak seçilmiştir. Emici borudaki kütleli debi ( $\dot{m}$ ) 0,35 kg/s’dir. Pompaya gelen 476 kPa basıncındaki suyun basıncını 3000 kPa kolektör giriş basıncına çıkarmak için gereken pompa gücü eşitlik 5.17’den hesaplanır.

$$W_{pompa} = v_1(P_2 - P_1) = 0,001091(3000 - 476) = 2,75 \frac{kJ}{kg} \quad (5.17)$$

Pompa gücü bulunduktan sonra kolektör girişindeki entalpi değeri eşitlik 5.18'deki gibi bulunur.

$$h_2 = h_1 + w_{pompa} = 632,18 + 2,75 = 634,93 \frac{kJ}{kg} \quad (5.18)$$

Kolektör çıkışındaki entalpi değeri belirlenirken eşitlik 5.19'dan yararlanır. Bu eşitlikteki  $u$  değeri ısı transfer akışkanına aktarılan enerjidir. Elimizdeki verilerde sadece 2009 aylarının verileri tam olduğundan 2009 yılı ısı transfer akışkanına aktarılan ortalama ısı enerjisi kullanılmıştır. Ancak kış aylarında akışkana aktarılan enerji seviyesi istenilen düzeyde olmadığından aktarılan ortalama enerji hesabına katılmamışlardır. Hesaplama sonucunda 2009 yılı için ısı transfer akışkanına aktarılan enerji ( $u$ ) 860,07 kw olarak bulunmuştur.

$$u = \dot{m}(h_3 - h_2) \rightarrow 860,07 = 0,35(h_3 - 634,93) \rightarrow h_3 = 3092,27 \frac{kJ}{kg} \quad (5.19)$$

Kolektör çıkışında ısı transfer akışkanımızın kızgın buhar ve basınç değerini (30 kPa) biliyorduk. Entalpi değeri de hesaplandıktan sonra tablolardan bu verilere göre kolektör çıkışı sıcaklığı ve entropi değerleri belirlenebilir. Buna göre,

Akışkanın kolektör çıkış sıcaklığı  $T_3 = 340 \text{ }^\circ\text{C}$

Akışkanın kolektör çıkışı entropisi  $s_3 = 6,7042 \text{ kJ/kgK}$  olarak bulunur.

Buhar türbinine giren kızgın buhar, buhar türbininden çıkarken basıncı atmosfer basıncına kadar düşürülerek yoğuşturulur. Buhar türbinin giren akışkanın entropisi, buhar türbininden çıktıktan sonra değişmez. Bu yüzden  $s_3$  ve  $s_4$  değerleri birbirine eşittir. Bu bilgiler doğrultusunda 10 kPa basıncındaki suyun sıcaklığının yoğuşma sıcaklığına kadar düştüğü varsayılmıştır. 10 kPa su için tablolardan doymuş suyun entropi ( $s_f$ ) ve entalpi ( $h_f$ ) değerleri ile sıvı haldeki entropi ( $s_{fg}$ ) ve entalpi ( $h_{fg}$ ) değerleri belirlenmiştir (Tablo 5.12). Daha sonra eşitlik 5.20 denkleminde  $x$  değeri belirlenip, eşitlik 5.21'de yerine konarak kolektör çıkışı suyun entalpi değeri bulunmuş olur.

**Tablo 5.13.** Kollektör çıkışı entropi ve entalpi değerleri

$s_f$	0,6492 kJ/kgK
$s_{fg}$	7,4996 kJ/kgK
$h_f$	191,81 kJ/kg
$h_{fg}$	2392,1 kJ/kg

$$s_4 = s_f + x * s_{fg} \rightarrow 6,7042 = 0,9492 + x * 7,4996 \rightarrow x = 0,8 \quad (5.20)$$

$$h_4 = h_f + x * h_{fg} = 191,81 + 0,8 * 2392,1 = 2105,49 \frac{kJ}{kg} \quad (5.21)$$

Bütün değerler belirlendikten sonra türbinden elde edilen mekanik enerji eşitlik 5.22'deki gibi hesaplanır.

$$W_{türbin} = h_3 - h_4 = 3092,27 - 2105,49 = 986,78 \frac{kJ}{kg} = 345,373 kW \quad (5.22)$$

Eşitlik 5.22'de bulunan değere göre sistemimiz için seçeceğimiz türbin 300-500 kW kapasitesinde olmalıdır.

#### 5.4. Tasarlanan Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcısının Maliyet Hesapları

Tasarlanan parabolik yoğunlaştırıcının teknik analizinin yapılmasının yanında, sistemin teorikten çıkıp pratiğe dökülmesi için ekonomik analizinin de yapılması son derece önemlidir. Sistemin ekonomik analizi yapılırken, sistemin çeşitli bölümlere ayrılarak, her bölümün tek tek maliyeti çıkarılmıştır. Sistemin maliyet bölümleri,

- Yansıtıcı yüzey
- Emici kısım
- Takip sistemi
- Sistemde kullanılan bağlantı boruları
- Taşıyıcı kısım
- Kontrol
- Diğer işlemler olarak ayrılmıştır.

Tasarladığımız sistemde daha çok toplayıcı yansıtıcı yüzey emici boru ve cam örtü, takip sistemi üzerinde durduğumuzdan bu çalışmada bu bölümlerin maliyet hesabına ağırlık verilmiştir.

#### **5.4.1. Tasarlanan yansıtıcı yüzeyin maliyeti**

Bu çalışmada tasarladığımız sistemde yansıtıcı yüzey malzemesi olarak Flabeg firmasının aynaları kullanılmıştır. Sistemde kullanılan aynaların ithal edilmesinin nedeni, yerli sanayideki cam firmalarında türde parabolik ayna yapımı için gerekli kalıp ve fırınlarının olmamasıdır. Yerli firmalarla yapılan görüşmeler sonucunda ayna üretimi için gerekli alt yapının Türkiye’de de kurulabileceği ancak küçük çaplı ve tek seferli üretimler için maliyetinin çok fazla olacağı öğrenilmiştir.

İç aynaların kalınlığı 4mm, dış aynaların kalınlığı 5 mm’dir. Bir iç aynanın alanı 2,7897 m<sup>2</sup>, bir dış aynanın alanı 2,6656 m<sup>2</sup> olup tasarlanan parabolik sistemdeki toplam ayna alanı 458,2452 m<sup>2</sup>’dir. Nakliyat ve montaj dâhil ayna maliyeti 37,5 €/m<sup>2</sup>’dir. Bu bilgi doğrultusunda toplam ayna maliyeti 17184,195 € olarak hesaplanır.

#### **5.4.2. Tasarlanan emici boru ve cam örtü maliyeti**

Emici boru ve cam örtü birleştirilmesi sonucu oluşturulmuş vakumlu cam alıcı borunun mekanik özellikleri sistemin verimi için çok önemlidir. Dünyada vakumlu cam alıcı borunun geliştirilmesi için yüksek miktarlarda paralar harcanması da bu malzemeye verilen önemi göstermektedir. Vakumlu cam alıcılı boru ithal edilebildiği gibi emici boru yerli sanayisinde yapılıp, cam örtü ithal edilerek emici boru ve cam örtü montajı Türkiye’de yapılarak arası vakumlandırılabilir. Ancak cam örtü için gerekli teknoloji Türkiye’de bulunmadığından şuan için istenilen özelliklerde Türkiye’de üretilmesi zordur.

Tasarlanan vakumlu cam alıcı boru bir kollektörde 4 adettir. Sistemde toplam 24 adettir. Emici boru ve cam örtü fiyatları ile montaj ve vakum hesapları ayrı ayrı incelenmek istemiş ve bu doğrultuda firmalara teklifler yapılmış olmasına rağmen bir sonuç çıkmamıştır. Bu yüzden literatürdeki maliyet analizleri incelenmiş çap-uzunluk ve kullanılan malzemelere göre kendi sistemimizdeki en yakın boyut ve malzemedeki



vakumlu cam alıcı boru fiyatı referans alınmıştır. Tasarladığımız vakumlu cam alıcı boruya mekanik özellikler ve boyutuna en yakın Schott firmasının PTR 70 isimli ürünü olmuştur. Tasarladığımız boyutlarda bir vakumlu cam alıcı boruya yakın boyutlardaki PTR 70'in maliyeti yaklaşık olarak 900 € olarak belirlenmiştir. Sistemimizdeki toplam emici kısım maliyeti 21600 € hesaplanmıştır.

### **5.4.3. Takip sistemi maliyeti**

Tasarlanan sistemdeki takip sistemi tamamıyla yerli yapımı olabileceği yapılan çalışmalar ve Türkiye'de izleyici üzerine çalışan kişilerle konuşulduktan sonra anlaşılmıştır. Takip sistemi direkt olarak optik verimi etkilediğinden, güneşi izleme hassasiyetine önem verilmelidir.

Tasarladığımız sistem 2 adet 150 m'lik modülden oluşmaktadır. Parabolik santrallerde her 150 m'lik modül için bir takip sistemi gerekmektedir. Bu yüzden sistemimize 2 adet takip sistemi yetmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda bir takip sisteminin maliyetinin Türkiye de 10000 € civarında ya da altında bir değerde yapılabileceği sonucuna varılmıştır. 2 adet takip sistemimiz olacağından 20000€ civarında bir takip sistemi maliyeti çıkarılmıştır.

Bu çalışmada yansıtıcı yüzey, emici boru, cam örtü ve takip sistemi üzerinde durulmuş ve dolayısıyla bu bölümlerin maliyet analizi yapılmıştır. Diğer bölümlerin maliyet analizi yapılmamıştır. Ancak Türkiye de parabolik santrallerle uğraşan bir firma ile tasarladığımız parabolik sistemin kurulması üzerine görüşmeler yapıp, sistemin kurulması için gerekli fiyat istenmiştir. Firmanın parabolik sistemin bölümlerinin tamamının ithal edilmesi üzerine bize sunduğu teklifte sistemin maliyeti 500000 € olarak görülmüştür. Bu verilen teklif de gümrük vergileri, işçi gücü, sistemin kısa vade de bakım masrafları gibi bütün giderler hesaplanarak sunulmuştur. Türkiye'de gerekli yatırımlar yapıldıktan sonra bu fiyatın daha aşağılara düşeceği öngörülmektedir.

## BÖLÜM VI

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki enerji piyasasında son yıllarda yaşanan olumsuz gelişmelerden dolayı Türkiye ekonomisi de olumsuz etkilenmiştir. Türkiye, yapılan yanlış anlaşmalar ve üretimin tüketimi karşılayamamasından dolayı enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü ithal etmek zorunda kalmıştır. Bu durumda Türkiye'nin sürdürülebilir bir ekonomik büyüme sağlaması oldukça zordur. Türkiye'nin kendini bu durumdan kurtarması için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir.

Ülkemizin sahip olduğu en zengin yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Ülkemizde güneş enerjisi kullanımında, elektrik üretiminden çok sıcak su temini ve konutların ısıtılmasından yararlanılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda güneş santralleri, doğrudan ışınımın  $1800 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{yıl})$ 'dan daha yüksek olduğu yerlerde güneşten elektrik üretimi için en verimli teknolojileridir. Teorik olarak  $40^\circ$  paralelinin altındaki bölgeler bu alt limiti sağlamaktadırlar. Yapılan hesaplamalara göre 1988 yılından itibaren herhangi bir yılda Türkiye de  $1800 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 'den fazla ışınım alan bölgeler Antalya, Aydın, Burdur, Diyarbakır, İzmir, Kahramanmaraş, Karaman, Kilis, Konya, Mersin, Niğde, Şanlıurfa ve Van olarak belirlenmiştir. Bu bölgelerin ve çevrelerine kurulabilecek güneş santralleri istenilen verimlilikte çalışabilecektir.

Türkiye'de özellikle düz kolektörlü sistemlerin kullanılması yaygındır. Ancak yoğunlaştırıcı sistemlere göre düşük enerji ve düşük verimle çalışmaktadırlar. Maliyetleri düşük olmasına karşın kızgın buhar ve elektrik üretimi gibi uygulamalarda kullanılmadığından uygulama alanları kısıtlıdır.

Güneş termik santrali olarak dünyada daha çok yoğunlaştırıcı sistemler üzerinde durulmuştur. Özellikle bu sistemlerle yüksek sıcaklıklara çıkıldığından kullanım alanları genişlemiştir. Yoğunlaştırıcı sistemlerden noktasal odağa yoğunlaştırma sistemler, tek bir noktaya yoğunlaştırma yaptıklarından doğrusal yoğunlaştırma yapan sistemlere göre

daha yüksek sıcaklıklara ulaşırken, elektrik üretimi için odak noktasına kullanılan Stirling motoru ve güneşi iki ekseninde takip etmesinden dolayı maliyetleri daha fazladır.

Bu çalışmada doğrusal yoğunlaştırma yapan parabolik oluk tipi güneş kolektörleri teorik olarak incelenmiş ve denizli ili için test edilmiştir. Bunun nedeni parabolik yoğunlaştırıcıların hem orta hem de yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabileceğinden uygulama alanlarının geniş olması, ısı kapasite arttırılmak istendiğinde basit olarak parabolik kolektörlerin yan yana eklenmesi, güneşi tek ekseninde takip etmelerinin yeterli olması, üretimi ve sistem kurulduktan sonra işletmesinin basit olması gibi sıralanabilir. Ayrıca dünyanın çeşitli yerlerinde kullanılarak ticari güvenilirliğini kanıtlamış ve teknolojik gelişmesinin diğer sistemlere göre daha önde ve daha kolay olması da parabolik sistemler için bir avantajdır.

Teorik olarak incelenen parabolik oluk tipi güneş kolektörünün özellikle içindeki bütün bölümleri tek ele alınarak her birinin önemi vurgulanmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak sistemin literatürdeki araştırmaları ve dünyadaki sistemlerin teknik özellikleri incelenmiştir. Daha sonra sistem yansıtıcı yüzey, emici boru, cam örtü ve takip mekanizması olarak ayrı ayrı tek tek incelenerek maliyet hesapları çıkarılmaya çalışılmıştır. Sistemin tasarımı bittikten sonra ısı ve optik kayıpları hesaplanarak güneş ışınlarından ısı transfer akışkanına aktarılan enerji belirlenmiştir. Belirlenen bu veri sayesinde türbin kapasitesi seçilmiştir.

Tasarlanan sistemde kullanılacak yansıtıcı yüzeye, emici boru, cam örtü malzemesi seçilirken birçok malzeme incelenmiş, boyutlandırılması yapılırken literatürdeki hesaplamalardan yararlanılmıştır. Malzeme seçimi yapılırken ekonomik ve teknik değerler göz önünde bulunulmuştur. Yansıtıcı yüzey malzemesi olarak Flabeg firmasının ürettiği RP-3 aynalar, emici boru malzemesi olarak CrNi paslanmaz çelik üzerine krom selektif malzeme kaplamalı boru seçilmiştir. Piyasada bu boru DIN 1.4541 olarak bilinmektedir. Cam örtü malzemesi olarak dünyada bu işle uğraşan öncü firmalardan biri olan Schott firmasının ürettiği düşük demirli borosilikat cam seçilmiştir. Sistemde Güneş takip sistemi olarak gerek verimliliği gerekse maliyeti dikkate alınarak kuzey-güney kutup ekseninde yerleştirilip güneşi doğu-batı yönünde izleyen takip sistemi seçilmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan sistemin Denizli ili 2009 yılı tüm ayları ve 2010 yılı ilk dört ayı için optik ve ısı analizleri yapılmıştır. Sistemin optik verim bulunurken beş optik verimden yararlanılmıştır. Bu beş optik verimin üçü (yansıtıcı yüzeyin yansıtıcılığı, emici borunun yutuculuğu, cam örtünün geçirgenliği) seçilen malzemelerin güneş ışınlarını yansıtıcılık, geçirgenlik ve yutuculuk katsayılarına göre üretici firmalardan sağlanmıştır. Optik verimlerden dördüncüsü tasarlanan yansıtıcı yüzeyin tasarım hataları, gölgelenme etkisi, odaklama hataları ve işletme gibi hatalardan oluşmaktadır. Literatürde bu değer 0,9 olarak verilmektedir. Ancak literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve ideal koşullar göz önüne alınarak 0,95 olarak seçilmiştir. Beşinci ve son optik verim olan güneş takip verimi (K), kolektöre gelen direkt güneş ışınlarının geliş açısına bağlıdır. Güneş geliş açısı, seçilen takip sistemine göre güneş öğlesi durumunda  $18^{\circ}$  kabul edilmesi durumunda güneş takip verimi 0,95 olarak kabul edilmiştir. Bu bilgiler ışından sistemin optik verimi % 73,75 hesaplanmıştır. Tasarlanan sistemin ısı verimi hesaplanırken karşılaşılan en büyük engel emici boru ve cam örtü yüzey sıcaklıklarının bilmemesidir. Bunun için literatürde bazı kabuller yapılarak denklemler üretilmiştir. Kabullere göre emici boru dış yüzey sıcaklığı kolektöre giren ısı transfer akışkanı sıcaklığı olan  $150^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Cam örtü sıcaklığı ise kabul edilerek emici boru ile cam örtü arasındaki ısı transfer miktarı hesaplanmış, daha sonra hesaplanan bu değer cam örtü ile çevre ortam arasındaki ısı transfer miktarına eşitlenerek cam örtü sıcaklığı belirlenmiştir. Kabul edilen cam örtü sıcaklığı ile hesaplanan cam örtü sıcaklığı arasındaki fark 0,001 oluncaya kadar bu işleme bütün aylar için devam edilmiştir. Bilinmeyen sıcaklıklar belirlendikten sonra sistemin ısı kayıpları bulunmuş ve yoğunlaştırılan enerjiden çıkarılarak emici boruya aktarılan ısı enerjisi hesaplanmıştır. Aktarılan enerjinin yoğunlaştırılan enerjiye oranı bize ısı verimi vermiştir. Sistemin ortalama verimi %90 olarak bulunmuştur. Sistemin toplam verimi de % 65 olarak hesaplanmıştır.

