



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİRLEŞİK PARABOLİK YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ  
KOLLEKTÖRLERİ İLE SU ISITMA SİSTEMİNİN  
MATEMATİKSEL MODELİ, SİMÜLASYONU VE  
PERFORMANS ANALİZİ**

**SERBAZ AKKOÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2012**



**BİRLEŞİK PARABOLİK YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ  
KOLLEKTÖRLERİ İLE SU ISITMA SİSTEMİNİN  
MATEMATİKSEL MODELİ, SİMÜLASYONU VE  
PERFORMANS ANALİZİ**

**MATHEMATICAL MODEL, SIMULATION AND  
PERFORMANCE ANALYSIS OF WATER HEATING WITH  
COMPOUND PARABOLIC CONCENTRATING SOLAR  
COLLECTORS**

**SERBAZ AKKOÇ**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ENERJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

2012

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Birol KILKIŞ

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Levent ÇOLAK

Üye : Prof. Dr. Cevdet TEZCAN

#### **ONAY**

Bu tez 06/09/2012 tarihinde, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..../..../.....

Prof.Dr. Emin AKATA  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## **TEŞEKKÜR**

Bu tezin tasarımı ve imalatının her aşamasında tüm bilgi birikimlerini paylaşan, ilgi ve alakasını hiç eksik etmeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Levent ÇOLAK'a, tezin deney aşamasında yardımlarından dolayı İsmail KARABACAK'a ve beni her zaman maddi manevi destekleyen, her zaman yanımda olan aileme ve eşim Tuğçe AKKOÇ'a teşekkür ederim.

## ÖZ

### **BİRLEŞİK PARABOLİK YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ İLE SU ISITMA SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ, SİMÜLASYONU VE PERFORMANS ANALİZİ**

Serbaz AKKOÇ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kollektörler incelenmiştir. Isıl uygulamalar için düz güneş kollektörleri kimi zaman yeterli olamamaktadır. Bu yüzden daha yüksek sıcaklık uygulamaları için yoğunlaştırıcı kollektörlere gerek duyulmaktadır. Bu çalışmada yoğunlaştırıcı güneş kollektör türlerinden biri olan birleşik parabolik yoğunlaştırıcı güneş kollektörlerinin matematiksel modeli, deneyi, performans analizi ve simülasyonu yer almaktadır. Kollektör tasarımı yapıldıktan sonra deneylerde elde edilen veriler ve simülasyon sonucu elde edilen değerler karşılaştırılıp matematiksel modelin doğruluğu hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Karşılaştırma sonucu sistemin doğru çalıştığı gözlemlenmiştir, ancak tasarlanan sistemin matematiksel modeli ve optik verimi geliştirilmelidir. Literatürde yapılan incelemelerde birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kollektörlerle yapılan çalışma sayısı sınırlıdır. Ayrıca bu yapılan çalışmaların bir çoğunda da bilgisayar destekli simülasyon işlemi görülmemektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada simülasyon ile deney sonuçlarının karşılaştırılması önem arz etmektedir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörü, Güneş Enerjisi, Güneş Kollektörü

**DANIŞMAN:** Yrd. Doç. Dr. Levent ÇOLAK, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

## **ABSTRACT**

### **MATHEMATICAL MODEL, SIMULATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF WATER HEATING WITH COMPOUND PARABOLIC CONCENTRATING SOLAR COLLECTORS**

This thesis is about compound parabolic solar collectors which are used solar energy applications. Flat collectors sometimes don't enough for thermal applications. For this reason, concentration collectors are used high temprature applications. In this thesis, mathematical model of compound parabolic concentration collectors, performance analisys and simulation were done. After desing the collector, test results and simulation results were compared for the verification of mathematical model. Result of comparison, the system is working correctly, but mathematical model and optical efficiency of designed system must be developed. There are few compound parabolic solar collector studies in literature. Also in most of this studies there are no simulation process. For this reason in this thesis, the comparison of simulation and test results are being important.

**KEYWORDS:** Compound parabolic solar collectors, solar collectors, solar collector

**SUPERVISOR:** Asst. Prof. Dr. Levent ÇOLAK, Başkent University, Institute of Science, Department of Energy Engineering

## İçindekiler

|                                                                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZ.....                                                                                                                     | i    |
| ABSTRACT .....                                                                                                              | ii   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                                            | iii  |
| Şekiller .....                                                                                                              | iv   |
| Çizelgeler .....                                                                                                            | vii  |
| Semboller .....                                                                                                             | viii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                                              | 1    |
| 1.1 Tezin Tanımı ve Amacı .....                                                                                             | 1    |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                                                                              | 3    |
| 3. GÜNEŞ ENERJİSİ .....                                                                                                     | 8    |
| 4. YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ.....                                                                            | 10   |
| 5. YOĞUNLAŞTIRICI KOLLEKTÖRLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ .....                                                                    | 14   |
| 5.1 Birleşik Parabolik Kollektörlerin Yansıtıcı Yüzey Tasarımı .....                                                        | 17   |
| 5.2 Silindirik Yutucu Yüzeyli Birleşik Parabolik Kollektörlerde Yansıtıcı Yüzey<br>Tasarımı .....                           | 25   |
| 5.3 Kollektör Tasarım Değerleri ve Optik Verim.....                                                                         | 28   |
| 6. TEORİK IŞINIM HESAPLAMALARININ ÖLÇÜLEN IŞINIM DEĞERLERİ İLE<br>KARŞILAŞTIRILMASI .....                                   | 52   |
| 7. TASARLANAN KOLLEKTÖRÜN TEORİK ISIL ANALİZİ .....                                                                         | 60   |
| 8. SİMÜLASYON İÇİN KULLANILAN TRNSYS-16 PROGRAMI VE TASARLANAN<br>DENEY DÜZENİĞİNİN SİMÜLASYONU .....                       | 72   |
| 9. DENEY VERİLERİ, KOLLEKTÖR PERFORMANSI VE ISIL VERİM<br>DEĞERLENDİRMESİ .....                                             | 75   |
| 10. TASARLANAN KOLLEKTÖR PERFORMANSININ LİTERATÜRDE YER ALAN<br>BAŞKA BİR KOLLEKTÖR PERFORMANSI İLE KARŞILAŞTIRILMASI ..... | 90   |
| 11. SONUÇ .....                                                                                                             | 94   |
| KAYNAKLAR.....                                                                                                              | 100  |
| EKLER .....                                                                                                                 | 102  |
| Ek-1 Ortalama yansıtma sayısını bulmak için gerekli grafikler .....                                                         | 103  |
| Ek-2 Cam örtünün kısa dalga boyu ışınları geçirme oranı, kimyasal ve fiziksel<br>özellikleri.....                           | 105  |
| Ek-3 Deney ve simülasyon değerleri .....                                                                                    | 106  |

## ŞEKİLLER

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1 Yoğunlaştırıcı güneş kolektör türleri .....                                                                                       | 11 |
| Şekil 4.2 Silindir yutuculu yoğunlaştırıcı kolektör yüzeyleri .....                                                                         | 12 |
| Şekil 4.3 Görüntüsüz kolektörlerde ışınların farklı yerlere odaklanması .....                                                               | 13 |
| Şekil 5.1 Düz alıcılı birleşik parabolik kolektörler .....                                                                                  | 18 |
| Şekil 5.2 Düz alıcılı AB yüzeyine $\theta$ açısıyla gelen ışınların odaklanması .....                                                       | 19 |
| Şekil 5.3 AB yutucu yüzeyine maksimum ışın odaklamak için A ve B noktalarına düz yansıtıcılar konması .....                                 | 19 |
| Şekil 5.4 $C_1$ ve $D_1$ noktalarına Şekil 5.3'deki yöntemle yeni yansıtıcılar ekleyerek açıklık eninin genişletilmesi .....                | 20 |
| Şekil 5.5 Küçük yansıtıcılar ekleyerek $\beta$ açısının minimize edilmesi .....                                                             | 21 |
| Şekil 5.6 Paraboller uzatıldığında CD noktasına kadar yansıtıcılar arası mesafe artar ancak bu noktadan sonra mesafe küçülmeye başlar ..... | 22 |
| Şekil 5.7 Birleşik parabolik kolektörlerde kenar ışın yörüngeleri .....                                                                     | 22 |
| Şekil 5.8 B.P.K.'lerde ışınların geliş açılarına göre izlediği yollar .....                                                                 | 23 |
| Şekil 5.9 Optik eksene paralel gelen iki ışının izlediği yol .....                                                                          | 23 |
| Şekil 5.10 B.P.K'nin maksimum yoğunlaştırması ve kolektör yüksekliği .....                                                                  | 24 |
| Şekil 5.11 EF kaynağından gelen ışınların AB üzerine odaklanması .....                                                                      | 25 |
| Şekil 5.12 Silindir alıcılı B.P.K. için kenar ışın prensibi .....                                                                           | 26 |
| Şekil 5.13 Daireye teğet her nokta için oluşan eğriler ve alıcının kenarından teğet geçen ışınların geri dönmesi .....                      | 26 |
| Şekil 5.14 Yansıtıcı yüzey tasarımı için gerekli parametreler .....                                                                         | 27 |
| Şekil 5.15 Yansıtıcı yüzeyi oluşturan paraboller .....                                                                                      | 29 |
| Şekil 5.16 Birleşik parabolik kolektörlerin bileşenleri ve parametreleri .....                                                              | 30 |
| Şekil 5.17 Kolektörün karakteristik uzunluğu ve yansıtıcı yüzey uzunluğu .....                                                              | 31 |
| Şekil 5.18 Lazer testi uygulanan kolektör kısımları .....                                                                                   | 34 |
| Şekil 5.19 Kurulan lazer testi düzeneğini .....                                                                                             | 35 |
| Şekil 5.20 Lazer testi çalışmaları resim-1 .....                                                                                            | 35 |
| Şekil 5.21 Lazer testi çalışmaları resim-2 .....                                                                                            | 36 |
| Şekil 5.22 Lazer testi çalışmaları resim-3 .....                                                                                            | 36 |
| Şekil 5.23 Lazer testi çalışmaları resim-4 .....                                                                                            | 37 |
| Şekil 5.24 Lazer testi çalışmaları resim-5 .....                                                                                            | 37 |
| Şekil 5.25 $0^\circ$ geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                                        | 47 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.26 5° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları.....                                            | 48 |
| Şekil 5.27 10° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                          | 48 |
| Şekil 5.28 15° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                          | 49 |
| Şekil 5.29 20° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                          | 49 |
| Şekil 5.30 25° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                          | 50 |
| Şekil 5.31 30° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                          | 50 |
| Şekil 5.32 35° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları .....                                          | 51 |
| Şekil 6.1 Yatay düzleme, eğimli yüzeye gelen direkt ışınım, eğim faktörü .....                                          | 56 |
| Şekil 7.1 Parabolik kollektörlerin direnç devresi benzetimi.....                                                        | 60 |
| Şekil 7.2 Yoğunlaştırıcı kollektörlerde oluşan kayıplar ve ısı kazanç grafiği.....                                      | 71 |
| Şekil 8.1 TRNSYS-16'da simülasyonu gerçekleştirilen sistem ve bileşenleri .....                                         | 73 |
| Şekil 9.1 Deney düzeneğini oluşturan bileşenler .....                                                                   | 75 |
| Şekil 9.2 Deney düzeneği resim-1 .....                                                                                  | 76 |
| Şekil 9.3 Deney düzeneği resim-2 .....                                                                                  | 76 |
| Şekil 9.4 Deney düzeneği resim-3 .....                                                                                  | 77 |
| Şekil 9.5 Deney düzeneği resim-4 .....                                                                                  | 77 |
| Şekil 9.6 Deney düzeneği resim-5 .....                                                                                  | 78 |
| Şekil 9.7 Açık gün için anlık hava ve suyun giriş, çıkış sıcaklık grafikleri .....                                      | 81 |
| Şekil 9.8 Açık gün için anlık güneş ışınımı ve faydalı ısı grafikleri .....                                             | 81 |
| Şekil 9.9 Açık gün için teorik, deneysel ve TRNSYS ısı verimlerinin karşılaştırılması                                   | 82 |
| Şekil 9.10 Deneysel verimin, giriş sıcaklığı-hava sıcaklığı farkına göre değişimi .....                                 | 82 |
| Şekil 9.11 Parçalı bulutlu gün için anlık hava ve suyun giriş, çıkış sıcaklık grafikleri.                               | 83 |
| Şekil 9.12 Parçalı bulutlu gün için anlık güneş ışınımı ve faydalı ısı grafikleri .....                                 | 84 |
| Şekil 9.13 Parçalı bulutlu gün için teorik, deneysel ve TRNSYS ısı verimlerinin karşılaştırılması .....                 | 84 |
| Şekil 9.14 Parçalı bulutlu gün için kollektör ısı veriminin, giriş sıcaklığı-hava sıcaklığı farkına göre değişimi ..... | 85 |
| Şekil 9.15 Kapalı gün için anlık hava ve suyun giriş, çıkış sıcaklıkları.....                                           | 86 |
| Şekil 9.16 Kapalı gün için anlık güneş ışınımı ve faydalı ısı grafikleri .....                                          | 87 |
| Şekil 9.17 Kapalı gün için teorik, deneysel ve TRNSYS ısı verimlerinin karşılaştırılması .....                          | 88 |
| Şekil 9.18 Kapalı gün için kollektör ısı veriminin, giriş sıcaklığı-hava sıcaklığı farkına göre değişimi .....          | 88 |

|                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 10.1 Tasarlanan kolektörün teorik ve simülasyonuna ait çıkış sıcaklıkları ile referans alınan kolektörün teorik ve simülasyonuna ait çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması ..... | 92 |
| Şekil 10.2 Referans alınan ve tasarlanan kolektörlerin teorik ısı verimleri .....                                                                                                        | 93 |
| Şekil 11.1 Lazer tutulan yansıtıcı yüzey bölgeleri .....                                                                                                                                 | 95 |
| Şekil 11.2 Lazer testi yapılan bölgelerin ışın yansıtma oranları .....                                                                                                                   | 96 |

## Çizelgeler

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1 Güneş kollektör türleri ve özellikleri.....                                                   | 11 |
| Çizelge 5.1 Yansıtıcı yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri .....                             | 14 |
| Çizelge 5.2 Yutucu yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri.....                              | 16 |
| Çizelge 5.3 Seçici yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri .....                             | 16 |
| Çizelge 5.4 Birinci kısım için lazer testi sonuçları .....                                                | 38 |
| Çizelge 5.5 İkinci kısım için lazer testi sonuçları .....                                                 | 39 |
| Çizelge 5.6 Üçüncü kısım için lazer testi sonuçları .....                                                 | 40 |
| Çizelge 5.7 Dördüncü kısım için lazer testi sonuçları.....                                                | 41 |
| Çizelge 5.8 Beşinci kısım için lazer testi sonuçları.....                                                 | 42 |
| Çizelge 5.9 Altıncı kısım için lazer test sonuçları .....                                                 | 43 |
| Çizelge 5.10 Yedinci kısım için lazer testi sonuçları .....                                               | 44 |
| Çizelge 5.11 Sekizinci kısım için lazer testi sonuçları .....                                             | 45 |
| Çizelge 5.12 Kollektör sisteminin farklı geliş açıları için ortalama yansıtma oranları .                  | 46 |
| Çizelge 6.1 Deklinasyon açısı hesabında kullanılan “n” değeri .....                                       | 54 |
| Çizelge 6.2 Aylara göre anlık ışıınım için parametre değerleri .....                                      | 55 |
| Çizelge 6.3 Zemin yansıtma katsayıları .....                                                              | 57 |
| Çizelge 6.4 Deney yapılan günlerde ortalama ışıınım ve hava sıcaklık değerleri.....                       | 58 |
| Çizelge 6.5 Teorik ışıınım ve ölçülen değerlerin karşılaştırılması .....                                  | 59 |
| Çizelge 7.1 Parabolik kollektörlerde oluşan ısı geçişleri .....                                           | 61 |
| Çizelge 7.2 Zorlanmış taşınım ısı transfer katsayısı için Reynolds sayısı ve C, m, n<br>katsayıları ..... | 63 |
| Çizelge 9.1 Aynı ışıınım ve hava sıcaklıklarında giriş sıcaklığına göre kollektör<br>verimleri.....       | 89 |
| Çizelge 10.1 Referans alınan ve tasarlanan kollektörün tasarım değerleri.....                             | 91 |

