T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLİNDİRİK OLUK TİPİNDEKİ GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICISININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

152733

DOKTORA TEZİ

Mak.Yük.Müh. Cuma ÇETİNER

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fethi HALICI

MAYIS 2004

152733

T.C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLİNDİRİK OLUK TİPİNDEKİ GÜNEŞ YOĞUNLAŞTIRICISININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Mak.Yük.Müh. Cuma ÇETİNER

Enstitü Anabilim Dalı : **MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : **ENERJİ**
Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Fethi HALICI**

Bu tez 20 / 05 / 2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Salim ÖZÇELEBİ	Doç.Dr. Fethi HALICI	Doç.Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU
Jüri Başkanı	Danışman	Jüri Üyesi

Yard.Doç.Dr. Ahmet KOLİP	Yard.Doç.Dr. İmdat TAYMAZ
Jüri Üyesi	Jüri Üyesi

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeye göre enerjiye olan talep de artmaktadır. Dünyada fosil kaynaklı enerjilerin tükenebilir olmaları, yenilenilebilir ve temiz enerji kaynaklarına yönelmeyi teşvik etmektedir. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Fotovoltaiklerle elektrik üretilmekle birlikte; parabolik yansıtıcılarla güneş ışınımını yoğunlaştırarak elektrik üretme yönündeki uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Türkiye, güneş enerjisi yönünden coğrafi konum itibarıyla zengin kabul edilmektedir. Ülkemiz, güneş enerjisinden yararlanma yönünde, düz toplayıcıların kullanımı diğer ülkelere göre daha iyidir. Fakat güneş enerjisi ile damıtma, pişirme ve konut ısıtılması gibi diğer uygulamalar yaygın hale gelmemiştir. Güneş enerjisinden elektrik üretme yönündeki uygulamalar ise yok denecek kadar azdır.

Bu tezde güneş enerjisinin yoğunlaştırmasıyla buhar üretme amaçlı, deneysel ve teorik çalışma ele alınmıştır. Güneş tarlaları kurularak elde edilen bu buharla elektrik üretilebilir. Bu çalışma Türkiye'de direkt olarak buhar ile elektrik üretmenin başlangıcını teşkil etmektedir.

Türkiye Elektrik Kurumu (TEK)'na ait Kızıldere Jeotermal Tesisleri'nde, düz ve sabit yutuculu, güneşi izlemeli, silindirik yansıtıcılı bir deney seti kurulmuştur. Bu deney setinde, çalışma imkanını veren bu konuda uzman Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi Hamit ÇAÇUR'a ve çalışmalarım esnasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanı Hocam Doç.Dr. Fethi HALICI'ya teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım esnasında bana destek olan Yrd.Doç.Dr. Kenan GENEL'e, konu ile ilgili yayınların temininde Yrd.Doç.Dr. Bülent YEŞİLATA'ya, deneyin yapılması esnasında aksaklıkların giderilmesinde yardımcı olan Jeotermal tesislerindeki personele, mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ..... ii
İÇİNDEKİLER..... iii
SİMGELER LİSTESİ..... vii
ŞEKİLLER LİSTESİ..... ix
TABLOLAR LİSTESİ..... xiii
ÖZET..... xvi
SUMMARY..... xv

BÖLÜM 1.
GİRİŞ..... 1
1.1. Alternatif Enerji İhtiyacı..... 1
1.2. Güneş Enerjisinden Yararlanma..... 2
1.3. Tezin Amacı..... 3

BÖLÜM 2.
GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARI..... 4
2.1.Giriş..... 4
2.2. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar..... 5
2.2.1. Türkiye'deki deneysel ve teorik çalışmalar..... 9
2.3. Güneş Enerjisi Toplayıcıları..... 12
2.4. Güneş Enerjisiyle Buhar ve Elektrik Üretimi..... 14
2.4.1. Tek eksende güneş izleyici sistemler..... 14
2.4.2. İki eksende güneş izleyici sistemler..... 16
2.5.3. Kule santral sistemi..... 18

BÖLÜM 3.
GÜNEŞ GEOMETRİSİ..... 20
3.1. Giriş..... 20
3.2. Güneş..... 20
3.3. Güneş Geometrisi Parametreleri..... 21
3.3.1. Güneş Sabiti..... 21
3.3.2. Deklinasyon açısı..... 22
3.3.3. Enlem açısı..... 23
3.3.4. Saat açısı..... 24
3.3.5. Güneş azimut ve yüzey azimut açısı..... 24
3.3.6. Zenit açısı..... 25
3.3.7. Güneş yükseklik açısı..... 25
3.3.8. Eğik yüzey açıları..... 26
3.3.9. Güneş geliş açısı..... 26
3.3.10. Gün uzunluğu..... 28
3.3.11. Güneş zamanı..... 28
3.4. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı..... 29
3.5. Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı..... 30
3.6. Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınımı..... 33

BÖLÜM 4.
YOĞUNLAŞTIRICI TOPLAYICILAR ve OPTİK ANALİZİ..... 35
4.1. Giriş..... 35
4.2. Yoğunlaştırma Oranı..... 36
4.3. Toplayıcılarda Optik Özelliklerin Önemi..... 40
4.4. Işığın Yansıması ve Kırılması..... 40
4.5. Yutma, Yansıma ve Geçirme Oranlarının Bulunması..... 43
4.6. Yutma Geçirme Çarpanı..... 44
4.7. Siyah Cisim..... 46
4.8. Seçici Yüzey..... 46
4.9. Saydam Örtü..... 47
4.10. Yutucu (Absorbant) Yüzey..... 47
4.11. Yoğunlaştırıcıların Yerleştirmelerine Göre Geliş Açıları..... 48

BÖLÜM 5.
DENEYSEL ÇALIŞMANIN TANITIMI..... 54
5.1. Giriş..... 54
5.2. Deney Seti ve Çalıştırılması 54
5.3. Deneysel Yöntem..... 56
5.4. Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları..... 57
5.4.1. Işınım ölçer..... 57
5.4.2. Nem Ölçer..... 58
5.4.3. Manometre..... 58
5.4.4. Sıcaklık ölçerler..... 59
5.4.5. Debi ölçer..... 60
5.4.6. Rüzgar ölçer..... 60
5.5. Deneyde Kullanılan Donanımlar..... 61
5.5.1. Su deposu..... 61
5.5.2. Debi düzenleyici..... 61
5.5.3. Isı değiştirici..... 62
5.5.4. Pompa..... 63
5.5.5. Güneş takip sistemi..... 64
5.6. Deney Setindeki Yutucu, Ayna ve Kasaları..... 65
5.6.1. Yutucu..... 65
5.6.2. Aynalar..... 66
5.6.3 .Ayna kasaları..... 67

BÖLÜM 6.
SİLİNDİRİK TOPLAYICININ TEORİKHESAPLAMALARI..... 69
6.1. Giriş..... 69
6.2. Silindirik Toplayıcının Isıl Analizi..... 69
6.3. Yutucunun Isı Geçiş Katsayısı..... 71
6.4. Yutucu Boyutu ve Odak Uzaklığının Tespiti..... 77

BÖLÜM 7.
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 79
7.1. Giriş..... 79

7.2. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi 79
7.3. Sabit Debide Sıcak Su ile Yapılan Deneyler..... 80
7.4. Değişken Debide Kızgın Buhar ile Yapılan Deneyler..... 94
7.5. Toplayıcı Performansının Testi..... 95
7.6. Teorik Hesap ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması..... 98
7.7. Gölgelemenin Etkisi..... 100

BÖLÜM 8.
SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... 104

KAYNAKLAR..... 108

EK1. SİLİNDİRİK YOĞUNLAŞTIRICI İÇİN IŞINIM, ISIL KAYIP ve YUTUCU BOYUTU HESAPLAMALARI..... 114
Ek.1.1. Direkt Işınımın Bulunması..... 114
Ek.1.2. Yutucu Isı Geçiş Katsayısının Hesaplanması..... 116
Ek.1.3. Isıl Güç ve Isıl Verimin Bulunması..... 123
Ek.1.4. Yutucu Boyutu Hesabı..... 128
EK.2. DENEY DATALARI..... 130
EK.3. BELİRSİZLİK ANALİZİ..... 132
EK.4. DENEY SETİNİN MALİYETİ..... 136
ÖZGEÇMİŞ..... 137

SİMGELER LİSTESİ

A_a	:	Toplayıcı açıklık alanı (m^2)
A_y	:	Yutucu alanı (m^2)
a	:	Yansıtıcı ayna genişliği(m)
C	:	Yoğunlaştırma oranı
C_p	:	Akışkanın özgül ısısı (kj/kgK)
Dh	:	Hidrolik çap (m)
F_R	:	Isı kazanç faktörü
F	:	Yutucu verim faktörü
f	:	Odak uzaklığı (m)
Gr	:	Grashof sayısı
h	:	Isı taşınım katsayısı (W/m^2K), zaman, saat açısı
H	:	Güneş batış açısı
I_T	:	Toplam ışınım (W/m^2)
I_y	:	Yayılı ışınım (W/m^2)
I_d	:	Direkt ışınım (W/m^2)
L	:	Toplayıcı uzunluğu (m)
m	:	Akışkanın debisi (kg/sn)
Pr	:	Prandl sayısı
r	:	Yarıçap
R	:	Direnç
Ra	:	Rayleigh sayısı
Re	:	Reynold sayısı
s	:	Eğik düzlemin eğimi
T_g	:	Giriş sıcaklığı °C
$T_ç$	:	Çıkış sıcaklığı °C

$T_{çev}$	:	Ortam(çevre) sıcaklığı °C
U_T	:	Toplam ısı geçiş katsayısı (W/m^2K)
y	:	Güneş yükseklik açısı
V	:	Rüzgar hızı (m/sn)
W'	:	Yutucu genişliği(m)
W	:	Güç(Watt)
ψ	:	Eğik yüzeyin azimut açısı
Q_u	:	Güç(W)
α	:	Alıcı yüzeyin yutma oranı
δ	:	Deklinasyon açısı
ε	:	Yüzeyin ışınım yayma oranı
σ	:	Stefan-Bolztman sabiti ($5.67x10^{-8}$ (W/m^2K)
η	:	Anlık ısıl verim
τ	:	Saydam yüzeyin geçirgenlik katsayısı
ρ	:	Yansıtıcı yüzeyin yansıtma oranı
γ	:	İntersept (kapma) faktörü)
ϕ_r	:	Kenar açısı
θ_{az}	:	Güneş azimut açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Düzlemsel bir toplayıcının görünüşü ve elemanları..... 12
Şekil 2.2. Güneş enerjisi toplayıcılarının sınıflandırılması..... 13
Şekil 2.3. Çizgi odaklamalı yoğunlaştırma..... 14
Şekil 2.4. Parabolik tekneli toplayıcılarla buhar elde edilmesi ve elektrik üretim şeması..... 15
Şekil 2.5. Nokta odaklamalı yoğunlaştırma (parabolid)..... 16
Şekil 2.6. Nokta odaklamalı Yoğunlaştırma elektrik üretimi..... 17
Şekil 2.7. Heliostat aynalarla gelen güneş ışınlarının odaklanması..... 18
Şekil 2.8. Heliostat sistemler güneş enerjisinin depolanması ve elektrik üretim şeması..... 19
Şekil 3.1. Değişik zamanlarda dünyanın güneşe göre durumları..... 22
Şekil 3.2. Deklinasyon açısının aylara göre değişimi..... 22
Şekil 3.3. Enlem(e), saat açısı(h) ve deklinasyon(δ) açısının gösterilişi..... 24
Şekil 3.4. Güneşin izlediği yol, güneş zenit açısı(z), yükseklik açısı(y), ve güneş azimut açısının (θ_{az}) görünüşü..... 25
Şekil 3.5. Eğik bir düzlemde geliş açısına göre zenit açısı(z), yükseklik açısı(y) , ve güneş azimut açısı (θ_{az}) ve yüzey azimut(ψ)açısının görünüşü..... 26
Şekil 3.6. Güneş ışınlarının eğik düzlem ve yatay düzleme gelişleri..... 30
Şekil 4.1. Parabolik bir yansıtıcı ve yutucusu..... 35
Şekil 4.2. Güneş ve yoğunlaştırıcının şematik gösterilişi..... 36
Şekil 4.3. Çizgisel ve nokta odaklamalı yutucular..... 38
Şekil 4.4. Bir ara yüzeyde ışınımın kırılması ve yansıması..... 41
Şekil 4.5. Işınımın saydam bir örtüden yansıması..... 43
Şekil 4.6. Işınımın saydam bir örtüden geçerek tekrar yansıması..... 45

Şekil 4.7. Güneş takip şekilleri..... 49
Şekil 5.1. Sabit odaklı silindirik yoğunlaştırıcının şematik görünüşü..... 54
Şekil 5.2. Deney seti (Kızıldere/Denizli)..... 55
Şekil 5.3. Aynanın üzerine konulan piranometre (solarimetre) ve datalogger 58
Şekil 5.4. Yüksek basınçlarda buharı boşaltma vanası ve manometre..... 59
Şekil 5.5. Yutucudaki sıcaklıkların ölçümü için kullanılan..... 60
Şekil 5.6. Yutucuya suyun istenilen debide gitmesini sağlayan aparat..... 62
Şekil 5.7. Isı değiştiricisi ve sıcaklık göstergesi..... 62
Şekil 5.8. Basınç göstergesi ve elle ile debi düzeltme vanası takılı pompa..... 63
Şekil 5.9. Güneş takip sistemi dişli kutusu..... 64
Şekil 5.10. Yutucu kasalarındaki boruların görünüşü..... 65
Şekil 5.11. Yutucunun kesit görünüşü..... 66
Şekil 5.12. Aynaların üzerine konulduğu silindirik eğim verilmiş profiller.... 68
Şekil 6.1. Elektrik direnç benzetişime göre yutucudaki ısıl dirençlerin gösterilişi..... 72
Şekil 6.2. Bir kanal içinde akış..... 75
Şekil 6.3. Parabolik bir yoğunlaştırıcıda odak uzaklığı ve kenar açısı..... 76
Şekil 6.4. Parabolik bir yansıtıcı için yutucu boyutlarının gösterilişi..... 78
Şekil 7.1. 270 lt/h debide sıcak su için yutucuda elde edilen ısıl gücün değişimi (5 Ekim 2003)..... 79
Şekil 7.2. 270 lt/h debide sıcak su için sistemin ısıl verimi (5 Ekim 2003)..... 79
Şekil 7.3. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (5 Ekim 2003)..... 80
Şekil 7.4. 270 lt/h debide sıcak su için günlük suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığının gün boyunca değişimi (5 Ekim 2003)..... 80
Şekil 7.5. 290 lt/h debide sıcak su için yutucuda elde edilen ısıl gücün değişimi (27Eylül 2003)..... 81
Şekil 7.6. 290 lt/h debide sıcak su için sistemin ısıl verimi (27 Eylül 2003).. 81
Şekil 7.7. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (27 Eylül 2003)..... 82
Şekil 7.8. 290 lt/h debide sıcak su için suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığının gün boyunca değişimi (27 Eylül 2003)..... 82
Şekil 7.9. 260 lt/h debide sıcak su için yutucuda elde edilen ısıl gücün 83

değişimi (26 Eylül 2003).....
Şekil 7.10. 260 lt/h debide sıcak su için sistemin ısıl verimi (26 Eylül 2003). 83
Şekil 7.11. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (26 Eylül 2003)..... 84
Şekil 7.12. 260 lt/h debide sıcak su için suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığının gün boyunca değişimi (26 Eylül 2003)..... 84
Şekil 7.13. Sıcak su ile yapılan deneylerin ısıl verimlerinin karşılaştırılması.. 85
2003)..... 87
Şekil 7.14. 3 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl gücün değişimi (14 Ekim 2003)..... 93
Şekil 7.15. 3 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl verimin değişimi (14 Ekim 2003)..... 93
Şekil 7.16. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (14 Ekim 2003)..... 94
Şekil 7.17. 3 bar basınçta yapılan deneyde gün boyunca suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklık değişimi(14 Ekim 2003)..... 94
Şekil 7.18. 2 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl gücün değişimi (20 Eylül 2001)..... 95
Şekil 7.19. 2 bar basınç altında sistemin ısıl verimi(20 Eylül 2001)..... 95
Şekil 7.20. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (20 Eylül 2001)..... 96
Şekil 7.21. 2 bar basınç altında çalışıldığında günlük sıcaklık değişimi (20 Eylül 2001)..... 96
Şekil 7.22. 4 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl gücün değişimi (17 Eylül 2001)..... 97
Şekil 7.23. 4 bar basınç altında sistemden elde edilen ısıl verim (17 Eylül 2001)..... 97
Şekil 7.24. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (17 Eylül 2001)..... 98
Şekil 7.25. 4 bar basınç altında çalışıldığında günlük sıcaklık değişimi (17 Eylül 2001)..... 98
Şekil 7.26. Değişik basınçlarda buhar ile yapılan deneylerdeki ısıl verimlerinin karşılaştırılması..... 99

Şekil 7.27. Sıcak su ve buhar ile yapılan deneylerin ısıl verim karşılaştırılması..... 100
Şekil 7.28. Sıcak su ve buhar ile yapılan deneylerdeki ısıl güç Karşılaştırılması..... 100
Şekil 7.29. 270 lt/h sıcak su deneyinde teorik ve deneysel olarak bulunan ısıl güçlerin karşılaştırılması..... 102
Şekil 7.30. 270 lt/h sıcak su deneyinde teorik ve deneysel ısıl verimlerinin karşılaştırılması..... 103
Şekil 7.31. Sistemde sıcak su için çalışma parametreleri 104
Şekil 7.32. Yansıtıcı aynaların birbirini gölgelemesi..... 105
Şekil 7.33. 270 lt/h sıcak su deneyinde gölgesiz net alan, ortalama 48 m^2 ve toplam 54 m^2 alana göre verimlerin karşılaştırılması..... 107
Şekil Ek1.1. Gün sayısına göre deklinasyon açısı, saat açısı, gün uzunluğu ve r_y değerinin bulunması..... 115
Şekil Ek1.2. Yayılı ışınım ve direkt ışınımın bulunması..... 116
Şekil Ek 1.3. Yutucudaki ısı geçiş katsayısının bulunması..... 118
Şekil Ek 1.4. Yutucunun alttan ısı geçiş katsayının bulunması 121
Şekil Ek 1.5. Yutucudaki deneysel ısıl verimin bulunması..... 123
Şekil Ek 1.6. Yutucudaki ısıl verim ve gücün bulunması..... 127
Şekil Ek 1.7. Yutucu, odak mesafesi aynaların genişliği..... 132

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Yıl içindeki her ayın ortalaması için seçilen günü ve deklinasyon değerleri..... 23

Tablo 4.1. Parabolik yansıtıcılar için yarım kabul açısı (θ_s) ve kenar açısı (ψ_s) değerlerinin fonksiyonu olarak yoğunlaştırma oranı değerleri 39

Tablo 4.2. Çeşitli malzemelerin kırılma indisleri 41

Tablo 4.3. Bazı yansıtıcı yüzey malzemeleri ve yansıtma katsayıları..... 45

Tablo 4.4. Seçici yüzeyli malzemelerin soğurma ve ışınım yayma katsayıları..... 46

Tablo 4.4. Çeşitli saydam örtü malzemelerinin kırılma indisi, geçirgenlik ve ışınım yayma katsayıları..... 48

Tablo 4.5. Sabit yüzeyli toplayıcıların güneş geliş açısı faktörleri..... 48

Tablo 4.6. Hareketli yüzeyli toplayıcılarda güneş geliş açısı faktörleri 53

Tablo 7.1. Aynaların, yutucunun ve konstrüksiyonun günlük gölge alanları ve net alan..... 103

Tablo 8.1. Deney sonuçları..... 104

Tablo Ek1.1. Yutucuda kullanılan yalıtım malzemeleri..... 121

Tablo Ek1.2. Hesaplanan direk ışınım şiddetine göre teorik ve deneysel ısıl güç ve ısıl verim sonuçları..... 127

Tablo Ek1.3. Ölçülen direk ışınım şiddetine göre teorik ve deneysel ısıl güç ve ısıl verim sonuçları..... 128

Tablo 2.1. 270 lt/h sabit debide alınan ölçümler..... 130

Tablo 2.2. 3 bar basınç ve 138-140 °C çıkış sıcaklığında buhar üretiminde alınan ölçümler..... 131

Tablo Ek 4.1. Silindirik yoğunlaştırıcının maliyeti..... 136

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, silindirik yansıtıcı, yutucu, sıcak su ve kızgın buhar.

Denizli-Kızıldere Jeotermal tesislerinde kurulan düz ve sabit yutuculu, güneş izleyicili deneysel sette silindirik ayna vasıtasıyla buhar üretilmektedir. Aynalar 4.2 m genişliğinde 13 m uzunluğunda toplam 54 m^2 alana sahip olup iki eksen üzerine monte edilmiştir. Üzerine topladığı güneş ışınlarını yoğunlaştıran bu aynalardan, odak mesafesi 12 m olan yutucuya güneş ışınımı gönderilmektedir. Toplayıcının yoğunlaştırma oranı 20 dir. Yutucunun genişliği 0.20 m ve boyu 14 m olup 2.8 m^2 alana sahiptir. Deney seti güneye doğru yerleştirilmiş olup, doğu-batı yönünde güneşi takip etmektedir. Bölgenin enlemiyle (37°) aynı eğimde yerleştirildiğinden polar sistemlidir. Elektrik üretmek amacıyla kurulan bu deney setinde dolaştırılan akışkan; Jeotermal Tesisleri türbinlerinde kullanılan buharın yoğuşturulmasıyla elde edilen sudur. Korozyon özelliği az olduğundan bu su kullanılmaktadır.

Silindirik aynalardan yansıyan güneş ışınımlarının yutucuda odaklanmasıyla suyun -çalıştırma şekline göre- sıcak su veya kızgın buhar haline dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Güneş ışınımına göre buhar miktarı değiştiğinden elde edilebilecek buhara göre suyun sisteme pompalaması bir debi düzenleyicisi tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Elde edilen kızgın buhar bir ısı değiştiricisinde ısısı alındıktan sonra tekrar sisteme verilmektedir. Değişik tarihlerde sıcak su ve buhar üretimi yapılmıştır. Deneyde ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, ortam nemi, yutucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları, güneş ışınım miktarı ve buhar debisi ölçümleri alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda değişik basınçlardaki buhar ile sabit debilerde sıcak suyun ısıl güç ve ısıl verimleri bulunmuştur.

Eğik ve hareketli bir yüzey üzerine gelip yutucuya yansıyan direkt ışınım, yutucudaki ısıl kayıpları ile sistemin teorik ısıl güç ve ısıl verimleri hesaplayan bir program geliştirilmiştir. Isıl güç ve ısıl verim analizleri için değişik tarihlerdeki deneylere ait grafikler hazırlanmıştır. Deneysel sonuçlarla bulunan değerlerin, teorik hesaplamalarda bulunan değerlerden çok düşük olmadığı görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada sistemin maksimum %40 ısıl verime sahip olduğu anlaşılmıştır. Gelen ışınım şiddetine göre ısıl güç değiştiğinden, sabah ve akşam saatlerinde minimum 6 kW, öğle saatlerinde ise maksimum 15 kW elde edilmiştir. Sıcak su ve buhar deneylerinin ısıl verimleri için yapılan karşılaştırmada ise buhar ile yapılan deneylerin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Direkt buhar üretebilen bu sistemin performansının iyileştirilmesi ve sistemin bir tarla halinde kurulmasıyla elektrik üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYZING OF CYLINDRICAL TROUGH TYPE SOLAR CONCENTRATOR

SUMMARY

Key words: Solar energy, cylindrical reflector, absorber, hot water and superheated steam

In an experimental setup in Denizli steam is generated with a cylindrical mirror which has fixed and flat absorber and a system that traces the sun. The mirrors which have 4.2 m width and 13 m length and total area of 54 m^2 are placed on two axes. The sunrays are sent to the absorber with a focus length of 12 meter from these mirrors which collect and concentrate sunrays. The collector's concentration rate is 20. The absorber's width is 0.20 m and length is 14 m and has a area of 2.8 m^2. The experimental set up is placed to the south and traces the sun east to west direction. Because it is placed with the same inclination with area latidute (37°), it is a polar system. The fluid which is circulated in the experimental setup to generate electricity is water which is obtained by condensing the steam that is used in turbines. This water's corrosion properties are better.

By focusing of the sunrays that reflects from cylindrical mirrors at absorber, the water is converted to heated water or superheated steam. Because the steam generation is depended on sunrays the pumping of the water is made by a mass flow regulator automatically. The obtained superheated steam is again returned to the system after removing it's heat in a heat exchanger. In the test, ambient temperature, wind speed, ambient humidity, input and output temperatures, sun radiation and mass flow of steam is measured. The heated water, and steam are generated at different days. In the test for generating steam with different pressures, heated with constant mass flow, heat power and efficiency is found and the results are compared. In different times, heated water and steam is generated.

The experimental works showed that the system has %40 heat efficiency. Because the power is depend on radiation, in the morning and evening hours the minimum value of power 6 kW and between 11:30 and 13:30 hours (noon hours) heat power of 15 kW is obtained. Although there isn't much difference in the heat efficiency of heated and superheated water and steam, the heat efficiency of steam is greater. Thus the works about producing electricity with steam is written and it is stated that electricity can be produced by this system that generates directly steam. Because the maximum heat loss occurs in the absorber, the total heat conductivity constant in the absorber is found. For evaluating the analyses of the heat power and efficiency, the diagrams of experiments conducted on different days are prepared and compared. In addition to improve the performance of the system is investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Alternatif Enerji İhtiyacı

Enerji, bir ülkenin sosyal refahı, ekonomideki yükselişi ile endüstriyel gelişmenin anahtarı ve sanayileşmiş toplumların ayrılmaz bir parçasıdır. 20. yüzyılın başlarından beri dünyadaki nüfusun artması ve yaşam standartların yükselmesine bağlı olarak günümüzde enerji tüketimi önemli ölçüde artmaktadır. Enerji tüketimi insanların kullandıkları teknolojiye bağlı olarak; başlangıçta ısınma amaçlı olarak kullanılan odun ve kömürün yerini bugün petrol, doğal gaz, hidrolik enerji ve birçok ülkede nükleer enerji almıştır.

Bilindiği gibi güneş enerjisi uzun süreden beri üzerinde çalışmalar yapılan alternatif enerji kaynaklarından birisidir. Alternatif enerji kaynağı olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgar enerjisi, gel-git enerjisi, jeotermal enerji, biyogaz enerjisi ve güneş enerjisidir. Yenilenebilir enerjilerden faydalanabilme ülkenin coğrafik durumuna göre değişmektedir. Güneş enerjisinden yararlanma, alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Dünyadaki ülkeler bu enerji potansiyellerinden faydalanabilme imkanlarını araştırmaktadır.

Dünyada kullanılan enerjinin %90'ı fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil kaynak olarak kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlar öncelikli olarak kullanılmaktadır. Fosil kaynakların miktarı sınırlı olmasına rağmen, enerji talebi sanayileşmenin ve refah düzeyinin artması sebebiyle gittikçe artmaktadır. Bu durum fosil kaynakların kullanımında karşımıza iki sorun çıkarmaktadır. Birinci sorun bu yakıtların yakın bir gelecekte tükenme ihtimali, diğeri ise sanayileşmenin belli bölgelerde yoğunlaşması sonucu büyük oranda fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre kirliliğinin artmasıdır. Gerek fosil kaynakların tükenebilir oluşları ve gerekse bu kaynakların kullanılması esnasında

çevreye ve insan sağlığına verdiği zarar sebebiyle alternatif enerji kaynaklarını kullanma talepleri hızla artmaktadır

1.2. Güneş Enerjisinden Yararlanma

Güneş enerjisi potansiyel olarak tüm dünyanın enerji talebini karşılayacak kadar büyük olmakla birlikte, daha yaygın kullanılmasını engelleyen bir takım teknik, ekonomik ve kurumsal engeller bulunmaktadır. Bu engellerden en önemlileri, güneş enerjisi üretim ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, güneş olmadığı zamanlarda üretimin kesintiye uğramasıdır. Kesintili üretime çözüm olarak güneş enerjisi fosil yakıtlarla karma olarak kullanılmakta ya da depolanmaktadır. Günlük güneş enerjisinin ısıya ve elektriğe dönüştürülmesi sağlanmakta ve bu kullanımlar giderek yaygınlık kazanmaktadır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile metal eritme, yemek pişirme, su damıtma, kızgın su, buhar üretme ve güneşle çalışan buhar türbini güneş-ısı dönüşümlerine birer örnektir.

Güneş enerjisinden yararlanan ülkelerin başında ABD, İspanya, Avustralya, Japonya, İsrail gibi ülkeler gelmektedir. Türkiye, düz toplayıcılardan yararlanma yönünde sayılan bu ülkelerle aynı oranlarda yararlanmasına rağmen, odaklayıcı yansıtıcıların kullanımı, uygulamaları ve teorik çalışmaları yok denecek kadar azdır. Türkiye güneş enerjisi yönünden zengin bir ülkedir. Ülkemiz gerek fotovoltaik ve gerekse parabolik yoğunlaştırıcıları kullanmak suretiyle yenilenebilir bu enerji kaynağından yararlanarak ekonomisine çok büyük katkı sağlayabilir.

Güneş enerjisinden yararlanarak yüksek sıcaklıklarda buhar elde etmek suretiyle bir türbini çalıştırıp elektrik üretmek mümkündür. Güneşi takip sistemine sahip bu sistemlerde genellikte yansıtıcı olarak parabolik aynalar kullanılmaktadır. ABD'de 1983 yılında Majova çölünde yansıtıcı parabolik aynalarla elde edilen ilk güneş enerjili 10 MW gücündeki elektrik santralin kurulmasıyla başlayan çalışmalar, bugün 354 MW güce ulaşmıştır. Buhar elde etmek suretiyle paraboloid (çanak) yüzeylilerde yapılan uygulamalarda, odak noktasında yoğunlaşma sağlandıktan sonra elde edilen buhar, bir türbine verilerek elektrik enerjisi elde edilmektedir. Heliostat'lar ile yapılan çalışmalarda ise düz yüzeyli aynaların güneşi izlemeleri sağlanarak heliostat

kulesine güneş ışınlarının yoğunlaştırılması sağlanarak buhar üretilmektedir. İspanya'da Almeria bölgesinde ve ABD'de California bölgesinde bu sistemin uygulaması yapılarak elektrik üretilmektedir. Bölüm 2 de bu konuda yapılan çalışmalara örnekler verilmiştir.

Güneş enerjisinden yaralanmak için güneş enerjisinin fazla etkin olmadığı paralellerde bulunan Belçika ve Almanya gibi ülkeler bile bu yönde çalışmalar yapmaktadırlar. Güneş enerjisinden yıl boyu yararlanma oranı Türkiye'de 2000 saatten daha fazladır.

1.3. Tezin Amacı

Bu tezden amaç; silindirik yoğunlaştırıcılı bir deney tesisatının kurulması, çalıştırılması ve diğer parabolik yoğunlaştırıcılarla olan yutucu özelliklerini ve yansıtıcı farklarını ortaya koymak, sistemden elde edilebilecek buhar debisini, güç miktarını ve ısıl verimini ülkemiz şartlarında belirlemektir. Yansıtıcı aynaların odağında (odak mesafesi 12 m) 0.2x 14 m ebatlarında toplam 2.8 m^2 alana sahip düz yüzeyli bir yutucu bulunmaktadır. Yer düzlemine olan eğimi bölgenin (Denizli) enlemine eşit açıdadır (37°). Deney seti kuzey-güney ekseninde yerleştirilip, güneşi doğu-batı yönünde takip etmektedir. Bu özelliğinden dolayı polar güneş izlemeli sistemlidir. Bu tür sistemlerle yüksek sıcaklıklarda kızgın su ve buhar elde edilebilmektedir. Buhar gücünden mekanik enerji elde edilebildiği gibi elektrik enerjisi de üretmek mümkündür. Bu sistemin yaklaşık 2 veya 3 km^2 gibi büyük alanda tarla halinde kurulduğunda elde edilebilecek güç MW mertebelerindedir.

BÖLÜM 2. GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARI

2.1. Giriş

Güneş ışınımından faydalanma yöntemlerinin başında güneş ışınımını üzerine toplayarak, bu enerjiyi kullanan güneş toplayıcıları gelmektedir. Güneş enerjisi toplayıcıları, güneş ışınımından kazandıkları enerjiyi bir akışkana veren bir çeşit ısı değiştiricisi olarak kabul edilebilir. Düz toplayıcılar toplam güneş ışınımını kullanarak çalışırken, yoğunlaştırıcı toplayıcılar genellikle direkt güneş ışınımını kullanırlar.

Güneşten gelen ışınımın, yansıyan yüzeye şekil verilmesi suretiyle yoğunlaştırılması sağlanır. Yüksek oranda yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ışınımı bir yutucuya verilerek ışınım enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü sağlanır. Yutucudaki borudan akışkana taşınım yoluyla geçen ısı enerjisi ile akışkanın kızgın su veya buhar haline dönüşmesi sağlanmaktadır.

Bir gün boyunca sabit bir yüzey üzerine güneş ışınımının toplanması sürekli değişmektedir. En yüksek oranda güneş ışınımının bir yüzeye gelişi, gelen ışının geliş açısıyla yüzeyin normalinin çakışmasıdır. Yani eğer toplayıcı yüzey, güneş geliş açısına dik bir konumda ise, o anda gelen anlık ışınımın tamamını üzerinde toplar. Güneş ışınımından maksimum oranda yararlanmak için toplayıcı yüzeyin güneşi izlemesi gerekir. Bölüm 4 de anlatıldığı gibi çeşitli şekillerde güneş takip sistemi olmakla birlikte maksimum oranda güneş ışınımından yararlanma şekli olan iki eksenli sistemdir. Bu sistemle toplayıcıya kuzey-güney ve doğu-batı yönünde hareketler verilerek güneş ışınımının yüzeye dik gelmesi sağlanır.

Dünya'da alternatif enerji kaynaklarına olan yöneliş güneş ışınımdan yararlanma yönünde çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. Fakat petrolün yeteri kadar pahalı

olmaması ve temin edilebilir oluşu, güneş enerjisi kullanımıyla ilgili gelişmeleri bir ölçüde frenlemiştir. Bununla birlikte, 1974"ler deki yapay petrol bunalımı ve petrol fiyatlarının artması sonucu güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar yeniden ivme kazanmıştır. Güneş ışınımı odaklamak suretiyle daha yüksek sıcaklık elde etme çalışmaları devam etmektedir.

2.2. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Odaklayıcı toplayıcılar üzerinde başlangıçta teorik olarak yoğunlaştırıcının optiğini inceleyen çalışmalar ABD'de 1960 yıllarında başlamış olmakla birlikte, 1974 yıllarındaki petrol krizi ile hız kazanmıştır. Literatürde rastlanılan başlangıçtaki teorik ve deneysel çalışmaların çoğunun sıcak su teminine yönelik olduğu ve;

- Sistemde kullanılan yansıtıcılar için yapılan yoğunlaştırma oranı, izleme yöntemlerine göre güneş geliş açısı için yapılan optik hesaplamalar,
- Güneş ışınlarını odaklamak için seçilen çizgisel ve noktasal odaklamalı sınıflandırılma,
- Işın toplayıcıların parabolik oluk, parabolik çanak, merkezi alıcı gibi değişik geometrili toplayıcı kullanıldığında yapılan verim analizleri ve tercih nedenleri

gibi konuların ağırlık kazandığı görülmektedir.

Rabl, A. [1] çeşitli yoğunlaştırıcı tipleri üzerinde yaptığı araştırmalarda, çizgisel ve noktasal odaklamalı toplayıcılarda yoğunlaştırma oranını ve farklı toplayıcılar üzerine gelen güneş ışınlarına göre izleme yöntemleri arasında karşılaştırma yapmıştır. Başka bir çalışmasında ise parabolik bir yoğunlaştırıcıda, geliş açısı ve çalışma sıcaklıkları arasındaki ilişkileri inceleyerek maksimum yoğunlaştırmaya verecek optimizasyon şartlarını araştırmıştır [2].

Edenburn, M.W. [3] silindirik parabolik bir yansıtıcı, dairesel kesitli ve onu saran bir zarftan oluşan bir yutucuyu ele almıştır. Yaptığı deneysel çalışmalarla yutucu ve toplayıcı için enerji denge denklemlerini kullanarak sistemin verimini deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırma yaparak analizler yapmıştır.

Meinel, A.B. [4] yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerinde yaptığı çalışmada toplayıcıları nokta odaklamalı, çizgisel odaklamalı olmak üzere iki kısımda inceleme yapmak suretiyle genel sınıflandırma yapmıştır. Noktasal ve çizgisel odaklama yoğunlaştırıcı toplayıcılar üzerine gelen güneş ışınlarının, doğu-batı, kuzey-güney ve polar yerleştirmelerde izleme yöntemlerini inceleyerek güneş ışınlarının geliş açılarının analitik formüllerinin çıkarılışına yer vermiştir.