Emici boruya aktarılan enerji belirlendikten sonra sistemde kullanılacak buhar türbini kapasitesi belirlenmiştir. Sistemdeki gerekli termodinamik hesaplamalar yapıldıktan sonra buhar türbini çıkışında jeneratöre aktarılan mekanik enerji, 2009 yılının bütün ayları olduğundan 2009 yılı ayının ortalaması yapılmış, bu ortalama yapılırken sistemin istenilen şartlarda çalışmadığı kış ayları hesaba katılmamıştır. bu verilere göre buhar türbini çıkışı mekanik enerji  $345,373\text{ kW}$  olarak bulunmuştur.

Parabolik oluk tipi güneş kolektör sistemlerinin ülkemizin çeşitli bölgelerinde kurulmaması için hiçbir sebep yoktur. Zaten yüksek güneş enerji potansiyeline sahip olan ülkemizde, gerekli alt yapı çalışmaları yapılmış olsaydı bu tür teknolojilerinin yaygın olarak kullanılıyor olması gerekirdi. Ancak sistemlerin maliyetlerinin firmalarca yüksek görülmesi bu durumun oluşmasına neden olmuştur. Bunun yanında devlet de firmaları güneş enerji santralleri kurması için yeterince teşvik edememektedir. Türkiye'deki 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklı üretilen elektriği 5.5 ¢cent/kWsaat devlet alım garantisi vermiştir. Ancak bu değer parabolik yoğunlaştırıcı sistemler için yeterli değildir. Bunun yanında enerji ile ilgili yapılan toplantılarda halen daha güneş enerjisiyle ilgili somut bir adım atılmamıştır.

Sistemin geliştirilip Türkiye'de kurulabilmesi için devletin Avrupa ülkelerinin (Almanya, İspanya) bazılarında olduğu gibi kurulucu güce dayalı ya da işletme yılına göre politikalar belirlemesi ve firmaların maliyet yükünü hafifletmesi gerekmektedir.

Sonraki yapılacak çalışmalarda, sistemde kullanılan malzemelerin (yansıtıcı yüzey, emici boru, cam örtü), sistemin güneş takip sisteminin Türkiye'de üretilmesi üzerine araştırmalar yapılmalıdır. Farklı yansıtıcı yüzey malzemeleri ve boyutlar, farklı emici boru malzemeleri ve boyutları, farklı cam örtü malzemeleri ve boyutlarından oluşmuş küçük prototip sistemler kurularak hepsinin performansı incelenmelidir. Parabolik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılan bütün malzemelerin çıkarılarak, hepsinin ithal olması durumundaki maliyeti, sistemin kurulumunun ve işletilmesinin maliyetleri çıkarılmalıdır. Parabolik yoğunlaştırıcı sistemler fosil kaynaklı yakıtlı santrallere eklenerek oluşturulan yeni hibrid sistemin analizi yapılmalıdır. Jeotermal santrallere birlikte kullanılabilir. Jeotermaldeki sıcak su parabolik yoğunlaştırıcılardan geçirilerek kızgın buhar üretimi incelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- Almanza, R., Lentz, A., 1998, Electricity production at low powers by direct steam generation with parabolic troughs, *Solar Energy*, 64: 1-3, 115-120.
- Almanza, R., Jimenez, G., Lentz, A., Soriaa., 2002, *Journal of Solar Energy, Engineering*, 124: 140-144.
- Bakos, G. C., 2006, Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector efficiency improvement, *Renewable Energy*, 31: 2411-2421.
- BP, Bp statistical review of world energy full report 2009, 2009.
- Chaouchi, B., Zrelli, A., Gabsi, S., 2007, Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator, *Desalination* 217: 118–126.
- Cope, A. W. G., Tully, N., 1982, Simple tracking strategies for solar concentrations, *Solar Energy*, 25, 5: 361-365.
- Çolak, L., 2003, Güneşi takip eden parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin matematiksel modellenmesi, tasarımı ve teknik optimizasyonu, Gazi Üniversitesi, Ankara, 268.
- Duffie J. A., Beckman W. A., 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes Third Edition*.
- Ecevit, A., Goshtaspour, M., 1985, Güneş Enerjisinde Yoğunlaştırıcı Toplaç, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Temel Bilimler Araştırma Grubu, 86, Ankara.
- Eck, M., Dteinmann, W. D., 2002, direct steam generation in parabolic troughs: First results of the DISS Project, *Journal of Solar energy Engineering*, 124: 134-139.

- El Fadar, A., Mimet, A., Azzabakh, A., Perez-Garcia, M., Castaing, J., 2009, Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector, *Applied Thermal Engineering*, 29: 1267-1270.
- El Fadar, A., Mimet A., Perez-Garcia, A., 2009, Study of an adsorption refrigeration system powered by parabolic trough collector and coupled with a heat pipe, *Renewable Energy* 34: 2271–2279.
- El Fadar, A., Mimet, A., Perez-Garcia M., 2009, Modelling and performance study of a continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector, *Solar Energy*.
- Eltez, M., 1986, Sabit Yansıtıcılı Çizgisel odaklı Kule Projesinde Yansıtıcı Odaklayıcı Yüzeyin Şekillendirilmesi, Doktora tezi, Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsü, İzmir.
- Eltez, M., 1990, Güneş enerjisi Yansıtıcı Yüzey Formlarının Endüstriyel Kullanımı, *Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi*, 1, 2: 45-50.
- Espana D.M., Rodriguez, L., 1987, Approximate steady-state modelling of solar trough collectors, *Solar Energy*, 38, 6: 447-454.
- Garcia-Valladares, O., Velazquez, N., 2009, Numerical simulation of parabolic trough solar collector: Improvement using counter flow concentric circular heat exchangers ,*International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52: 597-609.
- Gaul, H., Rabl, A., 1979, Incidence angle modifier and average optical efficiency of parabolic trough collectors, *Solar Energy*, 22, 3: 1-9.
- Gee, R., 1980, Line focus sun tracers, Sect. Of Int. Solar Energy, 501-504, New York, USA.
- Genç, A., 1998, Güneşi tek eksende takip eden parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısının performans deneyleri, Gazi üniversitesi, Ankara, 98.

- Fernandez-Garcia, A., Zarza, E., Valenzuela, L., Perez, M., 2010, Parabolic-trough solar collectors and their applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 912: 1- 27.
- Fraidenraich, N., Gordon, J. M., Fernandes, R., 1997, Improved solutions for temperature and thermal power delivery profiles in linear solar collectors, *Solar Energy*, 61,3: 141-145.
- Hermann, U., Kearney D. W., 2002, Survey of thermal energy storage for parabolic trough power plants, *Journal of Solar Energy Engineering*, 124: 145-152.
- Hession, P. J., Bonwick, W. J., 1984, Experience with a sun tracker system, *Solar Energy*, 32, 1: 3-11.
- Jeter, S. M., 1983, Geometrical effects on the performance of trough collectors, *Solar Energy*, 30, 2: 109-113.
- Jeter, S. M., 1986, Calculation of the concentrated flux density distribution in parabolic trough collector by a semifinite formulation, *Solar Energy*, 37, 5: 335-345.
- Kalogirou, S., Lloyd, S., Ward, J., 1997, Modelling, optimisation and performance evaluation of a parabolic trough solar collector steam generation system, *Solar Energy*, 60, 1: 49-59.
- Karaduman, A., 1989, Parabolik Güneş Kollektörü Sisteminin Tasarımı ve Yapımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara.
- Kearney, D. W., 2007, Parabolic Trough Collector Overview, National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, 1-39.
- Kılıç, A., Öztürk, A., 1983, Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul
- Krüger, D., Pandian, Y., Hennecke, K., Schmitz, M., 2008, Parabolic trough collector testing in the frame of the REACT Project, *Desalination* 220: 612–618



- Mazloumi, M., Naghashzadegan, M., Javaherdeh, K., 2008, Simulation of solar lithium bromide–water absorption cooling system with parabolic trough collector, *Energy Conversion and Management* 49: 2820–2832
- Odeh, S. D., Morrison, G. L., Behnia, M., 1998, Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors, *Solar Energy*, 62, 6: 395-406.
- Pereira, M. C., Rabl, A., Winston, R., 1980, Design and performance characteristics of compound parabolic concentrators with evacuated and with non-evacuated receivers, *International Solar Energy Congress*, 1977, New Delhi, India.
- Pereira, M. C., Gordon, M. J., Rabl, A., Winston, R., 1991, High concentration two stage optics for parabolic trough solar collectors with tubular absorber and large rim angle, *Solar Energy*, 49, 6: 457-466.
- Pinazo, A. M., Canada, J., Arago, F., 1992, Analysis of the incidence angle of the beam radiation onCPC, *Solar Energy*, 49, 3: 175-179.
- Prapas, E. D., Norton, B., Probert, S. D., 1987, Optics of parabolic trough solar energy collectors possessing small concentration ratios, *Solar Energy*, 39, 6: 541-550.
- Price, H., Lüpfert, E., Kearney, D., Zarza, E., Mahoney, R., 2002, Advances in parabolic trough solar power technology, *Journal of Solar energy Engineering*, 124: 109-125.
- Rabl, A., Winston, R., Gallagher, J., 1980, Applications of CPC's in solar energy an overview, *Solar Energy*, 16, 89: 25-30.
- Riffelmann, K.J., Neumann, A., Ulmer, S., 2006, Performance enhancement of parabolic trough collectors by solar flux measurement in the focal region, *Solar Energy*, 80: 1303-1313.
- Rincon, E. A., Osorio, F. A., 2002, Anew trouglike nonimaging solar collector, *Journal of Solar energy Engineering*, 124: 51-54.

- Shuang-Ying Wu, S. Y., Xiao, L., Cao, Y., Li, Y. R., 2010, A parabolic dish/AMTEC solar thermal power system and its performance evaluation, Applied Energy 87: 452–462.
- Songür, E., 2008, Güneş enerjisi ile Elektrik Üretimi Yöntem ve Teknolojiler Sunumu, Aralık 2008.
- Sözen, A., altıparmak, d., Usta, H., 2002, Development and testing of a prototype of absorption heat pump system operated by solar energy, Applied Thermal engineering, 22: 1847-1859.
- Tatlı, G., 1993, Güneş Enerjisinden Hidrojen Yakıtı Elde Edilmesi İçin Sistem Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi.
- Usta, H., 1995, Güneş Enerjisi ile Çalışan Soğurmalı Soğutma Sistemlerinin Tasarımlarının Geliştirilmesi ve İmali, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Üçgül, İ., Öztürk, M., Özek, N., 2003, Parabolik kolektörlerin optik, enerjetik ve ekserjetik verimliliklerinin analizi, Mühendis ve Makine, 47: 49-55.
- Valan Arasu, A., Sornakumar, T., 2007, Design, manufacture and testing of fibreglas reinforced parabola trough for parabolic trough solar collectors, Solar Energy, 81: 1273-1279.
- Web\_1. 2010, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_Energy\\_Generating\\_Systems](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_Energy_Generating_Systems), (24.09.2009)
- Web\_2. 2010, Solar Millennium AG, <http://www.solarmillennium.de/technologie/Referenzprojecte/Andasol>, (24.09.2009)
- Web\_3. 2009, Acciona North America, <http://www.acciona-na.com/About-Us/Our-Projects/U-S-/Nevada-Solar-One.aspx>, (24.09.2009)

Web\_4. 2010, Güneş Enerji Sistemleri, <http://www.gunessistemleri.com/teknik.php>, (12.03.2010)

Web\_5. 2010, Genç Bilim, <http://www.gençbilim.com/>, (11.02.2009)

Web\_6. 2010, Flabeg, [http://www.flabeg.com/en/index\\_en.php](http://www.flabeg.com/en/index_en.php), (24.04.2010)

Web\_7. 2010, Schott, <http://www.schott.com/english/index.html>, (18.05.2010)

Web\_8. 2009, Bilgiustam, <http://www.bilgiustam.com/canak-sistemleriyle-gunes-enerjisinden-elektrik-uretimi>, (08.03.2009)

Web\_9. 2009, Unienerji, <http://www.unienerji.com>, (17.03.2008)

Web\_10. 2008, Kıncay, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/yee.html>

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

Yılcı, A., 2008, 5 kWp Gücündeki Güneş-Hidrojen Sisteminin Kurulması ve Performans Analizi, Doktora Tezi Savunması Sunumu, Pamukkale Üniversitesi.

Zarza, E., Valenzuela, L., Leon, J., Weyers, H.D., Eck, M., Hennecke, K., 2002, The DISS Project: Direct steam generation in parabolic trough systems, operation and maintenance experience and update on Project status, Journal of Solar Energy Engineering, 124: 126-133.

# **EKLER A**

Ek A.1. 2009 Ocak ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	10,85688	0,015596	1014,301	235,945	21,78624
2	9,768807	1,037615	1006,676	42,76147	21,98532
3	11,00826	0,174312	1008,692	36,61468	17,43394
4	10,85688	0,015596	1014,301	235,945	21,78624
5	9,768807	1,037615	1006,676	42,76147	21,98532
6	11,00826	0,174312	1008,692	36,61468	17,43394
7	7,005505	0,066055	1013,075	219,1193	15,87798
8	7,313761	0,100917	1009,326	225,2844	19,84771
9	9,322018	0,069725	1008,936	276,945	21,04404
10	9,190826	0,049541	1010,351	167,6606	21,64312
11	11,89083	0,022018	1008,468	251,6514	20,89725
12	13,79174	4,455046	991,0128	75,75229	23,33028
13	10,83394	1,79633	989,6128	82,19266	17,71101
14	11,82936	1,278899	1004,825	147,6422	20,40734
15	10,85688	0,015596	1014,301	235,945	21,78624
16	9,768807	1,037615	1006,676	42,76147	21,98532
17	11,00826	0,174312	1008,692	36,61468	17,43394
18	7,005505	0,066055	1013,075	219,1193	15,87798
19	7,313761	0,100917	1009,326	225,2844	19,84771
20	9,322018	0,069725	1008,936	276,945	21,04404
21	9,190826	0,049541	1010,351	167,6606	21,64312
22	11,89083	0,022018	1008,468	251,6514	20,89725
23	13,79174	4,455046	991,0128	75,75229	23,33028
24	10,83394	1,79633	989,6128	82,19266	17,71101
25	14,72661	1,076147	992,0138	114,0459	16,7789
26	14,64495	1,343119	997,622	127,1193	21,54679
27	12,4211	0,708257	1006,128	228,2661	23,41835
28	10,05596	0,900917	998,3239	46,20183	24,36422
29	6,362385	0,019266	997,1413	124,3761	24,30642
30	7,688073	0,020183	997,8092	145,7156	20,87523
31	6,975229	0	1000,177	186,2844	16,58991