## SEMBOLLER

| <u>SEMBOL</u> | <u>AÇIKLAMA</u>                                    | <u>BİRİM</u>         |
|---------------|----------------------------------------------------|----------------------|
| $\alpha$      | Işın yutma oranı                                   |                      |
| $\varepsilon$ | Işın yayma oranı                                   |                      |
| $\theta_a$    | Kollektör yarım kabul açısı                        | Derece( $^{\circ}$ ) |
| Y.O.          | Kollektör yoğunlaştırma oranı                      |                      |
| a             | Kollektör açıklığı                                 | metre(m)             |
| h             | Kollektör yüksekliği                               | metre(m)             |
| f             | Kollektörün merkez uzaklığı                        | metre(m)             |
| W             | Kollektörün açıklık eni                            | metre(m)             |
| $G_p$         | Yansıtıcı alt noktası ile yutucu boru arası boşluk | metre(m)             |
| P             | Boşluk kayıp faktörü                               |                      |
| $L_{kol}$     | Kollektör uzunluğu                                 | metre(m)             |
| $A_{yan}$     | Yansıtıcı yüzey alanı                              | $m^2$                |
| $X_m$         | Kollektörün karakteristik uzunluğu                 | metre(m)             |
| $\eta_o$      | Optik verim                                        |                      |
| K             | Kollektör yerleştirmesinden kaynaklı kayıp oranı   |                      |
| $\rho$        | Yansıtıcılık oranı                                 |                      |
| T             | Cam örtü geçirgenliği                              |                      |
| $\xi$         | Işın kesişim oranı                                 |                      |
| $\Phi$        | Göz önüne alınan yerin enlem açısı                 | Derece( $^{\circ}$ ) |
| $\delta$      | Deklinasyon açısı                                  | Derece( $^{\circ}$ ) |
| $\beta$       | Eğim açısı                                         | Derece( $^{\circ}$ ) |
| $\theta_z$    | Zenit açısı                                        | Derece( $^{\circ}$ ) |
| $G_{sc}$      | Güneş sabiti                                       | $W/m^2$              |
| $\omega_s$    | Güneş doğuş açısı                                  | Derece( $^{\circ}$ ) |
| $\omega$      | Saat açısı                                         | Derece( $^{\circ}$ ) |
| $I_b$         | Direkt ışıınım                                     | $W/m^2$              |
| $I_d$         | Yayıllı ışıınım                                    | $W/m^2$              |
| $I_t$         | Toplam ışıınım                                     | $W/m^2$              |
| $I_{bn}$      | Normal doğrultudaki direkt ışıınım                 | $W/m^2$              |
| $I_o$         | Atmosfer dışı yatay düzleme gelen ışıınım          | $J/m^2$              |
| C             | Yayıllı gökyüzü faktörü                            |                      |

|             |                                                  |                                 |
|-------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| $F_{ss}$    | Görüş faktörü                                    |                                 |
| $m$         | Hava kütlesi                                     |                                 |
| $R_b$       | Geometrik faktör                                 |                                 |
| $\rho_s$    | Zemin yansıtma katsayısı                         |                                 |
| $Nu$        | Nusselt sayısı                                   |                                 |
| $Re$        | Reynolds sayısı                                  |                                 |
| $Pr$        | Prandlt sayısı                                   |                                 |
| $k$         | Isı iletim katsayısı                             | W/mK                            |
| $h$         | Isı taşınım katsayısı                            | W/m <sup>2</sup> K              |
| $Ra$        | Rayleigh sayısı                                  |                                 |
| $Gr$        | Grashof sayısı                                   |                                 |
| $\sigma$    | Stefan-Boltzmann sabiti                          | W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> |
| $U_L$       | Toplam ısı transfer katsayısı                    | W/m                             |
| $F'$        | Kollektör verim faktörü                          |                                 |
| $F''$       | Kollektör akış faktörü                           |                                 |
| $F_R$       | Kollektör geri kazanım faktörü                   |                                 |
| $T_{g.y.}$  | Gökyüzü sıcaklığı                                | K(Kelvin)                       |
| $h_{t-ca}$  | Cam örtü-atmosfer arası ısı taşınım katsayısı    | W/m <sup>2</sup> K              |
| $h_{i-ca}$  | Cam örtü-atmosfer arası ısı ışıınım katsayısı    | W/m <sup>2</sup> K              |
| $h_{t-bc}$  | Yutucu boru cam örtü arası ısı taşınım katsayısı | W/m <sup>2</sup> K              |
| $h_{i-bc}$  | Yutucu boru cam örtü arası ısı ışıınım katsayısı | W/m <sup>2</sup> K              |
| $k_e$       | Havanın efektif ısı iletim katsayısı             | W/mK                            |
| $Q_{kayıp}$ | Kayıp ısı                                        | W                               |
| $R_T$       | Eşdeğer ısı direnç                               | K/Wm                            |
| $\eta_k$    | Kollektör verimi                                 |                                 |
| $\eta_o$    | Optik verim                                      |                                 |

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Tezin Tanımı ve Amacı

İnsan hayatının devamı için en önemli etken enerjidir. Enerji endüstriyel olarak gelişmenin, ülkelerin refah düzeyinin ve gelişmişliğin en önemli göstergesidir. Enerji kaynaklarını iyi değerlendiren ülkelerin yaşam standartları artmaktadır ve bu ülkeler hızla gelişmektedir. Enerji kaynaklarını iyi değerlendirmek, verimli ve çevreyi koruyan sistemlerle mümkündür. Birincil enerji kaynağı olan “Güneş” dünyanın temel enerji kaynağıdır. Güneş dünyayı aydınlatmayı, ısıtmayı, canlıların yaşamasını ve ikincil enerji kaynaklarının ortaya çıkmasını sağlar.

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Fosil kaynakların dezavantajlarından bazıları çevreyi kirletmesi, enerji üreten tesislerin işletilmesinin pahalı olması ve kaynakların sınırlı olmasıdır. Bugüne kadar, enerji üretimi için fosil kaynakların bilinçsizce kullanılması dünyayı büyük bir tehlikeye atmıştır ve devam eden fosil kaynak kullanımı bu tehlikeyi gün geçtikçe arttırmaktadır. Fosil kaynakların yerini temiz enerji kaynaklarına bırakma zamanı çoktan gelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları başlıca güneş, hidro, rüzgar, jeotermal, nükleer gibi kaynaklardır. Bunların içinde en basit teknolojiye, uygulanabilirlik açısından en kolay yöntemlere ve en bol kaynağa güneş enerjisi sahiptir. Diğer temiz enerjilerden yararlanan teknoloji ve tesislerin kurulumunun pahalı olması, uzun sürede yapılması ve uygulanabilirliği sıkıntı yaratmaktadır. Bunlar, güneş enerjisini diğer enerji kaynaklarına göre ön plana çıkaran özelliklerden bazılarıdır. Ayrıca gün geçtikçe güneş enerjisi Ar-Ge çalışmalarına artan ilgi üretimde artmaya ve işletim maliyetlerinde azalmaya neden olmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında amaç yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanmaktır. Tezin hedefi, güneş enerjisi orta sıcaklık uygulamalarında kullanılan, teknolojisi hızla gelişen ve yoğunlaştırıcı kollektör

tiplerinden biri olan “birleşik parabolik yoğunlaştırıcı güneş kolektörlerini” incelemek, tasarımını yapmak, kolektör üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerini araştırmak ve temin etmek, deney düzeneği kurmak, kolektör performansı incelemek ve bilgisayar ortamında simülasyonunu gerçekleştirmektir. Son olarak çıkan deney, teorik ve simülasyon sonuçları karşılaştırılarak sistemin doğruluğu hakkında bilgiler elde etmektir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması yapılırken birleşik parabolik kollektör (B.P.K.) tasarımı, yoğunlaştırıcı kollektör ısı analizi içeren kaynaklar ve güneş enerjisi ile ilgili simülasyon çalışmaları bulunup incelenmiştir. B.P.K.'ler dünya genelinde gelişen bir teknolojidir ve belirli sayıda kaynak vardır. Literatür araştırmasında bu sistemlerin Güneş Kuşağı'nda yer alan ülkelerde (İspanya, Portekiz, Mısır vb.) uygulandığı görülmüştür. Bu da, bu tür sistemlerin yeterli güneş ışınımına sahip yerlerde kurulmasının daha uygun olduğunu gösterir. Ülkemiz de, bu sistemlerin kullanımı için uygundur ancak yapılan araştırmada B.P.K. ile ilgili bilimsel çalışmaların az sayıda olduğu gözlemlenmiştir.

Garcia-Rodriguez, 2002'de İspanya'nın iklim koşullarını değerlendirerek global bir analiz yapmıştır. Bu analizde su damıtma süreci için, değişik tipte, farklı sıcaklık aralıklarında çalışabilecek güneş kollektörleri incelenmiş ve karşılaştırmıştır. Çalışmada kollektör yerleştirmesi için yer tespiti yapılmıştır ki bu alanda güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesi düşünülmektedir. Bu karşılaştırmalar sonucunda, parabolik güneş kollektörlerinin deniz suyunun damıtılması işleminde umut verici sonuçlara sahip olduğu gözlemlenmiştir [1].

Diğer bir çalışmada da Lourdes Garcia-Rodriguez, Ana I. Palmero-Marreroa ve Carlos Gomez-Camachob İspanya'nın iklim koşullarına göre değişik tipteki güneş kollektörleri ile su damıtma deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucu elde edilen verilere göre parabolik tipteki yoğunlaştırıcı kollektörlerin su damıtma işleminde umut verici sonuçlar sağladığı görüşüne ulaşmışlardır [2].

A.Y. El-Assay ve J.A. Klark tarafından gerçekleştirilen çalışmada su ısıtma, kaynatma ve kızgın buhar eldesi için tasarlanan B.P.K. için optik ve ısı analizler yapılmıştır. Kollektör performansı tek faz ve çoklu faz akışları altında incelenmiştir. Isıl analizde toplam ısı transfer katsayısı, kollektör verim faktörü, ısı kazanç faktörü gibi değerler incelenmiştir. Analiz sonucunda, B.P.K.'lerin performans-maliyet açısından, ısı uygulamalar için elverişli ve düz kollektörlere göre uygulanabilirliğinin fazla olduğu belirtilmiştir [3].

B.P.K.'nin performans analizi ve geliştirilmesi çalışmalarından biri de R.Oommen ve S.Jayaraman tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, endüstride artan enerji ihtiyacı için B.P.K. ile buhar üretim sistemi üzerine yapılmıştır. Tasarlanan kollektörde meydana gelen kayıplar azaltılmaya çalışılmıştır. İş akışkanı için su kullanılmıştır. Kollektör giriş sıcaklıkları için verim testleri yapılmıştır. Düşük giriş sıcaklıklarında verimin %50'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda sıcak su üretimi ve buhar üretimi için B.P.K. kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir [4].

B.P.K. geliştirilmesi ve ısı analizi üzerinde çalışan diğer bir grup ise, Yong Kim, Guiyoung Han ve Taebeom Seo'dan oluşmaktadır. Çalışmanın amacı vakumlanmış silindirik yutuculu B.P.K.'lerin ısı performansını incelemek ve geliştirmektir. Bu tarz güneş kollektörleri vakumlanmış cam örtü veya güneş izleme sistemi ile kombine edilir. Sabit olan ve tek eksenli takip yapan kollektörlerin çıkış sıcaklıkları, ısı verimleri ve yutucu yüzey üzerindeki net ısı akısı değerleri karşılaştırılmıştır. Güneş yerleştirme açısının ve ışınlam değerlerinin sistem üzerindeki etkileri de çalışmada incelenmiştir. Sonuç olarak tek eksenli takip yapan birleşik parabolik kollektörlerin, sabit olanlara göre ısı veriminin maksimum %15 daha iyi olduğu belirtilmiştir [5].

Joshua M. Pearce ve David Denkenberger, B.P.K. için sayısal simülasyon çalışması yapmışlardır. Bilgisayar programı olarak Matlab kullanılmıştır. Matlab kullanıcıya materyal özellikleri girmesini ve güneş enerjisi veri girdileri, hesaplama imkanı ve dizayn yapabilme imkanı sağlar. Bu çalışmada da haftalık eğim açılarına, yansıtıcı büyüklüklerine göre yapılan simülasyonlarda elde edilen sonuçlara bakarak su damıtması için bu tip kollektörlerin avantajlı olduğu belirtilmiştir [6].

M. Adsen, A. Helgesson ve B. Karlsson tarafından yapılan çalışma B.P.K. tasarımı üzerinedir. Asimetrik, kısaltılmış, güneş takibi olmayan kollektör dizaynı ve geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Altı değişik prototip kollektör test edilmiştir. Kollektör yerleşimi doğu ve batı olarak iki şekilde yapılmış ve elde edilen enerji çıktısı kuzey yarım küre için karşılaştırılmıştır. Üretilen

kollektörün fiyatı metrekare başına 155 Euro'dur. Bu fiyat büyük alanlar için 110 Euro'ya kadar düşmektedir. Aynı alan için düz kollektör fiyatı 180 Euro'dur. Çıkan sonuçlara göre B.P.K.'lerin daha verimli, kullanışlı, ihtiyaçlara cevap veren ve ucuz sistemler olduğu belirtilmiştir [7].

İspanya'da Manuel I. Gonzalez ve Luis R. Rodriguez güneş enerjili adsorbsiyonlu soğutma uygulaması için B.P.K. tasarımı yapmışlardır. Tasarımda değişik kollektör yarım kabul açıları için matematiksel model çalışmaları ve ısı değerler için hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu tip kollektörlerin güneş enerjisi soğutma sistemleri için uygun olduğu belirtilmiştir [8].

David Denkenberger ve Joshua M. Pearce'nin bir diğer çalışması da B.P.K.'lerle içme suyu eldesidir. 65°C derecede zararlı mikropların etkisi ortadan kalkmaktadır. Bu çalışmada B.P.K. ile suyu pastörize etmek amaçlanmış ve bunun için kollektör simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonda ısı kayıplarının neredeyse sabit olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek yoğunlaştırmanın, yüksek verimi de sağladığı belirtilmiş, iklime bağlı olarak kollektör çıkışının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın haftalık güneş takibiyle de mümkün olduğu belirtişmiş ancak maliyeti arttıracak da vurgulanmıştır. Bu çalışmanın amacı yansıtıcı tasarımını optimize etmektir. Yapılan çalışmada yoğunlaştırma oranının 6'ya kadar yükseldiği belirtilmiştir. Sabah ve öğlenden sonra yoğunlaştırma oranları düştüğü gözlenmiştir. Yansıtıcı ve yutucu yüzeyler arasında bırakılan ufak boşluğun artırılması cam örtü kayıplarını arttırdığı ancak yansıtıcı kayıplarını azalttığı gözlemlenmiştir. Bu gerçek bir optimizasyon problemidir [9].

Pakistan'da Asad Khan Durrani ve Ammar Tariq tarafından yapılan çalışmanın hedefi B.P.K.'leri, düşük sıcaklık uygulamalarında maliyet açısından incelemektir. Çalışmada kollektörler teorik olarak incelenmiş ve tasarımı yapılmıştır. Tasarımda Pakistan'ın iklim koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Sistem, optik ve ısı analiz olarak iki şekilde incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre yüksek giriş sıcaklıklarında sistemin veriminde

düşme olmuştur. Son olarak da yoğunlaştırıcı kollektörlerin düz kollektörlere göre fiyat açısından daha elverişli olduğu belirtilmiştir [10].

1980’de A.Ralb, J.O’Gallegher ve R. Winston tarafından yapılan çalışmada, B.P.K.’nin dizayn ve testleri üzerinde durulmuştur. Çalışmada, kollektörün matematiksel modeli, ısı ve optik analizi yapılmıştır. Kayıpları azaltmak için ısı ve optik analizde yapılması gerekenlerden bahsedilmiştir. Optik verimi arttırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Isıl verim değişik hava koşullarına göre incelenmiştir. Elde edilen verilere göre düşük yoğunlaştırma oranlı B.P.K.’lerin bile düz kollektörlere göre daha verimli olduğu ve maliyet açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir [11].

1984’de İsrail’de, H.P. Baum ve J.M. Gordon tarafından yapılan çalışmada, silindirik yutucuya sahip B.P.K.’lerin matematiksel karakteristiği incelenmiştir. Matematiksel karakteristiği belirleyen en önemli etkenin “yarım kabul açısı” olduğu belirtilmiş ve tasarımın bu açığa göre yapıldığı vurgulanmıştır. Çalışmada tasarım için gerekli hesaplamalar verilmiş ve analitik olarak incelenmiştir [12].

Ari RABL tarafından 1976’da yapılan çalışmada B.P.K.’lerin optik ve ısı özellikleri araştırma konusu olmuştur. Bu tip kollektörlerde ışınlım ve taşınım ısı transferinin sistemin performansında önem taşıdığı belirtilmiştir. Ortalama yansıtma sayısının bulunması için analitik formüllerden yararlanılmış ve bu değerin arttırılması için uğraşılmıştır. Bunun nedeni optik kaybı azaltmaktır. Bu çalışma sayısal analizler, grafikler ve tablolar içerir. Bunlar da kollektör dizaynında tasarımcıya kolaylık sağlamaktadır [13].

Ülkemizde yoğunlaştırıcı güneş kollektör tasarımı yapılan çalışmalardan biri Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yiğit Kartal tarafından yürütülmüştür. Çalışmada değişik tipte yoğunlaştırıcı kollektörler incelenmiş, genel bakış açısıyla ısı ve optik analizler yapılmıştır. Kullanılan malzemelerin piyasada bulunan türleri ve özellikleri incelenmiştir. Çalışmada ayrıca güneşin özellikleri, yapısı ve güneş açılarına da değinilmiştir. Analizleri yapılan

kollektör türlerinin karşılaştırılması da yapılan çalışmalar arasındadır. Son olarak bu çalışmada yoğunlaştırıcı kollektör ekserji analizinin basit düzeyde incelendiği görülmektedir [14].

1984 yılında ODTÜ’de Mehrdad Goshtasbpour, B.P.K.’lerle ilgili yaptığı çalışmada piyasadan kolay elde edilebilecek malzemelerle kollektör tasarlayıp imal etmiştir. Tasarım esnasında sistemin optik ve ısı analizleri incelenmiştir. Kollektörde dolaşan iş akışkanına ait giriş-çıkış sıcaklıklarını içeren deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu deneyler sonucunda yüksek giriş sıcaklıkları için kollektör ısı veriminin düşük, düşük giriş sıcaklıkları için ise kollektör ısı veriminin daha fazla olduğu saptanmıştır [15].

Ramazan Yılmaz’ın “Parabolik Yansıtıcı Kollektörlerin İmal ve Testi” adlı çalışmasında üç tip yoğunlaştırıcı kollektör tasarımı ve bu kollektörlerle su ısıtma deneyleri yapılmıştır. Yapılan testler su çekilmeden depolu ve doğal sirkülasyonlu açık deposuz sistemler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sonuçta B.P.K.’lerde ışın odaklama sorunu az olduğundan suyu daha çabuk ısıttığı ve her iki sistemde de daha iyi performans sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca parabolik kollektörde yutucu boru yerleştirmesinin önemi vurgulanmış ve hassas tasarım yapılması gerektiği belirtilmiştir [16].

