

GÜL TAZE

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2010

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ VERİMİNİ ETKİLEYEN  
BAZI PARAMETRELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Gül TAZE

OCAK 2010

**Makina Anabilim Dalı** Gül TAZE tarafından hazırlanan DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ VERİMİNİ ETKİLEYEN BAZI PARAMETRELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Yahya DOĞU

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali ERİŞEN

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Yahya DOĞU

Üye : Prof. Dr. Veli ÇELİK

28/01/2010

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ VERİMİNİ ETKİLEYEN BAZI PARAMETRELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

TAZE, Gül

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yahya DOĞU

Ocak 2010, 113 sayfa

Yenilenebilir enerji konusunda giderek artan gereksinimler, bu kaynakların daha verimli kullanılmasına yönelik araştırmaları artırmaktadır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinin faydalı enerjiye dönüştürüldüğü çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Bunlardan pratikte en yaygın olan güneş enerjisi sistemleri düz güneş kollektörlerini kullanmaktadır. Düz güneş kollektörlerinin mevcut verimlerinin değerlendirilmesi ve verim artışına yönelik parametrik analizlerinin teorik ve deneysel olarak yapılması, kollektör dizayn optimizasyonuna, enerji kaynaklarının verimli kullanılmasına ve enerji tasarrufuna önemli katkılar sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, düz güneş kollektörü verimini etkileyen üç temel parametrenin (boru geçiş sayısı, boru malzemesi ve boru-yutucu plaka birleşim yöntemi) etkisi deneysel olarak incelendi. Bu amaçla, gerçek dış ortam şartlarında standartlara uygun (Türk Standartları Enstitüsü Normu, TS-EN-12975-2) bir deney düzeneği oluşturuldu. Verimi etkileyen üç temel parametrenin etkisini incelemeye yönelik, yerli imalattan seçilen beş farklı kollektör test edildi ve parametrelerin verimdeki etkisi belirlendi.

Yapılan deneyler sonucunda, artan boru geçiş sayısı ile verimin genel anlamda %20 arttığı belirlendi. Boru malzemesi olarak alüminyum yerine daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip bakır kullanılması durumunda, verimdeki değişimin %2 civarında

oldukça kısmi olduğu gözlendi. İlaveten, lazer kaynak ile boru–yutucu plaka birleşimi, kenetleme birleşimine göre daha iyi temas sağladığından, verimin genel anlamda %10 daha yüksek gerçekleştiği tespit edildi.

Ayrıca, parametrik verim analizine ilaveten, yerli imalatı yapılan kollektörlerin verimleri gerçek dış ortam şartlarında deneysel olarak belirlendi. Bu sayede, yerli kollektör imalat sanayine, somut verim değerleriyle dizayn optimizasyonuna yönelik katkı sağlandı.

**Anahtar kelimeler:** Güneş Enerjisi, Düz Güneş Kollektörü, Verim

## **ABSTRACT**

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOME PARAMETERS AFFECTING EFFICIENCY OF SOLAR FLAT COLLECTOR**

TAZE, Gül

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya DOĞU

January 2010, 113 pages

Gradually increasing demands on renewable energy have been increasing the researches on the efficient usage of these resources. Solar energy is one of the renewable energy resources. There are various applications to convert the solar energy into usable energy. Among them, most common solar energy systems in practice use solar flat collectors. Evaluation of the existing efficiency of the solar flat collectors, and theoretical and experimental parametric analyses for higher efficiency will make significant contributions to collector design optimization, efficient use of the energy resources and energy savings.

In this thesis study, the effect of three main parameters (pipe number, pipe material, and welding method of pipe and absorber plate) dominating the efficiency of the flat solar collector were experimentally investigated. For this purpose, an experimental setup is established fulfilling the standards (Turkish Standards Institute Norm, TS-EN-12975-2) at the real outside environmental conditions. In order to examine the effect of three main parameters affecting the efficiency, five different collectors chosen from the national manufacturing companies were tested and the effects of the parameters on the efficiency were determined.

As a result of the experiments, it was determined that the efficiency has increased in about 20% with increasing pipe number. A partial efficiency increase of 2% was

observed when the copper with higher heat conductivity was used as the pipe material instead of aluminum. In addition, since the laser welding provides better contact between pipe–absorber plate, the efficiency for laser welding determined as about 10% higher.

Moreover, in addition to the parametric efficiency analysis, the efficiencies of collectors manufactured nationally were determined experimentally in the real outside environmental conditions. As a result of quantifying the real collector efficiencies, valuable information was provided for collector design optimization for nationwide manufacturing companies.

**Key Words:** Solar Energy, Flat Solar Collector, Efficiency

## **TEŐEKKÖR**

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Yahya DOĞU'ya, ve bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da manevi yardımlarını esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GÜNEŞ ENERJİSİ</b> .....	4
2.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri .....	4
2.1.1. Güneş enerjisinin ısı olarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi .....	5
2.1.2. Güneş enerjisinin fotovoltaik olarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi .....	7
2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamaları .....	8
<b>3. GÜNEŞ AÇILARI VE GÜNEŞ IŞINIMI HESABI</b> .....	13
3.1. Güneş açıları.....	14
3.1.1. Esas güneş açıları .....	15
3.1.2. Yatay düzlem açıları .....	17
3.1.3. Eğik düzlem açıları .....	20
3.2. Güneş ışınımı hesabı .....	22
3.2.1. Atmosfer dışındaki düzleme gelen güneş ışınımı .....	24
3.2.2. Yeryüzüne gelen güneş ışınımı .....	26
3.2.2.1 Yeryüzünde yatay düzleme gelen güneş ışınımı .....	28
3.2.2.2 Yeryüzünde eğik düzleme gelen güneş ışınımı.....	30
<b>4. DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ</b> .....	35
<b>5. DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ISIL ANALİZİ</b> .....	41
5.1. Anlık kollektör verimi.....	45
5.2. Günlük kollektör verimi.....	47
<b>6. DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ DENEYLERİ İÇİN TÜRK STANDARTLARI</b> <b>ENSTİTÜSÜ TARAFINDAN ÖNGÖRÜLEN ŞARTLAR</b> .....	48
6.1. Verim deneyi genel şartları .....	48
6.2. Bina dışı durgun hal verim deneyi şartları .....	49



6.3. Kollektör verim deneyinde yapılması gereken ölçümler .....	50
6.4. Deney periyodu .....	50
<b>7. DENEY TESİSATI</b> .....	<b>51</b>
7.1. Deneyde kullanılan cihazlar ve ölçü aletleri .....	58
7.2. Deneyin yapılışı ve verim hesapları .....	64
7.3. Örnek verim hesabı .....	65
<b>8. VERİM TESTLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ</b> .....	<b>66</b>
8.1. Kollektör A deney verileri ve değerlendirilmesi.....	68
8.2. Kollektör B deney verileri ve değerlendirilmesi.....	75
8.3. Kollektör C deney verileri ve değerlendirilmesi.....	79
8.4. Kollektör D deney verileri ve değerlendirilmesi.....	87
8.5. Kollektör E deney verileri ve değerlendirilmesi .....	91
8.6. Kollektör veriminde etkili parametrelerin karşılaştırması .....	95
<b>9. SONUÇLAR</b> .....	<b>101</b>
<b>EK 1</b> .....	<b>104</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>111</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Güneş açıları sınıflandırılması.....	14
3.2. Çevrenin yansıtma oranı .....	32
6.1. Kollektör verim deneyinde ölçülen parametrelerin toleransları .....	50
7.1. DT 109 sıcaklık ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	60
8.1. Test edilen düz güneş kolektörlerinin teknik özellikleri .....	67
8.2. Test edilen düz güneş kolektörlerinin veriminde etkili parametreler için karşılaştırma grupları.....	67
8.3. Kollektör A deney sonuçları.....	69
8.4. Kollektör B deney sonuçları.....	76
8.5. Kollektör C, 1. deney sonuçları .....	81
8.6. Kollektör C, 2. deney sonuçları .....	84
8.7. Kollektör D deney sonuçları.....	89
8.8. Kollektör E deney sonuçları .....	92

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Güneş enerjisinin faydalı enerjiye dönüşüm yöntemleri.....	5
2.2. Düz güneş kollektörü .....	6
2.3. Çizgisel odaklı güneş kollektörü .....	6
2.4. Yüksek sıcaklık uygulamaları .....	7
2.5. Fotovoltaik uygulama.....	8
2.6. Türkiye'nin güneş haritası.....	9
2.7. Türkiye'nin ortalama aylık güneş enerji potansiyeli.....	9
2.8. Türkiye'nin ortalama aylık güneşlenme süresi .....	10
2.9. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin, bölgelere dağılımı .....	10
2.10.a. Tabi dolaşımli güneş enerjisi sistemi .....	11
2.10.b. Tabi dolaşımli güneş enerjisi şeması.....	12
3.1. Ortalama dünya–güneş mesafesinde güneş ışınımının atmosfer dışında spektral dağılımı .....	13
3.2. Gök küre üzerinde esas güneş açıları gösterimi .....	14
3.3. Deklinasyon açısının yıl boyunca değışimi.....	17
3.4. Yatay düzlem açıları.....	18
3.5. Eğik düzlem açıları.....	20
3.6. Güneş ışınımı sınıflandırılması .....	23
3.7. Yeryüzüne gelen ışınım bileşenleri .....	27
4.1. Düz güneş kollektörü şeması.....	36
4.2. Düz kollektör hava boşluklu yalıtım kesiti .....	38
4.3. Kollektör boru–yutucu plaka bağlantı şekilleri .....	39
4.4. Kollektör borularının dolaştırılma şekilleri.....	40
5.1.a. Düz güneş kollektörü ısı akış şeması .....	42
5.1.b. Düz güneş kollektörü ısı analiz şeması .....	42
5.2. Düz kollektörlerde ısı geçişinin elektrik benzeşimi .....	43
5.3. Güneş kollektörü veriminin işletme noktası parametresine göre tipik değişimi .....	46
7.1. Düz güneş kollektörü verim ölçümü için deney tesisatı şeması.....	51

7.2.	Deney tesisatı panoları.....	53
7.3.a.	Deney tesisatı genel görünüşü.....	54
7.3.b.	Deney tesisatı arazi yerleşimi.....	55
7.3.c.	Deney tesisatı sol yan görünüşü.....	55
7.3.d.	Deney tesisatı arka görünüşü.....	55
7.3.e.	Kaide üzeri deney tesisatı yerleşimi.....	56
7.3.f.	Deney tesisatı sehpa yerleşimi.....	56
7.3.g.	Deney tesisatı üç boyutlu şematik ön görünüşü.....	56
7.3.h.	Deney tesisatı üç boyutlu şematik sol yan görünüşü.....	57
7.3.ı.	Deney tesisatı üç boyutlu şematik arka görünüşü.....	57
7.3.i.	Deney tesisatı üç boyutlu şematik üst görünüşü.....	57
7.4.	Kompozit su deposu yapısı ve sac ile izole edilmiş hali.....	58
7.5.	Pano yerleşim detayı.....	59
7.6.	DT 109 Dijital sıcaklık okuyucu ve bağlantıları.....	59
7.7.	Komütatör.....	59
7.8.	Sıcaklık algılayıcı imalat adımları.....	61
7.9.	Cam tüplü debimetre ve bağlantısı.....	62
7.10.	Thermo-Anemometre(Extech AN200 Pervane Tipi).....	62
7.11.	Açı ölçer ve kollektöre montajı.....	63
7.12.	Rezistans.....	63
7.13.	Pusula.....	63
7.14.	Sirkülasyon pompası.....	64
7.15.	Düz güneş kollektörü verim ölçümü deney föyü.....	65
8.1.	Kollektör A, alüminyum yutucu plaka–bakır boru birleşim detayı.....	68
8.2.	Kollektör A için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi.....	70
8.3.	Kollektör A için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlam ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi.....	72
8.4.	Kollektör A için verimin, işletme noktası parametresine göre değişimi.....	74
8.5.	Kollektör B için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi.....	77

8.6.	Kollektör B için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi .....	78
8.7.	Kollektör B için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi.....	79
8.8.	Kollektör C, 1.deney için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi .....	80
8.9.	Kollektör C, 1.deney için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi.....	82
8.10.	Kollektör C, 1.deney için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi .....	83
8.11.	Kollektör C, 2.deney için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi .....	85
8.12.	Kollektör C, 2.deney için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi.....	86
8.13.	Kollektör C, 2.deney için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi .....	87
8.14.	Kollektör D, alüminyum yutucu plaka– alüminyum boru birleşim detayı....	87
8.15.	Kollektör D için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi .....	88
8.16.	Kollektör D için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi .....	90
8.17.	Kollektör D için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi .....	91
8.18.	Kollektör E için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi .....	93
8.19.	Kollektör E için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi.....	94
8.20.	Kollektör E için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi.....	95
8.21.	Tüm kollektörler için verimin işletme noktası parametresine göre değişimi	96
8.22.	Kollektör B ve C'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi .....	97

8.23. Kollektör D ve E'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi	98
8.24. Kollektör A ve B'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi	99
8.25. Kollektör E ve C'nin veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi	100

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

- a : Azimut açısı  
a<sub>g</sub> : Güneş azimut açısı  
A<sub>t</sub> : Kollektör faydalı yüzey alanı  
B<sub>s</sub> : Standart boylam  
B<sub>y</sub> : Yerel boylam  
c<sub>p</sub> : Sabit basınçta özgül ısı  
d : Deklinasyon açısı  
e : Enlem açısı  
f : Güneş sabitini düzeltme faktörü  
g : Geliş açısı  
GS : Güneş saati  
h : Saat açısı, ısı taşınım katsayısı  
I : Yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı  
I<sub>d</sub> : Yatay düzleme gelen anlık direkt tüm güneş ışınımı  
I<sub>e</sub> : Eğik düzleme gelen anlık toplam güneş ışınımı  
I<sub>ed</sub> : Eğik düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı  
I<sub>gs</sub> : Güneş sabiti  
I<sub>0</sub> : Atmosfer dışı yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımı  
I<sub>0e</sub> : Atmosfer dışı eğik düzleme gelen anlık güneş ışınımı  
I<sub>y</sub> : Yatay düzleme gelen anlık yayılı güneş ışınımı  
K : Toplam ısı geçiş (kayıp) katsayısı  
K<sub>y</sub> : Yayılı ışınım oranı  
K<sub>t</sub> : Berraklık indeksi  
k : Isı iletim katsayısı  
m : Debi  
n : 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı  
N : Cam sayısı  
Nu : Nusselt sayısı  
P : İşletme noktası parametresi  
q : Birim yüzeyden ısı geçişi  
q̇ : Birim yüzeyden bir anda ısı geçişi

- $Q$  : Isı geçişi, bir gün boyunca yatay düzleme gelen güneş ışınımı
- $Q_0$  : Atmosfer dışında bir gün boyunca gelen güneş ışınımı
- $R$  : Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımının yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımına oranı
- $r_t$  : Bir anda gelen tüm güneş ışınımının günlük toplam tüm güneş ışınımına oranı
- $r_y$  : Bir anda gelen yayılı güneş ışınımının günlük yayılı güneş ışınımına oranı
- $R_d$  : Eğik düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımının yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımına oranı
- $\bar{R}$  : Eğik düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımının yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımına oranı
- $\bar{R}_d$  : Eğik düzleme gelen günlük direkt güneş ışınımının yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınımına oranı
- $s$  : Eğim açısı
- $t$  : Güneşlenme süresi
- $t_0$  : Gün uzunluğu
- $t/t_0$  : İzafı güneşlenme süresi
- $T$  : Sıcaklık
- $y$  : yükseklik açısı
- $z$  : Zenit açısı
- $Z$  : Yükseklik
- $ZD$  : Zaman düzeltmesi
- $\eta$  : Anlık kollektör verimi
- $\rho$  : Yoğunluk, yansıtma oranı
- $\sigma$  : Stephan-Boltzman sabiti

#### Alt indisler

- $\dot{q}$  : Akışkan ıkış
- $g$  : Akışkan giriş

- EİE : Elektrik İşleri Etüd İdaresi
- ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığu
- TEP : Ton Eşdeğer Petrol
- TÜBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu



## 1. GİRİŞ

Aşırı nüfus artışı, endüstri alanındaki gelişmeler ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi nedenlerle dünyanın enerji ihtiyacı süratle artmaktadır. Artış gösteren enerji ihtiyacının karşılanması için gerekli fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim yoğunluk kazanmıştır.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengindir. Güneş enerjisi ise yenilenebilir enerji kaynakları açısından temiz bir kaynaktır. Güneş enerjisinin en yaygın kullanımı, düz güneş kolektörleri ile ve çoğunlukla düşük sıcaklık uygulaması olarak bilinen, evsel sıcak su ihtiyacının karşılanması şeklindedir. Türkiye’de yaklaşık 100 firma düz güneş kolektörü imal etmektedir. Ancak bu firmalar, imal ettikleri kolektörlerin verimli olması konusunda, bir mühendislik yaklaşımından ziyade deneme tabanlı bir imalat yaklaşımını hakim olarak kullanmaktadırlar. Verimi artırıcı yönde, parametrik verim analizlerini teorik veya deneysel olarak gerçekleştirme oranı oldukça kısımidir. Ayrıca, bu firmalar imal ettikleri kolektörleri uluslararası platformda kabul gören bir kuruluş tarafından oluşturulmuş deney düzeneğinde verimlilik testi yapamamaktadır. Kolektör üzerinde yapılan her bir tasarım değişikliği aynı işlemlerin tekrarını gerektirdiğinden, bu durumlar ise, yerli imalat yapan firmalar için çok yönlü kayıplara neden olmaktadır.

Kolektör veriminin iyileştirilmesi amacıyla birçok deneysel ve teorik çalışma gerçekleştirilmiştir (1–24). Bu çalışmalardan çıkan sonuçlara göre, kolektör verimi üzerinde etkin parametreler;

1. Boru geçiş sayısı,
2. Boru ve yutucu plaka malzemesi,
3. Boru–yutucu plaka birleşim yöntemi,
4. Yutucu plaka optik özellikleri,
5. Saydam örtü,
6. Yalıtım,
7. Eğim,
8. Boru–yutucu plaka konstrüksiyonu,

olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisi ve kollektör verimliliği konusunda yapılan araştırmalara temel teşkil edecek şekilde literatürde kapsamlı kitaplar bulunmaktadır (Kılıç ve Öztürk (1–2), Uyarel ve Öz (3), Hsieh (4) ve Atagündüz (5)). Kollektör verimine etki eden parametreleri laboratuvar şartlarında inceleyen çalışmalar da (Tırıs (6), Ağı ve Günerhan (7), ve Sabatelli ve Marano (8)) mevcuttur. Ayrıca Tırıs (9), kollektör optik özelliklerinin ısı kayıp katsayısına etkisini incelemiştir. Doğu vd. (10), düz kollektörde yutucu plakada oluşan ısı transferinin parametrik analizini teorik olarak yapmıştır. Güneş (11), düz kollektör optik verimi (yutma geçirme katsayısı) hesabı için bilgisayar programı geliştirmiştir. Tırıs ve Söhmen (12), bir otel için dizayn edilen güneş enerjisi sisteminde, yıllık enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanması için öngörülen kollektör sayısını hesaplamışlardır. Eisenmann vd. (13), kollektör verim faktörü ve yutucu plaka malzemesinin korelasyonu üzerinde analitik çalışma yapmıştır. Kundu (14), düz plakalı kollektörde, yutucu plakanın farklı geometrileri için sayısal olarak performans analizi ve optimizasyonu yapmıştır. Kazeminejad (15), paralel akışlı düz kollektörün sayısal ısı analizi üzerine çalışmıştır. Henden (16), güneş enerjisi sistemi ısı verimini incelemiştir. Abdullah vd. (17), düz kollektör ısı analizi yapmışlardır. Cristofari vd. (18), polimer malzemedен imal edilmiş düz kollektörün ısı performansı üzerine çalışmalar yapmıştır. Türk Standartları Enstitüsü (19–20), güneş enerji sistemleri ve bileşenleri deney metotları ve deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yeterliliği hakkında standart yayınlamıştır. Ayrıca farklı üniversitelerde, kollektör verimi hesabı ve tespitine yönelik çeşitli yüksek lisans tezleri (21–24) yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar, çoğunlukla laboratuvar içinde güneş simülatörü ile idealize edilmiş ortamda yapılmıştır. İdealize edilmiş şartların, elbette belli bir parametrenin verimdeki etkisini incelemeye yönelik, tekrar edilebilir uygun deney ortamı sağlayacağı açıktır. Ancak, laboratuvar şartlarında belirlenen parametrik etkinin, gerçek dış ortam şartlarında aynı oranda oluşması beklenemez. Gerçek dış ortam şartları ise (güneş ışınımı, rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, vs.), değişkenlik arz edecektir. Bununla birlikte, parametrik verim belirlemesi deneylerinin, kollektörün

çalıştığı gerçek dış ortam şartlarında yapılması daha pratik ve uygulamaya yönelik değerler elde edilmesini sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, gerçek dış ortam şartlarında, verimde daha etkin olan aşağıdaki üç temel parametrenin etkisi deneysel olarak incelenmiştir:

- 1- Boru geçiş sayısı,
- 2- Boru malzemesi,
- 3- Boru-yutucu plaka birleşim yöntemi

Tez çalışması kapsamında, Türk Standartları Enstitüsü Normu 12975-2 (TS-EN-12975-2) kullanılarak, standartlara uygun, gerçek dış ortam şartlarında düz güneş kollektörünün veriminin belirlenmesi için bir test düzeneği oluşturulmuştur. Yerli imalattan seçilen beş farklı kollektör, yukarıda belirtilen üç temel parametrenin verimdeki etkisini incelemeye yönelik gruplandırılmıştır. Bu kollektörler, deney düzeneğinde, ardışık günlerde test edilerek verim hesabı için gerekli veriler ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak, analitik formüller yardımıyla verim hesaplanmıştır. Kollektör deneylerinde elde edilen tüm değerler ve verim üzerinde etkin parametreler ilgili grafikler oluşturularak yorumlanmıştır.

## 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneşte; enerji üretiminin, hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları ile olduğu ileri sürülmektedir. Güneş bilimcileri, güneş çekirdeğindeki sıcaklığın yaklaşık  $25 \times 10^6$ °C olduğunu tahmin etmektedirler. Ancak, güneş ışınımı ise yaklaşık 5762K'de olan fotoküreden gerçekleşmektedir.

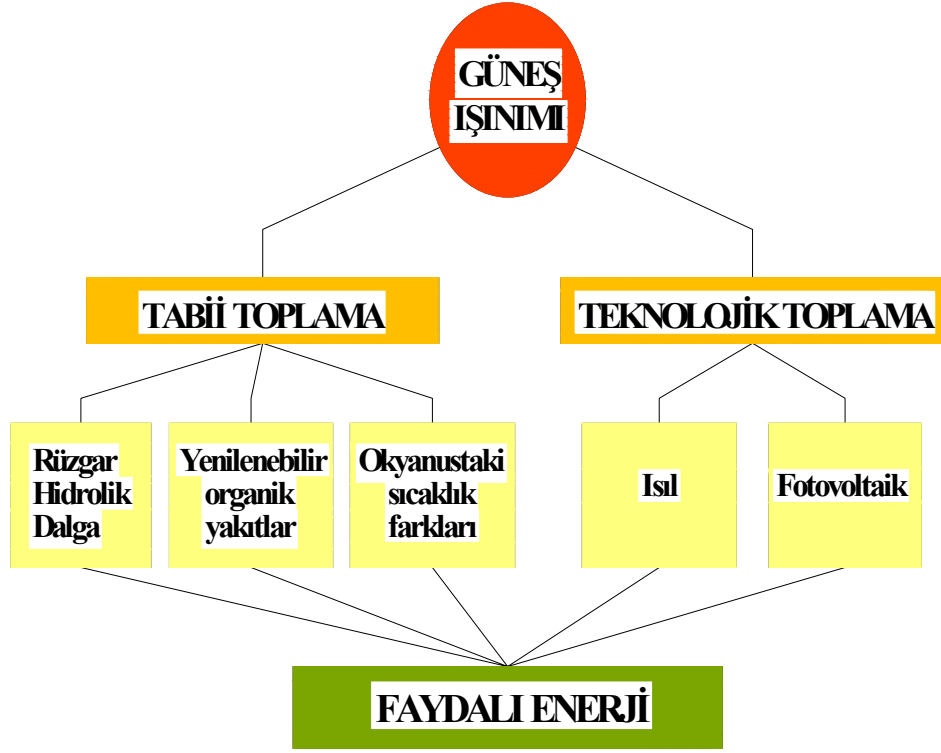
Termonükleer bir reaktör olan güneşin birim alanından birim zamanda çeşitli dalga boylarında  $62 \text{ MW/m}^2$  enerji yayılmaktadır. Güneşin bütün yüzeyinden neşredilen enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Buna rağmen bir yıl boyunca yeryüzüne gelen güneş enerjisi, dünya enerji tüketiminin milyonlarca katıdır.

Atmosfer dışında güneş ışınlarına dik birim alana gelen güneş ışınımı  $1353 \text{ W/m}^2$  olarak belirlenmiştir. Yeryüzünde birim alana gelen güneş ışınımı şiddeti ise 0– $1000 \text{ W/m}^2$  aralığında değişmektedir. Türkiye'nin bir bölümü güneş kuşağı adı verilen bölgede bulunmaktadır ve güneş enerjisi bakımından orta zenginliktedir. Yeryüzüne gelen güneş ışınımı, farklı mühendislik uygulamaları ile kullanılabilir formda faydalı enerjiye dönüştürülmektedir.

### 2.1 Güneş Enerjisinden Faydalanma Şekilleri

Güneş, aslında, yeryüzündeki tüm enerji formlarının kaynağıdır ve bu enerji formları güneş ışınımının maddeler üzerindeki tesirlerinden meydana gelmektedir. Halen kullanılan tüm fosil yakıtlar güneşin etkisiyle fotosentez yoluyla oluşmuşlardır.

Güneş enerjisinin teknolojik toplama aracılığı ile faydalı enerjiye dönüşümü, ısı ve fotovoltaj uygulamalarla gerçekleşmektedir. Şekil 2.1'de, güneş enerjisinden faydalanma şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Güneş enerjisinin faydalı enerjiye dönüşüm yöntemleri

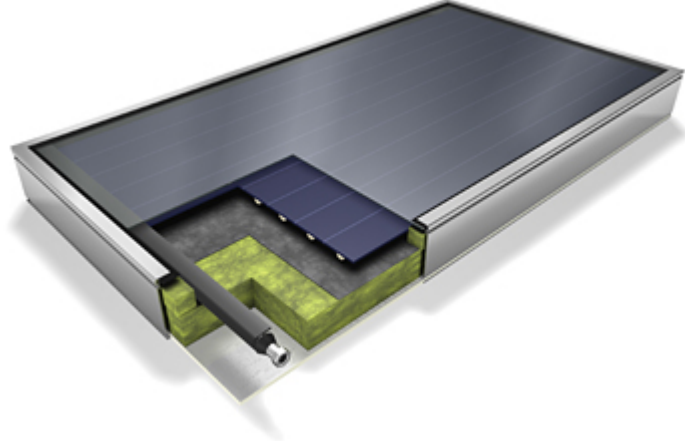
### 2.1.1 Güneş enerjisinin ısı olarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi:

Güneş enerjisinin faydalı enerjiye ısı yollarla dönüştürüldüğü sistemler üç farklı şekilde sınıflandırılırlar.

- |                                 |                                     |                                   |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Düşük sıcaklık uygulamaları  | ( $20 < T < 100^{\circ}\text{C}$ )  | Düz kollektör                     |
| 2. Orta sıcaklık uygulamaları   | ( $100 < T < 300^{\circ}\text{C}$ ) | Çizgisel yoğunlaştırıcı kollektör |
| 3. Yüksek sıcaklık uygulamaları | ( $T > 300^{\circ}\text{C}$ )       | Noktasal yoğunlaştırıcı kollektör |

#### **Düşük sıcaklık uygulamaları:**

Düşük sıcaklıklı ısı uygulamalarda, elde edilen enerji, sıcak su temininde, konutların ısıtılmasında ve soğutulmasında, sera ısıtılmasında, tarım ürünleri kurutulmasında, suyun damıtılmasında, yüzme havuzu ısıtılmasında, ve güneş ocaklarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan en yaygın konutlarda sıcak su temini uygulamasıdır. Konutlarda sıcak su temininde Şekil 2.2’de gösterilen düz güneş kollektörleri kullanılır. Güneş ışınım enerjisi, düz kollektörlerde faydalı enerji olarak akışkana aktarılır. Düz güneş kollektörleri Bölüm 4’te detaylı olarak incelenmiştir.



**Şekil 2.2.** Düz güneş kollektörü

**Orta sıcaklık uygulamaları:**

Orta sıcaklık uygulamalarında, ışınların çizgisel olarak odaklanması ile  $300^{\circ}\text{C}$ 'ye varan sıcaklık elde edebilen çizgisel odaklı parabolik kollektörler kullanılır (Şekil 2.3). Parabolik yüzeye düşen ışınım, parabolün odağında içinden akışkan geçen boru üzerine yoğunlaştırılır. Bu yoğun güneş ışınımı sayesinde boru içinden akan akışkan yüksek sıcaklıklara ulaşır. Bu tip uygulamalara örnek olarak, sanayi için su ve buhar temini, yüksek kapasiteli soğutma üniteleri, büyük çapta ısıtma sistemleri verilebilir. Çizgisel odaklı kollektörlerde bir eksenli güneşi takip gereklidir. Şekil 2.3'de çizgisel odaklı bir güneş kollektörü uygulaması görülmektedir.



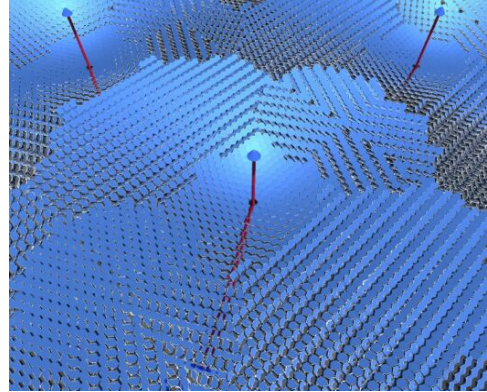
**Şekil 2.3.** Çizgisel odaklı güneş kollektörü

### **Yüksek sıcaklık uygulamaları:**

Yüksek sıcaklık uygulamalarında, 300°C'nin üzerinde sıcaklık elde edilir. Şekil 2.4 görüldüğü gibi, bu tip uygulamalar iki farklı şekilde yapılmaktadır. İlk uygulamada parabolik çanak kollektörler kullanılır ve iki eksende güneşi takibi sağlanarak güneş enerjisi noktasal olarak odaklanır. Odaklanma noktasında oluşan yüksek ısı enerjisi, akışkana aktarılır ve kullanılacak yere iletilir. İkinci uygulama ise, çok sayıda heliostat adı verilen yansıtıcılar, geniş bir alana gelen güneş ışınımını, alıcı adı verilen bir kule üzerine odaklar. Kule içerisinde bulunan ısı değiştiricisi sayesinde akışkan, çok yüksek sıcaklığa ulaşır. Şekil 2.4'de her iki uygulamaya ait örnekler gösterilmiştir. Bu uygulamalarda, genelde yüksek sıcaklıklarda elde edilen buhar, türbin aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Ayrıca, metal eritmesi, metal kalıplaması ve kesilmesi gibi proseslerde de bu tip uygulamalara rastlanır.



a) Parabolik yansıtıcı



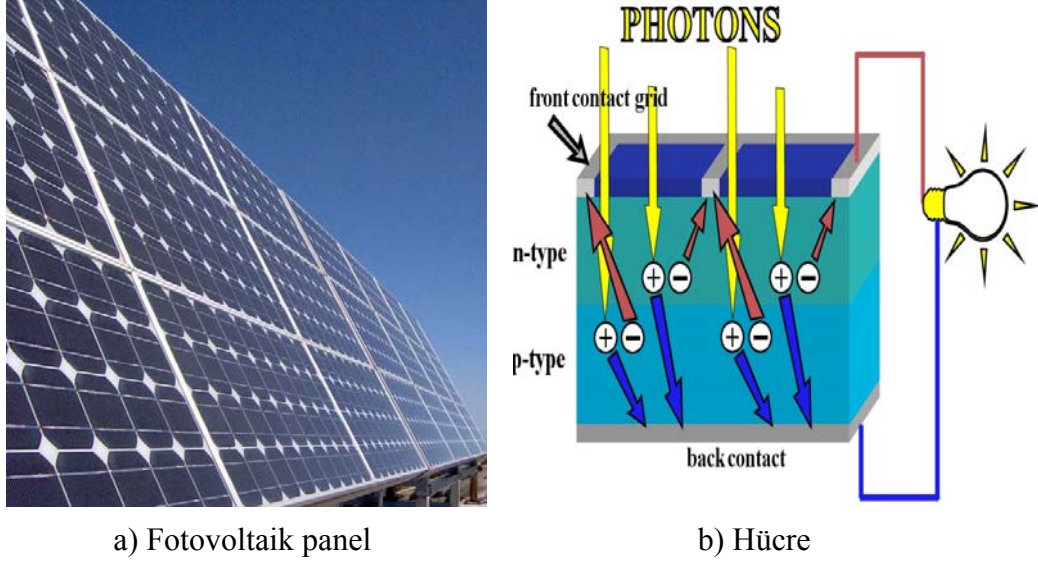
b) Heliostat ayna yansıtıcı

**Şekil 2.4.** Yüksek sıcaklık uygulamaları

### **2.1.2 Güneş enerjisinin fotovoltaik olarak faydalı enerjiye dönüştürülmesi:**

Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi yaygın olarak fotovoltaik paneller yardımı ile de gerçekleşmektedir (Şekil 2.5). Güneş pili olarak da adlandırılan bu paneller, yüzeylerine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken hücrelerin birleşiminden oluşur. Yarı iletken malzemede, fazla elektron ve boşluk bulunduran iki farklı maddenin teması ile tek bir kristal meydana getirilmesi ve ısı ışınım etkisi ile fazla elektronların boşluklara yönelmesi ile doğru akım oluşur. Verimleri %3 ile %25 arasında değişen bu sistemin, üretim ağıının genişlemesi ile birlikte ülkemizde ve dünyada kullanımı yaygınlaşmıştır. Genellikle sinyalizasyon,

kırsal elektrik ihtiyacının karşılanması, bina içi ve dışı aydınlatma, deniz fenerleri, alarm ve güvenlik sistemleri, deprem ve hava gözleme istasyonları gibi küçük sistemlerden, elektrik üretim santrallerine kadar birçok kullanım alanları mevcuttur.

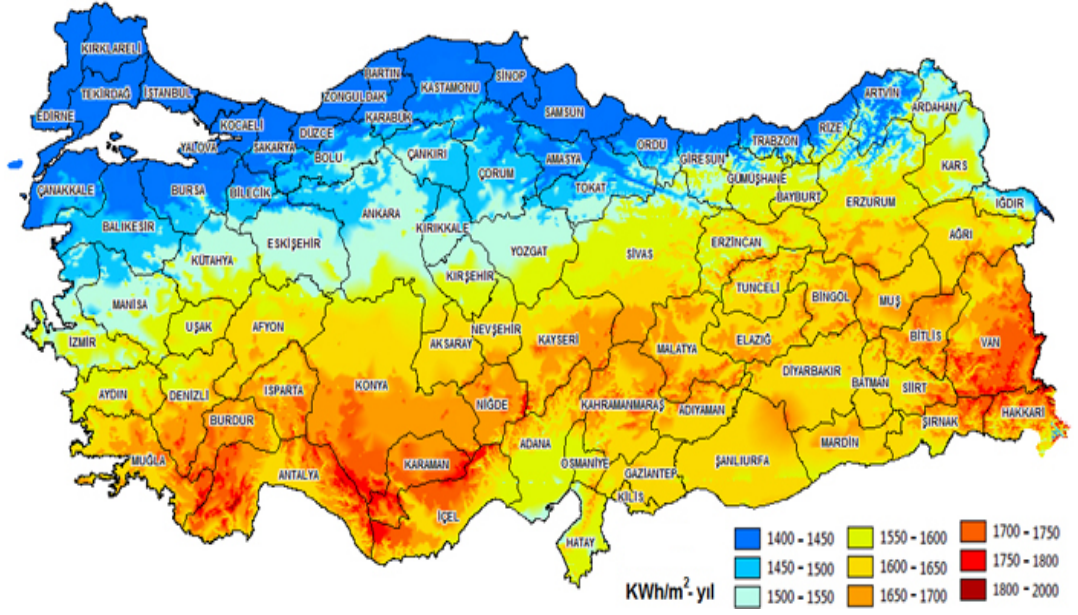


Şekil 2.5. Fotovoltaik uygulama

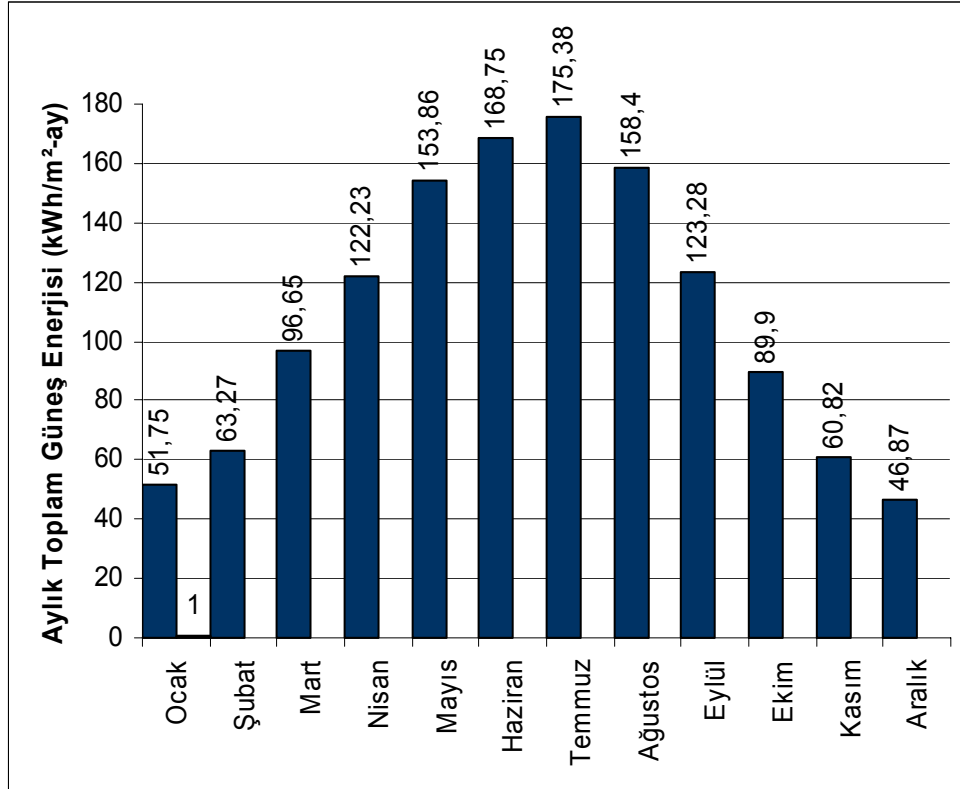
## 2.2. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamaları

Türkiye 36°–42° kuzey paralelleri arasında olup güneş enerjisi potansiyeli bakımından elverişli bir konumda bulunmaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi [EİE] verilerine göre, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışıma şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>–yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi ile Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin, bölgelere dağılımı, Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 ile gösterilmektedir. Türkiye'nin yüzölçüm alanının büyük bölümü güneş kuşağı içinde yer almaktadır ve en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu bölgesi olup, bunu Akdeniz bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli, güneşlenme süresi ile doğru orantılıdır. Türkiye'nin aylık güneşlenme süresi ile güneş enerjisi potansiyeli Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yüksek iken, kış aylarında düşük değerleri almaktadır.