Ek A.2. 2009 Şubat ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	7,629358	0,026606	1007,01	238,8349	15,02661
2	9,924771	0,177982	1011,958	214,1835	20,73028
3	12,89633	0,080734	1012,585	241,3853	21,07431
4	15,28807	1,372477	1005,679	272,8624	22,86422
5	12,69266	0,441284	1002,486	76	23,86055
6	11,7367	0,369725	1003,248	310,7706	19,76147
7	14,44862	1,376147	1001,047	299,8716	17,99541
8	14,67064	7,03945	997,2147	137,3303	17,31101
9	7,990826	0,629358	994,1376	39,54128	23,78991
10	6,82844	0,273394	999,4927	68,15596	23,9578
11	8,9	0,977064	1001,214	237,2385	26,27431
12	12,26697	4,595413	997,2303	144,789	23,72294
13	10,04771	3,322018	996,4046	66,36697	22,57431
14	7,855963	2,377064	992,8413	70,13761	18,49083
15	5,055963	0,106422	998,3138	115,2385	16,67248
16	4,17156	0,288073	1004,674	174,4862	20,37064
17	5,475229	0,111927	1009,93	252,1284	21,42477
18	5,055963	0,106422	998,3138	115,2385	16,67248
19	4,17156	0,288073	1004,674	174,4862	20,37064
20	5,475229	0,111927	1009,93	252,1284	21,42477
21	2,061468	0,194495	1000,039	117,3394	19,13211
22	5,795413	0,06789	1002,832	214,5963	20,8844
23	2,061468	0,194495	1000,039	117,3394	19,13211
24	5,795413	0,06789	1002,832	214,5963	20,8844
25	2,061468	0,194495	1000,039	117,3394	19,13211
26	5,795413	0,06789	1002,832	214,5963	20,8844
27	2,061468	0,194495	1000,039	117,3394	19,13211
28	5,795413	0,06789	1002,832	214,5963	20,8844

Ek A.3. 2009 Mart ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	11,63279	0,814754	1008,262	368,7049	22,7
2	13,66066	2,47541	1008,408	303,2459	23,92459
3	15,33279	2,936066	1006,741	169,0656	23,0918
4	13,49016	1,391803	1005,928	247,0656	23,46066
5	11,10656	2,286885	1011,862	313,3279	23,90492
6	10,76066	0,788525	1017,397	476,4918	24,23443
7	13,31475	0,591803	1010,487	454,1148	24,13443
8	14,58689	0,660656	1005,261	447,7377	25,00492
9	16,21803	0,6	1007,015	453,541	24,87869
10	17,20492	0,409836	1007,739	415,8689	22,59836
11	15,07869	0,719672	1006,038	267,7705	21,23934
12	9,601639	0,591803	1010,12	238,0656	20,91311
13	10,59508	2,644262	1004,533	390,1475	20,15082
14	4,544262	3,680328	1004,307	79,63934	18,80984
15	6,459016	2,129508	1007,689	51,88525	18,9541
16	9,832787	1,208197	1008,764	463,9016	21,55574
17	11,7377	0,759016	1010,967	506	23,08852
18	14,20984	0,681967	1006,536	477,541	24,20492
19	15,74754	1,172131	999,8934	445,9016	24,82787
20	18,7	2,962295	997,6836	339,2951	25,44262
21	19,8918	3,72459	1000,118	505,4754	27,35574
22	19,52295	2,788525	1000,718	144,0328	27,2541
23	15,70492	3,332787	989,2557	187,8197	27,82295
24	10,17541	2,54918	1002,151	291,5902	26,94426
25	12,02787	0,413115	1009,366	328,8852	27,08689
26	13,30656	0,755738	1006,816	487,6721	27,7082
27	11,83607	0,870492	1006,515	423,1148	27,55902
28	11,11967	0,881967	1010,308	519,8852	24,98197
29	14,35574	0,485246	1011,479	495,6393	24,66885
30	18,65738	1,572131	1008,09	520,8525	24,76393
31	11,74426	2,291803	1001,339	117,5574	23,3918

Ek A.4. 2009 Nisan ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	8,189552	2,462687	1010,494	53,32836	20,71642
2	10,62239	1,062687	1012,243	502,2537	20,4791
3	10,70746	0,971642	1005,897	521,1194	21,47313
4	13,60299	0,607463	1003,048	500,9104	22,46567
5	11,98209	0,626866	1002,96	218,6866	22,32836
6	15,24776	0,420896	1007,543	385,8806	22,34925
7	16,5209	0,873134	1005,125	517,4925	23,35672
8	17,73433	1,144776	1002,84	532,3433	24,93433
9	16,7806	1,626866	1002,682	484,0149	24,17761
10	16,71791	1,241791	1004,61	543,0896	24,04776
11	16,72239	1,9	1003,403	469,4627	24,48209
12	14,37313	1,240299	1004,49	310,1343	23,66269
13	15,81642	1,058209	1009,819	561,3731	23,1209
14	14,79403	1,986567	1009,691	583,1343	23,77313
15	14,8791	2,31194	1006,997	490,0149	23,62836
16	12,9403	1,564179	1009,364	557,9851	22,67015
17	11,99851	0,553731	1004,939	278,3433	21,78507
18	12,19403	1,907463	1003,127	530,5224	21,21642
19	15,95373	1,047761	1006,904	541,8806	22,11642
20	16,90299	0,977612	1009,204	548,4925	23,3194
21	19,8791	0,873134	1010,294	522,0746	24,42537
22	18,26567	0,29403	1009,213	227,1642	24,13433
23	18,0791	2,752239	1009,318	598,7612	23,93731
24	17,74776	0,829851	1007,866	624,7612	24,68358
25	19,00896	0,802985	1004,107	454,4328	25,03582
26	19,71791	0,692537	1005,781	440,1493	24,48806
27	20,04179	0,91194	1007,296	556,597	24,94925
28	16,55303	0,612121	1004,739	265,2879	24,44394
29	15,07164	1,928358	1000,072	449,3284	23,48806
30	19,50597	0,840299	1002,982	604,1791	24,24478



**Ek A.5.** 2009 Mayıs ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	18,69241	2,597468	1004,392	315,5443	24,90506
2	17,97722	0,583544	1007,538	308,1646	24,27722
3	20,86835	1,021519	1004,532	522,1139	25,27722
4	21,53165	1,032911	1003,372	466,7595	26,24937
5	25,08354	0,731646	1004,141	523,1266	27,32278
6	27,76456	1,040506	1003,257	491,6835	28,52785
7	28,86835	1,194937	1000,299	519	30,23797
8	24,44177	2,687342	999,862	447,8861	30,76203
9	23,42785	1,126582	1001,138	483,481	29,94177
10	25,0962	1,029114	1000,7	430,7595	30,1038
11	25,38861	1,620253	1000,02	552,7595	29,69114
12	25,96709	1,003797	998,5544	558,6329	30,54557
13	26,34684	1,156962	1001,042	564,4051	31,06076
14	27,52025	1,305063	1002,256	570,0506	31,33544
15	28,10253	1,160759	1000,209	575,2532	31,40253
16	28,34304	0,831646	998,8494	557,5063	31,93544
17	24,06329	2,48481	998,4392	325,2911	30,61899
18	23,71203	2,261392	998,8582	433,3797	29,25759
19	23,69873	2,261392	998,8886	433,3671	29,25759
20	23,98228	2,359494	998,9544	456,2658	29,16456
21	21,03165	1,210127	1002,911	356,8987	28,43038
22	20,93544	1,373418	1000,665	402,9241	27,14177
23	21,52405	1,520253	998,7165	358,1772	28,64937
24	19,17089	1,336709	1001,409	228,1772	25,72025
25	22,60127	1,141772	1000,732	433,6962	25,70886
26	20,98228	2,224051	999,6873	264,443	26,31899
27	21,61392	2,134177	1002,213	435,6582	26,00886
28	24,39747	2,625316	999,1671	508,3165	27,52405
29	23,79367	1,225316	998,9949	346,1519	27,68481
30	25,19747	1,444304	998,0329	514,7848	28,47342
31	23,56076	1,821519	999,9	557,6329	29,62658

Ek A.6. 2009 Haziran ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	24,39529	1,657647	1001,993	492,4	29,55176
2	26,31059	1,170588	1002,062	510,1294	30,34235
3	27,66824	1,068235	1002,281	448,1176	31,24235
4	27,87176	1,277647	1001,745	461,4706	31,88471
5	25,71588	1,600588	998,3882	351,1824	30,85529
6	26,00471	1,928235	995,2235	503,1294	30,62118
7	21,39765	1,850588	997,9635	279,9412	29,79294
8	21,03529	2,088235	1000,74	305,0941	28,12235
9	25,06235	1,125882	999,9424	491,0941	28,88471
10	19,05294	0,657647	1001,309	155,6353	29,18
11	21,49647	1,278824	1000,621	399,1176	27,34118
12	23,78706	0,964706	1000,231	537,1412	27,91294
13	27,40824	1,091765	999,1718	524,9059	30,7
14	28,31294	1,3	999,6812	449,2118	31,66471
15	27,74353	1,548235	997,8812	370,3529	32,14706
16	28,28471	1,522353	997,2729	520,5412	32,80235
17	28,93529	1,811765	997,1094	520,5765	34,05647
18	29,17529	2,48	997,8247	514,3294	34,15529
19	29,19412	1,674118	999,5282	532,6353	34,53059
20	28,89882	1,661176	1000,232	484,7059	34,18235
21	29,55294	1,707059	1001,074	521,8353	33,64471
22	29,12824	1,194118	1002,133	553,2	33,99059
23	32,75647	1,424706	1002,501	529,9765	35,38235
24	35,23529	1,245882	1002,142	500,1294	36,79294
25	32,88471	2,157647	1002,12	519,9176	36,97647
26	34,86588	1,305882	996,9082	511,8941	37,57059
27	35,59176	1,141176	995,3588	500,5294	38,55059
28	35,76	2,558824	995,6659	517,7647	38,87176
29	31,10235	2,147059	996,3188	503,0353	36,19765
30	27,71059	2,110588	997,8953	517,0588	35,02824

**Ek A.7.** 2009 Temmuz ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	30,72909	0,609524	1000,559	541,6911	27,67593
2	30,53092	0,732461	997,8177	510,8478	28,22556
3	29,14162	1,212247	994,0614	498,2461	28,39703
4	27,2574	1,054305	991,6349	283,0574	28,7702
5	28,69263	0,924019	992,8163	510,9822	28,94637
6	30,09929	0,808442	994,3021	500,5684	28,85149
7	30,40999	0,749227	996,6663	489,069	28,92913
8	31,11617	0,826873	997,8939	505,3841	30,46052
9	32,22069	0,743044	997,1776	515,5458	30,88026
10	32,34994	0,796314	995,9914	509,1058	31,15351
11	32,35208	0,796314	995,9882	508,9631	31,15493
12	29,47967	1,306302	995,092	531,038	29,95553
13	26,13821	1,724524	997,6218	477,506	29,18595
14	26,59263	1,649108	999,6369	463,8954	29,79203
15	26,79524	1,925803	1001,047	502,9762	28,3214
16	26,99501	2,170036	999,2152	304,0107	28,5365
17	28,65719	1,775268	996,879	418,3876	29,41058
18	30,82105	0,904756	995,9793	508	29,13924
19	31,64979	0,740499	996,5738	597,1872	29,34411
20	33,10154	0,777316	998,424	506,88	27,90071
21	30,75006	1,120333	999,139	482,7705	28,25446
22	30,30868	0,816647	998,8474	507,6706	27,58763
23	30,76801	0,732224	998,5635	519,1665	27,41772
24	30,92497	1,041379	998,9101	516,8692	28,72033
25	32,63793	0,614269	998,3855	516,3139	30,47182
26	34,5591	0,383591	995,6049	515,8633	31,50713
27	27,92752	0,995413	997,8165	498,9289	30,17729
28	29,99231	0,534911	998,7207	498,7811	28,97574
29	30,6213	0,526036	997,6284	510,0473	28,88994
30	29,40059	1,029586	997,3059	499,3905	27,2503
31	28,63609	1,505325	997,7491	500,4201	27,87041

**Ek A.8.** 2009 Ağustos ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımını (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	28,29108	0,897452	998,1255	528,3248	25,54968
2	30,0172	0,945223	999,0255	520,1338	28,6707
3	31,91975	0,373248	1000,076	519,4268	27,80892
4	33,49745	0,497452	998,3051	519,2484	28,19682
5	33,93949	0,901274	996,1	496,3631	26,54013
6	32,45287	0,973885	993,1318	426,9745	27,45732
7	30,82675	0,889809	993,0541	502,879	27,68025
8	28,1949	1,468153	995,1732	333,4713	29,63185
9	28,96242	1,338217	997,5089	490,5669	30,47962
10	27,98662	1,443949	999,3567	482,4968	29,06369
11	26,7879	1,210191	1000,014	496,2994	27,97452
12	27,11274	0,957962	998,5962	493,8726	26,63185
13	27,66306	0,656688	998,2325	471,8854	26,87325
14	30,37898	0,607006	1000,309	485,3758	27,89299
15	31,8758	0,904459	999,1191	461,1274	28,86433
16	30,68599	0,605096	996,3338	480,0764	29,42484
17	30,82229	1,371338	995,8051	481,0573	28,1121
18	30,12166	0,853503	998,3166	485,7197	27,41975
19	30,84204	0,827389	1000,225	481,5032	27,21401
20	31,7586	0,630573	1001,854	490,2994	27,50318
21	30,06242	1,233121	1000,72	489,8408	27,64904
22	28,6121	0,592357	997,4108	499,2484	28,82484
23	29,51911	0,61465	996,1535	492,2293	29,19936
24	29,84013	0,469427	995,3815	415,1019	27,60382
25	28,11083	0,798089	998,7172	457,5414	27,78153
26	28,73185	0,90414	1001,225	458	27,97134
27	29,54777	0,817197	1001,227	463,7325	27,74904
28	30,20892	0,774522	999,1127	474,9108	27,13822
29	30,05796	0,729936	999,2025	454,7707	28,0707
30	29,3414	0,822293	1000,679	441,3758	28,57516
31	28,99236	1,047134	1001,268	442,5478	27,78662

**Ek A.9.** 2009 Eylül ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımını (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	27,71955	1,811278	1001,722	491,7519	27,30526
2	27,27705	0,913934	1001,559	549,6885	26,54262
3	28,51429	0,857143	999,8053	508,8797	27,12256
4	30,46541	0,787218	1000,123	508,9699	25,5609
5	31,75714	0,779699	999,1549	497,1128	26,98647
6	32,23985	0,635338	995,985	499,9098	27,94887
7	26,75263	1,350376	993,6752	463,6316	27,95038
8	21,12256	1,305263	996,9767	131,4511	27,67669
9	20,89248	0,463158	1003,552	253,2331	26,76842
10	24,3985	0,703008	1002,195	480,5188	26,8
11	23,60752	1,137594	995,782	263,5714	27,22481
12	20,75338	0,57218	994,5857	216,7669	26,61504
13	20,01805	0,263158	1001,971	156,6992	25,65263
14	24,5782	0,465414	1006,174	429,5714	25,7812
15	23,46466	0,466917	1006,286	317,594	26,17594
16	24,57143	1,054887	1002,721	439,594	26,01278
17	25,4797	0,633835	1001,083	467,0226	26,28571
18	24,96541	0,737594	998,6947	286,4135	26,43985
19	22,95188	0,961654	999,1654	377,8195	26,44812
20	22,19549	1,481955	1000,637	437,6692	26,4015
21	20,06541	0,881955	1004,945	463,3083	26,21203
22	20,98722	0,553383	1008,676	471,4211	25,53308
23	22,55263	0,775188	1010,496	460,218	25,64511
24	24,1188	0,466165	1007,768	457,5263	25,61579
25	25,36992	0,383459	1004,755	413,1053	25,70451
26	25,90752	0,781203	1005,323	381,0977	26,20602
27	22,62782	1,773684	1006,894	408,9474	26,1
28	22,11353	0,578947	1005,302	437,4361	25,54812
29	23,02932	0,329323	1003,286	417,1278	25,36316
30	23,66541	0,486466	1003,225	406,3759	24,80752