Noor M. Khatri, 1991 yılında yaptığı çalışmada güneş enerjisi toplama sistemlerinden yararlanarak B.P.K.’ler incelenmiş, özellikle kollektörün optik özellikleri asıl araştırma konusu olup, kollektörü oluşturan yüzeyler üzerinde durulmuştur. Araştırmalar ve elde edinilen bilgiler sonucunda birleşik parabolik kollektör tasarımı gerçekleştirilmiş ve su ısıtma deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak bu tür sistemlerin güneş enerjisi su ısıtma uygulamaları için daha uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir [17].

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, çapı  $1.39 \times 10^9$  m olan ve sıcak gazlardan oluşan hidrojenin helyuma çevrildiği bir füzyon reaktörüdür. Güneş ışınları 8 dakika 20 saniye sonra dünyaya çarpar, bu da  $1.5 \times 10^{11}$  m uzaklık demektir. Güneş merkezindeki sıcaklık değeri  $8 \times 10^6$  K ve  $40 \times 10^6$  K arasında değişmektedir [14]. Güneşin yaydığı toplam enerji  $3.8 \times 10^{20}$  MW' tır. Bu enerjinin sadece  $1.7 \times 10^{14}$  kW değerindeki kısmı dünyaya ulaşır ve bunun da 30 dakikalık kısmı, bir yıllık enerji gereksinimine denktir [14]. Güneşten, dünyaya gelen ışıma enerjisinin atmosferde yansıma ve saçılmalarla uzaya geri dönmesiyle %30'u, yine atmosferde ışınların soğurulmasıyla %20'si yeryüzüne ulaşmaz ve kalan %50'ye yakın kısmı da yeryüzüne ulaşır [16].

Geniş kapsamda bakıldığında her tür enerjinin çıktığı nokta güneştir. Petrol, kömür ve doğalgaz oluşumu fotosentez ile olur. Bu oluşuma uzun süren, karmaşık, yüksek sıcaklık ve basınç reaksiyonları da etki eder. Rüzgar ve dalga oluşumu da dünyanın farklı bölgelerindeki sıcaklık farkından ortaya çıkar ve bu sıcaklık farkını sağlayan yine güneştir [14]. Güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına ve fosil yakıtlara göre avantajlarından bazıları şunlardır [2,14,16];

- Bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağıdır.
- Temiz enerjidir. Çevreyi kirletici duman, gaz, CO gibi artıkları yoktur.
- Yerel ve dağıtık uygulamalar için elverişlidir. Enerji ihtiyacı duyulan hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür.
- Dışa bağımlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımlardan da bağımsızdır.
- Birçok uygulama için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır. Tesislerin kurulumları daha kolaydır.
- Güneş enerjisi tesislerinin işletme masrafları çok azdır.

Güneş enerjisinin yukarıda belirtilen üstünlüklere rağmen günümüzde uygulama azlığının sebeplerinden bazıları şunlardır [14,16];

- Birim alana gelen ışınım az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç duyulması.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından yüksek maliyetli depolama gerektirmesi.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışınımının az olması.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevresinin açık olması, gölgelenmesi gerekliliği.
- Güneş ışınımından yararlanılan birçok tesisin ilk yatırım maliyetlerinin diğer enerji kaynaklarına göre fazla olmasıdır.

Türkiye, konumu itibarıyla güneş kuşağı üzerindedir. Bu bölge güneş enerjisinin hem ısı hem de direkt elektrik üretim uygulamaları için uygundur. Doğu Karadeniz bölgesi hariç yeterli potansiyel olmasına rağmen teknolojik yetersizlikler nedeniyle güneş enerjisinden yeterince faydalanılamamaktadır. Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat olup, yıllık ortalama güneş enerjisi ışınım değeri ise  $1311 \text{ kWh/m}^2$  değerindedir.

1960’larda güneş enerjisi, Türkiye’de alternatif enerji olarak görülmüş ve araştırmacılar tarafından çalışmalara başlanmıştır. 1970’lerde, güneş enerjisi üniversitelerin, devletin ve sanayinin dikkatini çekmiştir. 1975’den beri, güneş enerjisi su ısıtma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de ilk pasif güneş enerjisi sistemi ODTÜ’de uygulanmıştır. Güneş enerjisinin mahalli ve sanayi tüketimi 1986-1988 yılları arasında başlamıştır. 1980’lerde güneş enerjisi ve enerji tasarruf araştırmasını Marmara Bilim ve Araştırma Enstitüsü’nün Mekanik ve Enerji Mühendisliği bölümü yürütmüştür. Bu enstitü güneş enerjisi düşük ısı uygulamaları ve Türkiye’nin 1977-1985 yılları arası sanayideki güneş enerjisi potansiyeli sürecinin değerlendirilme çalışmasını başlatmıştır. 1986’da Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü ile TÜBİTAK kurulmuştur. TÜBİTAK fotovoltaik uygulamalar için sistem oluşturma ve üretiminde etkili rol oynamıştır [14].

#### 4. YOĞUNLAŞTIRICI GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ

Güneş enerjisi uygulamalarında düz güneş kolektörleri birçok uygulamada akışkanı yeterli sıcaklığa ulaştıramaz. Yüksek sıcaklık ve yüksek enerji ihtiyacı için yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri kullanılır. Bu tür kolektörlerin verimleri düz kolektörlere göre daha fazladır çünkü yutucu yüzeyde birim alana düşen ışıınım miktarı düz kolektöre göre daha çoktur.

Güneş enerjisi ısı uygulamaları çalışma sıcaklıklarına göre üçe ayrılır [14,15];

- Düşük sıcaklık uygulamaları (20-110°C)
- Orta sıcaklık uygulamaları (110-400°C)
- Yüksek sıcaklık uygulamaları (>400°C)

Orta sıcaklık uygulamaları proses buharı, sıcak su üretimi, güneş enerjisi ile soğutma gibi uygulamalardır. Yüksek sıcaklık uygulamaları da kızgın buhar sağlayan sistemlerdir. Her iki uygulama için yoğunlaştırıcı kolektörlere ihtiyaç vardır. Kolektörler değişik yutucu ve yansıtıcı türlerinde olabilir. Orta sıcaklık uygulamalarında genel de çizgisel odaklı, yüksek sıcaklık uygulamalarında da noktasal odaklı kolektörler kullanılmaktadır;

- Parabolik oluk tipi kolektörler (110-400°C) - Çizgisel odaklı
- Çanak (dish) tipi kolektörler (400-1000°C) - Noktasal odaklı
- Heliostatlar (500-1400°C) - Noktasal odaklı

Çizelge 4.1 Güneş kollektör türleri ve özellikleri [14,17]

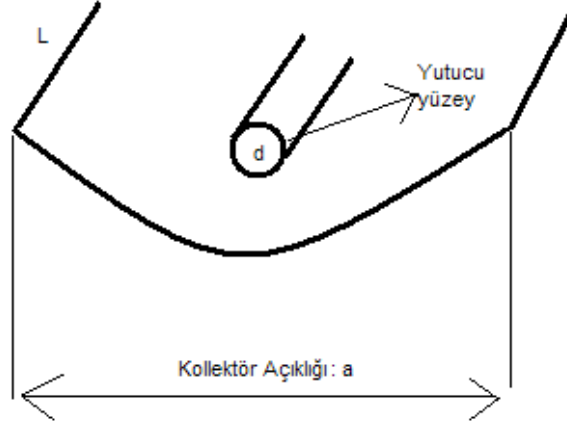
| Kollektör Türü      | Işın Yoğunlaştırmasız | Işın Yoğunlaştırıcı             |                  |
|---------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------|
|                     |                       | Çizgisel Odaklı                 | Noktasal Odaklı  |
| İsimlendirme        | Düz Kollektör         | Parabolik Oluk Tipi             | Heliostat, Çanak |
| Uygulama Alanı      | Sıcak Su Kullanımı    | Proses Buharı, Isıl Güç Çevrimi | Güneş Fırınları  |
| Sıcaklık Aralığı    | 90-110 °C             | 110-400 °C                      | 400-1400 °C      |
| Yoğunlaştırma Oranı | 1                     | >1                              | >100             |
| Ortalama Isıl Verim | %35                   | %55                             | %70              |
| Güneş Takibi        | Yok                   | Tek Eksenli                     | Çift-Tek Eksenli |
| Işın Gelme Açısı    | <<1                   | 0.95                            | 1                |
| Yatırım Maliyeti    | Düşük                 | Orta                            | Yüksek           |



Şekil 4.1 Yoğunlaştırıcı güneş kollektör türleri

Güneş ışınlarının, kollektöre girdiği alana “açıklık alanı” ve ısıya dönüştürüldüğü yüzeye “yutucu (alıcı) yüzey” denir. Düz kollektörde açıklık alanı ile yutucu yüzey birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kollektörlerde ise ışınlar yutucu yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaşır, böylece açıklık alanından daha küçük bir yutucu yüzey yeterli olmaktadır. Bu alanlar

arasındaki ilişki “yoğunlaştırma oranı” veya “alan yoğunlaştırma oranı” ile açıklanmaktadır. Bu oran Denklem 4.1 ile bulunur;

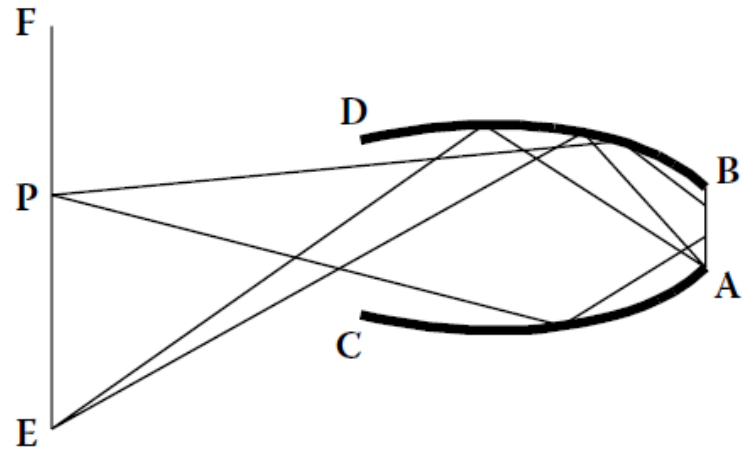


Şekil 4.2 Silindir yutuculu yoğunlaştırıcı kollektör yüzeyleri

$$Y.O. = \frac{A_{a\zeta}}{A_{al}} = \frac{Lxa}{\pi x d x L} \quad (4.1)$$

Yoğunlaştırıcı kollektörler kendi içinde görüntülü ve görüntüsüz yoğunlaştırıcılar olarak ayrılır. Görüntülü yoğunlaştırıcılar, güneş ışınlarını yutucu yüzey üzerine tek seferde yansıtan sistemlerdir. Buna göre bir optik sistemle elde edilen güneş görüntüsü teorik olarak sonlu büyüklükte olur. Bu ancak çok hassas olarak yapılmış optik sistemlerle mümkündür. Görüntüsüz yoğunlaştırıcılar da gelen güneş ışınlarını bir veya birden fazla yansıtarak yutucu yüzeye ulaştıran kollektörlerdir. Bu tip kollektörlerin en yaygın olanı “Birleşik Parabolik Kollektörler”dir.

Şekil 4.3’de EF kaynağı üzerinden herhangi bir P noktasından çıkan ışın demeti aynı noktada odaklanmaz, AB alıcısı üzerinde farklı yerlere odaklanır. Bu yüzden bu tip kollektörlere “Görüntüsüz Kollektör” denir.



Şekil 4.3 Görüntüsüz kollektörlerde ışınların farklı yerlere odaklanması [17]

## 5. YOĞUNLAŞTIRICI KOLLEKTÖRLERİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ

Yoğunlaştırıcı kolektörlerde yansıtıcı ve yutucu yüzeylerin malzeme seçimi optik verim yönünden çok önemlidir.

Yoğunlaştırıcı kolektörde ışınların yoğunlaştırıldığı yansıtıcı yüzeyler için farklı ürünler seçilebilir. Bu yüzey için kullanılan bazı malzemelerin özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Tasarlanan sistemde yansıtıcı yüzey olarak çizelgede yer alan “Alanod” marka parlatılmış alüminyum levhalar kullanılmıştır. Bu malzemenin kullanılmasının nedeni yüksek yansıtma oranına sahip olmasına karşın maliyet açısından diğer malzemelere göre daha uygun olmasıdır.

Çizelge 5.1 Yansıtıcı yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri [15]

| Yansıtıcı Yüzey Malzemesi                      | Yansıtma Oranı |
|------------------------------------------------|----------------|
| Gümüş                                          | 0,94 ± 0,02    |
| Altın                                          | 0,76 ± 0,03    |
| Alüminyum kaplı akrilik                        | 0,86           |
| Alüminyum                                      | 0,82 ± 0,05    |
| Bakır                                          | 0,75           |
| Arkası gümüş kaplı su beyazı ayna              | 0,88           |
| Özel cilalanmış ince alüminyum tabaka (Alanod) | 0,88           |

Yoğunlaştırıcı kolektörlerin bir diğer kısmı da ışınların ısı enerjisine dönüştürüldüğü yutucu yüzeydir. Yutucu yüzey boru tasarımında amaç bir yandan boru çapını olabildiğince büyük seçerek, ışın odaklama verimi olan kesişim faktörünü arttırmak, diğer yandan da boru çapının azaltılmasıyla boru içi akışın türbülanslı hale gelmesini sağlamak ve boru-çevre arası ısı kayıplarını azaltmaktır. İş akışkanının türbülanslı hale gelmesi, zorlanmış ısı transferinin artmasına, buna bağlı olarak da aktarılan faydalı ısının artmasına sebep olur. Türbülans iki şekilde sağlanabilir. Birincisi boru çapının küçültülmesiyle akış hızının artırılması, ikincisi de çapın daraltılamayacağı, odaklama problemlerinin yaşandığı yerlerde türbülans lüleleri kullanılmasıdır.

Yutucu boru çapının, optik verim yönünden arttırılması, ısı verim yönünden ise olabildiğince düşürülmesi gerektiğinden, yutucu boru çapının belirlenmesi bu tür kolektörler için önemlidir. İş akışkanına aktarılan ısı iletiminin arttırılması için yutucu boru et kalınlığı mümkün olduğunca ince olmalıdır. Ayrıca kullanılan malzemenin ısı iletim katsayısının da yüksek olması gerekmektedir.

Optik yönde verimin arttırılması için yutucu yüzeyin, güneşten gelen kısa dalga boylu ışınları yutma oranı büyük, borudan yayılan uzun dalga boylu ışınım yayma oranı ise olabildiğince küçük olmalıdır. Bunun amacı da gelen ışınım enerjisini hapsederek yüzey sıcaklığını ve ısı verimi yükseltmesidir.

Yutucu yüzey olarak kullanılan metaller genelde bakır, alüminyum veya paslanmaz çeliktir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına karşın pahalıdır. Ancak diğr parçalarla birleştirilmesi kolaydır. Alüminyumun da başka bir metal ile kaynak ve lehim iok zordur. Bu tez çalışmasında yutucu yüzey olarak siyah mat boya ile boyanmış bakır boru kullanılmıştır. Bu malzemenin kullanılmasının nedeni bakırın ısı iletim katsayısının yüksek olması, diğr malzemelere göre montajının kolay olması ve çevresel koşullara daha dayanıklı olmasıdır.

Siyah yüzeylerin güneş ışınlarını yutma oranı yüksek olduğı gibi yayma oranları da yüksektir. Çizelge 5.2’de yutucu yüzey olarak kullanılan bazı malzemelerin, direkt güneş ışınlarını (kısa dalga boyu) yutma ve yayılan (uzun dalga boyu) ışınları yayma oranları verilmiştir. Aynı izelgede yutma-yayma oranları da verilmiştir. Bu oranın yüksek olduğı yüzeyler tercih edilmelidir.