Barra, O.A. [5] endüstriyel ısıl işlemlerinde kullanılmak üzere 50 m^2 alana sahip parabolik tekneli bir toplayıcı ve içi oyuk çizgisel odaklamalı bir yutucu kullanmıştır. Yutucu ve toplayıcıyı taşınabilir imal ederek model üzerinde yutucunun değişik çalışma şartlarında parabolik toplayıcı veriminin geliştirilmesi yönünde deneysel ve teorik çalışma yapmıştır.

Jeter, S.M. [6] parabolik oluk sistemli toplayıcıların verimine etki eden geometrik faktörlerden, yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınlarının yutucu yüzeye oranı olan "intercept factor" üzerinde detaylı araştırmalar yapmış ve parabolik tekneli toplayıcıların optik verimini, dizayn verileri yardımıyla analitik olarak tespit etme yöntemini geliştirmiştir.

Güven, H.M. [7] gelişmiş ülkelerde parabolik tekneli güneş toplayıcıların dizaynı için yapılan çalışmada, gelişmekte olan ülkelerdeki dizayn farklılıklarının ülkenin konumuna ve imkanlarına göre farklı olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca parabolik toplayıcıların güneşi izleme yöntemlerini karşılaştırıp, geliş açıları ile ilgili matematiksel ifadeleri vermiştir.

Nicolas, R.O.ve Duran J.C. [8] silindirik yoğunlaştırıcıların iki boyutlu optik analizleri için yaptıkları çalışmada güneş ışınların izleme yöntemlerine göre silindirik-parabolik, sabit-yansıtıcılı çizgisel yoğunlaştırmalı ile sabit yüzeyli yoğunlaştırıcı için matematiksel analizlerini yaparak, her iki dizaynın güneşi izlemelerine göre karşılaştırmasını yapmışlardır. Diğer bir çalışmalarında mükemmel olmayan silindirik yoğunlaştırıcıların iki boyutlu optik analizlerinin gelişme ve uygulamaları hakkında araştırma yapmışlardır [9].

Espana, M.D. [10] parabolik tekneli bir toplayıcı, cam boru ve onu saran koruyucu cam zarftan oluşan çizgisel odaklı bir yutucunun sabit şartlarında yaptığı modelleme çalışmasında toplayıcı parametreleri için yaklaşık çözümler yapmıştır.

Propas, D.E.ve Norton B. [11] küçük yoğunlaştırma oranlarına sahip çizgisel odaklamalı parabolik oluk toplayıcı ve karmaşık şekilli toplayıcılar arasında yoğunlaştırma oranlarına göre karşılaştırma yapmışlardır.

Güneş enerjisinden elektrik üretme için fotovoltaik güç sistemlerinin kullanılması başta gelmektedir. Fotovoltaiklerle elektrik üretme maliyetinin yüksek olması sebebiyle güneş enerjisinden buhar üreterek elektrik üretme düşüncesi yaygınlaşmaktadır. 1985 yıllarından sonra yapılan çalışmalar, güneş enerjisinden buhar üreterek bir türbini çalıştırma ve elektrik üretme yönünde ağırlık kazanmaya başlamıştır.

Thomas ve Guven [12] silindirik parabolik yoğunlaştırıcıların konstrüksiyon yapısını, optik ve ısıl analizlerini yaparak mevcut metotlar ile parabolik sistemlerin performansını artırabilme teknikleri üzerine araştırma yapmışlardır. Bu incelemede parabolik yoğunlaştırıcıların fonksiyonel (optik verim, gün boyunca ve anlık verimi ile yutucudaki kayıplar) ve geometrik parametreleri (açıklık genişliği ve uzunluğu, kenar açısı, odak mesafesi, yutucu çapı, dış zarf çapı ve yoğunlaştırma oranı) diye iki kısımda ele almışlardır. Sistemlerin dizaynında optik analizi, akışkanın ve yutucunun ısıl analizleri, yansıtıcı malzemeleri ve rüzgara karşı destek yapıları, yerleştirme ve izleme yöntemlerini ele alarak verimin iyileştirilmesi için araştırma yapmışlardır. Thomas diğer bir çalışmasında, buhar kazanı kullanarak, güneş enerjisiyle küçük kapasiteli bir buhar üretme sisteminin dizayn metodu üzerinde çalışma yapmıştır. Toplam 80 modülden oluşan parabolik tekne sisteminde açıklık alanı 504 m^2, her modülün uzunluğu 3 m ve açıklığı 2 m olarak düşünülen toplayıcılardaki buharın sıcaklığı 180 °C, basınç 10 bar olarak hesap edilmiş ve bütün sistemden saatte 250 kg buhar elde edilebileceği tespit edilmiştir [13]. Aynı yılda yayınlanan başka bir makalesinde güneş enerjisiyle buhar üretmek için parabolik tekneli yoğunlaştırıcılar

üzerindeki araştırmasında, sistemin kullanımından doğan işletme problemleri ve verimin artırılması için yapılan çalışmalar anlatılmıştır [14].

Odeh ve arkadaşları [15] 1997 de güneş enerjisiyle elektrik üretmek için oluk tipli parabolik bir yansıtıcıda ısı taşıyıcı akışkan olarak sentetik yağ ve elde edilen buhar ile bir Rankine türbinini çalıştıran bir sistemin modelleme çalışmasını yapmışlardır. Akışkandaki ısıyı dışarı atmak için bir ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Bu çalışmada güneş enerjisiyle üretilecek elektrik santralinde direkt buhar kullanmak suretiyle sistemin verimini artırma ve geliştirme için ısıl analizler yapılmıştır.

Almanza, R. ve Lentz, A. [16] Meksiko Milli Üniversitesi Mühendislik Enstitüsünde elektik üretmek amacıyla güneş enerjili güç santralinde 165 °C sıcaklık ve 6.9 bar basınç altında üretilen buhar, 2.24 kW gücündeki iki pistonu mekanik olarak çalıştırabilecek parabolik tekneli toplayıcı deney seti yapılmıştır. Bu küçük güç santralinde 16 adet toplayıcı bulunmaktadır. 4 adet modül halinde ve her biri 14.5 m uzunluğunda ve açıklık alanı 2.5 m olan bu toplayıcılar birbirine seri olarak bağlanarak saatte 100 kg buhar üretilebilmektedir. Yutucular ise 3.81 cm çaplı bakır boruların üzeri siyah krom ile kaplanmış olup odak uzaklığı 0.625 m olarak imal edilmiştir. Her modül değişik yansıtma oranlarına sahip olacak tarzda malzeme kullanılarak deneyler yapılmış olan bu sistem, doğu-batı yönünde yerleştirilerek güneşi takip etmesi sağlanarak sistemden buhar üretilebildiğini göstermişlerdir.

Kalogirou, S. [17] toplayıcı açıklık alanı 3.5 m^2, toplayıcı açıklığı 1.46 m, yutucu çapı 22 mm, yoğunlaştırma oranı 21.2 olan parabolik tekne sistemli bir deneysel çalışmada düşük sıcaklıkta buhar üreterek, bunun sistem dizaynı ve performans karakteristikleri üzerinde durmuştur. Bu deneysel çalışmada sistemi tam, polar, doğu-batı ve kuzey güney yerleştirmelere göre güneşi yaz ve kış şartlarında takip ettirerek sistem tarafından yutulabilecek ışınım miktarları ve toplayıcı ısıl performansının iyileştirilmesi üzerinde çalışma yapmıştır. Bir başka çalışmasında da çok iyi bir verim ile yüksek sıcaklıklarda buhar üretmek için kullanılabilecek parabolik tekne sistem elamanlarının dizaynı için yapılan modelleme optimizasyonunda, bütün yıl boyunca sistemin çalışması halinde elde edilebilecek buhar miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır [18].

Eck, M. ve arkadaşları tarafından [19, 20], ticari olarak güneş enerjisiyle elektrik üretmek amaçlı olarak imal edilen parabolik tekneli toplayıcıların sabit ve kısa süreli şartlar altında sıralı ve tek dizili olduğu zaman işletme durumu, kesikli durumda yutucu borudaki zorlanma ve gerilme problemler ve en iyi işletmeye sahip olunabilmesi için çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada basınç düşüsü, sıcaklık dağılımı, geliş açısı değişimi, sistemde dolaştırılan akışkanın minimum akış oranları için simülasyon çalışması yapılmıştır.

Gorrison, J.D. [21] Socol ismiyle 15 değişik tip güneş enerjisi toplayıcısı için çok yönlü bir bilgisayar programı yapmıştır. Bu program her bir birim başına gelen net güneş miktarını hesaplayabilmektedir. Program, ABD'deki yaklaşık 239 meteoroloji bölgenin güneş enerjisi datalarını kullanarak çalışmaktadır. Toplayıcının yerleştirildiği bölgede gün boyunca saatlik değerlerini bir yıl boyunca verebilmekte ve yutucunun seçici yüzeyli ve boyalı olması durumlarını nazara alarak sonuçlar verebildiği yayınlanan makalede belirtilmektedir.

2.2.1. Türkiye'deki deneysel ve teorik çalışmalar

Türkiye'de düz toplayıcılar üzerindeki teorik ve deneysel çalışmalar çok yapılmıştır. Uygulama yönünden en zengin olan bölgeler, güneşin bol olduğu Güney-Doğu, Ege ve Akdeniz bölgeleri, düz toplayıcı kullanımı büyük ölçüde gelişme kaydetmiş olmakla birlikte, parabolik toplayıcı kullanımı yok denecek kadar azdır. Son yıllarda değişik üniversitelerimizde yüksek lisans ve doktora tezi çalışmaları ile değişik dergilerde bildiri ve makaleler yayınlanmıştır. Yapılan çalışmaların bazıları şunlardır:

Tunç M. [22] Silindirik parabolik bir yansıtıcı yüzey, yutucu boru ve onu saran silindirik cam zarftan meydana gelen bir silindirik parabolik yoğunlaştırıcının verimliliği üzerinde teorik ve deneysel araştırma yapmıştır.Bu optik analizde yansıtıcı yüzeyin düzgün bir profil taşımadığı gerçeğini kabul ederek yoğunlaştırıcı 0.5 m genişliğinde 1 m uzunluğunda ve yutucu odak mesafesi 0.05 m olan bir deney seti kullanılmıştır. Sistemde dolaştırılan akışkan molibhern605'dir. Sistem doğu-batı

ekseninde yerleştirilerek güneşi takip etmesi sağlanarak verimi araştırılmıştır. Bu deneyde yutucu boru olarak 6 mm dış çaplı bakır boru U şeklinde bükülmüş ve 0.5 mm kalınlığında bakır kanatlar tespit edilmiş, yüzey NaOH ve $NaCl_2$ işlemine tabi tutulmuştur. Yutucu borunun çevresi 50 mm dış çapında cam zarf ile dış ortam etkisinden korunmuştur. Teorik modelde yoğunlaştırıcının hem optik hem de ısıl modeli çıkarılarak verimliliği araştırılmıştır. Geliştirilen model ile yapılan deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca silindirik parabolik odaklayıcılarla maksimum verim elde edebilmek için Türkiye ve İstanbul şartlarında optimum yansıtıcı ve yutucu boru geometrilerini elde ederek, bu tip toplayıcıların kullanılmaları halinde verimlerinin nasıl değişebileceğini araştırmıştır.

Karaduman A .[23] odak mesafesi 28 cm, uzunluğu 145 cm bir boru ve bu borunun dışı cam zarfla etrafı çevrili olan bir yutucu ile 146x114 cm ebatlarındaki çizgisel odaklamalı toplayıcının etkenliğini bulmak için deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada sistemin verimini bulmak için pompalı sistemle çalışan ve doğrudan akışkanı ısıtan bir güneş toplayıcının tasarımı, yapımı ve deneysel çalışması yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada yansıtıcı olarak ayna ve paslanmaz çelik malzeme kullanılarak verime etkisi araştırılmıştır.

Külünk H. [24] yaptığı deneysel çalışmada 0.525 m uzunluğundaki alüminyum levhalar parabolik bir yüzey elde edilerek çizgisel odaklamalı toplayıcının dış ortamdan korunması için 4 mm kalınlığında cam örtü kullanılmıştır. Yutucusu ise 25 mm çapındaki bakır boru mat siyah boya ile boyanarak 5 adet paralel bağlanılıp, polar yerleştirmek suretiyle deney seti oluşturulmuştur. Sistemin anlık verimi ve kayıplarını bularak odaklı toplayıcıları güneşi izlemeleri durumunda daha verimli olduğunu ve yüksek sıcaklık uygulamalarında odaklı toplayıcıların daha uygun ve üstün olduğunu bulmuştur.

Yeşilata, B. [25] 1990 yılında güneş hareketini otomatik ve el ile hareket edilerek kuzey-güney yerleştirme ve kutupsal yerleştirme şeklinde güneşi izleyen parabolik yoğunlaştırıcı tip güneş toplayıcının tasarımı, dizaynı ve ısıl verimi üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, el ile hareketli ve otomatik

izlemeli sistemlerin karşılaştırmaları yapılarak otomatik izleme ve polar sistemli yerleştirmenin daha verimli olduğunu göstermiştir.

Usta H. [26] yaptığı deneysel çalışmada yansıtıcı yüzeyi 0.5x0.65 m ebatlarında parabolik oluk tipli ayna, uzunluğu 3 m, odak mesafesi 28.5 cm, çapı 33 mm seçici yüzeyli paslanmaz çelikten bir boru ve onu saran 65 mm çaplı pyrex cam zarftan oluşan bir yutucu kullanmıştır. Sistemin doğu-batı yönünde izlenmesi sağlanarak yapılan bir güneş yoğunlaştırıcısının tasarımı ve imalatını yapmış ve yapılan deneysel çalışmada sistemin performansını araştırılmıştır.

Halıcı F. [27] yüzeyi 2x3 m ebatlarında flotal aynalı hareketli silindirik parabolik bir yoğunlaştırıcı ve odak mesafesi 6 m olan yutucusu ise sabit olarak imal edilen bir sistemde sıcak su için deneysel çalışma yaparak, sistemin performansını incelemiştir. Bu çalışmada uzunluğu 3.2 m olan yutucu yüzey yan yana tertiplenmiş iç çapı 10 mm olan kanatlı alüminyum borulardan oluşmaktadır. Kanatların dış çapı 40 mm olup yutucu yüzey alüminyum eloksal ile kaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda toplayıcı verimi ortalama %50, ısıl güç 2.2 kW bulunmuştur.

Eskin N. [28] silindirik parabolik tip güneş toplayıcıda deneysel sonuçlardan yararlanarak simülasyon çalışması yapmıştır. Bu simülasyonda ekserji veriminin ısıl sistemde kullanılan yardımcı ünitelere ve kütle akışına bağlı olduğunu göstermiştir.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran çalışmaların çoğunda parabolik yansıtıcı ile yutucu, güneşi beraber takip etmektedir. Yapılan bu çalışmada ise silindirik yansıtıcı güneşi takip etmekte, yutucu ise sabit durmaktadır. Türkiye'de ve dünya'da deneysel yönden ve teorik olarak yapılan çalışmalarda bu deneysel çalışmanın benzeri bulunmamaktadır. Yapılan literatür taramasında yutucu boyutları, tipi ve konsrüksiyonu aynı olan yutucu şekline rastlanmamıştır. Benzer şekilde odak yüksekliği aynı olan böyle bir toplayıcı-yutucu dizaynı bulunamamıştır. Yapılan çalışmalar genellikle tek eksen üzerinde dönebilen parabolik yoğunlaştırıcılar üzerinde yapılmıştır. Silindirik yoğunlaştırıcı üzerinde yapılan çalışmaların sayısı ise azdır. Gerek parabolik ve gerekse silindirik yoğunlaştırıcı olarak bu boyutlarda bir çalışma yapılmadığından dolayı bu deney seti kendi sahasında yapılan tek çalışmadır.

Yüksek sıcaklık elde etmek için düz toplayıcılar yerine ışınımı belli bir noktada toplayarak kızgın su, doymuş buhar ve kızgın buharın elde edilmesi mümkün olmaktadır. Güneş enerjisi toplayıcıları genel olarak Şekil 2.2'de gösterildiği gibi sabit ve hareketli toplayıcılar olarak sınıflandırılabilir. Sabit toplayıcılar ile sıcaklığı 60-200 °C'ye kadar olan uygulamalarda kullanılmaktadır. Hareketli toplayıcılar ise yüksek sıcaklık uygulamalarda tercih edilmektedir. Hareketli toplayıcılardan çizgisel odaklayıcılarla 300-400 °C sıcaklığa kadar, noktasal odaklayıcılarla 1500 °C kadar sıcaklıklar elde edilebilmektedir.



Şekil 2.2. Güneş enerjisi toplayıcılarının sınıflandırılması

2.4. Güneş Enerjisiyle Buhar ve Elektrik Üretimi

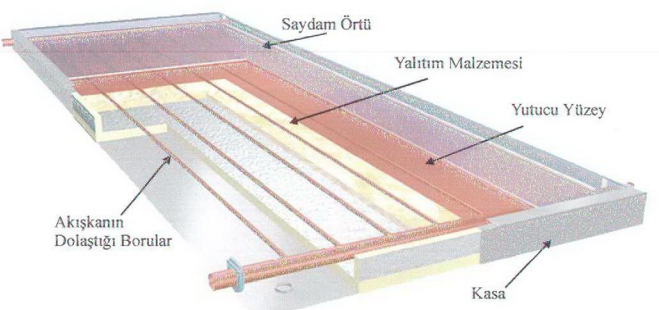
Fosil kaynaklı yakıtların tükenebilir olmaları sebebiyle güneş enerjisini kullanarak buhar üretimi hızla artmaktadır. Güneş enerjisiyle elektrik üretmede sistem iki kısımda ele alınır; bunlardan birincisi yoğunlaştırıcı ve yutucu yüzey, diğeri elde edilen bu buharın buhar türbinine girmesi ve daha sonra elektrik jeneratörü ile elektrik edilmesidir. Güneş enerjisi ile buhar ve elektrik üretimi tek ve iki eksende güneşi takip sistemi ve kule santral sistemi olarak üç gurupta toplanabilir.

Bu deney tesisatının ülkemizde güneş enerjisiyle buhar üretip elektrik üretimi yapabilme yönünde bir ümit kaynağı olacağını umarım.

2.3. Güneş Enerjisi Toplayıcıları

Yer yüzeyine ulaşan güneş ışınımından ısı ve elektrik üreten güneş enerjisi teknolojileri; tasarım, uygulama alanı, teknoloji düzeyi vb. bakımından büyük çeşitlilik göstermekle birlikte güneş enerjisi uygulamaları esas olarak ısıl sistemler ve fotovoltaik sistemler olarak iki gruba ayrılabilir. Bu teknolojilerin bir kısmı, teknik ve ekonomik olarak kendini ispatlayarak ticari ortama girmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, teknik olarak yeterince gelişmemiş, ekonomik olduğu henüz kabul edilememiş, araştırma ve gelişme aşamasında kalan teknolojiler de bulunmaktadır.

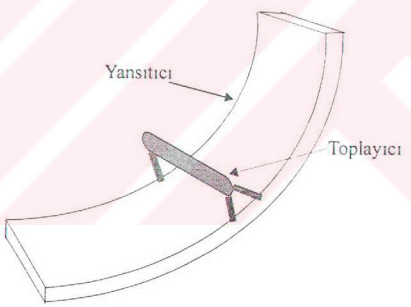
Yukarıdaki sınıflandırma ile birlikte enerji elde etmede güneş enerjisi sistemleri, düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Düşük sıcaklık uygulamalarının en yaygını bilinen düzlemsel toplayıcılardır. Düzlemsel güneş toplayıcıları güneş enerjisini ısı enerjisi olarak bir akışkana (su, hava, yağ) aktaran aygıtlardır. Düzlemsel toplayıcılar, basitliği ve ucuzluğu nedeniyle en yaygın kullanılan güneş enerjisi uygulamasıdır. Daha yüksek sıcaklıklar verebilen vakumlu toplayıcıları ise yutucu yüzey cam boru içerisine alınmış ve cam boru ısı kayıplarını azaltmak için vakumlanmıştır. Vakumlu toplayıcıların akışkan çıkış sıcaklıkları yüksektir



Şekil 2.1. Düzlemsel bir toplayıcının görünüşü ve elemanları

2.4.1. Tek eksende güneş izleyici sistemleri

Parabolik toplayıcılar yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan ve güneş enerjisini belirli bir merkeze yoğunlaştırma yapan ısıl sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemlerle direkt güneş ışınımından yararlanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretilebilmekte ve elektrik üretiminde veya yüksek sıcaklık ihtiyacı duyulan sistemlerde kullanılabilmektedir. Yoğunlaştırıcı ısıl sistemlerin en yaygını silindirik parabolik oluk toplayıcılardır. Bu toplayıcılarda 400 °C sıcaklılara kadar buhar elde edilebilmektedir. Kesiti parabolik olan toplayıcıların iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını odakta yer alan siyah bir yutucu boruya veya borulara odaklarlar (Şekil 2.3). Yutucu boruda dolaştırılan sıvıda toplanan ısı ile elde edilen buhardan elektrik üretilir. Sistem doğu-batı, kuzey-güney ve polar eksende yerleştirilebilmekle beraber, güneşi doğu-batı veya kuzey-güney yönünde tek eksende takip etmektedir.

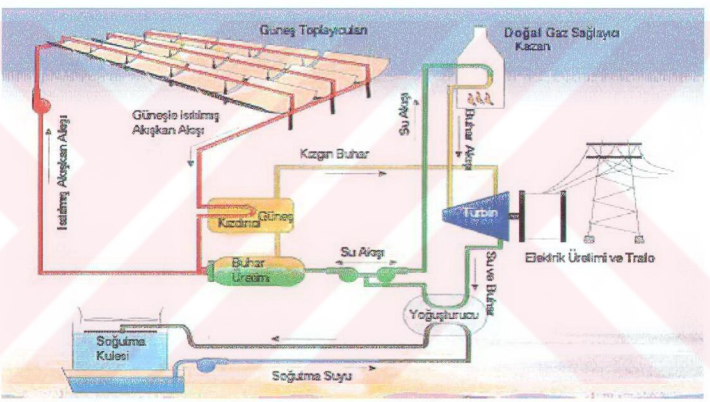


Şekil 2.3. Çizgi odaklamalı yoğunlaştırma

Bu sistemle büyük ölçekte buhar ve elektrik üretimi ABD de LUZ şirketi tarafından güney California bölgesinde 1984 yıllında kurularak elektrik üretmeye başlamıştır. Güneşi izleme yöntemleriyle takip eden bu toplayıcılar geniş bir alanda kurulmuştur [29]. Güçleri 14 ile 80 MW arasında değişen 9 adet güneş enerjisi santralleri , California'nın Daggett ve Kramer Junction ile Harper gölü ve Barstow yakınındaki Mojave çölü yakınlarında olmak üzere üç bölgede yerleştirilmiştir. Yoğunlaştırma oranları 19 ile 26 arasında değişmektedir. Akışkan olarak organik ve sentetik yağ kullanılmaktadır. LS-1 ve LS-2 diye adlandırılan santrallerin yutucu boruları seçici

yüzeyli ve 400°C sıcaklık elde edilebilen LS-3 ise metal-seramik yüzeylidir. Daha sonra devreye konulan santraller hibrit sistemlidir. ABD de şimdiye kadar halen faaliyette olan silindirik-parabolik güneş toplayıcılarla 354 MW elektrik üretilebilmektedir.

Sistemin şematiği Şekil 2.4 de görüldüğü gibi dizi halinde sıralanan parabolik yansıtıcıların ısısını taşıyan akışkan ile buhar üretilmekte daha sonra buhar türbine verilmektedir. Türbin-jeneratör devresinde ise elektrik üretilmektedir. Buhar ayrıştırıcısından gelen sıcak su için yanma odasında doğal gaz kullanarak buhar haline gelmesi sağlanıp türbine verilmektedir.



Şekil 2.4 Parabolik toplayıcılarla buhar elde edilmesi ve elektrik üretme şeması

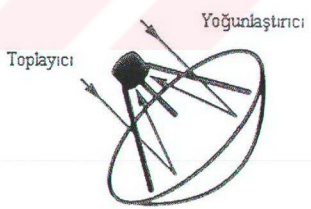
Bir başka santral İspanya'daki Almeria bölgesinde 100 bar basınç ve 400 °C sıcaklıkta çalışabilen santral 2 MW gücündedir [19].

Avustralya'da büyük ölçekte geliştirilen kompakt çizgisel frensel yansıtıcılardan gelen ışınlar yarık bir yutucu ile güneş enerjisiyle elektrik üretilmektedir. Tek eksende güneşi takip eden aynalar birbirine gölge yapmayacak şekilde yerleştirilmiş olup yansıtmayı lineer yutuculara vermektedir. Yansıtıcı sıraları 200 m uzunluğunda, 1.6 m genişliğinde her modül 6 m uzunluğundadır. Her km^2 toplayıcı alan başına 160 MW elektrik üretebilecek güçtedir [29].

Elektik üretmek amacıyla Belçika'daki 2500 m^2 alana sahip Solarmundo projesinde buhar üretilmektedir. Mekanik dişli sistemini döndüren bir motor ile güneşin konumuna göre takip etme özelliğine sahip olan fresnel tip aynalarla yapılan toplayıcı ve seçici yüzeyli olmayan yutucusunun çapı 18 cm, yarık tiplidir. Çelik borulardan yapılan yutucu, ısıl genleşmeden dolayı yaylanmasına müsaade edilmeyecek şekilde kaynak edilmiştir. Bunun için 1 km uzunluğundaki yutucu borudan meydana gelebilecek ısıl genleşme için her 6 m'lik boruların uç kısmında genleşme valfı konulmuştur. Sistemde yutucu sıcaklığı arttığında çevre sıcaklığı ile olan ısı farkı arttığından ısıl kayıplar artmakta ve ısıl verimde düşmektedir [29]. Sistemden günlük gelen ışınımın %12 si elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte ve km^2 toplayıcı başına 111 MW elektrik üretebilmektedir. Literatürde bu sistemden 50 MW güce sahip bir santralin güney İspanya'da ve 7.5 MW güce sahip bir santralin Mısır'da kurulacağı belirtilmektedir.

2.4.2. İki eksende güneş izleyici sistemleri

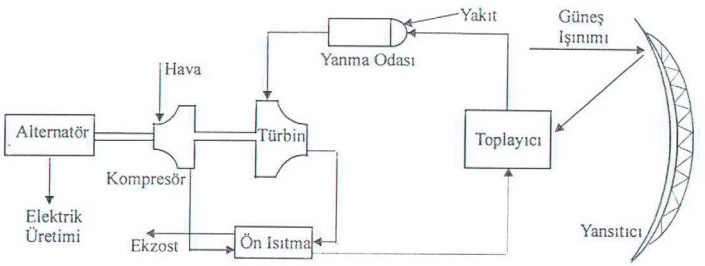
Diğer bir tür yoğunlaştırıcı sistem olan parabolik çanak sistemler, iki eksende güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Nokta odaklamalı yoğunlaştırma (paraboloid)

Şekil 2.6 da görüldüğü gibi güneşi iki eksende izleyen parabolid (çanak) yüzeyli aynalardan gelen ışınlar odaklayıcı bir yutucuya yansıtılmaktadır. Yanma odasında yakıt olarak doğal gazın yanma işleminden sonra kompresöre ve gerektiğinde ön

ısıtma işleminden sonra Brayton çevrimli türbine verilmektedir. Türbin şaftına bağlı olan bir alternatör ile elektrik üretimi sağlanmaktadır.

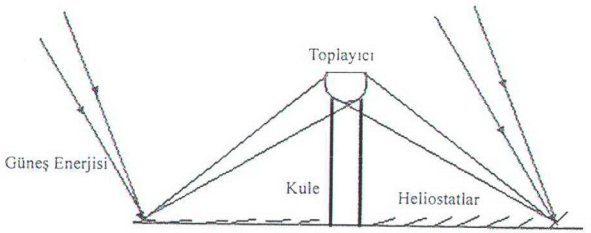


Şekil 2.6. Nokta odaklamalı yoğunlaştırmada elektrik üretimi

ABD'de Boeing/Stirling çanak motor (DECC) projesi uygulanmaya konulmuştur. Günlük gelen ışınımın %24'ü elektrik enerjisine çevrilmektedir. Sistemin işletme sıcaklığı 720 °C dir. Uygulamaya konulan ikinci proje SAIC/STM çanak motor projesidir. Paraboloid çanakların çapı 14 m, düşük demirli aynaların et kalınlığı 1 mm olup her 1000 W/m^2 gelen ışınım için 23 kW elektrik alınabilmektedir. Sistem hibrit özellikli olduğundan 24 saat enerji alınabilmektedir. Yakıt olarak doğal gaz kullanılmakta olup, çalışma sıcaklığı da 720 °C ve yıllık güneş ışınımını elektrik enerjisine çevirme verimi %18 dir. Faaliyette olan her iki projenin kuruluş yerleri Golden, Colorado, Phoenix ve Arizona bölgeleridir [29].

2.5.3. Kule santral sistemi

Merkezi alıcı sistemlerde ise; tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alandan oluşmaktadır. Bu sistemde güneş ışınları, bir kule üzerine monte edilmiş ısı değiştiricisine yansıtarak yoğunlaştırma yaparlar (Şekil 2.7). Düz aynalarla yapılan bu yansıtmayla yoğunlaştırma oranı 1000'e veya daha fazla yapılabilir. Merkezi yutucu-heliostat sistemle 1 MW ile 100 MW arasında değişebilen elektrik güç santralleri kurulabilmektedir. Merkezi kulenin yüksekliği, şekli ve heliostat alanın yoğunluğu kurulan santralin performansını belirler.

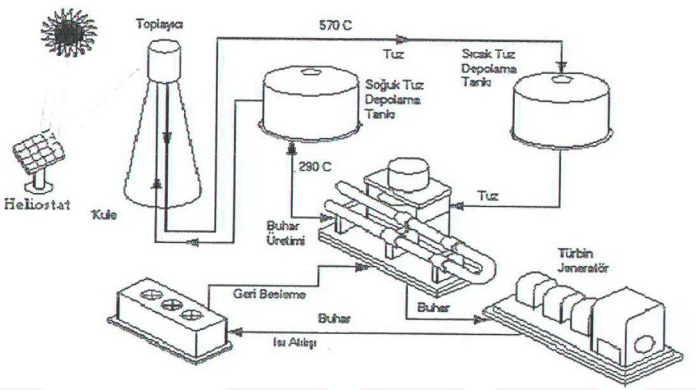


Şekil 2.7. Heliostat aynalarla gelen güneş ışınlarının odaklanması

Solar One 10 MW gücünde, kule yüksekliği 65 m, işletme sıcaklığı 510 °C ve 0.29 km^2 alanda 1800 aynadan oluşmaktadır.

Güney İspanya'da Phoepus şirketi tarafından 10 MW PS10 ve 15 MW gücündeki Solar Tres isimli kule santraller kurulmuştur. Ayrıca kule yüksekliği 26 m, heliostat alanı 6624 m^2, ve 1.36 MW gücündeki MIUS isimli güneş enerjili santral da ABD'de faaliyet halindedir(30). Sanlucar Solar adı verilen bir başka kule tipi elektrik santralinde işletme sıcaklığı 680 °C, kule yüksekliği 90 m yüksekliğinde ve toplam heliostat alanı 89 271 m^2 dir. Elde edilen ısı "saddles" adı verilen alüminyum katıklı bir akışkan kullanılmakta ve kapasitesi 33 MW ısı depolama tankına aktarılmaktadır. Yıllık net verim yaklaşık %10 dur [29].

Şekil 2.8 de şematik işlemleri gösterilen bir kule santralde, gelen güneş ışınları yutucu kulede yoğunlaşmaktadır. Toplanan ısı akışkan olarak kullanılan tuzlu suya verilmektedir. Bu sistemde 570 °C deki tuzlu su depolanmaktadır. Tuzlu su ile buhar elde edildikten sonra türbin-jeneratör devresine verilmektedir. Türbinden tekrar geri alınan düşük sıcaklıktaki buhar geri tekrar beslemeyle sisteme verilmektedir. Düşük sıcaklıktaki buhar soğuk tuzlu su depolama tankına ve oradan kuleye yeniden yüksek sıcaklığa yükseltilmek üzere gönderilmektedir.



Şekil 2.8. Heliostat sistemle güneş enerjisinin depolanması ve elektrik üretim şeması

BÖLÜM 3. GÜNEŞ GEOMETRİSİ

3.1. Giriş

Dünya diğer gezegenler gibi güneş etrafında daireye yakın eliptik bir yörünge çizerek dönmektedir. Ayrıca dünya kendi ekseni etrafında dönerken, bu yörünge düzleminin normaliyle 23.45° lik bir açı yaptığından, yeryüzüne düşen güneş ışınım şiddeti yörünge boyunca değişmekte ve mevsimler de böylece oluşmaktadır. Bu eğiklik, yıl boyunca gündüz ve gece uzunluğunda da değişimler ortaya çıkartmaktadır. Mevsim boyunca güneş ışınımının farklı oranlarda gelmesi sebebiyle hesaplamalarda doğru değerleri bulabilmek için, güneşi ve güneşin yıl içindeki konumunu bilmek gerekmektedir.

3.2. Güneş

Güneş, çok yoğun sıcak gazlarla meydana gelmiş olup ve çapı 1.39×10^9 m, kütlesi 2×10^{30} kg civarında olan bir yıldızdır. Dünyadan uzaklığı yaklaşık 1.5×10^{11} m dir. Güneş yaklaşık 4 haftada bir kendi etrafında dönmektedir. Bu dönmeyi ekvator kısmı 27 günde fakat kutuplar 30 günde tamamlar [31].

Güneş, diğer gezegenlere ve dünyamıza enerji veren büyük bir güce sahip tek enerji kaynağıdır. Fosil kaynakların zamanla oluşumu, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkilerinden meydana gelmektedir. Günlük hayatta kullanmakta olduğumuz kömür, petrol, su potansiyeli, biyokütle, rüzgar gibi diğer enerjiler, güneş ışınlarının zaman sürecinde maddeler üzerindeki fiziksel etkisinden oluşmaktadır. Termonükleer bir reaktör olan güneşte, her saniyede 564 milyon ton hidrojen füzyon sonucu 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 386.000.000 EJ (eksa joule) enerji açığa çıktığı tahmin edilmektedir.

Güneşin ışınım yayan yüzeyi 5777 K sıcaklığındadır. Merkez sıcaklığı $8x10^6$ K ile $40x10^6$ K civarında olduğu tahmin edilmektedir [32]. Güneşin merkezinde ortaya çıkan çekirdeksel tepkimeler, temelde hidrojen çekirdeklerinin kaynaşmasıdır. Güneşin yaklaşık %90'ı hidrojendir.

Güneş ışınımları dünya atmosferini geçerken belli soğurmalara uğrarlar. Bu soğurmalar, atmosferi oluşturan gazlardan ve toz parçacıklarından kaynaklanır. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider. Yaklaşık %20'si atmosferde soğurulur. Geri kalan %50'si yeryüzünde soğurulur. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınımlardan oluşur. Güneş ışınımlarının dalga boyları 0.1-3 μm arasındadır. Güneş ışınımları dünyaya yaklaşık 8 dakika ulaşmaktadır. Güneş ışınımlarının atmosferde hava ile etkileşmeleri sonucu, yeryüzüne gelen toplam güneş ışınım şiddeti, hava küre dışına gelen şiddetin yarısından biraz fazla azalmaktadır. Aynı zamanda, belli dalga boyları artık süzülmüş, böylece enerji dağılımı da bundan etkilenmiştir. Doğal olarak hava küre etkileri güneş ışınımlarının havada aldıkları yola bağımlıdır. Eğik gelen güneş ışınımları, dik gelmeye kıyasla daha uzun yol alacakları için, bu etkilerde artacaktır.

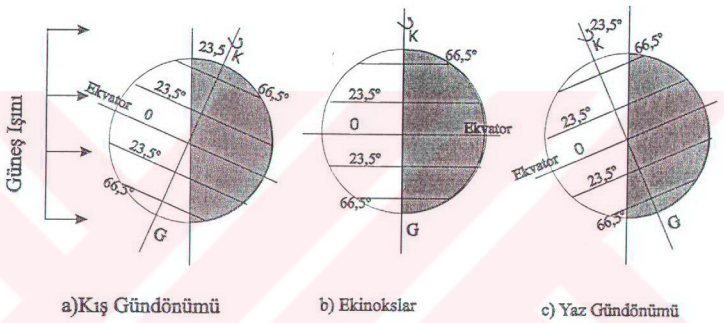
3.3. Güneş Geometrisi Parametreleri

3.3.1. Güneş sabiti

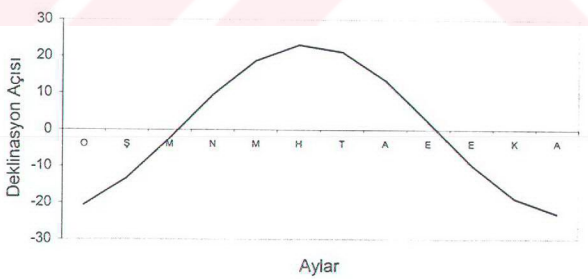
Dünya-güneş mesafesinin mevsimlere göre değişmesiyle atmosfer dışından bir yüzeye gelen güneş ışınım miktarı da değişmektedir. Dünyanın dışına, yani hava kürenin dışına güneş ışınlarına dik bir metre kare alana bir saniyede gelen güneş enerjisi, 1353 W ile 1373 W arasında olduğu bilinmektedir. Bu değer, tanım gereği, yıl boyunca değişmez varsayılabilir. Bu sayı "güneş sabiti" olarak bilinir. Güneş dünyadan ortalama uzakta iken, atmosfer dışında, güneş radyasyonuna dik olarak duran bir yüzeyde gerçekleşen güneş radyasyon akısı değişik araştırmacılar tarafından tespit edilmeye çalışılmaktadır. Thekaekara tarafından (1970) ±%1,5 hata ile 1353 W/m^2 bulunmuştur. Daha sonraki çalışmalarda Frohlisc (1978), 1373 W/m^2, Wilson(1981) 1368 W/m^2, WRC (Dünya Radyasyon Merkezi) (1983) de 1367 W/m^2 kabul etmişlerdir [32].