**Ek A.10.** 2009 Ekim ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	24,47107	0,315702	1006,013	413,0744	24,74132
2	25,1686	0,480165	1005,242	430,843	25,49091
3	25,25289	1,142149	1003,655	416,6198	25,90331
4	24,47327	0,491736	1004,129	307,505	26,15289
5	23,74271	0,833058	1005,196	306,3958	26,04463
6	23,2157	0,645455	1005,217	416,3223	25,89339
7	24,09091	0,897521	1004,707	421,6777	25,71157
8	23,34463	0,466942	1004,526	415,6198	25,34876
9	24,57273	0,404959	1003,933	413,1818	25,34711
10	25,31901	0,34876	1003,35	408,6777	25,0314
11	25,73388	0,557851	1003,134	393,8512	24,80579
12	24,24298	1,312397	1002,227	402,2727	25,2281
13	22,9281	3,526446	998,7496	367,1074	25,05537
14	18,46281	0,659504	1001,207	319,1736	24,03884
15	18,25041	0,026446	1007,745	259,1901	23,70165
16	25,46281	1,426446	1005,067	340,0992	24,36033
17	24,69256	1,141322	1004,157	233,2397	24,45289
18	23,24793	0,233884	1001,426	307,1736	24,51157
19	26,14215	1,000826	1000,958	299,1983	25,90661
20	22,86281	0,198347	1003,357	304,2975	25,43554
21	19,89587	0,609917	1005,757	277,0331	25,01157
22	19,77769	0,233884	1007,717	351,8512	24,38182
23	21,46116	0,147934	1005,872	335,6446	24,38347
24	21,81488	0,361983	1000,715	316,0826	23,7438
25	20,2595	0,249587	1001,464	172,5455	23,44876
26	19,5157	1,359504	1002,416	137,4711	23,59917
27	17,9595	0,314876	1002,435	158,438	23,76612
28	17,79752	0,454545	1000,852	165,4793	22,75785
29	17,36838	0,409091	1001,124	281,3761	22,14215
30	17,54793	0,244628	1000,019	276,7107	22,1562
31	11,19835	0,359504	1002,308	46,3719	21,1719

**Ek A.11.** 2009 Kasım ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımını (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	8,342593	0,492174	999,9252	44,27778	19,51739
2	9,569091	2,08	999,4426	151,8165	21,87913
3	9,511304	0,117391	1000,497	288,9478	23,00957
4	14,28087	3,513043	991,0809	87,8	23,68609
5	14,46609	0,22	1006,547	317,513	20,24087
6	15,27826	0,075652	1009,897	148,4435	23,26783
7	18,5287	0,069565	1005,457	300,6	19,43739
8	16,75217	0,408696	997,5904	121,8435	18,80609
9	17,43565	0,18087	1004,78	270,9739	21,71826
10	17,90957	0,805217	1002,723	315,1826	20,84696
11	13	0,938261	997,3435	66,96522	23,99391
12	12,47739	2,414783	999,5965	84,24348	22,24609
13	11,79304	0,177391	1008,608	179,7217	23,13652
14	10,8487	0,054783	1012,132	263,0957	19,97478
15	11,24609	0,043478	1010,39	276,2174	17,99565
16	12,81565	0,226087	1008,183	275,8522	24,43304
17	12,87826	0,344348	1010,705	258,6696	24,58261
18	11,81826	0,095652	1013,13	301,7652	22,44522
19	13,00174	0,209565	1012,523	294,1217	22,44435
20	14,02522	0,029565	1017,182	267,4435	22,48087
21	14,57217	0,050435	1016,54	272,2348	18,65478
22	13,87043	0,054783	1012,97	273,1652	17,69565
23	13,49304	0,029565	1010,403	260,6174	20,9287
24	13,4887	0,006957	1006,365	243,7391	20,59739
25	12,75826	0,041739	1007,2	221,5217	23,7313
26	12,04522	0,029565	1011,653	237,2783	20,64
27	11,82435	0,010435	1011,537	231,4435	17,63913
28	12,52957	0,143478	1012,513	237,7391	16,61217
29	13,17652	0,042609	1012,253	152,8522	16,04522
30	13,33913	0,046087	1013,592	244,4522	15,79304

Ek A.12. 2009 Aralık ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	12,85872	0,029358	1012,692	247,5413	23,54128
2	13,04679	0,095413	1006,512	239,0183	24,17248
3	10,97037	0,252294	998,756	143	24,37339
4	11,72136	0	1002,261	115,3981	24,51193
5	11,34151	0,00367	999,8578	81,12264	18,50459
6	11,54495	0	1000,845	184,8519	17,50459
7	11,00392	0,045872	1004,854	136,8039	22,11651
8	9,551376	0	1006,947	227,5596	24,91835
9	9,67757	0	1003,766	246,514	24,22844
10	11,013	0	999,2404	93,49	22,45413
11	10,94583	0,007339	994,0459	76,58947	21,88899
12	11,73645	0,127523	995,4037	131,3832	18,08624
13	11,84381	0,421101	1000,917	67,6381	16,83761
14	9,987736	0,041284	1009,937	204,5377	22,12477
15	10,59065	0,678899	1003,438	117,6075	22,70826
16	10,69811	0,519266	989,8716	31,57547	23,38899
17	9,277451	0	994,2312	96,83333	22,80734
18	11,29293	1,986239	992,5817	64,26263	23,67431
19	12,07333	0,96789	999,9826	196,6	18,19817
20	18,45514	5,605505	995,1138	195,5047	17,69817
21	9,423762	0,548624	1004,82	144,3366	23,28991
22	6,952778	0,00367	1013,177	227,0093	21,01193
23	9,002804	0,011009	1012,98	155,1776	22,61193
24	11,12685	0,030275	1012,616	207,4259	22,60275
25	10,99906	0,066055	1011,299	113,8868	22,44587
26	13,89904	0,058716	1006,342	224,5673	20,06789
27	13,48738	0,074312	1003,155	104,9126	18,62202
28	9,298165	0,058716	1003,331	30,24771	21,52661
29	18,10367	2,985321	995,5899	29,6422	18,57706
30	12,04587	3,457798	996,3587	23,97248	17,02294
31	10,14954	2,945872	1000,193	15,98165	16,07523



**Ek A.13.** 2010 Ocak ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımını (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	4,293578	0,400917	1010,504	235,945	24,19817
2	4,733028	0,063303	1011,397	42,76147	22,52477
3	14,36514	1,584404	1009,098	36,61468	21,73945
4	14,07431	1,698165	1010,261	235,945	23,21927
5	11,5156	0,014679	1012,233	42,76147	21,88624
6	16,25321	1,16055	1008,875	36,61468	18,57339
7	16,28899	2,814679	1000,921	219,1193	18,09083
8	9,208257	0,188991	1007,485	225,2844	22,61468
9	8,757798	0,140367	1001,484	276,945	22,06697
10	6,901835	0,00367	999,8743	167,6606	23,4211
11	7,933028	0	998,9771	76,58947	21,69633
12	8,565138	0,03945	1006,218	131,3832	21,95138
13	7,959633	0	1009,854	67,6381	17,71193
14	9,727523	0	1008,069	204,5377	16,66697
15	10,75294	0,004706	999,7565	144,6265	20,84471
16	5,672727	0,112844	1000,583	34,22642	22,04587
17	4,843678	0,023853	1002,377	93,22549	21,2945
18	4,877982	0,262385	1009,437	67,59596	20,7945
19	8,641284	2,351376	996,6202	185,4667	20,56697
20	3,034862	0,177982	1007,618	198,1682	15,2945
21	1,648515	1,358416	1009,497	6,762376	16,06733
22	-0,1367	1	1017,685	34,78899	16,7156
23	-1,32844	0,026606	1019,186	61,01835	17,28532
24	3,834862	0,062385	1008,657	29,85321	17,50275
25	6,698165	0,072477	996,9183	29,07339	18,6578
26	11,45872	2,085321	993,7495	45,18349	20,25046
27	10,87248	0,031193	994,0183	53,65138	16,9211
28	11,03486	3,306422	998,4569	46,29358	15,62844
29	12,10734	1,450459	1002,706	41,54128	20,56422
30	8,670642	3,022018	991,8862	11,0367	21,49541
31	-0,75229	1,13211	1010,16	26,01835	20,64587

**Ek A.14.** 2010 Şubat ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımını (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	7,629358	0,026606	1007,01	238,8349	15,02661
2	9,924771	0,177982	1011,958	214,1835	20,73028
3	12,89633	0,080734	1012,585	241,3853	21,07431
4	15,28807	1,372477	1005,679	272,8624	22,86422
5	12,69266	0,441284	1002,486	76	23,86055
6	11,7367	0,369725	1003,248	310,7706	19,76147
7	14,44862	1,376147	1001,047	299,8716	17,99541
8	14,67064	7,03945	997,2147	137,3303	17,31101
9	7,990826	0,629358	994,1376	39,54128	23,78991
10	6,82844	0,273394	999,4927	68,15596	23,9578
11	8,9	0,977064	1001,214	237,2385	26,27431
12	12,26697	4,595413	997,2303	144,789	23,72294
13	10,04771	3,322018	996,4046	66,36697	22,57431
14	7,855963	2,377064	992,8413	70,13761	18,49083
15	5,055963	0,106422	998,3138	115,2385	16,67248
16	4,17156	0,288073	1004,674	174,4862	20,37064
17	5,475229	0,111927	1009,93	252,1284	21,42477
18	5,055963	0,106422	998,3138	115,2385	16,67248
19	4,17156	0,288073	1004,674	174,4862	20,37064
20	5,475229	0,111927	1009,93	252,1284	21,42477
21	2,061468	0,194495	1000,039	251,6514	19,13211
22	5,795413	0,06789	1002,832	75,75229	20,8844
23	2,061468	0,194495	1000,039	82,19266	19,13211
24	5,795413	0,06789	1002,832	114,0459	20,8844
25	2,061468	0,194495	1000,039	127,1193	19,13211
26	5,795413	0,06789	1002,832	228,2661	20,8844
27	2,061468	0,194495	1000,039	46,20183	19,13211
28	5,795413	0,06789	1002,832	214,5963	20,8844

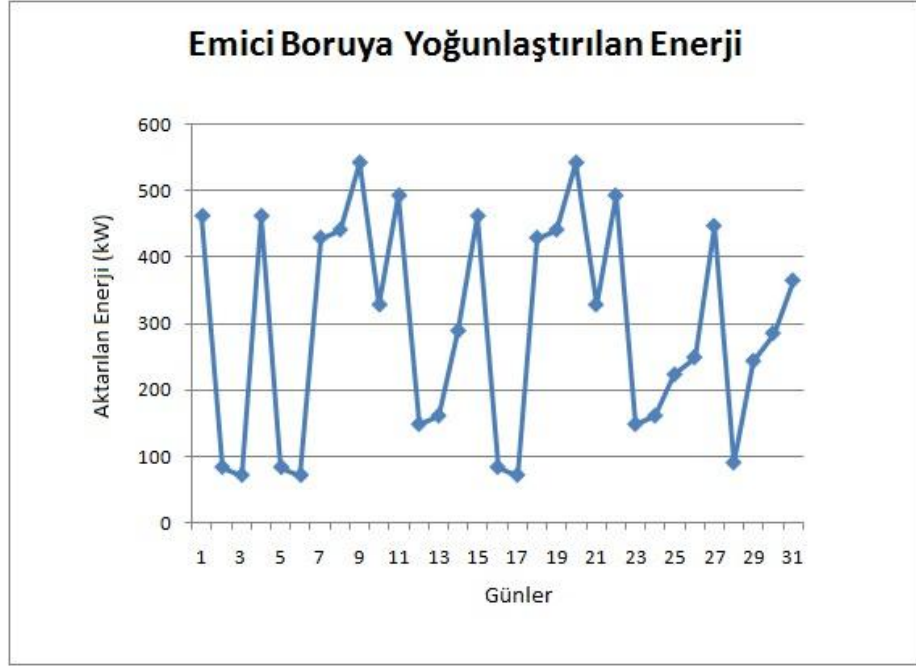
**Ek A.15.** 2010 Mart ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	11,74628	0,003306	1006,284	270,8926	22,33471
2	17,13636	0,068595	1000,125	427,0992	21,7405
3	11,54463	0,954545	1006,987	247,7686	23,37686
4	11,03636	0,997521	1002,379	192,6529	23,05124
5	16,2281	3,912397	994,9661	366,1653	23,15372
6	14,63719	3,267769	998,7901	145,3554	19,0595
7	11,10661	0,02314	1008,64	189,2066	17,7
8	20,57521	3,073554	995,5653	118,5537	23,49421
9	16,26777	1,642149	995,5355	215,2066	24,42066
10	14,56942	0,226446	1007,162	346,4876	24,27273
11	17,11157	0,529752	999,695	288,5702	22,36364
12	13,97521	0,410744	1003,684	274,7851	22,51983
13	14,11983	0,327273	1004,334	414,9256	19,83719
14	11,20496	0,679339	999,9554	207,6446	19,21736
15	6,783471	0,972727	999,4702	64,80165	21,7719
16	8,933058	1,76281	1011,419	517,1653	20,99587
17	10,11322	1,047934	1011,167	505,2975	18,93471
18	10,11322	1,047934	1011,167	505,2975	18,93471
19	10,78926	0,633058	1018,723	508	18,85785
20	13,58347	0,324793	1018,537	535,5537	17,54132
21	15,37934	0,422314	1016,595	524,0826	16,89421
22	17,00331	0,376033	1011,312	511,9421	20,93967
23	19,37025	0,156198	1004,941	494,3471	20,75455
24	18,8438	0,364463	1001,512	436,2066	20,96612
25	14,0314	0,191736	1004,818	206,5537	22,7719
26	15,05785	0,61157	1006,521	428,7851	21,8
27	17,5595	0,344628	1003,191	518,4298	19,43306
28	18,44711	3,442149	994,0793	491,6364	19,38843
29	10,20579	0,380165	1003,935	163,1901	23,69008
30	14,69587	0,566942	1009,772	549,6198	22,40413
31	16,29421	0,694215	1006,207	407,4132	22,81488

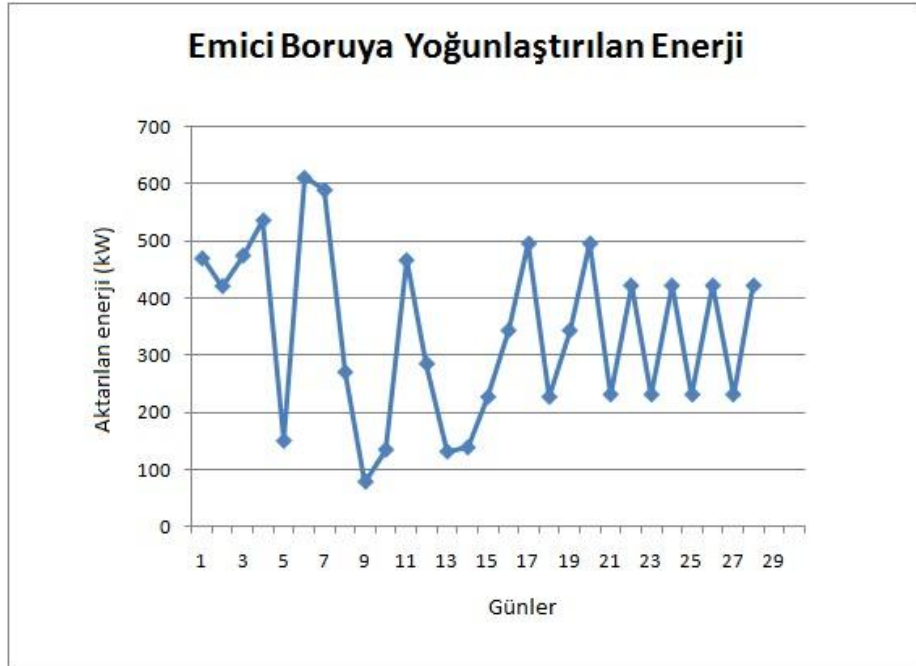
**Ek A.16.** 2010 Nisan ayı için Vantage Pro2 Station cihazıyla ölçülen değerler

Gün	Dış Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Ortalama Hızı (m/s <sup>2</sup> )	Ortalama Basınç (Bar)	Ortalama Güneş Işımını (W/m <sup>2</sup> )	İç Hava Ortalama Sıcaklığı (°C)
1	18,44737	0,530075	1005,388	462,1429	22,54135
2	17,28689	0,277049	1002,696	336,7951	23,42131
3	16,4985	0,683459	1006,196	408,7368	23,09774
4	18,18872	0,449624	1009,111	544,5714	22,59398
5	19,88647	0,238346	1008,555	543,2782	21,74586
6	17,35714	1,420301	998,9586	490,8195	22,06842
7	9,230827	0,504511	1001,583	116,5865	23,13684
8	10,72782	1,123308	1007,223	273,4586	22,78647
9	12,67594	0,920301	1008,968	551,0752	20,80902
10	13,59398	0,233083	1003,55	539,2707	19,59624
11	9,858647	0,003008	996,3714	76,95489	20,92481
12	11,88647	0,8	1000,974	408,8872	21,67669
13	14,89173	0,231579	1004,868	551,0752	20,43759
14	18,76917	0,169925	1004,741	521,3985	22,38947
15	16,24286	0,129323	1005,431	505,9925	22,74135
16	21,90376	0,234586	1003,868	530,8496	22,67895
17	21,84887	0,73609	1002,801	469,391	21,4203
18	18,33158	0,222556	1004,895	532,2707	21,80301
19	22,14586	0,47218	1003,156	413,8496	23,09098
20	21,84737	3,325564	996,0586	583,1353	23,68496
21	13,40827	0,934586	996,8105	349,2857	23,73383
22	16,44511	1,346617	1004,837	578,9323	22,46992
23	20,19549	0,466165	1008,662	603,3459	21,33985
24	21,8015	0,657895	1007,575	554,3008	20,92932
25	21,88271	0,365414	1004,576	451,8571	21,08571
26	19,56617	0,646617	1002,929	338,4135	22,10602
27	16,01353	0,923308	1003,44	249,2857	22,0203
28	16,77385	0,6	1003,977	510,3769	21,75789
29	16,81128	0,855639	1002,602	324,9774	22,4391
30	17,28571	1,093985	1001,071	522,797	21,51429