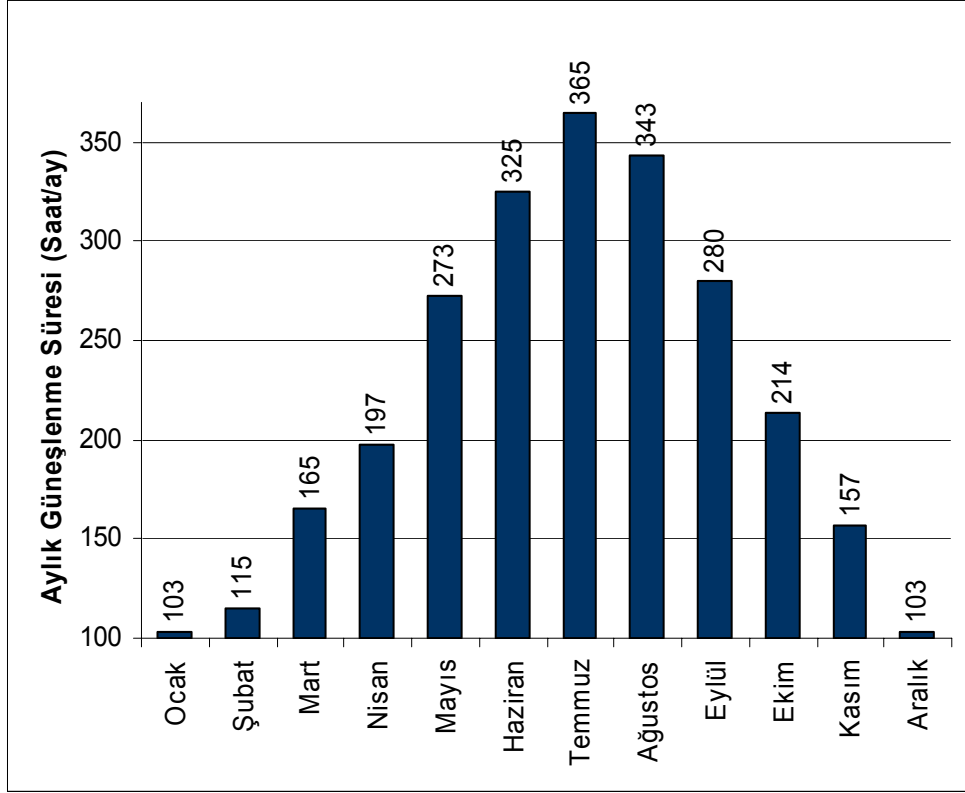




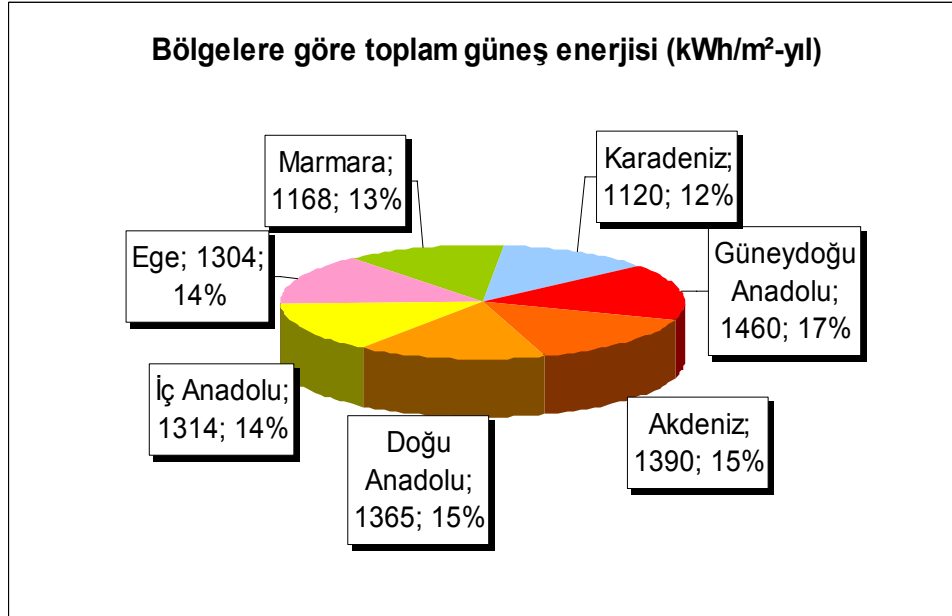
Şekil 2.6. Türkiye'nin güneş haritası



Şekil 2.7. Türkiye'nin ortalama aylık güneş enerji potansiyeli



Şekil 2.8. Türkiye'nin ortalama aylık güneşlenme süresi



Şekil 2.9. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin, bölgelere dağılımı

Türkiye’de güneş enerjisi, hem değişik sanayi sektörlerinde hem de konutlarda sıcak su elde etmek amacı ile kullanılmaktadır. Konutlarda sıcak su eldesini amaçlayan sektör, sanayi sektörünün yaklaşık 3 katı kapasitededir ve güneş enerjisi kullanımında en iyi pazar olmaya devam etmektedir. Şekil 2.10’da günümüzde yaygın olarak kullanılan tipik bir güneş enerjili sıcak su sistemi görülmektedir. Düz güneş kollektörünün kullanıldığı bu sistemler; temelde toplam kollektör alanı 4m<sup>2</sup> civarında olan 2 adet düz kollektör, depo ve boru bağlantılarından oluşmaktadır. Bu sistemler; açık veya kapalı devre olarak çalıştırılabilir. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınım enerjisi yutucu plaka sıcaklığını artırır. Isınan plakadan, temas halindeki boru içinden akan akışkana iletimle ve taşınım ile ısı geçişi olur. Buna bağlı olarak sıcaklığı artan akışkan, yoğunluğu azaldığından genişler ve kollektör üst kısmına doğru hareketlenir ve kollektör üst toplayıcı borusunda toplanarak tekrar depoya döner. Kapalı sistemlerde depo içinde bir ısı değiştirici bulunur. Bu sistemler ile ilgili daha detaylı bilgi kaynaklarda bulunmaktadır (1–5)



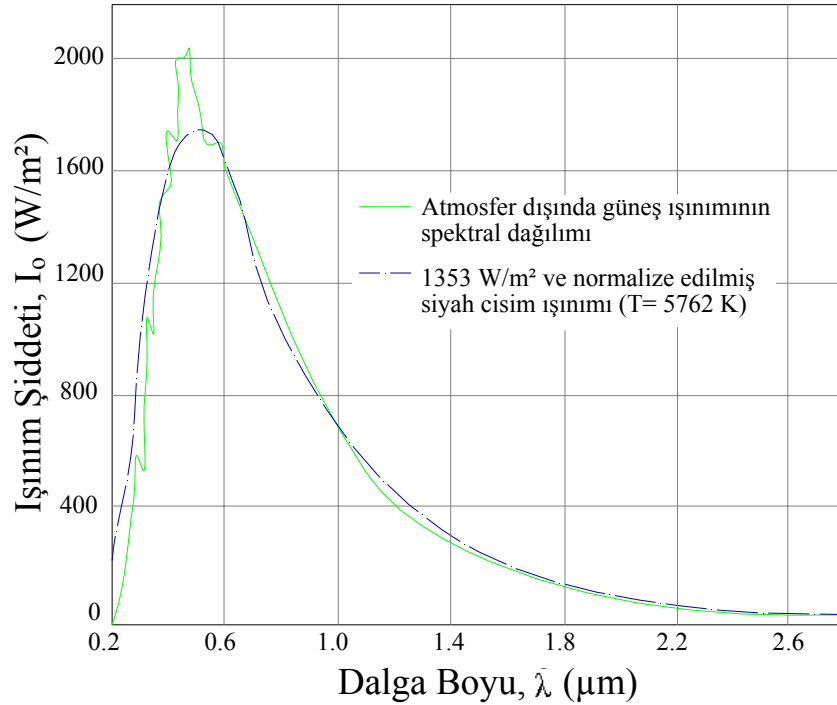
**Şekil 2.10.a.** Tabii dolaşimli güneş enerjisi sistemi



### 3. GÜNEŞ AÇILARI VE GÜNEŞ IŞINIMI HESABI

Yüksek sıcaklıktaki güneşten yayılan ışınım enerjisi milyonlarca kilometre mesafeyi katederek dünya üzerine düşer. Yaklaşık 6000K sıcaklıktaki siyah cismin enerji dağılımına yakın olduğu bilinen güneş ışınımının, atmosfer dışındaki spektral dağılımı Şekil 3.1’de görülmektedir. Atmosfer dışında, ortalama dünya-güneş mesafesinde, güneş ışınımına dik birim alana, tüm dalga boylarında, bir anda gelen ışınım şiddeti olarak tarif edilen güneş sabiti,  $I_{gs}=1353\text{W/m}^2$  olarak belirlenmiştir.

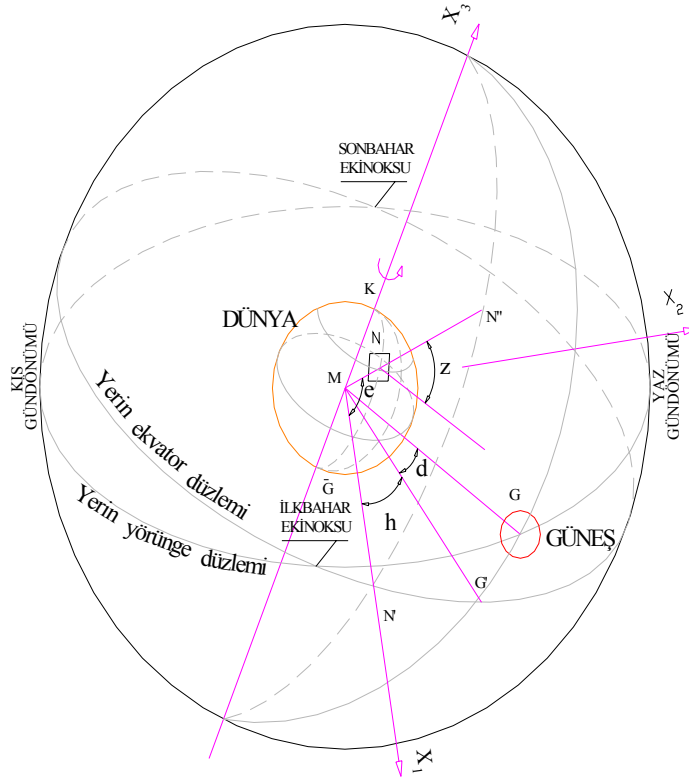
Yeryüzüne gelen güneş ışınımı ise, bulunulan yerin güneşe göre konumu, atmosferik, coğrafik, meteorolojik şartlar gibi birçok parametreye bağlıdır. Özellikle, bulunulan yerdeki kollektör yüzeyine güneş ışınlarının gelişi, gün boyunca ve yıl boyunca farklıdır. Dolayısıyla, güneş ışınlarının kollektör yüzeyine geliş açılarının belirlenmesi gerekir ve bu amaçla güneş açılarından faydalanılır. Takip eden kısımda, öncelikle güneş açıları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ardından güneş ışınımı hesaplarının nasıl yapıldığı özetlenmiştir (1).



Şekil 3.1. Ortalama dünya-güneş mesafesinde güneş ışınımının atmosfer dışında spektral dağılımı

### 3.1. Güneş Açıları

Güneşin gökyüzündeki konumu gün boyunca ve yıl boyunca sürekli değişir. Bu değişimi takip edebilmek amacıyla, dünyayı merkez kabul eden ve güneşin yörüngesini içeren ve Gökküre olarak isimlendirilen şemadan (Şekil 3.2) faydalanılır. Bu sayede, güneşin yeri ve yeryüzündeki herhangi sabit bir noktaya göre hareketi, ilgili güneş açıları ile tayin edilir. Üç temel gruba ayrılan güneş açıları, Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Gökküre üzerinde esas güneş açıları gösterimi

Çizelge 3.1. Güneş açıları sınıflandırılması

Güneş Açıları		
<u>Esas güneş açıları:</u>	<u>Yatay düzlem açıları:</u>	<u>Eğik düzlem açıları:</u>
☐ enlem açısı (e)	☐ zenit açısı (z)	☐ eğim açısı (s)
☐ saat açısı (h)	☐ yükseklik açısı (y)	☐ geliş açısı (g)
☐ deklinasyon açısı (d)	☐ güneş azimut açısı (ag)	☐ azimut açısı (a)

### 3.1.1. Esas Güneş Açıları

Yeryüzünde bulunulan yere (N noktası) (Şekil 3.2), gelen direk güneş ışınımının doğrultusu, o yerin esas güneş açıları biliniyorsa tayin edilebilir. Bu açılar, enlem açısı (e), saat açısı (h), ve deklinasyon açısı (d)'dir.

#### **Enlem açısı (e):**

Enlem açısı; bulunulan yeri (N) dünya merkezine birleştiren doğrunun dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır (Şekil 3.2). Enlem açısı, kuzey yarım kürede pozitif, güney yarım kürede negatif değer alır. Kutuplarda ise, kuzey kutbu için  $+90^\circ$ , güney kutbu içinse  $-90^\circ$ 'dir. Enlem açısı ekvatorda  $0^\circ$  değerini alır.

#### **Saat açısı (h):**

Bulunulan yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun gösterdiği boylam (güneş boylamı) arasındaki açıdır (Şekil 3.2). Belirtilen boylamlar çakıştığında saat açısı  $0^\circ$  olur, ki bu anda güneş ışınları bulunulan yere dik gelir ve bu an güneş öğlesi olarak isimlendirilir.

Güneşin her günkü görünen hareketi değişkendir. Dolayısıyla, bulunulan yerin boylamı ile güneş boylamının konumu da değişkendir. Güneş ışınımı hesapları, güneşin bulunulan yere göre konumunu veren güneş zamanına (Güneş Saati: GS) göre yapılır. GS, güneşin her günkü görünen hareketine göre ölçülür ve güneş öğlesinde  $GS=12:00$  ve  $h=0^\circ$ 'dir. Ayrıca, her  $15^\circ$ 'lik saat açısının 1 saatlik zaman dilimine karşılık gelen boylam farkı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, saat açısı, GS cinsinden aşağıdaki denklemlerle ifade edilir:

$$h = 15(GS - 12) \quad (3.1)$$

Saat açısı sabah saatlerinde negatif, akşam saatlerinde pozitif olarak değerlendirilir. Güneş ışınımı hesapları güneş zamanına göre yapılır ancak zaman ölçümü, Memleket Saati (MS)'ne göre yapılır. Bu sebeple GS ile MS arasındaki bağıntının bilinmesi gerekir. Tam 24 saat olarak belirtilen normal gün uzunluğu, dünyanın yörünge hareketindeki düzensizliklerden dolayı güneş gününden çok az farklıdır. Bu sebeple

standart saatin (memleket saati) güneş saatine çevrilmesinde, meridyen farkından başka zaman düzeltmesi denilen, günlere göre değişen bir sabit ilave edilir. Güneş saati aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$GS = MS \pm \left( \frac{B_s - B_y}{15} \right) + ZD \quad (3.2)$$

Burada; MS, memleket saati (standart saat),  $B_s$  ve  $B_y$  sıra ile standart ve yerel boylam (meridyen), ZD ise zaman düzeltmesidir. Zaman düzeltmesi denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$ZD(\text{saat}) = 0.0043 \cos x - 0.1236 \sin x - 0.0608 \cos 2x - 0.1538 \sin 2x \quad (3.3)$$

Zaman düzeltmesi denklemindeki x parametresi ise 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı (n) cinsinden aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$x(^{\circ}) = 360 \frac{n-1}{365.242} \quad (3.4)$$

Türkiye saati için standart boylam  $45^{\circ}$  doğu boylamıdır. Buna göre, güneş saati, Türkiye için;

$$GS = TS \pm \left( \frac{45 - B_y}{15} \right) + ZD \quad (3.5)$$

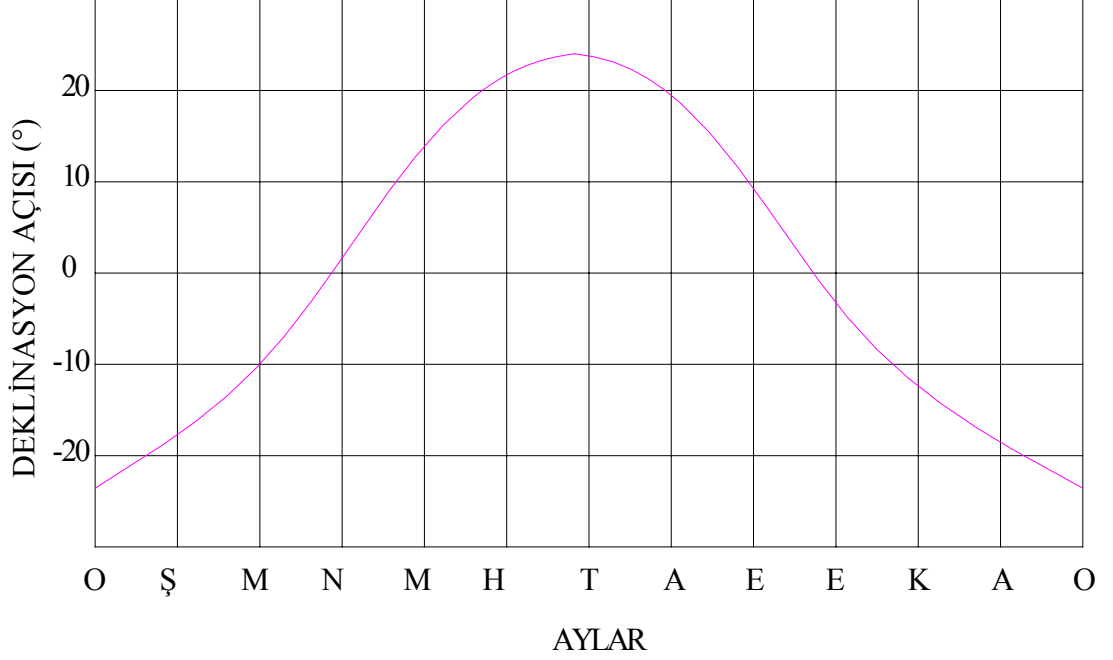
şeklinde yazılabilir. Burada TS, Türkiye saatidir.

### **Deklinasyon açısı (d):**

Direk güneş ışınımının (güneş–dünya merkezi doğrultusunun) ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı dünyanın dönme ekseninin, yörünge düzleminin normali ile yaptığı  $23^{\circ}27'$  'lik açıdan ileri gelir. Güneş ışınları ekvator düzlemine dik geldiği zamanlara “Ekinoks” zamanları denir ve kuzey yarımküre için, ilkbahar ekinoksu 21 Mart, sonbahar ekinoksu 23 Eylül olarak belirlenmiştir. Ekinoks zamanlarında deklinasyon açısı, sıfır olur. Kışın deklinasyon açısı negatif, yazın ise pozitif değerler



alır. Gündönümü zamanlarında mutlak değerce maksimum olur. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi Şekil 3.3’de görülmektedir.



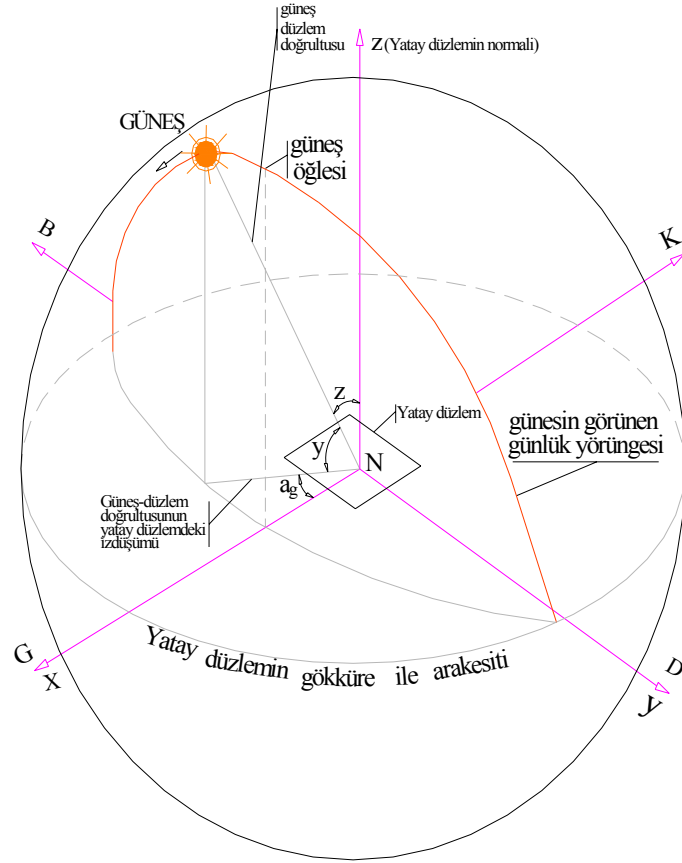
**Şekil 3.3.** Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi

Dünyanın güneş etrafındaki dönmesi her yıl tam olarak 365 günde tamamlanmadığından deklinasyon açısı, yılın belirli bir günü için seneden seneye çok az değişirse de pratik olarak belirli bir günde sabit kabul edilebilir. Deklinasyon açısı,  $n$ , 1 Ocaktan itibaren gün sayısı olmak üzere aşağıdaki yarı-ampirik denklem ile hesaplanabilir.

$$d = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{n + 284}{365}\right) \quad (3.6)$$

### 3.1.2 Yatay Düzlem Açıları

Yatay bir düzleme gelen güneş ışınımının hesaplanırken Şekil 3.4’de görülen düzlem ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılardan yararlanır. Bunlar, zenit açısı ( $z$ ), yükseklik açısı ( $y$ ), güneş azimut açısı ( $a_g$ )’dır.



Şekil 3.4. Yatay düzlem açıları

**Zenit açısı, (z):**

Direkt güneş ışınlarının (güneş–düzlem doğrultusunun) yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır (Şekil 3.4). Yatay düzleme güneş ışınları dik geldiği zaman  $z=0^\circ$ ’dır. Güneşin doğusunda ve batışında  $z=90^\circ$  olur. İlgili geometrik ilişkiler kullanılarak, zenit açısı diğer açılar cinsinden aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\cos z = \cos d \cos e \cosh + \sin d \sin e \quad (3.7)$$

**Yükseklik açısı, (y):**

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemlle yaptığı açı yükseklik açısı olarak isimlendirilir (Şekil 3.4). Yükseklik açısı, zenit açısını  $90^\circ$ ’ye tamamlar. Dolayısıyla denklemi aşağıda şekildedir;

$$z + y = 90 \quad \sin y = \cos z \quad (3.8)$$

### **Güneş azimut açısı, ( $a_g$ ):**

Güneş–düzlem doğrultusunun, yatay düzlemdeki izdüşümünün, güney yönü ile yaptığı açıya güneş azimut açısı denir. Şekil 3.4’de görülen güneş azimut açısı, güneyden batıya doğru pozitif, güneyden doğuya doğru negatif olarak alınır. Azimut açısının maksimum mutlak değeri, güneş doğuşunda ve batışında deklinasyon açısına bağlı olarak  $90^\circ$  civarında gerçekleşir. Güneş azimut açısı, diğer açılar cinsinden aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\cos a_g = \frac{\cos d \sin e \cosh - \sin d \cos e}{\cos y} \quad (3.9)$$

Yeryüzünde yatay düzlemin güneşlenme süresini ve dolayısıyla gün boyunca düzleme gelen ışınımı belirlemek için, güneşin doğuş ve batışındaki saat açılarının ve gün uzunluğunun da hesaplanması gereklidir. Güneşin doğduğu ve battığı anlarda güneş ışınları yeryüzüne paralel gelmektedir ki bu andaki saat açısına, doğuş–batıştaki saat açısı denir ve ( $H$ ) ile gösterilir. Bu durumda ( $z=90^\circ$ ) ve ( $\cos 90^\circ=0$ ) olacağından, Denklem 3.7 kullanılarak, güneşin doğuş ve batışındaki saat açısının ( $H$ ), bağıntısı aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\cos H = -\frac{\sin d \sin e}{\cos d \cos e} = -\tan d \tan e \quad (3.10)$$

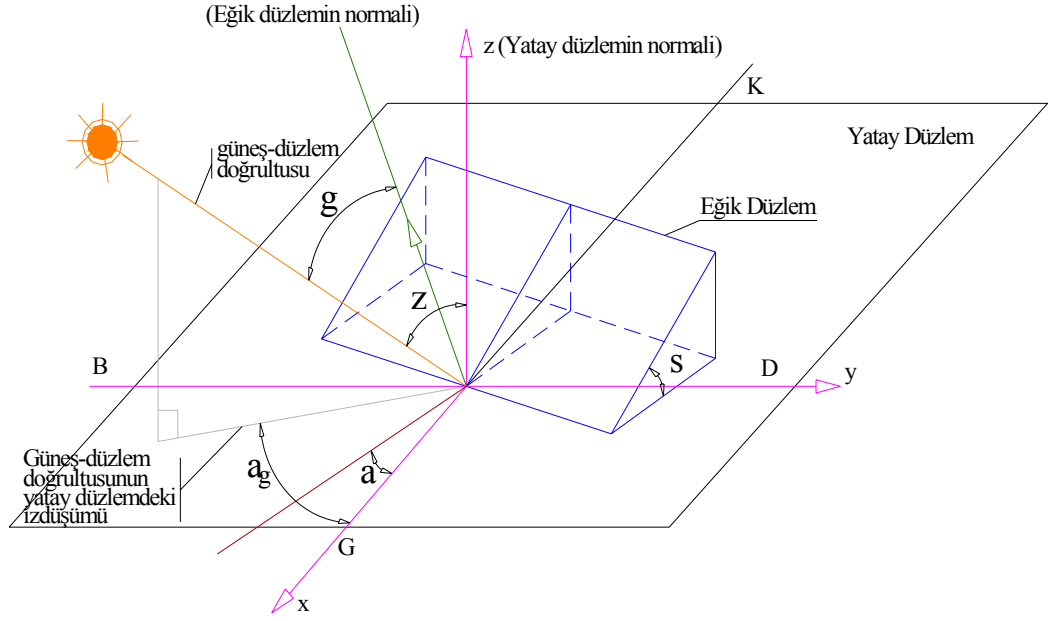
Burada, doğuştaki saat açısı negatif ve batıştaki ise pozitif değerdedir. Gün uzunluğu ( $t_g$ ) ise;  $15^\circ$ ’lik saat açısının 1 saatlik zaman dilimine karşılık gelmesi kullanılarak, doğuş ve batıştaki saat açısı cinsinden aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$t_g(\text{saat}) = \frac{2}{15} H = \frac{2}{15} \arccos(-\tan d \tan e) \quad (3.11)$$

Gün uzunluğu, ekvatorda ve deklinasyon açısının sıfır olduğu zamanlarda 12 saattir.

### 3.1.3. Eğik Düzlem Açıları

Eğik bir düzleme gelen güneş ışınımının hesaplanmasında eğik düzlem ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılardan yararlanır. Bu açılar, eğim açısı ( $s$ ), geliş açısı ( $g$ ) ve azimut açısı ( $a$ )'dır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Eğik düzlem açıları

#### **Eğim açısı, (s):**

Eğik düzlemin yatay düzlemle yaptığı açıya eğim açısı denir. Eğik düzlem normalinin yatay düzlem normali ile üzerindeki izdüşümü  $\cos s$ 'dir.

#### **Geliş açısı, g:**

Güneş-düzlem doğrultusunun eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır ve ilgili geometrik ilişkiler neticesinde denklem 3.12 ile ifade edilir.

$$\cos g = \cos d \cos e \cosh \cos s + \cos a \cos d \sin e \cosh \sin s + \sin a \cos d \sinh \sin s + \sin d \sin e \cos s - \cos a \sin d \cos e \sin s \quad (3.12)$$

Bu denklem en genel halde geliş açısı denklemidir. Bazı özel durumlar aşağıda irdelenmiştir.

Bu denklemde, özel bir durum olarak eğim açısı sıfır olursa ( $s=0^\circ$ ), eğik düzlem yatay düzleme dönüşür ve dolayısıyla geliş açısı, zenit açısına dönüşür ( $g=z$ ). Bu durumda, denklem 3.12, yatay düzlem için geçerli olan denklem 3.7'ye dönüşür.

Eğik düzlemler daha çok güneye dönük olarak yerleştirilir. Güneye dönük eğik düzlem için azimut açısı  $a=0^\circ$  olur ve geliş açısı denklemi aşağıdaki forma sadeleşir.

$$\cos g_g = \cos d \cosh \cos(e-s) + \sin d \sin(e-s) \quad (3.13)$$

Ayrıca, düzlemin dik olması durumunda ( $s=90^\circ$ ), geliş açısı denklemi aşağıdaki halde ifade edilir.

$$\cos g_d = \cos a \cos d \sin e \cosh + \sin a \cos d \sinh - \cos a \sin d \cos e \quad (3.14)$$

İlaveten, düzlemin hem dik ( $s=90^\circ$ ), hem de güneye bakması ( $a=0^\circ$ ) durumunda geliş açısı denklemi,

$$\cos g_{dg} = \cos d \sin e \cosh - \sin d \cos e \quad (3.15)$$

halini alır.

Ayrıca eğik düzlemler için önemli bir konuda eğik düzlemin güneşlenme süresidir. Herhangi bir düzleme güneş ışınlarının ilk gelişi yani düzleme paralel geldiği ilk an, gün doğuşundan önce veya sonra olabilir. Benzer şekilde, son gelişi de gün batışından önce veya sonra olabilir.

Bu sebeple güneş ışınımının eğik düzleme paralel geldiği saat açısının ( $H_{gp}$ ) belirlenmesi gerekir. Kuzey yarımkürede güneye bakan ( $a=0^\circ$ ) eğik düzlem için güneş ışınlarının eğik düzleme paralel geldiği saat açısı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$H_{gp} = \arccos[-\tan d \tan(e-s)] \quad (3.16)$$

Güneye bakan eğik düzleme güneş ışınının ilk geliş ( $H_{1g}$ ) ve son düşüş ( $H_{2g}$ ) saat açıları; doğuş-batış saat açısı ve paralel gelme açıları kıyaslanarak, sırasıyla,

$$H_{1g} = \max(-H, -H_{gp}) \quad \text{ve} \quad H_{2g} = \min(H, H_{gp}) \quad (3.17)$$

şeklinde elde edilir.

Dolayısıyla, eğik düzleme güneş ışınlarının gelme süresi ( $t_{eg}$ ) aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$t_{eg} = \frac{2}{15} H_{gp} = \frac{2}{15} \arccos[-\tan d \tan(e - s)] \quad (3.18)$$

### **Azimet açısı, (a):**

Eğik düzlemin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güney yönü ile yaptığı açıdır ki bu açı eğik düzlemin yatay düzlem üzerinde baktığı yönü verir (Şekil 3.5). Güneye dönük eğik düzlem için ( $a=0^\circ$ )'dır. Azimet açısı, güneyden batıya doğru pozitif, güneyden doğuya doğru negatif olmak üzere ( $-180^\circ < a < 180^\circ$ ) arasında değişir.

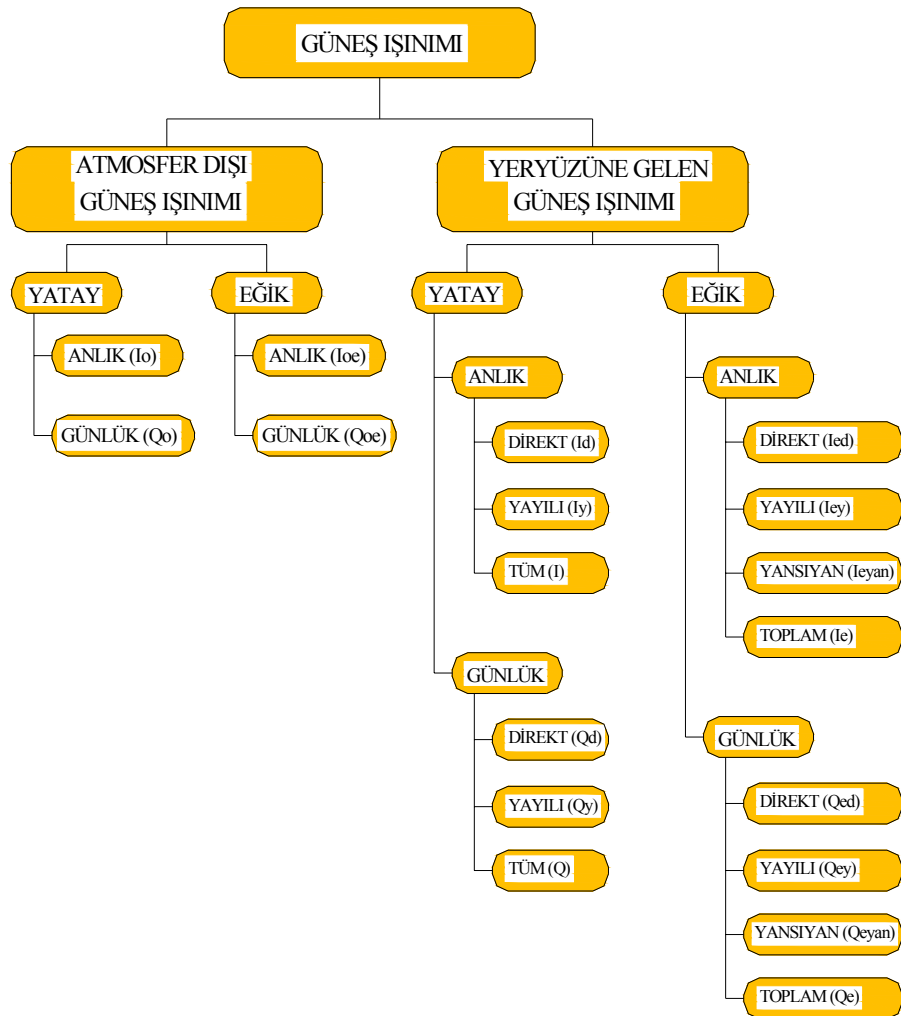
Bu güneş açıları kullanılarak, yeryüzünde herhangi bir düzleme güneş ışınlarının geliş açıları, gün boyunca ve yıl boyunca hesaplanabilir. Güneş ışınımı hesabı ise aşağıda özetlenmiştir (1).

### **3.2. Güneş Işınımı Hesabı**

Güneşten gelen ışınım, mutlak vakum olan uzayda bir değişime uğramadan dünya atmosferine ulaşır. Atmosfer tabakaları üzerine gelen ışınım yansır, yutulur ve geçirilir. Ayrıca, atmosferde bulunan gaz tabakalarının ve bulutların yansıtma, yutma ve geçirme yapmaları sözkonusudur. Atmosfer tabakalarını geçen ışınım yeryüzüne ulaşır. Bu açıdan bakıldığında, ışınım hesapları öncelikle atmosfer dışı ve yeryüzü için iki ayrı grupta yapılır. Şekil 3.6'da güneş ışınımı sınıflandırması detaylı olarak gösterilmiştir.

Güneş ışınımı hesaplarında referans olarak yukarıdaki bölümlerde tanımı yapılan güneş sabiti kullanılır. Güneş sabiti; atmosfer dışında, ortalama dünya-güneş mesafesinde, güneş ışınımına dik birim alana, tüm dalga boylarında, bir anda gelen ışınım şiddetidir ve değeri  $I_{gs}=1353W/m^2$  olarak belirlenmiştir. Güneş ışınımının bu anlık değeri haricinde, bir düzleme gün boyunca gelen günlük değeri vardır. Dolayısıyla, güneş ışınımı hesapları atmosfer dışı ve yeryüzü gruplandırmasına ilaveten anlık ve günlük olarakta sınıflandırılır (Şekil 3.6).

Bu ışınım sınıflandırmalarına ilaveten, düzlemin güneş ışınımına göre konumlanması açısından da, ışınım hesapları yatay ve eğik düzlem için iki ayrı grupta yapılır (Şekil 3.6). Yatay ve eğik düzlem durumu, hem atmosfer dışı ve yeryüzü, hemde anlık ve günlük ışınımlar için sözkonusudur.



Şekil 3.6. Güneş ışınımı sınıflandırması

Yeryüzünde bir düzleme gelen ışınım ise, Şekil 3.7’de gösterildiği gibi direkt, yayılı ve yansıyan ışınımlardan oluşur. Yeryüzünde yatay düzleme gelen ışınımın toplamı tüm güneş ışınımı, eğik düzleme gelen ışınımın toplamı ise toplam güneş ışınımı olarak isimlendirilir.

Bu ışınımın genelde ya deneysel ölçüm cihazları ile ölçülmekte ya da deneysel ölçümler ve ilgili parametreler kullanılarak elde edilen yarı-ampirik denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Herbir ışınım bileşeninin hesaplanması için kullanılan denklemler aşağıda özetlenmiştir (1). Sırasıyla atmosfer dışı ve yeryüzüne gelen güneş ışınımı hesap denklemleri verilmiştir.

### 3.2.1. Atmosfer Dışındaki Düzleme Gelen Güneş Işınımı

Dünya–güneş mesafesi mevsimlere göre farklılık gösterir. Güneş ışınımı hesaplarında, atmosfer dışında güneş ışınımına dik birim alana bütün dalga boylarında bir anda gelen güneş ışınımı değeri kullanılır ve buna güneş sabiti adı verilir. Atmosfer dışındaki düzlemlere gelen güneş ışınımını “0” alt indisi ile simgelenir.

#### Atmosfer dışında dik düzleme gelen anlık ışınım, ( $I_{0n}$ ):

Güneş sabitinin tarifinden yararlanarak, atmosfer dışında herhangi bir günde güneş ışınımına dik düzleme gelen güneş ışınımı ( $I_{0n}$ ), dünya-güneş mesafesi ( $L$ ) ve yıllık ortalama değeri ( $L_0$ ) ve güneş sabiti ( $I_{gs}$ ) olmak üzere, aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$I_{0n} = \frac{L_0^2}{L^2} I_{gs} = f I_{gs} \quad (3.19)$$

Burada, güneş sabiti  $I_{gs}=1353\text{W/m}^2$  değerindedir. Ayrıca,  $f$ , güneş sabitini düzeltme faktörüdür ve 1 Ocaktan itibaren gün sayısı ( $n$ ) cinsinden aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$f = 1 + 0.033 \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) \quad (3.20)$$



**Atmosfer dışında yatay düzleme gelen anlık ışınım, ( $I_0$ ):**

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesabında, atmosfer dışında yatay düzleme gelen ışınımdan yararlanılır. Atmosfer dışındaki yatay birim düzleme bir anda gelen güneş ışınımı zenit açısı cinsinden aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$I_0 = I_{gs} f \cos z \quad (3.21)$$

**Atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük ışınım, ( $Q_0$ ):**

Atmosfer dışında yatay birim düzleme gelen güneş ışınımı; anlık ışınım dt zaman aralığında integre edilerek aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$dQ_0 = I_{gs} f \cos z dt \quad (3.22)$$

Saat açısına (h) bağlı olarak  $t=12/\pi h$  olarak yukarıdaki denklemde yerine yazılırsa,

$$dQ_0 = \frac{12}{\pi} I_{gs} f \cos z dh \quad (3.23)$$

elde edilir.