3.3.2. Deklinasyon açısı

Deklinasyon açısı, güneş ışınlarının ekvator düzlemiyle yaptığı açı olup, dünyanın dönme ekseninin yörünge düzleminin normaliyle yaptığı 23,45°'lık açıdan dolayı ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi dünyaya gelen güneş ışınları aylara ve mevsimlere göre sürekli değişmektedir. Dünyanın güneş etrafındaki dönmesi bir yılda tamamladığından deklinasyon açısı da yıl boyunca (Şekil 3.2) değişmektedir.



Şekil 3.1. Değişik zamanlarda dünyanın güneşe göre durumları



Şekil 3.2. Deklinasyon açısının aylara göre değişimi

Deklinasyon açısı, 1 ocaktan itibaren gün sayısı (n) olmak üzere Cooper(1969) tarafından aşağıdaki formül önerilmiştir.

$$\delta = 23{,}45° \sin\left[\frac{360}{365}(n+284)\right] \qquad (3.1)$$

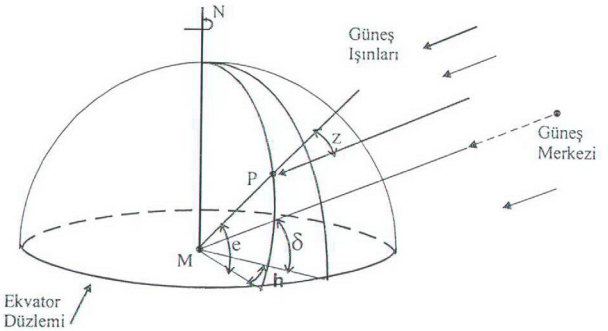
Yılın herhangi bir gününde bu formül büyük bir doğrulukla bulunabilmesine rağmen birçok uygulamalarda aylık ortalama deklinasyon açısına ihtiyaç duyulmaktadır. Klein tarafından teklif edilen yılın hangi ayında hangi günün deklinasyon için ortalama değer olarak kullanılması gerektiğini aşağıda Tablo 3.1 verilmiştir [32]. Deklinasyon açısı Şekil 3.3 te (δ) açısı ile gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Yıl içindeki her ayın ortalaması için seçilen günü ve deklinasyon değerleri

Aylar	Gün	Deklinasyon
Ocak	17 (17)	-20.9
Şubat	16 (47)	-13.0
Mart	16 (75)	-2.4
Nisan	15 (105)	9.4
Mayıs	15 (135)	18.8
Haziran	11 (162)	23.1
Temmuz	17 (198)	21.2
Ağustos	16 (228)	13.5
Eylül	15 (258)	2.2
Ekim	15 (288)	-9.6
Kasım	14 (318)	-18.9
Aralık	10 (344)	-23.0

3.3.3. Enlem açısı

Enlem açısı, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi göz önüne alınan P noktasının dünyanın merkezi ile birleştiren doğrunun ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır (e). Bu açıların aldığı değerlere enlem denilmektedir. Dünyayı iki eşit parçaya ayıran ekvatorun 0 derece sayılmasıyla, 90 tane kuzey yarım kürede, 90 tane güney yarımkürede yer almaktadır. Kuzeye doğru(+), güneye doğru(-) alınır.



Şekil 3.3. Enlem (e), saat açısı (h) ve deklinasyon açısının (δ) gösterilişi

3.3.4 Saat açısı

Dünya üzerindeki Şekil 3.3'te gösterildiği gibi bir P noktasını dünya merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzlemine düşen izdüşümü ile, dünya merkezinden geçen ışının ekvator düzlemine düşen izdüşümü arasında kalan açısıdır. Şekil 3.3 te (h) ile gösterilmektedir. Bu açı güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu "güneş öğlesi'nden itibaren ölçülmektedir. Çünkü güneş öğlesinde iki izdüşüm çakıştığından dolayı saat açısı 0 dır. Öğleden önce için (-), öğleden sonrası için (+) alınmaktadır. Her hangi bir zamandaki saat açısını(h) bulmak için, (Gs) o andaki güneş saati olmak üzere aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$h = 15x(Gs - 12) \qquad (3.2)$$

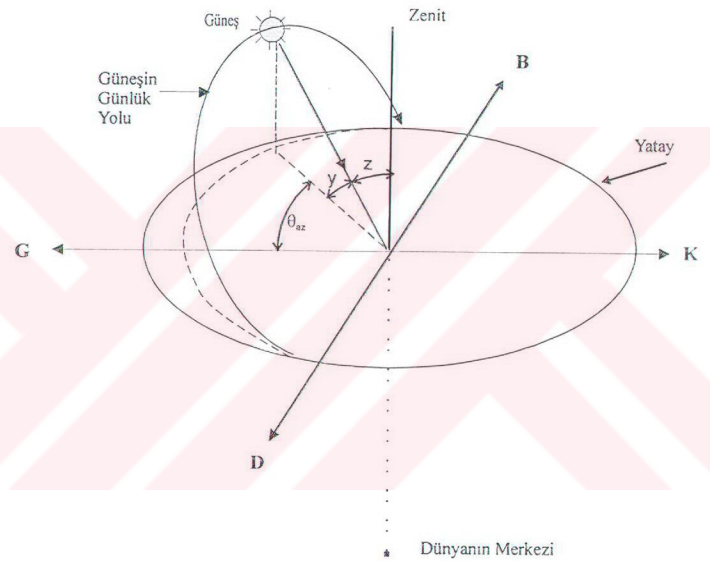
3.3.5. Güneş azimut ve yüzey azimut açısı

Güneş azimut açısı, güneşten gelen ışınının yatay düzlemdeki izdüşümü ile kuzey-güney doğrultusu arasında kalan açıdır. Güneyden batıya doğru (+), doğu tarafına (-) olarak alınır (Şekil 3.4). Yüzey azimut açısı (ψ) ise, eğik düzlemin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün kuzey-güney doğrultusu ile yaptığı açıdır (Şekil 3.5).

3.3.6 Zenit açısı

Direkt güneş ışınlarının o yerin yüzey normaliyle yaptığı açıdır. Işınım yüzeye dik ise zenit açısı 0° dir.

$$\sin y = \cos z \tag{3.3}$$



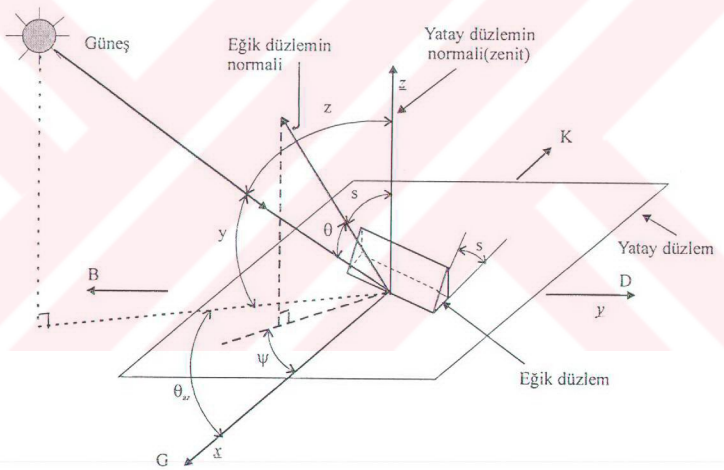
Şekil 3.4. Güneşin izlediği yol, güneş zenit açısı (z), yükseklik açısı (y), ve güneş azimut açısının (θ_{az}) görünüşü

3.3.7. Güneş yükseklik açısı

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır. Yükseklik açısı zenit açısını 90° ye tamamlamaktadır (Şekil 3.4). Güneş yükseklik açısı, güneş doğuşunda ve batışında 0° dır.

3.3.8.Eğik yüzey açıları

Şekil 3.4 te eğik bir düzleme güneşten gelen ışının yön eksenlerine göre konumu ve yatay düzlemde yaptığı açılar gösterilmektedir. Eğik bir yüzeyin yatay düzlemle yaptığı açı (s) ve azimut açı (θ_{az}), eğik yüzeyin azimut açısı (ψ) dır. Güneş yükseklik açısı (y), güneş geliş açısı (θ) ile gösterilmektedir. Eğik düzlemin normalinin yatay düzlemin normali üzerindeki izdüşümü cos s ve yatay düzlem üzerindeki izdüşümü sin s dir. Buna göre yatay koordinat sistemindeki (xyz) doğrultu kosinüsleri kullanılarak eğik düzleme gelen güneş geliş açısı hesaplanabilir [31, 32, 33]



Şekil 3.5. Eğik bir düzlemde geliş açısına göre zenit açısı(z), yükseklik açısı(y), ve güneş azimut açısı (θ_{az}) ve yüzey azimut(ψ) açısının görünüşü

3.3.9. Güneş geliş açısı

Güneş geliş açısı, güneş doğrultusunun göz önüne alınan eğik düzlemin normali ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Güneş ışınlarının kutupsal koordinatlara göre doğrultu kosinüsleri ($a_2 = \cos\delta\cosh$, $b_2 = \cos\delta\sinh$, $c_2 = \sin\delta$)

olduğu bilindiğinde geliş açısı(θ);

$$\cos\theta = \sin e\cos\delta\cos s - \cos e\sin\delta\sin s\cos\psi + \cos e\cos\delta\cosh\cos s + \sin e\cos\delta\cosh\sin s\cos\psi + \cos\delta\sinh\sin s\sin\psi \quad (3.4)$$

olarak bulunur. Bu genel formülün çıkarılışı [31, 32, 33] verilmektedir.
Bu denklemde yatay düzlemler için s=0 ve θ=z olduğunda

$$\cos z = \sin e\sin\delta + \cos e\cos\delta\cosh \quad (3.5)$$

denklemi elde edilir. Eğer dikey bir yüzey söz konusu ise s=90° olduğunda güneş geliş açısı

$$\cos\theta = -\cos e\sin\delta\cos\psi + \sin e\cos\delta\cosh\cos\psi + \cos\delta\sinh\sin\psi \quad (3.6)$$

olur. Kuzey yarım kürede ve güneye dönük ise yani ψ=0 olduğunda

$$\cos\theta = \sin e\sin\delta\cos s - \cos e\sin\delta\sin s + \cos e\cos\delta\cosh\cos s + \sin e\cos\delta\cosh\sin s$$
$$\cos\theta = \sin(e-s)\sin\delta + \cos(e-s)\cos\delta\cosh \quad (3.7)$$

elde edilir, eğer güney yarım kürede ve yine güneye dönük olarak yerleştirilmişse ψ=180 olduğunda

$$\cos\theta = \sin(e+s)\sin\delta + \cos(e+s)\cos\delta\cosh \quad (3.8)$$

şekline dönüşür.

Güneş ışınım şiddeti için güneşin batış ve doğuş saatleri ve gün uzunluklarının bilinmesine ihtiyaç duyulur. Gün doğuşu için denklem 3.3 düzenlendiğinde güneşin doğuşu ve batışı için

$$\sin y = \sin 0 = 0 = \cos e\cos\delta\cosh + \sin e\sin\delta \quad (3.9)$$

eşitliğinden

$$\cos H = -\tan e \tan \delta \qquad (3.10)$$

ifadesi bulunur, H pozitif (+) olduğunda gün doğuşunu, negatif (-) olduğunda gün batımı saatini verir.

3.3.10. Gün uzunluğu

Gün uzunluğu 3.9 denklemi kullanılarak, her 15 derecenin 1 saate eşit olduğu ve gün uzunluğunun güneş öğlesinin her iki tarafında olduğunu düşünüp 2 ile çarpıldığında

$$t_g = \frac{2}{15}\arccos(-\tan e \tan \delta) \qquad (3.11)$$

bulunur. Enlem derecesinin sıfır olarak kabul edildiği ekvatorda gün uzunluğu daima 12 saat olduğu gibi deklinasyon açısının yıl içinde sıfır olduğu durumlarda (mart 21 ve eylül 23) yine gün uzunluğu 12 saattir. Bulunduğumuz kuzey yarım kürede, deklinasyon açısının pozitif değer aldığı günlerde kutuplara doğru gidildiğinde enlem derecesi arttığından gün uzunluğu artmaktadır. Yıl içinde deklinasyon açısının eksi olduğu durumlarda ise gün uzunluğu azalmaktadır.

3.3.11. Güneş zamanı

Güneş ışınımı için yapılan işlemlerde genellikle güneş zamanına göre hesaplama yapılır. Bunun için yerel saatin güneş zamanına dönüştürme işlemi yapılır.

$$S_t = S_y \pm 4\,(L_{st} - L_{lo}) + E \qquad (3.12)$$

Şeklinde formüle edilmektedir. Burada (S_t) güneş zamanı (saat), (S_y) hesaplama yapılması istenen bölgenin yerel saati, standart boylam(L_{st}) her ülkenin (0) boylama göre saatlerini belirlemede kabul ettiği boylam (Türkiye için 30° doğu boylamı), bölge boylamı (L_{lo}) ise hesaplanması istenen yerin boylamıdır (Denizli için 29°). Her

boylam (meridyen) arası 4 dakikaya karşılık gelmekte, (+) batı boylamlarını, (-) ise doğu boylamlarını belirtmektedir. Zaman düzeltmesi (E) dakika cinsinden olduğu için 60'a bölünmesi gerekiyor. E değeri için (Iqbal 1983) aşağıdaki bağıntıyı vermiştir [32].

$$E=229.2(0.000075+0.001868\cos B-0.032077\sin B-0.014615\cos 2B-0.04089\sin 2B) \quad 3.13)$$

Burada B, n gün sayısı olmak üzere,

$$B=(n-1)(360/365) \quad (3.13.1)$$

şeklindeki bağıntı ile verilmektedir.

3.4. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı bir çok faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Robinson, (1966) tarafından aşağıdaki gibi sınıflandırma yapılmıştır.

- Astronomik faktörler : Güneş dağılımı ve güneş sabiti, güneş ve dünya arasındaki mesafenin değişimi, deklinasyon açısı ve saat açısı.
- Coğrafik faktörler : Enlem, boylam ve deniz seviyesinden yükseklik.
- Geometrik faktörler : Bölgenin rakımı, azimut açısı, eğik düzlemin eğimi ve azimut açısı.
- Fiziksel faktörler : Güneş ışınlarının atmosferde yutulması ve saçılması.
- Meteorolojik faktörler : Bulut ve cisimlerin yansıtma oranı.

Yeryüzüne gelen ışınımın bir kısmı atmosfer tarafından tekrar geriye yansıtılırken diğer bir kısmı dünyaya ulaşmaktadır. Burada güneş ışınımı ile ilgili bazı tanımları vermekte yarar vardır.

- Direkt ışınım (I_d) : Güneş ışınımının atmosferdeki saçılma ve yön değiştirmesinden sonra yeryüzüne gelen ışınım şiddetidir. Yüzeye doğrudan güneşten gelen ışınım olduğu için direkt ışınım adı verilmektedir.

- Yayılı (diffuse) ışınım (I_y) : Güneş ışınımının atmosferde bulunan toz taneleri tarafından bir miktarı yutulur ve saçılır. Saçılıp gelen bu ışınıma yayılı ışınım adı verilmektedir. Direkt ve yayılı ışınım 0.3 ile 3.0 μm boylarında olduğundan kısa dalga boylu ışınım da denilir.
- Yansıyan ışınım (I_{ya}) : Güneşten gelen ışınlar yeryüzündeki pürüzlü veya pürüzsüz yüzeylere çarparak yansıdığından bunlara yansıyan ışınlar denilir.
- Toplam ışınım (I_T) : Yatay düzleme gelen toplam ışınım direkt, yayılı ve yansıyan ışınımların toplamıdır.

3.5. Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı

Güneş ışınımından daha fazla yararlanmak için eğik düzleme uygun bir eğim açısı verilirse, gelen ışınım miktarı yatay düzleme gelen ışınımdan daha yoğun olur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Güneş ışınlarının eğik düzlem ve yatay düzleme gelişleri

$$\cos z = \frac{I_d}{I_{dn}} \quad \text{ve} \quad \cos\theta = \frac{I_{dt}}{I_{dn}} \tag{3.14}$$

burada I_{dn} normal gelişteki anlık tüm direkt ışınımı, I_d yatay yüzeye gelen anlık tüm direkt ışınım ve I_{dt} eğik yüzeye gelen anlık tüm direkt ışınımı göstermektedir.

Aşağıdaki bağıntı yatay bir düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımını vermektedir. I_d direkt ışınım miktarını ve I_y ise yayılı ışınım miktarını göstermektedir.

$$I_T = I_y + I_d \tag{3.15}$$

I_d ve I_y değerleri, meteorolojinin bölgede kurulan istasyonlarında kaydedilen geçmiş yıllara ait ortalama değerlerinden yararlanılarak hesaplanabilmektedir. Bu istasyonlarda tüm güneş ışınım (Q, MJ/m^{2}gün), direkt ışınım (Q_d, MJ/m^{2}gün) ve atmosfer dışı (Q_0, MJ/m^{2}gün) değerleri ölçülmektedir. Yatay düzleme gelen anlık güneş ışınım miktarı yaklaşık olarak bulunabilir [33]. Ancak bu değerler her ülkenin meteorolojik istasyon kayıtlarına göre olduğundan hata oranlarının dikkate alınması gerekir. Bir ay içinde yapılan tüm ışınım miktarı toplanıp ortalaması alınmaktadır. Aylık ortalamasından yararlanarak saatlik yayılı ışınım miktarı için Liu ve Jordan tarafından aşağıdaki bağıntı teklif edilmiştir.

$$r_y = \frac{\pi}{24}\frac{\cosh - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} \tag{3.16}$$

Burada h saat açısı, H güneşin batış açısıdır. Bulunan bu değerden yayılı ışınım

$$I_y = r_y Q_y \tag{3.17}$$

Saatlik tüm güneş ışınımı için

$$I_T = r_t Q \tag{3.18}$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Q aylık tüm güneş ışınım ortalama değerini r_t tüm güneş ışınımını bulmak için bir katsayı olup, Collares-Pereira ve Rabl(1979a) tarafından aşağıdaki bağıntı önerilmektedir[32].

$$r_t = \frac{\pi}{24}(a + b\cosh)\frac{\cosh - \cos H}{\sin H - \frac{\pi H}{180}\cos H} \tag{3.19}$$

bu bağıntıda kullanılan a ve b katsayıları için

$a=0.409+5016\sin(h_s-60)$ (3.19.1)

$b=0.6609-04767\sin(h_s-60)$

kullanılmaktadır. Anlık değerlerin bulunması için değerin 3600'e bölünmesi gerekmektedir.

Yeryüzüne gelen güneş ışınım miktarının tespiti için en sağlıklı olan yöntem solarimetre ile ölçümün yapılmasıdır. Bununla birlikte günlük ışınım miktarının hesaplama yoluyla bulunması için yukarıdaki bağıntılardan farklı olarak çok çalışmalar yapılmıştır [32-36]. Bu çalışmalarda kullanılan bağıntıların hata oranlarının düşük olması yönünde değişik ampirik bağıntılar bulunmuştur. Liu ve Jordan (1960) tarafından yapılan ilk çalışma Klein (1976) tarafından geliştirilerek üçüncü dereceden bir polinomla;

$$K_y = 1.390 - 4.027K_t + 5.531K_t^2 - 3.108K_t^3 \quad (3.20)$$

şeklinde ifade etmişlerdir. Buradaki K_t berraklık indeksi olup aşağıdaki bağıntıdan bulunur:

$$K_t = \frac{Q}{Q_0} \quad (3.21)$$

Burada yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı (Q), atmosfer dışından gelen ışınımına (Q_0) oranı olarak tanımlanmıştır.

K_y yatay düzleme gelen yayılı ışınımın tüm güneş ışınımının oranı olan yayılı (diffuse) ışınım ise aşağıdaki bağıntıdan;

$$K_y = \frac{Q_y}{Q} \quad (3.22)$$

bulunur. Bu eşitlikte (Q_y) yatay düzleme gelen yayılı ışınımı, (Q) ise tüm güneş ışınımını göstermektedir. Page (1963) tarafından yayılı ışınım oranının berraklık

indeksi ile değişimi için önerdiği bağıntı, güneş ışınım miktarının bulunması için kolaylık sağladığından çok kullanılmaktadır.

$$K_y = 1 - 1.13Kt \tag{3.23}$$

Bu bağıntılar bağımsız olarak kullanılamadığından bölgenin meteorolojik kaynaklarından yararlanmak zorundadır. Dünyada ve Türkiye'de yayılı, direk ışınım miktarları günlük olarak ölçülüp aylık ortalama değerleri periyodik olarak verilmektedir. Bu bağıntılarda kullanılan Q_y, Q, Q_d ışınım değerleri de uzun yıllar ortalama aylık değerlerdir. Meteorolojinin değişik yıllarda yaptıkları bu ölçümlerin düşük olduğuna dair eleştiriler yapılmaktadır [33].

3.6. Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınımı

Eğik bir yüzey üzerine gelen toplam ışınım; yayılı, direkt ve yansıyan ışınımların toplamına eşit olduğundan,

$$I_e = I_{ed} + I_{ey} + I_{ya} \tag{3.24}$$

Burada I_e eğik yüzeye gelen toplam ışınımı, I_{ed} eğik yüzeye gelen direkt ışınımı, I_{ey} yayılı ışınımı, I_{ya} eğik yüzeye yansıyarak gelen yansıyan ışınımı göstermektedir.
Temel denklem 3.4 göz önüne alınarak güneye dönük yani azimut açısının sıfır olduğu durumda, eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının, yatay düzleme gelen direkt anlık ışınıma oranı (R_d) ile gösterildiğinde,

$$R_d = \frac{\cos\theta}{\cos z} = \frac{\cos(e-s)\cos\delta\cosh + \sin(e-s)\sin\delta}{\cos e\cos\delta\cosh + \sin e\sin\delta} \tag{3.25}$$

bağıntısı yazılabilir. Burada (z) zenit açısını, (θ) geliş açısını, (e) yerin enlemi, (s) toplayıcının eğimini, (δ) deklinasyon açısını, (h) saat açısı göstermektedir.

$$I_{ey} = I_y \frac{1+\cos s}{2} \tag{3.26}$$

Çevrenin yansıtma oranı ρ yatay düzleme gelen tüm ışınım I_T olduğunda eğik düzleme yansıyarak gelen ışınım

$$I_{ya} = I_T \rho_g \frac{1-\cos s}{2} \tag{3.27}$$

Yukarıdaki 3.25, 3.26, 3.27 denklemlerden yararlanarak eğik düzleme gelen tüm ışınım için,

$$I_e = R_d I_d + I_y \left(\frac{1+\cos s}{2}\right) + I_T \rho_g \left(\frac{1-\cos s}{2}\right) \tag{3.28}$$

bağıntısı bulunur. Denklem tüm güneş ışınımına bölündüğünde

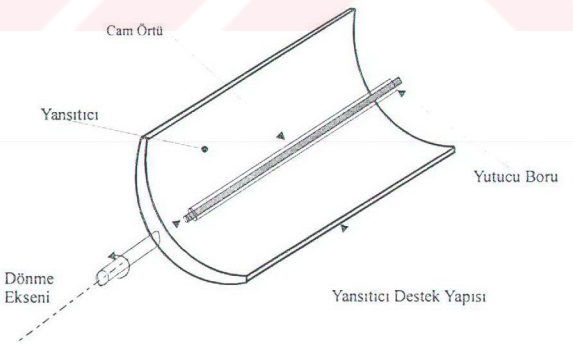
$$R = \frac{I_e}{I_T} = R_d \frac{I_d}{I_T} + \frac{I_y}{I_T}\left(\frac{1+\cos s}{2}\right) + \rho_g \left(\frac{1-\cos s}{2}\right) \tag{3.29}$$

şeklinde dönüşür. Burada R toplam ışınım eğim faktörü olarak adlandırılır.

BÖLÜM 4. YOĞUNLAŞTIRICI TOPLAYICILAR ve OPTİK ANALİZİ

4.1. Giriş

Yoğunlaştırıcı toplayıcılar, açıklık alanı üzerine gelen güneş ışınlarını bir optik sistemle daha küçük alandaki bir yutucuya odaklayarak, çok yüksek sıcaklıklar elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Yoğunlaştırma, ayna vb. bir yansıtıcı veya mercek kullanarak güneş ışınımı yansıtma veya kırılma ile yapılmaktadır. Endüstriyel amaçlar için değişik tip güneş yoğunlaştırıcıları bulunmaktadır. Bölüm 2 Şekil 2.2 de gösterildiği gibi düz toplayıcılarla yaklaşık 80-120 °C sıcaklıklar elde edilebilirken; çizgisel odaklamalı yoğunlaştırıcılarla 300°C, nokta odaklamalı yoğunlaştırıcılarla 1500 °C'e kadar sıcaklıklar elde edilebilmektedir. Şekil 4.1 de görüldüğü gibi güneşi takip eden bir toplayıcıda güneş ışınımlarını toplayan yansıtıcı, yansıyan ışınımları yutmayı sağlayan yutucu boru, dış ortam etkilerinden yutucuyu korumak için cam örtü (zarf) ve sistemi üzerinde taşıyan yapıdan meydana gelmektedir.



Şekil 4.1. Parabolik bir yansıtıcı ve yutucusu

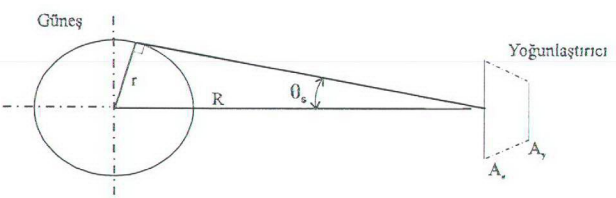
Yoğunlaştırıcı toplayıcılar sabit eksenli veya güneşi takip sistemli olarak iki tip imal edilmektedir. Güneş takip sistemiyle birlikte imal edilmesindeki amaç, gün boyunca gelen güneş ışınımından daha fazla yararlanmak ve daha yüksek sıcaklıklar elde edebilmektir. Yoğunlaştırıcı toplayıcıdan gelen güneş ışınları bir yutucu tarafından yutularak enerjisini bir akışkana vermektedir. Akışkan olarak sentetik yağ veya su kullanılmaktadır. Saydam bir örtüyle dış ortamın etkilerinden korunan yutucu yüzey, seçici yüzeyli veya siyah boya ile boyanmaktadır. Bu akışkandan elde edilen enerji ile yüksek sıcaklıkta su veya buhar üretilmektedir.

4.2 Yoğunlaştırma Oranı

Güneş ışınımını yoğunlaştıran toplayıcılarda yoğunlaştırma oranı önemli parametrelerden biridir. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının yutucu yüzey alanına oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$C = \frac{A_y}{A_a} \tag{4.1}$$

Burada yoğunlaştırma oranı C, yutucu alanı A_a, yansıtıcı aynanın açıklık alanı A_y ile gösterilmektedir. Rabl [1] tarafından Şekil 4.2 ile gösterilen güneş ve yoğunlaştırıcı arasında bağıntılar kurarak iki ve üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda yoğunlaştırma oranlarını bulmuştur.



Şekil 4.2. Güneş ve yoğunlaştırıcının şematik gösterilişi

Güneş siyah bir cisim olmamasına rağmen, yaklaşık bir analiz yapabilmek için siyah cisim olarak kabul edilmektedir [32]. Şekil 4.2 de yoğunlaştırıcının açıklık alanı A_a, alıcının (yutucu) alanı A_y, güneş merkezi ile toplayıcının arasındaki mesafe R,

güneşin yarıçapı r, toplayıcı ve güneş arasındaki yarım kabul açsısı θ_s olsun. Şayet güneş ve yutucu siyah bir cisim olarak kabul edildiğinde ve sıcaklıkları T_s ve T_y olduğunda güneş tarafından gönderilen ısı miktarı

$$Q_s = (4\pi r^2)\sigma T_s^4 \tag{4.2}$$

Güneş ile yutucu arasındaki açıklık alanı oranı

$$F_{s-y} = \frac{A_a}{4\pi R^2} \tag{4.2.1}$$

şeklinde olacaktır. Güneşten yutucuya olan ışınım enerjisi miktarı

$$Q_{s-y} = A_a \frac{4\pi r^2}{4\pi R^2}\sigma T_s^4 = A_a \frac{r^2}{R^2}\sigma T_s^4 \tag{4.2.3}$$

kadar olur. Benzer şekilde yutucudan güneşe olan ışınım enerjisi ise

$$Q_{y-s} = A_r F_{y-s}\sigma T_r^4 \tag{4.2.4}$$

şeklinde olur. Burada F_{y-s} yutucudan güneşe olan şekil faktörü olup, yutucudan ayrılıp güneşe ulaştığı kabul edilen ışınım oranı miktarıdır. Termodinamiğin 2. kanununa göre iki cismin sıcaklığı eşit ise o iki cisim arasında enerji alışverişi olmaz. $T_y=T_s$ olarak kabul edildiğinde

$Q_{s-y} = Q_{y-s}$ olur. Bu durumda

$$\frac{A_a}{A_y} = \frac{R^2}{r^2}F_{y-s} \tag{4.2.5}$$

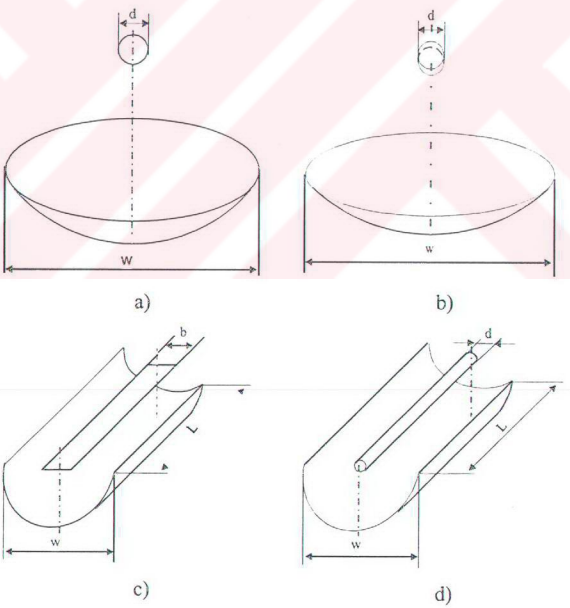
olur. $F_{y-s} \leq 1$ maksimum olduğu durumda üç boyutlu yoğunlaştırma için

$$C_{\max,3boyut} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{1}{\sin\theta_s} \tag{4.3}$$

bulunur. İki boyutlu çizgisel yoğunlaştırma için

$$C_{\max,2boyut} = \frac{R}{r} = \frac{1}{\sin\theta_s} \tag{4.4}$$

bulunur.Yarım kabul açısı 16' olarak kabul edildiğinde üç boyutlu toplayıcılarda ideal yoğunlaştırma oranı 45000, iki boyutlu toplayıcılarda en fazla yoğunlaştırma oranı 212 olarak bulunmuştur [36]. Yüksek sıcaklılar için parabolid (çanak) yüzeyler, daha düşük sıcaklık uygulamaları için genellikle parabolik şekil verilen silindirik-parabolik yüzeyler tercih edilmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Çizgisel ve nokta odaklamalı yutucular a) Paraboloid yansıtıcı-dairesel yutucu b) Paraboloid yansıtıcı-küresel yutucu c) Parabolik yansıtıcı-düz yutucu d) Parabolik yansıtıcı-silindirik yutucu

Yoğunlaştırma oranı toplayıcı alanının yutucu yüzey alanına oranı olduğundan, yutucu şekilleri de yoğunlaştırma işleminde etkili olmaktadır. Şekil 4.3 de değişik yoğunlaştırıcı ve toplayıcı tipleri verilmektedir. Işınımın tam odaklanmasını sağlamak şartıyla, yutucu yüzey alanı ne kadar küçük olursa yoğunlaştırma oranı da o kadar yüksek olur. Yoğunlaştırıcıların değişik geometrik şekilleri üzerinde deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır [21]. Tablo 4.1'de görüldüğü gibi yoğunlaştırma oranları toplayıcının iki boyutlu ve üç boyutlu bir yüzeye sahip olmalarına, açıklık alanına ve yutucunun geometrik şekline bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 4.1. Parabolik yansıtıcılar için yarım kabul açısı (θ_s) ve kenar açısı (ψ_s) değerlerinin fonksiyonu olarak yoğunlaştırma oranı değerleri [2]

Alıcı Yüzey Şekli	Yoğunlaştırma Oranı (C)	θ_s açısına göre C değerleri			$C/C_{max,2b}$
		θ_s=1/4	θ_s=1/2	θ_s=1°	
2 Boyutlu parabolik yansıtıcı					
Silindirik	$\frac{\sin\psi_s}{\pi\sin\theta_s}$	-	-	-	$\frac{\sin\psi_s}{\pi.\sin\theta_s}$
Düz	$\frac{\sin\psi_s\cos(\psi_s+\theta_s)}{\sin\theta_s}-1$	-	-	-	
Optimal ψ_s açısı için					
Silindirik $\psi_{opt}=\frac{\pi}{2}$	$\frac{1}{\pi\sin\theta_s}$	73	37	18	$\frac{1}{\pi}$
Düz $\psi_{opt}=\frac{1}{2}(\frac{\pi}{2}-\theta_s)$	$\frac{1}{2\sin\theta_s}-\frac{3}{2}$	113	56	27	$\frac{1}{2}-\frac{3}{2}\sin\theta_s$
3. Boyutlu parabolik					
Küre	$\frac{\sin^2\psi_s}{4\sin\theta_s}$	-	-	-	$\frac{\sin^2\psi_s}{4}$
Düz	$\frac{\sin^2\psi_s\cos^2(\psi_s+\theta_s)}{\sin^2\theta_s}-1$	-	-	-	$\sin^2\psi_s\cos^2(\psi_s+\theta_s)-\sin^2\theta_s$
Optimal ψ_s açısı için					
Küre	$\frac{1}{4\sin^2\theta_s}$	13000	3300	820	$\frac{1}{4}$
Düz	$\frac{1}{4\sin^2\theta_s}-\frac{1}{2\sin^2\theta_s}-\frac{3}{4}$	13000	3200	790	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}\sin\theta_s-\frac{3}{4}\sin^2\theta_s$

4.3. Toplayıcılarda Optik Özelliklerin Önemi

Toplayıcıları dış ortamdan korumak için kullanılan örtü malzemelerinin optik özellikleri, toplayıcıların verimine etki eden faktörlerin başında gelmektedir. Seçilen örtü malzemesinden beklenen özelliklerin başında, yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi, ışınım geçirgenlik katsayısının iyi olması ve çevre ile olan ısı kayıplarının azaltması gelir. Bunun için kısa dalga boylu güneş ışınımlarını geçirme oranı büyük ve yutucu levhadan geriye yansıyan uzun dalga boylu ışınımları geçirme oranı küçük olan saydam örtüler kullanılmalıdır.

4.4. Işığın Yansıması ve Kırılması

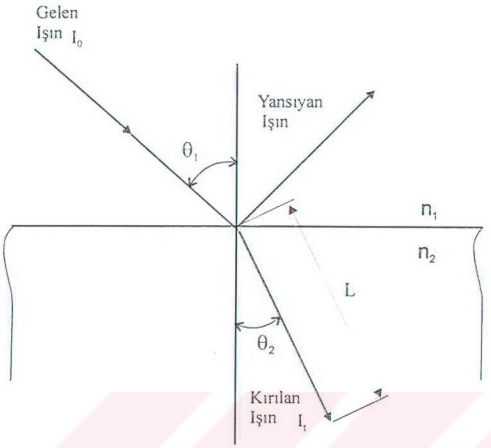
Dalga boyu 0.3-3.0 μm aralığındaki ışınımlar için saydam bir cismin yansıtma oranı (ρ), geçirme oranı (τ) ve yutma oranı (α) olmak üzere, aşağıdaki eşitlikte verildiği gibi toplamları birdir.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \qquad (4.5)$$

Her hangi θ_1 açısıyla gelen bir ışın bir yüzeye çarptığında bunun bir kısmı geliş açısı kadar bir açı yaparak yansırken, diğer kısmı saydam yüzeyde bir θ_2 açısıyla kırılır(Şekil 4.4). Kırılan θ_2 açısı ara yüzeyin geçirgenliğine göre değişir. Geliş ve kırılma açıları Snell kırılma kanununa göre:

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \qquad (4.6)$$

şeklindedir.