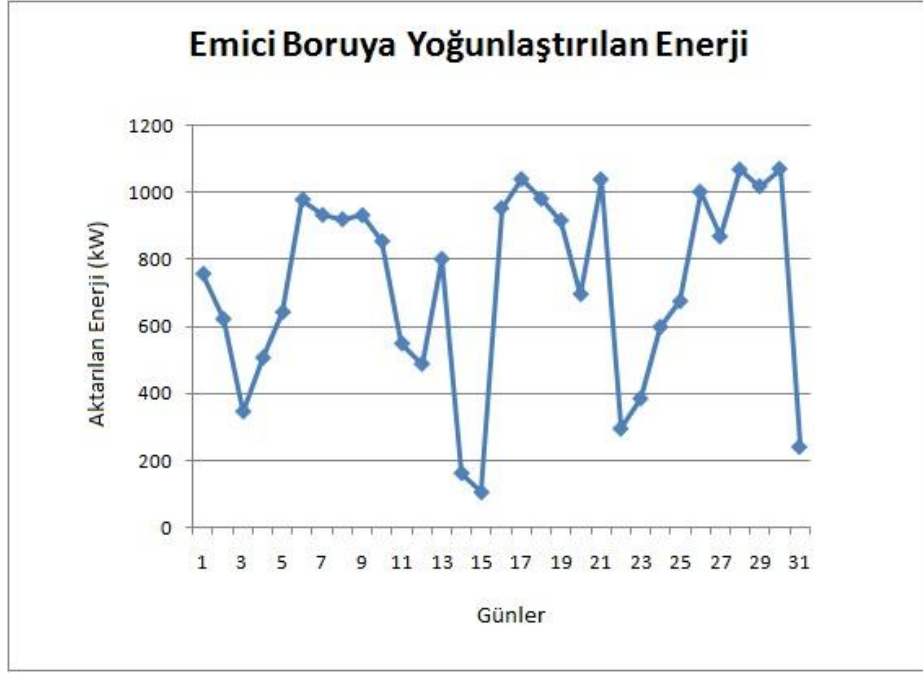
## **EKLER B**



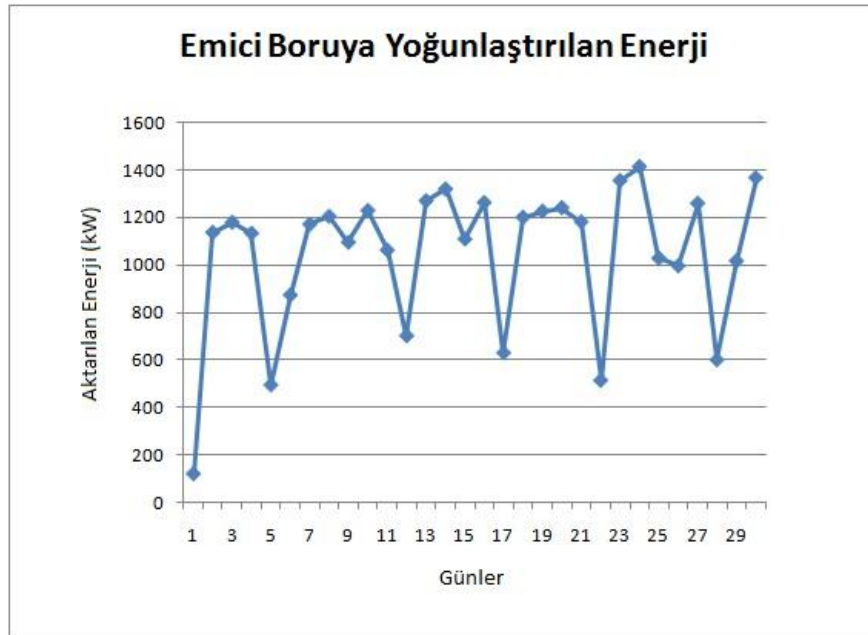
**Ek B.1.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Ocak ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



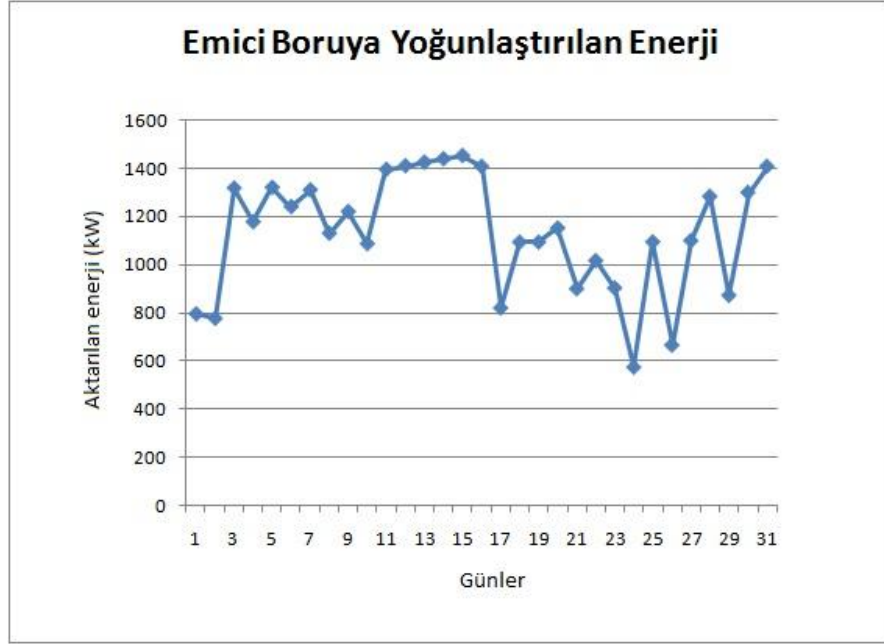
**Ek B.2.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Şubat ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



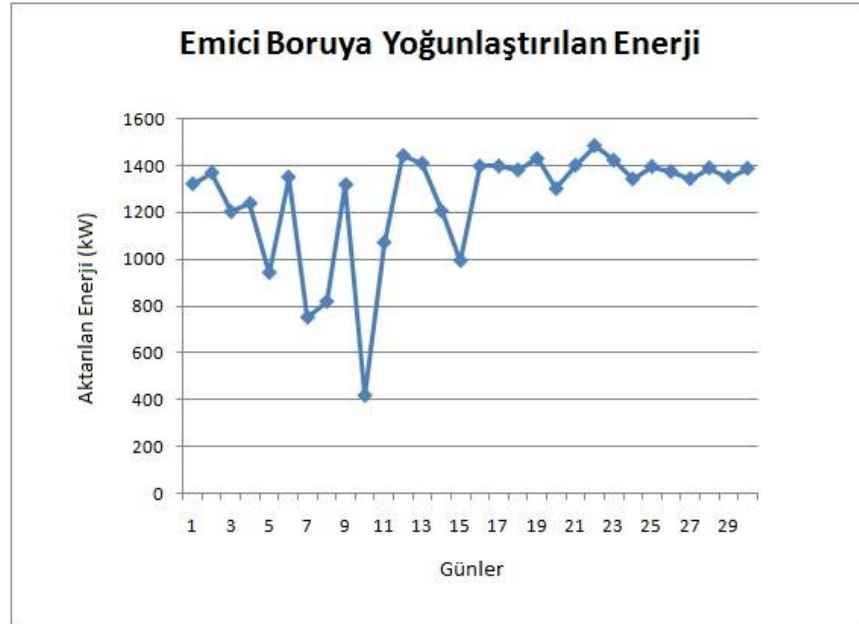
**Ek B.3.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Mart ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



**Ek B.4.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Nisan ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji

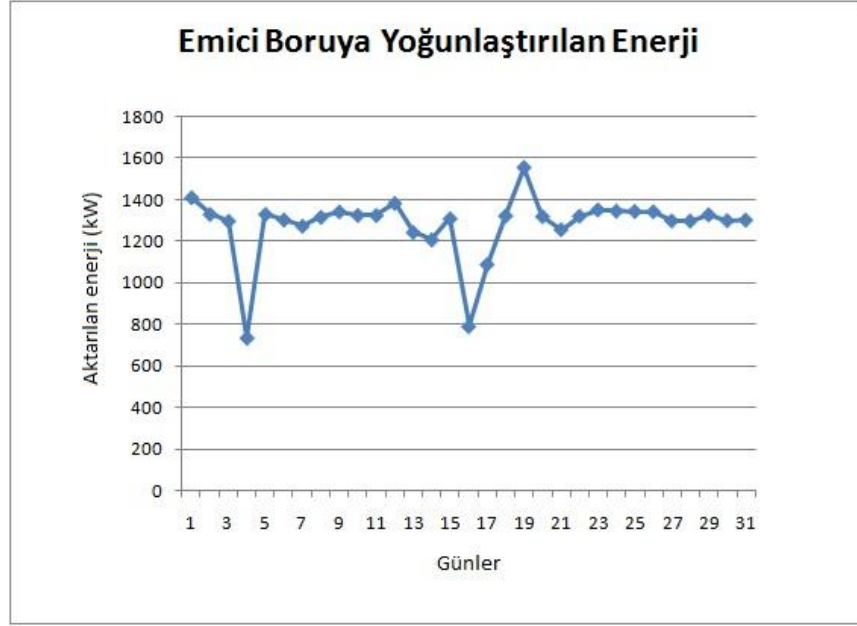


**Ek B.5.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Mayıs ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji

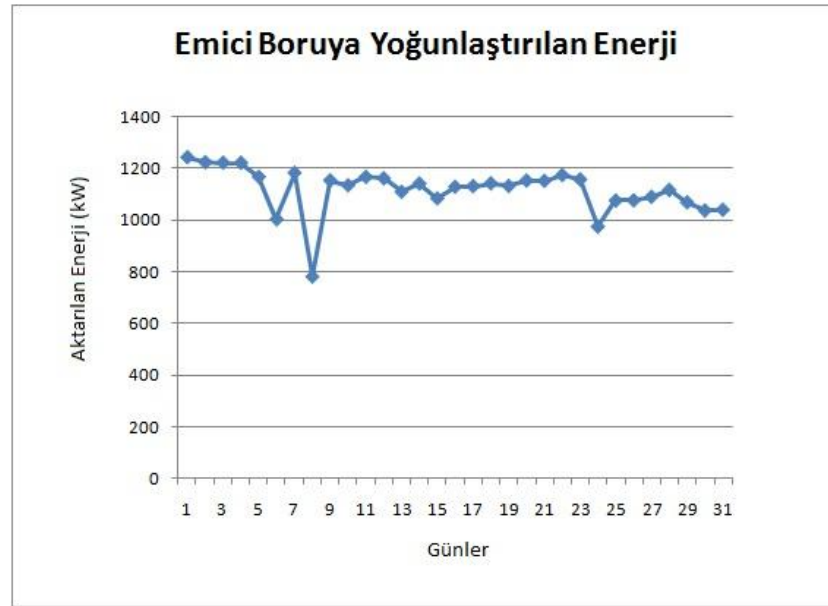


**Ek B.6.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Haziran ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji

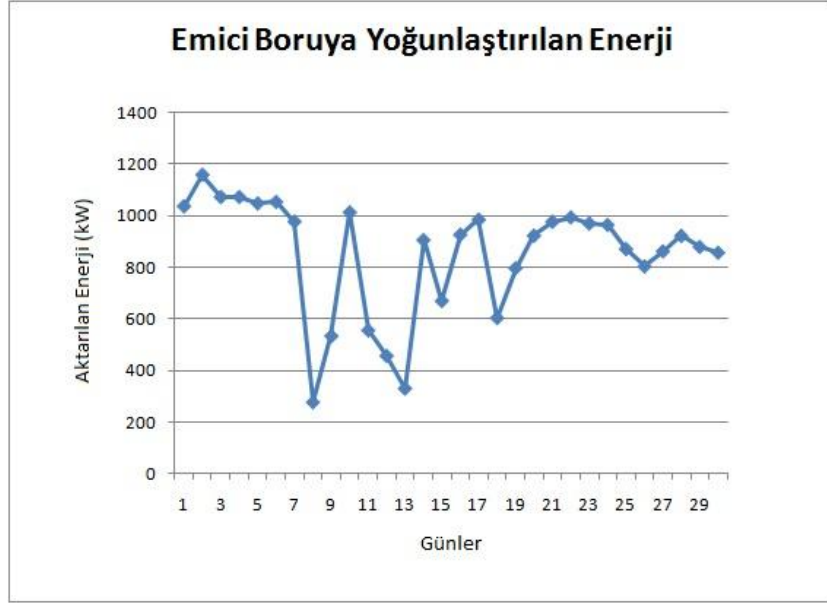




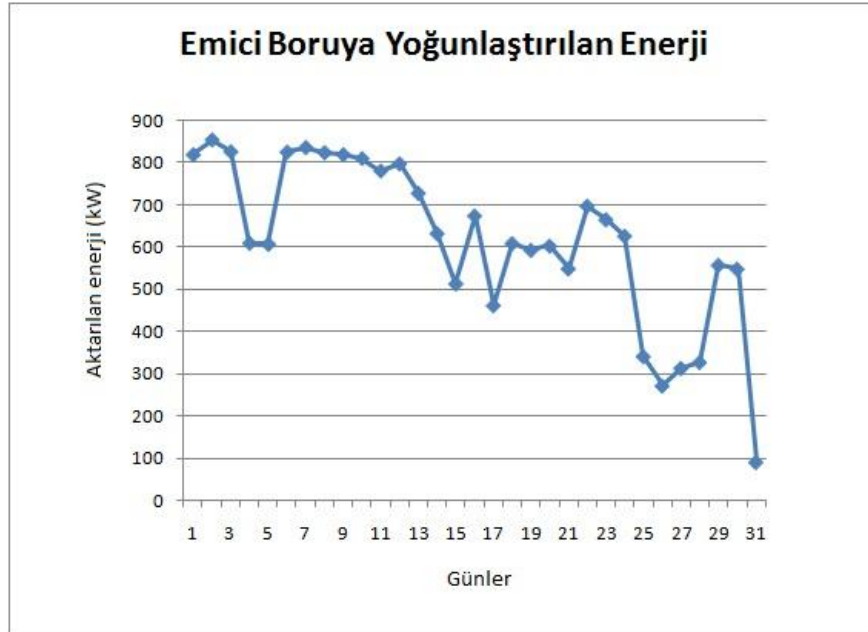
**Ek B.7.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Temmuz ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



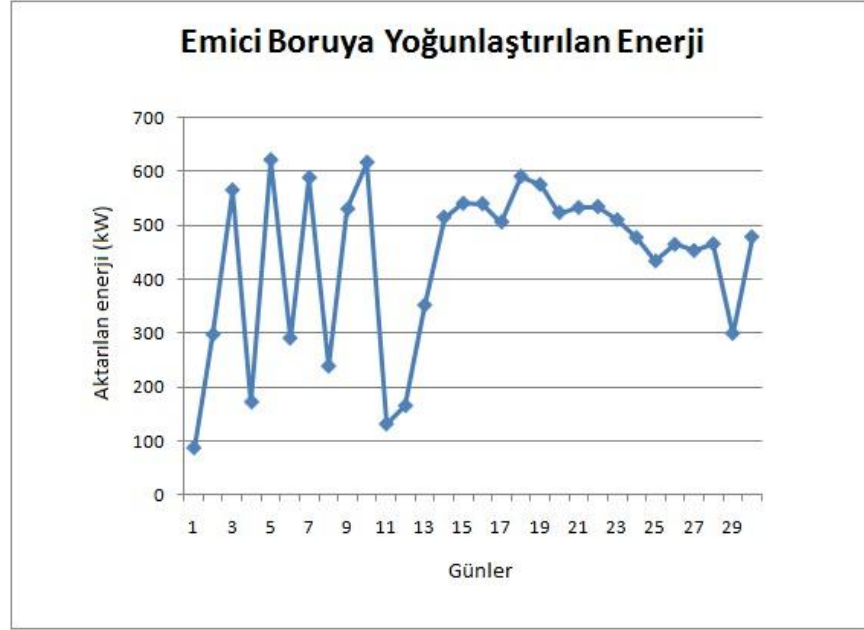
**Ek B.8.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Ağustos ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