Bu denklemde zenit açısı (denklem 3.7) yerine yazılır ve gün doğuşu ve gün batışı arasında integre edilirse, atmosfer dışında yatay birim düzleme bir gün boyunca gelen güneş ışınımı aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{12}{\pi} I_{gs} f \int_{H_1}^{H_2} (\cos d \cos e \cosh + \sin d \sin e) dh \\ &= \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left( \cos d \cos e \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin d \sin e \right) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Denklem 3.9 yerine yazılarak aşağıdaki denklemle de ifade edilebilir.

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \sin d \sin e \left( \frac{\pi}{180} H - \tan H \right) \quad (3.25)$$

### Atmosfer dışında eğik düzleme gelen anlık ışınım, ( $I_{0e}$ ):

Atmosfer dışında eğik düzleme gelen anlık güneş ışınımı şiddeti; geliş açısına bağlı olarak değişir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır. Burada eğik düzlem için “e” alt indisi kullanılmaktadır.

$$I_{0e} = I_{gs} f \cos g \quad (3.26)$$

### Atmosfer dışında eğik düzleme gelen günlük ışınım, ( $Q_{0e}$ ):

Geliş açısı denklemi 3.12, denklem 3.25’de yerine konarak, güneş ışınlarının eğik düzleme ilk geliş ve son düşüş saat açıları ( $H_1$ ) ve ( $H_2$ ) arasında integre edilirse, bir gün boyunca eğik düzleme gelen güneş ışınımı aşağıdaki formda elde edilir.

$$Q_{0e} = \frac{12}{\pi} I_{gs} f \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi}{180} (H_2 - H_1) \sin d (\sin e \cos s - \cos e \sin s \cos a) \\ + (\sin H_2 - \sin H_1) \cos d (\cos e \cos s \sin e \sin s \cos a) \\ - (\cos H_2 - \cos H_1) \cos d \sin s \sin a \end{array} \right\} \quad (3.27)$$

Güneye dönük eğik düzlem için ( $a=0^\circ$ ),  $H_1=-H_2$  olduğundan, gün boyunca eğik düzleme gelen güneş ışınımı aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

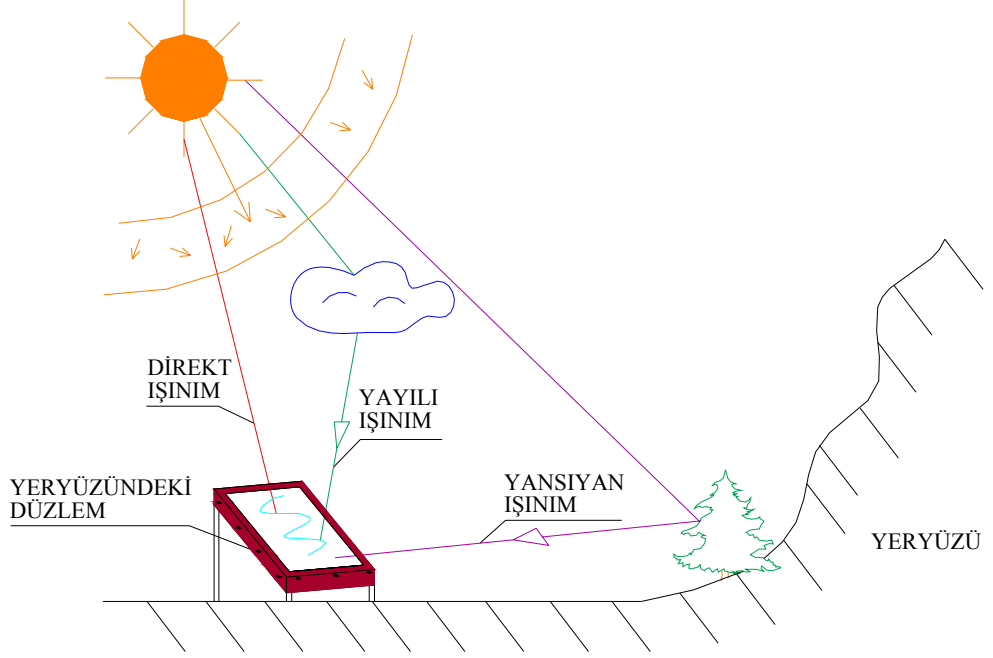
$$Q_{0eg} = \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left\{ \cos(e-s) \cos d \sin H_2 + \frac{\pi}{180} H_2 \sin(e-s) \sin d \right\} \quad (3.28)$$

Buradaki denklemler kullanılarak, atmosfer dışındaki yatay ve eğik düzleme gelen anlık ve günlük ışınım, yılın herhangi bir günü veya anı için hesaplanabilir. Aşağıda yeryüzüne gelen ışınım hesabı için gerekli denklemler tanıtılmıştır.

### 3.2.2. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Güneş ışınımı atmosferi geçerken, atmosferde bulunan parçacıklar (foton, molekül, toz v.s.) tarafından yutulur ve saçılır, böylece atmosfer dışına gelen ışınımın 0.1 ile 0.8 arasında bir kesri yeryüzüne ulaşır. Şekil 3.7’de şematik olarak gösterildiği gibi bu ışınımın doğrudan yeryüzüne gelen kısmına direkt güneş ışınımı (anlık:  $I_d$ ,

günlük:  $Q_d$ ), saçılan ışınımın yeryüzüne gelen kısmına yayılı güneş ışınımı (anlık:  $I_y$ , günlük:  $Q_y$ ), yeryüzünde bulunan düzlemlere çarpıp yansıyarak gelen kısmına ise yansıyan güneş ışınımı (anlık:  $I_{yan}$ , günlük:  $Q_{yan}$ ) adı verilir.



**Şekil 3.7.** Yeryüzüne gelen ışınım bileşenleri

Yeryüzünde yatay düzleme gelen yansıyan güneş ışınım değeri, aynı düzlemdeki diğer ışınımara göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle yeryüzünde yatay düzlemde gelen güneş ışınımı, direkt ve yayılı ışınımın toplamı olan “tüm güneş ışınımı” olarak isimlendirilir. Direkt ve yayılı güneş ışınımı pratik olarak 0.3–3.0  $\mu\text{m}$  dalga boyu aralığında olduğundan buna kısa dalga boylu ışınım da denir. Tüm güneş ışınımı, anlık ve günlük bileşenleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$I = I_d + I_y \quad Q = Q_d + Q_y \quad (3.29)$$

Yeryüzünde eğik düzleme gelen güneş ışınımı ise, direkt, yayılı ve yansıyan ışınımın toplamına eşittir ve “toplam güneş ışınımı” olarak isimlendirilir. Toplam ve tüm güneş ışınımının bileşenleri Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Toplam güneş ışınımı, anlık ve günlük bileşenleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$I_e = I_{ed} + I_{ey} + I_{eyan} \quad Q_e = Q_{ed} + Q_{ey} + Q_{eyan} \quad (3.30)$$

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı, çok sayıda değişkenin fonksiyonudur. Bunlar arasında, astronomik faktörler (güneş sabiti, dünya-güneş mesafesi, deklinasyon açısı, saat açısı, vs.), coğrafik faktörler (bulunulan yerin enlemi boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliği, vs.), geometrik faktörler (azimut açısı, eğim açısı, yükseklik açısı, güneş azimut açısı, vs.), fiziksel faktörler (hava moleküllerinin saçması, atmosferdeki su buharının azaltması, tozların saçması, ozon ve karbondioksitin yutması, vs.) ve meteorolojik faktörler (bulutların tesiri, çevrenin yansıtması, vs.) sayılabilir. Belirtilen bu faktörlerin hepsini dahil edecek teorik bir hesaplama yapılması oldukça zordur. Bu sebeple, güneş ışınımı hesaplarında, daha çok, ölçülen güneş ışınımı verilerinden yararlanılarak ilgili parametrelerin fonksiyonu olarak geliştirilen yarı-ampirik bağıntılar kullanılır. Aşağıda, yeryüzüne gelen güneş ışınımı bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan, bu yarı ampirik bağıntılar özetlenmiştir. Hesaplamalar yatay ve eğik düzlem olmak üzere iki grupta yapılır.

### 3.2.2.1. Yeryüzünde Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzünde yatay düzleme gelen güneş ışınımı ile ilgili bağıntılar aşağıda hesap sırasıyla verilmiştir.

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük tüm ışınım, (Q):**

Yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımı; güneşlenme süresi, izafi nem, mutlak nem, atmosferik basınç, sıcaklık, bulutluluk oranı gibi meteoroloji verilerinden birine veya birkaçına bağlı olarak değişim gösterir. Yatay birim düzleme gelen günlük tüm güneş ışınımı (Q); atmosfer dışında, yatay birim düzleme gelen güneş ışınımı (Q<sub>0</sub>), güneşlenme süresi (t) ve gün uzunluğu (t<sub>0</sub>) olmak üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\frac{Q}{Q_0} = K_t = a + b \frac{t}{t_0} \quad (3.31)$$

Bu denklemde;  $K_t$  berraklık indeksi,  $t/t_0$  ise izafi güneşlenme süresidir. Denklemdeki,  $a$  ve  $b$  katsayıları ise bulunulan yeri anlatan katsayılarıdır ve Türkiye için aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$a = 0.103 + 0.000017(Z) + 0.198 \cos(e - d) \quad (3.32)$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos(e - d) \quad (3.33)$$

Burada,  $(Z)$ , metre cinsinden, bulunulan yerin deniz seviyesinden yüksekliğidir.

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen anlık tüm ışınım, (I):**

Anlık tüm güneş ışınımı (I), günlük tüm güneş ışınımının (Q) fonksiyonu olarak değişecektir. Bu oran ( $r_t=I/Q$ ); aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir.

$$r_t = \frac{I}{Q} = \frac{\pi}{4t_0} \left\{ \cos\left(\frac{180}{2} \frac{h}{H}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} (1 - \psi) \right\} \quad (3.34)$$

Burada,  $\psi$  parametresi;

$$\psi = \exp\left\{-4\left(1 - \frac{|h|}{H}\right)\right\} \quad (3.35)$$

denklemleri ile hesaplanır.

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük direkt ışınım( $Q_d$ ) ve yayılı ışınım ( $Q_y$ ):**

Herhangi bir yerde, herhangi bir günde yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınımı, anlık direkt güneş ışınımının gün boyunca değişimine ve gün uzunluğuna bağlıdır. Günlük direkt ve yayılı güneş ışınımı hesabı için, çok sayıda ampirik bağıntı bulunmaktadır. Bunlardan birisi yayılı ışınım oranı ( $K_y$ ) olarak tarif edilen aşağıdaki denklemdir.

$$\frac{Q_y}{Q} = K_y = 1 - 1.13K_t \quad (3.36)$$

Yayıllı ışınım buradan hesaplandıktan sonra aşağıdaki denklemden direkt ışınım hesaplanır.

$$Q = Q_d + Q_y \quad (3.37)$$

#### **Yeryüzünde yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım ( $I_d$ ) ve yayıllı ışınım ( $I_y$ ):**

Bir anda birim yatay düzleme gelen yayıllı ışınımın ( $I_y$ ), günlük toplam yayıllı ışınımına ( $Q_y$ ) oranı; atmosfer dışında yatay düzleme bir anda gelen ışınımın ( $I_0$ ), atmosfer dışında bir gün boyunca gelen ışınımına ( $Q_0$ ) oranına eşittir. Bu oran ise,

$$r_y = \frac{I_y}{Q_y} = \frac{I_0}{Q_0} \quad (3.38)$$

$$r_y = \frac{\pi}{24} \frac{\cosh - \cos H}{\sin H - \frac{\pi}{180} H \cos H} \quad (3.39)$$

bağıntılarına eşittir. Anlık direkt güneş ışınımı ( $I_d$ ) ise, anlık tüm ( $I$ ) ve anlık yayıllı güneş ışınımını ( $I_y$ ) kullanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$I = I_d + I_y \quad (3.40)$$

Bu denklemler kullanılarak yeryüzünde yatay düzleme gelen güneş ışınımı hesaplanır. Eğik düzlem güneş ışınım hesabı için ise aşağıdaki denklemler kullanılır.

#### **3.2.2.2. Yeryüzünde Eğik Düzleme Gelen Güneş Işınımı**

Eğik düzleme gelen güneş ışınımı miktarı, düzlemin eğimine, azimut açısına, çevrenin yansıtma katsayısına ve yatay düzleme gelen tüm ışınımının direkt ve yayıllı bileşenlerine bağlıdır.

#### **Yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık direkt ışınım, ( $I_{ed}$ ):**

Eğik ve yatay düzlemlere gelen direkt güneş ışınımını denklem 3.38'de verildiği gibi hesaplanır. Bunların birbirine oranı ise denklem 3.39 şeklinde elde edilir.

$$I_{ed} = I_n \cos g \quad I_d = I_n \cos z \quad (3.41)$$

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos g}{\cos z} \quad (3.42)$$

Bu denklemde  $I_d$  daha önce hesaplandığı için, yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık direkt ışınımı ( $I_{ed}$ ) buradan hesaplanır.

Geliş açısının ( $g$ ) ve zenit açısının ( $z$ ) denklemleri denklem 3.39'da yerine yazılır ve güneye bakan yüzey için ( $a=0^\circ$ ) için sadeleştirilirse;

$$R_d = \frac{\cos(e-s)\cos d \cosh + \sin(e-s)\sin d}{\cos e \cos d \cosh + \sin e \sin d} \quad (3.43)$$

elde edilir. Bir diğer durum olarak, yüzeyin dik olması ( $s=0$ ) halinde ise,

$$R_d = \frac{\cos d \sin e \cos a \cosh + \cos d \sin a \sinh - \sin d \cos e \cos a}{\cos e \cos d \cosh + \sin e \sin d} \quad (3.44)$$

denklemini elde edilir.

#### **Yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık yayılı ışınım, ( $I_{ey}$ ):**

Yatay düzleme bir anda gelen yayılı güneş ışınımı ( $I_y$ ) ve düzlemin eğimi ( $s$ ) olmak üzere, eğik düzleme gelen anlık yayılı ışınım ( $I_{ey}$ ) aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$I_{ey} = I_y \frac{1 + \cos s}{2} \quad (3.45)$$

#### **Yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık yansayan ışınım, ( $I_{eyan}$ ):**

Çevrenin yansıtma oranı ( $\rho$ ) ve yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı ( $I$ ) olmak üzere, eğik düzleme yansyarak gelen ışınımı ( $I_{eyan}$ ) aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$I_{eyan} = I\rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.46)$$

Çevrenin yansıtma oranı ( $\rho$ ), çevreyi teşkil eden maddelere göre değişir. Bazı yüzeyler için yansıtma oranının değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Açık renkler için büyük, koyu renkler için küçük değerlerdedir.

**Çizelge 3.2.** Çevrenin yansıtma oranı

	$\rho$		$\rho$
Kar (yeni yağmış)	0.75	Gazel (ölu yaprak)	0.30
Su yüzeyleri	0.04	Kuru ot	0.30
Kozalaklı orman (kışın)	0.07	Yeşil ot	0.20
Ormanlar (sonbaharda)	0.26	Ziftli çatı	0.13
Aşınmış betonarme	0.22	Kırılmış taş yüzeyleri	0.20
Koyu renkli bina yüzeyi	0.27	Açık renkli bina yüzeyi	0.60

**Yeryüzünde eğik düzleme gelen anlık toplam ışınlım, ( $I_e$ ):**

Eğik düzlem üzerine gelen anlık toplam ışınlım, direkt, yayılı ve yansıyan ışınlımların toplamıdır ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$I_e = I_{ed} + I_{ey} + I_{yan} \quad (3.47)$$

$$I_e = R_d I_d + I_y \frac{1 + \cos s}{2} + I \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.48)$$

Eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınlım, yatay düzleme gelen tüm güneş ışınlımına bölünerek aşağıdaki denklem ile de hesaplanabilir.

$$R = \frac{I_e}{I} = R_d \frac{I_d}{I} + \frac{I_y}{I} \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.49)$$

**Yeryüzünde eğik düzleme gelen günlük direkt ışınlım, ( $Q_{ed}$ ):**

Eğik düzleme gelen günlük direkt güneş ışınlımının, yatay düzleme gelen günlük direkt güneş ışınlımına oranı; atmosfer dışı ve yeryüzü için aynı değerlerde gerçekleşir. Bu oran;



$$\bar{R}_d = \frac{Q_e}{Q_d} \cong \frac{Q_{oe}}{Q_{od}} = \frac{\int_{-H}^{H_2} \cos g dh}{\int_{-H}^{H_1} \cos z dh} \quad (3.50)$$

şeklindedir. Güneye dönük ( $a=0$ ) düzlemler için bu oran,

$$\bar{R}_{dg} = \frac{\cos(e-s)\cos d \sin H_g + \frac{\pi}{180} H_g \sin(e-s)\sin d}{\cos e \cos d \sin H + \frac{\pi}{180} H \sin e \sin d} \quad (3.51)$$

denkleminde eşit olur. Burada  $H_g = \min[|H|; |H_{gp}|]$ 'dir ve aşağıdaki açılımla özetlenebilir.

$$H_g = \min \left[ \underbrace{\arccos(-\tan e \tan d)}_{|H|}; \underbrace{\arccos(-\tan(e-s)\tan d)}_{|H_{gp}|} \right] \quad (3.52)$$

#### **Yeryüzünde eğik düzleme gelen günlük yayılı ışınım, ( $Q_{ey}$ ):**

Eğik düzleme gelen günlük yayılı güneş ışınımı ( $Q_{ey}$ ); yatay düzleme gelen günlük yayılı güneş ışınımı ( $Q_y$ ) ve düzlemin eğiminin ( $s$ ) fonksiyonu olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$\frac{Q_{ey}}{Q_y} = \frac{1 + \cos s}{2} \quad (3.53)$$

#### **Yeryüzünde eğik düzleme gelen günlük yansayan ışınım, ( $Q_{eyan}$ ):**

Çevrenin yansıtma oranı ( $\rho$ ) ve yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımı ( $Q$ ) olmak üzere, eğik düzleme günlük yansyarak gelen ışınım aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Q_{eyan} = Q\rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.54)$$

**Yeryüzünde eğik düzleme gelen günlük toplam ışınım, ( $Q_e$ ):**

Eğik düzlem üzerine gelen günlük toplam ışınım, direkt, yayılı ve yansıyan ışınımın toplamıdır.

$$Q_e = Q_{ed} + Q_{ey} + Q_{eyan} \quad (3.55)$$

Eğik düzleme bir gün boyunca gelen toplam ışınımın yatay düzleme bir gün boyunca gelen tüm ışınımına oranı ise,

$$\bar{R} = \frac{Q_e}{Q} = \bar{R}_d \frac{Q_d}{Q} + \frac{Q_y}{Q} \frac{1 + \cos s}{2} + \rho \frac{1 - \cos s}{2} \quad (3.56)$$

şeklinde elde edilir.

#### 4. DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisinden faydalanma, en yaygın, düz kollektörlerle olmaktadır. Tipik bir düz güneş kollektörü şeması Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Düz güneş kollektörleri, küçük ısı yüklerinde basit ısı uygulamalarda kullanılan ekonomik, çevreye zararsız, pratik ve basit ısı değiştiricileridirler. Yapımları için karmaşık teknolojiye gerek yoktur. Konutların sıcak su ve ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri, tarımsal ürünlerin kurutulması, yüzme havuzlarının ısıtılması ve sera ısıtılması gibi birçok uygulamada düz güneş kollektörleri kullanılırlar.

Düz güneş kollektörlerinde, güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi, güneş radyasyonunun siyah yüzeylerde yutulması ve sıcaklığı artan siyah yüzeyden ısının bir akışkana aktarılması ile olur.

Düz güneş kollektörleri, akışkanın cinsine göre sıvılı ve gazlı olmak üzere iki ana grupta toplanır. Bu tez çalışmasında, sıvılı düz güneş kollektörlerinin verimleri deneysel olarak incelendiğinden sadece sıvılı kollektörler hakkında bilgi verilmiştir.

Sıvılı düz güneş kollektörlerinin önemli avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Konstrüksiyonu daha basittir.
- Yayılı ışınlardan faydalanabilir.
- Tesisatın yerleştirileceği zeminin hazırlanması kolaydır.
- Hareketli kısımları yoktur.
- Hava şartlarına mukavim ve daha uzun ömürlüdür.
- İşletme masrafları azdır.
- Havalı kollektöre göre verimi yüksektir.

Basit ve kullanışlı olması sebebiyle geniş kullanım alanına sahip düz kollektörler Şekil 4.1’de gösterildiği gibi 5 temel parçadan oluşmaktadır:

1. Saydam örtü
2. Yutucu plaka
3. Akışkanın dolaştığı boru

4. Yalıtım

5. Kasa.

Düz güneş kollektöründe, soğuk akışkan, dağıtıcı borudan, kollektör uzunluğunca yerleştirilen ve yutucu plaka ile temas halinde olan borulara dağıtılır. Yutucu plaka sıcaklığı, üzerine düşen güneş ışınımını yutması sayesinde artar. Isınan plakadan, temas halindeki boru içinden akan akışkana iletimle ve taşınım ile ısı geçişi olur. Isınan akışkan toplayıcı boruda toplanarak kullanılacak yere alınır. Kollektör parçalarının görevleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 4.1. Düz güneş kollektörü şeması

#### **Saydam örtü:**

Saydam örtü, kollektörlerin üstten olan ısı kayıplarını en aza indirgeyen ve güneş ışınlarının geçişini engellemeyen bir maddeden seçilmelidir. Rüzgarlı bölgelerde taşınım ile olan ısı kayıpları çok fazla olmaktadır. Saydam örtü taşınım ile çevreye olan ısı kaybını önlediği gibi yutucu plakayı yağmur, dolu ve toz gibi dış etkilerden de korur.

Kollektörlerde kullanılan saydam örtülerin, güneşten gelen ısı ışınımının yoğun olduğu kısa dalga boylu güneş ışınımını geçirme oranı büyük, ve ayrıca, yutucu plakadan neşredilen uzun dalga boylu ışınımın dışarı çıkmaması için de uzun dalga boylu ışınımı geçirme oranı küçük olmalıdır. Bu özellik sayesinde sera etkisi oluşmaktadır. Pencere camları bu özelliği sağlamaktadır. Ayrıca saydam örtü, ucuz olmalı, kolay temin edilebilmeli, morötesi güneş ışınlarından etkilenmemeli, yüksek sıcaklıklara dayanabilmeli, kolay işlenebilmeli ve çevreden gelecek etkilere (dolu, taş v.s) mukavim olmalıdır.

### **Yutucu plaka ve boru:**

Yutucu plaka, kollektörlerde güneş ışınımını yutan ve ısıyı, borulardaki akışkana aktaran kısımdır. Yutucu plaka, ışınları yutması için koyu bir renge genellikle siyah esaslı boyalarla boyanır ya da seçici yüzeyle kaplanır. Yutucu plaka, üzerine gelen güneş ışınımını yutar ve sıcaklığı artar. Yutucu plakanın, güneş ışınımını yutma oranının büyük ve uzun dalga ışınım yayma oranının küçük olması gerekir. Işınımı yutarak ısınan plaka, ısıyı, temas halinde bulunduğu akışkana iyi bir şekilde iletmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek olmalıdır. Isı geçişinin çabuk ve iyi olması için levhalar ince yapılıdır. Akışkanın dolaştığı boru veya kanallarda ise, ısı nihai kullanım amacı için faydalı ısı enerjisi olarak akışkana aktarılır.

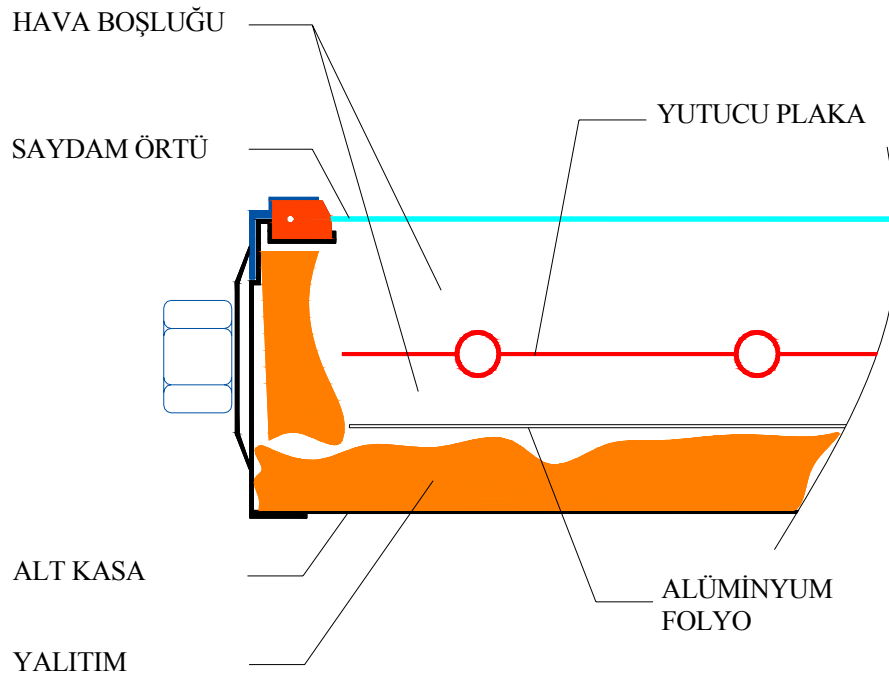
Kollektörlerde yutucu plaka ve boru malzemesi olarak genellikle, bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılır. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına rağmen, diğer malzemelere göre daha pahalıdır. Çelik ise piyasadan kolay temin edilebilir, fakat korozyona müsait bir metaldir. Diğer taraftan, seçilen malzemenin lehim veya kaynak yapılabilme özelliği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bakırın lehimi kolay ama pahalıdır. Alüminyumun başka bir metal ile lehim veya kaynağı ise özel yöntemler gerektirir.

Burada önemli olan bir konu da boru–yutucu plaka temasının çok iyi olmasıdır. Birleşim yöntemi olarak kaynak kullanımı bu teması çok iyi sağlar. Ancak boru ve yutucu plaka malzemelerinin farklı olması durumunda kullanılan kenetleme yöntemlerinde temas konusunda problemler vardır.

### **Isı yalıtımı ve kasa:**

Kollektörlerin arka ve yan kısımlarından olan ısı kayıplarını azaltmak için, yutucu plaka ile kasa arası ısı iletim katsayısı düşük malzemelerle yalıtılır. Yalıtım malzemesi seçilirken ısı iletim katsayısının düşük olması yanında, yüksek sıcaklığa dayanabilir ve neme dirençli olması ve şekil değiştirme, yanma ve genişleme özellikleri göz önünde bulundurulur.

Cam yünü, strofor ve poliüretan; ısı iletim katsayılarının küçüklüğü ve hafifliği sebebiyle en çok tercih edilen kollektör yalıtım malzemelerindedir. Cam yünü yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğundan, yüksek sıcaklıklara çıkılan kollektörlerde strafor veya poliüretan üzerine (kollektör levhası tarafına) cam yünü konulur. Yalıtım malzemesi ile kollektör levhası arasında bir hava boşluğu bırakılması ve yalıtım malzemesinin üzerinin ışınım yansıtma oranı büyük olan alüminyum folyo ile kaplanması durumunda (Şekil 4.2) ısı kaybı daha az olur ve bu durumda yalıtım malzemesi yüksek sıcaklıklara çıkmaz. Yalıtım malzemesi kalınlığı, yutucu plaka sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak seçilir. Yüksek sıcaklıklara çıkılan kollektörlerde, yalıtım kalınlığı artırılmalıdır.



**Şekil 4.2.** Düz kollektör hava boşluklu yalıtım kesiti

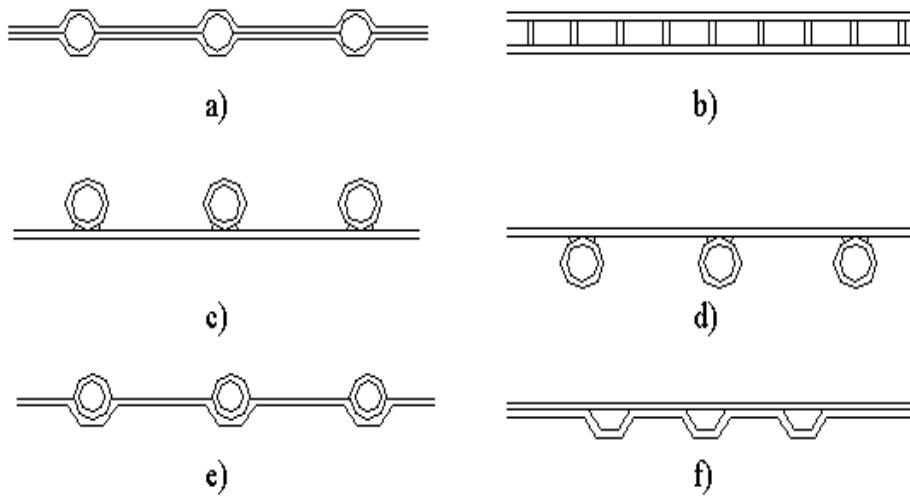
Kollektör kasası olarak alüminyum ve paslanmaz çelik gibi malzemeler kullanılabilir. Kullanılan malzemeye göre, gövde tasarımı değişiklik gösterir. İmalatçılar, genellikle kollektör gövdesi olarak ekstrüze alüminyum profili tercih ederler. Çünkü, ekstrüze alüminyum profil hafiftir ve mümkün olan en yüksek esnekliğe sahiptir. Daha karmaşık şekiller maliyeti düşük olan bu profil ile üretilebilir.

Kasa, yalıtım malzemesinin ıslanmasını önleyecek sızdırmazlıkta olmalıdır. Özellikle kollektör giriş ve çıkışında kasanın tam sızdırmazlığı, yüksek sıcaklığa dayanıklı contalar ile sağlanır.

Düz kollektörlerde, camda oluşan su buharını dışarıya atmak maksadı ile, kasanın iki yan kenarına tam karşılıklı ikişer adet 2–3 mm çapında delik açılır. Kollektörün yapım aşamasında, kullanılan malzemelerin ısıl genleşmeleri de dikkate alınmalıdır.

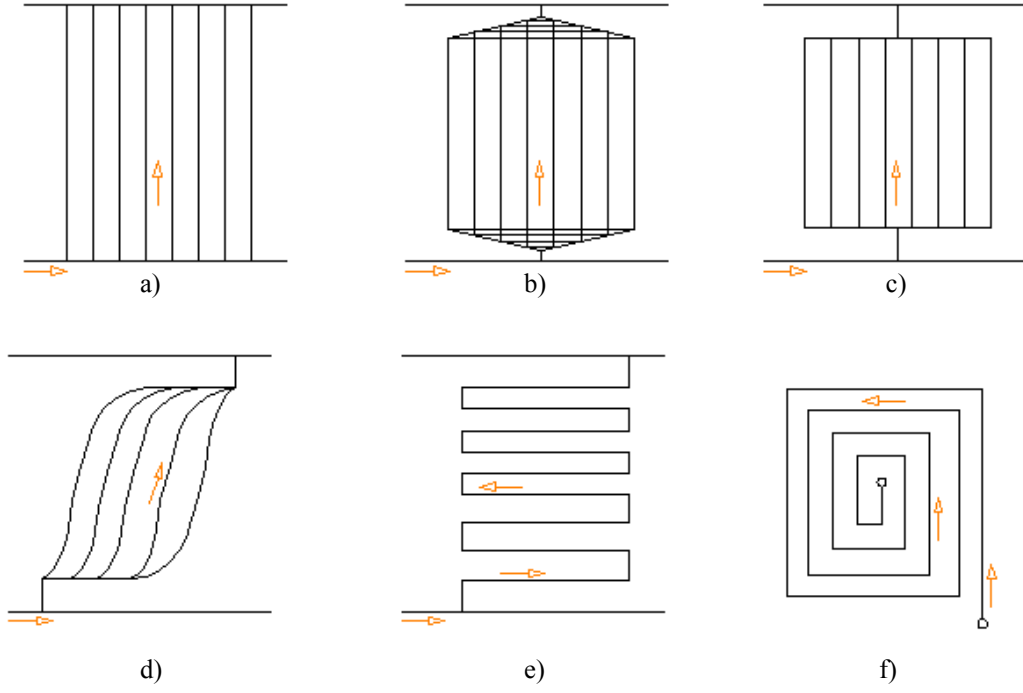
#### **Düz Kollektörlerin Dizaynı:**

Düz güneş kollektörleri dizaynında, Şekil 4.3'de gösterilen boru-yutucu plaka bağlantı şekilleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan bağlantı Şekil 4.3.a'daki konfigürasyondur. Bu bağlantı şekilleri daha çok kaynaklı birleşim şeklinde olup, kenetleme yöntemi de kullanılmaktadır. Ayrıca, ekstrüzyon imalat yöntemleri de özellikle alüminyum malzeme için uygulanmaktadır.



**Şekil 4.3.** Kollektör boru-yutucu plaka bağlantı şekilleri

Bunun yanısıra, boruların kollektör alanında dolaştırılma şekilleri de Şekil 4.4'de gösterilmiştir. En çok kullanılan dolaşım yöntemi ise Şekil 4.4.a durumunda olduğu gibi dikey paralel borular kullanılmasıdır. Bu durumun imalat kolaylığının yanında tabii dolaşım kolaylığı da vardır. Şekil 4.4.e,f durumlarında akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı daha yüksek olacaktır.



**Şekil 4.4.** Kollektör borularının dolaştırılma şekilleri



## 5. DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ISIL ANALİZİ

Düz güneş kollektörlerinin verimlerini artırıcı tasarımların yapılması, ancak teorik ve deneysel olarak ısı analizlerinin detaylı yapılması ile mümkün olur. Bu tez çalışması daha çok deneysel analizi kapsamına rağmen, genel anlamda teorik ısı analizinin de yapılması gereklidir. Düz güneş kollektörü, Şekil 5.1’de ısı akış şeması gösterildiği üzere, prensipte üzerine düşen güneş ışınım enerjisini akışkana faydalı ısı enerjisi şeklinde aktaran bir ısı değiştiricisidir. Kollektör, bir kontrol hacmi olarak ele alınırsa, öncelikle, kollektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır ve saydam örtüyü geçen kısmı yutucu plakaya ulaşır. Yansıtılan kısım kollektör optik verimi (yutma–geçirme katsayısı,  $(\tau\alpha)$ ) ile ifade edilir.

Yutucu plakaya gelen ışınım enerjisi ( $Q_g$ ), siyah plaka yüzeyi tarafından yutulur ve plakanın sıcaklığı artar. Yüksek sıcaklıktaki plakadan; ısı, iletim yoluyla borulara ve boru iç yüzeyinden taşınım ile akışkana faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) olarak aktarılır. Bu esnada, sıcaklığı artan yutucu plakadan düşük sıcaklıktaki çevreye ışınım ve taşınım yolu ile ısı kayıpları ( $Q_k$ ) olmaktadır. Eğer, ısı olarak sürekli rejime ulaşılmamış ise, kollektör ısı ataletine bağlı olarak kollektörün ısınması veya soğuması şeklinde bir miktar depolama da ( $Q_d$ ) olabilecektir. O halde, kollektör üzerine gelen güneş ışınım enerjisi sürekli rejimde ya suya aktarılmakta ya da çevreye kaybolmaktadır.