Çizelge 5.2 Yutucu yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri [15]

| Yüzeyler            | Işıma Özellikleri |               |                        |
|---------------------|-------------------|---------------|------------------------|
|                     | $\alpha$          | $\varepsilon$ | $\alpha / \varepsilon$ |
| Beyaz boya          | 0,20              | 0,91          | 0,22                   |
| Su                  | 0,94              | 0,95–0,96     | 0,98                   |
| Siyah boya (cılalı) | 0,90              | 0,90          | 1,00                   |
| Siyah boya ( mat)   | 0,94–0,98         | 0,88          | 1,07–1,11              |
| Galvanizli çelik    | 0,65              | 0,13          | 5,00                   |
| Alüminyum           | 0,15              | 0,05          | 3,00                   |
| Krom                | 0,49              | 0,08          | 6,13                   |
| Parlatılmış çinko   | 0,46              | 0,02          | 23,00                  |

Yutucu yüzeyde optik verimi arttırmak için seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Kısa dalga boylu ışınları emen, uzun dalga boylu ışınları olabildiğince az yayan yüzeyler “ışın seçici yüzey” olarak adlandırılır. Yutucu yüzeyler, ışın yutma oranı büyük madde ile ince bir film halinde kaplanır. Kaplamalar kimyasal banyo, püskürtme veya elektroliz yöntemleri ile gerçekleştirilir. Çizelge 5.3’de bazı seçici yüzeyli yutucu boru özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3 Seçici yüzey için kullanılan bazı malzemeler ve özellikleri [15]

| Seçici Yüzey Kaplaması | Emici Boru Malzemesi  | Işıma Özellikleri |               |                        |
|------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|------------------------|
|                        |                       | $\alpha$          | $\varepsilon$ | $\alpha / \varepsilon$ |
| Nikel                  | Galvanizli çelik      | 0,93              | 0,08          | 13,60                  |
| Kobalt                 | Galvanizli çelik      | 0,91              | 0,12          | 7,60                   |
| Krom                   | Çelik                 | 0,95              | 0,16          | 5,90                   |
| Demir oksit            | Çelik                 | 0,83              | 0,06          | 13,80                  |
| Kobalt                 | Alüminyum             | 0,92              | 0,13          | 7,10                   |
| Bakır oksit            | Alüminyum             | 0,93              | 0,11          | 8,50                   |
| Kurşun oksit           | Alüminyum             | 0,89              | 0,20          | 4,50                   |
| Nikel                  | Çinko kaplı alüminyum | 0,94              | 0,10          | 9,40                   |
| Krom                   | Çinko                 | 0,91              | 0,08          | 11,40                  |
| Çinko oksit            | Çinko                 | 0,95              | 0,08          | 11,90                  |
| Krom                   | Bakır                 | 0,92              | 0,08          | 11,50                  |
| Kobalt oksit           | Nikel                 | 0,87              | 0,07          | 12,40                  |

Yoğunlaştırıcı kollektörde önemli bir diğer parça da cam örtüdür. Cam örtü yutucuyu dış etkilere korur ve ısı kayıplarını azaltarak verimi artırır. Cam örtünün optik özelliği güneşten gelen kısa dalga boylu ışınları geçirecek ve yutucudan yansıyan uzun dalga boylu ışınları hapsedecek şekilde olmalıdır. Camların geçirme oranı, bileşimindeki demir oksit miktarı arttıkça azalır. Cam örtü için demir oksit miktarı %0.05'den küçük olan camlar seçilmelidir. Düşük demir oksitli camların güneş ışınımını geçirme oranı 0.89-0.92 arasında iken bu oran yüksek demir oksitli pencere camlarında 0.70'dir [15]. Kullanılan camın dayanıklılığı ve yüksek sıcaklıklarda iletimi iyi olmalıdır. Yutucu yüzeyle cam örtü arası vakumlanabilir. Vakum sayesinde yutucu yüzey malzemesinin özellikleri korunur ve ısı kayıpları en aza iner. Vakumda ısı kayıplarının en aza inmesinin sebebi yutucu boru ve cam örtü arasında hava olmadığından doğal taşınım olarak adlandırılan ısı transferi meydana gelmemesidir. Cam örtü ve yutucu boru arasından hava bulunursa buradaki doğal taşınım ısı transfer mekanizması, havanın efektif ısı iletim katsayısından yola çıkarak da açıklanabilir. Havanın bu efektif ısı iletim katsayısı da iletimle ısı kaybını meydana getirir. Rüzgarlı bölgelerde taşınım ısı transferi ile ısı kaybı fazladır ve cam örtü kullanılmazsa, yutucu yüzeyle çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı büyür ve kayıp artar. Cam örtü ucuz ve temini kolay olmalıdır.

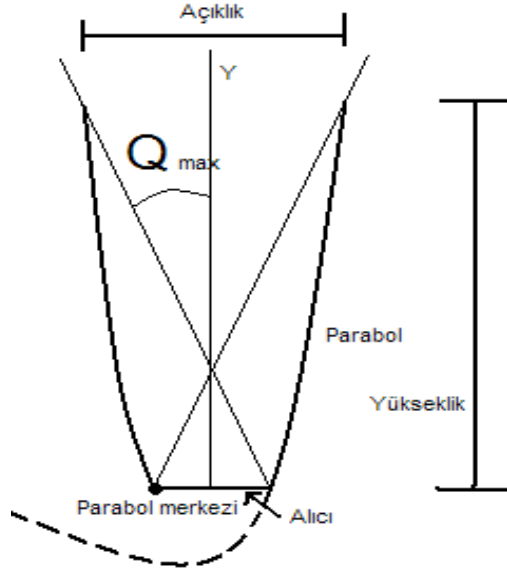
### 5.1 Birleşik Parabolik Kollektörlerin Yansıtıcı Yüzey Tasarımı

Görüntüsüz kollektörlerde güneş takibi az olduğundan veya hiç olmadığından diğer yoğunlaştırıcılara göre maliyetleri düşüktür. Ancak yoğunlaştırma oranları da azdır. Bu tip kollektörlerde ışınımın limitlerini açılar belirler. Bu limit yoğunlaştırıcının “Yarım Kabul Açısı ( $\theta_a = \theta_{max}$ )” olarak ifade edilir ve Şekil 5.1’de gösterilmiştir.  $\theta_a$ , güneş ışınlarının kollektör yansıtıcı yüzeyinin kenarından kollektör eksenine yaptığı en büyük açıdır.  $-\theta_a < x < \theta_a$  arasındaki herhangi bir açıyla kollektör açıklığına gelen ışın yutucu yüzeye odaklanır. Kollektör ekseninin (kartezyen koordinat sisteminde “y” eksen) her iki kısmı

da paralel olarak parabol özelliği gösterir. Tasarımda tek bir parabol ifade edilir. Kollektörün maksimum yoğunlaştırma oranı Denklem 5.1 ile bulunur;

$$Y.O_{max} = \frac{n}{\sin \theta_a} \quad (5.1)$$

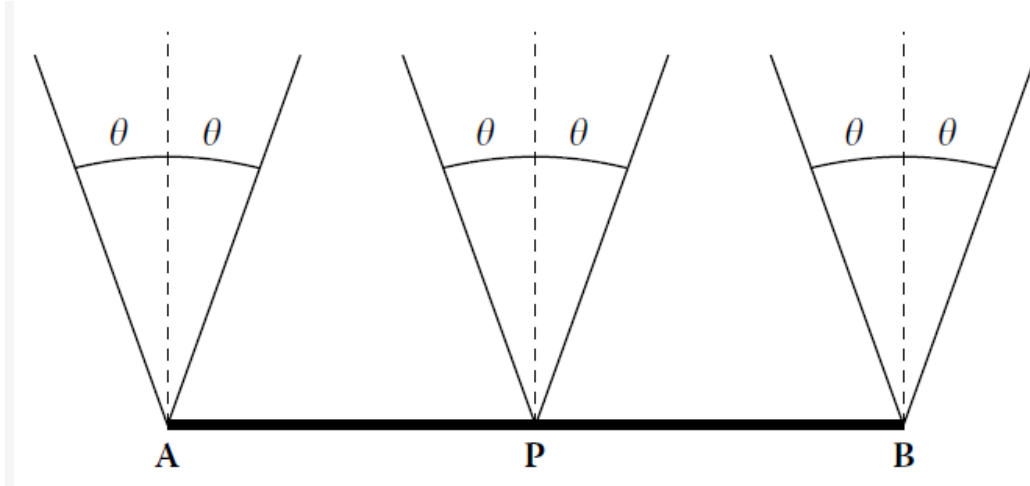
Denklemde “n” kollektörün bulunduğu ortamın ışın kırılma indisi değeridir.



Şekil 5.1 Düz alıcılı birleşik parabolik kollektör

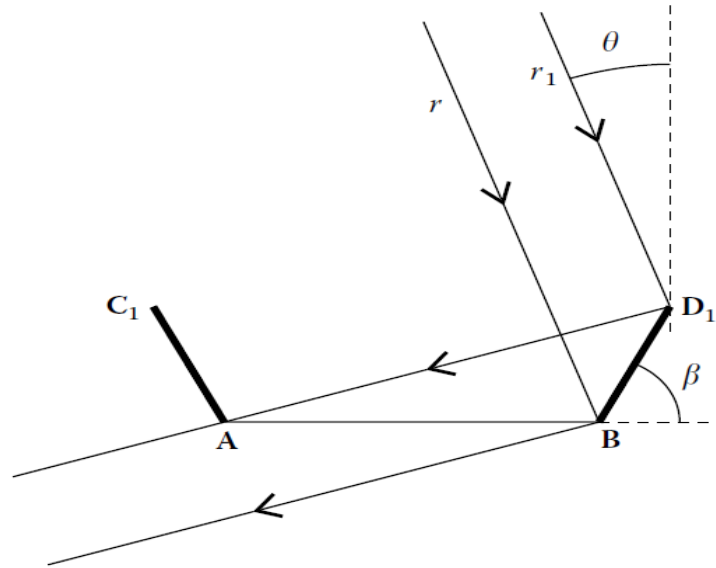
Birleşik parabolik kollektörlerde geliş açısı ne kadar küçük olursa yükseklik o kadar büyük olur ve yoğunlaştırma oranı artar. Ancak derinliğin fazla olması maliyeti arttıracığından büyük sistemler için tercih edilmez. Yansıtıcının yüksekliği kısaltılarak yansıtıcı alanından tasarruf ederken az miktarda performanstan da ödün verilebilir. Kollektör kısaltma işlemi yoğunlaştırma oranını çok etkilemeyecek şekilde yapılmalıdır. Ayrıca kısaltma işlemi ortalama yansıtma sayısını da etkilemektedir.

Birleşik parabolik kollektör tasarımı için gerekli yöntemi inceleyecek olursak; Şekil 5.2’de yatay AB alıcısı ve bu yüzeye kenar ışın açıları  $2\theta$  olan tüm ışınların düştüğü görülmektedir. Bu ışınların sonsuz E kaynağından sonsuz mesafede geldiği kabul edilmektedir.



Şekil 5.2 Düz alıcılı AB yüzeyine  $\theta$  açısıyla gelen ışınların odaklanması

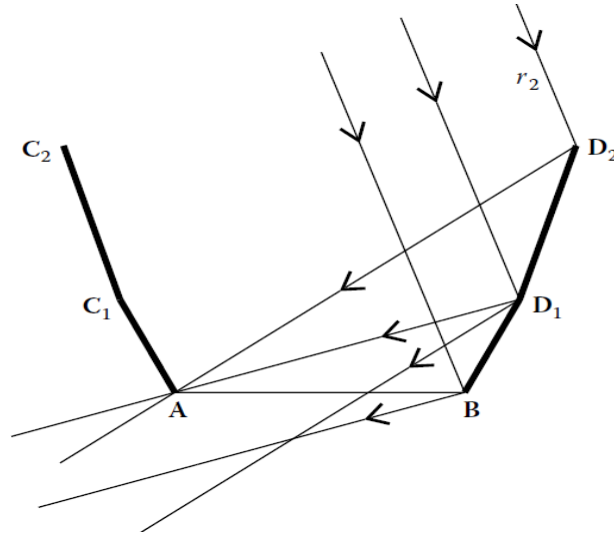
Tasarlanan sistemde hedef, AB yutucu yüzeyinde maksimum ışını toplamaktır. A ve B noktalarından yola çıkarak yansıtıcı profili belirlenir. Yansıtıcı tasarımına düz yansıtıcılar koyarak başlayabiliriz. Yansıtıcılar P orta noktasına göre simetrik olacaktır [18]. Bu durum Şekil 5.3’de gösterilmektedir.



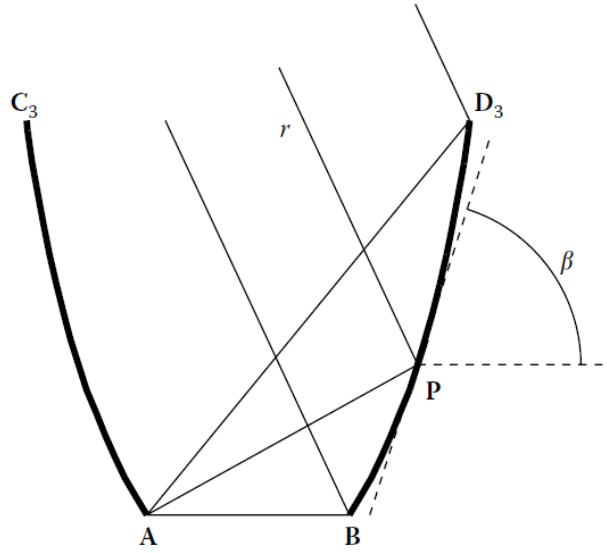
Şekil 5.3 AB yutucu yüzeyine maksimum ışın odaklamak için A ve B noktalarına düz yansıtıcıların konması

Şekil 5.3'de  $C_1D_1$  açıklığından  $\theta$  açısıyla gelen ışınlar maksimum seviyede yoğunlaştırılmalıdır. Bu nedenle, yansıtıcıların yatayla yaptığı  $\beta$  açısı mümkün olduğunca az olmalıdır. Böylece  $C_1D_1$  açıklığı büyür. Fakat  $\beta$  açısının bir limiti vardır. Bu limit  $r_1$  ışınının  $D_1$ 'den yansıyarak A'ya ulaştığı açıdır. Eğer  $\beta$  açısı çok küçülürse  $BD_1$  yüzeyine gelen ışın  $AC_1$  yüzeyine yansır.

Tasarıma Şekil 5.4'de belirtildiği gibi yeni yansıtıcılar ekleyerek devam edilir. Böylece yansıtıcı eğimi en üst düzeye çıkar ve açıklık eni maksimize edilir. Bu yöntem daha küçük yansıtıcılar eklenmesini sağlar. Bu küçük yansıtıcılar birleşerek bir eğri oluşturur. Her küçük yansıtıcı için  $\beta$  açısı minimize edilir. Bu da her nokta için eğimin minimize edilmesi demektir. Bu durum Şekil 5.5'de gösterilmiştir [18].

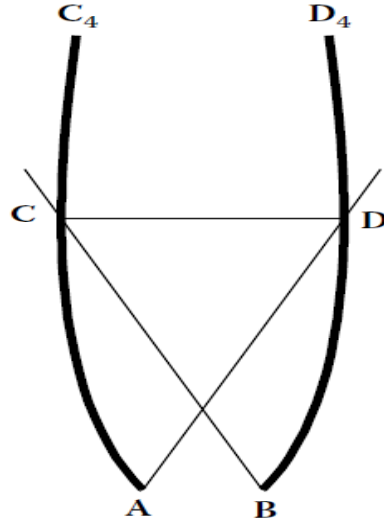


Şekil 5.4  $C_1$  ve  $D_1$  noktalarına Şekil 5.3'deki yöntemle yeni yansıtıcılar ekleyerek, açıklık eninin genişletilmesi



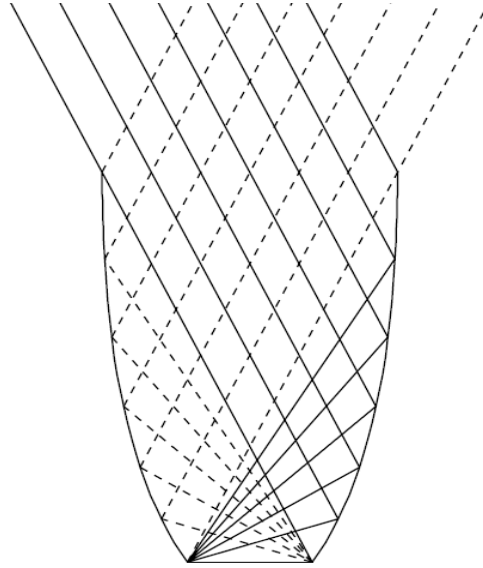
Şekil 5.5 Küçük yansıtıcılar ekleyerek  $\beta$  açısının minimize edilmesi

Şekil 5.5’de  $BD_3$  eğrisi üzerine yarım kabul açısıyla düşen “r” ışını A noktasına ulaşır. Bu eğri demet halinde gelen paralel ışınları aynı noktaya toplar. Bu da bize parabolün karakteristiğini verir. Ayrıca bu eğrinin üzerindeki her P noktasında  $\beta$  için en küçük değer elde edilir ve maksimum  $C_3D_3$  açıklığı sağlanır. Parabollerin yukarıya doğru uzatılması halinde Şekil 5.6’da görüldüğü gibi açıklık eni azalır. Bu durumda yoğunlaştırma oranı artar ancak yansıtıcıların  $DD_4$  ve  $CC_4$  kısımları yansıtıcı üzerinde gölge oluşturmaya başlar. Maksimum açıklık eni için paraboller CD noktalarından kesilmiş olmalıdır. Bu noktalarda maksimum ışın kabulü sağlanır.



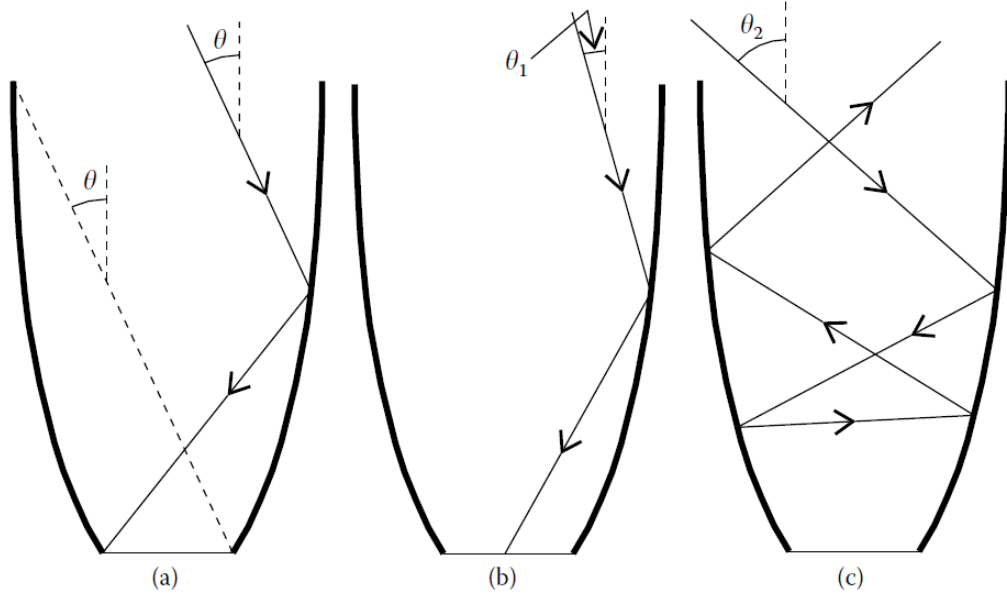
Şekil 5.6 Paraboller uzatıldığında CD noktasına kadar yansıtıcılar arasındaki mesafe artar ancak bu noktalardan sonra mesafe küçülmeye başlar.