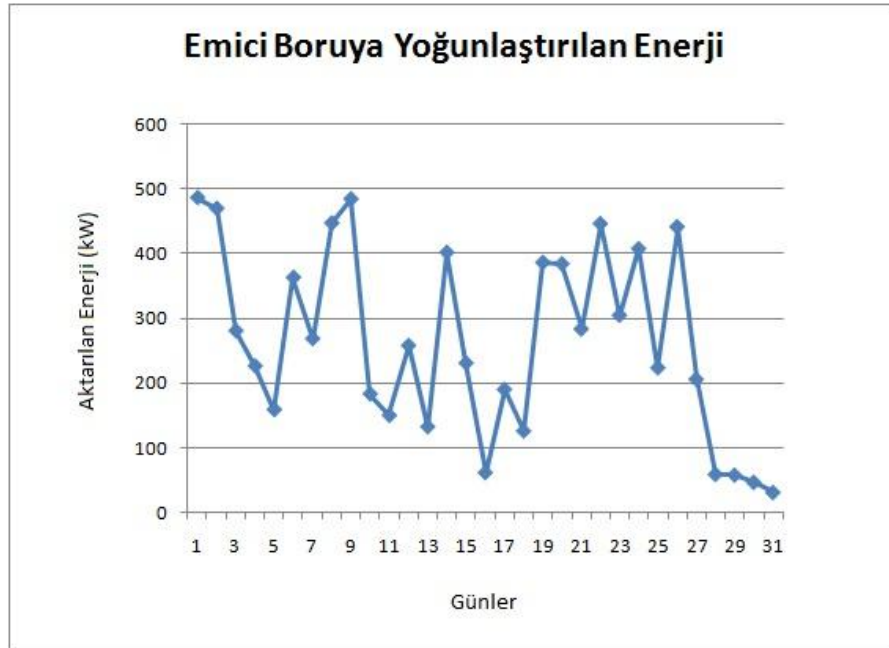
**Ek B.9.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Eylül ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



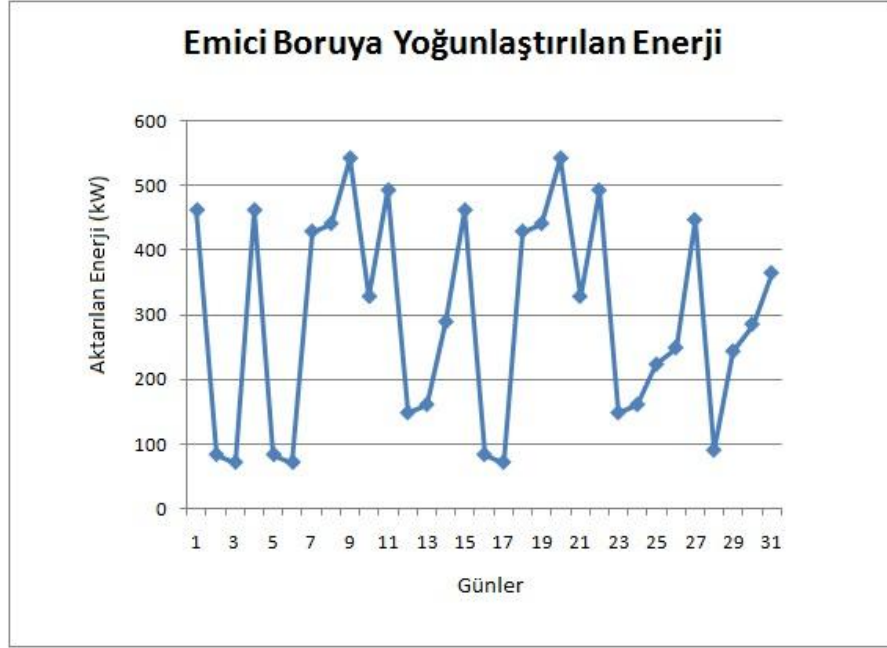
**Ek B.10.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Ekim ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



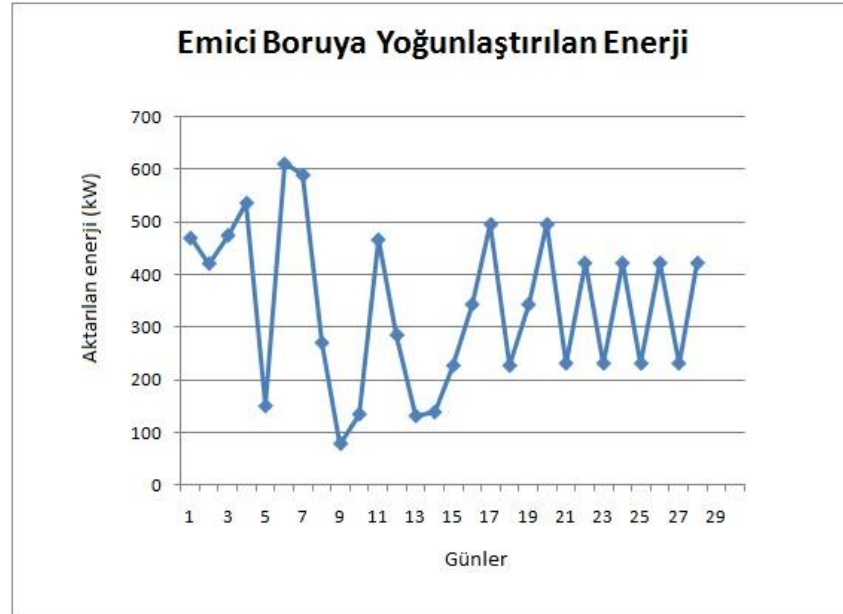
**Ek B.11.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Kasım ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



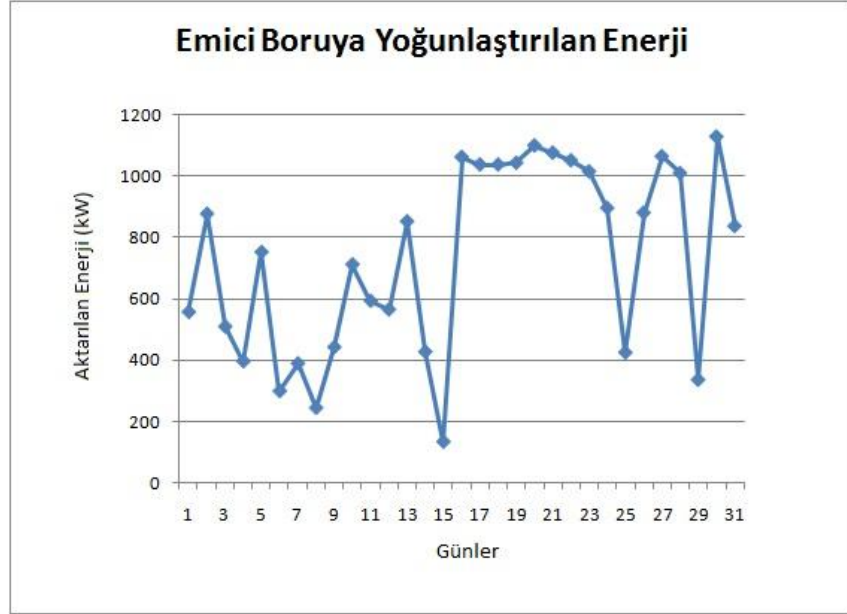
**Ek B.12.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2009 Aralık ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



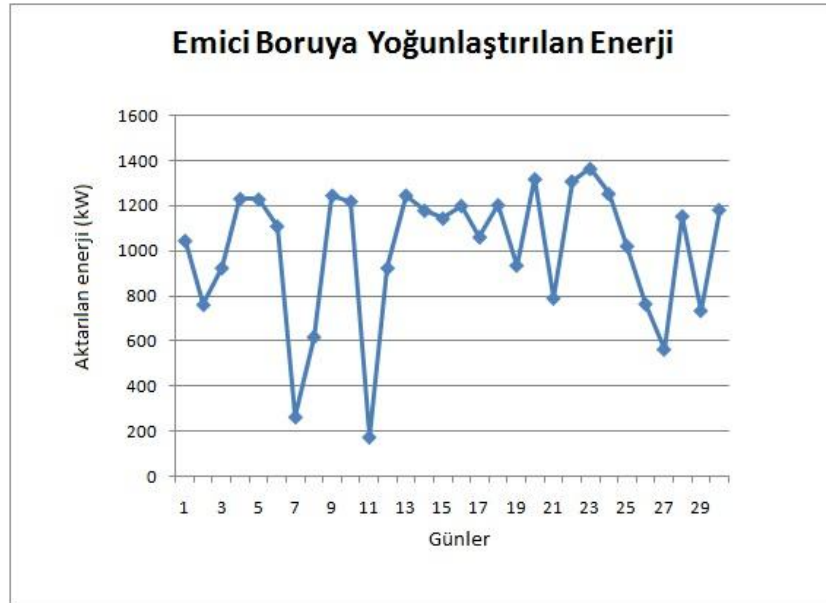
**Ek B.13.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2010 Ocak ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji



**Ek B.14.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2010 Şubat ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji

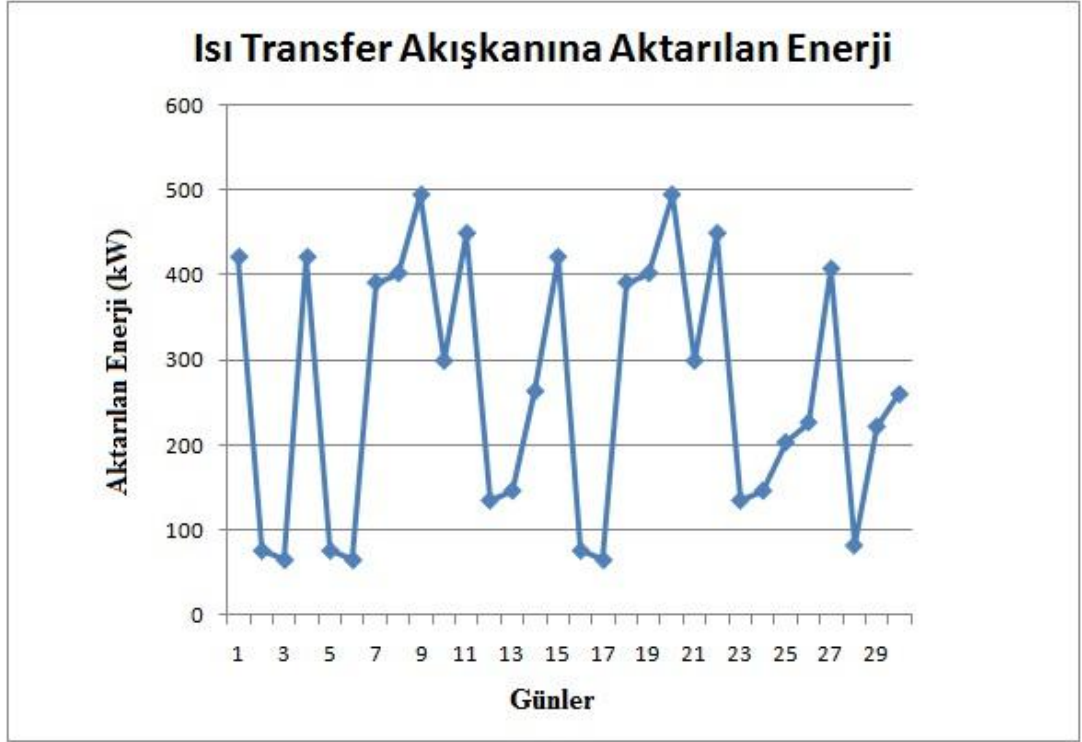


**Ek B.15.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2010 Mart ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji

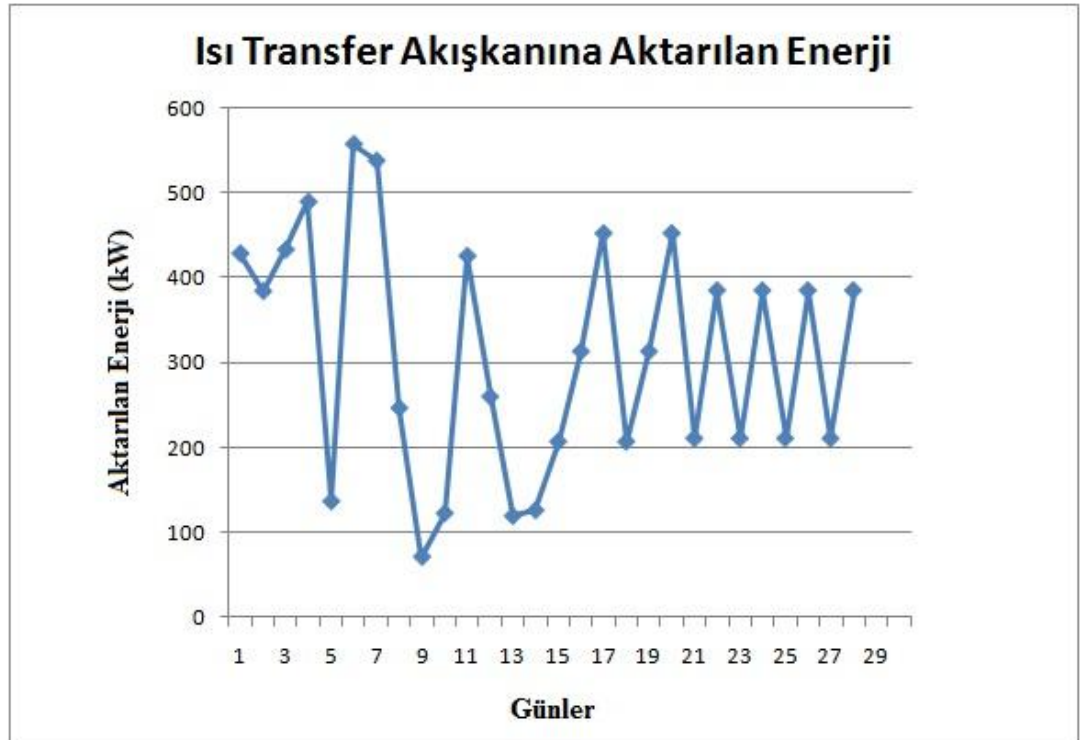


**Ek B.16.** Isıl kayıp hesaplanmaksızın 2010 Nisan ayı için emici boruya yoğunlaştırılan enerji

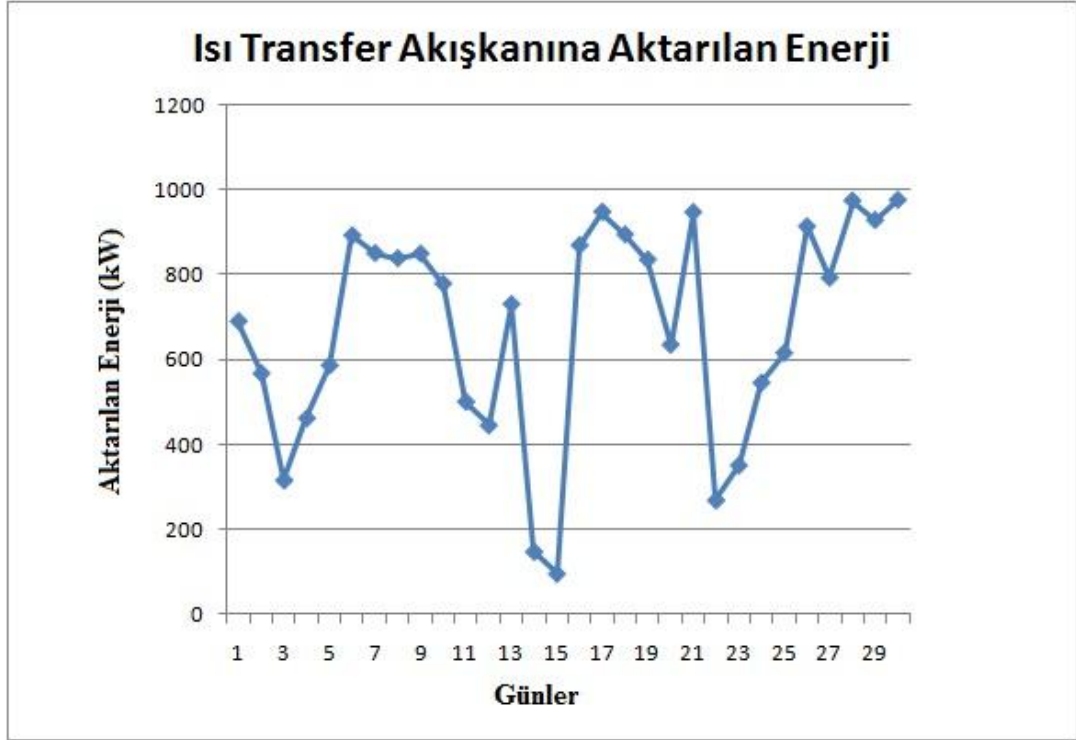
## **EKLER C**



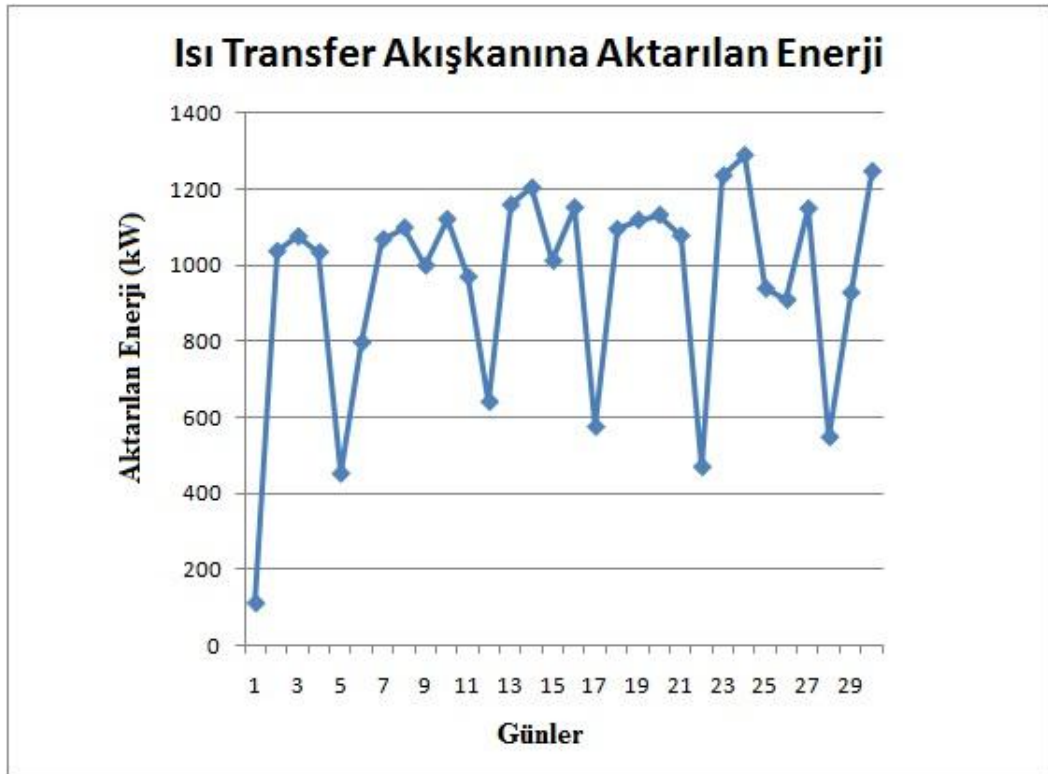
**Ek C.1.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Ocak ayı için emici boruya aktarılan enerji



**Ek C.2.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Şubat ayı için emici boruya aktarılan enerji

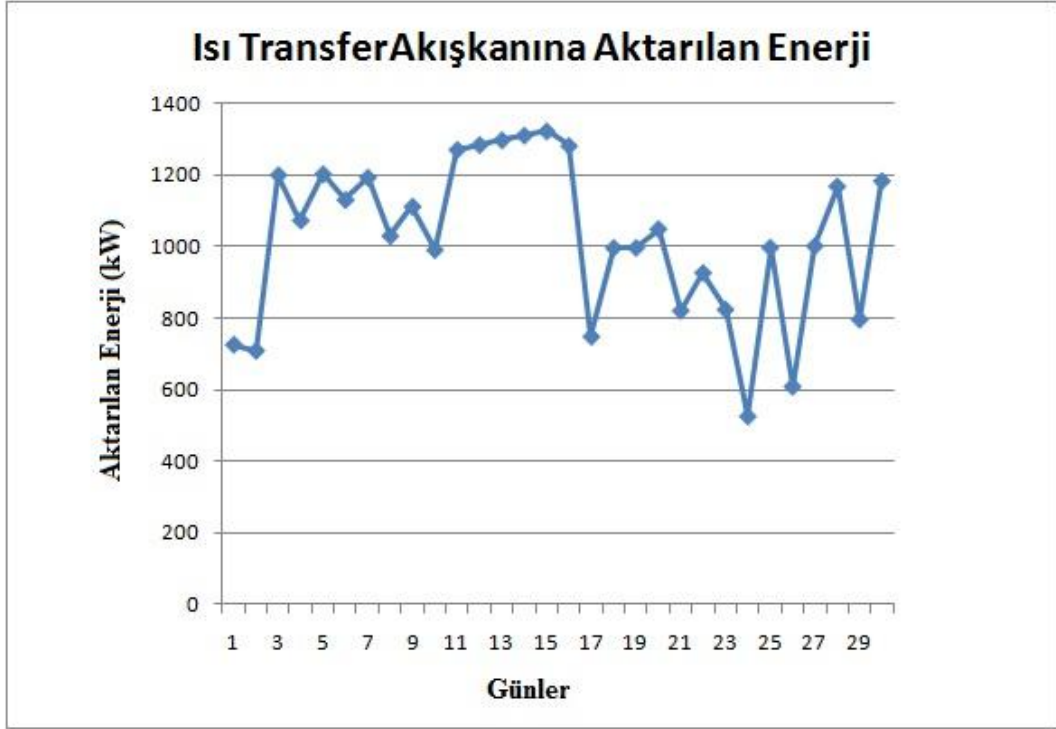


**Ek C.3.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Mart ayı için emici boruya aktarılan enerji

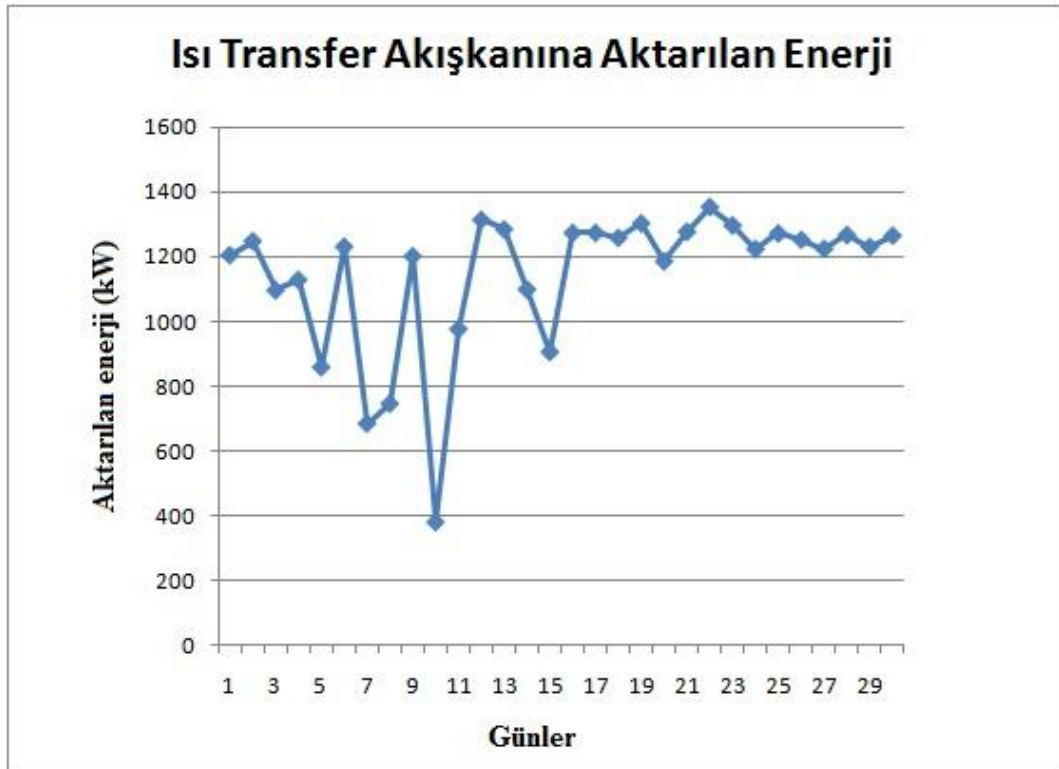


**Ek C.4.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Nisan ayı için emici boruya aktarılan enerji

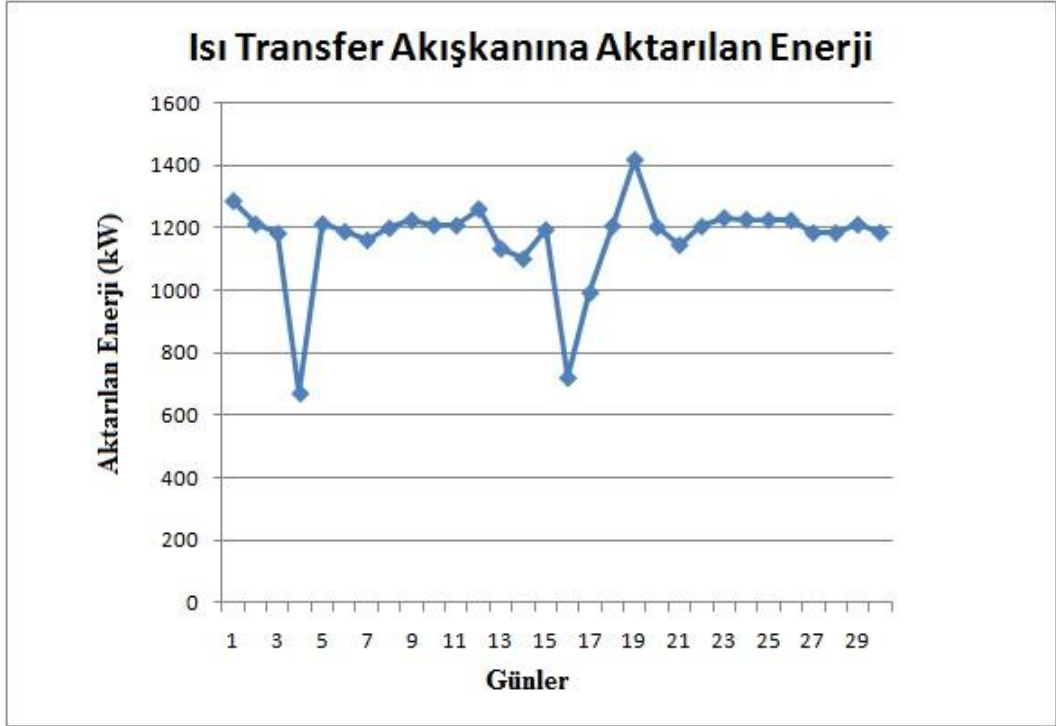




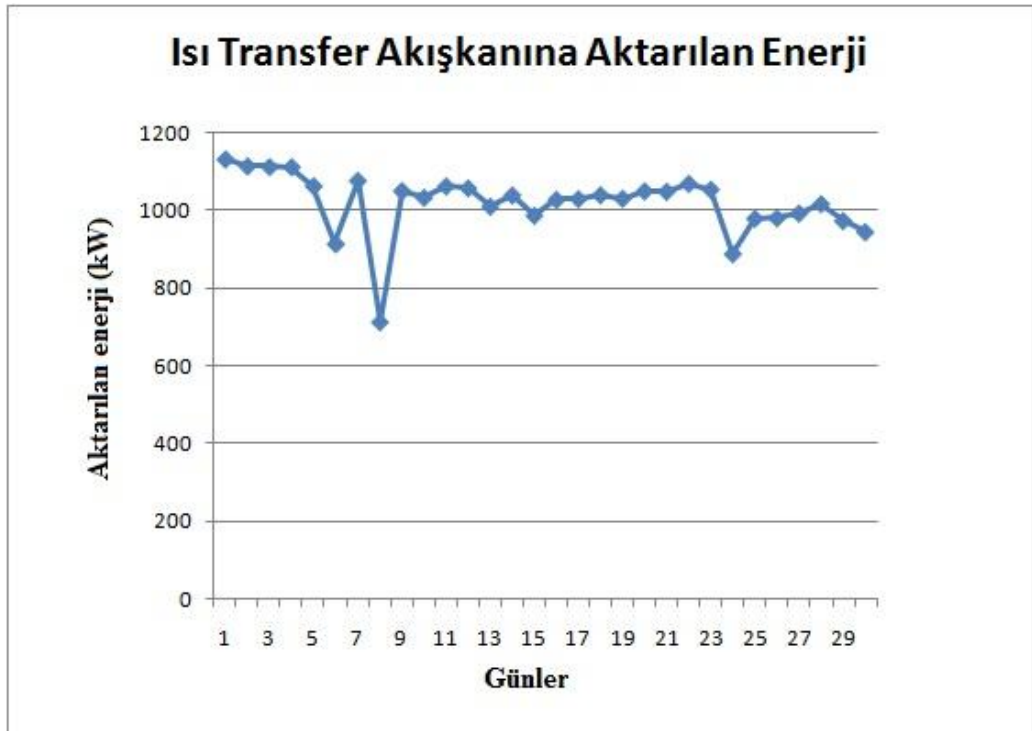
**Ek C.5.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Mayıs ayı için emici boruya aktarılan enerji



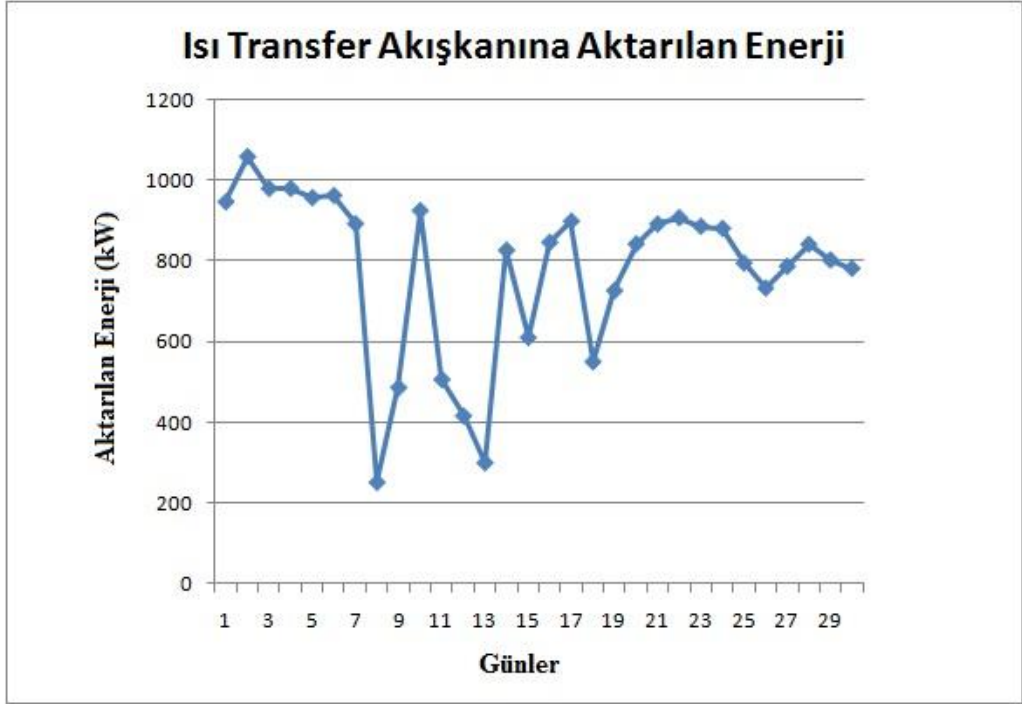
**Ek C.6.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Haziran ayı için emici boruya aktarılan enerji