Bu durumda, kollektör bir kontrol hacmi olarak değerlendirilip (Şekil 5.1), kollektörün tamamı için anlık enerji korunumu uygulanarak aşağıdaki denklem elde edilir:

$$Q_g = A_t I_e = Q_f + Q_k + Q_d \quad (5.1)$$

Burada;

$A_t$  : Kollektör yüzey alanı ( $m^2$ )

$I_e$  : Kollektör üzerine gelen anlık güneş ışınımı ( $W/m^2$ )

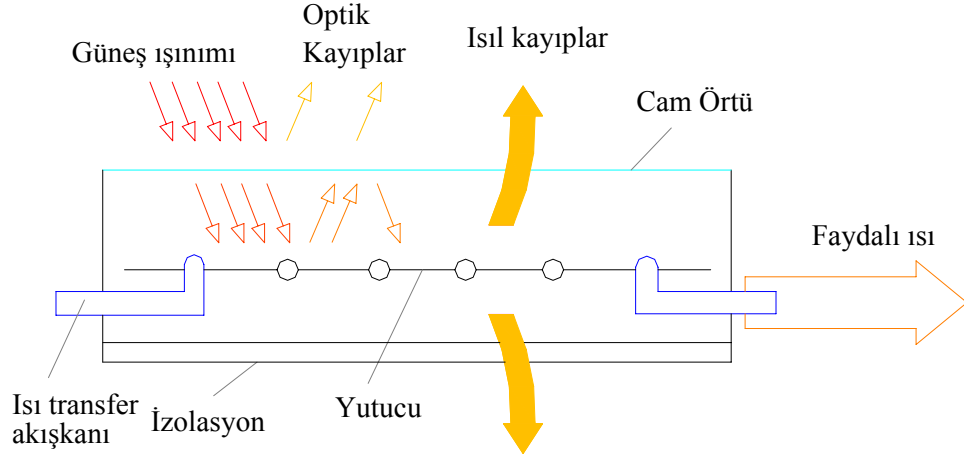
$Q_g$  : Yutucu plakaya gelen ışınım enerjisi (W)

$Q_f$  : Akışkana aktarılan faydalı enerji (W)

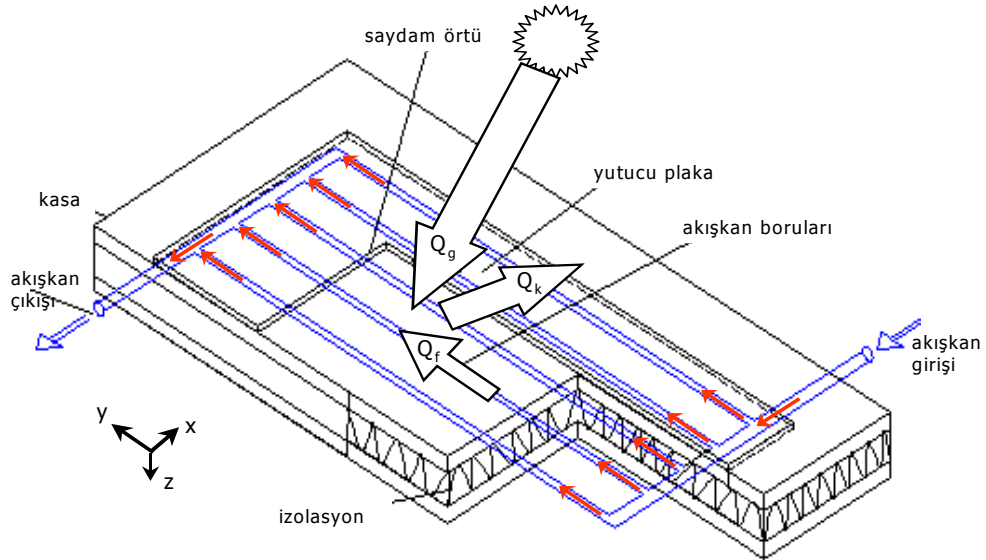
$Q_d$  : Depolanan enerji (W)

$Q_k$  : Toplam ısı kaybı (W)

şeklinde. Bu fiziksel büyüklüklerin hesaplanması aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 5.1.a. Düz güneş kolektörü ısı akış şeması



Şekil 5.1.b. Düz güneş kolektörü ısı analiz şeması

### Kollektör üzerine gelen anlık güneş ışınımı ( $I_e$ ):

Kollektör üzerine gelen anlık güneş ışınımı ( $I_e$ ), birçok astronomik, geometrik ve coğrafik parametrenin fonksiyonudur ve yılın her günü ve günün her anı için farklıdır. Bu ışınım, ışınım ölçen cihazlarla belirlenebileceği gibi, Bölüm 3'de detayları verilen yarı ampirik denklemlerle de hesaplanabilir. Tez kapsamında bu denklemler kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

### Akışkana aktarılan faydalı enerji ( $Q_f$ ):

Kollektörden akışkana aktarılan faydalı enerji miktarı ( $Q_f$ ), suyun kollektöre giriş ( $T_g$ ) ve çıkış sıcaklığı ( $T_ç$ ) ile debisinin ( $\dot{m}, \dot{Q}$ ) deneysel olarak belirlenmesi durumunda aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

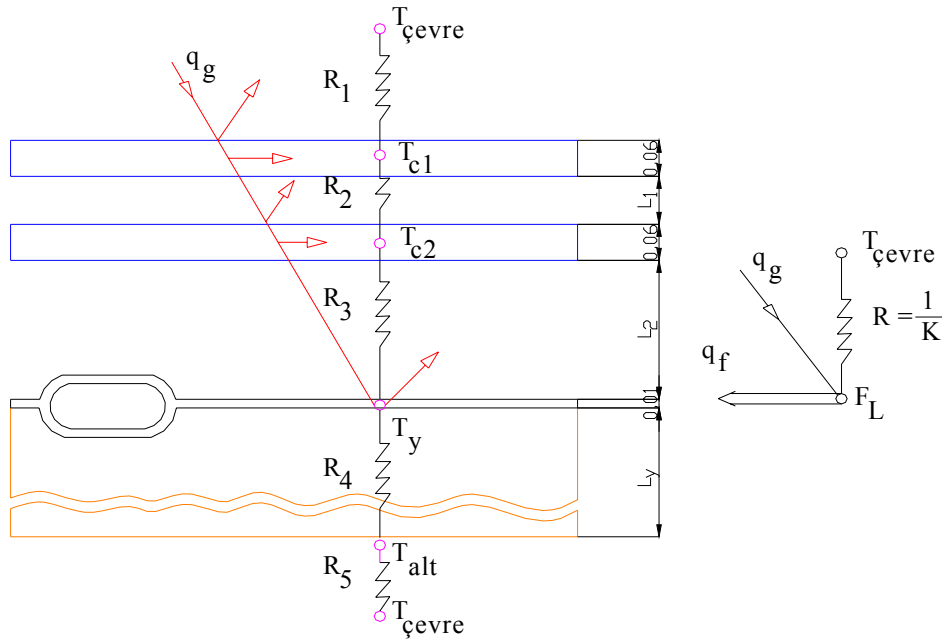
$$Q_f = \dot{m} c_p (T_ç - T_g) = \rho \dot{Q} c_p (T_ç - T_g) \quad (5.2)$$

### Depolanan enerji ( $Q_d$ ):

Depolanan enerji ( $Q_d$ ), kollektör sürekli rejimde değilken ısınması ve soğuması esnasındaki ısıl ataletinden kaynaklanmaktadır ve miktarı, kayıp ve faydalı enerjiye göre genellikle ihmal edilebilecek seviyelerdedir. Tez kapsamında yapılan deneyler de sürekli rejime yakın şartlarda gerçekleştirildiğinden depolama terimi ihmal edilmiştir.

### Kayıp enerji ( $Q_k$ ):

Kollektörde meydana gelen ısı kayıpları, kollektör geometrisinin yanı sıra, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, saydam örtü sayısı ve özellikleri, yalıtım şekli ve yalıtım malzemesi özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Çift saydam örtülü bir kollektör için ısı kaybının elektrik benzeşimi Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2. Düz kollektörlerde ısı geçişinin elektrik benzeşimi

Düz kollektörlerde, çevreye olan ısı kaybı, kollektörlerin üst, alt ve yan yüzeylerinden olur. Kollektör yan yüzey alanları küçük olduğundan genelde kayıp hesaplarına katılmaz. Yutucu plaka ile çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı (K), kollektör alt yüzeyinden ( $K_{alt}$ ) ve üst yüzeyinden ( $K_{üst}$ ) olan ısı kayıp katsayılarının toplamıdır ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$K = K_{alt} + K_{üst} \quad (5.4)$$

**Kollektör alt yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı ( $K_{alt}$ ):**

Kollektörlerin alt yüzeyinden olan ısı kaybı, yalıtım malzemesinin kalınlığı ile ısı iletim katsayısına ve çevreye taşınım ile olan ısı geçişine bağlıdır. Şekil 5.2'deki ısı dirençler (R) cinsinden, kollektörün alt yüzeyinden gerçekleşen toplam ısı katsayısı,

$$K_{alt} = \frac{1}{R_4 + R_5} \quad (5.5)$$

şeklinde dir. Burada ( $R_4$ ) ısı direnci; yalıtım kalınlığı ( $L_y$ ) ve ısı iletim katsayısı ( $k_y$ ) cinsinden

$$R_4 = \frac{L_y}{k_y} \quad (5.6)$$

denkle miyle hesaplanır. Yatılım malzemesinin alt yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark çok küçük gerçekleştiğinden ( $R_5=0$ ) alınabilir. Bu durumda kollektör alt yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı için

$$K_{alt} = \frac{k_y}{L_y} \quad (5.7)$$

denkle mi elde edilir.

**Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı ( $K_{üst}$ ):**

Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kaybı ( $K_{üst}$ ) hesabı; iletim, taşınım ve ışı nımın dahil olduğu oldukça detaylı ısı analiz yapılmasını gerektirir. Benzer şekilde, ( $K_{üst}$ ) ısı dirençler cinsinden kapalı formda aşağıdaki denkle mi ile ifade edilir.

$$\frac{1}{K_{üst}} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} \quad (5.8)$$

Kollektörün üst kısmından olan ısı kayıp katsayısı; levha, saydam örtü ve çevre sıcaklıkları, saydam örtü sayısı, yutucu plaka ile saydam örtü arasındaki mesafe, yutucu plakanın ışıyım neşretme katsayısı, rüzgar hızı vb. gibi birçok parametreye bağlıdır. Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı detaylı ısı analiz ile belirlenebileceği gibi aşağıda önemli parametreleri içerecek şekilde verilen yarı ampirik denklem kullanılarak belirli seviyede bir yaklaşıklıkla hesaplanabilir:

$$K_{üst} = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_y} \left[ \frac{T_y - T_{çevre}}{N + f} \right]^{0.33}} + \frac{1}{h_{id}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_y + T_{çevre})(T_y^2 + T_{çevre}^2)}{[\varepsilon_L + 0.05N(1 - \varepsilon_L)]^{-1} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_S} - N} \quad (5.9)$$

$$f = (1 - 0.04h_{id} + 0.0005h_{id}^2)(1 + 0.091N) \quad (5.10)$$

$$C = 250[1 - 0.0044(s - 90)] \quad (5.11)$$

Buradaki fiziksel büyüklükler aşağıda listelenmiştir.

- $V_r$  : Rüzgar hızı (m/s)
- $s$  : Kollektör eğimi (°)
- $N$  : Saydam örtü sayısı
- $\varepsilon_L$  : Yutucu plakanın ışıyım neşretme oranı
- $\varepsilon_S$  : Saydam örtünün ışıyım neşretme oranı
- $T_y$  : Yutucu plaka sıcaklığı (°C)
- $T_{çevre}$  : Çevre sıcaklığı (°C)
- $f$  : Güneş sabitini düzeltme faktörü

### 5.1. Anlık Kollektör Verimi

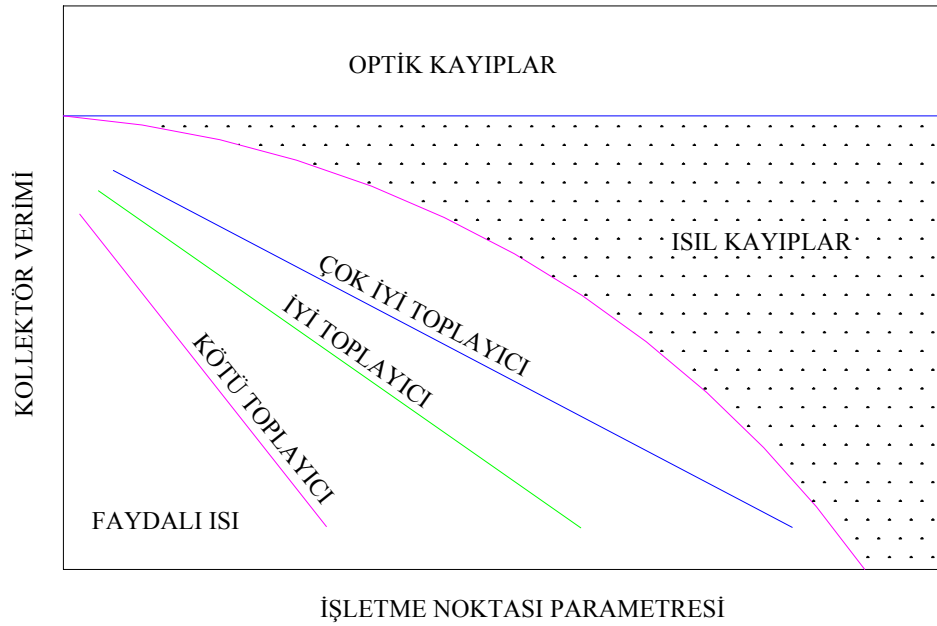
Anlık kollektör verimi, yüzeye gelen güneş ışıyımının, faydalı enerji olarak akışkana aktarılma oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$\eta_t = \frac{Q_f}{Q_g} = \frac{\dot{m}c_p(T_\zeta - T_g)}{A_t I_e} = \frac{\rho \dot{Q} c_p (T_\zeta - T_g)}{A_t I_e} \quad (5.12)$$

Burada,  $I_e$ [W/m<sup>2</sup>] kolektör yüzeyine o anda gelen güneş ışınımı ve  $A_t$ [m<sup>2</sup>] kolektör alanıdır. Burada, kolektör üzerine gelen anlık güneş ışınımı, bulunulan yere ve zamana bağlı olarak ampirik formüllerle hesaplanabileceği gibi ölçüm yapan cihazlarla da tespiti mümkündür. Kolektör verimi, kolektöre gelen güneş ışınımının yanında, çevre ve işletme şartlarının da fonksiyonudur. Bu nedenle verim, aşağıdaki denklemle belirtilen işletme noktası parametresine göre değerlendirilir. İşletme noktası parametresi, akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı ( $T_g$ ) ve çevre şartlarına ( $T_{\text{çevre}}$ ) bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$P = \frac{T_g - T_{\text{çevre}}}{I_e} \quad (5.13)$$

Kolektör veriminin işletme-noktası parametresine (P) göre tipik değişimi Şekil 5.3'te görüldüğü gibi yaklaşık lineer olarak gerçekleşir. Doğrunun eğimi azaldıkça, kolektörün ortalama verimi artar ve kolektör verimi, pratikte, artan işletme noktası parametresiyle doğrusal azalım gösterir.



**Şekil 5.3.** Güneş kolektörü veriminin işletme noktası parametresine göre tipik değişimleri

## 5.2. Günlük Kollektör Verimi

Düz kolektörlerin ısı analiz yapılırken, kolektör veriminin anlık değerleri yanında günlük ortalama kolektör verimi de hesaplanır. Günlük verim ise bir gün boyunca akışkana aktarılan enerjinin, yine birgün boyunca kolektöre gelen ışıma oranıdır ve aşağıdaki denklem ile en genel halde ifade edilir.

$$\bar{\eta}_t = \frac{\dot{Q}_f}{\dot{Q}_g} \quad (5.14)$$

## **6. DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ DENEYLERİ İÇİN TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ TARAFINDAN ÖNGÖRÜLEN ŞARTLAR**

Güneş kollektörü testleri ile ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından verilen TS-EN-12975-2 (19) ve TS EN ISO/IEC17025 (20) normları mevcuttur. Bu iki standardın gerekli gördüğü önemli konular aşağıda sıralanmıştır.

### **6.1. Verim Deneyi Genel Şartları**

1. Tam boyut kollektör modülleri deneye tabi tutulmalıdır, çünkü küçük kollektörlerin kenar kayıpları toplam performansı önemli miktarda düşürür.
2. Kollektör montaj çerçevesi kollektör açıklığını hiçbir şekilde engellememeli ve arka veya yan yalıtımı önemli derecede etkilememelidir.
3. Kollektör alt kenarı bölgesel yer yüzeyinden en az 0.5m yukarıda olacak şekilde monte edilmelidir.
4. Bina duvarlarından yükselen sıcak hava akımlarının kollektör üzerinden geçmesine müsaade edilmemelidir.
5. Kollektörler bir binanın çatısında deneye tabi tutulduğunda, çatı kenarından en az 2m uzağa yerleştirilmelidir.
6. Kollektör eğimi 45° olacak şekilde ayarlanmalıdır.
7. Kollektör bina dışında güneye dönük sabit bir konumda monte edilebilir.
8. Deney düzeneğinin yeri, deney sırasında kollektör üzerine hiçbir gölge düşmeyecek şekilde olmalıdır. Özellikle kollektörlerin ön tarafında yatayla yaklaşık olarak 15°den daha büyük bir açıya karşılık gelen büyük engellemelerin önlenmesi önemlidir.
9. Kollektöre bitişik yüzeylerin sıcaklığı, ısı ışıma etkisini asgariye indirmek için ortam havasınıninkine mümkün olduğunca yakın olmalıdır.
10. Kollektörler hava kollektör açıklığı, arkası ve yanları üzerinden serbest olarak geçecek şekilde monte edilmelidir.
11. Kollektör devresinde kullanılan boru tesisatı korozyona dirençli ve (camlı kollektörleri deneye tabi tutmak için) 95°C' a kadar sıcaklıklarda çalışmaya



uygun olmalıdır. Su esaslı olmayan akışkanlar kullanılırsa, sistem malzemesiyle uyumluluğu teyit edilmelidir.

12. Akışkanın giriş sıcaklığı üzerinde çevre etkilerini düşürmek için, depodan akışkanın çıkışı ve kollektöre girişi arasındaki boru tesisatı uzunluğu asgariye indirilmelidir. Bu borular yalıtılmalı ve yansıtıcı hava geçirmez kaplama ile korunmalıdır.
13. Mevcutsa hava kabarcıkları ve diğer kirleticileri görmek için akışkan devresine kısa şeffaf boru takılmalıdır. Şeffaf boru kollektör girişine yakın yerleştirilmeli ancak akışkanın giriş sıcaklık kontrolünü veya sıcaklık ölçmelerini etkilememelidir.
14. Kollektör çıkışına ve sistem içindeki hava birikebilecek diğer noktalara hava ayırıcı ve hava tahliyesi yerleştirilmelidir.
15. Akışkan pompası, deney düzeneğine, kollektör giriş sıcaklık kontrolünü veya kollektör boyunca akışkan sıcaklık artışı ölçmelerini etkilemeyecek konumda yerleştirilmelidir.
16. Deney düzeneği, çalışma aralığında seçilen herhangi bir sıcaklık seviyesinde sabit kollektör giriş sıcaklığı sağlayabilmelidir.

## **6.2. Bina Dışı Durgun Hal Verim Deneyi Şartları**

TS-EN-12975-2 standardı, dış ortam performans deneyleri için aşağıda sıralanan unsurlara da tabidir.

1. Kollektör gözle muayene edilmeli ve herhangi bir hasar kayıt edilmelidir.
2. Kollektör açıklığı örtüsü tam olarak temizlenmelidir.
3. Kollektör boru tesisatında kapanlanmış hava, bir hava vanası veya gerekli yüksek debide akışkan dolaştırılarak boşaltılmalıdır.
4. Henüz teste tabi tutulmamış boş kollektör, 5 saat boyunca  $700\text{W}/\text{m}^2$ 'den daha fazla seviyede ışınlanmaya maruz tutulmalıdır.
5. Deney zamanında, kollektör açıklık düzleminde ölçülen yarım küredeki güneş ışınlanma yoğunluğu  $700\text{W}/\text{m}^2$  den daha büyük olmalıdır.
6. Yansıyan güneş ışınımı yoğunluğu %30'dan daha az olduğunda etkisi ihmal edilebilir.

7. Kollektör açıklığına paralel ortalama hava hızı değeri, kollektör üstündeki uzaysal değişimler ve deney periyodu sırasındaki geçici değişimler dikkate alınarak,  $3\text{m/s} \pm 1\text{m/s}$  olmalıdır.
8. Deney periyodu sırasında ayar değerinin  $\pm\%1$  dâhilinde kararlı tutulmalı ve bir deney periyodundan bir diğer deney periyoduna ayar değerinin  $\pm\%10$ 'dan daha fazla değişmemelidir.

### 6.3. Kollektör Verim Deneyinde Yapılması Gereken Ölçümler

Deney işlemi sırasında aşağıda belirtilen veriler ölçülmelidir.

- Kollektöre gelen güneş ışınımı (hesaplama ile de tayin edilebilir),
- Kollektöre paralel hava hızı ,
- Çevre hava sıcaklığı,
- Kollektör girişinde ısı aktarma akışkanı sıcaklığı,
- Kollektör çıkışında ısı aktarma akışkanı sıcaklığı,
- Isı aktarma akışkanı debisi.

### 6.4. Deney Periyodu

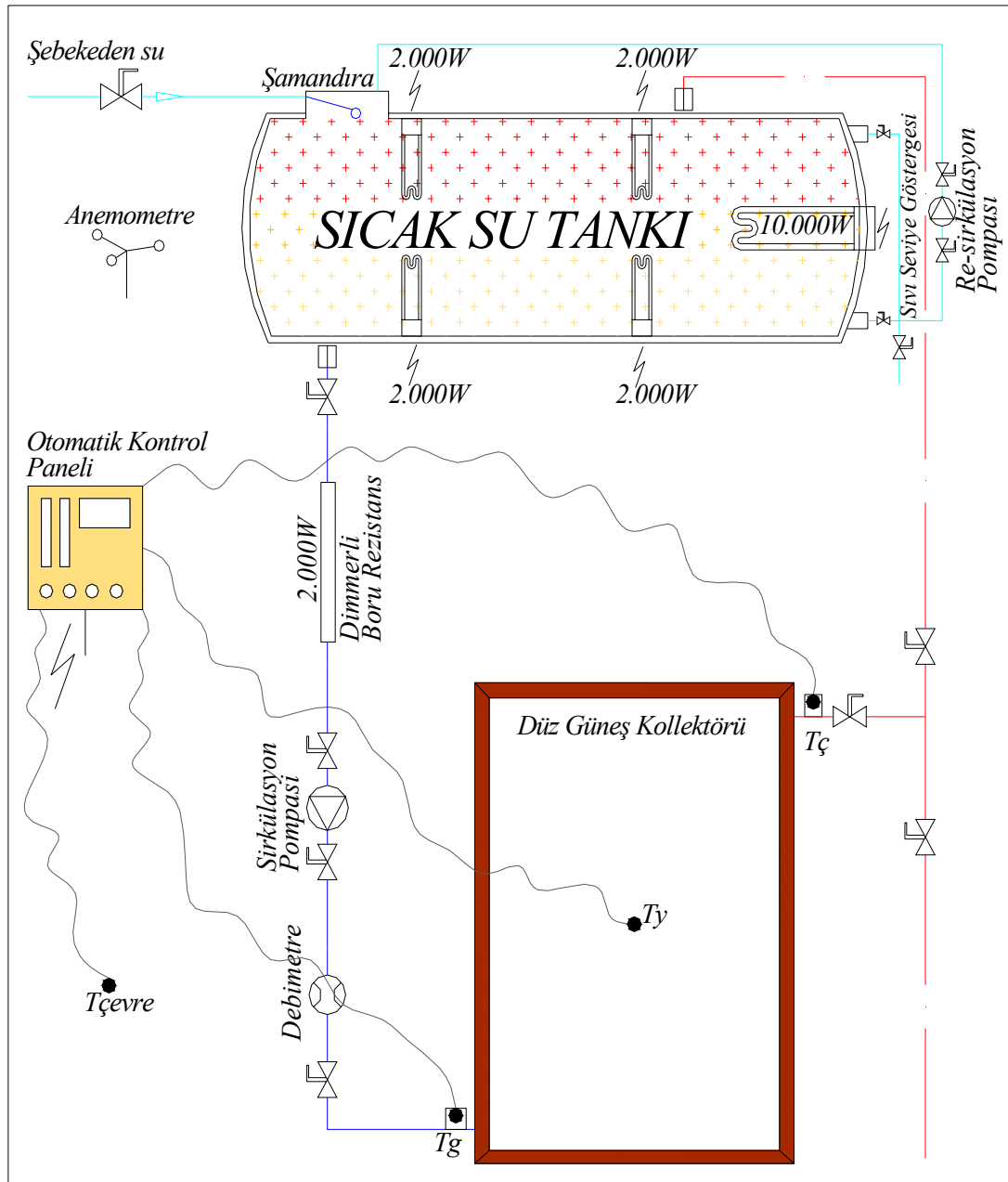
Kollektör zaman sabitinin (biliniyorsa) en az 4 katı veya 10 dakikadan daha az olmayan (zaman sabit bilinmiyorsa) bir durgun hâl ölçme periyodu ihtiva etmelidir. Bir ölçme periyodu sırasında ölçülen parametrelerin müsaade edilen sapması Çizelge 6.1'de görülmektedir.

**Çizelge 6.1.** Kollektör verim deneyinde ölçülen parametrelerin toleransları

Parametre	Ortalama değer toleransları
(Global) Deney güneş ışınlanma yoğunluğu	$\pm 50\text{W/m}^2$
Çevreleyen hava sıcaklığı (bina içi)	$\pm 1\text{K}$
Çevreleyen hava sıcaklığı (bina dışı)	$\pm 1.5\text{K}$
Akışkanın kütle debisi	$\pm \%1$
Kollektör girişinde akışkan sıcaklığı	$\pm 0.1\text{K}$

## 7. DENEY TESİSATI

Şekil 7.1’de şeması gösterilen deney tesisatı, sıvılı düz güneş kolektörlerinin veriminin hesaplanması için gerekli olan ölçümleri alacak şekilde tasarlanmıştır. Deney tesisatının tasarlanmasında TS-EN-12975-2 normunda belirtilen esaslar dikkate alınmıştır. Bu normun vurguladığı önemli konular dikkatle gözden geçirilmiş ve bu norma uygun deney tesisatı oluşturulmuştur.



Şekil 7.1. Düz güneş kolektörü verim ölçümü için deney tesisatı şeması

Deney düzeneği, gerçek dış ortam şartları için hazırlanmıştır. Literatürden edinilen bilgiye göre farklı özelliklere sahip güneş kollektörleri verimlerinin karşılaştırılmasında, aynı çevresel koşulların sağlanması açısından laboratuvar şartlarında yapılan deneylerin kullanıldığı ve dñnyanın birçok yerinde iç ortam testlerinin uygulandığı ifade edilmektedir. Farklı günlerde yapılan değişik özelliklerdeki kollektör deneyleri için, çevresel şartların yakın değerlerde tutulabilmesinin kısmi bir yolu, dış ortam deneylerinin ardışık günlerde yapılmasıdır. Kıyaslanacak kollektörün eğim açısı, debi değer ve suyun giriş sıcaklığı gibi kontrol edilebilir etkenler birbirine yakın ya da eşit tutularak sağlıklı karşılaştırma için kararsızlık oluşturacak etkenler kısmen ortadan kaldırılabilir. Dış ortamdaki verim deneylerinin en büyük avantajı, kollektörlerin gerçek şartlarda gösterdikleri performansın tayin ediliyor olmasıdır. Bu sayede test edilen kollektörün gerçek çalışma ortamındaki verim değer elde edildiğinden, pratik kullanıma daha uygun değerlendirmeler yapmak olasıdır. Düz güneş kollektörü, içinden geçen suya enerji aktarabilmek için gerekli enerjiyi güneşten aldığından dış ortama bağımlıdır. Bu nedenle, her ne kadar dış ortam şartları kontrol edilemez olsa da, kollektörler dış ortamda çalıştıklarından, verim ölçümünün dış ortamda yapılması önem taşımaktadır.

şekil 7.1’de gösterilen TS–EN–12975–2 normuna göre tasarlanan deney düzeneği, aşağıda listelendiği gibi dokuz temel parçadan oluşmaktadır:

- 1- Sıcak su deposu
- 2- Düz güneş kollektörü
- 3- Debimetre
- 4- Anemometre
- 5- Sirkülasyon pompaları
- 6- Eğimi ve boyutları ayarlanabilir kollektör sehpası
- 7- Elektrik dirençli ısıtıcılar
- 8- Sıcaklık algılayıcılar
- 9- Kumanda panosu

Tasarlanan deney düzeneği tesisatı gölgelenmeye maruz kalmayacak şekilde arazi ortalama kotundan 50cm yükseklikte donatılı beton kaide üzerine güneye dönük monte edilmiştir. Kaide üzerinde 1” boru ile şebeke suyu alt yapısı ve 380V ve 220V olmak üzere iki ayrı elektrik güç çıkışı için, alt yapı hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde; ana güç

panosu, rezistans ve sirkülasyon pompaları güç panosu ve dijital okuyucuları gösteren pano olmak üzere üç ayrı pano bulunmaktadır (Şekil 7.2). Deney düzeneği etrafı, demonte edilebilen galvaniz tel örgü ile muhafazaya alınmıştır.



**Şekil 7.2.** Deney tesisatı panoları

Şekil 7.1’de şeması, Şekil 7.3’de ise fotoğrafları gösterilen deney tesisatında şebekeden alınan su, depoya şamandıra vasıtası ile dolmaktadır. Su seviyesi, depo üzerinde bulunan göstergeden göz ile kontrol edilebilmektedir.

Kollektöre su giriş sıcaklığının sabit tutulması gerektiği TS-EN-12975-2’de açıkça belirtilmektedir. Ayrıca, kollektör veriminin farklı su sıcaklıklarında belirlenmesi de farklı çalışma şartlarındaki verim değerlendirmesi için bir gerekliliktir. Bu nedenle, kollektöre istenen farklı sıcaklıklarda su sağlanabilmesi için, depo içerisine farklı güçlerde elektrik dirençli ısıtıcılar monte edilmiştir. Bu ısıtıcılar toplamda 20.000W gücündedir. Güç dağılımı ise, dört adet 2.000W (220V), bir adet 10.000W (380V) ve bir adet dimmer ayarlı boru tipi elektrik dirençli ısıtıcı 2.000W (220V) şeklindedir. Bu yüksek güç, deney sırasında istenilen sıcaklığa kısa sürede ulaşılmasını sağlar. Burada, boru tipi rezistans ve bağlı olduğu dimmer düzeneği sayesinde, voltaj ayarlaması ile ısıtma gücü ayarlanarak, su sürekli olarak aynı sıcaklıkta kollektöre gönderilebilmektedir. Isıtma süreci boyunca deponun alt ve üst noktasından çapraz bağlantılı olarak çalışan re-sirkülasyon pompası, depo içindeki su sıcaklığını homojen tutmak için kullanılır. İstenilen sıcaklığa gelen su, depo altındaki çıkıştan bağlantı

boruları yardımıyla alınır. Sirkülasyon pompası vasıtası ile istenilen debide test edilecek kollektöre gönderilir. Debi ayarı, kısılma vanası yardımıyla sağlanan suyun debisi debimetreden okunur. Kollektöre sabit sıcaklık ve debide giren su kollektör üzerine gelen güneş ışınımı sayesinde ısınır ve açık çevrim olarak dış ortama atılır veya kapalı çevrim olarak depoya da gönderilebilir. Bütün bu süreç içerisinde, dijital sıcaklık okuyucudan, kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları, çevre sıcaklığı ve yutucu plaka sıcaklığı okunur. Ayrıca kollektör etrafındaki rüzgar hızı anemometre ile belirlenir. Tüm tesisat boruları ve ek parçaları, folyo kaplı camyünü ile izole edilmiş ve galvanizli saç ile muhafazalanmıştır. Depo ise, 10cm taş yünü ile yalıtılmış ve üzeri galvanizli saç ile kaplanmıştır. Sistemde kullanılan tüm cihazlar montaj kolaylığı açısından rekorlu tasarlanmıştır. Deney tesisatında gerekli görülen çeşitli noktalara otomatik hava purjörleri monte edilmiştir.



**Şekil 7.3.a.** Deney tesisatı genel görünüşü



**Şekil 7.3.b.** Deney tesisatı arazi yerleşimi



**Şekil 7.3.c.** Deney tesisatı sol yan görünüşü



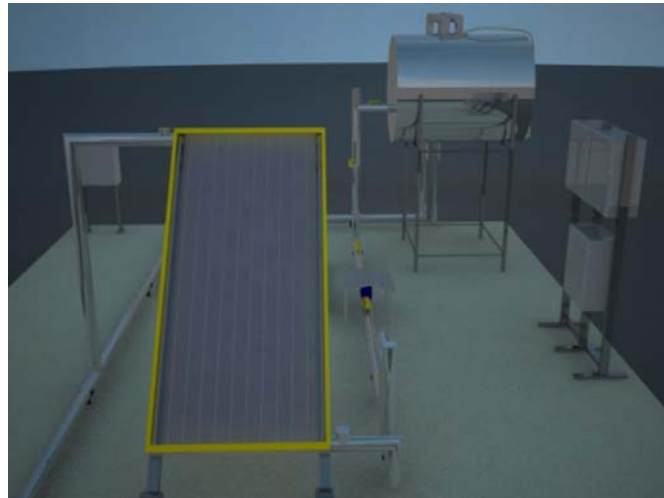
**Şekil 7.3.d.** Deney tesisatı arka görünüşü



Şekil 7.3.e. Kaide üzeri deney tesisatı yerleşimi

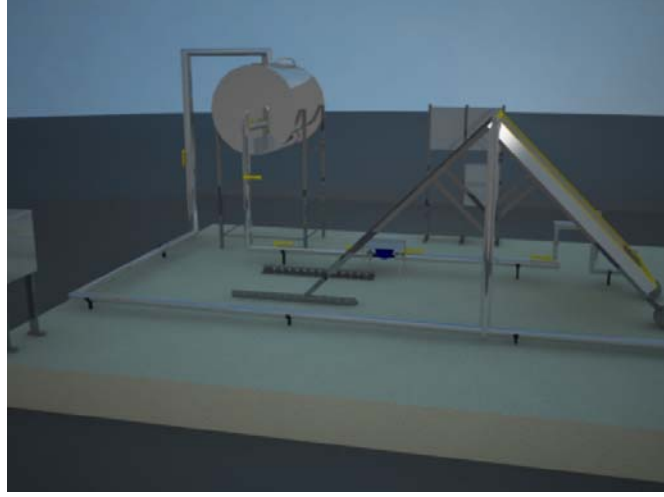


Şekil 7.3.f. Deney tesisatı sehpa yerleşimi

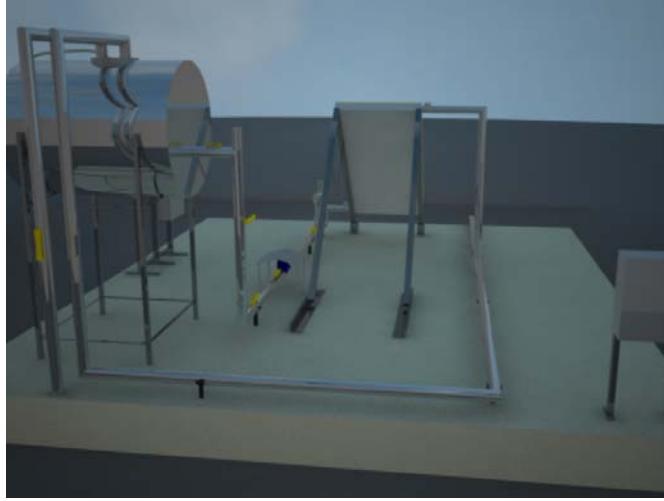


Şekil 7.3.g. Deney tesisatı üç boyutlu şematik ön görünüşü





**Şekil 7.3.h.** Deney tesisatı üç boyutlu şematik sol yan görünüşü



**Şekil 7.3.ı.** Deney tesisatı üç boyutlu şematik arka görünüşü



**Şekil 7.3.i.** Deney tesisatı üç boyutlu şematik üst görünüşü

## 7.1. Deneyde Kullanılan Cihazlar ve Ölçü Aletleri

Deney tesisatı, kollektör veriminin hesaplanmasında gerekli olan fiziksel büyüklüklerin ölçümüne uygun tasarlanmıştır. Deney tesisatında kullanılan cihazlar ve ölçü aletleri hakkında aşağıda detaylı teknik bilgi verilmiştir.

### **Kompozit su deposu:**

Depo kompozit esaslı malzemeden üretilmiştir. Şekil 7.4'te gösterilen deponun çapı 80cm ve boyu 120cm'dir. Net su kapasitesi ise 600lt'dir. Şamandıra montajının depo su kapasitesinde azalma yapmaması için, şamandıra kapak kısmına yerleştirilmiştir. Ayrıca, depo, 10cm taş yünü ile yalıtılmış ve üzeri galvanizli sac ile kaplanmıştır.



Şekil 7.4. Kompozit su deposu yapısı ve sac ile izole edilmiş hali

### **Sıcaklık ölçüm cihazı (Gemo-DT109) ve cam tüplü sıcaklık algılayıcı (PT100):**

Deney tesisatında, kollektöre su giriş ve çıkış sıcaklıkları, çevre sıcaklığı ve yutucu plaka sıcaklığı olmak üzere dört adet sıcaklık ölçülmektedir. Sıcaklık ölçümleri, ısı çift (PT100) ve dijital sıcaklık ölçüm cihazı (DT109) ile yapılmaktadır. Bu amaçla oluşturulan pano yerleşimi Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Panoda ayrıca, ayarlı ısıtıcı için kullanılan dimmer de görülmektedir. Dijital sıcaklık ölçüm cihazı ayrıca Şekil 7.6'te gösterilmiştir. Farklı sıcaklık algılayıcılarından gelen sıcaklık değerlerinin, sıcaklık ölçüm cihazı ile okunabilmesi için, bağlantılar komütatör denilen çoklu bağlantı elemanı ile yapılmıştır. Kullanılan komütatör (Şekil 7.7) ile 10 farklı noktadan sıcaklık algılayıcı bağlantısı yapmak mümkündür.

Çizelge 7.1’de teknik özellikleri verilen sıcaklık ölçüm cihazı DT109, PT100 sıcaklık algılayıcısı kullanılması durumunda  $-100$  ile  $+600^{\circ}\text{C}$  aralığında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Cihaz  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  duyarlılığında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 7.5. Pano yerleşim detayı



Şekil 7.6. DT109 dijital sıcaklık okuyucu ve bağlantıları



Şekil 7.7. Komütatör

**Çizelge 7.1. DT109 sıcaklık ölçüm cihazı teknik özellikleri**

DT 109 MULTI- INPUT ÇİFT KONTAK SICAKLIK KONTROL CİHAZI TEKNİK ÖZELLİKLERİ
Ebat : DT109 : 96x96x95
Seçilebilir sensör tipi: T/C (J,K,S,R,T), Pt-100
Auto-tune PID özeliği
Anti-windup. Özeliği
P, PI, PD, PID veya ON-OFF kontrol formu
PID modunda otomatik .Overshoot. Engeleme özelliği
Set ve Alarm değerleri için üst ve alt limit seçme imkanı
Bağıl, mutlak veya band alarmı seçme imkanı
Isıtma / Soğutma fonksiyonu
Set ve Proses değerlerinin aynı anda izlenebilme imkanı
T/C için ortam sıcaklık kompanzasyonu
Pt100 için hat kompanzasyonu (3 teli bağlantı)
Hafızada kayıtlı C/mV, C/R dönüşüm tabloları ile eğri düzeltme
Ölçüm değerine .Offset. ekleme imkanı
Yüksek hassasiyet, doğruluk
Duyarlık:±0.1 C
program ve kontrol parametrelerini sürekli hafızada tutabilme
Soketli klemens ile kolay bağlantı imkanı
Gösterge: 2x4 Hane 7 Segment
Giriş:T/C(J,K,S,R,T)veyaPt100(3teli)
Ölçme skalası:
-100 .. 600 C; J
-100 .. 1300 C; K
- 0 .. 1750 C; S, R
-100.. 400 C;T
-100.. 600 C;Pt100
-100.0.. 600.0 C;Pt100

Boru içinden akan suyun sıcaklığını ölçmek için; PT100 sıcaklık algılayıcıları bir cam tüp içinde boru üzerine yerleştirilen T bağlantılarından boru merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 7.8). Cam tüpün kir tutmasının az ve korozyona dayanıklı olması avantajları vardır. PT100 sıcaklık algılayıcısının cam tüp yüzeyine temasını tam olarak sağlamak amacıyla veya olası temassızlıklarda algılayıcıya akışkan ısısının aktarımını kolaylaştırmak için, cam tüp içine enjekte edilen ısı iletim katsayısı  $k=2.4W/mK$  olan silikon esaslı ısı transfer macunu kullanılmıştır. Şekil 7.8'de sıcaklık algılayıcısının imalat aşamaları gösterilmiştir. Cam tüp içerisinde sabit durması için hava akışına müsaade eden plastik contalar kullanılmıştır. Ardından, bu sıcaklık algılayıcılar boru tesisatı üzerindeki 1/2" sarı nipel içerisine sun-fix macunu yardımıyla tutturulmuş ve su sızdırmazlığı sağlanmıştır.