Tasarım esnasında kenar ışıklarının da yutucu yüzey kenarlarına düşmesi gerekmektedir. Bu, görüntüsüz yoğunlaştırıcıların temel ilkesidir ve buna “kenar ışın prensibi” denir [18]. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi paralel kenar ışınları alıcı kenarlarında odaklanmaktadır.

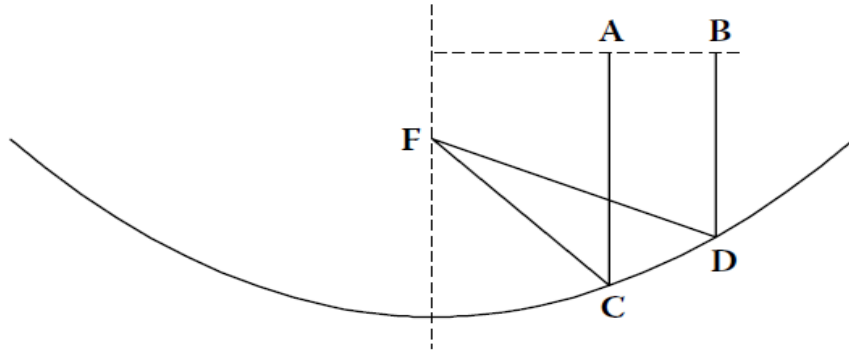


Şekil 5.7 Birleşik parabolik kolektörlerde kenar ışın yörüngeleri

Şekil 5.8 (a)'da  $\theta$  açısıyla gelen ışının izlediği yol görünmektedir ve kenar ışın prensibine göre yansıyan ışın alıcının kenarına düşer. Şekil 5.8 (b)'de geliş açısı  $\theta_1 < \theta$  olduğundan yansıyan ışın alıcı üzerinde herhangi bir yere düşer. Şekil 5.8 (c)'de de  $\theta_2 > \theta$  olduğundan ışın yansıtıcı yüzeyde birkaç yansıma yaptıktan sonra alıcıya ulaşmadan kollektörü terk eder.



Şekil 5.8 B.P.K.'lerde ışınların geliş açılarına göre izlediği yollar

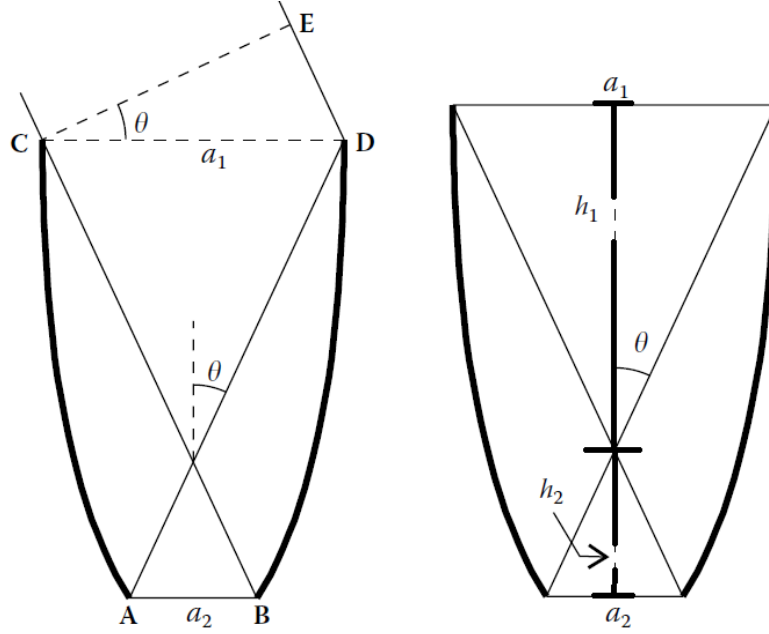


Şekil 5.9 Optik eksene paralel gelen iki ışının izlediği yol.

Şekil 5.9'da optik eksene paralel gelen iki ışının izlediği yol uzunluğu aynıdır. Bu ilkeden yola çıkarak sistem yoğunlaştırması  $[A,C]+[C,F]=[B,D]+[D,F]$  eşitliği ile açıklanır. Burada F, AC ve BD'nin odağıdır. Şekil 5.10'da kollektörün giriş

açıklığı  $a_1$ , çıkış açıklığı  $a_2$  ve yarım kabul açısı  $\theta$ 'dir. BD parabolünün odağı A'dır ve BC doğrultusu da parabolün eksenine paraleldir. Daha önceki bilgilerle Denklem 5.2 yazılabilir;

$$[C, B] + a_2 = [E, D] + [D, A] \Leftrightarrow a_2 = a_1 \sin \theta, [C, B] = [D, A] \quad (5.2)$$

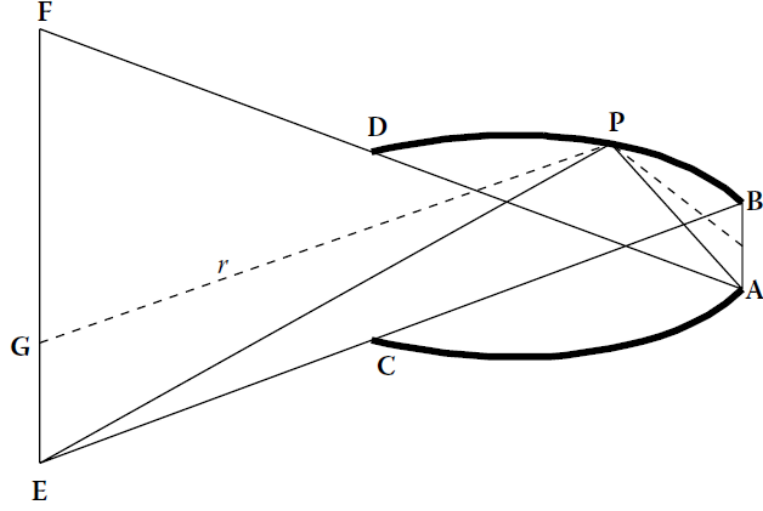


Şekil 5.10 B.P.K.'nin maksimum yoğunlaştırması ve kollektör yüksekliği

Denklem 5.2'de ve Şekil 5.10'da giriş-çıkış açıklıklarına dair bir ilişki bulunmaktadır. CE hattı soldan gelen kenar ışınına dik durumdadır. Optik uzunluk olarak CE ve A odağı arasındaki uzunluk her kenar ışını için aynıdır. Denklem 5.3'den kollektörün yüksekliği hesaplanabilir. Denklem 5.3'de görüldüğü gibi  $\theta \rightarrow 0$  iken  $h \rightarrow \infty$  olmaktadır. Bu da, küçük yarım kabul açılarında kollektör yüksekliğinin fazla olacağını ifade eder.

$$h = h_1 + h_2 = \frac{a_1/2}{\tan \theta} + \frac{a_2/2}{\tan \theta} = \frac{1 + \sin \theta}{2 \tan \theta} \times a_1 \quad (5.3)$$

Yukarıda bahsedilen tasarım sonsuz mesafede ve sonsuz uzunluktaki kaynak içindir. Tasarım belirli bir kaynak ve alıcı şekillerine göre yapılacaktır. Şekil 5.11'de sonlu uzaklıktaki kaynaktan çıkan ışınların odaklanması görülmektedir.



Şekil 5.11 EF kaynağından gelen ışınların AB üzerine odaklanması

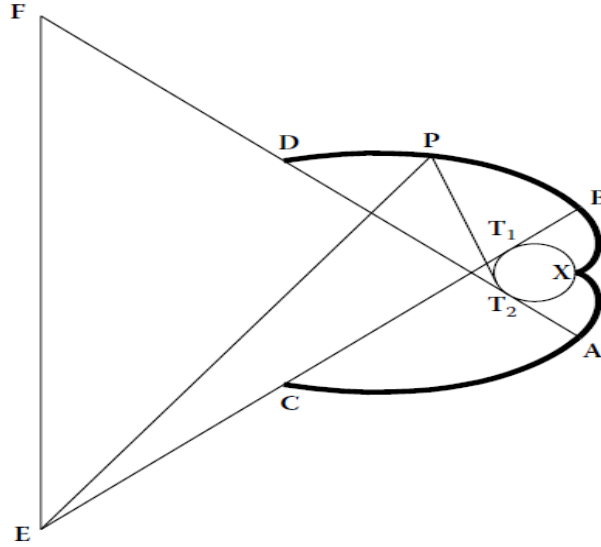
EF'den çıkan ışınlar AB üzerinde yoğunlaşacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Yine kenar ışın prensibi kullanılacaktır. Her P noktasında eğime sahip olan BD yansıtıcı yüzeyi E'den gelen her ışını A noktasına odaklamaktadır. Bu prensibe göre EF arasındaki herhangi bir G noktasından çıkan ışın AB alıcısı üzerine düşmektedir.

## 5.2 Silindirik Yutucu Yüzeyli Birleşik Parabolik Kollektörlerde Yansıtıcı Yüzey Tasarımı

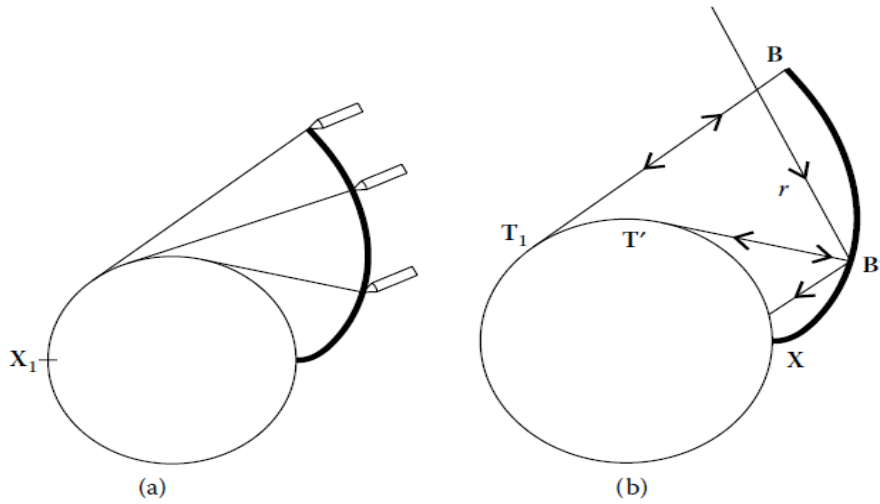
Bu bölümde silindirik yutucu yüzeyli yoğunlaştırıcı tasarımı incelenmiştir. Şekil 5.12'de silindir alıcılı sistem için kenar ışın prensibi gösterilmiştir. Ancak bu sefer E ve F'den gelen kenar ışınları alıcıya teğet gitmektedir. Burada amaç EF kaynağının herhangi bir noktasından gelen ışının silindir alıcıda odaklanmasıdır. Yoğunlaştırıcı kısım E'den gelen ışının herhangi bir P noktasından yansdıktan sonra alıcıya teğet olacak şekilde dizayn edilmelidir. B'den X'e kadar yansıtıcı kıvrımlı bir şekil alır.

Alıcıya doğru oluşan kıvrımın optik özelliği Şekil 5.13'de gösterilir. Şekil 5.13 (a)'da içe doğru kıvrık olarak sunulan bir daire etrafında sabit uzunlukta bir dize açma elde edilir. Şekil 5.13 (b)'de optik davranışlar gösterilmiştir.

Alicının  $T'$  noktasından teğet geçen bir ışın, yansıtıcı yüzeyin  $B'$  noktasından geri yansiyarak  $T'$  noktasından geçer. Bundan dolayı alıcı ve yansıtıcı arasına gelen  $r$  ışını alıcı üzerine yansır [18].



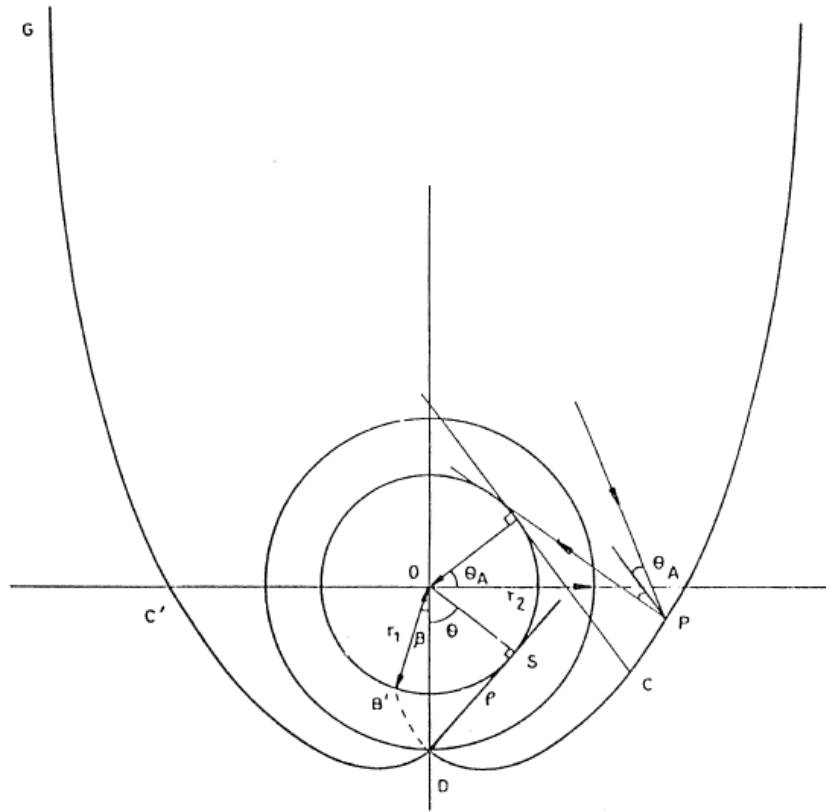
Şekil 5.12 Silindir alıcılı B.P.K. için kenar ışın prensibi



Şekil 5.13 Daireye teğet her nokta için oluşan dik eğriler ve alıcının kenarından teğet geçen ışınların geri yansımaları [4,7]

Şekil 5.12'de gösterilen EF kaynağından ve dairesel alıcıdan yola çıkarak yansıtıcılar hesaplanabilir. Yoğunlaştırıcı tasarımında alıcının  $X$  noktasından başlayarak kıvrım hesaplaması daha kolaydır ve bu kıvrım  $B$  noktasına

değene kadar E-T<sub>1</sub> hattını geçerek uzanır. EB ve AF hatları T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> noktalarından alıcıya teğettir. B noktası belirlendikten sonra, yansıtıcının kalan kısmı Bölüm 5.1'deki yöntemle tasarlanabilir. Silindir alıcılı birleşik parabolik kollektörün matematiksel modeli için sırasıyla yürütülmesi gereken işlemler aşağıdaki gibidir. Tasarım x ve y'ye bağlı kartezyen koordinat sisteminin kutupsal koordinat sistemine çevrilip tasarım değerlerine göre çözülmesiyle gerçekleşir. Şekil 5.14'de silindir alıcılı birleşik parabolik kollektör dizayn parametreleri görülmektedir [4].



Şekil 5.14 Yansıtıcı yüzey tasarımı için gerekli parametreler [4]

Yutucu boru yarıçapı kartezyen koordinatın orijininin başlamaktadır. Optik eksen y eksenidir. Yansıtıcı yüzey üzerindeki DC, CF iki ayrı bölüm olarak çizilmiştir.

$$x = r_1 \sin \theta - \rho \cos \theta \quad (5.4)$$

$$y = -r_1 \cos \theta - \rho \sin \theta, \rho = r_1(\theta + \beta) \quad (5.5)$$

Yutucudan yansıtıcıya olan teğetin uzunluğu, D'den C'ye  $\theta$  için Denklem 5.6'daki gibi, C'den F'ye  $\theta$  için de Denklem 5.7'deki gibidir [4];

$$\arccos\left(\frac{r_1}{r_2}\right) \leq \theta \leq \left(\frac{\pi}{2} + \theta_A\right), \rho = r_1 \left( \theta + \theta_A + \frac{\pi}{2} + 2\beta - \cos(\theta - \theta_A) \right) / (1 + \sin(\theta - \theta_a)) \quad (5.6)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{r_1}{r_2}\right), \beta((r_2/r_1)^2 - 1)^{0.5} \quad (5.7)$$

Tasarım için yarım kabul açısı, yutucu boru yarıçapı ve kollektör açıklık eni gibi bazı tasarım kabulleri yapılmalıdır. Yapılan tasarım kabulleriyle ve elde edilen tasarım denklemleriyle kollektör tasarımına devam edilir. Bu kabuller ve tasarım parametreleri Bölüm 5.3'de belirtilmiş olup kollektörün matematiksel modeli çıkartılmıştır.

### 5.3 Kollektör Tasarım Değerleri ve Optik Verim

Birleşik parabolik kollektörler, adından da anlaşılacağı gibi birden fazla parabolün birleşmesiyle meydana gelmektedir. Tasarlanan kollektör Şekil 5.15'de görüldüğü üzere 4 adet parabolün birleşmesinden oluşmaktadır. Tasarım kollektör ekseninin (y eksenin) tek bir tarafındaki parabol için yapılır. Daha sonra tasarımı yapılan kollektörlerin kollektör eksenine göre simetrisi alınarak yansıtıcı yüzey tasarlanır.