Şekil 4.4. Bir ara yüzeyde ışınımın kırılması ve yansıması

Şekil 4.4 de görüldüğü gibi, birinci yüzeyin kırılma indisi (n_1), ikinci yüzeyin kırılma indisini (n_2) göstermektedir. Tablo 4.2 de ise bazı yarı saydam malzemeler için kırılma indisleri verilmektedir.

Tablo 4.2. Çeşitli malzemelerin kırılma indisleri [32]

Örtü malzemesi	Kırılma indisi(n)
Cam	1.526
Polimetil metakralit	1.49
Polivinflorid	1.45
Poliflurinet etilen propilin	1.34
Politetraflouretil	1.37
Polikarbonat	1.60

Ara yüzeyde polarize olan ışınım, dik ve yatay (paralel) bileşenlere ayrılır. Dik bileşen için

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \tag{4.7}$$

ve yatay bileşen için

$$r_{II} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \tag{4.8}$$

yazılabilir. Ortalama yansıtma oranı

$$r = \frac{1}{2}(r_{\perp} + r_{II}) \tag{4.9}$$

şeklinde olur.

Normal geliş açısı $\theta_1=\theta_2=0$ olduğunda polarizasyon etkisi olmaz, yatay ve dik bileşenler eşit olur. Buna göre;

$$r_{\perp} = r_{II} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \tag{4.10}$$

şeklinde olur.

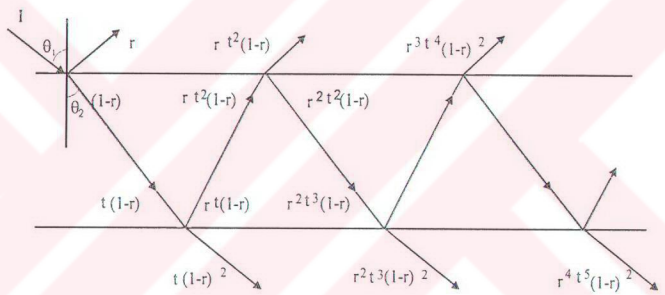
Diğer taraftan gelen ışın ara yüzeye paralel olduğunda $\theta_1 = 90°$ ve $\theta_2 < 90°$ olduğundan dolayı iki bileşke eşit olacağından,

$$r_{\perp} = r_{II} = 1 \tag{4.11}$$

olur.

4.5. Yutma, Yansıma ve Geçirme Oranlarının Bulunması

Yukarıda verilen eşitlikler tek ara yüzeyine sahip geçirme, yansımalar içindir. Şekil 4.5 de görüldüğü gibi ikinci bir ara yüzey olduğunda çok sayıda yansıma, geçirme gerçekleşmektedir. Gelen ışınım birinci ara yüzeye geldiğinde bunun bir miktarı geliş açısına eşit bir şekilde yansır. Ara yüzeyi geçen ışınım bir miktar kırılarak ikinci ara yüzeye gelir. Burada ışınım yine geliş açısı kadar bir açı yaparak birinci ara yüzeyden dışarıya ve ikinci yüzeye doğru geri yansır. Diğer taraftan ikinci yüzeye gelen ışınım dışarıya (iki ortamda hava olduğu için) ilk geliş açısına eşit bir açıyla dışarıya çıkmaktadır. İşlem sürekli olarak bu şekilde devam etmektedir.



Şekil 4.5. Işınımın saydam bir örtüden yansıması

Şekil 4.5'de ışınımı izleme metoduna göre polarizasyonun bir bileşeni için, yansıtma, geçirme ve yutma oranları için denklemler kurulursa

$$\rho' = r + rt^2(1-r)^2 + r^3t^4(1-r)^2 + \ldots = r + r\frac{(1-r)^2t^2}{1-r^2t^2} \qquad (4.12.1)$$

$$\tau' = (1-r)^2t + r^2(1-r)^2t^3 + r^4(1-r)^2t^5 + \ldots = \frac{(1-r)^2t}{1-r^2t^2} \qquad (4.12.2)$$

$$\alpha' = 1-\rho'-\tau' = \frac{(1-r)(1-t)}{1-rt} \qquad (4.12.3)$$

eşitlikleri bulunur. Burada (r) ara yüzeyin polarizasyonun dik veya yatay bileşenlerinin yansıtma oranlarını, (t) ise ışınımın geçirilme oranıdır. Bu bağıntılar

Stokes bağıntıları olarak bilinir. Toplam yansıtma, geçirme ve yutma oranları polarizasyonun dik ve yatay bileşenlerinin ortalaması olacağından toplam yansıtma oranı,

$$\rho = \frac{1}{2}\left[\rho'(r_{\perp},t) + \rho'(r_{\parallel},t)\right] = \frac{1}{2}(\rho_{\perp} + \rho_{\parallel}) \qquad (4.13.1)$$

toplam geçirme oranı,

$$\tau = \frac{1}{2}\left[\tau'(r_{\perp},t) + \tau'(r_{\parallel},t)\right] = \frac{1}{2}(\tau_{\perp} + \tau_{\parallel}) \qquad (4.13.2)$$

ve toplam yutma oranı ise

$$\alpha = \frac{1}{2}\left[\alpha'(r_{\perp},t) + \alpha'(r_{\parallel},t)\right] = \frac{1}{2}(\alpha_{\perp} + \alpha_{\parallel}) \qquad (4.13.3)$$

şeklinde olacaktır.

Normal doğrultuda gelen ışınım için dik ve yatay bileşenler eşit olacağından

$$\rho' = \frac{2r}{1+r} \qquad (4.14.1)$$

$$\tau' = \frac{1-r}{1+r} \qquad (4.14.2)$$

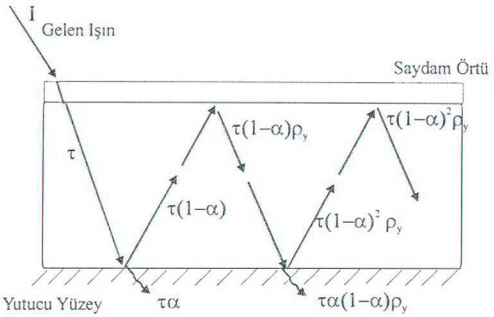
$$\alpha = 0$$

olacaktır.

4.6. Yutma – Geçirme Çarpanı

Saydam örtü olarak kullanılan cam üzerine gelen güneş ışınları bir miktar kırılarak yutucu yüzeye gelir. Bu ışınların büyük kısmı yutucu yüzey tarafından yutulurken, bir kısmı da yansıtılır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi yansıtılan ışınım saydam örtünün

alt kısmına geldiğinde bu ışınımın bir kısmı saydam örtüyü geçer, diğer kısmı tekrar yutucu levhaya doğru yeniden yansır.



Şekil 4.6. Işınımın saydam bir örtüden geçerek tekrar yansıması

Bu işlem sürekli devam eder. Şekil 4.6'da yutucu tarafından yutulan ışınım oranı aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha\sum_{n=0}^{\infty}\left[(1-\alpha)\rho_y\right]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} \qquad (4.15)$$

Burada yutma-geçirme çarpımı(τα), saydam örtünün levhadan yansıyan ışınımı yansıtma oranı (ρ_y) ve yüzeyin güneş ışınımını yansıtma oranını (α) ile gösterilmektedir. Yansıtıcı olarak kullanılan bazı malzemeler için yansıtma oranı Tablo 4.3'de verilmektedir. Genellikle ısı iletim katsayıları yüksek olan malzemelerin yansıtma oranlarının da yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. Bazı yansıtıcı yüzey malzemeleri ve yansıtma katsayıları [32]

Malzeme	Yansıtma
Düşük yansıtıcılı gümüşlenmiş cam	0,94
Elektroplazlanmış gümüş	0,96
Saf alüminyum	0,91
SiO kaplanmış Al.	0,87
Ticari alzak işlenmiş Al.	0,85
Al.ile kaplanmış 3M akrilik	0,85
Gümüşlenmiş su beyazı cam	0,88

4.7. Siyah Cisim

Eğer bir cisim, üzerine düşen tüm ışınları soğurursa bu tür cisimlere "siyah cisim" adı verilir. Bununla beraber bir siyah cisim yutmadan sonra, ışımayı dışarıya vermek zorundadır. Siyah cismin yaydığı ışıma çeşitli dalga boylarının bir karışımı şeklindedir. Siyah cisim görünür bölgede ışıma yaptığında kırmızı ışıma yaparken, sıcaklığı arttıkça turuncu, sarı ve maviye doğru değişen ışıma yapar.

4.8. Seçici Yüzey

Güneş enerjisi teknolojisinde ulaşılan en son yutucu yüzey kaplamasıdır. Seçici yüzey, 0.3-2.5 μm spektrum aralığındaki kısa dalga boylu güneş ışınımının tamamına yakınını yutar ve 2.5-5.0 μm spektrum aralığındaki uzun dalga boylu ışınım yayıcılığı ise çok düşüktür. Böylelikle siyah boyalı yüzeylere oranla daha yüksek verim elde edilmiştir. Seçici yüzeyli malzemelerin alt tabakası Tablo 4.4'de görüldüğü gibi farklı bir yapıda olabilir. Bu tabloda seçici yüzeyler üzerinde değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda yutma, yayma ve yutma ile yaymanın oranı verilmektedir. Yutma ve yayma oranı en yüksek olan seçici yüzeylerden daha fazla enerji depolanmaktadır.

Tablo 4.4. Seçici yüzeyli malzemelerin soğurma ve ışınım yayma katsayıları [33]

Seçici Yüzey	Alt Tabaka	α	ε	α/ ε	Referans
Nikel	Galvanizli Çelik	0.93	0.08	13.6	Gogna-Chopra (1979)
Kobalt	Galvanizli Çelik	0.91	0.12	7.6	Choudhury-Sehgal (1982)
Siyah Nikel	-	0.91	0.14	6.5	Call(1979)
Siyah Krom	Çelik	0.95	0.16	5.9	Kreith-Kreider(1978)
Siyah Krom	Çinko	0.91	0.08	11.4	Van der Leij (1978)
Siyah Krom	-	0.96	0.25	3.8	Call(1979),Vresk(1978)
Siyah Krom	Bakır	0.92	0.08	11.5	Driver ve ark.(1977)
Bakır Oksit	Alüminyum	0.93	0.11	8.5	Hottel –Ugger(1959)
Platinyum Siyahı	-	0.95	0.91	1.04	-
Siyah mat boya	-	0.98	0.88	1.11	-
Siyah Bakır	-	0.91	0.20	4.5	Vresk(1981)

4.9. Saydam Örtü

Toplayıcıların ısı kayıplarını en aza indirgeyen ve güneş ışınlarının geçişini engellemeyen malzemelerden seçilmektedir. Saydam yüzey olarak genellikle cam veya plastik esaslı malzemeler kullanılır. Bu örtüleri kullanmaktaki asıl amaç, ortamdaki rüzgar nedeniyle yutucu yüzey ile ortam arasındaki ısı taşınım katsayısının büyümesini önlemektir. Kullanılan örtü malzemesinde uzun dalga boylu ışınım geçirme oranlarının düşük olması sebebiyle ısı kaybını önlemektedirler. Cam, güneş ışınlarını geçirmesi ve ayrıca yutucu plakadan yayınlanan uzun dalga boylu ışınları geri yansıtması nedeni ile örtü maddesi olarak son derece uygun bir maddedir. Bilinen pencere camının geçirme katsayısı 0.88'dir. Son zamanlarda özel olarak üretilen düşük demir oksitli camlarda bu değer 0.95 seviyesine ulaşmıştır.

4.10. Yutucu (Absorbant) Yüzey

Toplayıcılarda yutucu yüzey toplayıcıların en önemli kısmıdır. Güneş ışınları, yutucu plaka tarafından yutularak ısıya dönüştürülür ve sistemde dolaşan sıvıya aktarılır. Yutucu (absorbant) yüzey düz toplayıcılarda tabanda ve üstte birer manifold ile bunların arasına yerleştirilmiş akışkan boruları ve yutucu plakadan oluşur. Yutucu plakanın ışınları yutması için koyu bir renge genellikle siyaha boyanır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının (absorptivite) yüksek, uzun dalga boylu ışınımı yayma katsayısının (emissivite) düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle de bu özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Tablo 4.5'te bazı malzemelerin yayma katsayıları verilmektedir. İdeal bir yutucu yüzeyin seçici yüzeyli olarak yapılması verimi artırmaktadır. Mat siyah boyanın yutma katsayısı 0.95 gibi yüksek bir rakam iken yayma katsayısı da 0.92 gibi yüksek bir değerdedir. Yapılan seçici yüzeylerde yayma katsayısı 0.1'in altına inmiştir.

Tablo 4.5. Çeşitli saydam örtü malzemelerinin kırılma indisi, geçirgenlik ve ışınım yayma katsayıları [33]

Malzeme	n	τ	ε	T(mm)
Acylic(Plexiglass)	1.52	0.92	0.02	3.2
Lexan(Polycarbonate)	1.58	0.80	0.02	3.2
Teflon	1.65	0.80	0.21	0.13
Tedlar	1.46	0.88	0.20	0.101
Mylar	1.65	0.80	0.18	0.127
Su-beyazı cam	1.5	0.9,23	0.02	3.2
Marlex	1.50	0.92	0.81	0.101
Düzgün cam	1.52	0.79	0.02	3.2

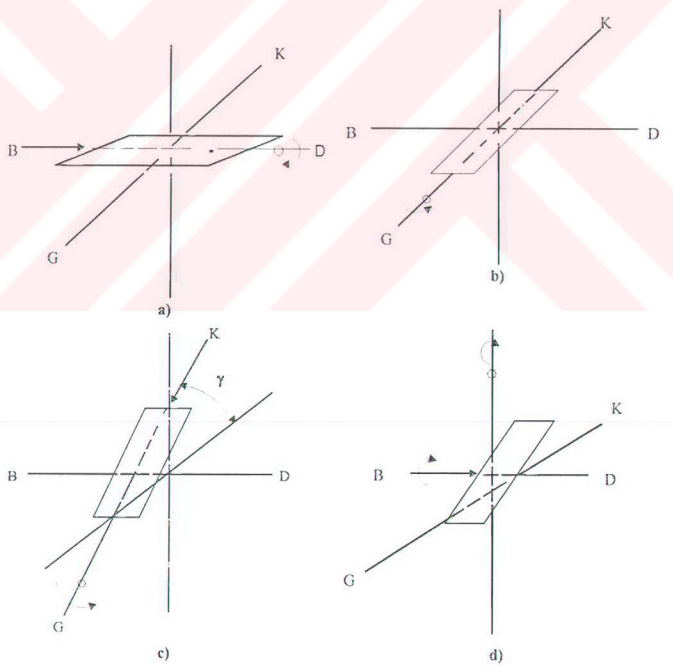
4.11. Yoğunlaştırıcıların Yerleştirmelerine Göre Geliş Açıları

Tüm güneş ışınımını üzerinde toplayarak çalışan sabit toplayıcılar, hareketli toplayıcılara göre güneşi takip etmediklerinden daha az enerji toplamaktadırlar. Fakat düşük sıcaklık uygulamalarında daha verimlidirler. Değişik konumlarda yerleştirilen sabit toplayıcılarda güneş geliş açısı (θ) için, yüzey azimut (ψ), toplayıcı eğimi (s), saat açısı (h), enlem açısı(e), deklinasyon açısı(δ), azimut açsısı (θ_{az}) olmak üzere Tablo 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.6. Sabit yüzeyli toplayıcıların güneş geliş açısı faktörleri [31, 32]

Güney Yönü	Yüzey Eğimi	Geliş Açısı Faktörü(Cosθ)	Açıklama
ψ=0	s=e	Cos θ=cos δ cos h	Kuzey-güney ekseninde, toplayıcı yüzeyi enlem açısına eşit
ψ=0	s≠e	Cos θ=cos (e-s) cos δ cos h+sin (e-s) sin s	Kuzey-güney ekseninde, toplayıcı yüzeyi enlem açısına eşit değil
ψ≠0	s≠e	Cos θ= sin δ cos e sin s- sin δ cos e sin s cos ψ + cos δ cos e cos s cos h+ cos δ sin e sin s cos ψ cos h+ cos δ sin s sin ψ sin h	Kuzey-güney eksenine ve enleme bağlı değil

Güneş hareketini izleyen toplayıcılar, genellikle ya iki eksenli veya tek eksenli olarak güneşi takip etmektedirler. Güneşi takip sistemlerinin asıl amacı maksimum oranda güneş ışınımının yüzey üzerinde toplanmasını sağlamaktır. Üç boyutlu uygulamalarda iki eksenli izleme, iki boyutlu silindirik yüzeyler için tek eksende sistemi döndürme tipi tercih edilmektedir. En basit güneşi izleme özelliğinde toplayıcı, yatay düzlemde kuzey-güney veya doğu-batı eksenlerinde yerleştirilerek güneşi izlemesi sağlanabilir (Şekil 4.7.a ve b). Polar sistem olarak adlandırılan sistemde bölgenin enlem açısında ve kuzey-güney ekseninde yerleştirilmektedir (Şekil 4.7.c). İki eksenli olarak tanımlanan sistemde ise daha fazla güneş ışınımı elde etmek için sistem doğu-batı ve kuzey-güney eksenlerinde hareket edilerek güneş sürekli takip etmektedir (Şekil 4.7.d). Güneş ışınımından kayıpsız yararlanılmakla birlikte kontrollü izleyiciye ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 4.7. Güneş takip şekilleri a) doğu-batı ekseninde güneşi izleme, b) kuzey-güney ekseninde izleme, c) polar izleme yöntemi, d) iki eksende güneşi tam izleme

Toplayıcı yüzeyin yerleştirme şekline ve hareketine bağlı olarak güneş ışınlarının geliş açıları da değişmektedir. Farklı yerleştirme ve döndürme şekillerine göre geliş açılarının bulunuşu aşağıda sıralanmıştır [32].

- Tek eksenli doğu-batı yönünde dönen bir yüzey için öğle üzeri yüzey üzerine gelen geliş açısı

$$\text{Cos } \theta = \sin^2 \delta \cos^2 \delta \sin^2 h \qquad (4.16.1a)$$

Bu yüzeyin eğimi sürekli sabit kalırsa yüzey eğimi için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$s = |e - \delta| \qquad (4.16.1b)$$

Bir gün için yüzey azimut açısı, deklinasyon ve enlemlere bağlı olarak 0° ile 180° olabilir.

$$\text{eğer} (e - \delta) \rangle 0 \rightarrow \psi = 0 \qquad (4.16.1c)$$

$$\text{eğer } (e - \delta) \langle 0 \rightarrow \psi = 180^0 .$$

- Yatay olarak doğu -batı ekseninde dönen bir yüzey için geliş açısı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Cos } \theta = (1 - \cos^2 \delta \sin^2 s)^{1/2} \qquad (4.16.2a)$$

Bir yüzeyin eğimi aşağıdaki gibi verilmiş olsun

$$\tan s = \tan z \left| \cos \theta_{az} \right| \qquad (4.16.2b)$$

Güneş azimut açısı ±90° arasında ise bu dönüş modu için yüzey azimut açısı, 0° ile 180° değişebilir. Her iki yarım küre için

$$\text{eğer} \left| \theta_{az} \right| \rangle 90 \rightarrow \psi = 180^0 \qquad (4.16.2c)$$

$$\text{eğer} \left| \theta_{az} \right| \rangle 90 \rightarrow \psi = 180^0$$

- Yatay konumda fakat kuzey-güney ekseninde sürekli dönen bir yüzey için geliş açısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Cos } \theta = (\cos^2 z \cos^2 \delta \sin^2 s)^{1/2} \qquad (4.16.3a)$$

Bir yüzeyin eğimi

$$\tan s = \tan z \left|\cos(\psi - \theta_{az})\right| \qquad (4.16.3b)$$

Yüzey azimut açısı ψ güneş azimut açısının işaretine bağlı olarak +90° ile -90° olabilecektir.

$$\text{eğer } \theta_{az} \rangle 0 \rightarrow \psi = 90^0 \qquad (4.16.3c)$$

$$\text{eğer } \theta_{az} \langle 0 \rightarrow \psi = -90^0$$

- Dikey bir eksen etrafında, sabit bir eğimde dönen bir yüzeyde, güneş ışınlarının geliş açısı minimum seviyeye indiğinde yüzey azimut açısı ile güneş azimut açısı eşit olur (veya güneş azimut açsısı ile yüzey azimut açısı eşit olduğunda geliş açısı minimum seviyeye iner). Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\text{Cos } \theta = \cos z \cos s + \cos z \sin s \cos(\theta_{az} - \psi) \qquad (4.16.4)$$

Bu denklemden

$$\text{Cos } \theta = \cos z \cos s + \cos z \sin s \qquad (4.16.5a)$$

bulunur.

Eğim sabit ise

s=mutlak (4.16.5b)

o zaman yüzey azimut açısı güneş azimut açısına eşit olur.

$\psi=\theta_{az}$ (4.16.5c)

- Bölgenin enlem açısında yani dünyanın eksenine paralel ve kuzey-güney ekseninde sürekli dönen bir yüzey için geliş açısı

$\cos\theta=\cos\delta$ (4.16.6a)

dir. Eğim şayet sürekli değişiyorsa ve aşağıdaki gibi ise

$$\tan s=\frac{\tan e}{\cos\psi} \quad (4.16.6b)$$

yüzey azimut açısı

$$\psi=\tan^{-1}\frac{\sin z\sin\theta_{az}}{\cos\theta'\sin\phi}+180C_1C_2 \quad (4.16.6c)$$

olur. Burada;

$\cos\theta'=\cos z\cos e+\sin z\sin e$ (4.16.6d)

$$C_1=0\rightarrow eger\left\{\tan^{-1}\frac{\sin z\sin\theta_{az}}{\cos\theta'\sin e}\right\}+\theta_{az}=0, \quad C_1=1 \text{ ise tersi} \quad (4.16.6e)$$

$$C_2=1\rightarrow eger\,\theta_{az}\geq 0, C_2=-1\rightarrow eger\,\theta_{az}\langle 0 \quad (4.16.6f)$$

- İki eksen etrafında sürekli dönen böyle bir düzlem için minimize eden geliş açısı için

$\text{Cos}\theta=1$ (4.16.7a)

bağıntısı geçerlidir. Yukarıda hareketli yüzeyler için toplayıcının yerleştirme şekline göre geliş açıları bulunan eşitlikler aşağıdaki Tablo 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7. Hareketli yüzeyli toplayıcılarda güneş geliş açısı faktörleri [32]

Eksen ve izleme durumları	Geliş Açısı Faktörü (Cosθ)
İki eksende güneşi izleme (sistem kuzey-güney ve doğu-batı yönünde hareket etmekte).	1
Polar eksende güneşi izleme (sistem kuzey-güney ekseninde, enlem açısı eğiminde).	$\cos\theta = \cos\delta$
Kuzey-güney eksende izleme (sistem yatayda, kuzey-güney ekseninde güneşi takip etmekte)	$\cos\theta = (\cos^2 z \cos^2\delta \sin^2 h)^{1/2}$
Doğu-batı eksende izleme (sistem yatay konumda, doğu-batı ekseninde güneşi izliyor)	$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \sin^2 h)^{1/2}$

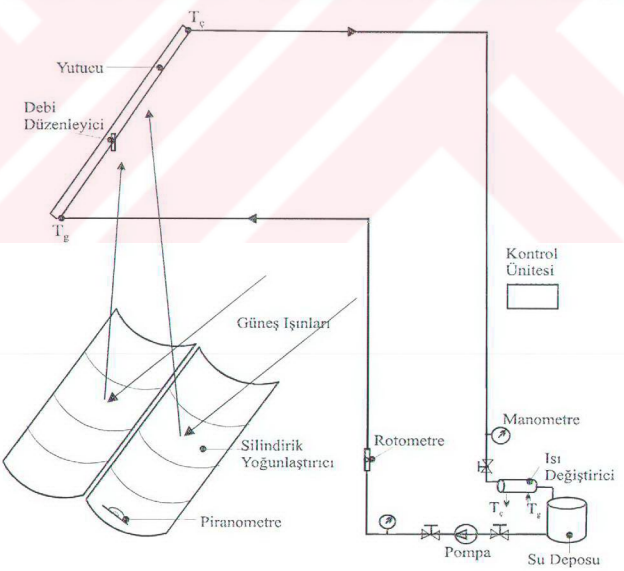
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMANIN TANITIMI

5.1. Giriş

Silindirik yüzeyli bir yoğunlaştırıcı ve düz yüzeyli bir yutucuya sahip olan deney seti Türkiye Elektrik Kurumuna (TEK) ait Denizli-Kızıldere'deki jeotermal tesislerinde kuruldu. Deney setinin kurulması çeşitli teknik zorluklar ve maddi imkansızlıklar sebebiyle iki yıldan daha fazla zaman almıştır.

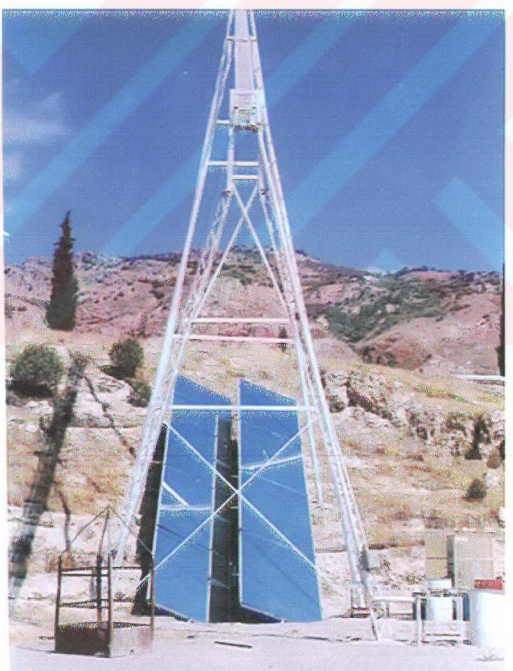
5.2. Deney Seti ve Çalıştırılması

Güneşi tek eksenli otomatik olarak izleyebilen bu sistem, bölgenin enlemiyle aynı



Şekil 5.1. Sabit odaklı silindirik yoğunlaştırıcının şematik görünüşü

açıda-yer düzlemiyle 37° eğimde-kuzey-güney ekseninde güneşi doğu-batı yönünde takip etmektedir. Bu sistem polar izleyici sistem olarak bilinir. İki eksenli güneşi izleme yönteminden sonra, diğer izleme yöntemleri içinde güneş enerjisinden yıl içinde en fazla ışınım alabilen bu sistem olduğu için tercih edilmiştir. Sistem Şekil 5.1 ve 5.2'de görüldüğü gibi flotal aynalardan meydana gelen silindirik yansıtıcı yüzey ve düz bir yutucudan oluşmaktadır. Yansıtıcı aynalardan yansıyan ışınlar 12 m yukarıda yerleştirilen yutucuda odaklanmaktadır. Yan yana yerleştirilen 20 adet 8 mm çaplı glavizlenmiş bakır borulardan oluşan yutucu, aynalardan yansıyan ışınları yutmaktadır. Yutucuda toplanan bu enerji ile sıcak su veya buhar elde edilmektedir. Sistemde kullanılan ısı değiştirici ile buhar yoğuşturulduktan sonra bir pompa ile tekrar yutucuya verilmektedir.



Şekil 5.2. Deney seti (Kızıldere/DENİZLİ)

Güneş ışınlarının odaklanması için sistemin sürekli güneşi takip etmesi gerekir. Sistem durdurulduğunda güneş ışınları başka yönde yansıdığından yutucuda odaklanma oluşmaz. Silindirik yansıtıcılı olarak benzer çalışmalar yapılmış olmakla beraber yutucusu sabit ve iki silindirik yansıtıcı yüzeyin odağının aynı olması bakımından orijinal bir çalışmadır (Şekil 5.2).

5.3. Deneysel Yöntem

Yutucusu sabit, yansıtıcısı hareketli silindirik yoğunlaştırıcı için farklı basınç ve sıcaklıklarda, değişken ve sabit debilerde deneyler yapılmıştır. Başlangıçta buhar üretimi için sistemi sürekli kontrol altında tutarak elle debi ayarı yapılmak zorunda kalınmıştır. Suyun gelen ışınımın şiddetine bağlı olarak sistemin buharlaştırabileceği debide suyun pompa ile gönderilmesi için fotosel özellikli bir debi düzenleyici yerleştirilmiştir (Şekil 5.6). Bu debi düzenleyiciyle, suyun belli aralıklarla otomatik olarak sisteme pompalanabilmesi sağlandı. Deney setinde sabit debide sıcak su ve kızgın su deneyleri yapıldı. Ölçümler her on beş dakika aralıklarda yapılmıştır (Tablo Ek2.1 ve Ek2.2). Günlük dataları alabilmek için otomatik olarak güneşi izleyen deney setinin, sürekli çalışır durumdaki değerleri alınmıştır. Deneylerin günlük ölçümü, ileri saat uygulamasına göre sabah saat 9:00'dan akşam 17:00'e kadar aralıksız çalıştırılmasıyla yapılmıştır.

Piranometre toplam ışınımı ölçtüğünden, direkt ve yayılı ışınımı birlikte ölçer. Başlangıçta bir adet piranometre kullanıldığı için, direkt ışınım Bölüm 3'te verilen eşitliklerden yararlanarak hesapla bulundu. Daha sonra yapılan deneylerde ise iki adet piranometre kullanılarak direkt ışınım bulundu. Piranometrelerden birisi tüm ışınım ölçmede, diğeri ise -direkt ışınımları engelleyici bir bant oluşturularak- yayılı ışınımı ölçmesi sağlandı. Her iki piranometre hareketli aynaların üzerine konulduğu için, ayna üzerine gelen direkt enerji miktarı, her iki piranometrenin farkı alınarak bulundu. Yutucuya giriş sıcaklığı, yutucu girişine konulan hassas termometre ile ölçüldü. Çıkış sıcaklıkları, yutucu çıkışına konulan termoeleman ve ısı değiştiricisinin önüne konulan hassas termometre ile yapılmıştır. Yutucuya giriş sıcaklığı ve ortam sıcaklıkları da hassas termometre ile yapılmıştır (Tablo Ek.2.2). Basınç ölçümleri için pompanın çıkışına, yutucuda çıkış kısmına ve ısı değiştiricinin

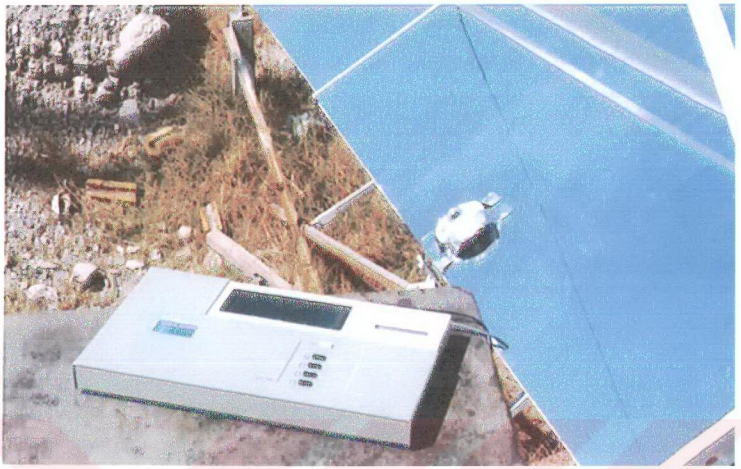
girişine konulan manometrelerle yapıldı. Deneyde en önemli parametrelerden biri de sistemden elde edilen buhar miktarıdır. Buhar miktarı, ısı değiştiriciyle yoğuşturulması sağlandıktan sonra tartılarak ölçülmüştür. Sıcak su ve kızgın su miktarı ise pompa çıkışına monte edilen debi ölçerden okundu. Deney esnasında rüzgar hızı ve ışınıma olumsuz yönde etki ettiği için havadaki nem oranı ölçümleri yapılmıştır.

5.4. Deneyde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deneyde ölçüm cihazları olarak ışınım ölçer (piranometre), nem ölçer, manometre, sıcaklık ölçerler, debi ölçer (rotometre) ve rüzgar ölçerler kullanılmıştır. Bunların özellikleri aşağıda verilmiştir.

5.4.1. Işınım ölçer

Güneşten gelen ışınımlar direkt, yansıyan ve yayılı olarak sınıflandırılır. Işınım ölçerler ısıl veya ışık duyarlı olarak imal edilirler. Işınımın toplandığı kısımda biri siyah diğeri beyaz yüzeyler bulunmaktadır. İki yüzey arasındaki sıcaklık farkına göre ölçüm yapmaktadırlar. Gelen ışınım şekline göre imal edilmiş ışınım ölçerler de vardır. Bunlardan biri pirheliometre (pyrheliometer), güneşten gelen direkt ışınımları ölçmede kullanılmaktadır. Güneşi izleme sistemiyle birlikte çalışır. Yoğunlaştırıcılar, güneşten gelen direkt ışınımı kullandıkları için deneyde bu cihazın kullanılması daha doğru sonuç verir. Diğer ışınım ölçer piranometre (pyranometer) ise tüm güneş ışınımını ölçmede kullanılır. Bu deneyde Kipp-zonen firmasının imal ettiği (cm11) marka piranometre kullanıldı. Bu cihaz 0.3 ile 2.8 μm dalga boyları arasında güneşten gelen ışınımları ölçebilmektedir. Solarimetre (piranometre), aynaların üzerine monte edilerek deneyler yapılmıştır. Bu şekilde ayna yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı ölçüldü. Güneşten gelen ışınlar datalogger tarafından anlık, saatlik ve gün boyu değerlerin toplamları kaydedilmektedir (Şekil 5.3). Direkt ışınım için ikinci bir piranometre temin edilerek üzerine direkt ışınımlar gelmeyecek tarzda bir band yapıldı. Güneşten gelen tüm ışınımları ölçen piranometreden yayılı ışınımı ölçen piranometredeki değerler çıkarılarak anlık direkt ışınım bulundu.



Şekil 5.3. Aynanın üzerine konulan piranometre (solarimetre) ve datalogger

5.4.2. Nem ölçer

Havadaki bağıl nem oranı güneş ışınlarının etkinliğine olumsuz yönde etki eder. Bulutlu veya yağışlı ortamda havadaki nem oranı artmaktadır. Güneş enerjisiyle buhar üretiminde bölgenin nem oranının yüksek olması istenmeyen bir özelliktir. Deney seti yakınında bulunan Jeotermal tesislerinin kuyularından çıkan çürük buhar da ortamın nemini artırmaktadır. Deney esnasında nem oranı bir nem ölçer ile ölçülmüştür. Bağıl nem her deneyde değişik oranlarda olmasına rağmen genellikle sabah saatlerinde yüksek (%60), öğle saatlerinde düşük (%30) olduğu tespit edildi.

5.4.3 Manometre

Sistemin basıncı ısı değiştiricisinin ön kısmına konulan manometre ile ölçülmüştür. Sistemde buhar sıcaklığı yükseldiğinde buna bağlı olarak basınç da yükselir. Sistemin debisini artırıp azaltmak suretiyle sıcaklık ayarı yapılabilir. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık istenildiğinde düşük debide su pompalanması gerekir. Benzer şekilde düşük debi ve düşük sıcaklık uygulamaları için yüksek debide suyun

pompalanması gerekmektedir. Deney esnasında buharın basınç düşüşü ve yükselmeleri ısı değiştiriciden önce konulan boşaltma vanası ile basınç ayarlanabilmektedir (Şekil 5.4). Atmosfer basıncında ve 1 ile 4 bar basınçlarda deneyler yapılmıştır. Sistemde kullanılan yutucu boruların dayanma basıncı 6 bar'dır. Daha yüksek basınçlarda çalışıldığında kaynak yerlerinden patlamalara neden olabilmekte ve kullanılan boruları tahrip edebilmektedir.



Şekil 5.4. Yüksek basınçlarda buharı boşaltma vanası ve manometre

5.4.4. Sıcaklık ölçerler

Sistem üzerinde yutucunun buhar çıkışı ve suyun yutucuya giriş kısmındaki sıcaklık ölçümü için Fe-Co termoeleman kullanıldı. Uçlarından biri sıcaklık okunacak noktaya diğer ucu dijital ölçüm cihazına bağlanmıştır. Elimko firmasına ait olan bu cihaz vasıtasıyla sıcaklık değerleri okunabilmektedir (Şekil 5.5). Ortamın sıcaklığı, depodaki suyun sıcaklığı, ısı değiştiricisinin soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıları ve buharın çıkış sıcaklıları da hassas termometreler ile ölçülmüştür.



Şekil 5.5. Yutucudaki sıcaklıkların ölçümü için kullanılan cihaz

5.4.5. Debi ölçer (rotometre)

Rotometre ile bir akışkanın veya gazın ölçekli cam bir tüp içersinde geçtiğinde debisi belirlenebilmektedir. Deney setinde dolaştırılan akışkanın debisini bulmak için debi ölçer (rotometre) monte edilmiştir. Sıcak su için sabit debilerde deneyler yapılmıştır. Ancak buhar için sabit debide deney yapmada çok düşük debiye ihtiyaç duyulduğundan (3-5 gr/sn) rotometre kullanılamadı. Sabit debi yerine değişken debide çalışılarak buharın ısı değiştiriciyle yoğuşturulması sağlanmış ve tartılarak ölçülmüştür.