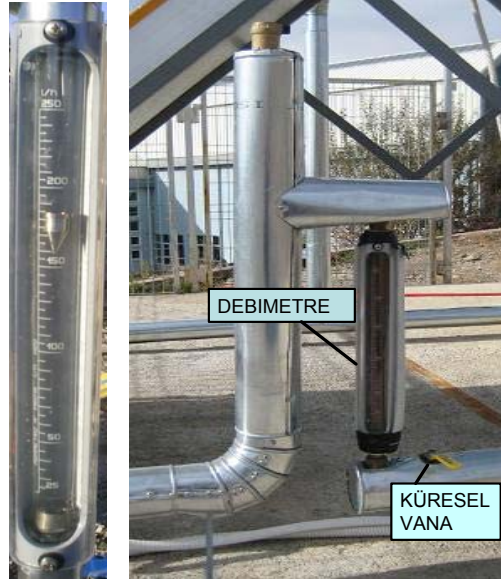


**Şekil 7.8.** Sıcaklık algılayıcı imalat aşamaları

### **Debimetre:**

Deney düzeneğinde, ASA marka 25–250lt/h aralığında ve 5lt/h duyarlılığında ölçüm yapabilen, rekor bağlantılı, ve 0–120°C sıcaklık aralığında çalışan cam tüplü debimetre

kullanılmıştır. Şekil 7.9’da tesisata bağlantısı gösterilen debimetre önüne yerleştirilen küresel vana ile debi ayarı yapılabilmektedir.



Şekil 7.9. Cam tüplü debimetre ve bağlantısı

**Thermo–Anemometre (Extech AN200 Pervane Tipi):**

Şekil 7.10’da gösterilen anemometre pervane tipi probu sayesinde kollektör çevresindeki rüzgar hızını m/s, km/h, ft/min, MPH, knots cinsinden ölçebilmektedir. Hassasiyeti  $\pm 3\%$  değerindedir. Rüzgar hızı ölçüm aralığı, 0.4–30m/s (1–108km/h)’dir. Ayrıca sıcaklık ölçümünde yapabilen cihazın, sıcaklık ölçüm aralığı ise,  $-10$  ile  $60^{\circ}\text{C}$ ’dir.



Şekil 7.10. Thermo–Anemometre (Extech AN200 Pervane Tipi)

### **Açı ölçer:**

Kollektör eğim açısı, Şekil 7.11’de gösterilen mıknatıslı açıölçer ile kollektör sehpa üzerine tutturularak ölçülmektedir.



**Şekil 7.11.** Açı ölçer ve kollektöre montajı

### **Elektrik dirençli ısıtıcı (Rezistans):**

Bu ısıtıcılar toplamda 20.000W gücündedir. Güç dağılımı ise, dört adet 2000W (220V), bir adet 10000W (380V) ve bir adet dimmer ayarlı boru tipi elektrik dirençli ısıtıcı 2000W (220V) şeklindedir. Depoya yerleştirilen bu rezistanslar (Şekil 7.12), ana dağıtım panosundan (Şekil 7.2) kumanda edilmektedir.



**Şekil 7.12.** Rezistans

### **Pusula:**

Pusula ile kollektör düzleminin tam güneye bakması sağlandı (Şekil 7.13). Böylece azimut açısı sıfır oldu.



**Şekil 7.13.** Pusula

### **Sirkülasyon pompası:**

Deney esnasında su akışını sabit debide sürekli sağlamak için Şekil 7.14'te gösterilen sirkülasyon pompası, depo çıkış tarafında boru hattına monte edilmiştir. Sirkülasyon pompası ve küresel vana ile istenen debi değeri sağlanmaktadır. Sirkülasyon pompası, markası "VİLO PB-088EA Pompamat", maksimum debisi  $2,1\text{m}^3/\text{h}$ , basma yüksekliği 9mSS'dur.



**Şekil 7.14.** Sirkülasyon pompası

## **7.2. Deneyin Yapılışı ve Verim Hesapları**

Yukarıda detayları verilen deney tesisatı, düz güneş kolektörlerinin verimlerini ölçmek amacıyla TS-EN-12975-2 normuna uygun olarak oluşturuldu. Deney tesisatında, farklı boyutlardaki kolektörler, farklı eğim, su giriş sıcaklığı ve debi ile açık veya kapalı çevrim şeklinde deneyler yapmak mümkündür.

Verim ölçümü yapılacak kolektörler  $45^\circ$  eğimle güneye dönük olarak (19) tesisata yerleştirildi. Isıl algılayıcılar ilgili yerlere monte edildi ve çalıştığı kontrol edildikten sonra güneş ışınlarından etkilenmemesi için izole edildi. Deneye başlamadan önce su ile dolu olan depo rezistanslar ile istenen sıcaklığa ısıtıldı. Bu esnada, depo üzerindeki re-sirkülasyon pompası çalıştırılarak depoda homojen sıcaklık sağlandı. Depo sıcaklığı istenen sıcaklığa ulaştıktan sonra, sirkülasyon pompası ile su kolektöre gönderildi. Kısılma vanası ile debi ayarlandı. Boru tesisatı ve kolektör borularındaki havanın dışarı atılması için önce yüksek debide su ile süpürme yapıldı. Otomatik hava purjörü ile sistemde bulunan hava dışarı atıldı. Sıcaklıklar gözetlenerek sürekli rejime ulaşılması



beklendi. Ardından, verim hesabında kullanılacak olan aşağıdaki fiziksel büyüklükler her 10 dakikada ölçüldü.

- Suyun kollektöre giriş ve çıkış sıcaklığı ( $T_g$ ) ( $T_ç$ )
- Kollektörden geçen suyun hacimsel debisi ( $\dot{Q}$ )
- Rüzgar Hızı ( $V_r$ )
- Çevre sıcaklığı ( $T_{çevre}$ )
- Kollektör yüzey sıcaklığı ( $T_y$ )

Ölçülen değerler, Şekil 7.15'te gösterilen deney föyüne kaydedildi. Deney föyündeki ölçüm değerleri kullanılarak kollektör verimi hesaplandı. Verim hesabı ile ilgili bilgiler Bölüm 5'te verilmiştir.

DÜZ GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ ÖRNEK DENEY FÖYÜ									
Tarih:									
Bulunulan yer:			Enlem:			Boylam:			
Eğim açısı ve yönü:			Kollektör Alanı:			Kollektör cam sayısı:			
Yutucu Plaka Malz:					İzolasyon malzemesi ve kalınlığı:				
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yöntemi:									
Kollektör boru sayısı:									
Hacimsel Debi:			Kütlesel Debi:			Akışkan özellikleri:			
saat	$T_{giris}$	$T_{çikis}$	$T_{çevre}$	$T_{yüzey}$	Rüzgar Hızı	Anlık Işınım	Faydalı Isı	Verim	İşletme Nok. Parametresi
	°C	°C	°C	°C	m/s	W/m <sup>2</sup>	W		°C-m <sup>2</sup> /W

Şekil 7.15. Düz güneş kollektörü verim ölçümü deney föyü

### 7.3. Örnek Verim Hesabı

Verim hesabında özellikle anlık güneş ışınımının ampirik formüllerle hesabı çok sayıda denklem ile yapılmaktadır. Verim hesabının nasıl yapıldığı, yapılan deneylerden biri için (kollektör A, 06.09.2009 tarihindeki deney) detaylı olarak tüm formüller gösterilerek Ek 1'de verilmiştir. Verim hesapları, bu formüller kullanılarak oluşturulan bilgisayar programında yapıldı ve grafikleri oluşturuldu. İlgili grafikler takip eden bölümde verildi ve değerlendirmeler yapıldı.

## 8. VERİM TESTLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Düz güneş kolektörlerinin verim ölçümleri için kurulan deney tesisatında, Çizelge 8.1’de teknik özellikleri belirtilen 5 adet kolektör test edilmiştir. Kolektörler, aşağıdaki 3 adet önemli parametrenin ısı verimindeki etkisinin, deneysel incelenmesine yönelik seçilmiştir. Bu parametreler şunlardır;

1. Boru geçiş sayısı
2. Boru malzemesi
3. Yutucu plaka-boru malzemesi birleşim yöntemi

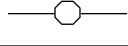
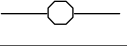
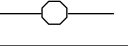
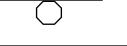

Seçilen kolektörler, mevcut yerli imalatçılardan temin edilmiştir ve piyasada kullanılan kolektörlerdir. Belirtilen parametreler, verim üzerinde etkili olan ve mevcut yerli imalatçıların pratikte uygulamakta oldukları parametrelerdir. Bu parametrelerin verimdeki etkileri matbu olarak bilinmektedir. Artan boru geçiş sayısı ile verimde artış olduğu bilinmektedir. Yüksek ısı iletim katsayısına sahip boru malzemesi kullanımı da verimi artırıcı yönde etki eder. Ayrıca, yutucu plaka ile boru arasındaki temasın mükemmel sağlanmasına yönelik birleşim teknikleri de verim üzerinde olumlu katkı sağlayacaktır. Ancak, bu parametrelerin verimde oluşturacakları değişiklikler genel anlamda bilinmesine rağmen, yerli kolektörler için bu değişimin somut sayılarla hangi oranda gerçekleştiği konusunda bir bilgiye ulaşılamamıştır. Tez çalışması kapsamında, bu farklı parametrelere göre imal edilen yerli kolektörlerin verimleri sayısal olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yutucu plaka ve boru malzemelerinin farklı olmasının, verimde oluşturacağı değişikliğin belirlenmesiyle de literatüre katkı sağlanmaktadır.

Çizelge 8.2’de gösterildiği üzere seçilen kolektörler, belirtilen 3 farklı parametrenin etkisini belirleyecek şekilde bir deney matrisi oluşturulmuştur. Yerli imalattaki kolektörlerin böyle bir karşılaştırma matrisini oluşturacak şekilde tespiti ve temini için piyasa araştırması gerçekleştirilmiştir. Boru geçiş sayısının etkisini, kolektör B ve C ile 8 ve 12 olarak ve ayrıca kolektör D ve E ile 10 ve 12 olarak incelemek olasıdır. Boru malzemesinin etkisi ise, kolektör A ve B ile aynı alüminyum yutucu plaka malzemesine karşılık, bakır ve alüminyum boru malzemesi kullanılması durumları için karşılaştırılabilir. Son olarak, bağlantı şekilleri farklı da olsa, kolektör C ve E ile, yutucu plaka-boru malzemesi birleşim yöntemlerini, kenetli ve lazer birleşim şeklinde

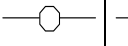
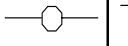
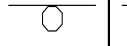
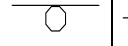
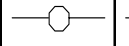
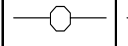
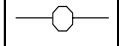
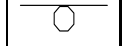
karşılaştırmak mümkündür. Çizelge 8.1’ de test edilen kolektörlerin genel teknik özellikleri görülmektedir.

Tüm deneylerde, kolektörler sabit eğimde ( $s=45^{\circ}$ ) ve güneye dönük ( $a=0^{\circ}$ ) olarak yerleştirilmiştir. Deney sonuçları, öncelikle her bir kolektör için detaylı olarak aşağıda değerlendirilmiştir. Verim hesaplanmasında kullanılan fiziksel büyüklüklerin ve verimin gün boyunca değişim grafikleri gösterilmiş ve yorumlanmıştır. Ardından, incelenen verim parametrelerine göre kolektörler gruplanarak, verimleri karşılaştırılmış ve parametrelerin etkileri değerlendirilmiştir.

**Çizelge 8.1.** Test edilen düz güneş kolektörlerinin teknik özellikleri

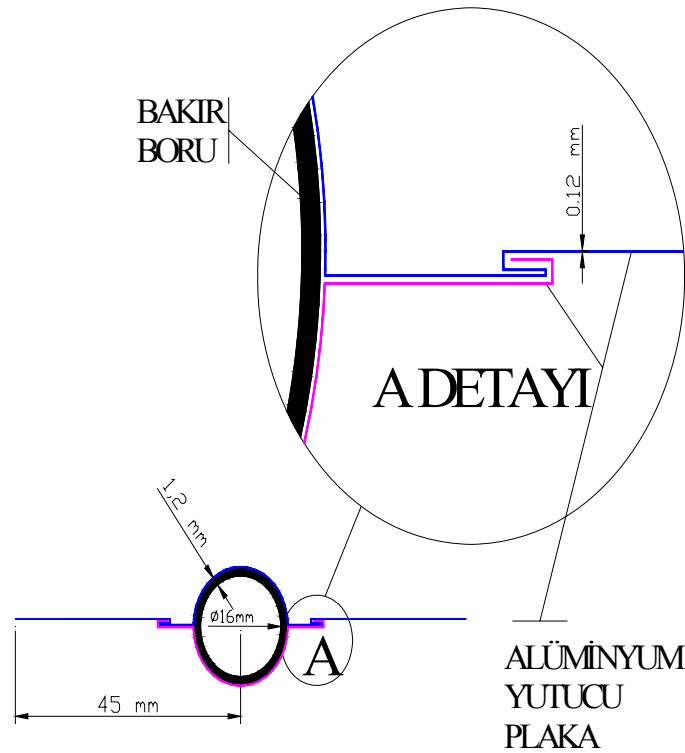
KOLLEKTÖR İSMİ	A	B	C	D	E
ÖZELLİKLER					
Yüzey Alanı (mm)	930*1930	930*1930	930*1930	937*1937	937*1937
Kasa	ELOKSAL	ELOKSAL	ELOKSAL	ELOKSAL	ELOKSAL
İzolasyon	5 cm CAM YÜNÜ	5 cm CAM YÜNÜ	5 cm CAM YÜNÜ	5 cm CAM YÜNÜ	5 cm CAM YÜNÜ
Cam Örtü Malz.	NORMAL CAM	NORMAL CAM	NORMAL CAM	NORMAL CAM	NORMAL CAM
Yutucu Plaka Malz.	Al	Al	Al	Al	Al
Boru Malz.	Cu	Al	Al	Al	Al
Yüzey Seçiciliği	SİYAH MAT	SİYAH MAT	SİYAH MAT	SİYAH MAT	SİYAH MAT
Boru Sayısı	8	8	12	10	12
Birleştirme Yöntemi	KENETLEME	KENETLEME	KENETLEME	LASER	LASER
Arka Örtü Sacı	GOFRAJLI AL. SAC	GOFRAJLI AL. SAC	GOFRAJLI AL. SAC	GOFRAJLI AL. SAC	GOFRAJLI AL. SAC
Kanat Yapısı					
Deney Tarihi	06.09.2009	07.09.2009	08.09.2009 03.10.2009	01.10.2009	02.10.2009

**Çizelge 8.2.** Test edilen düz güneş kolektörlerinin veriminde etkili parametreler için karşılaştırma grupları

DEĞİŞKEN PARAMETRELER	KARŞILAŞTIRMA GRUPLARI							
	1A. GRUP		1B. GRUP		2. GRUP		3. GRUP	
	BORU GEÇİŞ SAYISI				BORU MALZEMESİ		YUTUCU PLAKA-BORU MALZEMESİ BİRLEŞİM YÖNTEMİ	
KOLLEKTÖR B	KOLLEKTÖR C	KOLLEKTÖR D	KOLLEKTÖR E	KOLLEKTÖR A	KOLLEKTÖR B	KOLLEKTÖR C	KOLLEKTÖR E	
Yutucu Plaka Malz.	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al	Al
Boru Malzemesi	Al	Al	Al	Al	Cu	Al	Al	Al
Boru Sayısı	8	12	10	12	8	8	12	12
Birleşim yöntemi	KENETLEME	KENETLEME	LASER	LASER	KENETLEME	KENETLEME	KENETLEME	LASER
Kanat Yapısı								
Deney Tarihi	07.09.2009	08.09.2009	01.10.2009	02.10.2009	06.09.2009	07.09.2009	03.10.2009	02.10.2009

## 8.1. Kollektör A Deney Verileri ve Değerlendirilmesi

Test edilen A kollektörü, 930x1930mm ölçülerinde olup, tek camlı, 8 borulu, borular bakırdan, yutucu plaka alüminyumdan üretilmiştir. Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, alüminyum yutucu plaka kanadı, 16mm çapında ve 1.2mm et kalınlığındaki bakır boru üzerine sıkı geçme şeklinde merkezlenerek presle giydirilmiştir. Boru ve kanat metalik kenetleme yöntemi ile birleştirilmiştir. Boru geçiş merkezleri arasında 90mm mesafe vardır. Yutucu plaka kanatları 0.12mm kalınlığındadır ve siyah mat boya ile boyanmıştır.



Şekil 8.1. Kollektör A, alüminyum yutucu plaka-bakır boru birleşim detayı

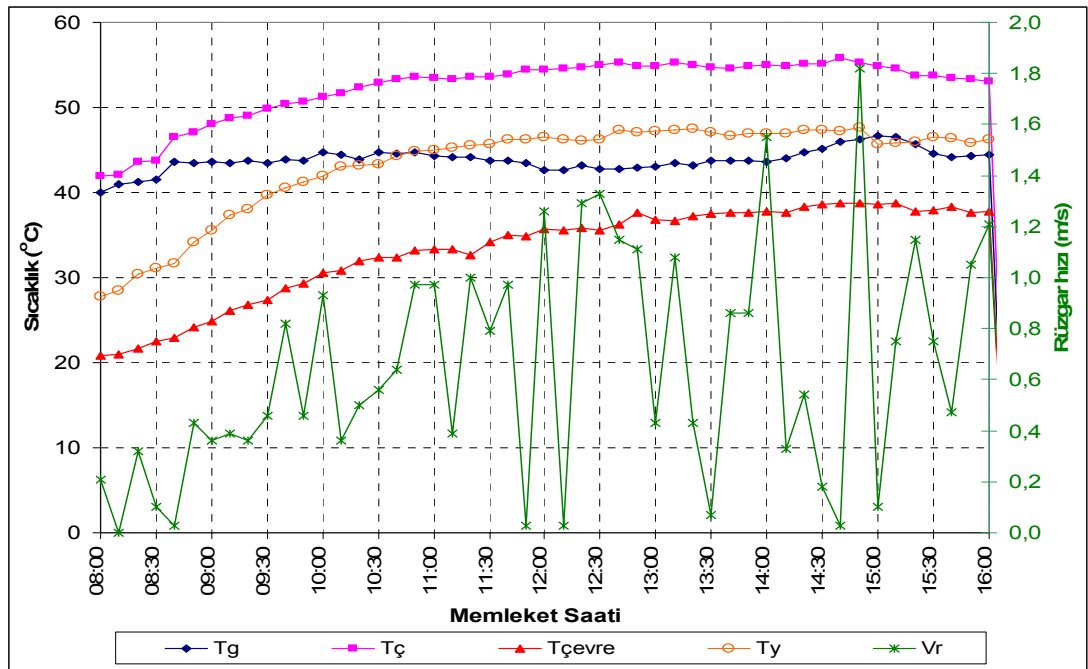
Bu kollektörün verim deneyi 06.09.2009 tarihinde ve 08:00-16:00 saatleri arasında yapıldı. Deneyin yapıldığı gün hava açıktı, ancak rüzgar hızı oldukça değişkendi.

Deney süresince her 10 dakikada alınan veriler Çizelge 8.3’e kaydedildi. Bu veriler kullanılarak; suya aktarılan faydalı enerji ( $Q_f$ ), (Denklem 5.2); anlık güneş ışınımı ( $I_e$ ), (Denklem 3.44); ve işletme noktası parametresi (P), (Denklem 5.13) hesaplandı. Deney verileri ve hesaplanan fiziksel büyüklükler Şekil 8.2, Şekil 8.3 ve Şekil 8.4’te grafikler halinde gösterildi.

Çizelge 8.3. Kolektör A deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI					A KOLEKTÖRÜ
Tarih:06.09.2009					
Yutucu Plaka Malz: Bakır boru ve alüminyum kanat					
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yöntemi=Lehim					
Kolektör boru sayısı: 8 adet					
saat	Tgiriş °C	Tçıkış °C	Tçevre °C	Tyüzey °C	Rüzgar Hızı m/s
08:00	40,00	42,00	20,80	27,80	0,21
08:10	41,00	42,10	21,00	28,50	0,00
08:20	41,20	43,60	21,60	30,40	0,32
08:30	41,50	43,80	22,50	31,10	0,10
08:40	43,60	46,50	22,90	31,60	0,03
08:50	43,50	47,10	24,20	34,20	0,43
09:00	43,60	48,00	24,90	35,60	0,36
09:10	43,50	48,70	26,10	37,30	0,39
09:20	43,70	49,00	26,80	38,10	0,36
09:30	43,50	49,80	27,40	39,70	0,46
09:40	43,90	50,40	28,80	40,60	0,82
09:50	43,80	50,70	29,30	41,20	0,46
10:00	44,70	51,30	30,50	41,90	0,93
10:10	44,40	51,70	30,90	43,00	0,36
10:20	43,90	52,30	31,90	43,20	0,50
10:30	44,70	52,90	32,30	43,30	0,56
10:40	44,60	53,30	32,30	44,30	0,64
10:50	44,70	53,60	33,20	44,90	0,97
11:00	44,30	53,50	33,40	45,00	0,97
11:10	44,20	53,40	33,30	45,30	0,39
11:20	44,10	53,60	32,70	45,60	1,00
11:30	43,70	53,60	34,10	45,70	0,79
11:40	43,80	53,90	35,00	46,20	0,97
11:50	43,50	54,40	34,90	46,30	0,03
12:00	42,60	54,50	35,70	46,50	1,26
12:10	42,60	54,60	35,50	46,30	0,03
12:20	43,20	54,70	35,80	46,10	1,29
12:30	42,80	55,00	35,60	46,30	1,33
12:40	42,80	55,30	36,20	47,30	1,15
12:50	42,90	54,80	37,60	47,10	1,11
13:00	43,10	54,90	36,80	47,20	0,43
13:10	43,50	55,30	36,70	47,40	1,08
13:20	43,20	55,00	37,20	47,50	0,43
13:30	43,70	54,70	37,50	47,10	0,07
13:40	43,80	54,60	37,70	46,60	0,86
13:50	43,80	54,80	37,70	46,90	0,86
14:00	43,60	55,00	37,80	47,00	1,55
14:10	44,00	54,90	37,70	46,90	0,33
14:20	44,70	55,20	38,40	47,30	0,54
14:30	45,20	55,20	38,60	47,40	0,18
14:40	46,00	55,90	38,70	47,20	0,03
14:50	46,30	55,30	38,80	47,70	1,82
15:00	46,60	54,80	38,60	45,70	0,10
15:10	46,50	54,60	38,80	45,80	0,75
15:20	45,70	53,80	37,80	46,00	1,15
15:30	44,60	53,70	37,90	46,50	0,75
15:40	44,20	53,50	38,30	46,40	0,47
15:50	44,30	53,30	37,70	45,90	1,05
16:00	44,50	53,10	37,80	46,20	1,21

Şekil 8.2’de, Kollektör A için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Gün boyunca değişim için yatay ekseninde Memleket Saati gösterilmiştir. Güneş ışınımı hesapları ise Güneş Saatine göre yapılmaktadır. Ancak deneyler esnasında zaman Memleket Saati olarak ölçülmüştür. Hesaplarda, Memleket Saati, Güneş Saatine dönüştürülmüştür ve güneş ışınımı Güneş Saati kullanılarak hesaplanmıştır. Deney yapılan günde çevre sıcaklığı 20°C ile 38°C arasında değişmiştir. İlgili TSE test normunda (TS-EN-12975-2) (19), suyun kollektöre giriş sıcaklığının çevre sıcaklığından yüksek olması ve belirlenen değerde sabit tutulması gerektiği belirtilmektedir. Suyun kollektöre giriş sıcaklığı çevre sıcaklığından yüksek olacak şekilde yaklaşık 44°C civarında sabit tutulmuştur. Su giriş sıcaklığının çevre sıcaklığından yüksek olması, suyun sadece güneş ışınımı ile ısınmasını garanti etmesi anlamındadır. Aksi halde yüksek sıcaklıktaki çevre havasından suya ısı geçişi de olur. Suyun kollektöre giriş sıcaklığının sabit kalması, gün boyunca kollektör üzerine düşen değişken güneş ışınımına bağlı olarak, faydalı enerjinin su çıkış sıcaklığına etkisini yalın olarak görebilmeyi sağlar. Şekil 8.2’den, kollektöre ~44°C sabit sıcaklıkta giren suyun çıkış sıcaklığının, sabah saatlerinde 46°C’ye yükseldiği, sürekli artış göstererek saat 14:40 civarında ~56°C’ye ulaştığı ve akşam saatlerinde de 53°C civarında olduğu görülmektedir.

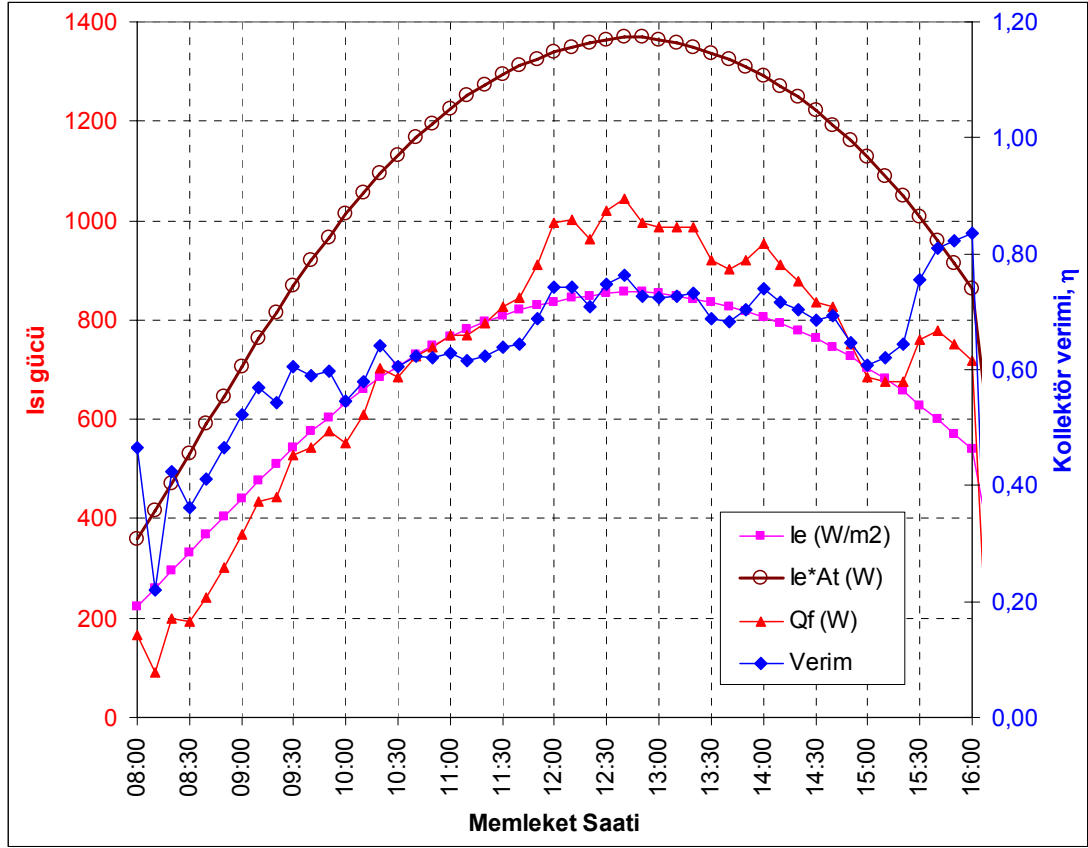


Şekil 8.2. Kollektör A için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi

Şekil 8.3’de gösterildiği gibi, kollektöre gelen anlık ışınlam, güneş öğlesine kadar artmakta ve güneş öğlesinden sonra azalmaktadır. Bunun sonucu olarak, kollektöre gelen güneş enerjisinin azalması, su çıkış sıcaklığının azalmasını gerektirir. Ancak, su çıkış sıcaklığı güneş öğlesinden sonra, akşam saatlerine kadar en yüksek değerine yakın seviyelerde yaklaşık sabit olarak seyretmiştir (Şekil 8.2). Bunun nedeni, Şekil 8.2’de görüldüğü gibi, çevre sıcaklığının artmasıdır. Çevre sıcaklığı sabah saatlerinde  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  iken, öğle saatlerine kadar hızla artmış,  $\sim 38^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar yükselmiş ve akşam saatlerine kadar fazla bir değişim göstermemiştir. Çevre sıcaklığı arttıkça kollektörden çevreye olan ısı kaybı azalmaktadır. Bu ise, kollektör verimini doğrudan etkiler. Çevreye olan ısı kayıplarının azalması, suya aktarılan faydalı enerjinin dolayısıyla da su çıkış sıcaklığının artması anlamındadır. Dolayısıyla güneş öğlesinden sonra azalan güneş ışınlamını, artan çevre sıcaklığı tolere eder mahiyette etki göstermiştir.

Yutucu plaka sıcaklığı, kollektörün geometrik olarak merkezinde kanat yüzeyi merkezlenerek kollektör alt yalıtım tarafından ölçülmüştür. Yine Şekil 8.2’de gösterildiği gibi, sabah saatlerinde, yutucu plaka sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek ancak akışkanın giriş sıcaklığından düşüktür. Bu durum, kollektörün ısıl kararlılığa henüz ulaşmadığı anlamındadır. Saat 11:00’de su giriş sıcaklığıyla kesişen yutucu plaka sıcaklığı, saat 13:00’de en yüksek değerini ulaşmış, daha sonra akışkanın çıkış sıcaklığı ile benzer kararlılıkta hafif azalmıştır. Yutucu plaka sıcaklığının, ısınan suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları arasında ve hatta ısı geçişinin gerçekleşmesi için su çıkış sıcaklığının dahi üzerinde olması beklenir. Sıcaklık ölçümü orta noktadan yapıldığı için, henüz su çıkış sıcaklığının altında olması olağandır. Ancak, su giriş sıcaklığına da çok yakın olması beklenmemelidir. Su giriş sıcaklığına daha yakın ölçülen kollektör merkezindeki yutucu plaka sıcaklığı, suya olan faydalı ısı geçişinin daha çok kollektörün üst yarısında olduğu anlamını taşır. Bu gözlemi doğrulayacak sonuçlar ancak tüm yutucu plaka sıcaklığının ölçülmesi ve buna ilaveten sayısal ısıl-akış analizi ile temin edilebilir.

Kollektör yüzeyine gelen anlık güneş ışınlamı, bulunulan yere, zamana, eğime ve coğrafi şartlara göre değişir. Anlık ışınlam, Bölüm 3’de verilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 8.3’de kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlam ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ), gün boyunca değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 8.3.** Kollektör A için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi

Kollektör alanına gelen güneş ışınımı, deneyin yapıldığı gün olan 06.09.2009 tarihinde, saat 08:00'den güneş öğlesine kadar artmış ve akşam saatlerine doğru azalmıştır. Türkiye saatiyle, güneş öğlesinin saat kaçta olduğu aşağıda hesaplanmıştır. Deney tarihinde güneş öğlesi Türkiye saatiyle saat 12:45'de olmaktadır ki bu saatte ışınım maksimum değerine ulaşmaktadır. Belirtilen günde kollektör alanına gelen güneş ışınımı 358–1370W aralığında, birim alana gelen güneş ışınımı ise 224–856W/m<sup>2</sup> aralığında değişmiştir.

Kollektör A deney günü için güneş öğlesinin Türkiye saati ile kaçta olduğunun hesabı:

- Güneş öğlesinde güneş saati: GS=12:00 dir.
- GS = 12 : 00 'de saat açısı:  $h = 15(GS-12) = 15(12-12) = 0^\circ$
- Eylül 6 için 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı:



$$n = \underbrace{31}_{\text{Ocak}} + \underbrace{28}_{\text{Şubat}} + \underbrace{31}_{\text{Mart}} + \underbrace{30}_{\text{Nisan}} + \underbrace{31}_{\text{Mayıs}} + \underbrace{30}_{\text{Haziran}} + \underbrace{31}_{\text{Temmuz}} + \underbrace{31}_{\text{Ağustos}} + \underbrace{6}_{\text{Eylül}} = 249$$

- Zaman düzeltmesi: ZD (saat):

$$x(^{\circ}) = 360 \frac{n-1}{365.242} = 360 \frac{249-1}{365.242} = 244.44^{\circ}$$

$$\begin{aligned} ZD(\text{saat}) &= 0.0043 \cos x - 0.1236 \sin x - 0.0608 \cos 2x - 0.1538 \sin 2x \\ &= 0.0043 \times \cos(244.44) - 0.1236 \times \sin(244.44) \\ &\quad - 0.0608 \times \cos(2 \times 244.44) - 0.1538 \times \sin(2 \times 244.44) \\ &= 0.028 \text{ saat} \end{aligned}$$

- Kırıkkale için yerel boylam:  $B_y = 33^{\circ}31' = 33.5^{\circ}$
- Güneş öğlesinde Türkiye saati:

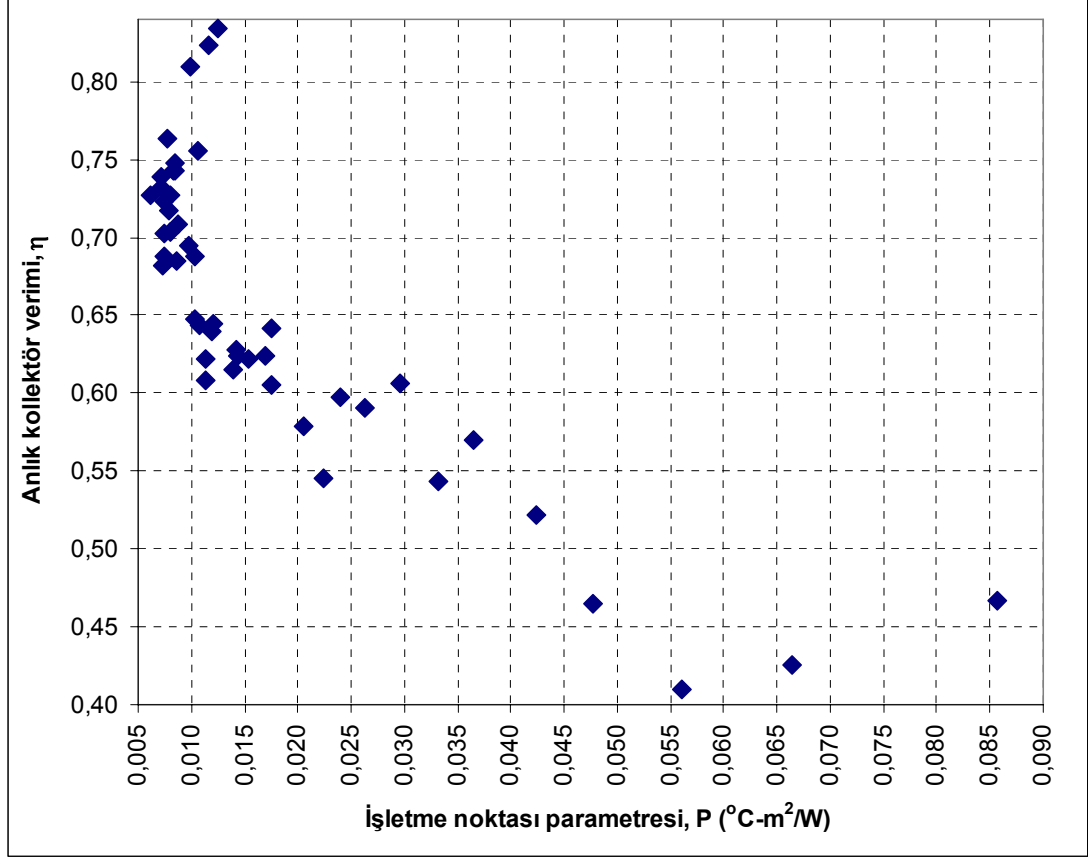
$$MS = GS + \frac{45 - B_y}{15} - ZD = 12 + \frac{45 - 33.5}{15} - 0.028 = 12.74 = 12 : 45$$

Şekil 8.3'de gösterildiği gibi, suya aktarılan faydalı enerjinin, sabah saatlerinden öğle saatlerine kadar arttığı ve akşam saatlerine doğru ise düştüğü görülmektedir. Öğle saatlerinde yutucu plakaya gelen ışınım en yüksek değerde olduğundan, faydalı ısı da en yüksek değere ulaşmıştır. Ardından, faydalı ısı, ışınımın azalmasıyla düşüşe geçmiştir. Ancak, çevre sıcaklığının sabah saatlerine göre daha yüksek seviyelerde olması sebebiyle, düşüş eğimi yükseliş eğiminden daha küçüktür. Faydalı ısı enerjisi eğrisindeki yerel iniş çıkışlar şeklinde görülen kararsızlıklar, Şekil 8.2'de görülen rüzgar hızının ani değişimlerinin bir sonucudur. Deney esnasında rüzgar hızı 0–1.8m/s değerleri arasında anlık değişimler halinde gerçekleşmiştir. Her 10 dakikada alınan ölçüm anında en yüksek rüzgar hızı kaydedilmiştir.

Ayrıca, kollektör veriminin Şekil 8.3'de görüldüğü gibi artan anlık ışınım ile birlikte arttığı görülmektedir. Güneş öğlesinden sonra azalan anlık ışınımın verimi azaltması beklenmesine rağmen, yukarıda da belirtildiği üzere çevre sıcaklığındaki artışın ısı kayıplarını azaltması, verim üzerinde daha etkili olmuştur. Kollektör A verimi, sabah saatlerinde %40 civarında iken gittikçe artmış ve %75 değerlerine kadar ulaşmıştır.

Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'de görüldüğü ve yorumlarda açıklandığı gibi, kollektör verimi, özellikle deney anındaki su giriş sıcaklığı ( $T_g$ ), çevre sıcaklığı ( $T_{\text{çevre}}$ ) ve anlık ışınımın ( $I_e$ ) fonksiyonu olarak değişmektedir. Verimin daha bağımsız olarak değerlendirilmesi

için bu terimlerden oluşan, Denklem 5.13’de tarif edilen işletme noktası parametresi  $[P=(T_g-T_c)/I_c]$  kullanılır. Şekil 8.4’de Kollektör A için verimin işletme noktası parametresine göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Kollektör A için verimin, işletme noktası parametresine göre değişimi

Deney esnasında, su giriş sıcaklığı sabit tutulduğundan, işletme noktası parametresi sadece çevre sıcaklığının ve anlık ışınımın fonksiyonu olarak değişmektedir. Dolayısıyla düşük anlık ışınım değerlerinin olduğu sabah saatlerinde işletme noktası parametresi yüksek seviyelerdedir. İşletme noktası parametresinin düşük olduğu zamanlar, anlık ışınım miktarının yüksek olduğu zamanlardır. Bu zaman ise, 11:00 ile 16:00 arasındaki saatlerdir. İşletme noktası parametresinin en yüksek olduğu zaman ise saat 08:00’dir. Çünkü anlık toplam ışınım ve çevre sıcaklığı en düşük değerdedir. Saat 16:00’da da benzer şekilde anlık ışınım en düşük değerde olmasına karşılık, işletme noktası parametresi saat 08:00’de olduğundan çok daha düşüktür. Bunun nedeni ise çevre sıcaklığının artmasıdır.

Kollektör veriminin işletme noktası parametresi ile yaklaşık olarak doğrusal değiştiği bilinmektedir. Rüzgar hızı ve çevre sıcaklığındaki değişimlerin oluşturduğu kararsızlık bölgesi haricinde bu doğrusal değişim gerçekleşmiştir. İşletme noktası parametresinin en düşük değeri aldığı güneş öğlesinde, verim en yüksek değer olarak %75'lere ulaşmıştır. İşletme noktası parametresinin yüksek değerlerine karşılık gelen sabah saatlerinde ise verim %40 civarında gerçekleşmiş ve öğle saatlerine doğru artmıştır.