Tasarlanan kollektörün parabollerinin denklemi  $y=4fx^2$ 'dir. Burada "f" parabolün merkez uzaklığıdır. Tasarımda kollektör yarım kabul açısı ( $\theta_a$ )  $35^\circ$  alınmıştır. Ancak tasarım için sadece yarım kabul açısı yetmemektedir. Yarım kabul açısı ile birlikte kollektör açıklık eni, cam örtü yarıçapı ve yutucu boru yarıçapı kabulleri yapılarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

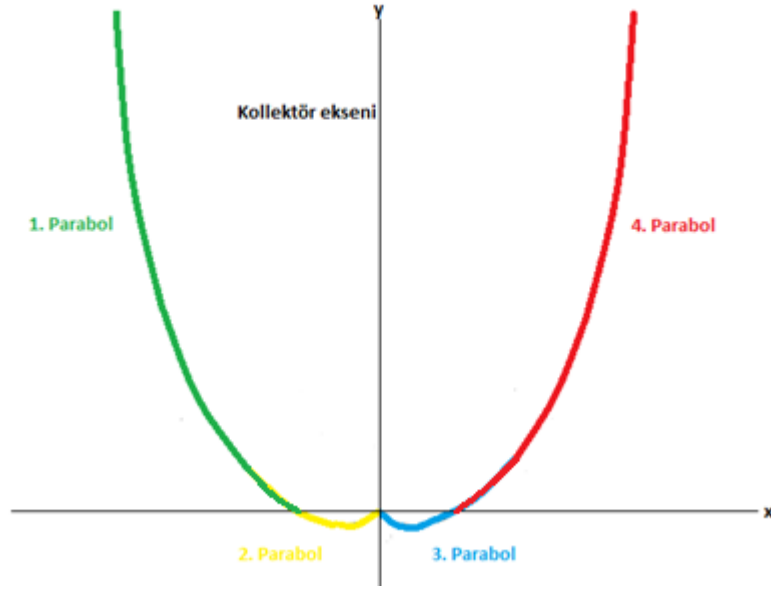
Kollektör dizaynı için piyasada araştırılıp bulunan ve tasarımda kullanılacak olan yutucu boru ve cam örtü malzemelerinin tasarım değerleri aşağıda verilmiştir.

$R_{bd}=0.0120\text{m}=12.0\text{mm}$  (Alıcı boru dış yarıçapı)

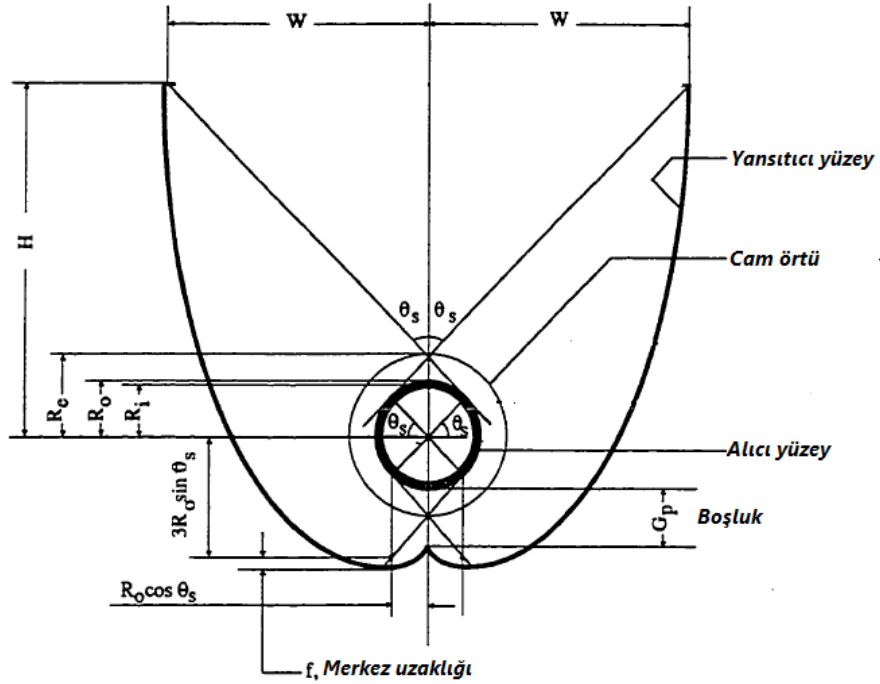
$R_{bi}=0.0105\text{m}=10.5\text{mm}$  (Alıcı boru iç yarıçapı)

$R_{cd}=0.0180\text{m}=18.0\text{mm}$  (Cam kılıf dış yarıçapı)

$R_{ci}=0.0165\text{m}=16.5\text{mm}$  (Cam kılıf iç yarıçapı)



Şekil 5.15 Yansıtıcı yüzeyi oluşturan paraboller



Şekil 5.16 Birleşik parabolik kollektörün bileşenleri ve parametreleri

Yutucu boru yarıçapından ve tasarımda kabul edilen kollektör açıklık eninden faydalanarak kollektör yüksekliği Denklem 5.8 ile hesaplanır; (Açıklık eni (W) 11 cm olarak kabul edilmiştir)

$$H = \frac{1.2}{\sin 35} + \frac{11}{\tan 35} = 17.8 \text{ cm} \quad (5.8)$$

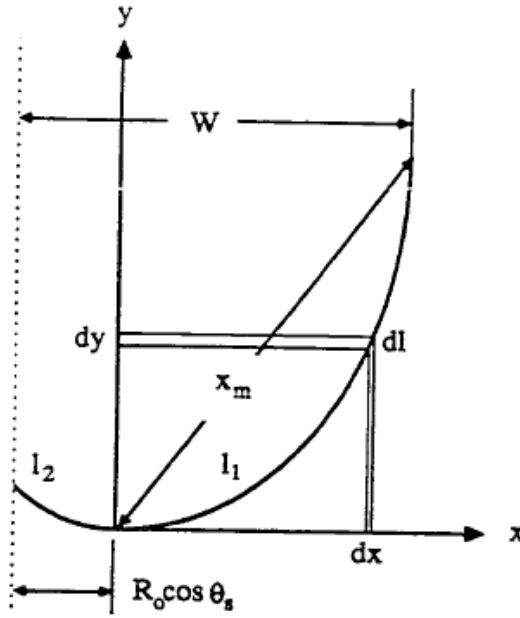
Kollektör boyu hesaplandıktan sonra merkez uzaklığının (f) hesaplanması gerekmektedir. Bunun için Denklem 5.9'da tasarım kabulleri yerine konur ve merkez uzaklığı (f) değeri 0.0496 cm olarak bulunur.

$$f = \frac{\frac{R_{bd}}{\sin \theta} + \frac{W}{\tan \theta} + 3R_{bd} \sin \theta}{4(W - R_{bd} \cos \theta)^2 - 1} \quad (5.9)$$

Yansıtıcı yüzey alt noktası ile yutucu boru arasındaki boşluk ( $G_p$ ) hesabı önemlidir. Bu değer mümkün olduğunca küçük olması gerekmektedir. Değer ne kadar küçük olursa boşluğa bağlı ısı kaybı o kadar azalır ve ışın odaklama oranı da artar. Bu boşluk Denklem 5.10 ile bulunur. Değerler yerine konduğunda  $G_p$  değeri 0.075 cm olarak hesaplanır. Bu değer hesaplandıktan sonra boşluğun neden olduğu kayıpların hesabında kullanılan “Boşluk Kayıp Faktörü (P)” hesaplanmalıdır. Denklem 5.11’de değerler yerine konduğunda P değeri 0.989 olarak bulunur. P değeri ne kadar 1’e yakınsa boşluk nedeniyle oluşan kayıplar o kadar az olur. Tasarlanan kollektörde çıkan P değeri 1’e çok yakın olduğundan tasarımda göz önüne alınmamıştır.

$$G_p = (3R_{bd} \sin \theta) - R_{bd} \quad (5.10)$$

$$P = 1 - \frac{G_p}{2\pi R_{bd}} \quad (5.11)$$



Şekil 5.17 Kollektörün karakteristik uzunluğu ve yansıtıcı yüzey uzunluğu

Yansıtıcı yüzey alanını hesaplamak için y ekseninin sağ ve sol tarafı ayrı ayrı incelenir. Şekil 5.17’de y ekseninin sağ tarafında kalan yüzeyi incelersek Denklem 5.12 ve 5.13 çözüldüğünde  $l_1$  uzunluğu için Denklem 5.14 elde edilir [15].

$$(dl)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 \quad (5.12)$$

$$dl = \sqrt{1 + (8f)^2 x^2} dx \quad (5.13)$$

$$l_1 = \int_0^{W-R_{bd}\cos\theta} dl = \frac{x}{2} \sqrt{1 + 64f^2 x^2} + \frac{1}{16f} \ln(8fx + \sqrt{1 + 64f^2 x^2}) \Big|_0^{W-R_{bd}\cos\theta}$$

$$l_1 = \frac{W-R_{bd}\cos\theta}{2} \sqrt{1 + 64f^2 (W - R_{bd}\cos\theta)^2}$$

$$+ \frac{1}{16f} \ln[8f(W - R_{bd}\cos\theta) + \sqrt{1 + 64f^2 (W - R_{bd}\cos\theta)^2}] \quad (5.14)$$

Denklem 5.14’de tasarım kabulleri ve tasarım için bulunan değerler yerine konduğunda;  $l_1$  uzunluğu 23.17 cm olarak bulunur. Eksenin sol tarafında bulunan parabolün uzunluğu da Denklem 5.15 ile bulunmaktadır. Denklem 5.15’deki integral işlemi sınırlara göre çözüldüğünde Denklem 5.16 elde edilir [15]. Tasarım kabul parametreleri ve bulunan değerler yerine konduğunda da  $l_2$  değeri 1.0074 cm olarak bulunur.

$$l_2 = \int_0^{R_{bd}\cos\theta} \sqrt{1 + (8f)^2 x^2} dx \quad (5.15)$$

$$l_2 = \frac{R_{bd}\cos\theta}{2} \sqrt{1 + 64f^2 R_{bd}^2 \cos^2\theta} + \frac{1}{16f} \ln[8f R_{bd} \cos\theta + \sqrt{1 + 64f^2 R_{bd}^2 \cos^2\theta}] \quad (5.16)$$

Yansıtıcı yüzey alanı da Denklem 5.17 ile hesaplanır. Burada kollektörün uzunluğu ( $L_{kol}$ ) 125 cm olarak alınmıştır. Bunun nedeni piyasada araştırılan ve yansıtıcı yüzey için kullanılacak olan alüminyum plaka eninin 125 cm olmasıdır.

$$A_{yan} = 2(l_1 + l_2) \times L_{kol} = 24.17 \times 2 \times L_{kol} \quad (5.17)$$

Son olarak da parabolün karakteristik uzunluğu ( $X_m$ ) hesaplanır;

$$X_m^2 = (W - R_{bd}\cos\theta)^2 + \left(\frac{R_{bd}}{\sin\theta} + \frac{W}{\tan\theta} + 3R_{bd}\sin\theta + f\right)^2 \quad (5.18)$$

$$X_m = 22.29 \text{ cm}$$

Tasarlanan sistemin optik verimi için sistemi oluşturan parçaların optik özellikleri incelenmelidir.

Optik verim; Cam örtü geçirgenliği, yansıtıcı yüzey yansıtma oranı, yutucu yüzey yutma oranı, ışın kesişim oranı ve kollektör yerleştirme hata oranı gibi optik özellikler ile değerlendirilir. Kollektör sisteminde iş akışkanına aktarılan enerji değeri sisteme gelen ışınımın optik kayıplardan sonra elde edilen değeridir. Sistemin optik verimi Denklem 5.19 ile hesaplanır;

$$\eta_o = K * \rho^n * \tau * \alpha * \xi \quad (5.19)$$

$$\eta_o = 0.95 \times 0.80^{0.62} \times 0.90 \times 96 \times 0.88 = 0.62$$

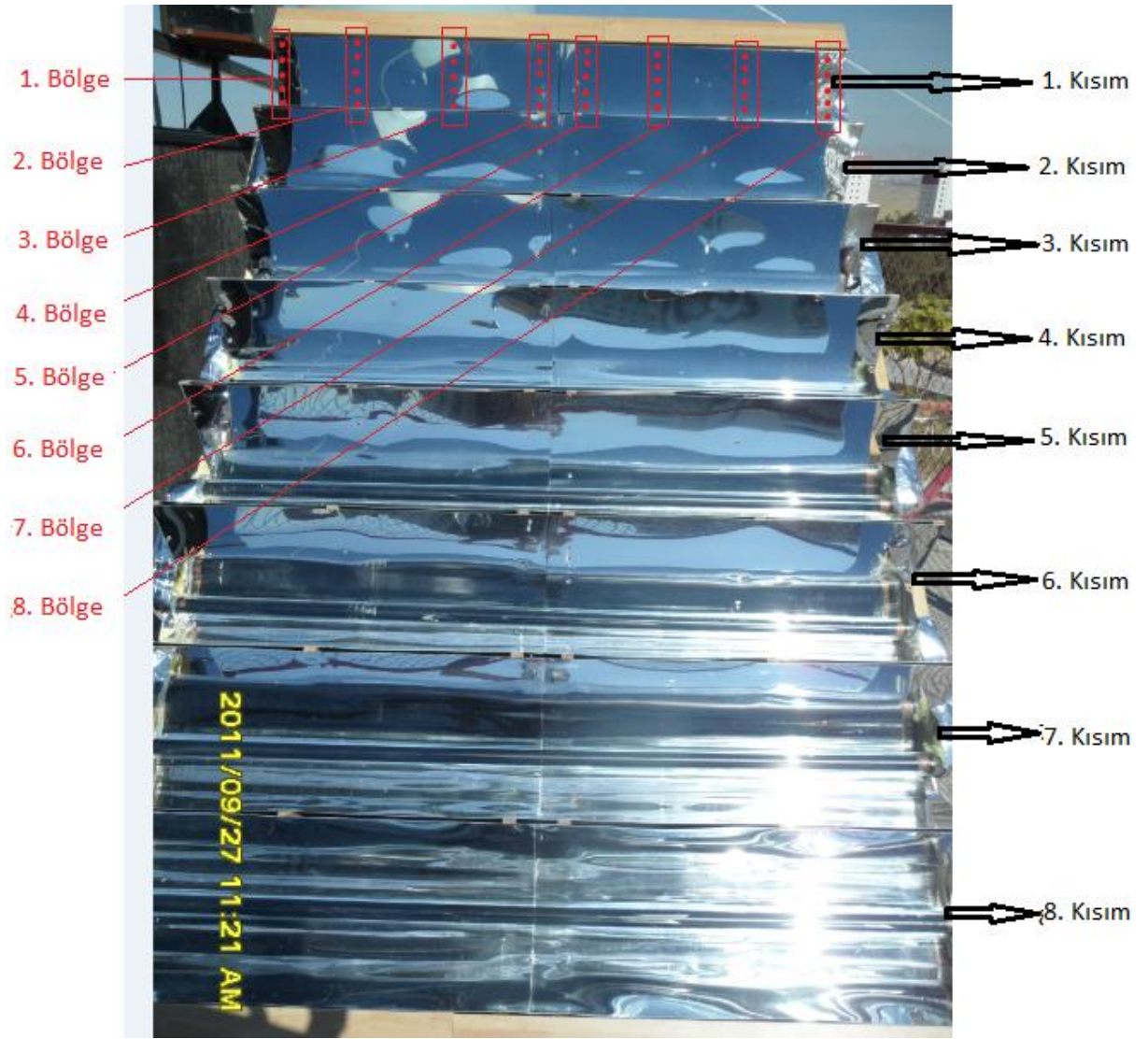
$K$  değeri kollektörün yerleştirilmesinden kaynaklı hatalardır ve bu hatalardan dolayı güneş ışınlarının odaklanmasında yaşanan eksikliklerdir. Literatürde yapılan çalışmalardan ve deneysel verilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda bu değer 0.95 olarak alınmıştır [2,4,15].

Yansıtıcı yüzey için piyasadan temin edilen “Alanod” marka parlatılmış alüminyumun kullanılmıştır. Hacettepe Üniversitesi’nde yapılan kısa dalga boyundaki ışınları yansıtma testinde yansıtma oranı 0.80 (ortalama değer) olarak ölçülmüştür. Görüntüsüz kollektörlerde ışın birkaç kez yansıyor yutucu üzerine düşer bu nedenle ortalama yansıtma sayısı (n) kullanılmaktadır. Bu sayı için de,  $y=4fx^2$  parabolü kullanılarak tasarlanan birleşik parabolik kollektörlerde A. Rabl tarafından 1976 yılında yapılan çalışmalar sonucunda kollektör boyu, açıklık eni ve yoğunlaştırma oranlarına göre ortalama ışın yansıtma grafikleri çıkarılmıştır. Bu grafikler Ek-1’de gösterilmiştir [13].

T, cam örtünün geçirgenliğidir. Kullanılan cam örtü Duran Schott markadır ve kimyasal uygulamalarda kullanılır. Firma tarafından gönderilen katalogta camın geçirgenlik grafiğinden bakılarak T değeri 0.90 alınmıştır. Katalogta yer alan, cam örtüye ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Ek-2’de verilmiştir.