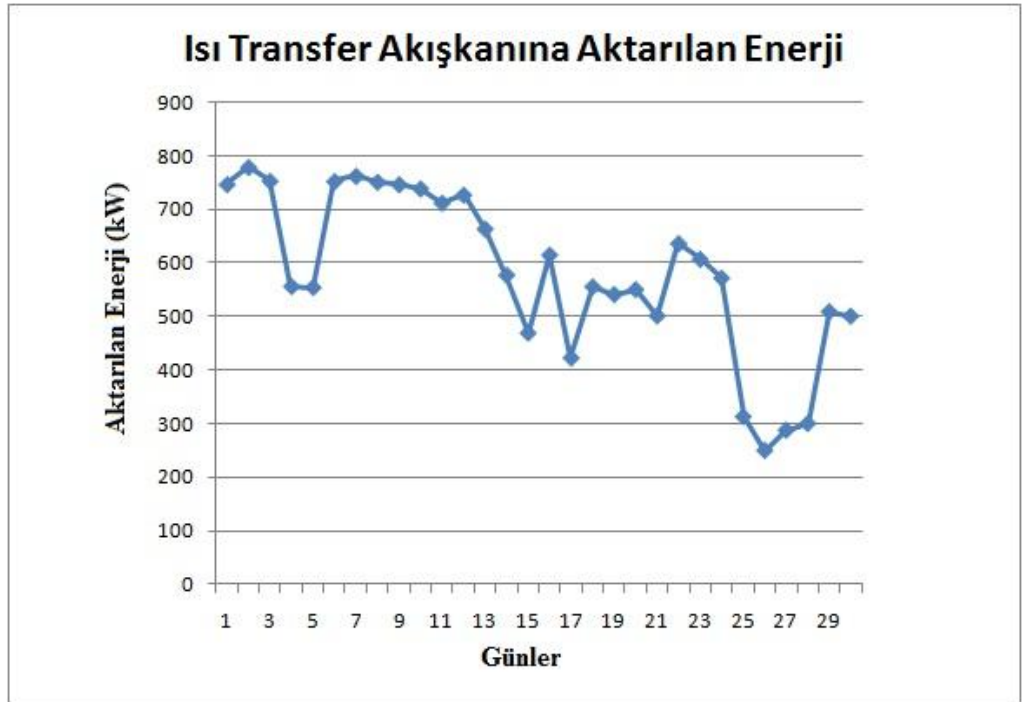
**Ek C.7.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Temmuz ayı için emici boruya aktarılan enerji



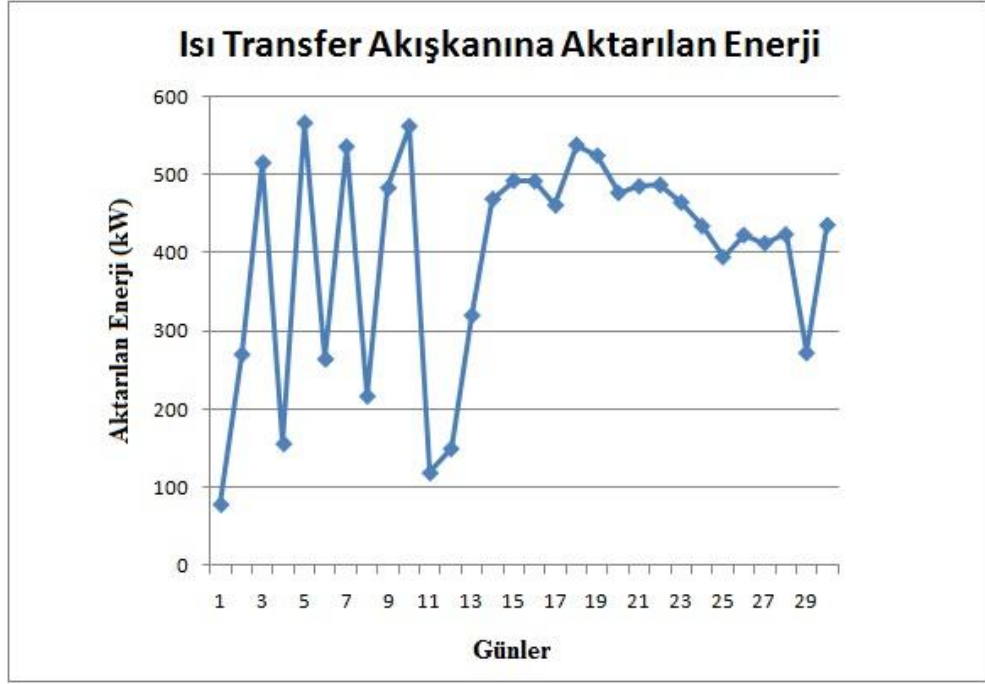
**Ek C.8.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Ağustos ayı için emici boruya aktarılan enerji



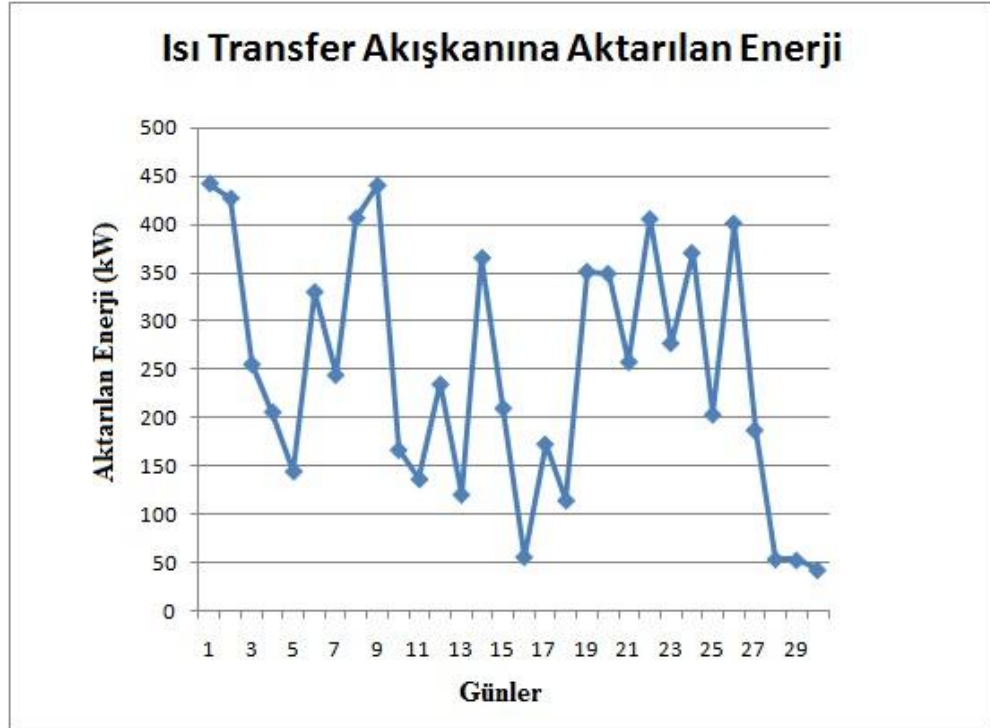
**Ek C.9.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Eylül ayı için emici boruya aktarılan enerji



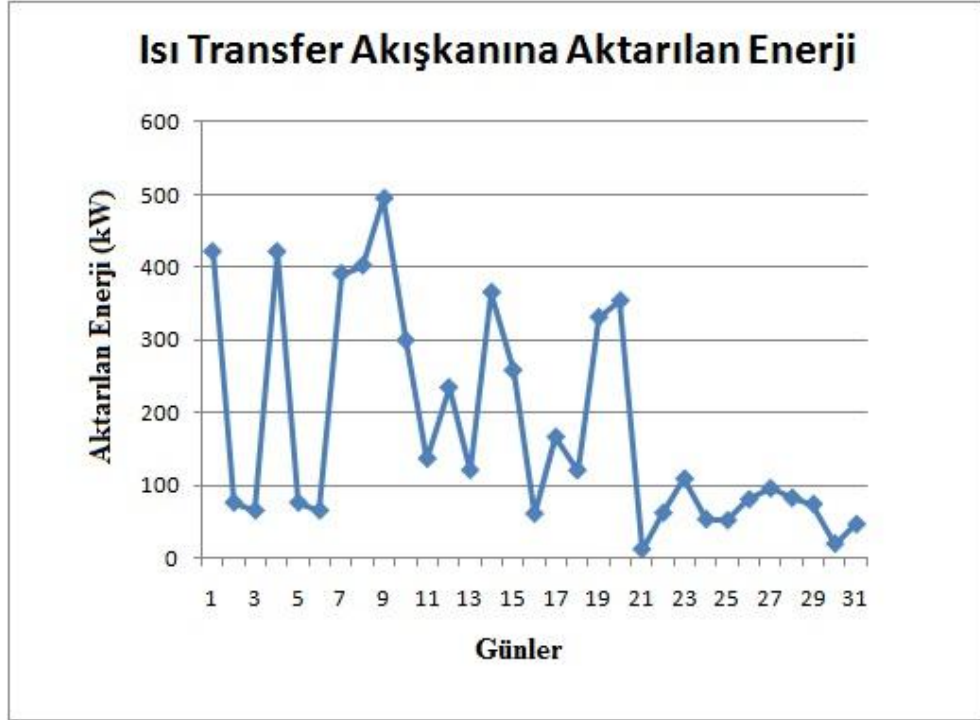
**Ek C.10.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Ekim ayı için emici boruya aktarılan enerji



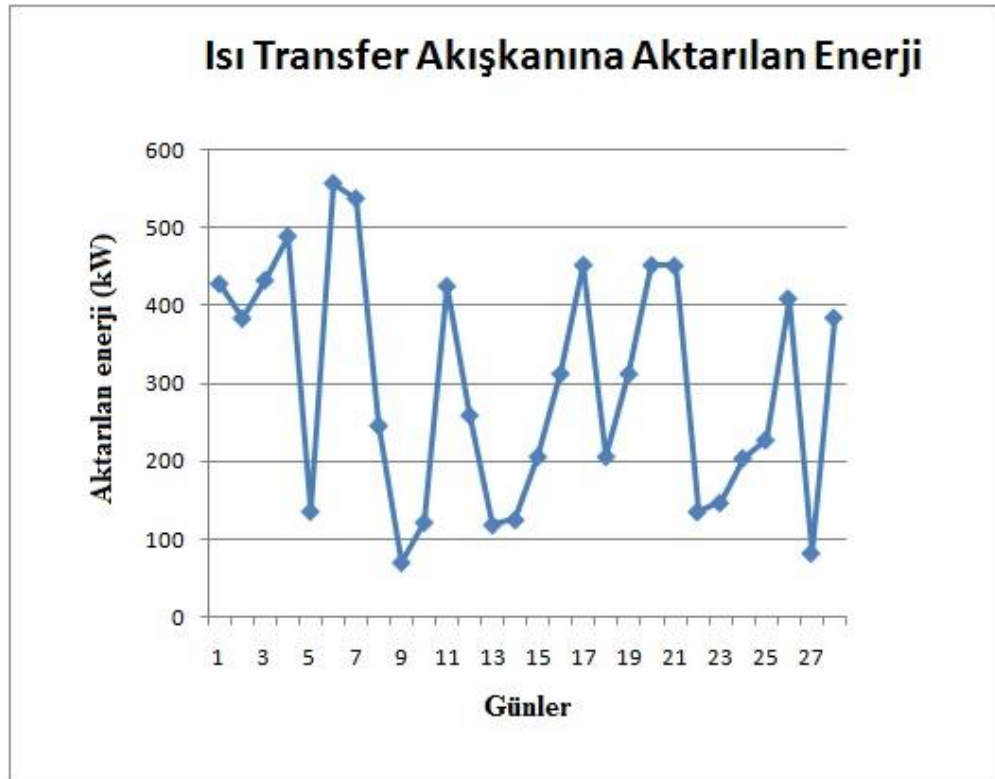
**Ek C.11.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Kasım ayı için emici boruya aktarılan enerji



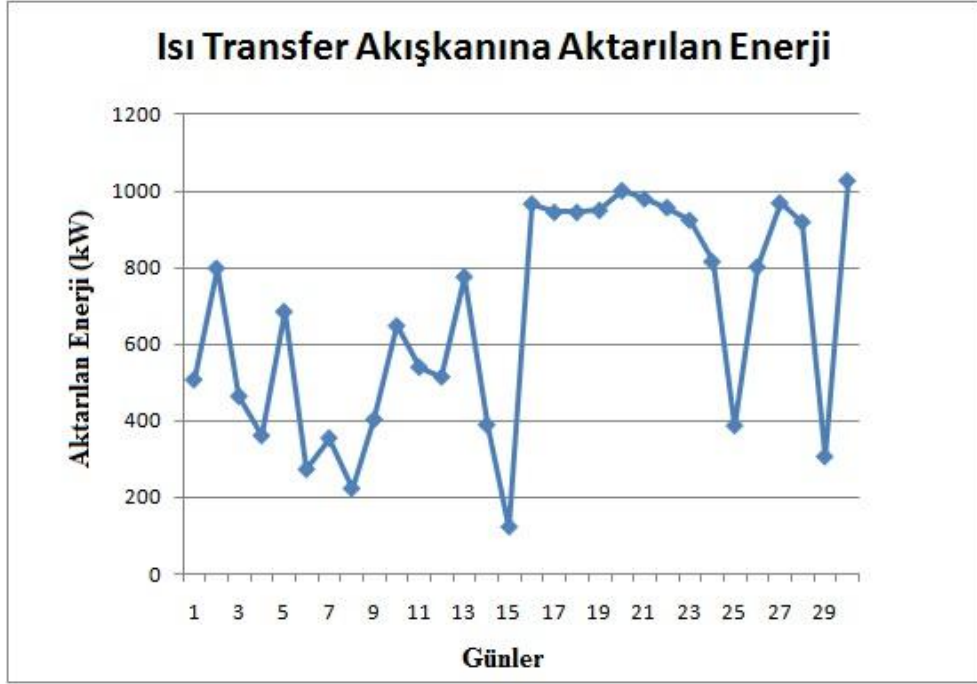
**Ek C.12.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2009 Aralık ayı için emici boruya aktarılan enerji



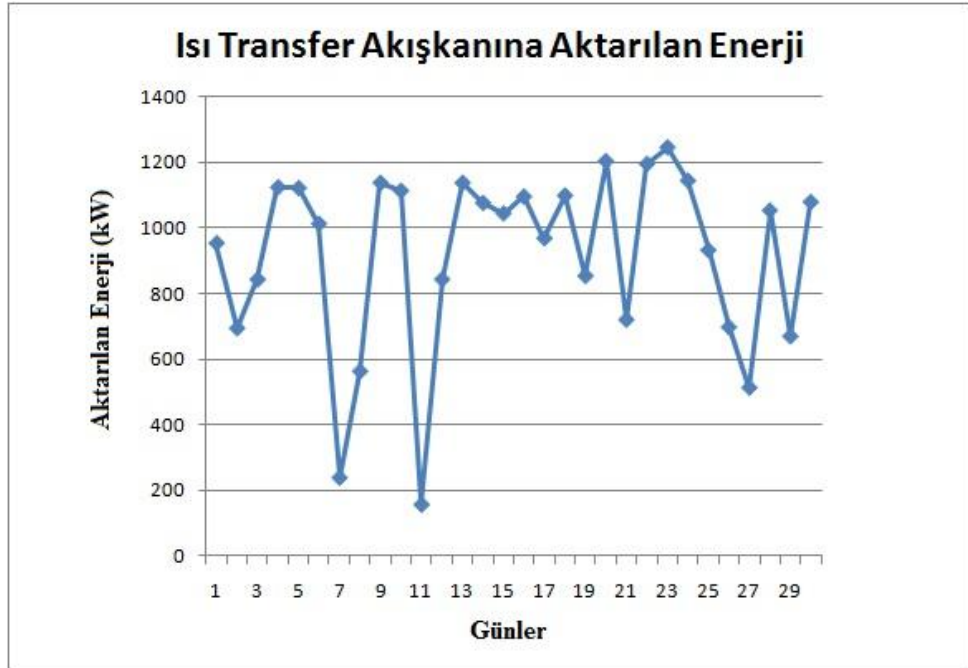
**Ek C.13.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2010 Ocak ayı için emici boruya aktarılan enerji



**Ek C.14.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2010 Şubat ayı için emici boruya aktarılan enerji



**Ek C.15.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2010 Mart ayı için emici boruya aktarılan enerji



**Ek C.16.** Yoğunlaştırılan enerjisinden ısı kayıplar çıkarıldıktan sonra 2010 Nisan ayı için emici boruya aktarılan enerji

## ÖZ GEÇMİŞ

1986 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlkokul ve ortaokulu Bahçelievler İlköğretim okulunda okudu. 2004 yılında Zonguldak Atatürk Anadolu lisesini bitirdi. Aynı yıl Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde üniversiteye başladı ve 2008 yılında bu bölümden mezun oldu. Yüksek lisans eğitimine 2008 yılında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümde başladı. Halen daha yüksek lisansına devam etmektedir.

Görkem ŞANLI