## 8.2. Kollektör B Deney Verileri ve Değerlendirilmesi

Kollektör B, kollektör A ile aynı özelliklerdedir. Tek farklılığı boru malzemesidir. Kollektör A'da boru ve yutucu plaka malzemeleri sırasıyla bakır ve alüminyum şeklinde idi. Kollektör B'de ise hem boru hem de yutucu plaka alüminyumdan imal edilmiştir. Her iki kollektörde de, boru ve yutucu plaka benzer şekilde metalik kenetleme yöntemi ile birleştirilmiştir. Böylece, kollektör A ve B kullanılarak, farklı boru malzemelerinin (bakır ve alüminyum) verimdeki etkisini kıyaslamak mümkün olacaktır.

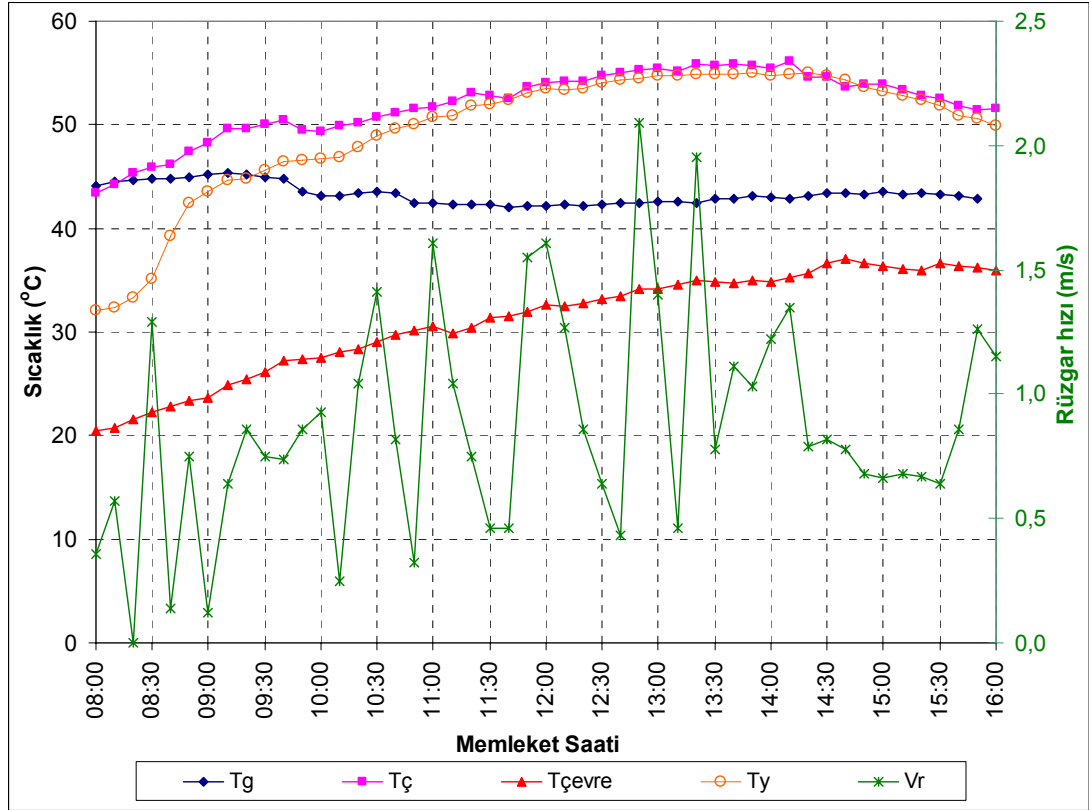
Kollektör B, verim deneyi 07.09.2009 tarihinde 08:00–16:00 saatleri arasında yapıldı. Hava açıldı ve rüzgar hızı değişti. Bu deney günü için güneş öğlesinin Türkiye saati ile 12:44'de olduğu hesaplandı. Kollektör A'ya benzer şekilde, deney boyunca alınan veriler Çizelge 8.4'e kaydedildi ve Şekil 8.5, Şekil 8.6 ve Şekil 8.7'de grafikler gösterildi.

Şekil 8.5'de görüldüğü gibi, suyun kollektöre giriş sıcaklığı  $\sim 43.7^{\circ}\text{C}$  civarında sabit tutulmuştur. Kollektöre sabit sıcaklıkta giren suyun çıkış sıcaklığı, sabah saatlerinde  $43.4^{\circ}\text{C}$  iken, ilerleyen saatlerde artmış ve saat 14:10'da en yüksek değeri olan  $56^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. Çevre sıcaklığı sabah saatlerinde  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  iken gün boyunca sürekli artmış ve  $\sim 36^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselmiştir. Çevre sıcaklığındaki bu artışla çevreye olan ısı kaybının azalması, öğleden sonra azalan güneş ışınımını tolere eder mahiyette etki ettiğinden, akşam saatlerine doğru öğleye nazaran su çıkış sıcaklığında çok kısmi azalma gözlenmiştir. Bu deney esnasında da, rüzgar hızı gün boyunca, 0 ile 2.1m/s aralığında sürekli değişim göstermiştir.

Çizelge 8.4. Kolektör B deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI					B KOLEKTÖRÜ
Tarih:07.09.2009					
Yutucu Plaka Malz: Alüminyum boru ve kanat					
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yontemi=Lehim					
Kolektör boru sayısı: 8 adet					
saat	Tgiriş °C	Tçıkış °C	Tçevre °C	Tyüzey °C	Rüzgar Hızı m/s
08:00	44,10	43,40	20,50	32,10	0,36
08:10	44,50	44,30	20,80	32,40	0,57
08:20	44,60	45,40	21,60	33,30	0,00
08:30	44,80	45,90	22,30	35,10	1,29
08:40	44,80	46,20	22,80	39,20	0,14
08:50	45,00	47,40	23,40	42,40	0,75
09:00	45,20	48,30	23,70	43,50	0,12
09:10	45,30	49,60	24,90	44,70	0,64
09:20	45,20	49,70	25,40	44,80	0,86
09:30	45,00	50,00	26,10	45,60	0,75
09:40	44,80	50,40	27,20	46,40	0,74
09:50	43,60	49,50	27,40	46,60	0,86
10:00	43,10	49,40	27,50	46,70	0,93
10:10	43,20	49,90	28,10	46,90	0,25
10:20	43,40	50,20	28,40	47,90	1,04
10:30	43,50	50,80	29,10	48,90	1,41
10:40	43,40	51,20	29,70	49,60	0,82
10:50	42,40	51,50	30,20	50,00	0,32
11:00	42,40	51,70	30,50	50,70	1,61
11:10	42,30	52,20	29,90	50,90	1,04
11:20	42,30	53,10	30,40	51,80	0,75
11:30	42,30	52,80	31,40	52,00	0,46
11:40	42,00	52,60	31,50	52,40	0,46
11:50	42,10	53,60	32,00	53,10	1,55
12:00	42,20	54,10	32,60	53,50	1,61
12:10	42,30	54,20	32,50	53,40	1,27
12:20	42,20	54,20	32,70	53,50	0,86
12:30	42,30	54,70	33,20	54,00	0,64
12:40	42,40	55,00	33,50	54,30	0,43
12:50	42,40	55,30	34,20	54,50	2,09
13:00	42,60	55,50	34,20	54,70	1,40
13:10	42,60	55,10	34,50	54,70	0,46
13:20	42,50	55,90	35,00	54,90	1,95
13:30	42,80	55,70	34,90	54,90	0,78
13:40	42,90	55,80	34,70	54,90	1,11
13:50	43,10	55,70	35,00	55,00	1,03
14:00	43,00	55,50	34,90	54,80	1,22
14:10	42,90	56,10	35,30	54,90	1,35
14:20	43,20	54,60	35,60	55,00	0,79
14:30	43,40	54,60	36,70	54,70	0,82
14:40	43,40	53,70	37,10	54,40	0,78
14:50	43,30	53,90	36,60	53,60	0,68
15:00	43,50	53,90	36,40	53,20	0,66
15:10	43,30	53,30	36,10	52,80	0,68
15:20	43,40	52,80	36,00	52,40	0,67
15:30	43,30	52,50	36,60	51,80	0,64
15:40	43,10	51,90	36,30	50,90	0,86
15:50	42,80	51,40	36,20	50,60	1,26
16:00	42,50	51,50	36,00	49,90	1,15

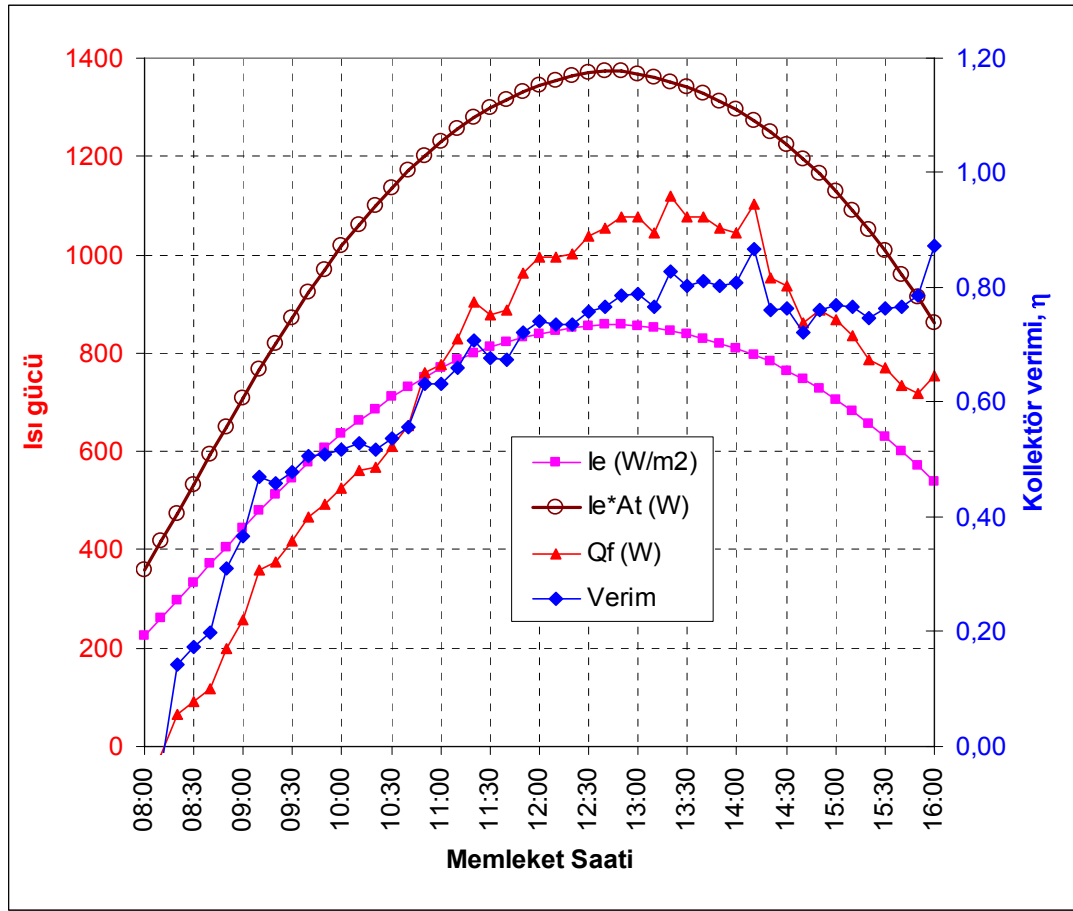
Yutucu plaka yüzey sıcaklığı ise, sabah saatlerinde ortam sıcaklığından yüksek, ancak akışkanın giriş sıcaklığından düşüktür. Saat 09:20’de su giriş sıcaklığıyla kesişen yutucu plaka sıcaklığı, saat 13:50’de en yüksek değerini almıştır. Daha sonra su çıkış sıcaklığına paralel olarak kısmen azalmıştır.



**Şekil 8.5.** Kollektör B için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi

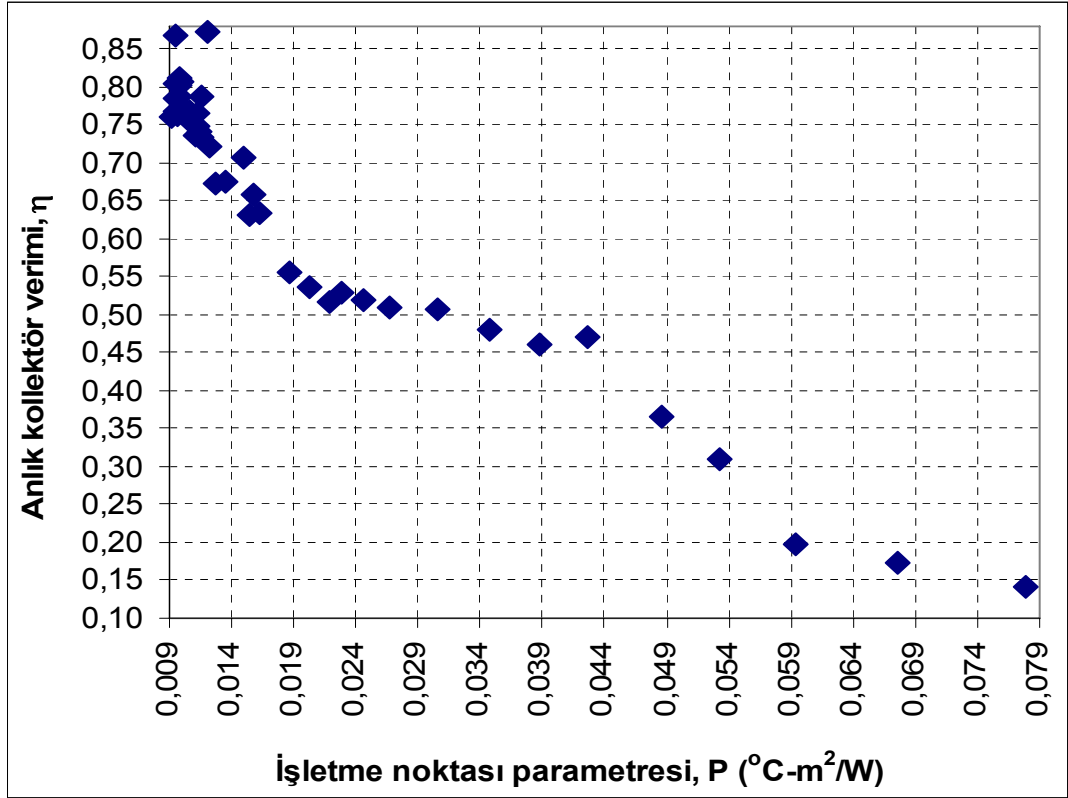
Şekil 8.6’da gösterilen, anlık ışınlım, sabah saat 08:00’den gün öğlesi zamanına kadar sürekli artmış ve saat 12:00’den sonra azalmıştır. Kollektör alanına gelen güneş ışınlımı 360–1375W aralığında, birim alana gelen güneş ışınlımı ise 225–860W/m<sup>2</sup> aralığında değişmiştir. Suya aktarılan faydalı ısı enerjisi, su çıkış sıcaklığının en yüksek değere ulaştığı zamanda 12:00 ile 14:10 arasında en yüksek değerde görülmektedir. Ardından, ışınlım şiddetinin azalmasına rağmen, çevre sıcaklığının yüksek değerine yakın seyretmesi neticesinde kısmi azalma göstermiştir. Kollektör verimi ise, kollektöre gelen toplam ışınlımdaki, çevre sıcaklığındaki ve dolayısıyla suya aktarılan faydalı enerjideki artışa paralel olarak artmıştır. Güneş öğlesinden sonra, azalan güneş ışınlımına rağmen, verim değeri artmaya devam etmiştir. Bunun sebebi ise, çevre sıcaklığının sabah

saatlerine göre yüksek olmasından dolayı çevreye kaybolan ısının azalmasıdır. Ayrıca, kollektörün ısıl ataletinin de elbette etkisi vardır.



**Şekil 8.6.** Kollektör B için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi

Şekil 8.7'de, Kollektör B veriminin, işletme noktası parametresine bağlı değişimi gösterilmiştir. Çevre sıcaklığının ve anlık ışınımın fonksiyonu olan işletme noktası parametresi, deney süresince 0.009 ile 0.053 değer aralığında gerçekleşmiştir. Kollektör verimi ise işletme noktası parametresi ile ters orantılı olarak 0.31 ile 0.87 aralığında değişim göstermiştir. Kollektör veriminin işletme noktası parametresi ile değişimi genel anlamda doğrusal olarak gerçekleşmiştir. Gün boyunca kararsız değişim gösteren rüzgar hızının kollektörden çevreye olan ısı kayıplarını değiştirmesi, verimde küçük sapmalara sebep olmuştur.



Şekil 8.7. Kollektör B için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi

### 8.3. Kollektör C Deney Verileri ve Değerlendirilmesi

Kollektör C'nin, verim karşılaştırmasında iki farklı parametre (boru geçiş sayısı ve boru-yutucu plaka malzemesi birleşim yöntemi) için katkı sağlamaktadır. Kollektör C, yukarıda belirtilen parametrelerin etkisini ardışık günlerde değerlendirmek açısından iki farklı günde test edilmiştir. Aşağıda her iki gün için elde edilen deneysel sonuçlar ayrı grafikler halinde sunulmuştur.

*1-Kollektör C'nin farklı boru geçiş sayısının verime etkisini belirlemek için yapılan deneyi (08.09.2009):*

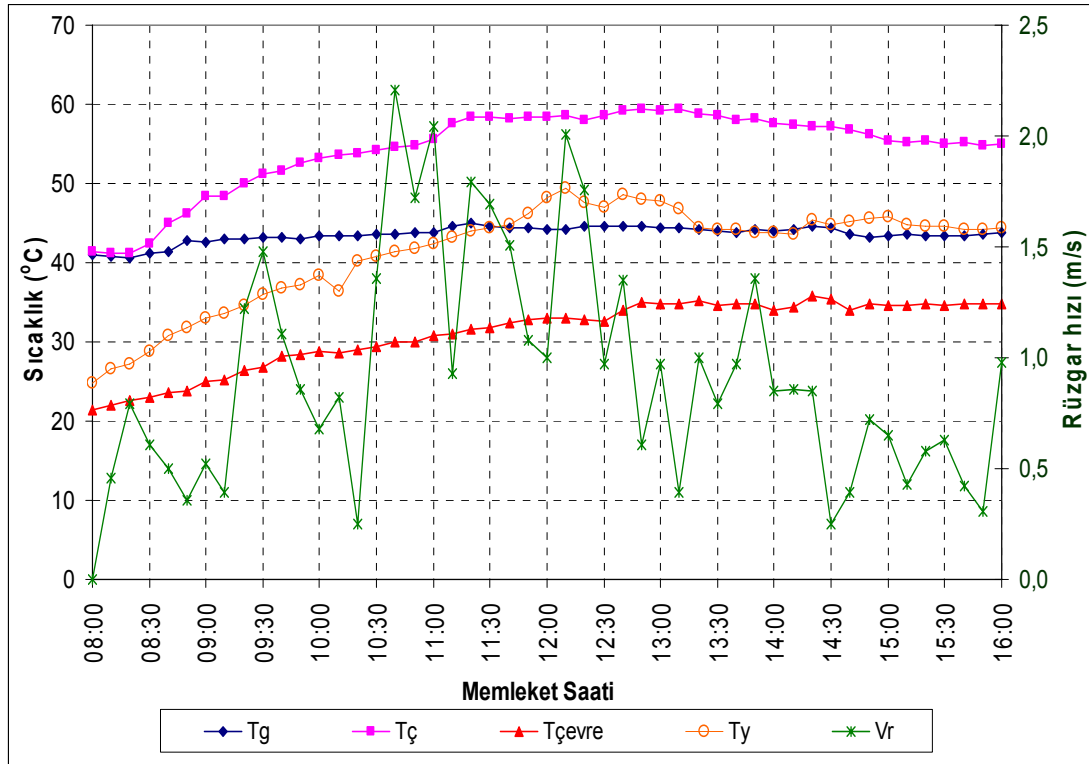
Kollektör C'nin kollektör B'den farkı boru geçiş sayısıdır. Kollektör B'de boru geçiş sayısı 8 iken kollektör C'de 12'dir. Bu sayede, kollektör B ve C kullanılarak boru geçiş sayısının verimdeki etkisini incelemek mümkün olacaktır. Kollektör C, verim deneyinin

birincisi 08.09.2009 tarihinde 08:00–16:00 saatleri arasında yapıldı. Hava açıktı ve rüzgar hızı ise değişkendi. Deney günü için güneş öğlesinin Türkiye saati ile 12:44’de olduğu hesaplandı. Kollektör C için deney esnasında, her 10 dakikada alınan veriler Çizelge 8.5’e kaydedildi ve ilgili grafikler Şekil 8.8, Şekil 8.9 ve Şekil 8.10’da gösterildi.

Suyun C kollektörüne giriş sıcaklığı, gün boyunca  $\sim 43.6^{\circ}\text{C}$  civarında sabit tutulmuştur. Kollektöre sabit sıcaklıkta giren suyun çıkış sıcaklığı, sabah saatlerinde  $41.4^{\circ}\text{C}$  iken lineer olarak artış göstermiş ve saat 12:50’de  $\sim 59.5^{\circ}\text{C}$  ye ulaşmıştır.

Çevre sıcaklığı, sabah saatlerinde  $\sim 21.4^{\circ}\text{C}$  iken öğle saatlerine kadar hızla artmış ve  $\sim 36^{\circ}\text{C}$  ye kadar yükselmiştir. Rüzgar hızı, deney süresince 0 ile 2.2m/s arasında sürekli değişim göstermiştir.

Sabah saat 08:00’de  $24.9^{\circ}\text{C}$  olan yutucu plaka sıcaklığı 11:30’da suyun giriş sıcaklığı ile eşit olmuştur. Yutucu plaka sıcaklığı saat 12:10’da en yüksek değeri olan  $49.4^{\circ}\text{C}$ ’ye ulaşmıştır.



Şekil 8.8. Kollektör C, 1. deney için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi



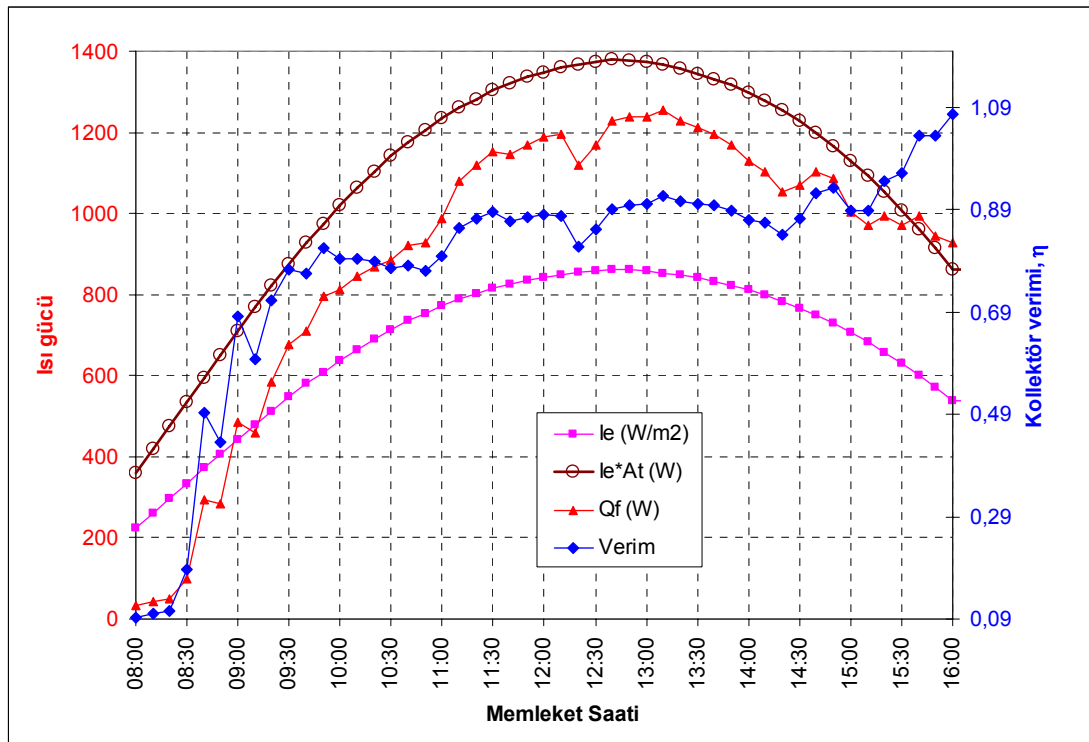
Çizelge 8.5. Kollektör C, 1.deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI					C KOLEKTÖRÜ
Tarih:08.09.2009					
Yutucu Plaka Malz: Alüminyum boru ve kanat					
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yontemi=Lehim					
Kolektör boru sayısı: 12 adet					
saat	Tgiriş °C	Tçıkış °C	Tçevre °C	Tyüzey °C	Rüzgar Hızı m/s
08:00	41,00	41,40	21,40	24,90	0,00
08:10	40,80	41,30	22,10	26,70	0,46
08:20	40,70	41,30	22,60	27,30	0,79
08:30	41,30	42,50	23,10	28,90	0,61
08:40	41,50	45,00	23,60	30,90	0,50
08:50	42,80	46,20	23,90	31,90	0,36
09:00	42,60	48,40	25,10	33,10	0,52
09:10	43,00	48,50	25,30	33,70	0,39
09:20	43,10	50,10	26,50	34,70	1,22
09:30	43,20	51,30	26,80	36,10	1,48
09:40	43,20	51,70	28,20	36,90	1,11
09:50	43,10	52,60	28,40	37,30	0,86
10:00	43,50	53,20	28,80	38,40	0,68
10:10	43,50	53,60	28,70	36,50	0,82
10:20	43,50	53,90	29,00	40,30	0,25
10:30	43,70	54,30	29,50	40,80	1,36
10:40	43,60	54,60	30,10	41,40	2,21
10:50	43,80	54,90	30,00	41,80	1,72
11:00	43,90	55,70	30,80	42,50	2,04
11:10	44,70	57,60	31,00	43,30	0,93
11:20	45,10	58,50	31,60	44,10	1,79
11:30	44,60	58,40	31,90	44,50	1,69
11:40	44,50	58,20	32,50	44,90	1,51
11:50	44,50	58,50	32,80	46,30	1,08
12:00	44,20	58,40	33,10	48,20	1,00
12:10	44,30	58,60	33,40	49,40	2,01
12:20	44,70	58,10	33,30	47,70	1,76
12:30	44,60	58,60	32,70	47,10	0,97
12:40	44,60	59,30	34,10	48,70	1,35
12:50	44,60	59,40	35,00	48,10	0,61
13:00	44,50	59,30	34,90	47,80	0,97
13:10	44,40	59,40	34,90	46,80	0,39
13:20	44,20	58,90	35,30	44,40	1,00
13:30	44,10	58,60	34,70	44,30	0,79
13:40	43,80	58,10	34,90	44,30	0,97
13:50	44,20	58,20	34,90	43,80	1,36
14:00	44,10	57,60	34,00	43,80	0,85
14:10	44,20	57,40	34,40	43,60	0,86
14:20	44,60	57,20	35,90	45,50	0,85
14:30	44,40	57,20	35,50	44,90	0,25
14:40	43,60	56,80	34,10	45,30	0,39
14:50	43,20	56,20	34,80	45,60	0,72
15:00	43,40	55,40	34,60	45,80	0,65
15:10	43,60	55,20	34,70	44,90	0,43
15:20	43,50	55,40	34,90	44,60	0,58
15:30	43,50	55,10	34,70	44,60	0,63
15:40	43,40	55,30	34,80	44,30	0,42
15:50	43,60	54,90	34,90	44,20	0,31
16:00	43,90	55,00	34,80	44,40	0,98

Şekil 8.9'da kolektör C için, kolektör yüzeyine gelen anlık ışınım, suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ve anlık kolektör veriminin gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Kolektör alanı üzerine gelen anlık ışınım, sabah saatlerinde 360W iken güneş öğlesi zamanına kadar doğrusal artarak 1380W değerine kadar ulaşmıştır. Birim alana gelen anlık ışınım ise 225W/m<sup>2</sup> ile 862W/m<sup>2</sup> aralığında gerçekleşmiştir.

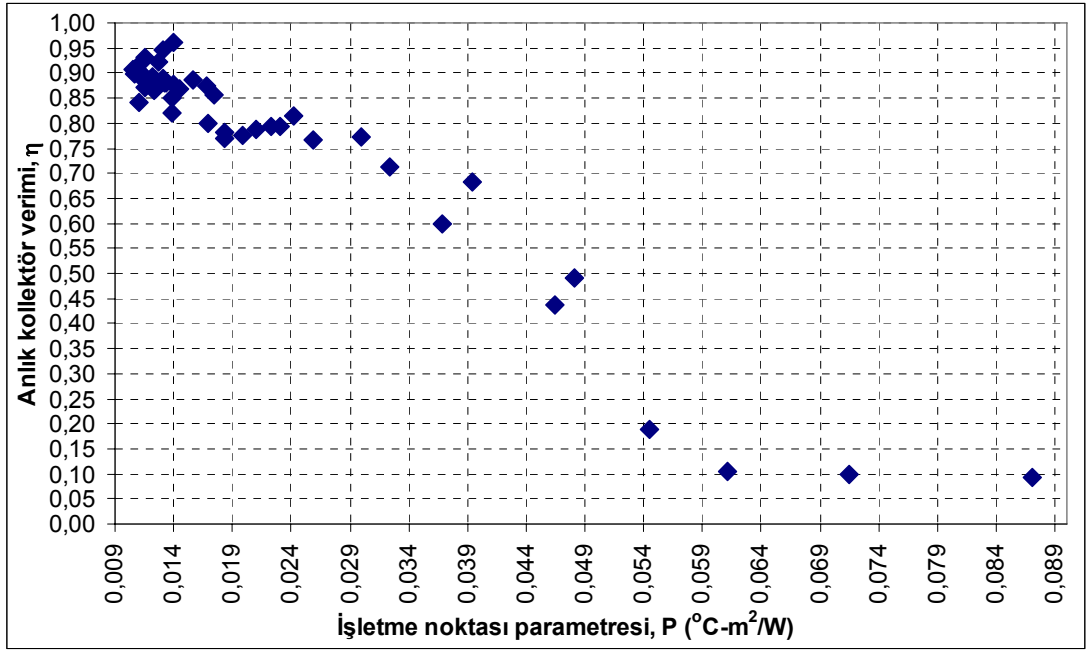
Faydalı ısı enerjisi, sabah saatlerinde güneş ışınımı düşük olduğu için 33W değerinde görülmektedir. Saat 12:20'de ise gün içerisindeki en yüksek değer olan 1254W değerinde hesaplanmıştır. Çevre sıcaklığının fazla değişim göstermemesi sebebi ile anlık ışınımın azalmasına bağlı olarak faydalı ısı azalım göstermiştir.

Kolektör verimi, sabah saatlerinde en düşük değerde iken, güneş öğlesine kadar artmış ve azalan ışınım ile birlikte verimdeki azalma yukarıda da bahsedilen kararsızlıklardan dolayı düşük seviyelerde olmuştur. Akşam saatlerinde rüzgar hızı ve ısıl atalet gibi sebeplerden dolayı kolektör verimi tutarsızlık göstermiştir.



**Şekil 8.9.** Kolektör C, 1.deney için, kolektör yüzeyine gelen anlık ışınım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kolektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi

Şekil 8.10'da C kolektörü veriminin işletme noktası parametresine bağlı değişimi gösterilmiştir. İşletme noktası parametresi, saat 08:00'de en yüksek değeri olan  $0.087[^\circ\text{C}-\text{m}^2/\text{W}]$  olarak görülmekte iken saat 12:00 ile 14:00 arasında günün en düşük değerleri olan  $0.01$  ile  $0.014[^\circ\text{C}-\text{m}^2/\text{W}]$  arasında değişmektedir. Kolektör verimi ise işletme noktası parametresinin en yüksek olduğu sabah saatlerinde %9, işletme noktası parametresinin en düşük olduğu öğle saatlerinde ise %96'ya kadar yükselmiştir. Verim, diğer kolektörlerde olduğu gibi işletme noktası parametresi ile ters orantılı olarak yaklaşık doğrusal yapıda değişmektedir.



Şekil 8.10. Kolektör C, 1.deney için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi

**2–Kolektör C'nin farklı boru-yutucu plaka birleşim yönteminin etkisini belirlemek için yapılan deneyi (03.10.2009):**

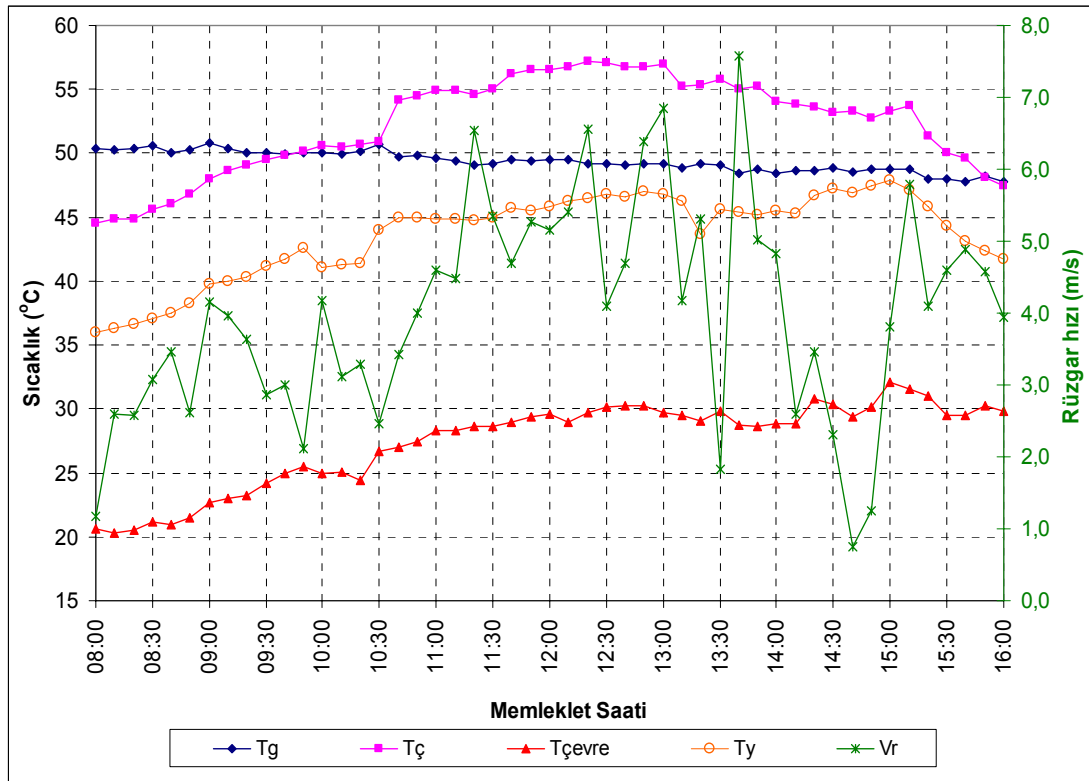
C kolektörü için 2. deney, 03.10.2009 tarihinde 08:00 ve 16:00 saatleri arasında yapıldı. Deneyin yapıldığı gün, hava bulutlu, rüzgar hızı ise diğer deneylere göre çok yüksek ve değişkendi. C kolektörünün gün içerisinde alınan ölçüm değerleri Çizelge 8.6'da gösterilmiştir. Deneysel veriler ve hesaplanan değerler Şekil 8.11, Şekil 8.12 ve Şekil 8.13'de gösterilmiştir. C kolektörü için güneş öğlesinin Türkiye saati ile 12:35 olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 8.6. Kolektör C, 2.deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI					C KOLEKTÖRÜ
Tarih:03.10.2009					
Yutucu Plaka Malz: Alüminyum boru ve kanat					
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yontemi=Lehim					
Kolektör boru sayısı: 12 adet					
saat	Tgiriş °C	Tçıkış °C	Tçevre °C	Tyüzey °C	Rüzgar Hızı m/s
08:00	50,80	48,00	23,40	39,00	4,16
08:10	50,40	48,60	22,70	39,80	3,96
08:20	50,00	49,10	23,00	40,00	3,64
08:30	50,00	49,50	23,20	40,30	2,87
08:40	49,90	49,80	24,20	41,20	3,00
08:50	50,10	50,20	24,90	41,70	2,12
09:00	50,00	50,60	25,50	42,60	4,18
09:10	49,90	50,50	24,90	41,10	3,12
09:20	50,20	50,70	25,10	41,30	3,28
09:30	50,70	50,90	24,40	41,40	2,46
09:40	49,70	54,20	26,70	44,00	3,42
09:50	49,80	54,50	27,00	45,00	4,00
10:00	49,60	54,90	27,40	45,00	4,60
10:10	49,40	54,90	28,30	44,90	4,49
10:20	49,10	54,60	28,60	44,80	6,53
10:30	49,20	55,00	28,60	45,00	5,35
10:40	49,50	56,20	29,00	45,70	4,69
10:50	49,40	56,50	29,40	45,50	5,27
11:00	49,50	56,50	29,60	45,80	5,15
11:10	49,50	56,80	29,00	46,30	5,41
11:20	49,20	57,20	29,70	46,50	6,55
11:30	49,20	57,10	30,10	46,80	4,09
11:40	49,10	56,80	30,30	46,60	4,69
11:50	49,20	56,80	30,30	47,00	6,38
12:00	49,20	57,00	29,70	46,80	6,84
12:10	48,90	55,20	29,50	46,30	4,18
12:20	49,20	55,40	29,10	43,70	5,30
12:30	49,10	55,80	29,80	45,60	1,82
12:40	48,40	55,00	28,70	45,40	7,58
12:50	48,80	55,20	28,60	45,20	5,01
13:00	48,40	54,10	28,90	45,50	4,82
13:10	48,60	53,80	28,90	45,30	2,59
13:20	48,60	53,60	30,80	46,70	3,47
13:30	48,90	53,20	30,40	47,20	2,30
13:40	48,50	53,30	29,40	46,90	0,75
13:50	48,70	52,80	30,10	47,40	1,25
14:00	48,80	53,30	32,10	47,90	3,80
14:10	48,80	53,70	31,60	47,10	5,78
14:20	48,00	51,30	31,00	45,80	4,10
14:30	48,00	50,10	29,50	44,30	4,60
14:40	47,80	49,60	29,50	43,10	4,89
14:50	48,20	48,10	30,30	42,40	4,57
15:40	43,40	55,30	34,80	44,30	0,42
15:50	43,60	54,90	34,90	44,20	0,31
16:00	43,90	55,00	34,80	44,40	0,98

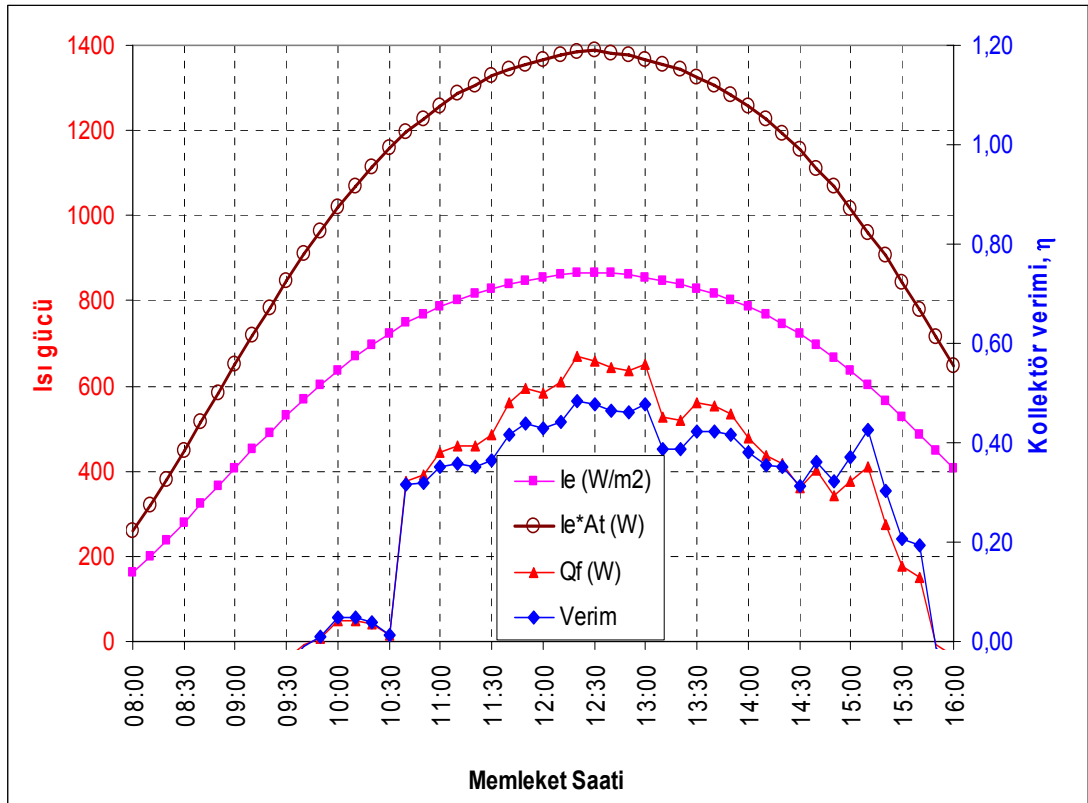
Şekil 8.11’de C kolektörüne ait, suyun kolektöre giriş ve çıkış sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Su C kolektörüne  $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ’de sabit olarak girmiştir. Suyun kolektörden çıkış sıcaklığı  $57.2^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar ulaşmıştır. Çevre sıcaklığı, sabah saatlerinde  $20.6^{\circ}\text{C}$  iken, öğle saatlerinde  $10^{\circ}\text{C}$ ’ye yakın artış göstermiştir. Rüzgar hızı ise kararsız rejimde  $0.75\text{--}7.58\text{m/s}$  arasında sürekli değişim göstermiştir.