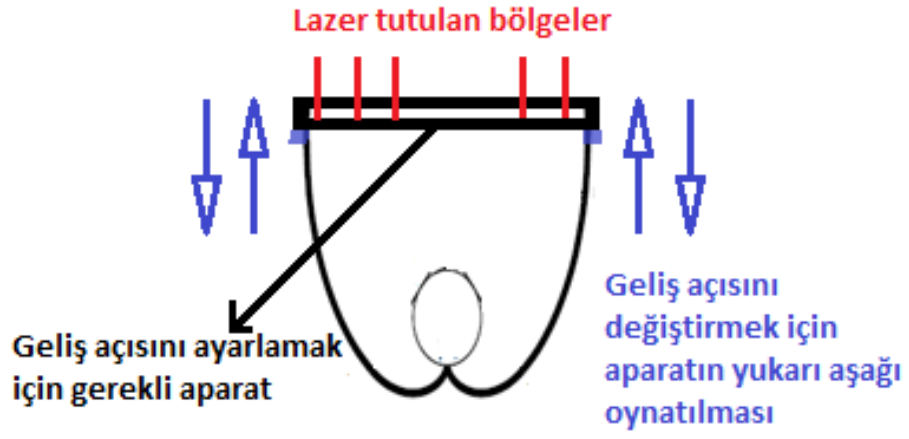
Optik verimde  $\alpha$  değeri yutuculuk oranını ifade etmektedir. Tasarımda yutucu yüzey olarak siyah mat boya ile boyanmış bakır boru kullanılmıştır. Çizelge 5.2’de siyah mat boya için  $\alpha$  değeri 0.94-0.98 arasında değişmektedir. Tasarımda da 0.96 gibi ortalama bir değer alınmıştır.

Son olarak  $\xi$  (Kesişim oranı) değeri de lazer testinde elde edilen sonuçlara göre bulunmuştur. Bu değer Çizelge 5.12’den ortalama olarak 0.88 alınmıştır. Oluşturulan kollektörün ışın odaklamasını test etmek için Şekil 5.18’de gösterildiği üzere kollektör 8 ayrı kısımda incelenmiştir. Her kısım 8 ayrı bölgeye ayrılmıştır ve her bölgede de 5 ayrı noktaya lazer testi uygulanmıştır. Lazer testine ait çizelgelerde “+” işareti yansıtıcıya tutulan lazerin yutucu üzerine odaklandığını, “-” işareti de odaklanmadığını gösterir. Ayrıca değişik geliş açılarındaki yansıtma oranları da incelenmiştir.

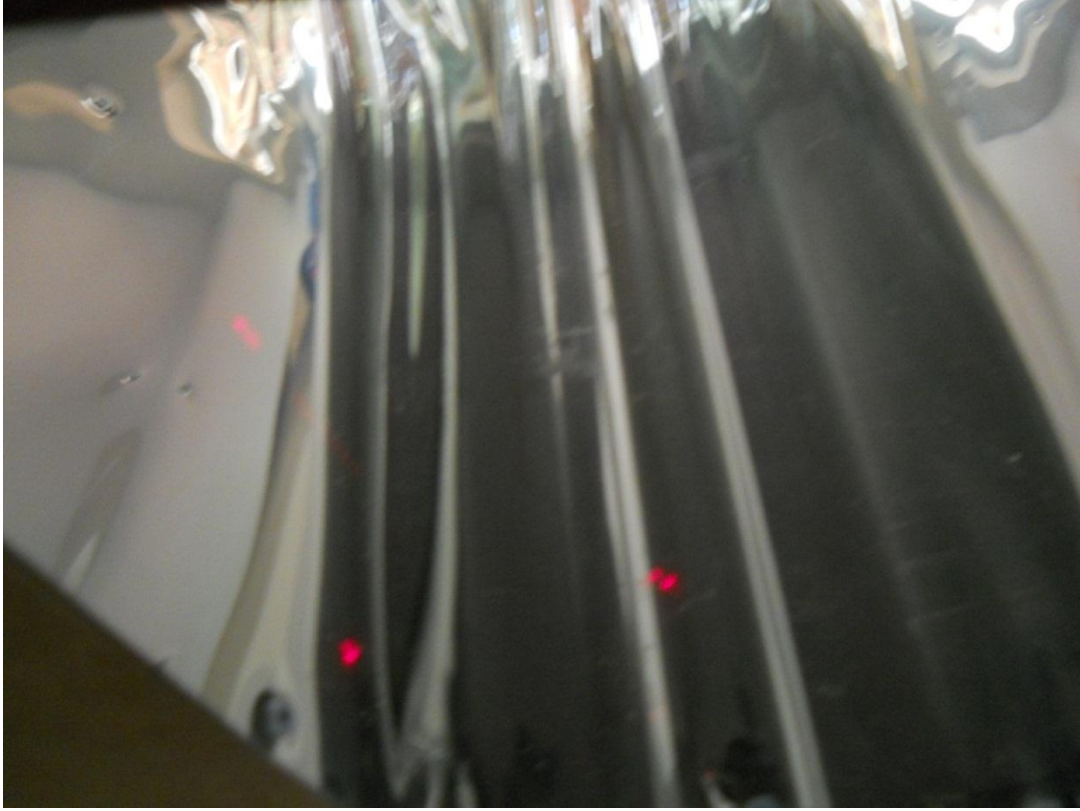


Şekil 5.18 Lazer testi uygulanan kollektör kısımları

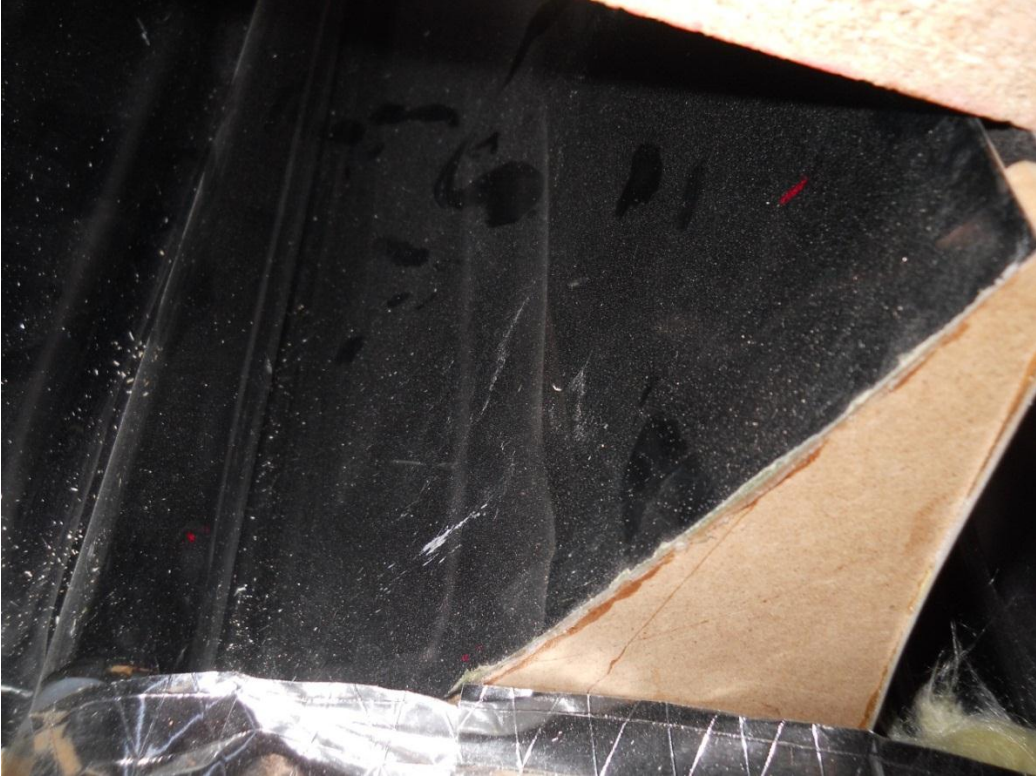
Lazer testi için Şekil 5.18'deki gibi bir düzenek hazırlanmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde kollektör için farklı geliş açılarında lazer testine ait veriler bulunmaktadır. Çizelgelerde ışınların odaklanıp odaklanamadığı durumlar görülmektedir.



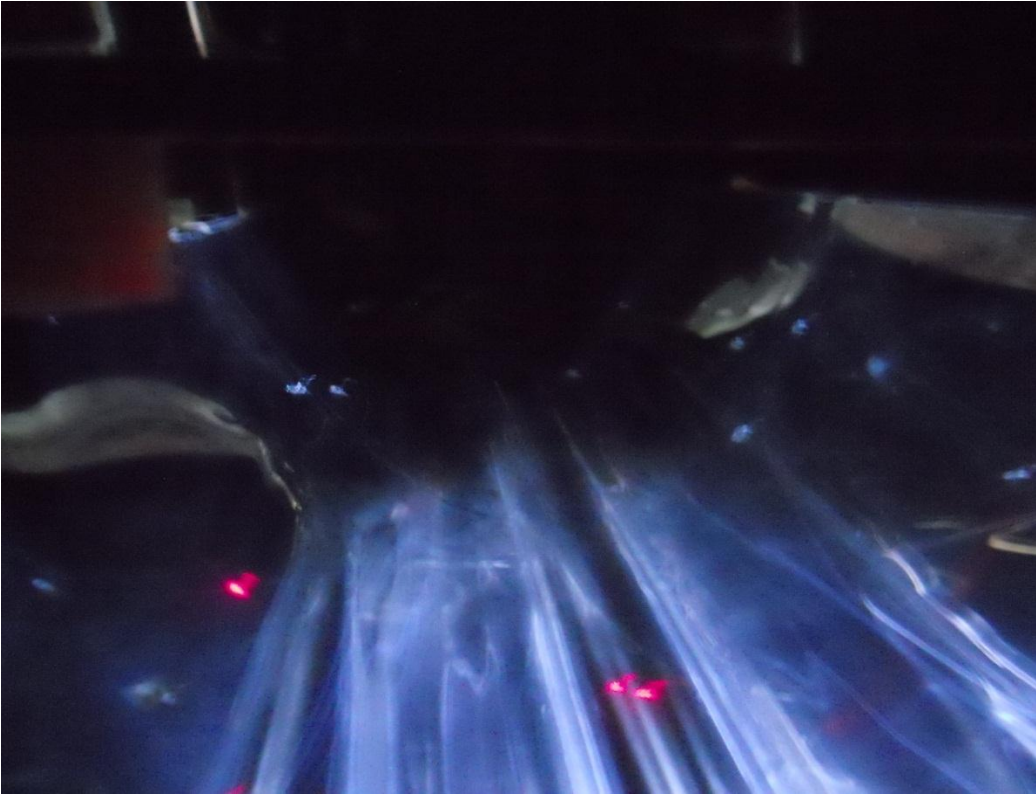
Şekil 5.19 Kurulan lazer testi düzeneğini gösteren çizim



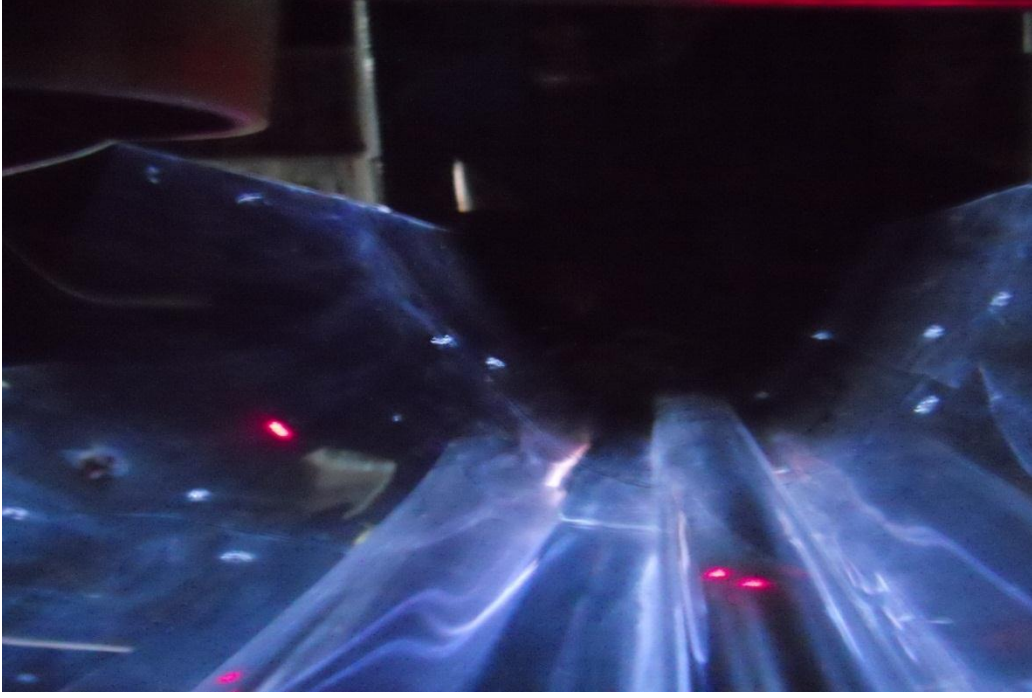
Şekil 5.20 Lazer testi çalışmaları resim-1



Şekil 5.21 Lazer testi çalışmaları resim-2



Şekil 5.22 Lazer testi çalışmaları resim-3



Şekil 5.23 Lazer testi çalışmaları resim-4



Şekil 5.24 Lazer testi çalışmaları resim-5

Çizelge 5.4 Birinci kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |     |       |     |       |     |       |       |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-------|
|                     | 0°                                                  | 5°  | 10°   | 15° | 20°   | 25° | 30°   | 35°   |
| 1                   | +                                                   | +   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 1                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 1                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | -   | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +   | +     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 2                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 2                   | +                                                   | +   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 3                   | +                                                   | -   | +     | +   | -     | -   | -     | -     |
| 3                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | -   | -     | +     |
| 3                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 3                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 3                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | -     | -     |
| 4                   | -                                                   | -   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 4                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +   | +     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 5                   | +                                                   | -   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 5                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 5                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | -     | -     |
| 6                   | +                                                   | +   | +     | +   | -     | -   | -     | -     |
| 6                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 6                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 6                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 6                   | +                                                   | +   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | +   | +     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 7                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 7                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 7                   | +                                                   | +   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 8                   | -                                                   | -   | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 8                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | -   | -     | -     |
| 8                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 8                   | +                                                   | +   | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 8                   | +                                                   | +   | +     | +   | -     | -   | -     | -     |
| Odaklanan           | 38                                                  | 36  | 33    | 30  | 27    | 24  | 21    | 17    |
| Odaklanmayan        | 2                                                   | 4   | 7     | 10  | 13    | 16  | 19    | 23    |
| Yüzde               | %95                                                 | %90 | %82.5 | %75 | %67.5 | %60 | %52.5 | %42.5 |

Çizelge 5.5 İkinci kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |       |       |     |       |     |       |       |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-------|
|                     | 0°                                                  | 5°    | 10°   | 15° | 20°   | 25° | 30°   | 35°   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | -   | -     | -     |
| 2                   | -                                                   | -     | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | -   | -     | -     |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +   | -     | -   | -     | -     |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | -     | -     |
| 4                   | +                                                   | -     | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +   | -     | -   | -     | -     |
| 5                   | +                                                   | +     | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | -     | -     |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | -   | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | -     | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 8                   | +                                                   | +     | -     | -   | -     | -   | -     | -     |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | -     |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +   | +     | +   | +     | +     |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +   | -     | -   | -     | -     |
| Odaklanan           | 39                                                  | 37    | 35    | 32  | 29    | 26  | 23    | 19    |
| Odaklanmayan        | 1                                                   | 3     | 5     | 8   | 11    | 14  | 17    | 21    |
| Yüzde               | %97.5                                               | %92.5 | %87.5 | %80 | %72.5 | %65 | %57.5 | %47.5 |

Çizelge 5.6 Üçüncü kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |       |     |     |     |       |     |     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|
|                     | 0°                                                  | 5°    | 10° | 15° | 20° | 25°   | 30° | 35° |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | -     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | -     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | -   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 3                   | -                                                   | +     | -   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +   | -   | -     | -   | -   |
| 4                   | +                                                   | -     | -   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +   | -   | -     | -   | -   |
| 5                   | +                                                   | -     | -   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | -   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | -     | -   | -   |
| 7                   | -                                                   | -     | -   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +   | -   | -     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | -   | -   | -   | -     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +   | +   | +     | +   | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +   | -   | -     | -   | -   |
| Odaklanan           | 38                                                  | 37    | 34  | 32  | 28  | 25    | 22  | 18  |
| Odaklanmayan        | 2                                                   | 3     | 6   | 8   | 12  | 15    | 18  | 22  |
| Yüzde               | %95                                                 | %92.5 | %85 | %80 | %70 | %62.5 | %55 | %45 |

Çizelge 5.7 Dördüncü kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |       |       |       |       |       |     |     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|
|                     | 0°                                                  | 5°    | 10°   | 15°   | 20°   | 25°   | 30° | 35° |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -   | -   |
| 2                   | -                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | -     | -     | -   | -   |
| 4                   | +                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | -   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | -     | -     | -   | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -   | -   |
| 6                   | -                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -   | -   |
| 7                   | +                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -   | -   |
| 7                   | -                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | -     | -     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +   | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | -     | -     | -   | -   |
| Odaklanan           | 36                                                  | 35    | 33    | 31    | 27    | 23    | 20  | 16  |
| Odaklanmayan        | 4                                                   | 5     | 7     | 9     | 13    | 17    | 20  | 24  |
| Yüzde               | %90                                                 | %87.5 | %82.5 | %77.5 | %67.5 | %57.5 | %50 | %40 |