5.4.6. Rüzgar ölçer

Yutucuda taşınım yoluyla ısı kaybı rüzgarın etkisiyle artmaktadır. Ortamdaki rüzgarın hızını ölçmek için anonometre kullanıldı. Deney esnasında rüzgar hızı maksimum 5 m/sn, minimum 1 m/sn civarında oldu.

5.5. Deneyde Kullanılan Donanımlar

Deney setinde uygulamanın sürekli olabilmesi için yardımcı donanıma ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar; su deposu, fotosel özellikli debi ayarlayıcısı, ısı değiştiricisi, pompa ve güneş takip sistemidir. Bu donanımların kullanım amacı ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

5.5.1. Su deposu

Yutucuda kullanılan borularda dolaştırılan sudan dolayı korozyona uğramaması için Jeotermal tesislerinde yoğuşma suyu kullanıldı. Güneş enerjisiyle yutucularda buharlaşan su, ısı değiştiricisinde yoğuşturulduktan sonra su deposuna verilmektedir. Daha sonra pompayla tekrar sisteme verilmektedir. Sabah saatlerinde depodaki suyun sıcaklığı ortam sıcaklığıyla aynı sıcaklıkta iken, sistem çalıştırıldığında yoğuşturulan suyun sıcaklığıyla su sıcaklığı yükselir.

5.5.2. Debi düzenleyicisi

Sistemde dolaştırılan su, güneş ışınım etkisiyle buharlaştırılmaktadır. Güneş ışınımı öğle saatlerinde daha fazla etkinlikte gelirken, sabah ve akşam saatlerinde veya bulutlu ortamda daha az etkinlikte gelmektedir. Halbuki suyun istenilen sıcaklıkta buharlaşması istenildiğinden güneş ışınımı etkinliğiyle orantılı bir debide suyun yutucuya verilmesi gerekir. Işınım miktarına göre suyun sisteme verilmesi için Şekil 5.6'da görüldüğü gibi fotoselli bir düzenek yapılmıştır. Yutucudaki su seviyesi düştüğünde elektronik devreye komut verilerek belirli debide suyun pompayla basılması sağlanmaktadır. Su gereğinden fazla yutucuya pompalandığında göstergedeki su seviyesi yükselerek devreyi kapamakta ve suyun pompalanmasını durdurmaktadır. Fotoselli debi ayarlayıcı cihaz sistemden buhar üretildiğinde kullanılmaktadır.



Şekil 5.6. Yutucuya suyun istenilen debide gitmesini sağlayan aparat

5.5.3. Isı değiştiricisi

Deney seti için özel olarak imal edilen ¼ inç çaptaki bakır boru ile değiştiricinin içerisinde 7-8 sarım yapılmıştır. Isı değiştiricisi et kalınlığı 1.5 mm paslanmaz saçtan imal edilmiş olup,uzunluğu 41 cm ve çapı 11.5 cm'dir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Isı değiştiricisi ve sıcaklık göstergesi

Sistemde buhar miktarını direkt ölçen bir cihaz olmadığından buhar, ısı değiştiricisinde yoğuşturma olduktan sonra ölçümü yapılmıştır. Elde edilen bu su, her deney aralığında diğer ölçümlerle birlikte tartıldı. Güneş enerjisinin etkin olduğu saatlerde daha fazla debide buhar elde edilebilmektedir. Buhar çıkış sıcaklığı yükseldiğinde sıcaklığını düşürmek için ısı değiştiricisi soğutma suyu debisinin artırılması gerekir. Değişik buhar debileri için 8 ile 12 kg/dak debide soğutma suyu kullanılmıştır.

5.5.4. Pompa

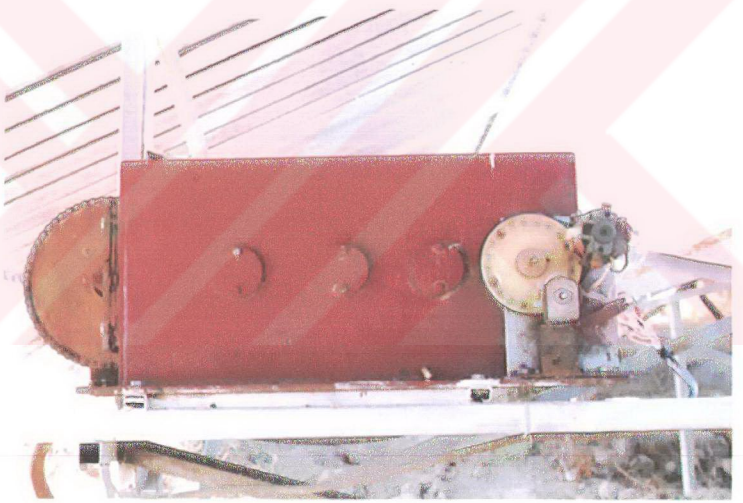
Sistemdeki akışkanın sürekli olarak dolaşması için 0.6 kW gücünde pompa kullanıldı. Pompa by-pass devresi ile sisteme bağlanmış olup gerektiğinde pompa çıkışındaki vana yardımıyla debi ayarı yapılabilir (Şekil 5.8). Debi düzenleyicinin kontrol ayarından sonra otomatik olarak belirli aralıklarla istenilen debide pompa suyu basabilir.



Şekil 5.8. Basınç göstergesi ve elle debi düzeltme vanası takılı pompa

5.5.5. Güneş takip sistemi

Mekanik hareketli olarak imal edilen güneş takip sistemi 60 W'lık güçle çalışmaktadır. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi içindeki dişli gurubuyla güneşi sürekli takip etmesi sağlanmaktadır. Yansıtıcı sağ ve sol aynalar tek başına hareket edebilme özelliğindedir. Aynaların altına monte edilen güneşi takip sistemi de tek eksenli izleme özelliğine sahiptir. Kontrol ünitesindeki kumanda sayesinde yansımanın tam odaklanmadığı durumlarda el ile ayarlama yapılabilir. Aynalar, bir günlük deney sonunda güneş batış yönüne yönelirler. Sabahleyin yeni bir deneye başlandığında tekrar güneşi izleyebilmesi için güneş ışınların yutuculara odaklaması sağlanarak başlatmak gerekmektedir.



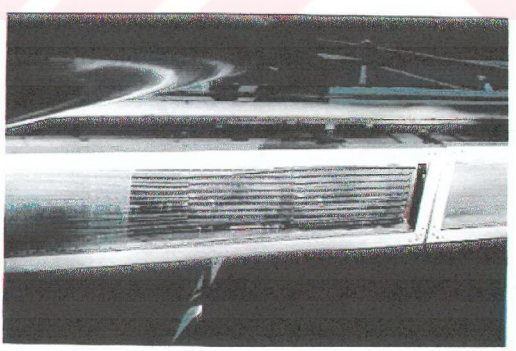
Şekil 5.9. Güneş takip sistemi dişli kutusu

5.6. Deney Setindeki Yutucu, Aynalar ve Kasaları

Deney setinde kullanılan yutucu ve aynalar, profilden yapılmış kasaların içine yerleştirilmiştir. Yutucu, ayna ve kasaların konsrüksiyonları aşağıda verilmiştir.

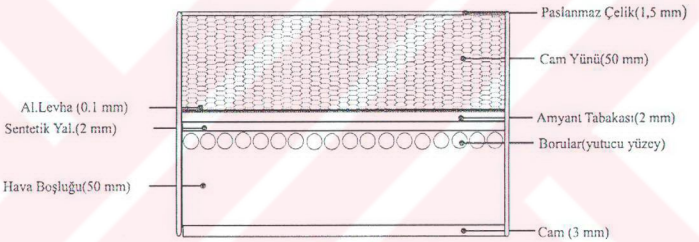
5.6.1. Yutucu

Yutucu yüzey, dış yüzeyi cam ile örtülü 5 parçadan oluşan çelik kutu içine yerleştirilmiş 20 adet 8 mm çaplı bakır borulardan yapılmıştır (Şekil 5.10). Yutucunun toplam alanı 2.8 m^2 dir. Çelik kutu içindeki boruların kaynakla bağlantıları sağlanmıştır. Silindirik yansıtıcı aynalar ile yutucu odak noktası uzaklığı 12 m dir .Yutucu yansıtıcı aynaların üzerinde sabit olarak monte edilmiştir. Güneş ışınları kışın yer düzlemine daha küçük bir açıda, yazın yer düzlemine daha büyük açıyla gelmektedir. Gelen ışınlar geliş açısı kadar bir açı yaparak yansır. Bu durumda gelen ışınların bir miktarı yutucunun boyunu aşarak dışarıya taşarken, diğer uçta ışınımın yansımadığı bölge olur. Sistemin bu sorunun çözümü için yutucunun altına rulmanlar monte edilmiştir. Mevsime göre istenilen miktarda yutucu ileriye ve geriye alınarak ayarlama yapılabilmektedir. Ayarlamanın sıklığını azalmak için de yutucunun her iki ucu silindirik aynaların boyundan 1 m daha uzun (14 m boyunda) imal edilmiştir.



Şekil 5.10. Yutucu kasalarındaki boruların görünüşü

Yutucu yüzeyin iletim, taşınım ve ışıma ile ısı kayıplarını önlemek için cam yünü, alüminyum levha, amyant tabakası, sentetik yalıtım ve hava boşluğu bırakılarak kayıplar azaltılmıştır. Akışkanın dolaştığı boruların sıcaklığı, toplayıcıların boş kalması durumunda çok yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Bu sebepten kullanılacak olan yalıtım malzemesinin yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması gerekmektedir. Isı iletim katsayıları düşük ve soğuk yalıtım malzemesi olarak bilinen poliüretan kökenli yalıtım malzemeleri tek başına kullanılmamıştır. Yutucuya bakan tarafı yüksek sıcaklıklara dayanıklı yalıtım malzemesi ile takviye edilmiştir (Şekil 5.11). Yutucudaki boruların paslanmasını önlemek amacıyla oksitlenme özelliği az olan yumuşatılmış su kullanılmaktadır. Bu su Jeotermal tesislerindeki kullanılan türbinlerin yoğuşma suyudur.



Şekil 5.11. Yutucunun kesit görünüşü

5.6.2. Aynalar

Deney düzeneğinde iki ayrı eksen üzerine monte edilen 8 adet flotal ayna (kalınlık 3 mm) bulunmaktadır. Her bir eksende uzunluğu 3.20 m, eni 2.11 m ebatlarında 4 adet ayna yerleştirilmiştir. Aynaların toplam alanı 54 m^2 dir. Bu iki eksen üzerine yerleştirilen aynalar, sağ ve sol ayna olarak isimlendirilerek, her biri kendi başına güneşi izleyebilecek şekilde yerleştirildi. Şekil 2 görüldüğü gibi yansıtıcı aynanın kesit görünümü doğrusala yakındır. Bunun nedeni odak uzaklığının doğrusal yarı açıklığa oranının büyük olmasındandır. Bu da deney setinin paraksiyal olduğunu gösterir. Paraksiyal alanda da silindirik bir yüzey parabolik kabul edilebilir [37]. Yoğunlaştırma işlemi uygulamalarında ışınların tam odaklanması için parabolik

geometri tercih edilmektedir. Sistemin büyük olması sebebiyle imalatının parabolik yüzeye göre daha kolay olmasından dolayı silindirik yüzey tercih edilmiştir.

Aynaların yüzeyi bölgedeki nemin etkisiyle tozları üzerinde toplayarak kirlenmektedir. Yüzeydeki bu kirlilik gelen ışınların yutucuya iyi yansıtmasına olumsuz yönde etki eder. Her gün yıkanması en ideal olanıdır. Daha fazla enerji için böyle bir sistemin haftada bir temizleyicilerle yıkanması gerekir. Aksi halde verimde düşüş olur.

5.6.3. Aynaların kasaları

Sistemdeki aynaların yerleştirilmesi için 8 adet 2.3 m eninde 3.4 m ebatlarında silindirik çelik profilden kasa imal edilmiştir. Aynalardan silindirik yüzey elde edilmesi için kaburga görevini gören saçlara eğim verildi. 24 m çapındaki bir dairenin yarıçapı 12 m olduğundan imalat için özel donanım kuruldu. Aynaların üzerinde oturduğu kaburgalar Şekil 5.12 de görüldüğü gibi 12 m yarıçapındaki bir yay parçasına aittir. Bu yay parçasının imalatı ve bu kaburgaları bir kasa içinde kaynak edilmesi hassas işçilik gerektirir. Çünkü bu eğimin imalatındaki hatalar odaklamanın tam oluşmamasına neden olur. Çelik kasaların üzerine oturtulan aynalarla silindirik bir yüzey elde edilmiştir.



Şekil 5.12. Aynaların üzerine konulduğu silindirik eğim verilmiş profiller

BÖLÜM 6. SİLİNDİRİK TOPLAYICININ TEORİK HESAPLAMALARI

6.1. Giriş

Bu bölümde silindirik yansıtıcı ve düz yutuculu olan toplayıcının ısıl kayıpları, ısıl verimi, ısıl gücü ve yutucu ebatlarının teorik hesaplamaları yapılmıştır. Yutucu düz bir toplayıcı gibi kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Silindirik yüzeyli yansıtıcı ayna ise paraksiyal bir özelliğe sahip olduğu için parabolik bir yüzey olarak kabul edilmiştir.

6.2. Silindirik Toplayıcının Isıl Analizi

Yoğunlaştırıcıdan yutucuya ulaşan ışınım miktarının bir kısmı kayıplar nedeniyle düşük sıcaklıktaki ortama atılırken diğer kısmı akışkan tarafından yutularak faydalı enerji haline dönüşmektedir. Enerji kaybını önlemek için yutucunun yalıtılmasına rağmen bunu tamamen önlemek mümkün değildir. Yutucudaki kayıplar cam örtüden ve yalıtımdan çevreye doğru iletim, taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşmektedir. Buhar üreten yoğunlaştırıcılarda genellikle yutuculardan dış ortama olan kayıpları önlemek amacıyla bir cam zarf içinde yerleştirilmektedir. Bu deney setinde kullanılan yutucu örtü malzemesi düz yutuculu olup dış ortamdan korunması için düz bir cam ve yutucunun üst kısmına 50 cm kalınlığında ısı yalıtımı kullanılmıştır. Yutucu şekli ters çevrildiğinde bir düz toplayıcıya benzemektedir. Dolayısıyla düz toplayıcılar için yapılan hesaplama yöntemi burada da kullanılabilir. Düz toplayıcılarda kazanılan faydalı enerjinin bulunması için en çok kullanılan Hottel-Whiller-Bliss eşitliği yoğunlaştıran kolektörler için de kullanılırsa [32];

$$Q_u = A_a F_R \left[I_\gamma - \frac{A_r}{A_a} U_T (T_g - T_{çev}) \right] \tag{6.1}$$

Burada faydalı enerji (Q_u), açıklık alanı (A_a), yutucu alanı (A_y), ısı kazanç faktörü (F_R), her birim yutucu alanına düşen ışınım şiddeti (I_Y), yutucudan ortama atılan toplam ısı geçiş katsayısı (U_T), akışkan giriş sıcaklığı (T_g), ortam sıcaklığını ($T_{çev}$) göstermektedir. Yutucu alanına düşen ışınım şiddeti ise

$$I_\gamma = \tau\rho\gamma\alpha I_d \tag{6.2}$$

Burada I_d her bir birim açıklık alanı üzerine düşen direkt ışınım miktarı, γ kapma (intercept) faktörü, τ saydam örtünün geçirgenlik katsayısı, α yutucu malzemenin yutma oranı, ρ yansıtıcı malzemenin yansıtma oranını göstermektedir. Yutucuda suya geçen ısıl enerji için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir.

Yukarıda verilen 6.1 eşitliğinde 6.2 eşitliği konulduğunda

$$Q_u = F_R A_a I_d (\tau\alpha)\gamma\rho - F_R U_T A_y (T_g - T_{çev}) \tag{6.3}$$

bulunur. Eşitlikteki toplayıcı ısı kazanç faktörü (F_R) toplayıcının ısı transfer kapasitesini gösterir. Toplayıcının faydalı ısıl enerjisi, açıklık alanı direkt ışınıma bölündüğünde yoğunlaştırıcı toplayıcılarda kullanılan genel verim ifadesi bulunur.

$$\eta_0 = \frac{Q_u}{A_a I_d} = F_R(\tau\alpha)\gamma\rho - F_R U_T \frac{A_y}{A_a}\frac{(T_g - T_{çev})}{I_d} \tag{6.4}$$

Ayrıca aşağıda verilen eşitlikten ısıl güç bulunabilir.

$$Q_u = mc_p(T_ç - T_g) \tag{6.5}$$

Direkt ışınıma göre verim, suya geçen ısı miktarının yansıtıcı yüzeyine gelen direkt güneş enerjisine oranı olarak tanımlanarak,

$$\eta = \frac{mc_p(T_ç - T_g)}{I_d A_a} \tag{6.6}$$

bulunur. Burada aynaların toplam alanı (A_a), çıkış sıcaklığı($T_ç$) ve I_d ise yansıtıcı aynaların üzerine gelen direkt ışınımı göstermektedir. Buhar ile yapılan çalışmalarda suyun giriş ve buharın çıkış entalpileri tablolardan [39]. alınarak aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\eta = \frac{m(h_ç - h_g)}{I_d A_a} \tag{6.7}$$

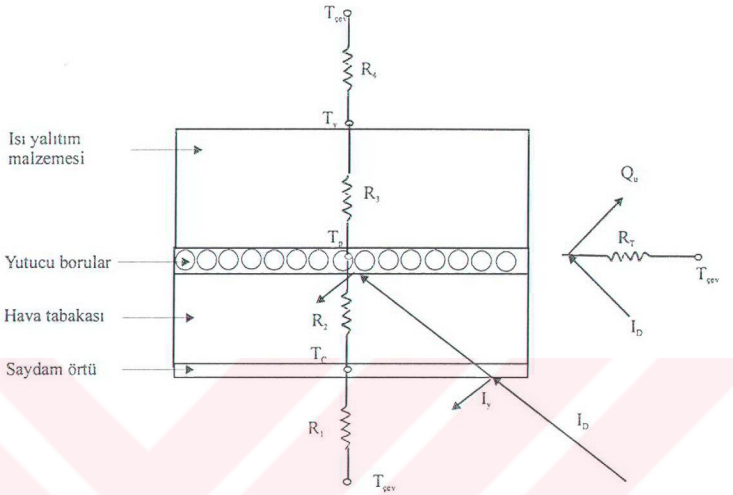
6.3 Yutucunun Isı Geçiş Katsayısı

Güneş toplayıcılarının dizaynında toplam ısı geçiş katsayısı (U_T), toplayıcının şekline bağlı olarak iletim, taşınım ve ışınım yoluyla ısı kayıplarının hesaplanmasıyla bulunur. Yutucu düz bir toplayıcı gibi düşünülerek elektrik direnç benzetişim kurallarına göre enerji kayıplarının analizi için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabuller aşağıda sıralanmıştır;

- Toplayıcı üzerine gelen güneş ışınımı üniform ve sabittir.
- Toplayıcı performansı sabit durum şartlarındadır.
- Yutucunun üst tablasının ve cam örtünün sıcaklığı üniformdur.
- Enerji kayıpları alta ve üste ve yan yüzeylere doğru tek boyutludur.
- Toplayıcının etrafındaki çevre sıcaklığı aynı kabul edilmiştir.

Şekil 6.1 teki yutucu düz bir toplayıcıya benzemesi sebebiyle düz toplayıcılarda uygulanan yöntem şekli bu yutucuda da geçerlidir. Yutucu boruların ısı transfer kayıplarını azaltmak amacıyla diğer toplayıcılarda olduğu gibi bu yutucuda düz cam

kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Elektrik benzetişim yöntemine göre yutucudaki ısıl dirençler

Birbirine benzeyen denklemlerin özelikleri ve sınır şartları birbirine benziyorsa bu tür denklemlerin çözümleri de benzetilerek çözülebilir. Elektrik akımı volt farkından, ısı geçişi ise sıcaklık farkından dolayı meydana geldiğinden, elektrik akımında seri ve paralel bağlamadaki dirençlere benzer şekilde ısı geçişi problemlerinde de ısıl dirençler kullanılabilir. Şekil 6.1'de ısıl dirençleri gösterilen yutucuda toplam ısıl direnç R_T, en alta dış ortam ile cam örtü arasındaki ısıl direnç R_1, cam örtü ile yutucu arasında kalan hava boşluğu ısıl direnci R_2, yalıtım tabakasındaki ısıl direnci R_3 ve yutucunun üst kısmı ile dış ortam arasındaki R_4 ısıl dirençlerin toplamına eşittir. Yutucuda ısıl dirençlere göre enerji denklemi yazılırsa

$$Q_u = \frac{(T_P - T_{çev})}{R_T} = U_T A_y (T_p - T_{çev}) \qquad (6.7)$$

Burada yutucunun yüzey alanı A_y, yutucu plaka sıcaklığı T_p, ortam sıcaklığı $T_{çev}$ ile göstermektedir. Seri bağlı bir devredeki toplam direnç R_T bütün dirençlerin toplamına eşit olacağından $R_T=R_1+R_2+R_3+R_4$ olur. Yutucudaki ısı geçiş katsayısı için

yutucunun alt, üst ve yanlarından olan ısıl kayıplarını bulmak gerekir. Yutucuda yansıtıcı aynadan gelen ışınları yutan alt kısım için ısı geçiş katsayısı yazılırsa,

$$U_{alt} = \frac{1}{R_1 + R_2} \tag{6.8}$$

olur. Burada R_1 direnci için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$R_1 = \frac{1}{h_{t-d} + h_{1-d}} \tag{6.9}$$

Burada h_{t-d} dış havadan dolayı oluşan ısı taşınım katsayısı olup, aşağıda 6.10 eşitliğiyle verilmektedir [31, 32, 33]. Eşitlikteki V (m/sn) rüzgar hızını göstermektedir. Isı taşınım katsayısı birimi ise W/m^2 dir.

$$h_{t-d} = 5.7 + 3.8\ V \tag{6.10}$$

h_{1-d} ise alttaki saydam örtü ile çevre arasındaki ışınımla olan ısı kaybını içine alan eşdeğer ısı taşınım katsayısı [39] olup,

$$h_{1-d} = \varepsilon_c \sigma (T_c + T_{çev})(T_c^2 + T_{çev}^2) \tag{6.11}$$

ile bulunur. Burada cam sıcaklığı T_c, Stefean-Boltzman sabiti σ ve yüzeyin ışınım yayma katsayısı ise ε_c ile gösterilmiştir. Saydam örtü ile yutucu arasındaki ısıl direnç R_2 ,

$$R_2 = \frac{1}{h_{1-p} + h_{k,p-c}} \tag{6.12}$$

şeklinde hesaplanır. Burada saydam örtü ile yutucu plaka (borular) arasında ısı taşınım katsayısı iki paralel yüzey gibi düşünüldüğünden ışınıma eşdeğer ısı taşınım katsayısı [40]

$$h_{1,p} = \frac{\sigma(T_p - T_c)(T_p^2 - T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \tag{6.13}$$

eşitliği ile bulunur. Yutucu yüzey ile saydam örtü eğik bir yüzeydir. Yutucu yüzey ile cam örtü arasındaki taşınım katsayısının bilinmesi gerekir. Eğik bir yüzeyde kullanılması teklif edilen taşınım katsayısı için aşağıdaki bağıntıdan bulunur [31, 32].

$$h_{k,p-c} = \left\{1 + 1{,}44\left[1 - \frac{1708}{Ra\cos s}\right]\left[1 - \frac{(\sin 1{,}8s)^{1{,}6}(1708)}{Ra\cos s}\right] + \left[\left(\frac{Ra\cos s}{5830}\right)^{1{,}3} - 1\right]\right\} \tag{6.14}$$

Burada s yutucunun eğimidir, Ra ise aşağıda eşitliği verilen Rayleigh sayısıdır.

$$Ra = \frac{2gL^3\,\mathrm{Pr}(T_p - T_c)}{\nu^2(T_p + T_c)} \tag{6.15}$$

Yutucunun üst kısmına dış ortamın taşınım yoluyla ısı geçişini azaltmak amacıyla farklı kalınlıklarda yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Üst yalıtım plakası için ısı geçiş katsayısı

$$U_{üst} = \frac{1}{R_4 + R_3} \tag{6.16}$$

yazılabilir. Şekil 5.11'de görüldüğü gibi çeşitli kalınlıklarda olmak üzere sentetik yalıtım, amyant tabakası, alüminyum levha, cam yünü kullanılmış ve dış ortamdan korunması için paslanmaz çelikle kaplanmıştır. Yalıtım malzemeleri için R_3 direnci

$$R_3 = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{l_3}{k_3} + \frac{l_4}{k_4} + \frac{l_5}{k_5} \tag{6.17}$$

ile bulunur. Burada l_1 sentetik yalıtım, l_2 amyant tabakası, l_3 alüminyum levha, l_4 cam yünü ve l_5 paslanmaz çeliğin kalınlıklarını göstermektedir. R_4 direnci için

$$R_4 = \frac{1}{h_{d-d}} \tag{6.18}$$

bağıntısı kullanılabilir. Burada yutucunun üst kısmı ile çevre arasında bir miktar ışınım kaybı vardır. Ancak yutucunun üst kısmı ile çevre arasındaki sıcaklık farkı çok düşük olduğundan ihmal edilebilir.

Yutucunun kenarlarından olan ısı kayıp katsayısı [31, 32, 33]

$$U_k = 0{,}6\left[\frac{A_{y-çevresi}}{A_y}\right] \tag{6.19}$$

eşitliğiyle bulunur. Yukarıda yutucu için bulunan 6.8, 6.16, 6.19 eşitlikleri toplandığında ısı geçiş katsayısı için aşağıdaki bağıntı bulunur.

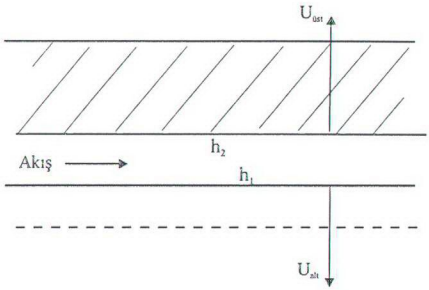
$$U_T = \left[U_{üst} + U_{alt} + U_k\right] \tag{6.20}$$

Yukarıdaki 6.5 eşitliğindeki toplayıcı için ısı kazanç faktörü

$$F_R = \frac{mc_p}{A_y U_T}\left[1 - \exp\left(-\frac{A_y U_T F}{mc_p}\right)\right] \tag{6.21}$$

bağıntısı ile bulunur. Buradaki verim faktörü F, çalışma şartlarından bağımsız olup toplayıcının konstrüksiyonuna bağlı bir faktördür. Bu değer aşağıdaki eşitlikten bulunur [31, 32].

$$F = \frac{1}{1 + \dfrac{U_T}{h_1 + \dfrac{1}{\dfrac{1}{h_2} + \dfrac{1}{hr}}}} \tag{6.22}$$



Şekil 6.2. Bir kanal içinde akış

Şekil 6.2 den $h_1=h_2$ kabul edildi. Cam örtüdeki ışınımdan dolayı olan taşınım için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir [32]. Burada T_{ort} cam ile plakanın ortalama sıcaklığıdır.

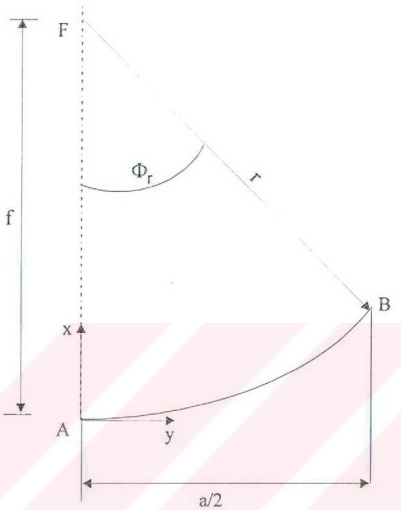
$$h_r = \frac{4\sigma T_{ort.}^3}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \tag{6.23}$$

Re ve suyun ortalama sıcaklığına göre Pr ve diğer fiziksel değerler tablodan alınır. Sıvılarda ve gazlarda Nu sayısı için aşağıdaki eşitlik kullanıldı [41].

$$N_u = 3{,}65 + \frac{0{,}19(\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}\,D_h / L)^{0,8}}{1 + 0{,}117(\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}\,D_h / L)^{0,467}} \tag{6.24}$$

Burada D_h yutucunun hidrolik çapı, L ise uzunluğudur. Nu sayısına göre taşınım katsayısı tespit edildi. Bulunan değerler 6.22 de konularak F bulunur. F' den F_R için kullanılan 6.20 eşitliğinde yerine konulur. Toplam ısı geçiş katsayısı 6.19 eşitliğiyle hesaplandıktan sonra yutucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları ile yutucu ve yansıtıcı alanları bilindiğinde 6.1 eşitliğinde (Q_u) ısıl güç hesaplanabilir.

6.4. Yutucu Boyut ve Odak Uzaklığının Tespiti



Şekil 6.3. Parabolik bir yoğunlaştırıcıda odak uzaklığı ve kenar açısı

Şekil 6.3 de görüldüğü gibi parabolik bir yoğunlaştırıcıda odak uzaklığı f, parabolik yansıtıcının açıklığı a, yarıçap r, AFB arasında kalan kenar açısı ϕ_r yı göstermektedir. Parabol denklemi

$$y^2 = 4fx \tag{6.25}$$

ve kenar açısı (ϕ_r),

$$\phi_r = \arctan g\left[\frac{8(f/a)}{16(f/a)^2 - 1}\right] = \arcsin\left(\frac{a}{2.r}\right) \tag{6.26}$$

ile bulunabilir [32,33]. Kartezyen ve silindirik koordinatlarda bir yansıtıcı yüzeyde (y) ve (r) aşağıdaki denklemlerle bulunabilir.

$$y = f - \frac{x^2}{4f} \tag{6.27}$$

$$r = \frac{2f}{\sin^2 \phi_r}(1 - \cos\phi_r) = \frac{2f}{1 + \cos\phi_r} = \frac{f}{\cos^2(\phi_r / 2)} \tag{6.28}$$

Şekil 6.4 de görüldüğü gibi güneş dünya üzerinden 32` lık açı ile görünmektedir. w güneşin yoğunlaştırıcı üzerindeki görüntüsünü göstermek üzere görüntünün teorik tam odaklanması için aşağıdaki bağıntılardan yararlanılmaktadır.

$$w = 2r \tan 16` = \frac{4f}{1 + \cos\phi_r} \tan 16` \tag{6.29}$$

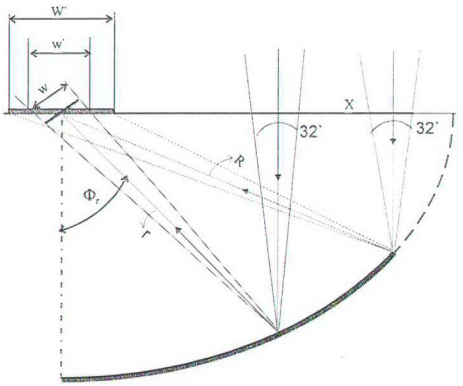
şekildeki optik eksene dik düzlem üzerindeki izdüşüm için

$$w` = \frac{w}{\cos\phi_r} = \frac{4f}{\cos(1 + \cos\phi_r)} \tan 16` = \frac{2r^2}{2f - r} \tan 16` \tag{6.30}$$

r=R alınırsa

$$W` = \frac{4f}{\cos(1 + \cos\phi_r)} \tan 16` = \frac{2R^2}{2f - R} \tan 16` \tag{6.31}$$

bağıntısı bulunur. Burada W' yutucunun genişliğini göstermektedir.



Şekil 6.4. Parabolik bir yansıtıcı için yutucu boyutlarının gösterilişi

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Giriş

Deney setinin performansını ve güneş enerjisinden yararlanma imkanlarını tespit etmek amacıyla deneyler; 2001, 2002, 2003 yıllarının Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında yapılmıştır. Sistemde buhar üretimi değişken debide, sıcak su ise sabit debide yapılmıştır.

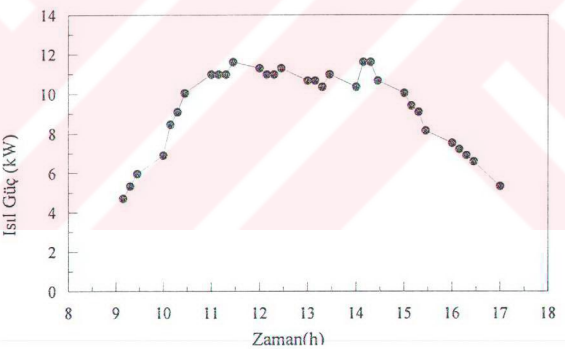
7.2. Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Deney setinde günlük dataları alabilmek için çalışmalar sabah saat 9:00 da başlatılmış olup akşam saat 17:00'de tamamlanmıştır. Deneyde kullanılan saatler ileri saat uygulamasına göredir. Isıl güç, sisteme giren ve çıkan suyun sıcaklıklarına ve kullanılan suyun debisine bağlı olduğundan 6.5 eşitliği kullanılmıştır. Buhar çalışmalarında suyun giriş ve buharın çıkış sıcaklığına göre entalpi değerleri tablolardan alınmıştır [38, 39]. Sistemin ısıl verimi, direkt ışınım şiddetine göre 6.7 eşitliğinden hesaplanmıştır.

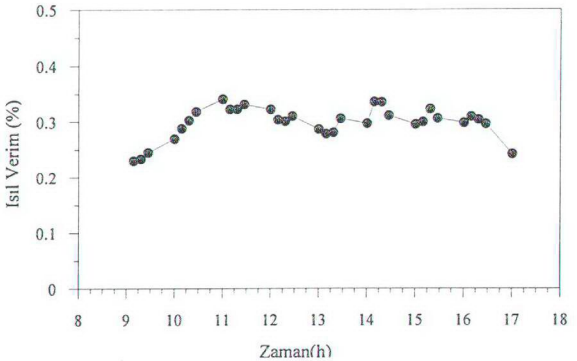
Yoğunlaştırıcı toplayıcılar, düz toplayıcılardan farklı olarak direkt güneş ışınımından yararlanmaktadır. Bunun için ayna yüzeyine gelen direkt güneş ışınım miktarı, Ek1 deki deney sonuçları, Denizli için meteorolojinin daha önce yaptığı aylık ortalama ölçümlerden de yararlanarak [31] gerekli hesaplamalarla bulunmuştur. 2003 yılında yapılan deneylerde ise biri yayılı diğeri de tüm güneş ışınımını ölçen piranometrelerden yararlanarak bulunmuştur. 2003 yılı Eylül ve Ekim ayları deneyleri için çizilen grafiklerde bu yöntem kullanılmıştır.

7.3. Sabit Debide Sıcak Su ile Yapılan Deneyler

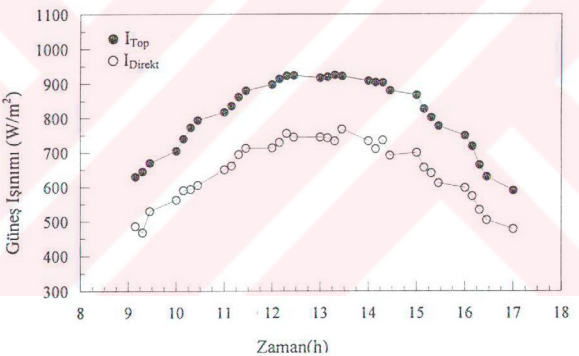
5 Ekim 2003 tarihinde 270 lt/h debide yapılan sıcak su deneyinde, günlük ortalama rüzgar 3.5 m/s, nem oranı ise %30 olarak ölçüldü (Tablo Ek.3.1). Şekil 7.1' de görüldüğü gibi sistemin ısıl gücünün maksimum 12.2 kW ve minimum 5.4 kW olduğu görülmüştür. Verim ise sabah saatlerinde %24 civarında başlamış, saat 12'de maksimum %35'e kadar yükselmiş ve deney sonunda yine %24'kadar düşmüştür (Şekil 7.2). Deneyin yapıldığı günde tüm güneş ışınımı, sabah 9:15'te 590 W/m^2 den başlamış 12:45'te 980 W/m^2 kadar yükseldiği görülmüştür (Şekil 7.3). Tüm güneş ışınımından yayılı ışınım çıkarıldığında direkt ışınım minimum 427 W/m^2 maksimum 800 W/m^2 olarak tespit edilmiştir. Ortam sıcaklığı 21-32°C arasında, suyun yutucuya giriş sıcaklığı ise 32-61°C arasında değişmiştir. Sıcak suyun yutucudan çıkış sıcaklığı ise 51°C den 96°C'e kadar yükselmiş deney sonunda 73 °C'ye kadar düşmüştür (Şekil 7.4).