Sabah saat 08:00’de  $36^{\circ}\text{C}$  olan yutucu plaka sıcaklığı suyun giriş sıcaklığını deney süresince yakalayamamıştır. Deney süresince yüzeye teması kontrol edilen yutucu plaka sıcaklık okuyucusunda problemler yaşandı. Öyle ki yutucu plaka sıcaklığının, suyun giriş ve çıkış noktalarındaki sıcaklıklarının arasında çıkış noktası sıcaklığına yakın değerde olması beklenir. Yutucu plaka sıcaklığının sağlıklı değerlendirilmesi için kolektör yüzeyi boyunca okuma yapılması ve bu değerlerin aritmetik ortalamasının hesaplarda kullanılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır.



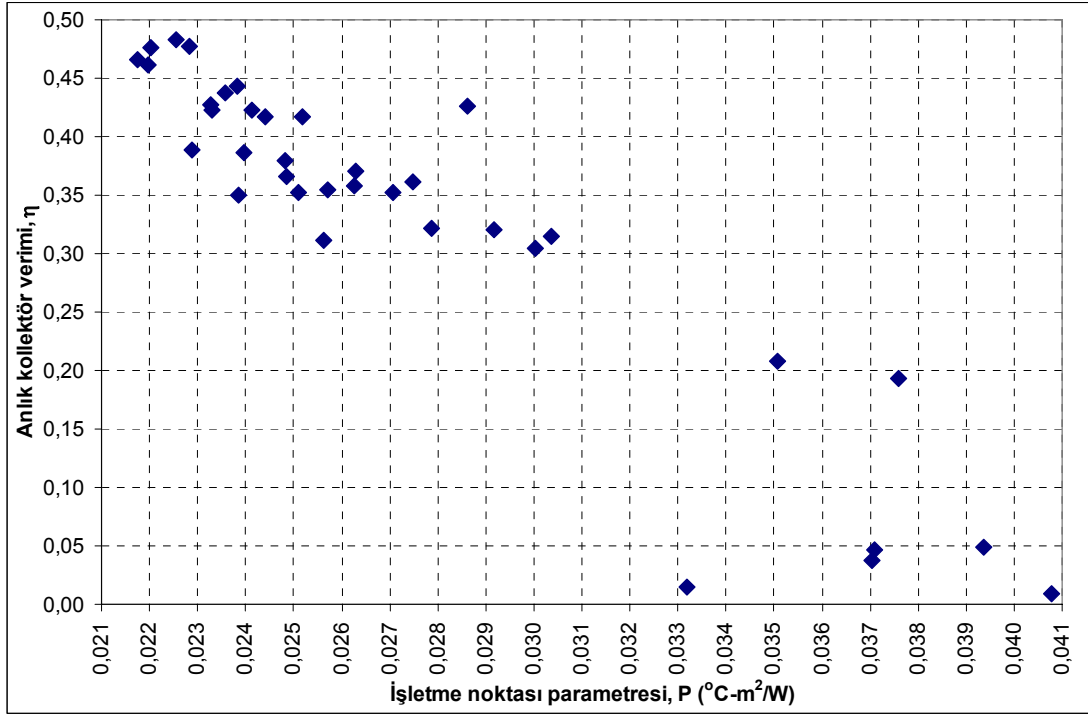
Şekil 8.11. Kolektör C, 2.deney için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi

Şekil 8.12’de, anlık toplam ışınm miktarı, kollektör verimi ve faydalı ısı enerjisinin gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Faydalı ısı enerjisi sabah saatlerinden öğle saatlerine kadar artmış ve saat 12:20’de 670W değerine ulaşmıştır. Öğleden sonra çevre sıcaklığının fazla değişmemesi sebebi ile anlık ışınm ile birlikte azalmıştır. Faydalı ısıdaki kararsızlıklar rüzgar hızındaki anlık değişimlerin sonucudur. Kollektör veriminin de, diğer değişkenlerde olduğu gibi sabah saatlerinde en düşük değerlerdeyken, güneş öğlesi saatlerinde 0.47’ye kadar yükseldiği görülmektedir.



**Şekil 8.12.** Kollektör C, 2.deney için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınm ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi

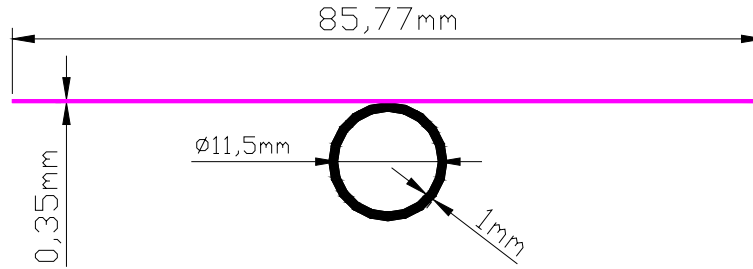
Şekil 8.13’de C Kollektörü veriminin, işletme noktası parametresine bağlı değişimi gösterilmiştir. Kollektör C verimi, en yüksek %47 olarak hesaplanmıştır. İşletme noktası parametresi ise 0.02 ile 0.18 değerleri arasında değişim göstermiştir. Diğer kollektörlerle benzer şekilde, kollektör veriminin işletme noktası parametresi ile değişimi yaklaşık doğrusal olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 8.13.** Kolektör C, 2.deney için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi

#### 8.4. Kolektör D Deney Verileri ve Değerlendirilmesi

D kolektörü, 937x1937mm ölçülerindedir. 10 borulu, tek camlı, boru ve yutucu plaka malzemesi alüminyumdan üretilmiştir. Şekil 8.14’de görüldüğü gibi Alüminyum kanat, 11.5mm çapında, 1mm et kalınlığında alüminyum boru üzerine tek parça olarak lazer kaynaklı imal edilmiştir. Boru merkezleri arasında 85.77mm mesafe vardır. Yutucu plakada 0.35mm kalınlığındadır. Yutucu plaka, siyah mat boyalıdır.

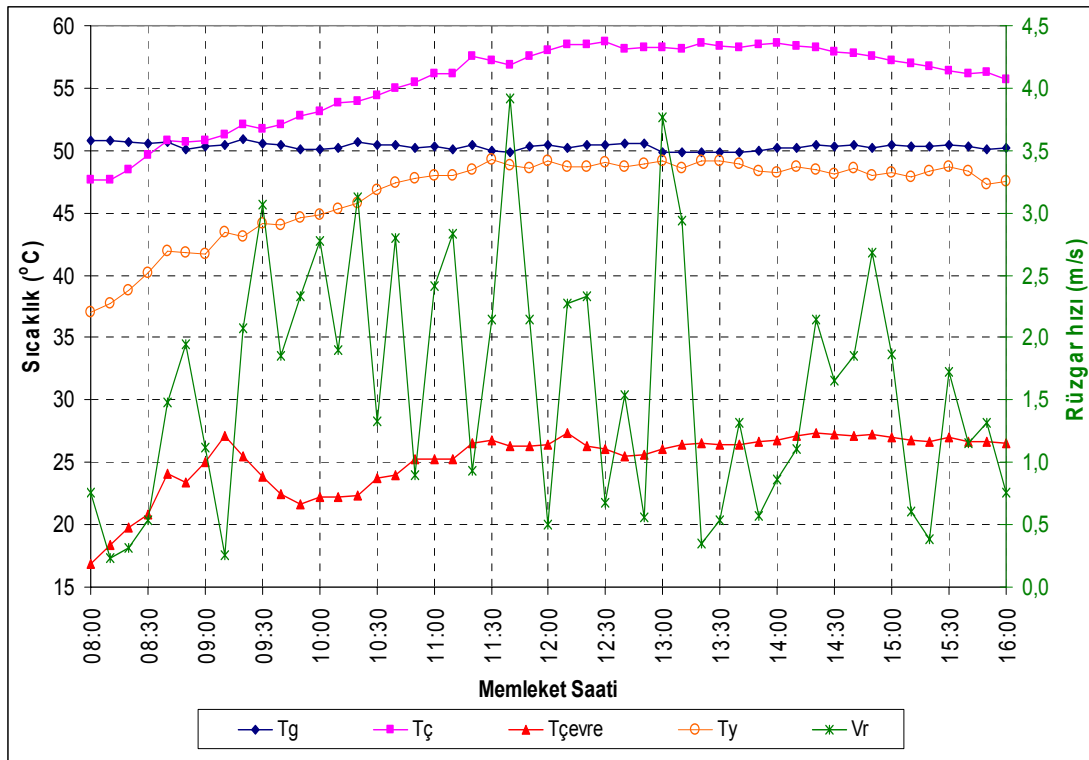


**Şekil 8.14.** Kolektör D, alüminyum yutucu plaka–alüminyum boru birleşim detayı

Kollektör D, 01.10.2009 tarihinde 08:00–16:00 saatleri arasında test edildi ve deney ölçümleri Çizelge 8.7’de gösterildi. Deneyin yapıldığı gün hava az bulutlu idi ve rüzgar hızı ani değişimler gösteriyordu. Hesaplamalarla elde edilen sonuçlar grafikler halinde gösterildi (Şekil 8.15, Şekil 8.16 ve Şekil 8.17). Kollektör D için güneş öğlesi Türkiye saati ile 12:36 olarak hesaplandı.

Lazer kaynak ile yapılan boru-yutucu plaka birleşimi yönteminde, boru ile yutucu plaka malzemeleri arasında daha iyi birleşim sağlandığından, verimin daha yüksek olması beklenir. Ayrıca diğer birleşim yöntemlerine göre boru ve yutucu plaka arasında oluşacak hava tabakası en düşük seviyelerde gerçekleştiğinden, hava tabakası ile oluşacak direnç ihmal edilebilir seviyelere kadar düşer.

Şekil 8.15’de Kollektör D için su giriş ve çıkış sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Deney süresince suyun kollektöre giriş sıcaklığı  $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ’de sabit tutulmuştur. Suyun kollektörden çıkış sıcaklığı sabah saatlerinde  $47.6^{\circ}\text{C}$  iken lineer olarak artmış ve saat 14:00’de  $58.6^{\circ}\text{C}$ ’ye ulaşmıştır.



Şekil 8.15. Kollektör D için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi

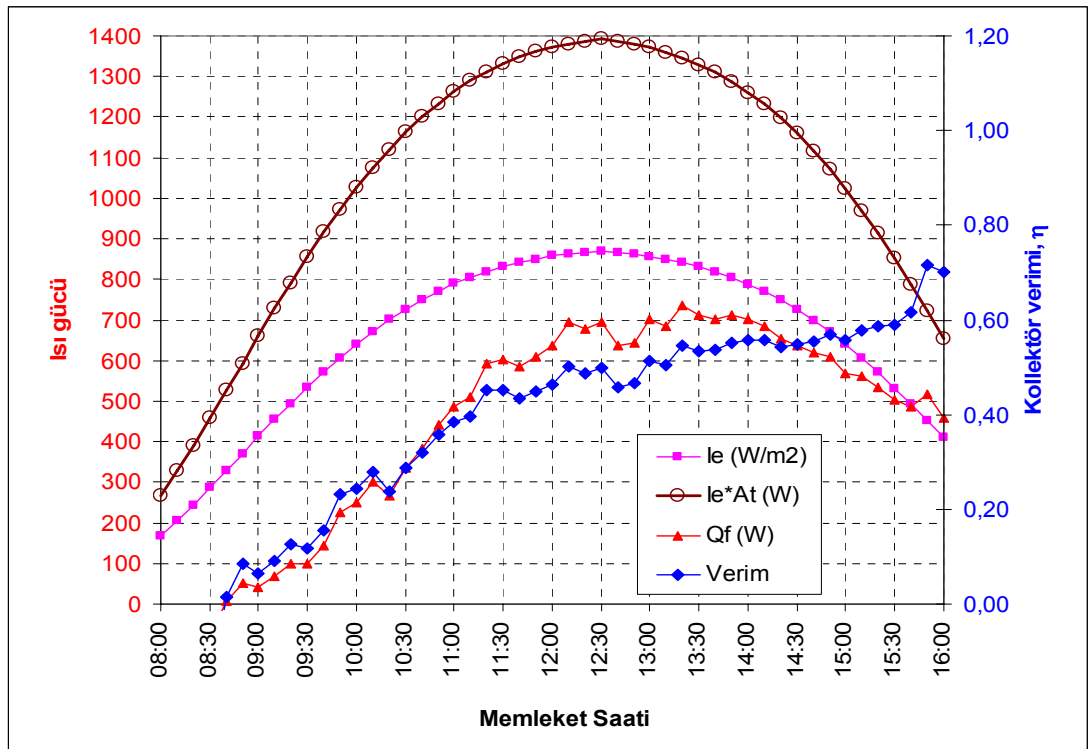


**Çizelge 8.7. Kolektör D deney sonuçları**

<b>DENEY SONUÇLARI</b>					<b>D KOLEKTÖRÜ</b>
Tarih:01.10.2009					
Yutucu Plaka Malz: Alüminyum boru ve kanat					
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yontemi=Laser					
Kolektör boru sayısı: 10 adet					
saat	Tgiriş °C	Tçıkış °C	Tçevre °C	Tyüzey °C	Rüzgar Hızı m/s
08:00	50,80	47,60	16,90	37,00	0,76
08:10	50,80	47,70	18,40	37,70	0,23
08:20	50,70	48,50	19,80	38,80	0,32
08:30	50,50	49,60	20,80	40,20	0,54
08:40	50,70	50,80	24,10	41,90	1,48
08:50	50,10	50,70	23,40	41,80	1,95
09:00	50,30	50,80	24,30	41,80	1,12
09:10	50,40	51,20	25,00	41,70	0,26
09:20	50,90	52,10	27,10	43,50	2,08
09:30	50,50	51,70	25,50	43,10	3,07
09:40	50,40	52,10	23,90	44,10	1,85
09:50	50,10	52,80	22,50	44,00	2,33
10:00	50,10	53,10	21,70	44,60	2,77
10:10	50,20	53,80	22,20	44,90	1,90
10:20	50,70	53,90	22,20	45,30	3,13
10:30	50,40	54,40	22,40	45,80	1,33
10:40	50,40	55,00	23,80	46,80	2,80
10:50	50,20	55,50	24,00	47,40	0,90
11:00	50,30	56,10	25,30	47,80	2,41
11:10	50,10	56,20	25,30	48,00	2,83
11:20	50,40	57,50	26,50	48,50	0,93
11:30	50,00	57,20	26,80	49,30	2,14
11:40	49,80	56,80	26,30	48,80	3,92
11:50	50,30	57,60	26,30	48,60	2,15
12:00	50,40	58,00	26,40	49,20	0,50
12:10	50,20	58,50	27,30	48,70	2,27
12:20	50,40	58,50	26,30	48,70	2,33
12:30	50,40	58,70	26,10	49,00	0,68
12:40	50,50	58,10	25,50	48,70	1,54
12:50	50,60	58,30	25,60	48,90	0,56
13:00	49,80	58,20	26,10	49,10	3,77
13:10	49,90	58,10	26,40	48,60	2,94
13:20	49,80	58,60	26,50	49,20	0,35
13:30	49,90	58,40	26,40	49,20	0,54
13:40	49,90	58,30	26,40	48,90	1,32
13:50	50,00	58,50	26,60	48,40	0,57
14:00	50,20	58,60	26,80	48,20	0,86
14:10	50,20	58,40	27,10	48,70	1,11
14:20	50,40	58,20	27,30	48,50	2,14
14:30	50,30	57,90	27,20	48,10	1,65
14:40	50,40	57,80	27,10	48,60	1,85
14:50	50,20	57,50	27,20	48,00	2,68
15:00	50,40	57,20	27,00	48,20	1,87
15:10	50,30	57,00	26,80	47,90	0,61
15:20	50,30	56,70	26,70	48,30	0,39
15:30	50,40	56,40	27,00	48,70	1,72
15:40	50,30	56,10	26,70	48,30	1,15
15:50	50,10	56,30	26,70	47,30	1,32
16:00	50,20	55,70	26,50	47,50	0,76

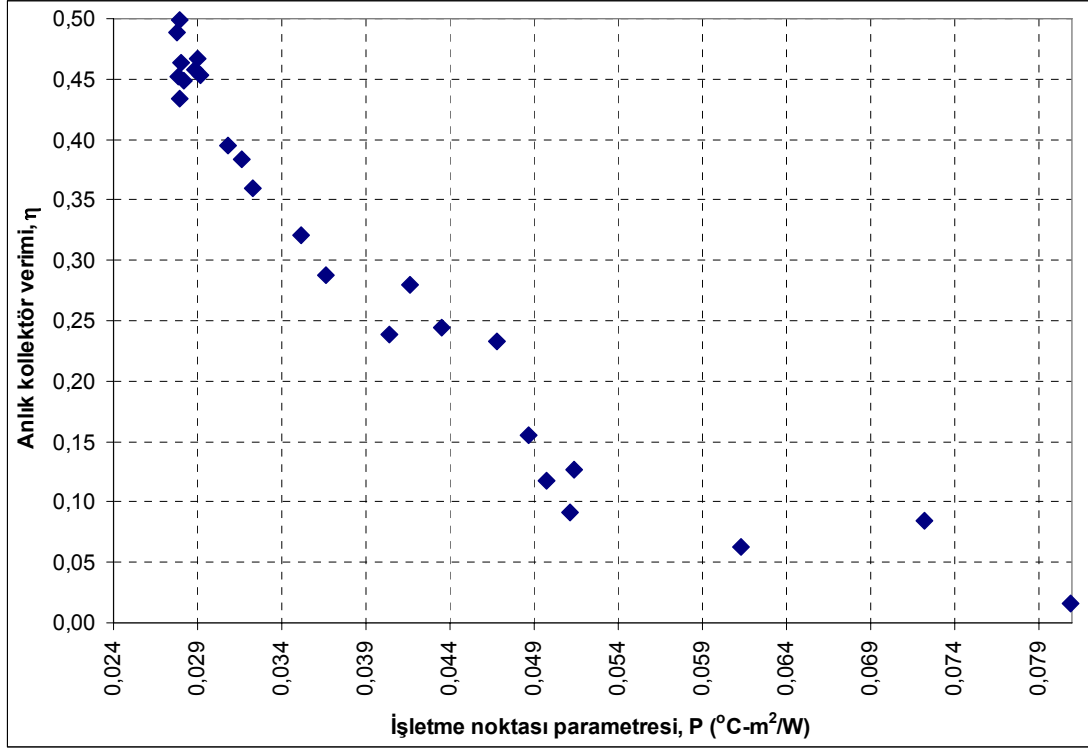
Çevre sıcaklığı, sabah saatlerinde 16.9°C olarak ölçülmüş, öğle saatlerinde 27.3°C'ye kadar yükselmiştir. Çevre sıcaklığında öğleden sonra fazla bir değişim gözlenmemiştir. Rüzgar hızı kararsız rejimde 0–3.92m/s değerleri arasında sürekli değişim göstermiştir. Saat 08.00'de 37°C olan yutucu plaka sıcaklığı 11.30'da akışkanın giriş sıcaklığı ile eşitlenmiş ve deney süresinde giriş noktası sıcaklığı ile paralel seyretmiştir.

Şekil 8.16'da, anlık toplam ışınlam miktarı ile kollektör verimi ve faydalı ısının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Sabah saatlerinde kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlam 268W iken güneş öğlesi saatinde 1392W değerine ulaşmıştır. Faydalı ısı enerjisi sabah saatlerinde kollektör yüzeyi soğuk olduğu için düşük çıkmıştır ve saat 13:20'de gün içerisindeki en yüksek değer olan 735W değerini almıştır. Çevre sıcaklığının fazla değişim olmaması sebebi ile anlık ışınlamın azalmasına bağlı olarak azalmıştır. Kollektör verimi saat 08:40'da %2 iken, güneş öğlesinde %55'e ulaşmıştır. Ardından, kollektöre gelen anlık ışınlam miktarının azalmasına rağmen çevre sıcaklığının yüksek olması ve kollektör ısıl ataletinden dolayı akşam saatlerine kadar artmaya devam etmiştir.



**Şekil 8.16.** Kollektör D için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınlam ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi

Şekil 8.17’de kollektör D veriminin işletme noktası parametresine bağlı değişimi gösterilmiştir. İşletme noktası parametresi, deney süresince 0.02 ile 0.08 değerleri aralığında hesaplanmıştır. Kollektör verimi ise 0.02 ile 0.55 aralığında değişim göstermiştir. Diğer kollektörlerle benzer şekilde, kollektör veriminin işletme noktası parametresi ile değişimi tam doğrusal olarak gerçekleşmesi beklenirken, grafikteki kararsızlıklar gün içerisinde sürekli değişen rüzgar hızından kaynaklanmıştır.



Şekil 8.17. Kollektör D için, verimin işletme noktası parametresine göre değişimi

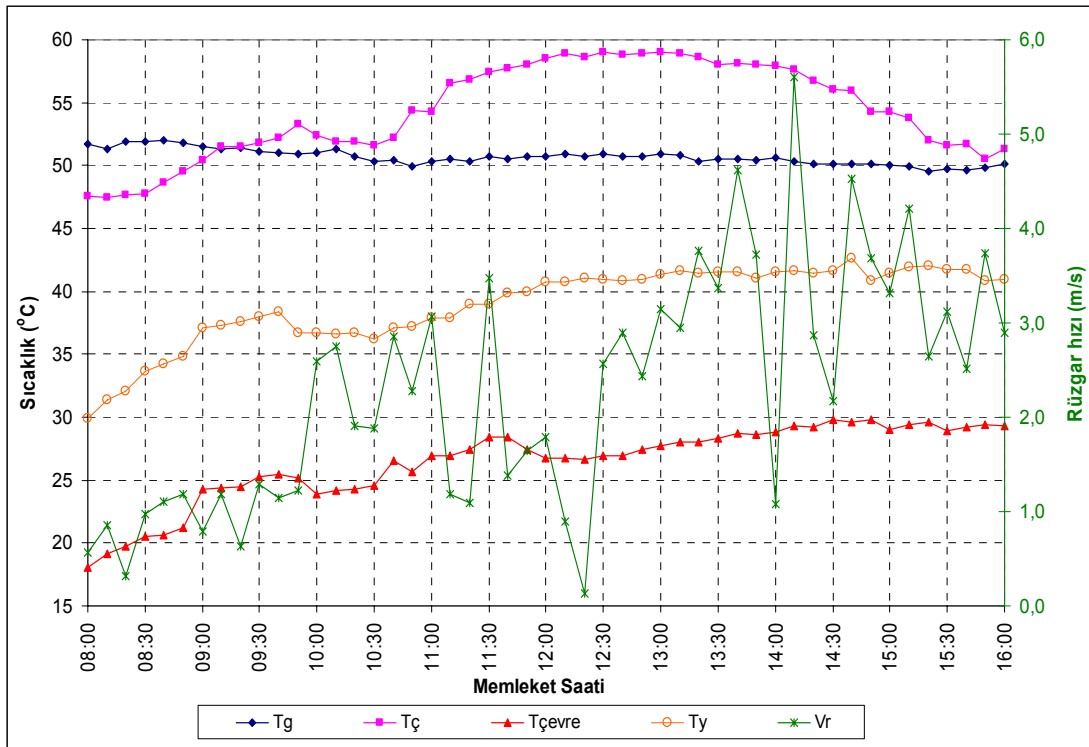
### 8.5. Kollektör E Deney Verileri ve Değerlendirilmesi

Kollektör E, kollektör D ile boru geçiş sayısı hariç eşdeğer özelliktedir. Kollektör E, boru geçiş sayısı 12 iken kollektör D’nin 10’dur. Kollektör E testi, 02.10.2009 tarihinde 08:00–16:00 saatleri arasında yapıldı. Hava az bulutlu idi ve rüzgar hızı sürekli değişim halindeydi. Deney süresince her 10 dakikada alınan veriler Çizelge 8.8’e görülmektedir. Diğer kollektörler ile benzer grafikler Kollektör E, içinde elde edilmiştir (Şekil 8.18, Şekil 8.19 ve Şekil 8.20). Kollektör E için güneş öğlesinde Türkiye saati ile 12:36 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8.8. Kollektör E deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI					E KOLEKTÖRÜ
Tarih:02.10.2009					
Yutucu Plaka Malz: Alüminyum boru ve kanat					
Boru-Yutucu Plaka Birlesim Yontemi=Laser					
Kolektör boru sayısı: 12 adet					
saat	Tgiriş °C	Tçıkış °C	Tçevre °C	Tyüzey °C	Rüzgar Hızı m/s
08:00	51,70	47,60	18,10	29,90	0,56
08:10	51,30	47,50	19,10	31,40	0,86
08:20	51,90	47,70	19,70	32,10	0,32
08:30	51,90	47,80	20,50	33,70	0,97
08:40	52,00	48,70	20,60	34,20	1,11
08:50	51,80	49,50	21,20	34,80	1,18
09:00	51,50	50,40	23,10	36,20	0,79
09:10	51,30	51,50	24,30	37,10	1,18
09:20	51,40	51,50	24,40	37,30	0,63
09:30	51,10	51,80	24,50	37,60	1,29
09:40	51,00	52,20	25,30	38,00	1,15
09:50	50,90	53,30	25,50	38,40	1,22
10:00	51,00	52,40	25,20	36,70	2,59
10:10	51,30	51,90	23,90	36,70	2,75
10:20	50,70	51,90	24,20	36,60	1,91
10:30	50,30	51,60	24,30	36,70	1,88
10:40	50,40	52,20	24,60	36,20	2,85
10:50	49,90	54,40	26,50	37,10	2,27
11:00	50,30	54,30	25,70	37,20	3,07
11:10	50,50	56,50	26,90	37,90	1,18
11:20	50,30	56,80	27,40	39,00	1,09
11:30	50,70	57,40	28,40	39,00	3,47
11:40	50,50	57,70	28,40	39,90	1,38
11:50	50,70	58,00	27,40	40,00	1,65
12:00	50,70	58,50	26,70	40,80	1,79
12:10	50,90	58,90	26,70	40,80	0,89
12:20	50,70	58,60	26,60	41,10	0,13
12:30	50,90	59,00	26,90	41,00	2,57
12:40	50,70	58,80	26,90	40,90	2,90
12:50	50,70	58,90	27,40	41,00	2,43
13:00	50,90	59,00	27,70	41,30	3,15
13:10	50,80	58,90	28,00	41,60	2,95
13:20	50,30	58,60	28,00	41,40	3,76
13:30	50,50	58,00	28,30	41,50	3,37
13:40	50,50	58,10	28,70	41,50	4,62
13:50	50,40	58,00	28,60	41,10	3,72
14:00	50,60	57,90	28,80	41,50	1,08
14:10	50,30	57,60	29,30	41,60	5,61
14:20	50,10	56,70	29,20	41,40	2,87
14:30	50,10	56,10	29,80	41,60	2,17
14:40	50,10	56,00	29,60	42,60	4,53
14:50	50,10	54,30	29,80	40,90	3,69
15:00	50,00	54,30	29,00	41,40	3,32
15:10	49,90	53,80	29,40	41,90	4,21
15:20	49,50	52,00	29,60	42,00	2,65
15:30	49,70	51,60	28,90	41,70	3,12
15:40	49,60	51,70	29,20	41,70	2,51
15:50	49,80	50,50	29,40	40,90	3,74
16:00	50,20	55,70	26,50	47,50	0,76

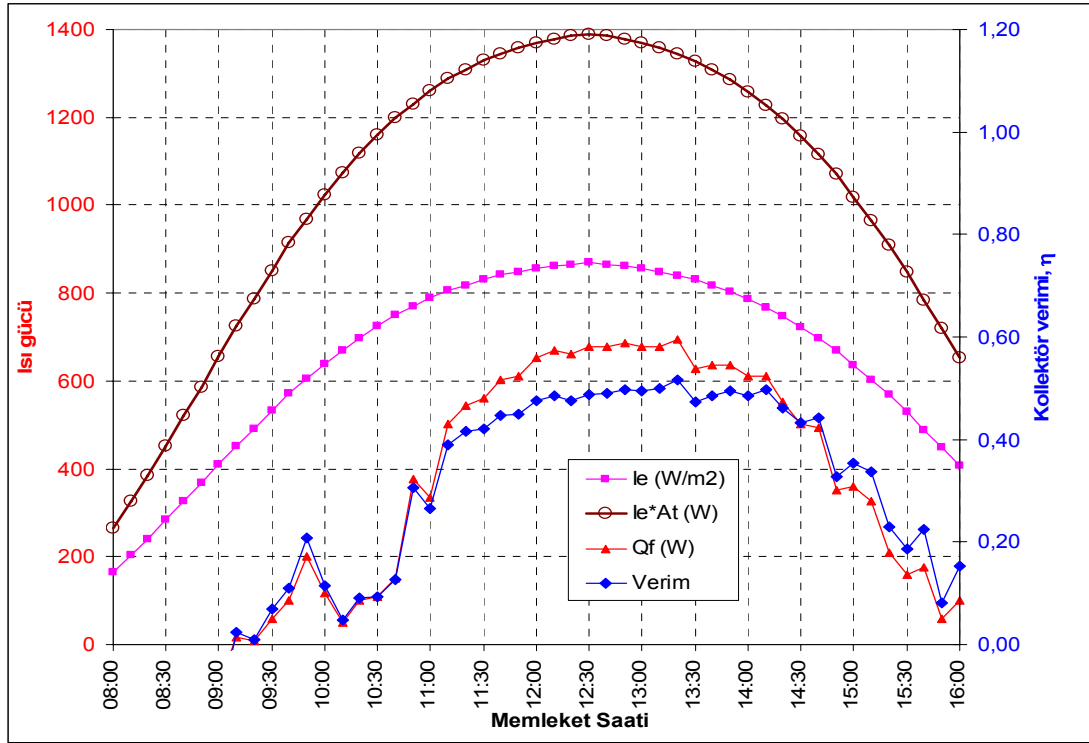
Şekil 8.18’de E kollektörüne suyun giriş ve çıkış sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Suyun kollektöre giriş sıcaklığı,  $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ’de sabit tutulmuştur. Suyun kollektörden çıkış sıcaklığı sabah saatlerinde  $47.6^{\circ}\text{C}$  iken saat 13:00’de  $59^{\circ}\text{C}$ ’ye ulaşmıştır. Çevre sıcaklığı, sabah saatlerinde  $\sim 18^{\circ}\text{C}$  iken öğle saatlerinde  $27^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar yükselmiştir. Çevre sıcaklığı, öğleden sonra  $2^{\circ}\text{C}$  kadar artış göstermiştir. Rüzgar hızı,  $0.13\text{--}5.61\text{m/s}$  arasında kararsız olarak sürekli değişmiştir. Yutucu plaka yüzey sıcaklığı ölçümleri, bu deney için sıcaklık algılayıcısının deney süresince yüzeye temasında problemler olduğu için net olarak yorum yapılmasına imkan vermemiştir.



**Şekil 8.18.** Kollektör E için, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızının gün boyunca değişimi

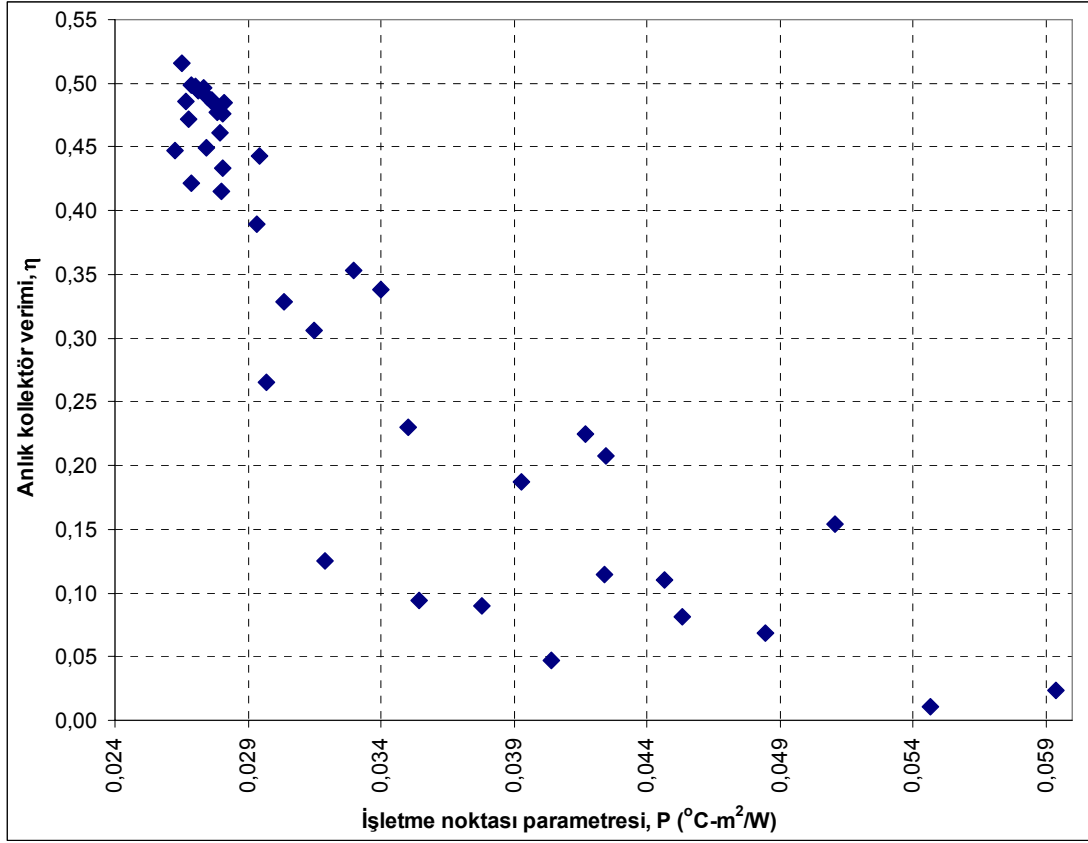
Şekil 8.19’da, anlık ışınım ile kollektör verimi ve faydalı ısı enerjisinin gün boyunca değişimi gösterilmiştir. Kollektör yüzeyine gelen anlık ışınım,  $263\text{--}1390\text{W}$  arasında değişirken, birim alana gelen anlık ışınım,  $165\text{--}870\text{W}$  arasında değişmiştir. Gün boyunca davranış açısından diğer kollektörlerle benzer şekilde günü tamamlamıştır.

Faydalı ısı enerjisi, saat 09:10'da 16.7W, 13:20'de ise 700W değerinde hesaplanmıştır. Çevre sıcaklığının fazla değişmemesi sebebi ile anlık ışınımın azalışına paralel olarak faydalı ısı enerjisi azalmıştır. Kollektör verimi, sabah saatlerinde 0.09 değerlerinde görülmektedir. Gün öğlesi gibi saat 13:20'ye kadar verim değeri artmaya devam etmiştir. Bu saatten sonra anlık ışınım değişimine paralel olarak azalmıştır. Çünkü çevre sıcaklığında gün boyunca ciddi bir artış gözlenmemiştir.