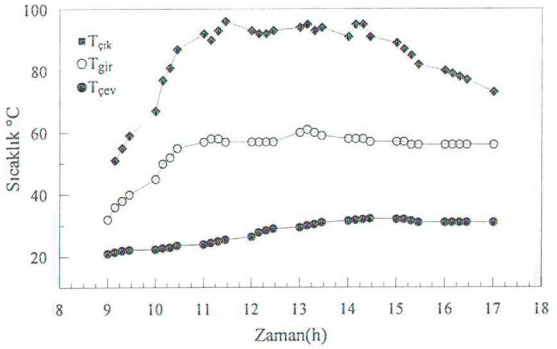
Şekil 7.1. 270 lt/h debide sıcak su için yutucuda elde edilen ısıl gücün değişimi (5 Ekim 2003)



Şekil 7.2. 270 lt/h debide sıcak su için sistemin ısıl verimi (5 Ekim 2003)

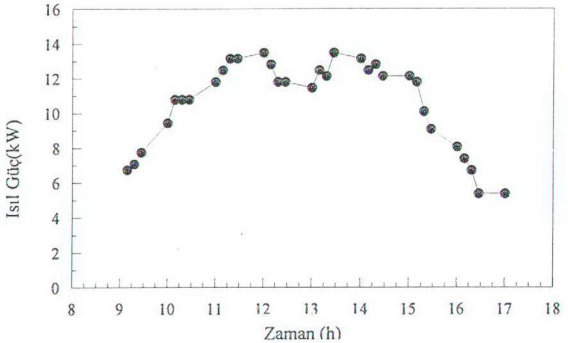


Şekil 7.3. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (5 Ekim 2003)

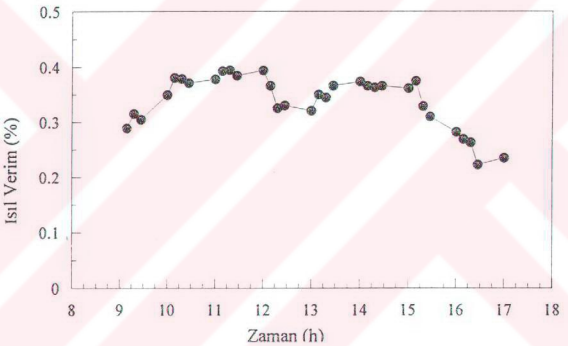


Şekil 7.4. 270 lt/h debide sıcak su için günlük suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığının gün boyunca değişimi (5 Ekim 2003)

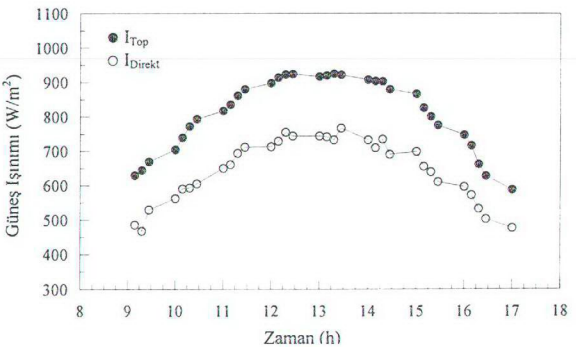
27 Eylül 2003 tarihinde 290 lt/h sabit debide yapılan sıcak su deneyinde, günlük ortalama rüzgar 3.5 m/s, nem oranı ise %30-60 arasında değişmiştir. Şekil 7.5'de görüldüğü gibi sistemin ısıl gücün maksimum 13.5 kW ve minimum 5.4 kW olduğu görülmüştür. Öğle saatlerinde güneş ışınımı daha fazla geldiği için ısıl güç 13 kW civarında olması gerekirken, yutucunun gölgesi öğle saatlerinde yansıtıcı aynaların üzerine geldiği için 12 kW ısıl güç elde edilmiştir. Verim ise sabah saatlerinde %29 civarında iken, saat 12'de maksimum %39'kadar yükselmiş ve deney sonunda %24'e kadar düşmüştür (Şekil 7.6). Deneyin yapıldığı günde tüm güneş ışınım şiddeti sabah 9:15'de 630 W/m^2'den 12:45'de 924 W/m^2 kadar yükselmiştir (Şekil 7.7). Tüm güneş ışınımından yayılı ışınım çıkarıldığında direkt ışınım minimum 470 W/m^2 maksimum 768 W/m^2 olarak tespit edilmiştir. Ortam sıcaklığı 21-31°C arasında, suyun yutucuya giriş sıcaklığı 28-51°C arasında değişmiştir. Şekil 7.8'de görüldüğü gibi sıcak suyun yutucudan çıkış sıcaklığı ise 50 °C den 90 °C kadar yükselmiş daha sonra 60 °C'ye kadar düşmüştür.



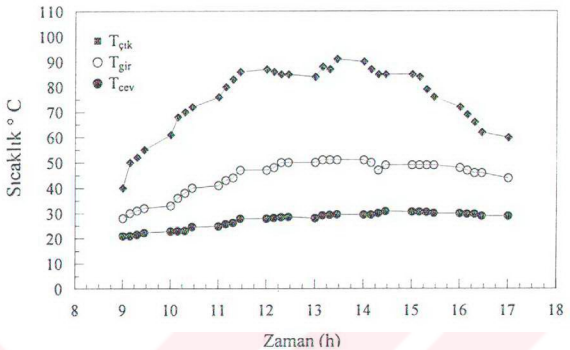
Şekil 7.5. 290 lt/h debide sıcak su için yutucuda elde edilen ısıl gücün değişimi (27Eylül 2003)



Şekil 7.6. 290 lt/h debide sıcak su için sistemin ısıl verimi (27 Eylül 2003)

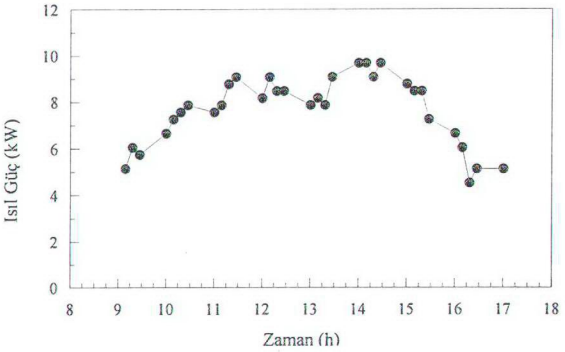


Şekil 7.7. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (27 Eylül 2003)

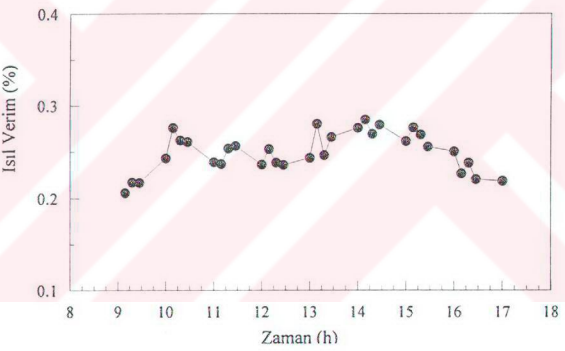


Şekil 7.8. 290 lt/h debide sıcak su için suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığının gün boyunca değişimi (27 Eylül 2003)

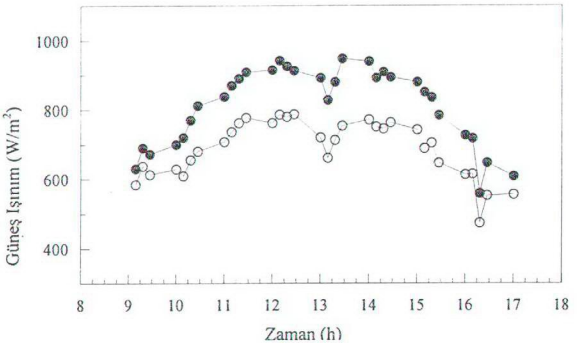
26 Eylül 2003 tarihinde 260 lt/h sabit debide sıcak su deneyinin yapıldığı günde nem oranı %50-%40, rüzgar hızı ortalama 2.0 m/s olarak ölçülmüştür. Isıl güç Şekil 7.9' da görüldüğü gibi maksimum 10 kW civarında minimum 5.2 kW'tır. Isıl verim ise maksimum %28, minimum %24 olarak bulunmuştur (Şekil 9.10). Tüm güneş ışınımı 630 W/m^2 dan başlamış 948W/m^2 kadar yükselmiş ve deney sonunda 610 W/m^2'a kadar düşmüştür. Direkt ışınım oranı 510 W/m^2 dan başlamış 731 W/m^2 yükselmiş ve deney sonunda 490 W/m^2'e kadar düşmüştür. Deneye ait sıcaklık grafiklerinin verildiği Şekil 7.12'de görüldüğü gibi, sıcak suyun yutucuya giriş sıcaklığı 40 °C den başlamış 70 °C yükselmiş deney sonunda 44 °C kadar düşmüştür. Yutucudan çıkış sıcaklığı ise 57 °C'den başlamış 97 °C' ye yükselmiş ve deney sonunda 61 °C düşmüştür. Deney yapılan günde ortam sıcaklığı 22-31 °C arasında değişim göstermiştir.



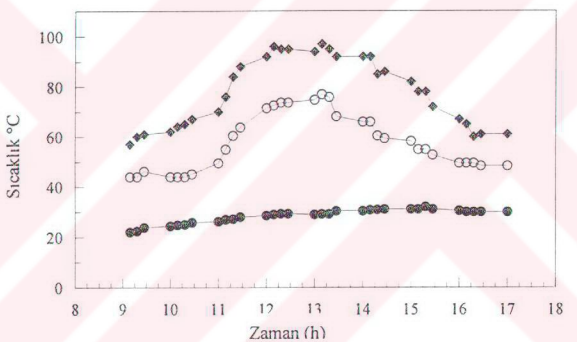
Şekil 7.9. 260 lt/h debide sıcak su için yutucuda elde edilen ısıl gücün değişimi (26 Eylül 2003)



Şekil 7.10. 260 lt/h debide sıcak su için sistemin ısıl verimi (26 Eylül 2003)

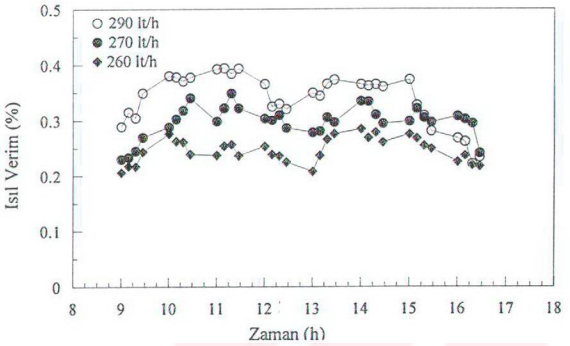


Şekil 7.11. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (26 Eylül 2003)



Şekil 7.12. 260 lt/h debide sıcak su için suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklığının gün boyunca değişimi (26 Eylül 2003)

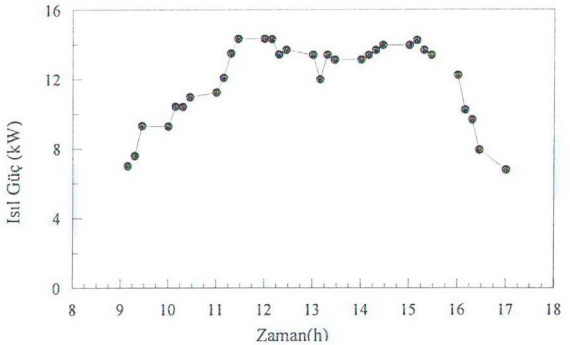
Şekil 7.13'de sabit debide sıcak su için yapılan deneylerin verim eğrilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu grafikte 260 lt/h, 270 lt/h ve 290 lt/h debilerde sıcak su verim eğrilerinin eğimlerinin aynı karakterleri gösterdikleri görülmektedir. Fakat daha iyi verim sıralaması yapıldığında, daha yüksek debideki deneylerin daha verimli olduğu görülmektedir. Yüksek debilerde çalışıldığında yutucudaki giriş ve çıkış sıcaklıkları da düşmektedir. Yutucudaki sıcaklıklar ile ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı azaldığı için çevreye olan ısıl kayıplar da azalmaktadır. Daha düşük debilerde ise su sıcaklığı yükseldiğinden, yutucu ile ortam arasındaki sıcaklık farkında ve dolayısıyla kayıplarda da artış görülmektedir.



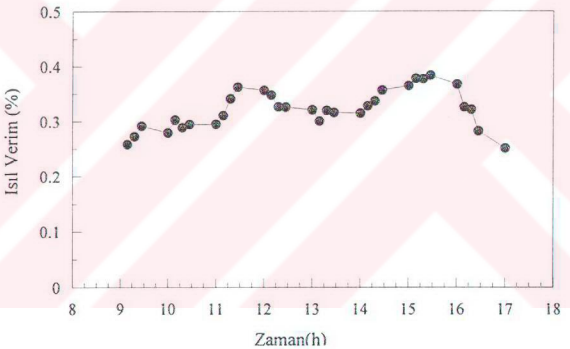
Şekil 7.13. Sıcak su ile yapılan deneylerin ısıl verimlerinin karşılaştırılması

7.4. Değişken Debide Kızgın Buhar ile Yapılan Deneyler

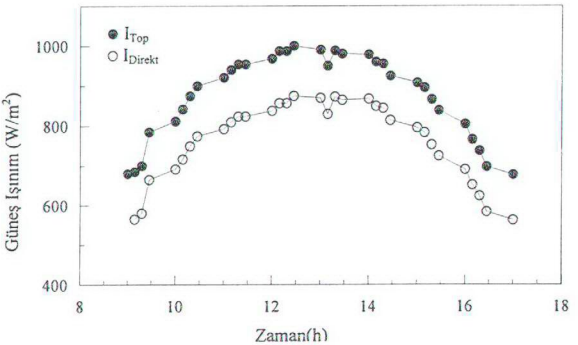
14 Ekim 2003 tarihinde 3 bar basınç için yapılan buhar deneyinde günlük ortalama rüzgar 2 m/s, nem oranı ise %30 olarak ölçülmüştür. Buhar üretmek amacıyla yapılan bu deneyde buhar debisi minimum 12 lt/h maksimum 19 lt/h elde edilmiştir. Debi miktarına göre maksimum ısıl güç yaklaşık 14.5 kW, minimum 7 kW olarak elde edilmiştir (Şekil 7.14). Şekil 7.15 de görüldüğü gibi ısıl verim %39 ile %26 arasında değişim göstermiştir. Piranometrede okunan değerlere göre deneyin, mevsim normal değerlerine göre ışınım şiddetinin yüksek olduğu bir günde yapıldığı anlaşılmıştır. Güneş ışınım şiddeti 685 W/m^2 den başlamış 1000 W/m^2'ye kadar yükselmiştir (Şekil 7.16). Direkt ışınım miktarı saat 12:15 ile 14:30 arasında 850 W/m^2 den aşağı değerlere inmemiştir. Ortam sıcaklığı 18-26 °C arasında, yutucuya giriş sıcaklığı 24-40 °C arasında değişmiştir. Çıkış sıcaklığı ise 3 bar için doymuş su sıcaklığı olan 133 °C den sürekli yüksek olmasına dikkat edilerek 137-138 °C arasında çalışılmıştır (Şekil 7.17).



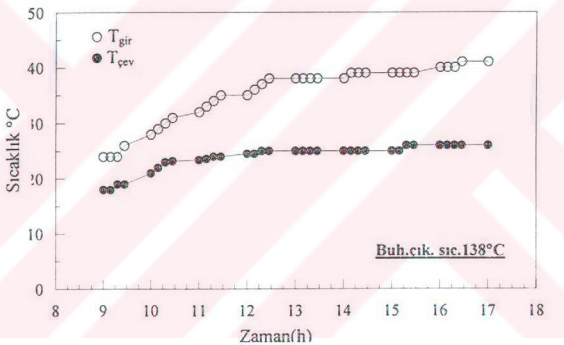
Şekil 7.14. 3 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl gücün değişimi (14 Ekim 2003)



Şekil 7.15. 3 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl verimin değişimi (14 Ekim 2003)



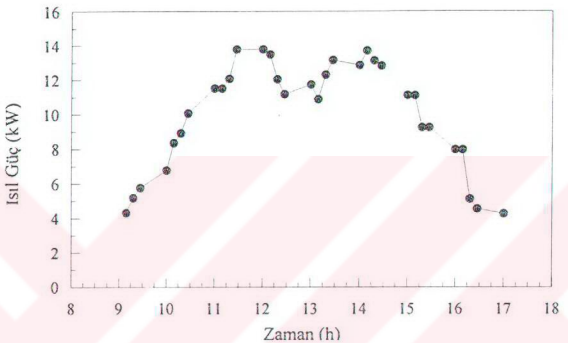
Şekil 7.16. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (14 Ekim 2003)



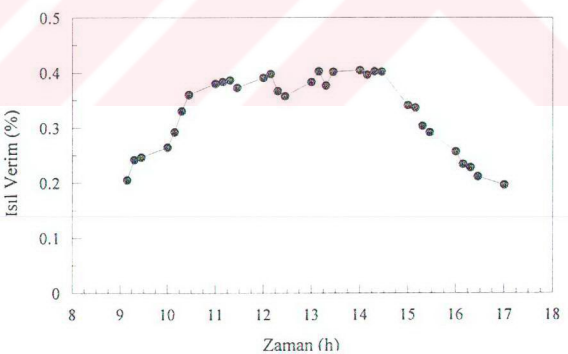
Şekil 7.17. 3 bar basınçta yapılan deneyde gün boyunca suyun giriş, çıkış ve ortam sıcaklıklarının değişimi (14 Ekim 2003)

20 Eylül 2001 tarihinde değişken debide, 2 bar basınç kızgın buhar için elde edilen verilere göre günlük ısıl güç grafikleri Şekil 7 18'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi saat 11:45 ve 14:15'de ısıl güç değeri 13.8 kW'tır. Saat 12:45 ve 13:15 arasında yutucunun gölgesi yansıtıcı aynaların üzerine geldiği için 11.1 kW ile 10.8 kW arasında değişmiştir. En düşük ısıl güç sabah 9:15 ve saat 17:00 da 4.3 kW olmuştur. Isıl verim ise deney başlangıcında ve sonunda %20, saat 13:45 ile 14:45 saatlerinde ise %40 ile maksimum değeri almıştır (Şekil 7.19). Sistemden elde edilen buhar debisi minimum 8 lt/h ve maksimum 18 lt/h'tir. Deney yapılan günde direkt ışınım

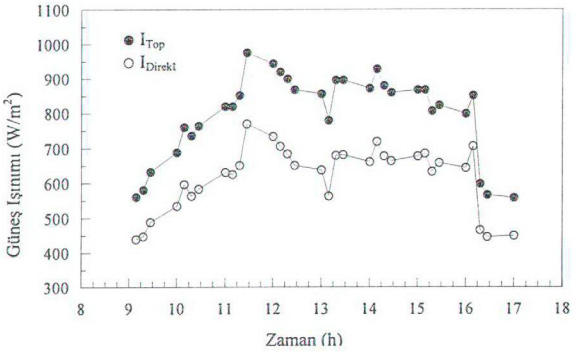
şiddeti deney başlangıcı ve sonunda 450 W/m^2, saat 11:45'de 770 W/m^2'dir. Şekil 7.20 de görüldüğü gibi tüm ışınım maksimum 980 W/m^2, minimum ise (sabah saat 9:15 te) 560 W/m^2'dir. Ortam sıcaklığı 26 °C den 35 °C'ye kadar yükselmiştir. Yutucuya giriş sıcaklığı deney başlangıcında 26 °C, deney sonunda 35 °C olmuştur (Şekil 7.21). Yutucudan çıkış sıcaklığının 130-132 °C civarında olmasına dikkat edilmiştir.



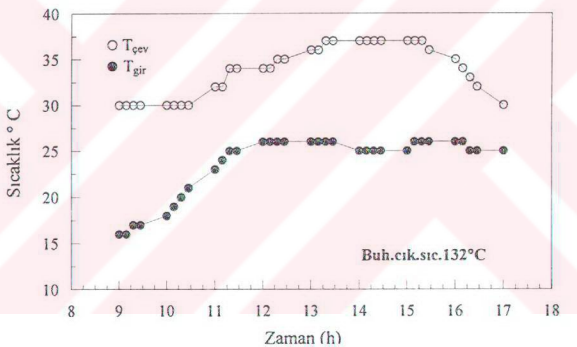
Şekil 7.18. 2 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl gücün değişimi (20 Eylül 2001)



Şekil 7.19. 2 bar basınç altında sistemin ısıl verimi (20 Eylül 2001)



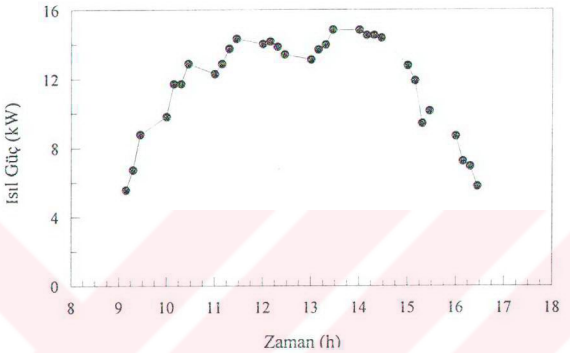
Şekil 7.20. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (20 Eylül 2001)



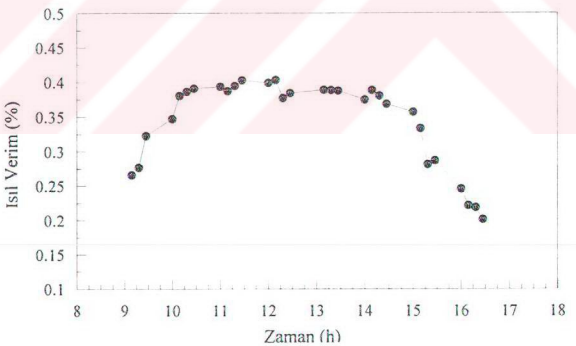
Şekil 7.21. 2 bar basınç altında çalışıldığında günlük sıcaklık değişimi (20 Eylül 2001)

17 Eylül 2001 tarihinde değişken debide, 4 bar basınç için elde edilen verilere göre günlük ısıl güç şekil 7.22'de görüldüğü gibi saat 13:30-14:45 ile 11:45-12:30 arasında 14 kW'a çıkmıştır. Deneyde en düşük ısıl güç saat 16:45'te 5.8 kW olmuştur. Kızgın buhar debisi minimum 10 lt/h, maksimum 20 lt/h olarak bulunmuştur. Isıl verim bu deneyde sistem için saat 11:45-12:15 arasında %40 ile maksimum değerde, saat 16:45 te %20 minimum değerde olmuştur (Şekil 7.23). Tüm güneş ışınım şiddeti saat 11:45 ile 14:45 arasında 950 W/m^2 nin üzerinde saat 13:00 ve 14:00'te 1000 W/m^2 olmuştur. Direkt ışınım şiddeti en düşük 9:15'te 440 W/m^2

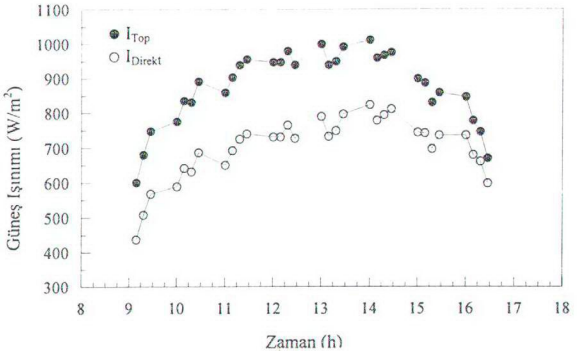
maksimum 825 W/m^2 olmuştur (Şekil 7.24). Ortam sıcaklığı 25 °C den başlamış 32 °C'ye kadar yükselmiştir. Yutucuya giriş sıcaklığı deney başlangıcında 23 °C, deney sonunda 31.5 °C'ye çıkmıştır. 4 bar için yapılan bu deneyde buhar sıcaklığının 150 °C civarında olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 7.25).



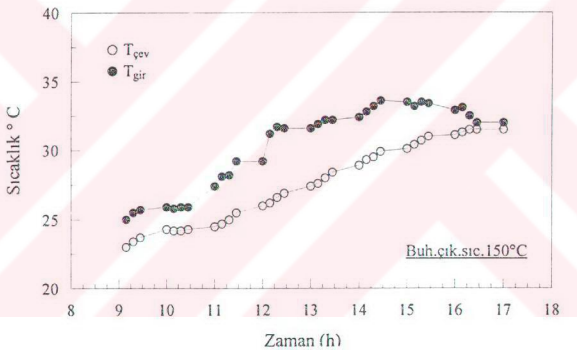
Şekil 7.22. 4 bar basınçta buhar için yapılan deneyde ısıl gücün değişimi (17 Eylül 2001)



Şekil 7.23. 4 bar basınç altında sistemden elde edilen ısıl verim (17 Eylül 2001)

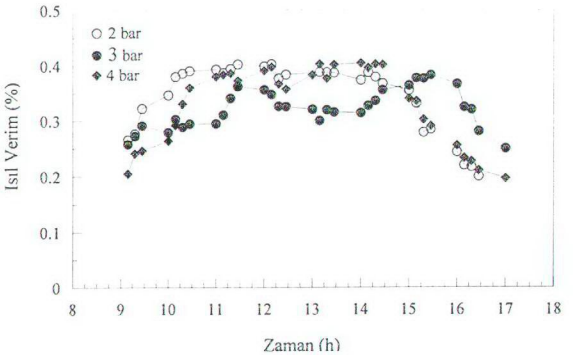


Şekil 7.24. Toplam ve direkt güneş ışınım enerjilerinin değişimi (17 Eylül 2001)



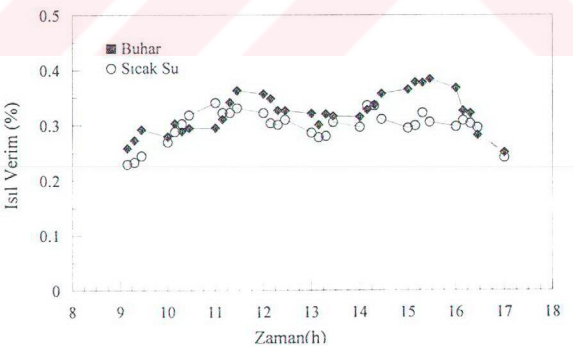
Şekil 7.25. 4 bar basınç altında çalışıldığında günlük sıcaklık değişimi (17 Eylül 2001)

Buhar üretimi değişken debide 2, 3 ve 4 bar basınçlarda yapılan deneylerde verim grafikleri uyum içinde olmakla birlikte 4 bar basınçtaki deneyin daha iyi verimde olduğu görülmektedir (Şekil 7. 26). 2 ve 4 barda yapılan deneyler 2001 yılının eylül ayına 3 barda yapılan deney ise 2003 yılı ekim ayına ait deneylerdir. 3 bar basınçta yapılan deneyin 2 ve 4 bar basınçla yapılan deneyden daha düşük çıkmasının sebebi ortam sıcaklığının daha düşük olması sebebiyle kayıpların artmasından kaynaklanmaktadır.



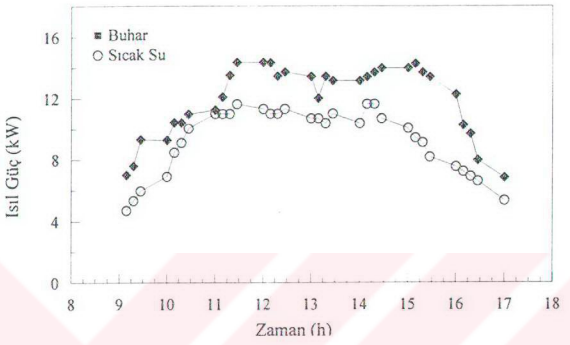
Şekil 7.26. Değişik basınçlarda buhar ile yapılan deneylerdeki verimlerin karşılaştırılması

Sıcak su, ve buhar için yapılan deneylerde ısıl güç ve ısıl verim değerlerini karşılaştırabilmek için Şekil 7.27 ve Şekil 7.28 grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi ısıl verim buhar ile yapılan deneyde daha yüksek çıkmakta, daha sonra sıcak su verimleri takip etmektedir. Öğle saatlerindeki ışınım şiddetine göre ısıl güç ve ısıl verim yüksek olması gerekirken yutucunun gölgesi aynaların üzerine geldiği için düşük çıkmaktadır. Sabah ve akşam saatlerinde ise ışınımın hem düşük hem de aynalar birbirine gölge yaptığı için ısıl güç düşmektedir.



Şekil 7.27. Sıcak su ve buhar ile yapılan deneylerdeki ısıl verim karşılaştırılması

Şekil 7.28 deki güç grafiğinde kızgın buhar ile yapılan deneyde öğle saatlerinde ısıl güç saat 11:00 ile 15:00 arasında 950 W/m^2'den aşağıya hiç düşmediğinden yüksek çıkmıştır. Benzer durum saat 14:00-15:30 arasında da görülmektedir.



Şekil 7.28. Sıcak su ve buhar ile yapılan deneylerdeki ısıl güç karşılaştırılması

7.5. Toplayıcı Performansının Testi

Güneş enerji toplayıcı sistemlerinin standart verim eğrileri; ışınım şiddeti, rüzgarlı ortam, suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ile ortam sıcaklıklarının farklı olması, kullanılan örtünün tek veya çift cam olması, seçici yüzey veya siyah yüzeyli olmalarına göre değişmektedir. Bunun için her toplayıcının işletme noktası parametresi farklı olabilmektedir. Yapılan deneyleri karşılaştırmak amacıyla ASHRAE 93-77 (The American Soceity of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) tarafından kabul edilen standart eğriler kullanılmaktadır. Deneylerde piranometre, rüzgar ölçme, çevre sıcaklığını ölçme, debi ölçme ile diğer ölçümlerin yapılması gerekmektedir [31, 32, 33]. Ayrıca daha değişik yöntem kullanılarak toplayıcı test edilebilmektedir [42, 43, 44].

Sabit şartlarda çalıştırılan silindirik yoğunlaştırıcı bir toplayıcı için faydalı ısıl enerji kazancı 6.3 eşitliğinden bulunabilir. Toplayıcının faydalı ısıl enerjisi, açıklık alanı direkt ışınıma bölündüğünde yoğunlaştırıcı toplayıcılarda kullanılan genel verim ifadesi 6.4 eşitliğinden bulunabilmektedir. Bu eşitlikten yararlanarak verim ve

işletme noktası parametresine karşılık gelen (T_g-$T_{çev}$/I) (Şekil 7.29) grafiğinin regrasyon analizi yapılarak bulunan doğru denkleminde (a) ve (b) katsayıları bulunur. Bulunan doğrunun eğimi ($F_R U_T A_y/A_a$), kayması ise (F_R $\tau\alpha\rho\gamma$) yu verir. Sistemin optik özelikleri bilindiğinde F_R ve U_T değeri bulunabilir.

Optik parametrelerinden cam örtünün ışınım geçirme oranı τ, bir çok literatürde 0.88 olarak alınmaktadır [33, 39]. Yutucuda kullanılan camdaki demir oksit oranı fazla olmakla birlikte 0.85 olarak seçildi. Yutucuda kullanılan bakır boruların yutma oranı da α = 0.91 seçilmiştir [39]. Yansıtıcı aynanın üzerine gelen güneş ışınımının iyi yansıtılabilmesi için, aynadaki demir oranının azaltılarak su beyazı cam özelliğinin kazandırılması ve et kalınlığının azaltılması gerekir. Ayna malzemesinde yansıtmayı (ρ) iyileştiren özellikler verdirilerek yansıtma oranı 0.75 iken 0.95'e kadar yükseltilebilmiştir [44, 46,48]. ABD'deki Sandia laboratuarında güneş enerjisi üzerinde çalışmaları yapan Freese, aynaların yansıtma oranlarının 0.81 ile 0.92 arasında değiştiğini belirtmektedir [47]. Türkiye'de ayna için imal edilen camlar 3 mm kalınlığında ve demir oksit özelliği fazla olduğundan yeşil renkte görünürler. Deneysel olarak yansıtma oranlarını tespit edemediğimizden aynanın yansıtma oranı 0.85 olarak alınmıştır Kapma(intercept) faktörü (γ), gelen ışınların yutucuya ulaşma oranı olup, Jeter tarafından 30° geliş açısına kadar 1 alınabileceği belirtilmektedir [6]. EK1 de yapılan hesaplamalarda verildiği gibi geliş açısı deklinasyon açısına eşit gibi kabul edilerek ve hesap yapılan günde deklinasyon açısı çok düşük(5.8°) olduğundan 0.99 olarak alındı. Yutma geçirme çarpanı ise EK1 de hesaplandığı gibi $(\tau\alpha)_e$ = 0.784 bulundu.

Yukarıda alınan değerlere göre optik verim ise

$$\eta_{op} = (\tau\alpha)_e \rho\gamma \qquad (7.1)$$

η_{op}= 0.784x0.85x0.99

η_{op}= 0.659

bulunur. 270 lt/h sıcak su deneyi için regrasyon analizi yapılarak bulunan doğru denklemi için a=0.34 ve b=0.68 katsayıları bulunur. Şekil 7.29'e göre doğru denklemi ise şöyledir.

$$\eta_0 = a - b\left(\frac{T_g - T_{çev}}{I_d}\right) = 0.34 - 0.68\left(\frac{T_g - T_{çev}}{I_d}\right) \quad (7.2)$$

$$a = F_R \eta_{op} \quad (7.3)$$

Buradan F_R değeri

$$F_R = \frac{0.34}{0.659} = 0.516$$

bulunur. Doğru denklemi için kullanılan 7.2 eşitliğinden b katsayısı için aşağıdaki 7.5 eşitliği bulunur. Diğer taraftan;

$$b = F_R U_T \left(\frac{A_y}{A_a}\right) \quad (7.5)$$

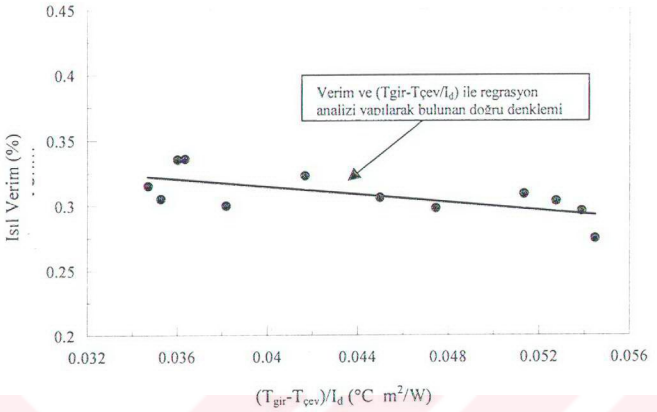
buradan da toplam ısı geçiş katsayısı

$$U_T = \frac{0.68}{0.516} x \left(\frac{48}{2.8}\right)$$

$U_T = 22.6$ W/m^{2}K

bulunur.

F_R değeri, optik verim için kullanılan ışınım yansıtma, geçirme ve yutma oranlarının seçimine bağlı olarak düşük çıkmıştır Bulunan U_T değeri biraz yüksek bir değerdir. Fakat EK1 de yutucu yüzey düz bir toplayıcı gibi kabul edilerek çözüm yapıldığında ise yaklaşık 8.0 W/m^{2}K çıkmaktadır. Bu sonuç literatürde yapılan çalışmalara daha uygun düşmektedir [2]. Aşağıdaki Şekil 7.29 de sistemin çalışma parametresini gösteren bir doğru bulunmuştur. Bu grafikte eğim gittikçe azalan bir yapı göstermektedir. Sistemin verimi düşük olmakla birlikte 24 ve 45 nolu referanslarda verilen eğrilerle uyumludur. Eğim çok düşük olduğunda ortalama verim kötü, eğim çok az olduğunda ise ortalama verimin iyi olduğu kabul edilmektedir [33].

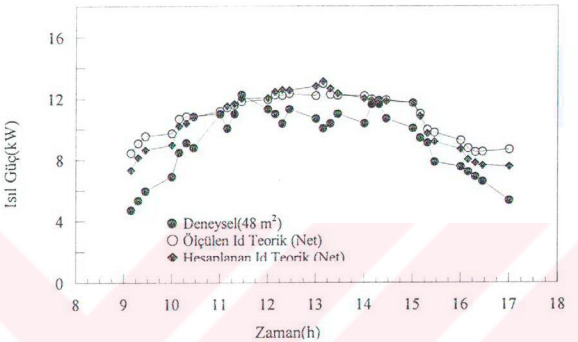


Şekil 7.29. Sistemde sıcak su için çalışma parametreleri

7.6. Teorik Hesap ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

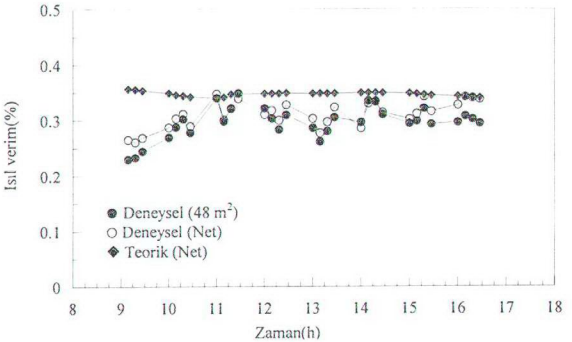
Teorik hesap yöntemi ile elde edilen sonuçların deneyde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilmesi için, 270 lt/h lik sıcak su ile yapılan deney şartları ele alınmıştır. Teorik hesaplama ise iki şekilde yapılmıştır. Bunlardan birincisi deneyin yapıldığı gün için meteoroloji istasyonunun güneş enerjisi verilerinden faydalanılarak sistemin ısıl verimi ve ısıl güç değerleri hesaplanmıştır. İkincisinde ise deney anında ölçülen ışınım şiddetinden faydalanarak sistemin verimi ve ısıl güç değerleri hesaplanmıştır. Su giriş, çıkış ve çevre sıcaklıkları, 270 /h lik sıcak su için ölçülen değerlerden alınmıştır. Detaylı teorik hesap örneği EK1'de verilmiştir. Şekil 7.30 de, 270 lt/h sıcak su deneyinde EK1'de yapılan teorik hesaplama şekline göre bulunan değerler ile deneysel olarak bulunan değerler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her iki hesaplamada debi ve direkt ışınım miktarı aynı alınmıştır. Teorik güç için gölgesiz net alan, deneysel güç için 48 m^2 alınmıştır. Ayrıca iki piranometre farkından bulunan direkt ışınım ile yayılı ışınım hesaplanarak bulunan direkt ışınım değerleri kullanılmıştır. Teorik hesaplamaya göre bulunan ısıl güç, deneysel değerlerden daha yüksek çıkmakla birlikte eğri karakterleri birbirine benzemektedir. Isıl güç 6.3 eşitliğinden anlaşıldığı gibi giriş sıcaklığı ile ortam sıcaklığının farkı ile literatürden seçilen yansıtma, geçirme ve yutma oranları etki etmektedir. Teorik hesaplama için

bu değerlerin alındığı malzemeler ile deneyde kullanılan malzemelerin özellikleriyle aynı olmadığından deneysel eğri daha düşük çıkmaktadır. Kullanılan malzemelerin özelliklerine ait gerçek değerlerinin kullanılması halinde, teorik ve deneysel eğrilerin birbirine daha yakın olacağı umulmaktadır.



Şekil 7.30. 270 lt/h sıcak su deneyinde 48 m^2 ye göre deneysel ısıl güç ve net alana göre bulunan teorik ısıl güçlerin karşılaştırılması

Deneysel olarak yapılan hesaplamada ise eşitlik 6.5 de verildiği gibi giren ve çıkan suyun sıcaklığı alınmaktadır. Sıcaklık değişimine ışınımın şiddeti etki etmektedir. Şekil 7.31 de ise teorik olarak bulunan verim eğrisi deneysel olarak bulunan eğriden yüksek olmakla birlikte teorik değerler, deney ile bulunan değerler kadar saçılmamıştır. Teorik hesaplamaya etki eden ortam sıcaklığı çok fazla değişmediğinden verim eğrisi doğrusaia yakın çıkmıştır. Teorik hesaplamada sabah verim değeri %35, öğle vaktinde %34.5 ve deney sonunda ise %34 bulunmuştur. Kaynak 5'de ise içi oyuk benzer bir yutucuya sahip olan sistemde verim 0.40 ile 0.60 arasında değişmektedir. Bu sisteme göre verim düşük çıkmaktadır.



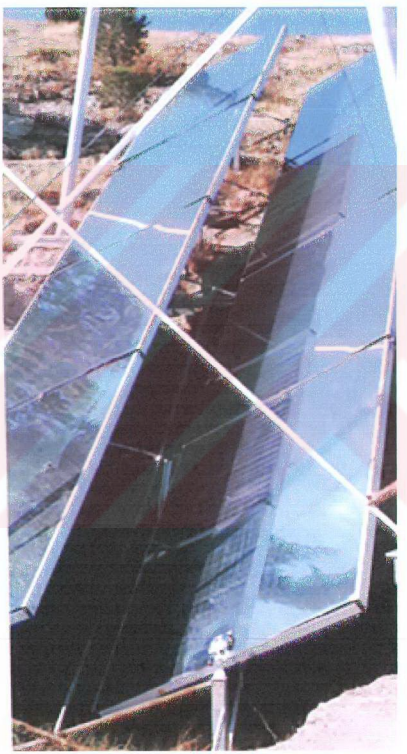
Şekil 7.31. 270 lt/h sıcak su deneyinde teorik ve deneysel ısıl verimlerinin karşılaştırılması

7.7. Gölgelemenin Etkisi

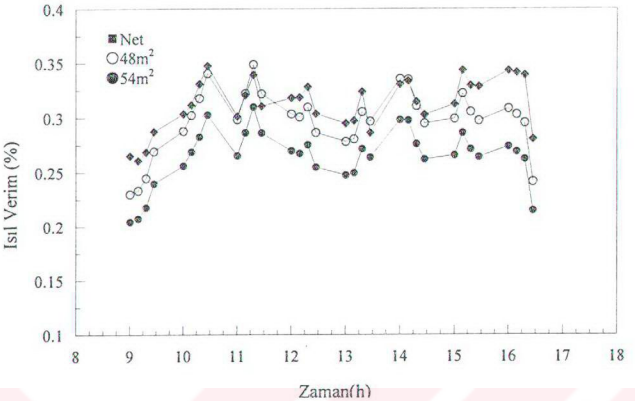
Yapılan deneylerde öğle saatlerinde yutucu konstrüksiyonun 0.4x13=5.2 m^2 alanındaki gölgesi saat 12:15 ile 13:45 arasında aynalara gölge yapmaktadır. İki aynanın birbirine sabah saat 9:00 da 80 cm olan gölgelemesi, güneşin yükselmesiyle birlikte sürekli azalmakta ve saat 11:45'te tamamen kaybolmaktadır (Şekil 7.32). Benzer şekilde soldaki aynanın sağdaki aynaya gölgeleme yapması ise saat 14:00 te başlamakta ve saat 17:00'de yaklaşık 80 cm'yi bulmaktadır. Sistemi ayakta tutan konstrüksiyonun gölgeleme yapması ise süreklidir. Fakat güneşin konumuna göre 2.0 m^2 ile 4.5 m^2 arasında değişmektedir (Tablo 7.1).

Deney esnasında yansıtıcı aynaların üzerinde, yutucu ve sistemi ayakta tutan kontrüksiyonun gölgeleri ile aynaların birbirine gölge yapmalarının toplamları minimum 0.26 m^2 ve maksimum 10.7 m^2 arasında değişmektedir. Aynaların toplam alanı 54 m^2 olmasına rağmen gölgelenen alan çıkarıldığında minimum 41.5 m^2, maksimum 4.5 m^2 ile çalışılmaktadır. İki aynanın birbirine gölgeleme yapması hesaplara katılıp yutucu gölgesi eklenmediğinde ortalama açıklık alanı 47 m^2, konstrüksiyon ve yutucu gölgesi düşünülmediğinde ise ortalama 50 m^2 yi bulmaktadır. Toplam ayna alanından, aynaların birbirine gölge yapmaları ile yutucunun ve konstrüksiyonun gölgelemeleri çıkarıldığında ortalama 46 m^2 ile çalışmaktadır. Fakat yapılan hesaplamalarda gölgelemenin sabah ve akşam

saatlerinde daha fazla olduğu bunu ortalama alana etki ettirmek bilhassa öğle saatlerindeki verimin hatalı sonuç vereceği düşünüldüğünden deney hesaplamalarında ortalama 48 m^2 alınması uygun görüldü. 270 lt/h sıcak su deneyinde net ayna alan (gölgesiz), ortalama 48 m^2 ve gölgelemenin hiç hesaba katılmadığı 54 m^2' ye göre ısıl verimlerinin karşılaştırılmalı grafikleri Şekil 7.33 de görülmektedir.



Şekil 7.32. Yansıtıcı aynaların birbirini gölgelemesi



Şekil 7.33. 270 lt/h sıcak su deneyinde gölgesiz net alan, ortalama 48 m^2 ve toplam 54 m^2 alana göre verimlerin karşılaştırılması

Şekil 7.33'te görüldüğü gibi ayna alanı ortalama 48 m^2 seçilerek ısıl verim hesaplandığında, 10:00 ve 16:00 saatleri arasında net alana göre hesaplanan ısıl verime yakın değerleri verdiği görülmektedir. Hesaplamalarda net alan yerine 48 m^2 alan kullanıldığında daha az hata oranıyla ısıl verim ve ısıl güç değerleri bulunmaktadır.

Konstrüksiyonun çok ağır olması sebebiyle iki aynanın aralarındaki mesafe değiştirilemedi. Aynaların birbirini gölgelemelerini önlemek için her aynanın en az 1.5 m aralıkla yerleştirilmesi gerekmektedir. Yapıda kullanılan çelik profiller, çaprazlar, destek boruları da ebatları oranında gölgeleme yaparak verime olumsuz yönde etki etmektedir.

Tablo 7.1. Aynaların, yutucunun ve konstrüksiyonun günlük gölge alanları ve net alan

Zaman	Aynaların Gölgelemesi (cm)	Aynaların Gölgelemesi m^2	Yutucu Gölgesi (m^2)	Konstrüksiyon Gölgesi (m^2)	Toplam Alandan Çıkarılan Gölgesiz Alan (m^2)
09:00	80	10.40	-	2	41.60
09:15	70	9.10	-	2	42.90
09:30	60	7.80	-	2,5	43.70
09:45	50	6.50	-	2,5	45.00
10:00	42	5.46	-	3	45.54
10:15	34	4.42	-	3	46.58
10:30	26	3.38	-	4,5	46.12
10:45	19	2.47	-	4,5	47.03
11:00	15	1.95	-	4,5	47.55
11:15	10	1.30	-	4,5	48.20
11:30	5	0.65	-	4	49.35
11:45	2	0.26	-	4	49.74
12:15	-	-	5.20	3	45.80
12:30	-	-	5.20	3.5	45.30
12:45	-	-	5.20	3.5	45.30
13:00	-	-	5.20	3.5	45.30
13:15	-	-	5.20	3.5	45.30
13:30	-	-	5.20	3.5	45.30
13:45	-	-	5.20	3.5	45.30
14:00	2	0.26	-	4	49.74
14:15	6	0,78	-	4.5	48.72
14:30	10	1.30	-	4.5	48.20
14:45	16	2.08	-	4.5	47.42
15:00	21	2.73	-	4.5	46.77
15:15	27	3.51	-	4.5	45.99
15:30	34	4.42	-	4.5	45.08
15:45	42	5.46	-	4	44.54
16:00	50	6.50	-	4	43.50
16:15	60	7.80	-	3	43.20
16:30	68	8.84	-	2.5	42.66
16:45	74	9.62	-	2.5	41.88
17:00	82	10.66	-	2	41.34

BÖLÜM 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada polar sistemde güneş hareketini otomatik izleyen yutucusu sabit silindirik bir toplayıcının ısıl verim ve ısıl gücü üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney seti toplam 54 m^2 yansıtıcı aynaya ve 2.8 m^2 yutucu yüzeye sahiptir. Sistemde akışkan olarak su kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla değişik şartlarda sıcak su ve buhar üretilerek deneyler yapıldı ve sisteme olumsuz etki eden faktörler incelendi.

8.1. Elde Edilen Sonuçlar

Sıcak su, kızgın su ve buhar ile yapılan deneylerin ısıl verim ve ısıl güçlerinin sabah öğle ve akşam saatleriyle ile günlük ortalama değerleri Tablo 8.1' de görülmektedir.

Tablo 8.1. Deney sonuçları

		Güç-Verim	Sabah	Öğle	Akşam	Ortalama
Sıcak Su Deneyleri	260 lt/h	Q (kW)	5.1	9.8	5.1	7.7
		η(%)	21	28	22	25
	270 lt/h	Q (kW)	4.7	11.6	5.3	9.0
		η (%)	23	34	24	30
	290lt/h	Q (kW)	6.7	13.5	5.4	10.4
		η (%)	29	39	24	30
Buhar Deneyleri	2 Bar	Q (kW)	6.7	14.5	6.6	11.7
		η (%)	26	36	24	31
	3 Bar	Q (kW)	7.0	14.2	6.9	11.9
		η (%)	26	36	25	32
	4 Bar	Q (kW)	5.6	14.8	5.2	11.30
		η (%)	27	40	20	30

Şekil 7.13'de sabit debide sıcak su deneyi için yapılan karşılaştırmada ısıl verim eğrilerinin eğimleri aynı karakterleri göstermektedir. Bu deneylerde ısıl verim en yüksek %40 en düşük %20 günlük ortalama %30'dır. Yüksek debide yutucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları düştüğünden ortam sıcaklıkları arasındaki fark azaldığı için ısıl kayıplar da azalmaktadır. Isıl verimlerine göre sıralama yapıldığında yüksek debide

daha verimli olduğu görülmektedir (Tablo 8.1, Şekil 7.13). Buhar üretimindeki deneylerin verimlerinin karşılaştırıldığı Şekil 7.26'da 4 bar basınçtaki deneyin daha iyi ısıl verimde olduğu görülmektedir. Tablo 8.1'de görülüğü gibi buhar için ısıl verim en yüksek % 40 en düşük % 26 ve günlük ortalama %32 dir. Buhar üretimi için yapılan deneylerde ısıl güç en yüksek 14.8 kW ve en düşük 5.6 kW olmuştur.

Parabolik toplayıcılar direkt ışınımın yansımasıyla çalıştıklarından yansıma kayıpları ısıl verime olumsuz etki etmektedir. Bu yüzden optik verimleri düzlemsel toplayıcılardan daha düşüktür. Düşük sıcaklık uygulamalarında düzlemsel toplayıcıların ısıl verimleri, parabolik yüzeyli toplayıcılara göre daha iyi olduğundan parabolik sistemler yerine düz toplayıcılar kullanılır. Fakat yüksek sıcaklık uygulamalarında parabolik toplayıcılar tercih edilmektedir. Bu deneysel çalışmada da, sıcak suya göre buhardaki ısıl kayıplar daha fazla olduğu halde, Şekil 7.27'deki karşılaştırmalı verim grafiğinde görüldüğü gibi, buhar veriminin sıcak su veriminden daha yüksek çıktığı görülmektedir

Yutucudaki teorik ısı geçiş katsayısı, EK1 de yapılan örnek hesaplama ile gösterildiği gibi, 7.5 W/m^2K bulundu. Isı geçiş katsayısının düşük bulunmasının bir sebebi de yutucunun iyi yalıtılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Suyun giriş sıcaklığı 50 °C, çıkış sıcaklığı 150 °C, ortam sıcaklığı ise 30 °C dir. Fakat rüzgar hiç olmadığı kabul edildiğinde toplam ısı geçiş katsayısı 6.7 W/m^2K iken, aynı şartlarda rüzgar hızı 6 m/sn olduğunda 8.9 W/m^2K bulunmuştur. ASHRAE 93-77 verim eğrilerine göre yapılan hesaplamada ise yutucu ısı geçiş katsayısı 22.4 W/m^2 bulunmuştur (Şekil 7.29).

Yapılan deneylerde teorik hesaplama ile deneysel bulunan değerlerin karşılaştırılması için örnek olarak sıcak su ile yapılan 270 lt/h debideki deney ele alınmıştır. Şekil 7.30' da ısıl güç grafiklerinde görüldüğü gibi deneysel olarak bulunan değerler, teorik olarak bulunan değerlerden düşük olmakla birlikte eğri karakterleri birbirine benzemektedir. Isıl verim grafiğinde (Şekil 7.31) teorik olarak bulunan ısıl verim eğrisi, ortam sıcaklığına bağlı olduğundan ve ortam sıcaklığı fazla değişmediğinden, bulunan eğri bir doğruya yakın çıkmıştır. Deneysel sonuçlara göre

elde edilen ısıl verim eğrisi, teorik ısıl verim eğrisinden biraz düşük çıkmıştır (Şekil 7.30).

Sistemde yansıma hataları önlenirse ve yutucunun merkezinden kenarlarına doğru saçılan ışınların tam odaklanması sağlanırsa verim yükseltilebilir. Sabah ve akşam saatlerine doğru gölgeleme ve yansıma kayıpları arttığından verim %20'a kadar düşmektedir. Bununla beraber çalışma esnasında sabah 10:30'a kadar sağdaki ayna, sol aynanın üzerine ve öğleden sonra 14:30'dan itibaren soldaki ayna, sağ aynanın üzerine gölgeleme yapmaktadır. İki aynanın bu şekilde yerleştirilmesi verime olumsuz etki etmektedir. İki ayna arasının açılması maddi imkansızlıklar sebebiyle mümkün olmadığından bu etki ortadan kaldırılamamıştır. Öğle saatlerinde de üstteki 0.40 m eninde ve 14 m uzunluğundaki yutucu, yaklaşık 1.5 saat ayna üzerinde gölgeleme yapmaktadır. Sistemi ayakta tutan çelik konstrüksiyon, gün boyunca ayna üzerinde yaklaşık 3 m^2 den fazla gölgeleme yapmaktadır (Şekil 7.32). Üstteki yutucunun öğle saatlerindeki gölgesi ile çelik konstrüksiyondaki direk ve bağlantıların gün boyunca yaptıkları gölgeleme problemini büsbütün ortadan kaldırmak mümkün olmazsa da azaltarak verim artırılabilir (Şekil 7.33). Açık havada yapılan bu deneylerde havanın bulutlu veya rüzgarlı olması verime olumsuz yönde etki etmektedir. Rüzgar hızının fazla olması, yutucudan taşınımla olan ısı kayıplarını arttırmaktadır. Buna rağmen sistemimizin verimi kabul edilebilir düzeydedir. Sistemden elde edilen güç öğle saatlerinde maksimum 15 kW, sabah ve akşam saatlerinde 6 kW olarak gerçekleşmiştir (Şekil 7.30).

Düz ve sabit yutuculu, silindirik yansıtıcılı bu toplayıcı tipiyle direkt olarak buhar üretilmiştir. Bu deney tesisatından en fazla 5 bar basınca kadar buhar elde edilmiştir. Daha yüksek basınçlarda buhar elde edilmek istenildiğinde yutucu boruların mukavemet değerlerinin daha yüksek tutulması gerekir. Bu deney setinden elektrik üretmek için 3-4 kW gücünde bir türbine ihtiyaç vardır. Küçük kapasiteli türbinlerde sürtünme kayıpları fazla olduğundan verimleri düşüktür. Bu sistemle elektrik üretmek için çok sayıda toplayıcılardan elde edilen buharı bir merkezde toplayıp orta ölçekli bir türbine vermek daha uygundur. Deney seti örnek alınarak bir tarla halinde tesisin kurulmasıyla direkt buhar elde ederek elektrik üretilebilir. Bunun için yapılan çalışmalar devam etmektedir.

8.2. Tartışma ve Öneriler

Sistemden maksimum verim alabilmek için yansıtıcı olarak kullanılan aynalar üzerinde toplanan tozlar nedeniyle yansıtma özelliklerinde düşüş kaydedilmektedir. Direkt güneş ışınımına göre çalışan bu sistemlerde yansıtmayı sağlayan ayna ve yutucudaki camların ışınımı geçirme özellikleri çok önemlidir. Bu sebepten aynanın ve camın optik özelliklerine olumsuz etki eden toz ve kirlerden korunması için yıkanması ve temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme işlemi için haftada en az bir kere yıkanması gerekir. Değişik ayna üzerinde yapılan çalışmada, farklı hava şartlarında yansıtma oranlarının değiştiği belirtilmektedir [48]

Bu sistemde yutucu görevini gören bakır borular yerine seçici yüzeyli kanatlı borular yapıldığında sistemin verimi artar. Türkiye'de imal edilen aynalar genellikle 3 mm kalınlıkta ve demir oranı yüksek camlardan yapılmaktadır. Sistemden daha yüksek verim elde etmek için cam kalınlığının 2 mm ve demir oranı düşük su beyazı camlardan imal edilmesi gerekir. Bu şekilde aynanın yansıtma oranı 0.85 den 0.95'a yükseltmekle verim artırılabilir.

Polar izlemeli toplayıcılar yüksek sıcaklıklarda daha verimli çalışılabilmektedir. Bunun için sistemde yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemenin kullanımı gerekir.

Yoğunlaştırıcılar direkt ışınıma göre çalışmaktadırlar. Direkt ışınım miktarını ölçmek güneşi takip etme özelliğine sahip bir solarimetre çeşitlerinden pirheliometrenin (pyrheliometer) kullanılması gerekir.

Fotovoltaiklerin imalatı ve uygulamaları için alt yapısını kurmuş Japonya gibi bir ülke ile yarışmanın güç olduğu düşünülebilir. Fakat çok ileri teknolojiye ihtiyaç göstermeyen parabolik yansıtıcıların imalatı yapılarak sanayide kullanımı yaygınlaştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] RABL A., "Comparison of Solar Concentrators", Solar Energy, Vol.18, pp.93-111, 1976.

[2] RABL, A., BENDT, P. "Optimization of Parabolic Through Collectors", Solar Energy, Vol.29, pp..407-417, 1982.

[3] EDENBURN, M. W, "Performance Analysis of a Cylindrical Parabolic Focusing Collector and Comparison with Experimental Results", Solar Energy, Vol.18, pp.437-444, 1976.

[4] MEINEL, A. B., "Concentrating Collectors", Solar Energy Engineering, Chapter 9, pp.183-215, 1977.

[5] BARRA, A., FRANCESHI, L., "The Parabolic Through Plants Using Black Body Receivers: Experimental and Theoritical Analysis", Solar Energy, Vol.28, No.2, pp.163-171, 1982.

[6] JETER, S. M., "Analytical Determination of the Optical Performance of Practical Parabolic Through Collectors from Desing Data", Solar Energy Vol.39, pp.11-21,1987.

[7] GÜVEN, M. H., " Desing Synthesis of Parabolic Trough Solar Collectors for Developing Countries", Engineering Optimization, Vol.7, pp.173-194, 1984.

[8] DURAN, J. C, NICOLAS R. O, "Development and Applications of a Two-Dimensional Optical Analysis of Non-Perfect Cylindrical Concentrators" Solar Energy", Vol.34, pp.257-269, 1985.

[9] NICOLAS, R. O, DURAN, J. C, "Generalization of the Two-Dimensional Optical Analysis of Cylindrical Concentrators", Solar Energy, Vol.25, pp.21-31,1980.

[10] ESPANA, M. D.,"Approximate Steady-State Modeling of Solar Through Collectors", Solar Energy, Vol.39, No.6, pp.447-454, 1987.

[11] PRAPAS, D. E, NORTON, B., "Optics of Parabolic-Through, Solar Energy Collectors, Possessing Small Concentration Ratios", Solar Energy, Vol.39, No. 6, pp.541-550,1987.

[12] THOMAS, A., GÜVEN, H. M., "Parabolic Trough Concentrators-Desing, Construction and Evaluation", Energy Convers.Mgmt., Vol.34, No.5, pp.401-416, Printed in Great Britain, 1993.

[13] THOMAS, A., "Solar Steam Generating Systems Using Parabolic Trough Concentrators", Energy Convers.Mgmt., Vol.37, No.1, pp.1-15, 1996.

[14] THOMAS, A., "Desing Methodology for a Small Solar Steam Generation System Using the Flash Boiler Concept", Energy Convers.Mgmt., Vol.37, No.1, pp.1-15, 1996.

[15] ODEH, S. D ve MORRİSON, G. L, "Modelling of Parabolic Trough Direct Steam Generation Solar Collector" Solar Energy, Vol 62, No.6, pp 395-406, 1998.

[16] ALMANZA, R. ve LENTZ, A., "Electricity Production at Low Powers by Stream Generation with Parabolic Troughs", Solar Energy, Vol.64, No.1-3, pp.115-120, 1998.

[17] KALOGIROU, S., "Parabolic Trough Collectors System for Low Temperature Steam Generation: Desing, and Performance Characteristic", Applied Energy. Vol.55, No.1, pp.1-19, 1996.

[18] KALOGIROU, S., "Modelling, Optimisation and Performance Evaluation of a Parabolic Trough Solar Collector Steam Generation System", Solar Energy, Vol.60, No.1, pp.49-59, 1997.

[19] ECK, M, ve STEINMANN, W.D., "Direct Steam Generation in Parabolic Troughs: First Results of the DISS Project", Proceedings of Solar Forum 2001, 21-25 April 2001, Washington D.C.

[20] ECK, M.,"Applied Research Concerning the Steam generation in Parabolic Troughs", Solar Energy, in pres, 2003.

[21] GARRISON., D. J., "A Program for Calculation of Solar Energy Collection by Fixed and Tracking Collectors", Solar Energy, Vol.73, No.4, pp. 241–255, 2002.

[22] TUNÇ, M., "Silindirik Parabolik Güneş Işını Toplayıcılarının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi" Doktora Tezi, İTU, 1982.

[23] KARADUMAN, A.," Parabolic Trough Solar Collector System Desing and Construction" Master Thesis, ODTU, 1989.

[24] KÜLÜNK, H., "Silindirik Parabolik Reflektör Kollektör Sisteminde Enerji Kazancı", Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 30, sayı 354, sayfa 32-34, 1989.

[25] YEŞİLATA, B., "Güneş Hareketini İzleyen Parabolik Yoğunlaştırıcı Tip Güneş Toplayıcının Tasarımı, Dizaynı ve Isıl Verimin Araştırılması" Y.Lisans, Fırat Üniversitesi, 1990.

[26] USTA, H., ve ATAER, Ö. E., "Parabolik Oluk Tipi Güneş Yoğunlaştırıcılarının Tasarımı İmali ve Performans Deneyleri" ULIBTK'97 Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Edirne, 17-19 Eylül 1997.

[38] ÇENGEL, A. Y., "Thermodynamics an Engineering Approach", McGraw-Hill Co.,1998.

[39] INCROPERA, F. P., ve DEWITT, D. P., "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", Literatür Yayıncılık (çeviri), İstanbul, 2001.

[40] HALICI, F., GÜNDÜZ, M.,"Isı Geçişi", Burak Ofset, İstanbul, 2001.

[41] DAĞSÖZ, A. K., "Isı Geçişi Transferi", Beta basım yayım dağıtım A.Ş., İstanbul, 1995.

[42] FISHER, S., "Collector Test Method Under Quasi-Dynamic Conditions According to the European Standard EN 12975-2", Solar Energy, Article in Pres.

[43] NAYAK, J. K, "Comparision of Three Transient Methods for Testing Solar Flat-Plate Collector", Energy Conversions&Management, Vol 41, pp. 677-700, 2000.

[44] AMER, E. H., "Transient Test Method for Plat-Plate Collector: Review and Experimental Evaluation", Solar Energy Vol.60, No.5, pp.229-243, 1997.

[45] O'GALLAHER, J. J.,"Technical Note", Solar Energy, Vol.29, No.6, pp.575-577, 1982.

[46] PETIT, R. B., "Solar Mirror Materials: Their Properties and uses in Solar Collectors", Solar Materials Science, chap.5, pp171-194., Academic Press Inc.,1980.

[47] FREESE, J.M., "Development of a Portable Reflectometer for Field Measurements of the Specular Reflectance of Solar Mirrors", Sandia Laboratories, New Mexico.

[48] ALMANZA, R., "Further Option for Solar Concentrators:Aluminium First Surface Mirrors", Solar Energy , Vol. 54, No.5, pp.333-343, 1995.

[49] ÇENGEL,Y.,"Heat Transfer", Mc Graw-Hill, New York, 1997.

[50] HOLMAN, J.P., ve GAJDA W.J., "Experimental Methods for Engineers" Mc.Graw-Hill Company, New York, 1986.

[51] GENCELİ, O. F. "Ölçme Tekniği", Birsen yayınevi, İstanbul, 1995.

[52] http://www.kipzonen.com/product/cmspecs.pdf

[53] http://katalog.elimko.com.tr/2000sokcc.htm

EK 1. TOPLAYICI İÇİN IŞINIM, ISIL KAYIP ve YUTUCU BOYUTU HESAPLAMALARI

Ek1.1. Direkt Işınımın Bulunması

Hareketli deney setindeki aynaların üzerine gelen ışınım miktarının tespiti ve ısıl kayıpları için hesaplamalar yapıldı. Sistem düz toplayıcılardan farklı olarak direkt ışınıma göre çalışmaktadır. Bunu ölçen pirheliometre (pyrheliometer) cihaz bulunmadığından tüm güneş ışınımını ölçen piranometre aynaların üzerine konularak ölçüm yapılmıştır. Direkt ışınımın tespitinde deney yapılan gün için deklinasyon açısı hesap edildi. Bu açının hesaplanmasında çeşitli yayınlarda kabul edilen aylık ortalama gün de alınabilmektedir [31, 32, 33]. Aşağıda her deney için yapılan hesaplamalara örnek olarak seçilen 5 Ekim 2003 tarihindeki 270 lt/h sıcak su deneyine aittir. Bu tarih yılın 278 inci gününe karşılık gelmektedir. Bunun için Excel'de yapılan programda Bölüm 3'teki eşitliklerden yararlanılarak direkt ışınım ile bölüm 4 teki eşitliklerden optik verim, Bölüm 6'daki eşitlikler kullanarak ısıl verim ve ısıl güç bulunmuştur. Programın çalıştırılması esnasında bulunan sonuçlar kopya edilerek bir resim halinde sunuldu. Şekil Ek1.1 de görüldüğü gibi yılın 278'ci günü için eşitlik 3.1 kullanılarak

$$\delta = 23.45° \sin\left[\frac{360}{365}(n+284)\right] = 23.45° \sin\left[\frac{360}{365}(278+284)\right]$$

δ=–5.8°

bulunur. Enlem 37° seçildiğinden güneş doğuş açısı eşitlik 3.9 dan

$$\cos H = -\tan e \tan \delta = -\tan 37 \tan 5.8$$

H=85.62°

ve gün uzunluğu için 3.10 eşitliğinden

$$t_g = \frac{2}{15} a\cos(-\tan e \tan \delta) = \frac{2}{15} a\cos(-\tan 37 \tan 5.8)$$

$t_g = 11.41$ saat

bulunur. Yayılım faktörü (r_y) nin tespitinde bölgenin konumu etki ettiğinden deneyin yapıldığı saat 11 için 3.15 eşitliğinden ileri saat uygulamasına göre saat esas alınarak saat açısı h =–30 bulunur.

$$r_y = \frac{\pi}{24} \frac{\cosh - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} = \frac{\pi}{24} \frac{\cos 30 - \cos 85.62}{\sin 85.62 - \frac{\pi}{180} 85.62 \cos 85.62}$$

$r_y = 0.1170$

bulunur. Excel'de yapılan programın görünüşü Şekil Ek1.1 de görülmektedir.

	A	B	C	D	E	F
Gün Sayısı :		278				
Deklinasyon :		-5,79				
Enlem :		37				
Toplayıcı Eğimi :		37				
Saat :		10				
Saat Açısı:		-30	-1	30	saat açısı eksi ise -1 ile çarp	
		-0,75355405	-0,10145	0,076446		
Güneş Doğuş Açısı (H)			85,62			
Gün Uzunluğu (tg)			11,41543	saat		
		0,861603157	0	0,861603		
		0,688106876	-0,06074	0,627366		
Eğik Yüzey Direkt Işınım Faktörü (Rd) :			1,373365			
		0,866025404	0,076446			
		0,997073736	0,114231			
ry değerinin bulunması			0,117072			
		0,994893629	0			
		0,991982307	0	0,991982		
		0,794557381	-0,06074			
		0,792232296	-0,09076	0,701469		
Aylık Ortalama Rd Değeri			1,41415			
			Denizli(ekim)			
Yat. Düz.Gel. Ay.Ort.Tüm Işınımı (Q)		12,40	MJ/m2-gün			

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

Şekil Ek 1.1. Gün sayısına göre deklinasyon, saat açısı, gün uzunluğu ve ry değerinin bulunması

Deneyler Denizli ili Kızıldere'de yapıldığından bölgede yatay yüzeye gelen aylık ortalama tüm ve direkt ışınım değerleri ile atmosfer dışı ortalama ışınım değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için meteorolojinin geçmiş yıllarına ait datalar alınmıştır [33].

Q=12.4 Mj/m^2-gün

Q_d=7.4 Mj/m^2-gün

Q_0=23.6 Mj/m^2-gün

Q_y=Q-Q_d =5 Mj/m^2-gün

Şekil Ek1.2 de gösterildiği gibi eşitlik 3.16 dan r_y değeri ile toplam yayılı ışınım çarpılarak

$$I_y = r_y Q_y = 0.1170x5$$

I_y=163 W/m^2

anlık yayılı ışınım bulunur ve piranometreden okunan tüm ışınımdan yayılı ışınım çıkarılarak anlık direkt ışınım bulunur.

$I_d = I_t - I_y$= 844-163=681 W/m^2

	A	B	C	D	E	F
	Yat. Düz.Gelen Aylık Ort. Direkt. Iş.(Qd)	7,4	Mj/m2-gün			
	Yat.Düz. Gelen Aylık Ort. Atm. Dışı Işınımı (Qo)	23,6	Mj/m2-gün			
	Qy=Q-Qd	5	Mj/m2-gün			
	Anlık yay. Işın.(Iy) için ry ile çarpılarak bulunur Iy=Qy*ry	163	W/m2			
	Piranometreden ölçülen toplam ışınım	844	W/m2			
	Direkt ışınım değeri	681	W/m2			
	Eğik Düzleme gelen direkt ışınım	621	W/m2			
	Veya Berraklık indeksine göre hesaplandığında					
	Kt= Q/Qo	0,5254				
	Ky= 1.390-4.027*Kt+5.531*Kt^2-3.108Kt^3	0,3502				
	Ky= Qy/Q den Ortalama Yaylı (Qy) Işınımın bulunması	4,34	Mj/m2-gün			
	ry değeri	0,11707				
	Anlık yaylı ışınım Iy	141	W/m2			
	Rd değeri	0,9116				
	Yaylı Işınım Piranometreden okunan toplam ışınımdan çıkarılırsa					
	Direkt ışınım miktarı bulunur. Id=It-Iy					
	Tüm Güneş Işınımı	844	W/m2			
	Direkt ışınım değeri	703	W/m2			
	Eğik Düzleme gelen direkt ışınım	641	W/m2			
	Geliş Açısı (deklinasyon açısına eşit)	6,00				
	Aynanın yansıtma Oranı	0,85				
	Camın geçirgenlik katsayısı	0,85				
	Boruların yutuculuk oranı	0,91				
	Yutucuya Ulaşan ışınım Miktarı(Idy)	406	W/m2			

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

Şekil Ek 1.2. Yayılı ışınım ve direkt ışınımın bulunması

Liu ve Jordan tarafından teklif edilen (3.19, 3.20) K_y ve K_t değerleri kullanılarak yani berraklık indeksi yöntemine göre de direkt ışınım bulunabilir (Şekil Ek1.2). Yayılı ışınım için çok çeşitli çalışmalar ve yaklaşık formüller kullanılmıştır. Bu formüller de geçmiş yıllara ait bölgede tespit edilen aylık ortalama değerleri kullanmaktadır.

K_t, tüm ışınım miktarının atmosfer dışı ortalama güneş ışınımına bölünmesiyle elde edilmektedir.

$K_t=Q/Q_o=12.4/23.6$

$K_t=0.5254$

bulunur. Gerçek değerlere uygunluk için Liu Jordan formülünden (polinom formülüyle) K_y ,

$$K_y = 1.390 - 4.027K_t + 5.531K_t^2 - 3.108K_t^3$$

$$K_y = 1.390 - 4.027x(0.5254) + 5.531x(0.5254)^2 - 3.108x(0.5254)^3$$

$K_y=0.3502$

bulunur. Yayılı ışınımın tüm ortalama ışınıma oranı olarak bilindiğinden K_y polinom eşitliğinden yayılı ışınım katsayısı bulunur.

$K_y = \frac{Q_y}{Q}$ eşitliğinden

Q_y= 4.34 Mj/m^2-gün

ve r_y değeriyle Q_y değeri çarpılarak anlık ışınım bulunur.

$I_y=Q_y\ r_y=4.34x0.1170$

$I_y=141$ W/m^2

bulunur. Piranometre ile anlık tüm ışınım miktarı okunmuştur. Direkt (I_d)değerini bulmak için yukarıda bulunan anlık yayılı ışınım miktarı çıkarılır. Bu yöntemle direkt ışınım I_d=703 W/m^2 olarak bulunmuştur.

Ek 1. 2. Yutucudaki Isı Geçiş Katsayısı

Isıl kayıplar yutucuda ışınım, taşınım ve iletim yoluyla olmaktadır. Yutucu düz bir toplayıcı gibi düşünülerek hesaplama yapılmıştır. Önce yutucunun alt kısmından olan ışınım kayıpları ele alınmıştır (Şekil 6.1).

Yutucunun alt tarafında rüzgardan dolayı ısı taşınım katsayısını bulmak için aşağıdaki 6.10 eşitliğinden rüzgar hızı(V) 4 m/s konularak

$h_{t-d} = 5.7 + 3.8\ V = 5.7 + 3.8 \times 4$

$h_{t-d} = 20.9\ W/m^2K$

bulunur. Saydam örtü ile çevre arasındaki ışınımla ısı transfer katsayısını bulurken ortam sıcaklığı(24+273)=297 K ve cam örtünün sıcaklığı için plaka ve dış ortam sıcaklığının ortalaması (297+347)=322 K alınarak 6.11 eşitliğinden,

$$h_{1-d} = \varepsilon_c \sigma (T_c + T_{çev})(T_c^2 + T_{çev}^2) = 0.88x5.67x10^{-8}(322 + 297)x(322^2 + 297^2)$$

$h_{1-d} = 5.94\ W/m^2\ K$ bulunur.