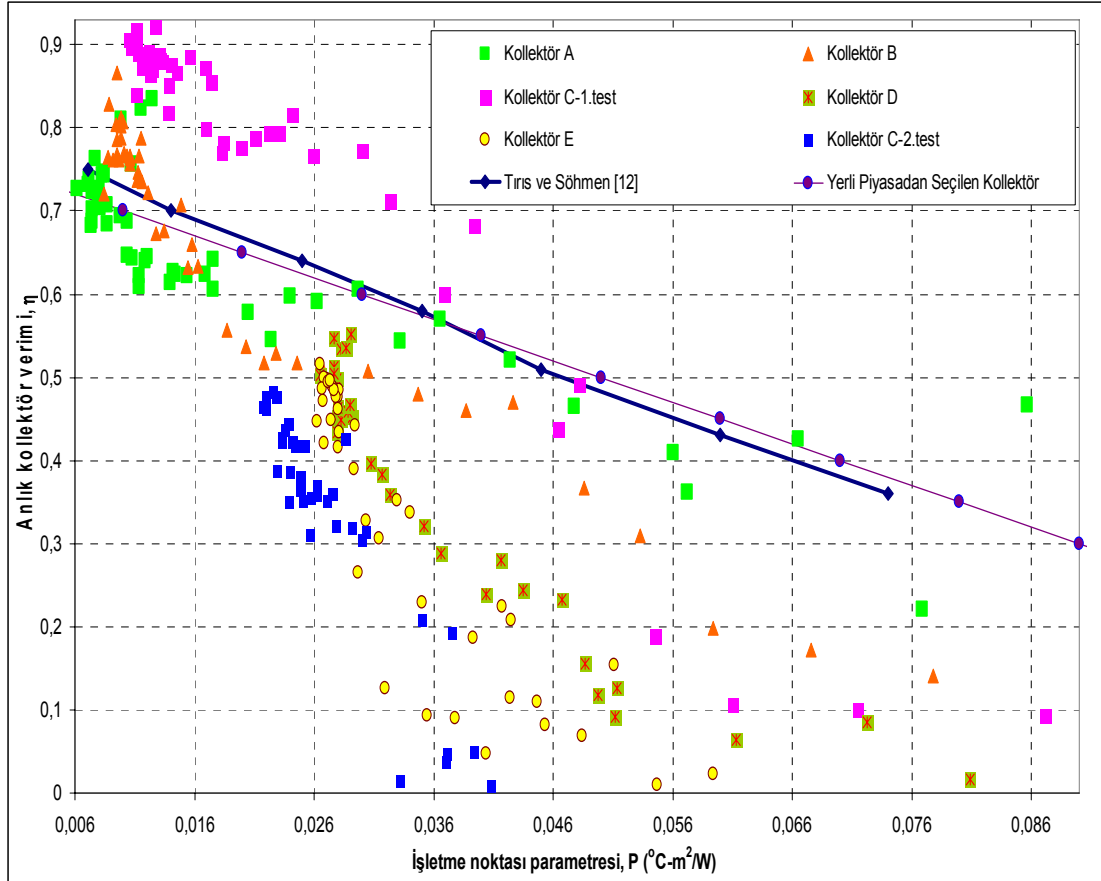


**Şekil 8.19.** Kollektör E için, kollektör yüzeyine gelen anlık ışınım ( $I_e$ ), suya aktarılan faydalı ısı enerjisi ( $Q_f$ ) ve anlık kollektör veriminin ( $\eta$ ) gün boyunca değişimi

Şekil 8.20'de E kollektörü veriminin işletme noktası parametresine bağlı değişimi gösterilmiştir. İşletme noktası parametresini saat 11:00 ile 14:50 arasında en düşük değerde görülmektedir. İşletme noktası parametresi, gün içerisinde 0.02 ile 0.06 aralığında hesaplanmıştır. Verim değeri, işletme noktası parametresi ile ters orantılı olarak, verim 0.05 ile 0.51 değerleri arasında değişmiştir. İşletme noktası parametresi ve dolayısıyla verimdeki anlık değişimler ise deney günündeki kısmi bulutlanma ve rüzgar hızının anlık değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



ve bu verimler laboratuvar ortamında belirlendiği için genel olarak tezde elde edilen gerçek dış ortam veriminden daha yüksektir. Dolayısıyla, laboratuvar şartlarında elde edilen yüksek kolektör verimi, gerçek dış ortamda gerçekleşmemektedir.

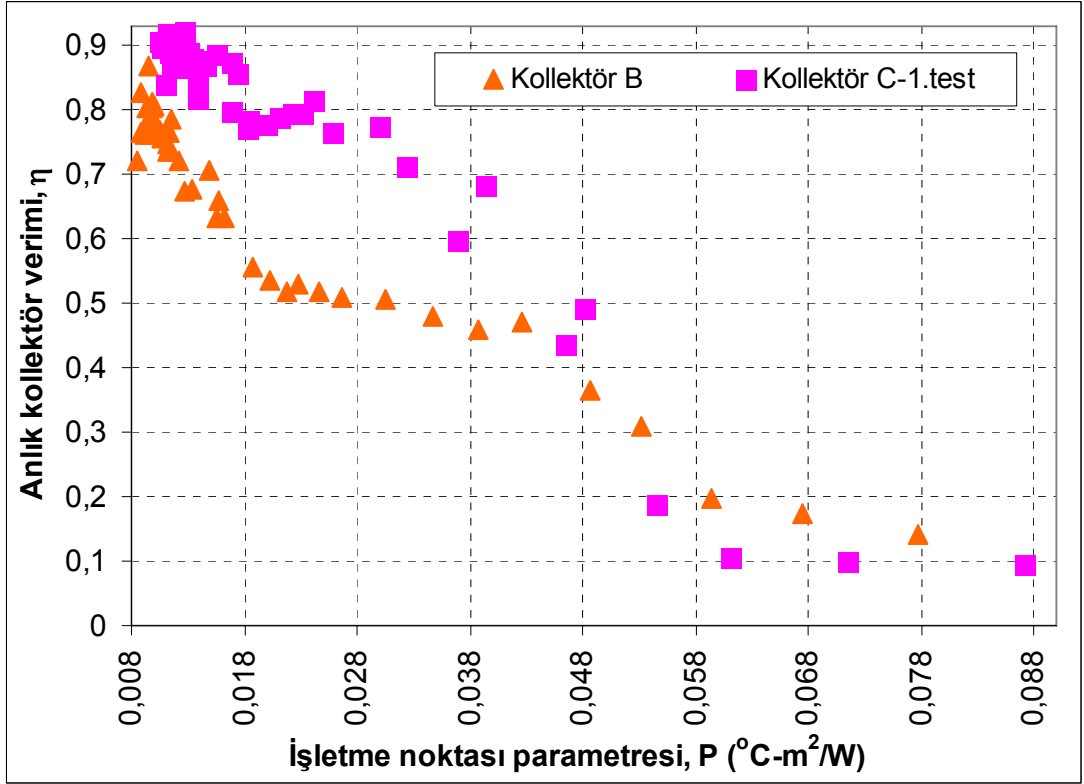


**Şekil 8.21.** Tüm kolektörler için verimin işletme noktası parametresine göre değişimi

### **Boru geçiş sayısının verime etkisi (Kolektör B ve C):**

Şekil 8.23'de B ve C kolektörlerinin veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi görülmektedir. B kolektörü boru geçiş sayısı 8 iken, C kolektörünün boru geçiş sayısı 12'dir. Boru geçiş sayısının 8 den 12'ye çıkışı verimi genel anlamda %20 mertebelerinde artırmıştır. Artan boru geçiş sayısı, ısının yutucu plakadan boru içindeki suya aktarılma alanını artırarak ısı transferine katkı sağladığından verim artmıştır. Isının yüksek sıcaklıktaki yutucu plakadan hızla suya aktarılması, yutucu plaka sıcaklığının aşırı artışını engellemesi de yutucu plakadan çevreye olan ısı kayıplarını azaltıcı yönde etki eder.

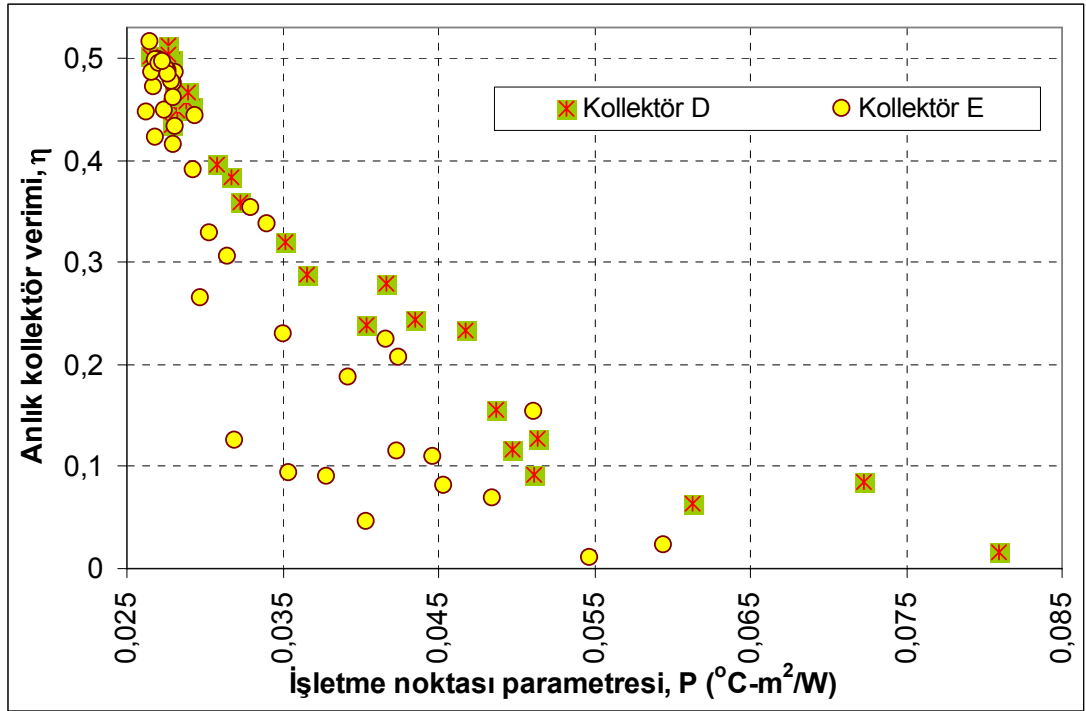




**Şekil 8.22.** Kollektör B ve C'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi

Yine boru sayısının verim üzerindeki etkisini gözlemleyeceğimiz 2. karşılaştırma grubu olarak, kollektör D ve E verimlerinin işletme noktası parametresine göre değişimi Şekil 8.24'te görülmektedir. D ve E kollektörleri lazer kaynaklı olarak üretilmiştir.

D kollektörü 10, E kollektörü 12 adet boru geçiş sayısına sahiptir. Şekil 8.24'te, her iki kollektörün verim değerleri arasında yukarıdaki karşılaştırmada olduğu kadar çok fazla farklılık görülmemektedir. Çünkü bu deneyler sırasında, deney süresi boyunca bulutlanmalar gözlenmiştir. Ayrıca rüzgar hızının şiddetini artırması sağlıklı yorumlamamızı bu iki kollektör açısından fazlasıyla etkilemiştir.



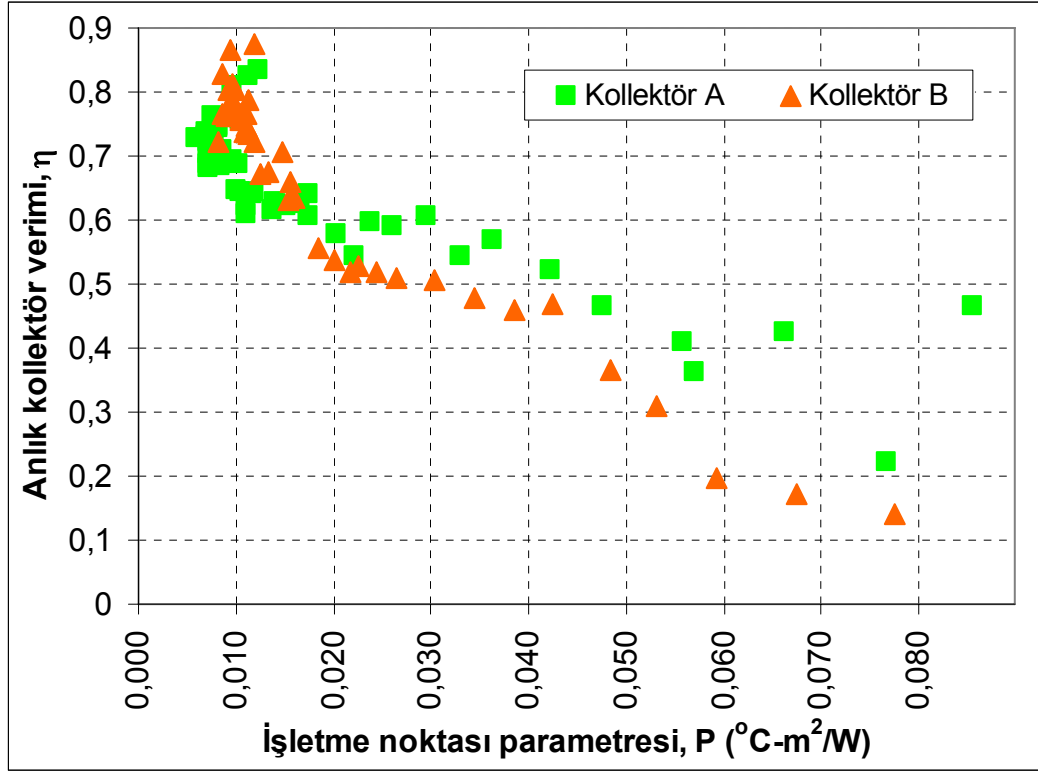
Şekil 8.23. Kollektör D ve E'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi

### **Boru malzemesinin verime etkisi (Kollektör A ve B):**

Kollektör A ve B verimleri ardışık günlerde yapılan deneylerle belirlenmiş ve Şekil 8.22'de gösterilmiştir. A ve B kolektörleri arasındaki tek fark A kolektörünün boru malzemesinin bakır, B'nin ise alüminyum olmasıdır. Ayrıca, her ikisinin de yutucu plaka malzemesi alüminyumdur.

Bakırın ısı iletim katsayısı ( $k=385\text{W/mK}$ ), alüminyuma ( $k=237\text{W/mK}$ ) göre daha yüksektir. Ancak, Şekil 8.23'de görüldüğü gibi, kolektör veriminde, işletme noktası parametresinin yüksek olduğu sabah saatleri dışında çok kısmi farklılıklar vardır.

Boru malzemesinin bakır olması verimi genel anlamda %2 mertebelerinde artırmıştır. Buradan yola çıkarak boru malzemesi yanı sıra, yutucu plaka malzemesinin de yutucu plakadan boru içindeki suya olan ısı transferinde etkin olduğu söylenebilir.

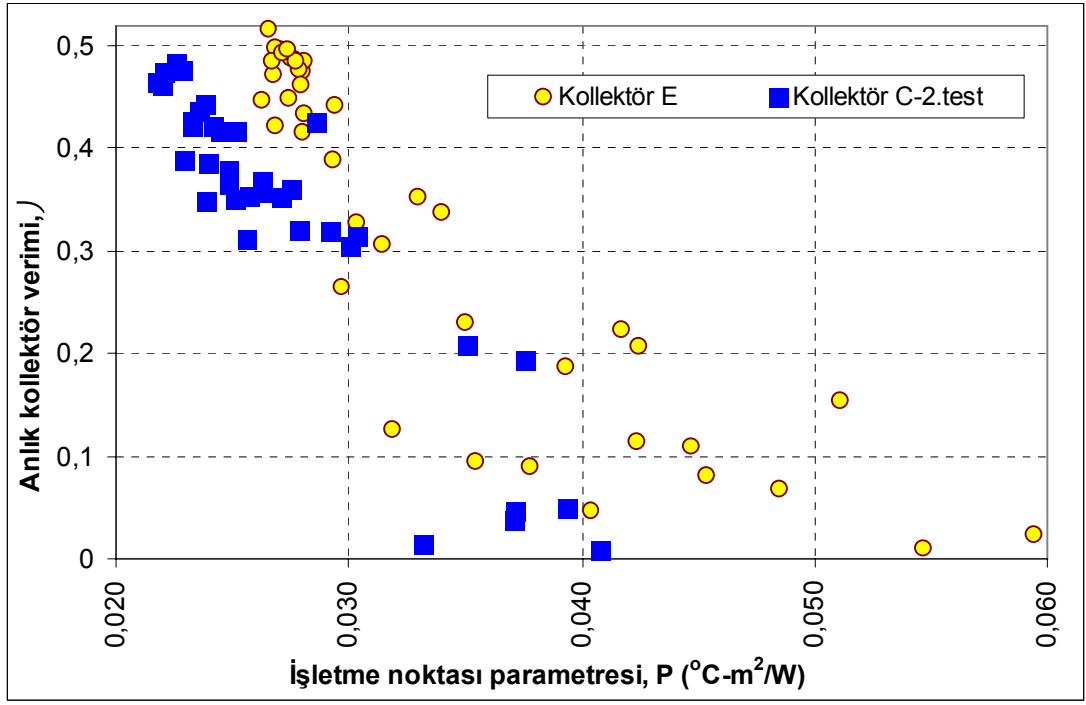


Şekil 8.24. Kollektör A ve B'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi

### **Boru-yutucu plaka birleşim yönteminin verime etkisi (Kollektör C ve E):**

Şekil 8.25'de Kollektör E ve C'nin, verimlerinin işletme noktası parametresine göre değişimi görülmektedir. E kollektörü ve C kollektörünün boru geçiş sayısı 12, boru ve yutucu plaka malzemesi alüminyumdur.

E kollektörü boru-yutucu plaka birleşimi lazer ile C kollektörünün ki ise kenetleme ile imal edilmiştir. Lazer kaynak ile boru-yutucu plaka birleşimi, kenetleme birleşimine göre daha iyi temas sağladığından, lazer ile birleştirilen kollektör E'nin kollektör C'ye göre verimi daha yüksek gerçekleşmiştir. Boru-yutucu plaka birleşim yönteminde lazerli birleşim yöntemi kullanılması verimi genel anlamda %10 mertebelerinde artırmıştır.



Şekil 8.25. Kollektör E ve C'nin, veriminin işletme noktası parametresine göre değişimi

## 9. SONUÇLAR

Düz güneş kolektörü verimi üzerinde etkili üç temel parametrenin etkisi, dış ortamda standartlara uygun olarak kurulan deney düzeneğinde deneysel olarak belirlenmiştir. Yerli imalattan seçilen beş adet kolektör, üç temel parametrenin etkisini belirleyecek şekilde deney matrisi halinde gruplandırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler ve hesaplanan verim değerleri grafikler halinde yorumlanmıştır.

Tez çalışmasında yapılan incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- **Boru geçiş sayısının verime etkisi:** Artan boru geçiş sayısı ile verimde artış olduğu görülmektedir. Artan boru geçişi, ısının yutucu plakadan boru içindeki suya aktarılma alanını artırarak ısı transferine katkı sağlaması sonucu verim artmıştır. Isının yüksek sıcaklıktaki yutucu plakadan hızla suya aktarılması, yutucu plaka sıcaklığının aşırı artmasında engellemesi sonucu yutucu plakadan çevreye olan ısı kayıplarının azalması yönünde etki eder. Yapılan deneylerde boru geçiş sayısının 8'den 12'ye yükselmesinin, verimi genel anlamda %20 oranında artırdığı gözlenmiştir.
- **Boru malzemesinin verime etkisi:** Boru malzemesi olarak alüminyum yerine daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip bakır kullanılması durumunda, verimdeki değişimin oldukça kısmi olduğu gözlendi. Boru malzemesinin artan ısı iletim katsayısı, suya ısı aktarımını kolaylaştıracaktır. Tez kapsamında yapılan deneylerde boru malzemesinin alüminyum yerine bakır kullanılması genel anlamda verimi %2 mertebelerinde artırdığı gözlenmiştir. Ancak, bakır borunun ısı iletim katsayısı ( $k=385\text{W/mK}$ ) alüminyum boruya ( $k=237\text{W/mK}$ ) göre çok yüksek olmasına rağmen, mevcut ısıl şartlar için ısı geçişindeki iyileşme kısmi kalmıştır. Zaten oldukça yüksek ısı iletimine sahip alüminyum mevcut ısıl şartlarda iyi bir ısı geçişi sağlamaktadır. Belki hem boru hem de yutucu plaka malzemesinin bakır olarak değiştirilmesi farklı oranda verime katkı sağlardı. Mevcut tez çalışmasında test edilmeyen bu özellikte bir kolektörün ileride test edilmesi katkı sağlayıcı olacaktır.

- **Boru-yutucu plaka birleşim yönteminin verime etkisi:** Lazer kaynak ile boru-yutucu plaka birleşimi, kenetleme birleşimine göre daha iyi temas sağladığından, verim daha yüksek gerçekleşmiştir. Boru ile yutucu plaka arasında çizgisel tam birleşim sağlayan laserli birleşim yöntemi verimin artırılmasında etkin bir parametredir. Ayrıca kenetleme yöntemi ile birleştirilen kollektörlerde boru ve yutucu plaka temaslarında oluşacak hava tabakası da ısı aktarımı için direnç oluşturduğundan verim daha düşük çıkmaktadır. Boru-yutucu plaka birleşim yönteminde, lazerli birleşim yöntemi kullanılması verimi yaklaşık %10 mertebelerinde artırmıştır.
- Parametrik verim analizinin yanısıra, yerli imalatı yapılan kollektörlerin verim değerleri, gerçek çalışma şartlarında deneysel olarak belirlenmiştir.

### **Öneriler ve gelecek çalışmalar:**

İleriye yönelik olarak çalışmanın devamında, kollektör veriminin iyileştirilmesi kapsamında mevcut etkin parametre aralıkları genişletilerek deneyler yapılması elde edilen sonuçları daha geniş bir perspektife taşıyacaktır. Yerli imalatta, muadil olarak karşılaştırılabilecek kollektör temini konusunda güçlük olduğundan, mevcut çalışmada iki farklı geçiş sayısı, iki farklı boru malzemesi ve iki farklı boru-yutucu plaka birleşim yöntemi incelenmiştir.

Ayrıca diğer etkin parametrelerinde (yutucu plaka optik özellikleri, saydam örtü, izolasyon, eğim, boru-yutucu plaka konstrüksiyonu gibi) deneysel incelenmesi verimli kollektör dizaynına katkı sağlayacaktır.

Düz güneş kollektörleri kullanımı dünyada oldukça yaygındır. Sanayi ve üniversite işbirliği ile ekonomiklik ve verimlilik açılarından optimize edilmiş kollektör imalatı yönünde çalışmalar pozitif sonuçlar oluşturacaktır.

Ayrıca, mevcut yerli firmaların kollektörlerini test edebilecekleri akredite olmuş bir test düzeneği ülkemizde bulunmamaktadır. Yerli firmalar yurtdışına ihracat yapabilmek için kollektörlerini yurtdışındaki akredite test kuruluşlarına göndererek test ettirmek

durumundadırlar. Bu durum ise, her farklı tasarım için test yapmayı gerektirdiğinden ciddi zaman ve kaynak gerektirmekte ve imalatçıları kollektörler üzerinde Ar-Ge'ye dayalı değişiklik yapmaktan alıkoymaktadır. Bu kapsamda, bu tez çalışmasıyla akredite test düzeneği kurulması yolunda başlangıç yapılmıştır.

## EK 1

### ÖRNEK KOLLEKTÖR VERİMİ HESABI

#### Hesap Parametreleri:

Yer: Kırıkkale

Enlem açısı:  $e = 39.83^\circ$

Yerel boylam:  $B_y = 33.5^\circ$

Deniz seviyesinden yükseklik:  $Z = 751m$

Zaman

Ay: Eylül

Gün: 6

Saat:  $MS = 10 : 00$

İzafi güneşlenme süresi:  $t/t_o = 0.94$

Çevrenin yansıtma oranı:  $\rho = 0.2$  (Çakıl taşlı çevre)

Güneye bakan yüzey için Azimut açısı:  $a = 0^\circ$

#### Güneş Açıları Hesabı:

1 Ocaktan itibaren gün sayısı:

$$O + S + M + N + M + H + T + A + E$$
$$n_{\text{Mayis } 15} = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 31 + 6 = 249$$

Deklinasyon açısı:

$$d = 23.45 \sin\left(360 \frac{n + 284}{365}\right) = 23.45 \sin\left(360 \frac{249 + 284}{365}\right) = 5.79^\circ$$

Güneşin doğuş-batışındaki saat açısı:

$$\cos H = -\tan d \tan e = -\tan(5.79)\tan(39.83) = -0.08457$$
$$H = 94.9^\circ$$



Gün uzunluğu:

$$t_g = \frac{2}{15} |H| = \frac{2}{15} |94.9| = 12.65 \text{ saat} = 12 \text{ saat } 39 \text{ dk}$$

Gün boyunca maksimum güneş ışınımını alacak optimum düzlem eğimi:

$$s_o = e - 1.5d - \frac{|d| \cdot e}{180} = 39.83 - 1.5 \times 5.79 - \frac{|5.79| \cdot 39.83}{180} = 29.86^\circ$$

Güneş öğlesinde maksimum güneş ışınımını alacak optimum düzlem eğimi:

$$s = e - d = 39.83 - 5.79 = 34.04^\circ$$

Hesaplarda kullanılacak eğim açısı:

$$s = 45^\circ$$

Güneş ışınlarının eğik düzleme paralel geldiği andaki saat açısı:

$$\cos H_{gp} = -\tan d \tan(e - s) = -\tan(5.79) \tan(39.83 - 45) = -0.0087$$
$$H = 89.5^\circ$$

Güneş ışınlarının eğik düzleme ilk geliş saat açısı:

$$H_1 = \max(-H; -H_{gp}) = \max(-94.9; -89.5) \Rightarrow H_1 = -89.5^\circ$$

Güneş ışınlarının eğik düzleme son düşüş saat açısı:

$$H_2 = \min(H; H_{gp}) = \min(94.9; 89.5) \Rightarrow H_2 = 89.5^\circ$$

Eğik düzlemin gün boyunca güneşlenme süresi:

$$t_{eg} = \frac{2}{15} |H_1| = \frac{2}{15} |89.5| = 11.9 \text{ saat} = 11 \text{ saat } 54 \text{ dk}$$

İzafi güneşlenme süresi:

$$\frac{t}{t_o} = \frac{t_{eg}}{t_g} = \frac{11.9}{12.65} = 0.94$$

Eğik düzlemin gün boyunca yüzdesel güneşlenme oranı:

$$\frac{11.9}{12.65} \times 100 = 0.94 \times 100 = \% 94$$

Güneş saatinin hesaplanması:

$MS = 10 : 00$  da  $GS = 9.26$  için saat açısı

$$h = 15(GS - 12) = 15(9.26 - 12) = -41.1^\circ$$

$$x(^{\circ}) = 360 \frac{n-1}{365.242} = 360 \frac{249-1}{365.242} = 244.44^\circ$$

$$\begin{aligned} ZD(\text{saat}) &= 0.0043 \cos x - 0.1236 \sin x - 0.0608 \cos 2x - 0.1538 \sin 2x \\ &= (0.0043 \cos(244.44) - 0.1236 \sin(244.44) - 0.0608 \cos(2 \times 244.44) \\ &\quad - 0.1538 \sin(2 \times 244.44)) \\ &= 0.0281 \text{ saat} \end{aligned}$$

$$GS = MS - \frac{45 - B_y}{15} + ZD = 10 - \frac{45 - 33.5}{15} + 0.0281 = 9.26 = 09 : 15$$

Zenit ve Yükseklik açısı:

$$z + y = 90^\circ$$

$$\cos z = \sin y = \cos d \cos e \cosh + \sin d \sin e$$

$$\cos z = \sin y = \cos(5.79) \cos(39.83) \cos(-41.1) + \sin(5.79) \sin(39.83) = 0.726$$

$$\Rightarrow z = 50.17^\circ$$

$$\Rightarrow y = 39.83^\circ$$

Güneş azimut açısı:

$$\begin{aligned} \cos a_g &= \frac{\cos d \sin e \cosh - \sin d \cos e}{\cos y} \\ &= \frac{\cos(5.79) \sin(39.83) \cos(-41.1) - \sin(5.79) \cos(39.83)}{\cos(39.83)} = 0.69 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow a_g = 58.36^\circ$$

Güneye bakan yüzey (Azimut açısı:  $a = 0^\circ$ ) için geliş açısı:

$$\cos g = \cos d \cosh \cos(e-s) + \sin d \sin(e-s)$$

$$\begin{aligned}\cos g &= \cos(5.79)\cos(-41.1)\cos(39.83 - 45) + \sin(5.79)\sin(39.83 - 45) \\ \cos g &= 0.848 \\ g &= 42.45^\circ\end{aligned}$$

### **Güneş Işınımı Hesabı:**

Güneş sabiti:  $I_{gs} = 1353 \text{ W / m}^2$

Güneş sabitini düzeltme faktörü:

$$f = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(360 \frac{n}{365}\right) = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(360 \frac{249}{365}\right) = 0.9864$$

### **Atmosfer dışı güneş ışınımı hesabı:**

Atmosfer dışı, yatay düzlem, anlık ışınım:

$$I_o = I_{gs} f \cos z = 1353 \times 0.9864 \times \cos(50.17) = 854.88 \text{ W / m}^2$$

Atmosfer dışı, yatay düzlem, günlük ışınım:

$$\begin{aligned}Q_o &= \frac{24}{\pi} I_{gs} f \sin d \sin e \left[ \frac{\pi}{180} H - \tan H \right] \\ Q_o &= \frac{24}{\pi} 1353 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \times (3600 \times 10^{-6}) \times 0.9864 \times \sin(5.79) \sin(39.83) \left[ \frac{\pi}{180} 94.9 - \tan(94.9) \right] \\ &= 31.87 \left[ \frac{MJ}{m^2 - gun} \right]\end{aligned}$$

Atmosfer dışı, eğik düzlem, anlık ışınım:

$$I_{oe} = I_{gs} f \cos g = 1353 \times 0.9864 \times \cos(42.45) = 984.65 \text{ W / m}^2$$

Atmosfer dışı, eğik düzlem, günlük ışınım:

$$\begin{aligned}Q_{oe} &= \frac{24}{\pi} I_{gs} f \left\{ \cos(e - s) \cos d \sin H_2 + \frac{\pi}{180} H_2 \sin(e - s) \sin d \right\} \\ Q_{oe} &= \frac{24}{\pi} 1353 \left[ \frac{W}{m^2} \right] (3600 \times 10^{-6}) 0.9864 \left\{ \cos(39.83 - 45) \cos(5.79) \sin(89.5) \right. \\ &\quad \left. + \frac{\pi}{180} 89.5 \times \sin(39.83 - 45) \sin(5.79) \right\} \\ &= 35.84 \left[ \frac{MJ}{m^2 - gun} \right]\end{aligned}$$

### Yeryüzü güneş ışınımı hesabı:

Yeryüzü, yatay düzlem, günlük tüm ışınım:

$$Q = Q_d + Q_y$$

$$\frac{Q}{Q_o} = a + b \frac{t}{t_o} = K_t : \text{Berraklık indeksi} \quad \left( \frac{t}{t_o} = \frac{t_{eg}}{t_g} \right)$$

$$a = 0.103 + 1.7 \times 10^{-5} Z + 0.198 \cos(e - d)$$

$$= 0.103 + 1.7 \times 10^{-5} \times 751 + 0.198 \cos(39.83 - 5.79) = 0.2798$$

$$b = 0.533 - 0.165 \cos(e - d) = 0.533 - 0.165 \cos(39.83 - 5.79) = 0.3963$$

$$\frac{Q}{Q_o} = a + b \frac{t}{t_o} = K_t = 0.2798 + 0.3963 \times 0.94 = 0.6536$$

$$\frac{Q}{Q_o} = K_t = 0.6536 \quad \Rightarrow \quad \frac{Q}{31.87} = K_t = 0.6536$$

$$Q = 20.83 \left[ \frac{MJ}{m^2 - gun} \right]$$

Yeryüzü, yatay düzlem, günlük yayılı ışınım:

$$\frac{Q_y}{Q} = K_y = 1 - 1.13K_t : \text{Yayıllı ışınım oranı}$$

$$\frac{Q_y}{Q} = K_y = 1 - 1.13K_t = 1 - 1.13 \times 0.6536 = 0.2614$$

$$\frac{Q_y}{Q} = K_y = 0.2614 \quad \Rightarrow \quad \frac{Q_y}{20.83} = 0.2614 \quad \Rightarrow \quad Q_y = 5.44 \left[ \frac{MJ}{m^2 - gun} \right]$$

Yeryüzü, yatay düzlem, günlük direk ışınım:

$$Q = Q_d + Q_y \quad \Rightarrow \quad 20.83 = Q_d + 5.44 \quad \Rightarrow \quad Q_d = 15.39 \left[ \frac{MJ}{m^2 - gun} \right]$$

Yeryüzü, yatay düzlem, anlık tüm ışınım:

$$I = I_d + I_y$$

$$\varphi = \exp \left\{ -4 \left( 1 - \frac{|h|}{H} \right)^2 \right\} = \exp \left\{ -4 \left( 1 - \frac{|-41.1|}{94.9} \right)^2 \right\} = 0.2765$$

$$\begin{aligned}\frac{I}{Q} = r_t &= \frac{\pi}{4t_g} \left\{ \cos\left(\frac{180}{2} \frac{h}{H}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}}(1 - \phi) \right\} \\ &= \frac{\pi}{4 \times 12.65} \left\{ \cos\left(\frac{180 - 41.1}{2 \cdot 94.9}\right) + \frac{2}{\sqrt{\pi}}(1 - 0.2765) \right\} = 0.0990\end{aligned}$$

$$\frac{I}{Q} = 0.0990 \Rightarrow \frac{I}{20.83 / 3600 \times 10^{-6}} = 0.0990 \Rightarrow I = 572.72 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Yeryüzü, yatay düzlem, anlık yayılı ışınım:

$$\frac{I_y}{Q_y} = \frac{I_o}{Q_o} = r_y = \frac{854.88}{31.87} \times 3600 \times 10^{-6} = 0.0966$$

$$\frac{I_y}{Q_y} = \frac{I_o}{Q_o} = r_y = 0.0966 \Rightarrow \frac{I_y}{5.44 / 3600 \times 10^{-6}} = 0.0966$$

$$I_y = 146.06 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Yeryüzü, yatay düzlem, anlık direk ışınım:

$$I = I_d + I_y \Rightarrow 572.72 = I_d + 146.06 \Rightarrow I_d = 426.66 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Yeryüzü, eğik düzlem, anlık direk ışınım:

$$\frac{I_{ed}}{I_d} = R_d = \frac{\cos g}{\cos z} = \frac{\cos(42.45)}{\cos(50.17)} = 1.1518$$

$$\frac{I_{ed}}{426.66} = 1.1518 \Rightarrow I_{ed} = 491.42 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Yeryüzü, eğik düzlem, anlık yayılı ışınım:

$$\frac{I_{ey}}{I_y} = \frac{1 + \cos s}{2} = \frac{1 + \cos(45)}{2} = 0.8535$$

$$\frac{I_{ey}}{146.06} = 0.8535 \Rightarrow I_{ey} = 124.67 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Yeryüzü, eğik düzlem, anlık yansıyan ışınım:

$$I_{eyan} = I\rho \frac{1 - \cos s}{2} = 572.72 \times 0.2 \times \frac{1 - \cos(45)}{2} = 16.77 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

Yeryüzü, eğik düzlem, anlık toplam ışınım:

$$I_e = I_{ed} + I_{ey} + I_{eyan} = 491.42 + 124.67 + 16.77 = 632.87 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### **Kollektör Verim Hesabı:**

Kollektör toplam alanı	$A_t = 1.6m^2$
Kollektör giriş suyu sıcaklığı:	$T_g = 44.7^\circ$
Kollektör çıkış suyu sıcaklığı:	$T_\varphi = 51.3^\circ$
Çevre sıcaklığı:	$T_{\text{çevre}} = 30.5^\circ$
Kütleli debi:	$\dot{m} = 0.02kg / s$
Özgül ısı:	$c_p = 4.18Kj / kgK$

Faydalı Isı:

$$Q_f = \dot{m} \times c_p \times \Delta T = 0.02 \times 4.18 \times (51.3 - 44.7) = 551.76 \left[ \frac{Kj}{s} \right]$$

Kollektör verimi:

$$\eta = \frac{Q_{faydalı}}{A_t \times I_e} = \frac{551.76}{1.6 \times 632.87} = 0.54... \Rightarrow ... = \%54$$

İşletme Noktası Parametresi:

$$P = \frac{(T_g - T_{\text{çevre}})}{I_e} = \frac{(44.7 - 30.5)}{632.87} = 0.0224$$

## KAYNAKLAR

- (1) Kılıç, A., ve Öztürk, A., Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.
- (2) Kılıç, A., ve Öztürk, A., Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar. Segem Yayınları, Ankara, 1984.
- (3) Uyarel, A. Y., ve Öz, E. S., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Emel Matbaacılık, Ankara, 1987.
- (4) Hsieh, J. S., Solar Energy Engineering. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1986.
- (5) Atagündüz, G., Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1989.
- (6) Tırıs, Ç., ve Tırıs, M., Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Verimini Artıran Parametreler. T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 26, sayfa 35–40.
- (7) Ağı, S., ve Günerhan, H., Sıvılı Düzlemsel Güneş Kollektörlerinde Verim Artırma Olanakları. T.M.M.O. Makine Mühendisleri Odası, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği İzmir Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı (Ek Bildiri), Yayın No:E/2003/328-1, Sayfa:675–692, 2003.
- (8) Sabatelli, V., Marano, D., et al, Efficiency Test of Solar Collectors: Uncertainty in the Estimation of Regression Parameters and Sensitivity Analysis. Energy Conservation and Management, vol 43, pp. 2287–2295, 2002.
- (9) Tırıs, Ç., ve Tırıs, M., Kollektör Yutucu Plaka Optik Özelliklerinin Toplam Isı Kayıp Katsayısına Etkisi. Termodinamik Dergisi, 9, sayfa 76–78.

- (10) Doğu, Y., alışkan, N., ve ekel, N., Düz Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Yutucu Plakada Oluşan Isı Transferinin Parametrik Analizi. TMMOB-MMO Mühendis ve Makine, Cilt:47, Sayı:555, sayfa: 21–32, 2004.
- (11) Güneş, M., Düzlemsel Toplayıcıların Yutma-Geçirme arpımı İçin Bir Bilgisayar Programı. TMMOB Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Haziran 2003, Mersin, sayfa 70–80,2003.
- (12) Tırıs, ., Sohmen, H.M., Türkiye’de üretilen güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde kullanılan güneş kolektörleri. Güneş Günü Sempozyumu, Haziran 1999, Kayseri, sayfa 30–35,1999.
- (13) Eisenmann, W., Vajen, K., and Ackermann, H., On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat-plate solar collectors. Solar Energy, vol. 76, pp. 381–387, 2004.
- (14) Kundu, B., Performance analysis and optimization of absorber plates of different geometry for a flat-plate solar collector: a comparative study. Applied Thermal Engineering, vol. 22, pp. 999–1012, 2002.
- (15) Kazeminejad,H., Numerical analysis of two dimensional parallel flow flat-plate solar collector. Renewable Energy, vol 26, pp. 309–323, June 2002.
- (16) Henden, L., Rekstad, J., and Meir, M., Thermal Performance of Combined Solar Systems With Different Collector Efficiencies. Solar Energy, vol. 72, pp. 299–305, 2002.
- (17) Abdullah, A.H., Abou-Ziyan, H.Z., Ghoneim, A.A., Thermal Performance of .at Plate Solar Kollektor Using Various Arrangements of Compaund Honeycomb. Energy Conversion and Management. vol. 44, pp. 3093–3112, 2003.



- (18) Cristofari, C., Notton, G., Poggi, P., Louche, A., Influence of The Flow Rate and The Tank Stratification Degree On The Performances of A Solar Flat-Plate Collectors. *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 42, pp. 455–469, 2003.
- (19) Türk Standartları Enstitüsü, Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri-Güneş Enerjisi kollektörleri-Bölüm 2: Deney Metotları. TS EN 12975–2, Mart 2008.
- (20) Türk Standartları Enstitüsü, Deney ve Kalibrasyon laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar. TS EN ISO/IEC17025, Aralık 2005.
- (21) H. Dizdar, Güneş Enerjisi ve Güneş Kollektör Testleri. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 1998.
- (22) M. Ertunç, Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Performansına Etki Yapan Parametreler. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1997.
- (23) M. Tezcan, Düzlemsel Güneş Kollektörleri ve Verim Hesaplamaları. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001.
- (24) A. İlhan, Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemlerinin Çalışma Karakteristiklerinin Deneysel Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 1999.