A	B	C	D	E	F
Isı İletim Katsayıları					
Paslanmaz Çelik (kpç),1,5 mm	0,00015	15	W/m^2K		
Cam Yünü (kcy), 50 mm	0,05	0,043	W/m^2K		
Al. Levha (kal), 0,1mm	0,0001	0,071	W/m^2K		
Amyant (ka), 2mm	0,002	0,098	W/m^2K		
Sentetik Yalıtım (ks), 2 mm	0,002	0,082	W/m^2K		
Borular (kb), 8 mm	0,004	385	W/m^2K		
Hava Boşluğu (kh), 50 mm	0,05	0,038	W/m^2K		
Cam (kc), 3 mm	0,003	1,4			
Yutucu genişliği 0.2 m		0,2			
Stefan Bolzman Sabiti	5,67E-08				
Camın ışınım yayma oranı	0,88				
Bakırın ışınım yayma oranı	0,8				
Çeliğin ışınım yayma oranı	0,28				
Üst Plaka sıcaklığı	40	313			
Suyun Giriş Sıcaklığı(Tg)	57				
Ortam Sıcaklığı (Tçev)	24	297,15	K		
Suyun Çıkış Sıcaklığı(Tç)	92				
Camın Sıcaklığı (Tc)	(Tp+Tçev)/2	49,25	304,15	K	
Plakanın Sıcaklığı (Tp)	(Tg+Tç)/2	74,5	347,65	K	
Saydam Örtü ile Ortam arasındaki ışınım katsayısı		5,42	W/m^2 K		
Rüzgar Hızı		4	m/sn		
Rüzgar'dan dolayı taşınım katsayısı		20,9	W/m2 K		
			7,885445		
Sheet1 / Sheet2 / Sheet3 /					

Şekil Ek 1.3. Yutucudaki ısı geçiş katsayısının bulunması

Saydam örtü ile yutucu plaka paralel olduklarından ışınım katsayısı için aşağıdaki(6.13) eşitliği kullanıldı.

$$h_{1,p} = \frac{\sigma(T_p - T_c)(T_p^2 - T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1}$$

Stefan-Boltzman sabiti(σ)=5.67x10^{-8} W/m^{2}K^4, Plakanın sıcaklığı suyun giriş sıcaklığı ile çıkış sıcaklığının ortalaması alınarak

(T_p)=(57+92)/2)+273=347 K

bulunur. Cam örtünün sıcaklığı için plakanın sıcaklığı ile dış ortamın sıcaklığının ortalaması alınarak

(T_c)=(74.5+24/2)+273=322 K

bulunur. Plakayı oluşturan borular oksitlenmiş bakır olduğundan ışınım yayma katsayısı (ε_p) = 0.80 [49] cam örtünün ışınım yayma katsayısı ise (ε_c)=0.88 [33] olarak alınmıştır. Değerler yerlerine konulduğunda

$$h_{1,p} = \frac{5.67x10^{-8}(347+322)(347^2+322^2)}{\frac{1}{0.8} + \frac{1}{0.88} - 1}$$

$h_{1,p}$=5.68 W/m^{2}K

bulunur. Yutucu plaka ile saydam örtü (cam) arasında doğal taşınım ısı transfer katsayısını bulmak için yutucu ve cam sıcaklığının ortalaması 335 K alınarak tablolardan havanın fiziksel değerleri alınmıştır [39].

ν=0.0000206 m^2/s , Pr=0.697, k=0.0299 W/m K, mesafe(L)=0.05 m, g=9.81 m/sn^2 alınarak önce Ra(Rayleigh) sayısı,

$$Ra = \frac{2gL^3 \Pr(T_p - T_c)}{\vartheta^2 (T_p + T_c)} = \frac{2x9.81x(0.055)^3 x0.697x(347-322)}{0.0000206^2 x(347+322)}$$

Ra=202041

bulunur. Eğimli yüzey için yukarıda bulunan Ra ve toplayıcı eğimi(s) 37° alınarak yutucu ile plaka arasında taşınım katsayısı için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır [31].

$$h_{k,p-c} = \left\{1 + 1.44\left[1 - \frac{1708}{Ra\cos s}\right]\left[1 - \frac{(\sin 1.8s)^{1.6}(1708)}{Ra\cos s}\right] + \left[\left(\frac{Ra\cos s}{5830}\right)^{1.3} - 1\right]\right\}$$

$$h_{k,p-c} = \left\{1+1.44\left[1-\frac{1708}{20204\,\mathrm{Ix}\cos 37}\right]\left[1-\frac{(\sin 1.8x37)^{1.6}(1708)}{20204\,\mathrm{Ix}\cos 37}\right]+\left[\left(\frac{20204\,\mathrm{Ix}\cos 37}{5830}\right)^{1.3}-1\right]\right\}$$

$h_{k,p-c}$=2.41 W/m^{2}K

bulundu. Yutucunun alttan ısı geçiş katsayısı için dirençlerin değerleri yazılırsa

$$R_1 = \frac{1}{h_{t-d}+h_{1-d}} = \frac{1}{20.9+5.94}$$

R_1 = 0.0372 ve

$$R_2 = \frac{1}{h_{1-p}+h_{k,p-c}} = \frac{1}{6.156+2.41}$$

R_2 = 0.1167

bulunur. R_1 ve R_2 dirençlerinden

$$U_{alt} = \frac{1}{R_1+R_2} = \frac{1}{0.0372+0.1167}$$

U_{alt}=6.49 W/m^{2}K

bulunur. Bu değerler cam sıcaklığının 49 °C olduğu kabul edilerek bulundu. Sıcaklığın yeniden kontrolünde camın ışınım yutmadığı kabul edilerek,

U_1=h_{td}+h_{1d} =20.9+5.94=26.84 W/m^{2}K

U_2=h1p+$h_{k\text{-}p,c}$=6.156+2.41=8.566 W/m^{2}K

$$U_{alt}(T_p - T_{çev}) = U_1(T_c - T_{çev}) = U_2(T_p - T_c)$$

$$T_c = T_p - U_{alt}(T_p - T_{çev})/U_2$$

$$T_c = 347 - 6.49x(347-297)/8{,}566$$

T_c=309.3 K (31 °C)

bulunur. Cam sıcaklığı 309.3 K kabul edilerek yeniden işlem yapıldığında

U_1=h_{td}+h_{1d} =20.9+5.56=26.46 W/m^{2}K

U_2=h1p+$h_{k\text{-}p,c}$=5.81+2.68=8.49 W/m^{2}K

U_{alt}=6.27 W/m^{2}K

$T_c = 347 - 3.54x(347 - 297)/8.49$

T_c=310 K (37°C)

bulunur. Cam sıcaklığı fazla değişmediği için iterasyonu ilerletmeye gerek görülmeyerek cam sıcaklığı 310 K olarak kabul edildi. Şekil Ek1.5 te alttan ısı geçiş katsayının bulunması verilmektedir.

	A	B	C	D	E	F
	Suyun Çıkış Sıcaklığı(Tç)		92			
	Camın Sıcaklığı (Tc)	(Tp+Tçev)/2	49,25	310	K	
	Plakanın Sıcaklığı (Tp)	(Tg+Tç)/2	74,5	347,65	K	
	Saydam Örtü ile Ortam arasındaki ışınım katsayısı		5,59	W/m^2 K		
	Rüzgar Hızı		4	m/sn		
	Rüzgar'dan dolayı taşınım katsayısı		20,9	W/m2 K		
				8,090188		
				1,386364		
	İki paralel plakada ışınım katsayısı		5,835545	W/m^2 K		
	Yutucu ve Cam'ın Ortalama sıcaklığı		328,825	K		
	tablodan hava için alınan değerler					
	v		2,06E-05	m^2/sn		
	pr		0,697			
	k		0,0299			
	mesafe		0,055	m		
	yer çekim ivmesi		9,81	m/sn^2		
	Toplayıcı eğimi		37			
			0,085681	2,79E-07		
	Ra sayısı		306941,5			
		0,543636364	0,993032	0,993341		
			2,476891			
	Yutucu plaka ile cam arasındaki taşınım katsayısı		2,662369	W/m2 K		
			0,155			
	Alttan ısı kayıp katsayısı		6,433706	W/m2 K		

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

Şekil Ek 1.5. Yutucunun alttan ısı geçiş katsayının bulunması

Üstten olan ısı geçiş katsayısının tespiti için yutucuda kullanılan malzemelerin ısıl iletkenlik katsayıları ve kalınlıklarının bilinmesi gerekir (Tablo Ek1.1 ve Şekil 5.5).

Tablo Ek 1.1 Yutucuda kullanılan yalıtım malzemeleri [39]

Malzeme	Kalınlık(m)	İletim Katsayısı W/m^{2}K
Paslanmaz Çelik (k_1),1.5 mm	0.00015	15.0
Cam Yünü (k_2), 50 mm	0.05	0.043
Al. Levha (k_3), 0.1mm	0.0001	0.071
Amyant (k_4), 2mm	0.002	0.098
Sentetik Yalıtım (k_5), 2 mm	0.002	0.082
Borular (kb), 8 mm	0.004	385
Hava Boşluğu (kh), 50 mm	0.05	0.038
Cam (kc), 3 mm	0.003	1.4

Yutucunun üstten ısı geçiş katsayısı

$$U_{üst} = \frac{1}{R_4 + R_3}$$

$$R_3 = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{l_3}{k_3} + \frac{l_4}{k_4} + \frac{l_5}{k_5} = \frac{0.0015}{15} + \frac{0.05}{0.043} + \frac{0.0001}{0.071} + \frac{0.002}{0.098} + \frac{0.002}{0.082}$$

R_3=1.2

bulunur. R_4, yutucudan ortama ışınım direncidir. Çevre ile yutucunun üst kısmının sıcaklığı ortam sıcaklığından yaklaşık 10°C fazla olduğu (T_4=307 K) ve paslanmaz çeliğin ışınım yayma katsayısı 0.2 kabul edilerek R_4 direnci için

$$h_{4-d} = \varepsilon_c \sigma (T_4 + T_{çev})(T_4^2 + T_{çev}^2) = 0.2 \text{x} 5.67 \text{x} 10^{-8} \text{x} (307+297) \text{x} (307^2+297^2)$$

h_{4-d} = 1.804 W/m^{2}K

$$U_{üst} = \frac{1}{1.804 + 1.2}$$

$U_{üst}$=1.38 W/m^{2}K

bulunur. Kenardan olan ısı geçiş katsayısı için uzunluk (l), genişlik (b) yükseklik (t) olmak üzere yutucu çevresi

$A_{y\text{-çevre}}$ = 2 x (l+b)x t=0.624m^2 ve A_y 2.8 m^2 alındığında,

$$U_k = 0.6\left[\frac{A_{y-çevresi}}{Ay}\right] = 0.6x\left[\frac{0.624}{2.8}\right]$$

U_k=0.12 W/m^{2}K

bulunur ve ısı geçiş katsayısı

$$U_T = \left[U_{üst} + U_{alt} + U_k\right] = \left[1.38 + 6.43 + 0.12\right]$$

U_T=7.5 W/m^2 K bulunur.

Ek 1.3. Isıl Güç ve Isıl Verimin Bulunması

Deneydeki suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ile debi verilerek sistemin ısıl gücü 6.3 eşitliğinden bulunmuştur.

$$Q_u = mc_p(T_ç - T_g) = 0.075x4.187x(92-57)$$

Q_u=11 kW

bulunur. Deneysel ısıl verim ise piranometrelerle ölçülen direkt ışınım şiddeti (Tablo Ek 2.1) ve ortalama toplayıcı alanı (48m^2) verilerek 6.4 eşitliğinden,

$$\eta = \frac{mc_p(T_g - T_ç)}{I_d A_a} = \frac{0.075x4.187x(92-57)}{674x48}$$

η=34%

bulunur. Alınan ölçümlere göre ısıl güç ve ısıl verim değerleri Tablo Ek2.1 de verilmiştir.

	A	B	C	D	E	F
		1,03896E-05				
	Yalıtımın ısı geçiş katsayısı	1,209017945				
	Üst ortam geçiş katsayısı		1,804321			
	Üst toplam ısı geçiş katsayısı		1,361343			
	Yutucu Yüksekliği 116 mm		0,116			
	Yutucu yan yalıtım kalınlığı 20 mm		0,02			
	2*(l+b)*t		0,624			
	Kenardan ısı geçiş katsayısı		0,111429			
	Yutucu toplam ısı geçiş katsayısı		7,8900	W/m2 K		
	Boru yutma katsayısı		0,91			
	Cam geçirgenlik katsayısı		0,85			
	Ayna yansıtma oranı		0,85			
	Camın yansıtma oranı		0,143			
	Intercept faktörü		0,99			
	Giriş Sıcaklığı	Tgir	57	C		
	Ortam Sıcaklığı	Tçev	24	C		
	Çıkış Sıcaklığı	Tçık	92	C		
	Toplam Işınım		844	W/m^2		
	Yaylı Işınım		163	W/m^2		
	Direkt Işınım	Id	681	W/m^2		
	Açıklık Alanı	Aay	48	m^2		
	Deneysel faydalı ısı	Q	10990,88	W		
	Deneysel ısıl verim	η	33,62%			
	Debi		0,075	kg/sn		

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

Şekil Ek 1.5. Deneysel ısıl verimin bulunması

Deneysel ısıl güç ve ısıl verim değerleriyle teorik olarak ısıl verimi ve ısıl gücü bulup karşılaştırmak için aşağıdaki 6.6 eşitliği kullanılır.

$$\eta_0 = F_R(\tau\alpha)\gamma\rho - F_R U_T \frac{A_y}{A_a}\frac{(T_g - T_{cev})}{I_d}$$

Teorik ısıl verim için F_R ve I_d değerlerinin bulunması gerekir. Isı kazanç faktörü (F_R) için 6.21 eşitliği

$$F_R = \frac{mc_p}{A_y U_T}\left[1 - \exp\left(-\frac{A_y U_T F}{mc_p}\right)\right]$$

ve bilinmeyen verim faktörü(F) için aşağıdaki 6.22 bağıntısından bulunur.

$$F = \frac{1}{1 + \dfrac{U_T}{h_i + \dfrac{1}{\dfrac{1}{h_2} + \dfrac{1}{hr}}}}$$

Burada borulardan akan akışkanın bir kanal içinde aktığı düşünülmüştür (Şekil 6.2) ve $h_i = h_2$ kabul edilmiştir.

Yutucu için hidrolik çap bulunur. Yutucu yüksekliği 0.08 m, genişliği 0.02 m

Dh = 2 x(b x a)/(b+a) = 2x (0.08x0.02)/(0.08x0.02)

Dh = 0.0154 m.

bulunur. Debiden (0.075 kg/sn) suyun hızı 0.0792 m/sn bulunur. Tablodan [39] 110 °C deki suyun fiziksel değerlerinden kinematik vizkozitesi 0.00002168 m^2/sn ve Pr sayısı 1.06 ve iletim katsayısı k için 0.0246 alınır. Re için,

$$R_e = \frac{VxD_h}{\nu} = \frac{0.079x0.0246}{0.00002168}$$

Re = 56.2

bulunur. Nu için sıvılarda ve gazlarda kullanılan aşağıdaki 6.24 eşitliği kullanılmıştır [41].

$$N_u = 3{,}65 + \frac{0{,}19(\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}\,D_h / L)^{0.8}}{1 + 0{,}117(\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}\,D_h / L)^{0{,}467}}$$

$$N_u = 3{,}65 + \frac{0{,}19(56.2x1.0.6x0.15/14)^{0.8}}{1 + 0{,}117(56.21.060.15/14)^{0{,}467}}$$

$N_u = 3.67$

$$h_1 = \frac{kN_u}{D_h} = \frac{0.0246x3.67}{0.0154}$$

$h_1 = 5.86\ W/m^2\ K$

bulunur. h_r ışınımın bulunmasında, ortalama sıcaklık için cam örtü sıcaklığı ile plaka sıcaklığının ortalaması alınarak (328 K),

$$h_r = \frac{4\sigma T_{ort.}^3}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} = \frac{4x5.67x10^{-8}x328^3}{\frac{1}{0.80} + \frac{1}{0.88} - 1}$$

$h_r = 5.8\ W/m^2K$

bulunur. Yukarıda verilen (6.22) den

$$F = \frac{1}{1 + \frac{7.9}{5.86 + \frac{1}{\frac{1}{5.86} + \frac{1}{5.8}}}}$$

$F = 0.526$

bulunur. F_R değeri de yine yukarıda da verilen 6.21 eşitliğinden

$$F_R = \frac{0.075x4.187}{2.8x7.9}\left[1 - \exp\left(-\frac{2.8x7.9x0.53}{0.075x4.187}\right)\right]$$

$F_R = 0.52$

bulundu. Yutucunun yutma oranı (α) = 0.91 (Tablo 4.4), cam örtünün direkt ışınım geçirme oranı (τ) = 0.85 ve cam örtünün ışınımı yansıtma oranı kaynak 33'ten ρ_y=0.143 alınarak yutma- geçirme çarpanı için eşitlik 4.15 kullanılarak

$$(\tau\alpha)_e = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} = \frac{0.85x0.91}{1-(1-0.91)x0.143}$$

$$(\tau\alpha)_e = 0.784$$

bulunur. Aynanın yansıtma oranı(ρ)=0.85 [48], kapma (intercept) faktörü (γ) geliş açısı çok küçük olduğu için 0.99 alınabilir[6]. Deney esnasında ortam ve giriş sıcaklığı ile yukarıda hesaplanır ve bulunan ışınım şiddeti verilerek ısıl güç aşağıda verilen 6.3 eşitliğinden bulunur.

$$Q_u = F_R A_a I_d (\tau\alpha)\gamma\rho - F_R U_T A_y (T_g - T_{cev})$$

$$Q_u = 0.52x48x681x(0.783)x0.99x0.85 - 0.52x7.9x2.8x(57-24)$$

Q_u = 11 kW

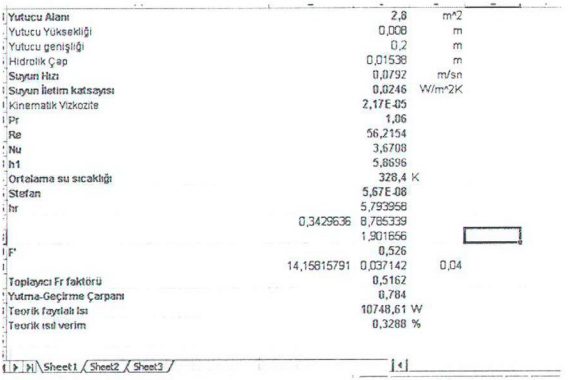
bulundu. Isıl verim ise (6.4) eşitliğinden

$$\eta_0 = F_R(\tau\alpha)\gamma\rho - F_R U_T \frac{A_y}{A_a}\frac{(T_g - T_{cev})}{I_d}$$

$$\eta_0 = 0.52x(0.783)x0.99x0.85 - 0.52x7.9x\frac{2.8}{48}x\frac{(57-24)}{681}$$

η_0 = 0.33

bulundu (Şekil Ek1.5).



Yutucu Alanı		2,8	m^2
Yutucu Yüksekliği		0,008	m
Yutucu genişliği		0,2	m
Hidrolik Çap		0,01538	m
Suyun Hızı		0,0792	m/sn
Suyun İletim katsayısı		0,0246	W/m^2K
Kinematik Vizkozite		2,17E-05	
Pr		1,06	
Re		56,2154	
Nu		3,6708	
h1		5,8696	
Ortalama su sıcaklığı		328,4	K
Stefan		5,67E-08	
hr		5,793958	
	0,3429636	8,785339	
		1,901656	
F'		0,526	
	14,15815791	0,037142	0,04
Toplayıcı Fr faktörü		0,5162	
Yutma-Geçirme Çarpanı		0,784	
Teorik faydalı ısı		10748,61	W
Teorik ısıl verim		0,3288	%

Sheet1 / Sheet2 / Sheet3

Şekil Ek 1.6. Yutucudaki teorik ısıl verim ve gücün bulunması

Tablo Ek2.1'de ısıl verim ve ısıl güç için saatlik sonuçlar verilmektedir. Günlük deneysel ve teorik karşılaştırma Şekil 7.30 ve Şekil 7.31 te görülmektedir. Aşağıda Tablo Ek1.2 ve Tablo Ek1.3 te ise direkt ışınımın yukarıda yapıldığı gibi hesaplama yöntemiyle ve iki piranometreden yararlanarak ölçümle bulunan direkt ışınım değerlerine göre teorik ve deneysel ısıl güç ve ısıl verim verilmektedir.

Tablo Ek1.2. Hesaplanan direkt ışınım şiddetine göre teorik ve deneysel ısıl güç ve ısıl verim sonuçları

							Teorik		Deneysel	
Saat	$T_{çev}$°C	T_{gir}°C	$T_{çık}$°C	id W/m^2	U_tW/m^{2}K	F_R	Q_u kW	η_0	Q_u kW	η_0
10	22,4	45	67	578	7,4133	0,5455	9,73	0,3507	6,9	0,27
11	24	57	92	681	7,8900	0,5359	11,17	0,3414	11,0	0,34
12	26,4	57	93	725	7,9149	0,5353	11,93	0,3428	11,3	0,32
13	29,4	60	94	740	7,8926	0,5354	12,18	0,3435	10,7	0,29
14	31,5	58	91	737	7,9287	0,5347	12,16	0,3437	10,4	0,30
15	32	57	89	707	7,8926	0,5354	11,69	0,3445	10,0	0,30
16	31	56	80	560	7,7569	0,5382	9,25	0,3435	7,5	0,30
17	31	56	73	523	7,6609	0,5402	8,66	0,3432	5,3	0,24
Günlük Ortalama Güç ve Verim							10,9	0,3441	9,14	0,295

Tablo Ek1.3. Ölçülen direkt ışınım şiddetine göre teorik ve deneysel ısıl güç ve ısıl verim sonuçları

							Teorik		Deneysel	
Saat	$T_{Çev}$°C	T_{gir}°C	$T_{çık}$°C	Id W/m^2	U_TW/m^{2}K	F_R	Q_u kW	η_0	Q_u kW	η_0
10	22,4	45	67	534	7,4133	0,5455	8,97	0,3599	6,9	0,27
11	24	57	92	672	7,8900	0,5359	11,01	0,3414	11,0	0,34
12	26,4	57	93	731	7,9149	0,5353	12,03	0,3428	11,3	0,32
13	29,4	60	94	776	7,8926	0,5354	12,79	0,3435	10,7	0,29
14	31,5	58	91	727	7,9287	0,5347	12,00	0,3437	10,4	0,30
15	32	57	89	709	7,8926	0,5354	11,73	0,3445	10,0	0,30
16	31	56	80	527	7,7569	0,5382	8,69	0,3435	7,5	0,30
17	31	56	73	459	7,6609	0,5402	7,56	0,3432	5,3	0,24
Günlük Ortalama Güç ve Verim							10,6	0,3453	9,14	0,295

Ek 1.4. Yutucu Boyutu Hesabı

Yutucuya ışınların tam odaklanması için yutucunun odak noktasının tespiti gerekir. Silindirik yüzey olan toplayıcının çapı 48 m, odak mesafesi (r) 12.0 m ve aynanın genişliği (a) 2.1 m dir. Kenar açısı 6.26 eşitliğinden

$$\phi_r = \arctan g\left[\frac{8(f/a)}{16(f/a)^2 - 1}\right] = \arcsin\left(\frac{a}{2.r}\right)$$

$\phi_r = 10°$

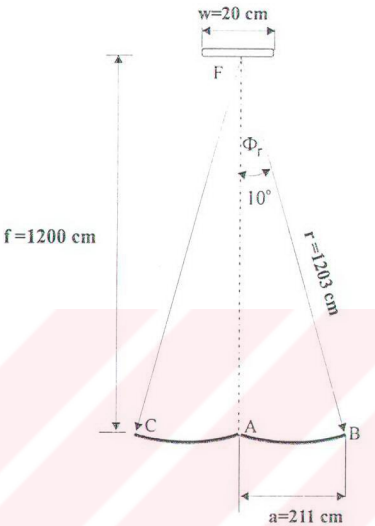
bulundu. İki ayna arası yutucuya olan açıklık 20° dir.Yutucunun boyutlandırılması için 6.29 ve 6.31 eşitlikleriyle yutucu genişliği

$$W` = \frac{4f}{\cos(1+\cos\phi_r)}\tan 16` = \frac{2R^2}{2f - R}\tan 16`$$

$$W` = \frac{2x12.03^2}{2x12 - 12.03}\tan 16`$$

W' = 11.3 cm

bulundu. Fakat yansıtma hatalarından dolayı tam odaklanmayan ışınları toplayabilmek için yutucu genişliği 20 cm olarak imal edilmiştir.



Şekil Ek 1.7 Yutucu odak mesafesi ve aynaların genişliği

EK.2. DENEY DATALARI

Sıcak su ve kızgın buhar için yapılan deneylerde her 15 dakikalık periyotlarda alınan ölçümler aşağıda tablo olarak verilmiştir.

Tablo Ek2.1 270 lt/h sabit debide alınan ölçümler

Zaman (h)	Tortam °C	Rüzgar m/sn	Nem %	Tgir °C	Tçık °C	T.Işınım W/m²	Y.Işınım W/m²	D.Işınım W/m²	Isıl Güç kW	Verim %
9,00	21	2	48	32						
9,15	21,5	2	46	36	51	590	163	427	4,7	0,23
9,30	22	2	44	38	55	640	163	477	5,3	0,23
9,45	22,2	2,5	41	40	59	680	172	508	6,0	0,24
10,00	22,4	2,5	40	45	67	708	174	534	6,9	0,27
10,15	22,8	2	39	50	77	780	167	613	8,5	0,29
10,30	23	2,5	38	52	81	801	174	627	9,1	0,30
10,45	23,6	2,5	37	55	87	812	154	658	10,0	0,32
11,00	24	2,5	37	57	92	844	172	672	11,0	0,34
11,15	24,5	2,5	38	58	90	864	163	701	10,0	0,30
11,30	25	2,5	38	58	93	880	170	710	11,0	0,32
11,45	25,5	2,5	38	57	96	898	167	731	12,2	0,35
12,00	26,4	3	37	57	93	908	177	731	11,3	0,32
12,15	27,8	3,5	36	57	92	928	174	754	11,0	0,30
12,30	28,4	3,5	34	57	92	928	167	761	11,0	0,30
12,45	29	3,5	33	57	93	937	177	760	11,3	0,31
13,00	29,4	3,5	32	60	94	930	154	776	10,7	0,29
13,15	30	3,5	32	61	95	950	181	760	10,7	0,28
13,30	30,4	4	30	60	93	936	167	769	10,4	0,28
13,45	31	4	28	59	94	930	181	749	11,0	0,31
14,00	31,5	4	28	58	91	920	193	727	10,4	0,30
14,15	31,8	4	27	58	95	905	184	721	11,6	0,34
14,30	32	4	26	58	95	896	174	722	11,6	0,34
14,45	32,2	4	26	57	91	889	174	715	10,7	0,31
15,00	32	4	26	57	89	870	161	709	10,0	0,30
15,15	32	4	26	57	87	820	165	655	9,4	0,30
15,30	31,5	4,5	27	56	85	751	163	588	9,1	0,32
15,45	31	4,5	27	56	82	730	174	556	8,2	0,31
16,00	31	4,5	27	56	80	690	163	527	7,5	0,30
16,15	31	4,5	27	56	79	650	163	487	7,2	0,31
16,30	31	4,5	28	56	78	625	151	474	6,9	0,30
16,45	31	4	28	56	77	615	151	464	6,6	0,30
17,00	31	4	28	56	73	610	151	459	5,3	0,24

Tablo Ek 2.2 bar basınç ve 138-140 °C çıkış sıcaklığında buhar üretiminde alınan ölçümler

Zaman (h)	Tortam °C	Rüzgar m/sn	Nem %	Tgir °C	T.Işınım W/m^2	Y.Işınım W/m^2	Debi kg/sn	Isıl Güç kW	Verim %
9,00	18	1,5	40	24	680				
9,15	19	1,5	40	24	685	120	0,00779	7,01	0,26
9,30	19	1,5	39	24	700	120	0,00843	7,59	0,27
9,45	19	1,5	38	26	785	120	0,01035	9,31	0,29
10,00	21	1,5	37	28	812	120	0,01031	9,28	0,28
10,15	22	1,5	34	29	842	125	0,01158	10,43	0,30
10,30	23	1,5	32	30	875	125	0,01157	10,41	0,29
10,45	23,2	1,5	28	31	900	125	0,01219	10,97	0,29
11,00	23,4	1,5	27	32	921	128	0,01217	10,95	0,29
11,15	23,6	1,5	26	33	940	130	0,01279	11,51	0,30
11,30	24	1,5	25	34	954	130	0,01341	12,07	0,31
11,45	24	1,5	24	35	954	130	0,01434	12,91	0,33
12,00	24,5	1,5	25	35	968	130	0,01434	12,91	0,32
12,15	24,5	1,5	26	36	987	130	0,01623	14,60	0,36
12,30	25	2,5	27	37	987	130	0,01429	12,86	0,31
12,45	25	2,5	28	38	1000	125	0,01459	13,13	0,31
13,00	25	2,5	30	38	990	120	0,01364	12,27	0,29
13,15	25	2,5	30	38	804	120	0,01269	11,42	0,35
13,30	25	2,5	30	38	988	115	0,01427	12,84	0,31
13,45	25	2,5	28	38	980	115	0,01459	13,13	0,32
14,00	25	2,5	28	38	978	110	0,01459	13,13	0,32
14,15	25	2,5	27	39	960	110	0,01488	13,39	0,33
14,30	25	2,5	26	39	955	110	0,0152	13,68	0,34
14,45	25	2,5	26	39	925	110	0,01583	14,25	0,36
15,00	25	2	25	39	908	111	0,01615	14,53	0,38
15,15	25	2	25	39	896	111	0,01615	14,53	0,39
15,30	26	2	24	39	867	112	0,01583	14,25	0,39
15,45	26	2,5	24	39	840	113	0,0152	13,68	0,39
16,00	26	2,5	24	40	806	113	0,01359	12,23	0,37
16,15	26	2,5	24	40	768	114	0,01138	10,24	0,33
16,30	26	2,5	24	40	740	114	0,01075	9,67	0,32
16,45	26	2,5	24	40	700	114	0,00885	7,97	0,28
17,00	26	2,5	24	40	680	115	0,00759	6,83	0,25

EK.3. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Yapılan bir deneyde hata oranının tespiti için belirsizlik analizi (uncertanity analysis) yapılmaktadır. Belirsizlik analizinde toplam hata oranı (W_R) aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır[52].

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial X_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial X_2} W_2 \right)^2 + ... + \left(\frac{\partial R}{\partial X_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \qquad \text{(Ek3.1)}$$

Bu bağıntıda R ölçülmesi gereken büyüklük, X bu büyüklüğe etki eden bağımsız değişkenler ve W ise her değişkenin hata oranlarını göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmada sıcaklık, debi, güneş ışınımı değerleri okunarak ısıl verim ve ısıl güç hesaplanmıştır. Toplam belirsizliğin bulunması için her bağımsız değişkenin belirsizlik değerinin bilinmesi gerekir. Değişkenlerin belirsizlik değerleri [52, 53, 54, 55] kaynaklarından yaralanarak faydalanılarak; tablo değerlerinin okunmasında ±%1, solarimetre değerleri için ±%3, debi için ±%2, sıcaklık için ±%0.5 alınmıştır.

5 Ekim 2003 tarihinde 270 lt/h sabit debide sıcak su ile yapılan deneyde saat 10:00 da giriş sıcaklığ 22.4 °C, çıkış sıcaklığı 45 °C, direkt ışınım miktarı 534 W/m^2 ye göre yutucuya geçen faydalı ısı miktarı için 6.3 eşitliğinden

$$Q_u = mc_p(T_ç - T_g)$$

$$Q_u = 0.075x4.187(45 - 22.4)$$

Q_u= 6.9 kW bulunur.

ve ısıl verim için 6.4 eşitliği kullanılarak

$$\eta = \frac{0.075x4.187(45-22.4)}{534x48}$$

η=27%

bulunmuştur. Hata analizi yapabilmek için deneye ait bilinenler aşağıda verilmiştir.

Yansıtıcı aynaların alanı(A_a) : 48 m^2

Suyun debisi(m) : 270 lt/h

Sabit basınçta ısınma ısısı(C_p): 4.187 kj/kgK

Sıcaklık farkı(Δt) : 22.6 °C

Isıl güç için Ek3.1 eşitliği düzenlenirse,

$$W_{RQ} = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial m}W_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C_p}W_2\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta t}W_3\right)^2\right]^{1/2} \qquad \text{(Ek3.2)}$$

bulunur. Parantez içindeki değerlerin türevleri alınıp değerleri yazıldığında

$$\frac{\partial Q}{\partial m} = C_p \Delta t = 4.187x22.6 = 94626$$

$$\frac{\partial Q}{\partial C_p} = m\Delta t = \frac{270}{3600}x22.6 = 1.695$$

$$\frac{\partial Q}{\partial C_p} = mC_p = \frac{270}{3600}x4187 = 314.025$$

bulunur.

$$W_1 = 4187x0.01 = 41.87$$

$$W_2 = \frac{270}{3600}x0.02 = 0.0015$$

$$W_3 = 22.6x0.005 = 0.11$$

Ek3.2 eşitliğinde bulunan değerler yerlerine konursa

W_{RQ}=2.3%

Q_u= 6900±162

Aynı işlemler Ek3.1 eşitliğinden ısıl verim için yapılırsa

$$W_{R\eta} = \left[\left(\frac{\partial \eta}{\partial Q}W_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I}W_2\right)^2\right]^{1/2} \qquad \text{(Ek3.3)}$$

denklemi bulunur. Alan 48 m^2 sabit katsayı kabul edilerek türevler alınıp değerleri yerlerine yazılırsa,

$$\frac{\partial \eta}{\partial Q} = \frac{1}{48I} = \frac{1}{48x534} = 3.9x10^{-5}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial I} = \frac{Q}{48I^2} = \frac{6900}{48x534^2} = 1.05x10^{-5}$$

$W_1 = 6900x0.023 = 158.7$

$W_2 = 534x0.03 = 16.02$

bulunur. Değerler Ek3.3 eşitliğinde yerine yazılırsa

$W_{R\eta}$=3.833x10-5=6.2x10-3=%0.6

η=%27±%0.6

bulunur.

EK.4. DENEY SETİNİN MALİYETİ

Aşağıdaki tabloda silindirik yoğunlaştırıcı, düz yutucu, güneş takip sistemi pompa, sistemi ayakta tutan konstrüksiyon ve bağlantılar ile kullanılan yalıtım malzemelerinin 1 m^2 alana karşılık gelen maliyetleri verilmektedir.

Tablo Ek4.1 Silindirik yoğunlaştırıcının maliyeti

Kullanılan Malzeme	TL/m^2	Açıklama
Ayna	$25x10^6$	3 mm flotal ayna
Ayna çerçeveleri, profiller	$12 x10^6$	• 1 m^2 ayna için 2 mm demir profil 1kg • 1 m^2 ayna için 1,2 mm ızgara saç 1,2 kg • 1 m^2 ayna için mesnet 0,5 kg
Takip sistemi	$6 x10^6$	60 W ile çalışan mekanik dişli sistem • Sonsuz vida dişlisi • Motor
Toplayıcı borusu	$3 x10^6$	• Borular 10 mm çapında paslanmaz boru
Toplayıcı kutusu	$3 x10^6$	20 m^2 1,2 mm paslanmaz saç
Yalıtım malzemesi	$1 x10^6$	• Cam yünü • Amyant • Sentetik yalıtım
Toplayıcı direkleri	$4 x10^6$	120 m 6 inç boru
Toplayıcı taşıyıcı konsolu	$3 x10^6$	Çeşitli profiller 1500kg
Pompa	$0,5 x10^6$	0,6 kW, 5 bar basınçlı
Isı değiştirici	$2 x10^6$	Buhar ve sıcak sudan ısıyı atmak için
Temel kazı ve beton	$0,5x10^6$	Kolonlar ve destek için

Satın alınan veya imal edilen kalemlere kendi tutarları kadar işçiliğin eklenmesi gerekmektedir. Yukarıdaki birimler kullanılarak 50 m^2 alan için yaklaşık 6 milyar TL (4600$)yakın maliyet ortaya çıkmaktadır. Eğer elektrik amaçlı olarak kullanılacak ise bu rakamlara türbin ve jeneratör bağlantılarını eklemek gerekir. Piyasada 50 m^2 alandan elde edilen buhar için uygun bir türbin bulunamadığından fiyatlara eklenmedi.

ÖZGEÇMİŞ

1959 yılında Siverek'te doğdu. Makine mühendisliği lisansını Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesinde 1985 de tamamladı. 1987 yılında bir kamu kuruluşu olan Gerkonsan'da (Bolu-Gerede) 6 yıl çalıştı. Aynı fabrikaya bağlı olarak 3 yıl Şanlıurfa II. 500 Evren Sanayi Sitesinin kuruluşunda şantiye sorumlusu olarak görevlendirildi. Yüksek lisansını Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde 1996'da bitirdi. 1997 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Enerji Dalında Doktorası devam etmektedir. 1994 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta iken, 2002 yılında Arş.Gör. kadrosuna geçişi sağlanarak 35/C maddesine göre doktora yaptığı Sakarya Üniversitesinde görevine devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.