Çizelge 5.8 Beşinci kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |     |     |     |       |       |       |       |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
|                     | 0°                                                  | 5°  | 10° | 15° | 20°   | 25°   | 30°   | 35°   |
| 1                   | -                                                   | -   | -   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 1                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 1                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +   | -   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | -     | -     |
| 2                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 2                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 2                   | +                                                   | +   | +   | +   | -     | -     | -     | -     |
| 3                   | -                                                   | -   | -   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 3                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | -     | -     |
| 3                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 3                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 3                   | +                                                   | +   | +   | +   | -     | -     | -     | -     |
| 4                   | +                                                   | +   | +   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 4                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | -     |
| 4                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 4                   | +                                                   | +   | +   | +   | -     | -     | -     | -     |
| 5                   | +                                                   | +   | +   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 5                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | -     |
| 5                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 5                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | -     | -     |
| 6                   | +                                                   | -   | -   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 6                   | -                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 6                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 6                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | -     |
| 6                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | -     | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | -   | -   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | -     | -     | -     |
| 7                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 7                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 7                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | -     | -     | -     |
| 8                   | +                                                   | +   | -   | -   | -     | -     | -     | -     |
| 8                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | -     |
| 8                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 8                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | +     | +     | +     |
| 8                   | +                                                   | +   | +   | +   | +     | -     | -     | -     |
| Odaklanan           | 37                                                  | 36  | 34  | 32  | 29    | 25    | 21    | 17    |
| Odaklanmayan        | 3                                                   | 4   | 6   | 8   | 11    | 15    | 19    | 23    |
| Yüzde               | %92.5                                               | %90 | %85 | %80 | %72.5 | %62.5 | %52.5 | %42.5 |

Çizelge 5.9 Altıncı kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |       |       |       |     |       |     |     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|
|                     | 0°                                                  | 5°    | 10°   | 15°   | 20° | 25°   | 30° | 35° |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | -     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 3                   | -                                                   | +     | -     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | -   | -     | -   | -   |
| 4                   | +                                                   | -     | -     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | -     | -   | -   |
| 5                   | +                                                   | -     | -     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | -   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | -   | -     | -   | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | -     | -   | -   |
| 7                   | -                                                   | -     | -     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | -   | -     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | -     | -     | -   | -     | -   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | +   | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +   | +     | -   | -   |
| Odaklanan           | 38                                                  | 37    | 35    | 33    | 30  | 27    | 24  | 20  |
| Odaklanmayan        | 2                                                   | 3     | 5     | 7     | 10  | 13    | 16  | 20  |
| Yüzde               | %95                                                 | %92.5 | %87.5 | %82.5 | %75 | %67.5 | %60 | %50 |

Çizelge 5.10 Yedinci kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |       |       |       |       |       |       |     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
|                     | 0°                                                  | 5°    | 10°   | 15°   | 20°   | 25°   | 30°   | 35° |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | -     | -     | -     | -   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 1                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -     | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | -     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | -   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 2                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -     | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | -   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 3                   | +                                                   | +     | +     | +     | -     | -     | -     | -   |
| 4                   | -                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | -   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 4                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -     | -   |
| 5                   | +                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | -   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 5                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -     | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | -     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | -   |
| 6                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -     | -   |
| 7                   | -                                                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -     | -   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 7                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | -     | -     | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | -     | -     | -     | -     | -   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | +     | +   |
| 8                   | +                                                   | +     | +     | +     | +     | +     | -     | -   |
| Odaklanan           | 38                                                  | 37    | 35    | 33    | 31    | 27    | 23    | 18  |
| Odaklanmayan        | 2                                                   | 3     | 5     | 7     | 9     | 13    | 17    | 22  |
| Yüzde               | %95                                                 | %92.7 | %87.5 | %82.5 | %77.5 | %67.5 | %57.5 | %45 |

Çizelge 5.11 Sekizinci kısım için lazer testi sonuçları

| Lazer tutulan bölge | Kollektör giriş açıklığına gelen ışının geliş açısı |       |     |       |     |     |     |       |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|
|                     | 0°                                                  | 5°    | 10° | 15°   | 20° | 25° | 30° | 35°   |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +     | -   | -   | -   | -     |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | -     |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 1                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | -   | -     |
| 2                   | +                                                   | -     | -   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | -   | -     |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 2                   | +                                                   | +     | +   | -     | +   | -   | -   | -     |
| 3                   | -                                                   | +     | +   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | -     |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 3                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | -   | -   | -     |
| 4                   | +                                                   | +     | -   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | -     |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 4                   | +                                                   | -     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 4                   | +                                                   | +     | +   | +     | -   | -   | -   | -     |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | -     |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 5                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | -   | -     |
| 6                   | -                                                   | -     | -   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | -     |
| 6                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | -   | -   | -     |
| 7                   | +                                                   | +     | -   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | -   | -     |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 7                   | +                                                   | +     | +   | +     | -   | -   | -   | -     |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | -     | -   | -   | -   | -     |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | +   | +   | +     |
| 8                   | +                                                   | +     | +   | +     | +   | -   | -   | -     |
| Odaklanan           | 38                                                  | 37    | 36  | 33    | 30  | 26  | 22  | 17    |
| Odaklanmayan        | 2                                                   | 3     | 4   | 7     | 10  | 14  | 18  | 23    |
| Yüzde               | %95                                                 | %92.5 | %90 | %82.5 | %75 | %65 | %55 | %42.5 |

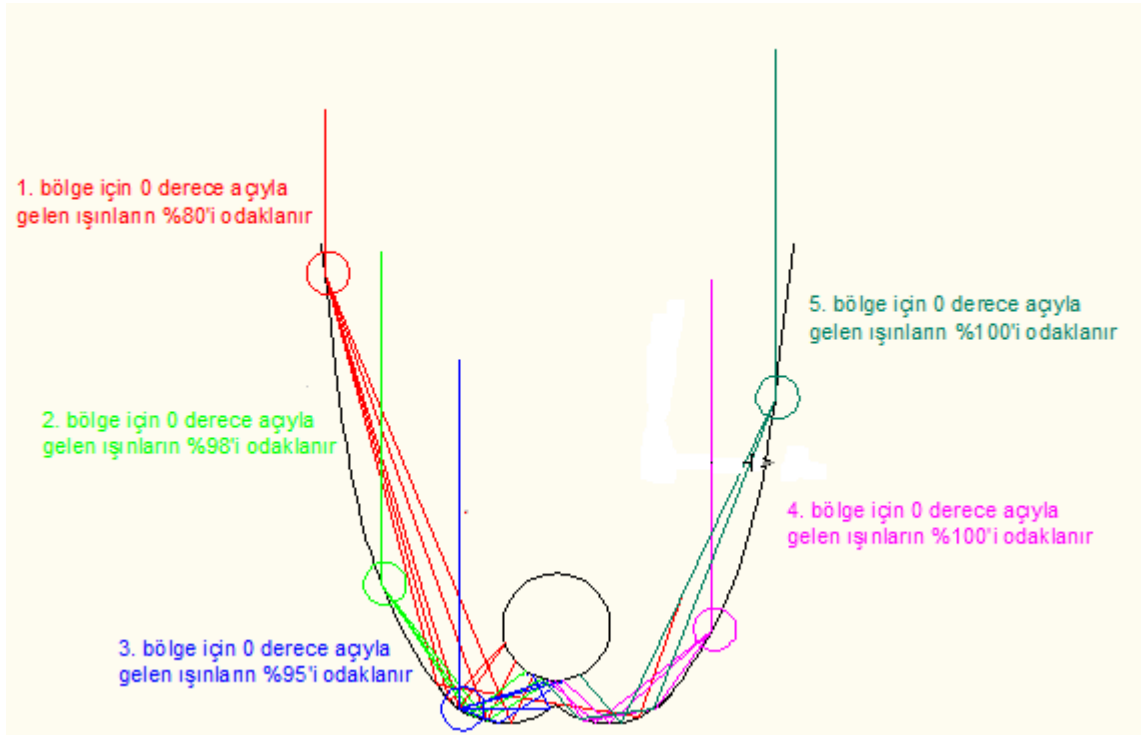
Lazer testi sonucunda, geliş açısı arttıkça ışınların yutucu yüzeye odaklanma oranının düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi de yansıtıcı yüzey şeklinin tasarımı hesaplanan değerlerle birebir örtüşmemesidir. Kollektörün matematiksel modelinde çıkan hesaplara göre yansıtıcı yüzeylere istenilen hassas şeklin verilmesi maddi olarak pahalıdır. Bu yüzden daha basit ve ucuz yöntemlerle yansıtıcı yüzeylerin şekillendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca yansıtıcı yüzeylere şekil verilirken ve montaj sırasında alüminyum plakalarda zedelenmeler, bozulmalar oluşmuştur. Bu nedenle odaklamalarda kayıplar yaşanmıştır. Yansıtıcı yüzeyler hesaplanan tasarım değerlerine denk olmasa da çok yakındır ve kollektör istenilen performansı sağlamıştır.

Çizelge 5.12 Kollektör sisteminin farklı geliş açıları için lazer tutulan bölgelerin ortalama yansıtma oranları

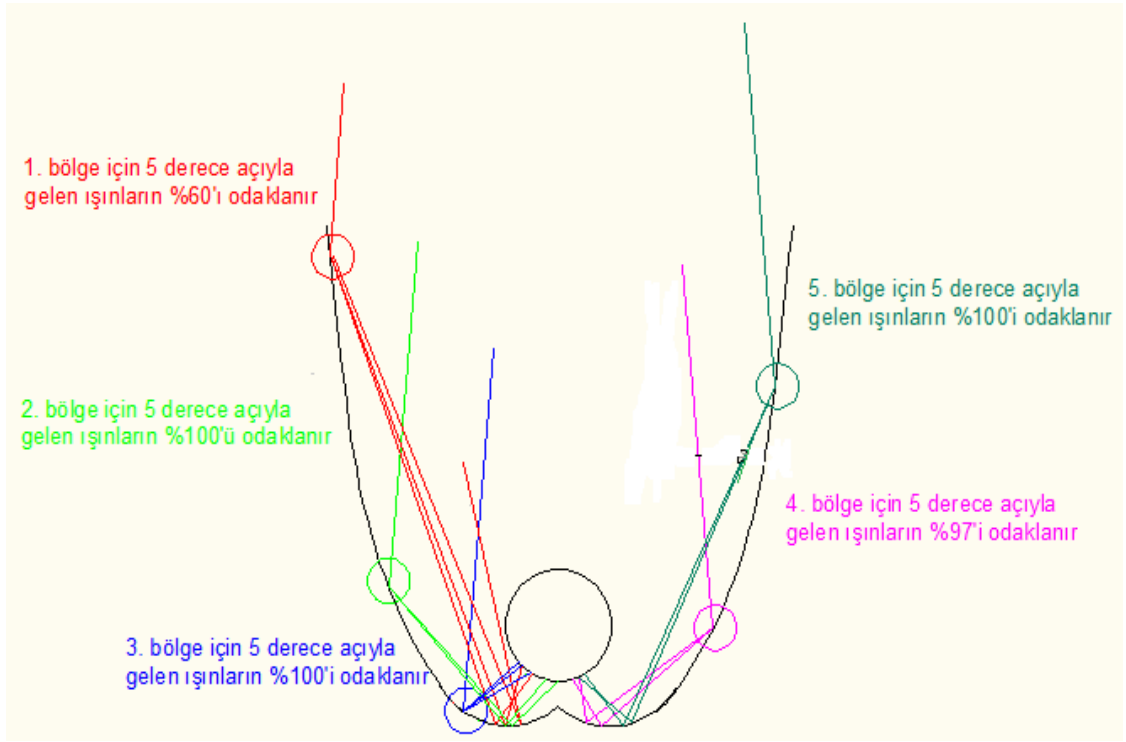
| Kısım numarası          | 0°    | 5°    | 10°   | 15°   | 20°   | 25°   | 30°   | 35°   |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. kısım                | %95.0 | %90.0 | %82.5 | %75.0 | %67.5 | %60.0 | %52.5 | %42.5 |
| 2. kısım                | %97.5 | %92.5 | %87.5 | %80.0 | %72.5 | %65.0 | %57.5 | %47.5 |
| 3. kısım                | %95.0 | %92.5 | %85.0 | %80.0 | %70.0 | %62.5 | %55.0 | %45.0 |
| 4. kısım                | %90.0 | %87.5 | %82.5 | %77.5 | %67.5 | %57.5 | %50.0 | %40.0 |
| 5. kısım                | %92.5 | %90.0 | %85.0 | %80.0 | %72.5 | %62.5 | %52.5 | %42.5 |
| 6. kısım                | %95.0 | %92.5 | %87.5 | %82.5 | %75.0 | %67.5 | %60.0 | %50.0 |
| 7. kısım                | %95.0 | %92.5 | %87.5 | %82.5 | %77.5 | %67.5 | %57.5 | %45.0 |
| 8. kısım                | %95.0 | %92.5 | %90.0 | %82.5 | %75.0 | %65.0 | %55.0 | %42.5 |
| Ortalama yansıtma oranı | %94.8 | %91.7 | %85.9 | %80.6 | %72.5 | %63.4 | %55.3 | %45.8 |

Optik verimde kesişim oranını hesaplamak için kollektör kısımlarının farklı açılardaki ortalama yansıtma oranları Çizelge 5.12’de gösterilmektedir. Deneyler 11:30-15:30 saatleri arasında yapılmıştır ve bu oran bulunurken 0°, 5°, 10° ve 15°’deki yansıtma oranları göz önüne alınmıştır. Bunun sebebi kollektörü Doğu-Batı yönüne dik, yer yüzeyine de 39 derecelik açıyla güneşe yönlendirilmesi ve kuzey yarım kürede Türkiye’de Eylül ayında belirlenen saatler içinde kollektör eğimli olarak yerleştirildiğinde güneş ışınlarının  $\pm 6.8^\circ$  açıyla gelmesidir. Böylece yüksek geliş açılarındaki kesişim kayıplarından sistem etkilenmemiş olur. Açıklanan sebeplerden dolayı Çizelge 5.12’deki değerlere göre optik verim hesabında kesişim oranı 0.88 alınmıştır.

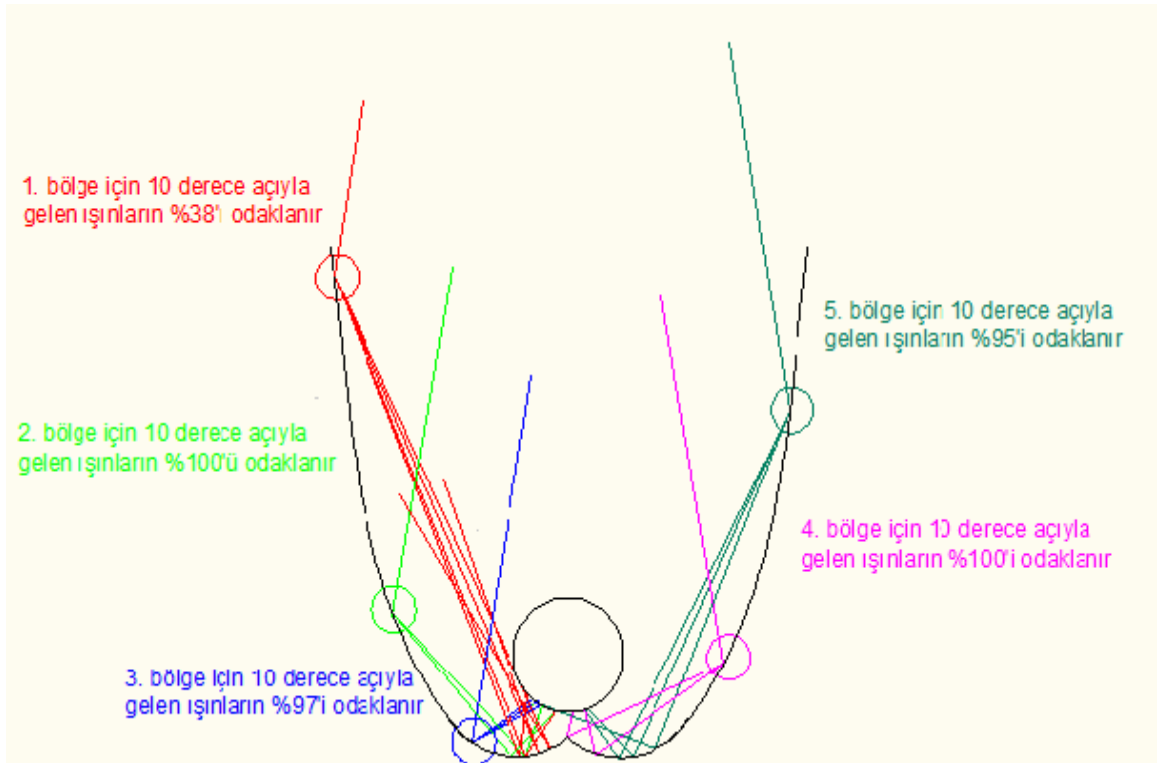
Lazer testinde kollektörün ışın odaklamasını, lazer tutulan bölgelere göre incelendiğinde; Şekil 5.24'den Şekil 5.31'e kadar olan sonuçlar yukarıda yer alan çizelgelere göre elde edilir. Bu değerlere göre yansıtıcı yüzeyin uç kısımlarındaki yansıtma oranı yutucu boruya yakın yüzeylerinkine göre düşüktür. Hatta geliş açısı arttıkça aradaki fark daha fazla olmaktadır. 0 derece geliş açısında 1. bölgede yansıtma oranı %80 iken yutucu boruya yakın 2., 3. ve 4. bölgelerde bu değer %100'e yakındır. 35 derece geliş açısında yutucu boruya uzak yüzeylerin (1. ve 5. bölgelerin) yansıtma oranı %0 iken yutucu boruya yakın bölgelerde bu değer ortalama %85 civarındadır. Elde edilen sonuçlar, yansıtıcı yüzeyin geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir.



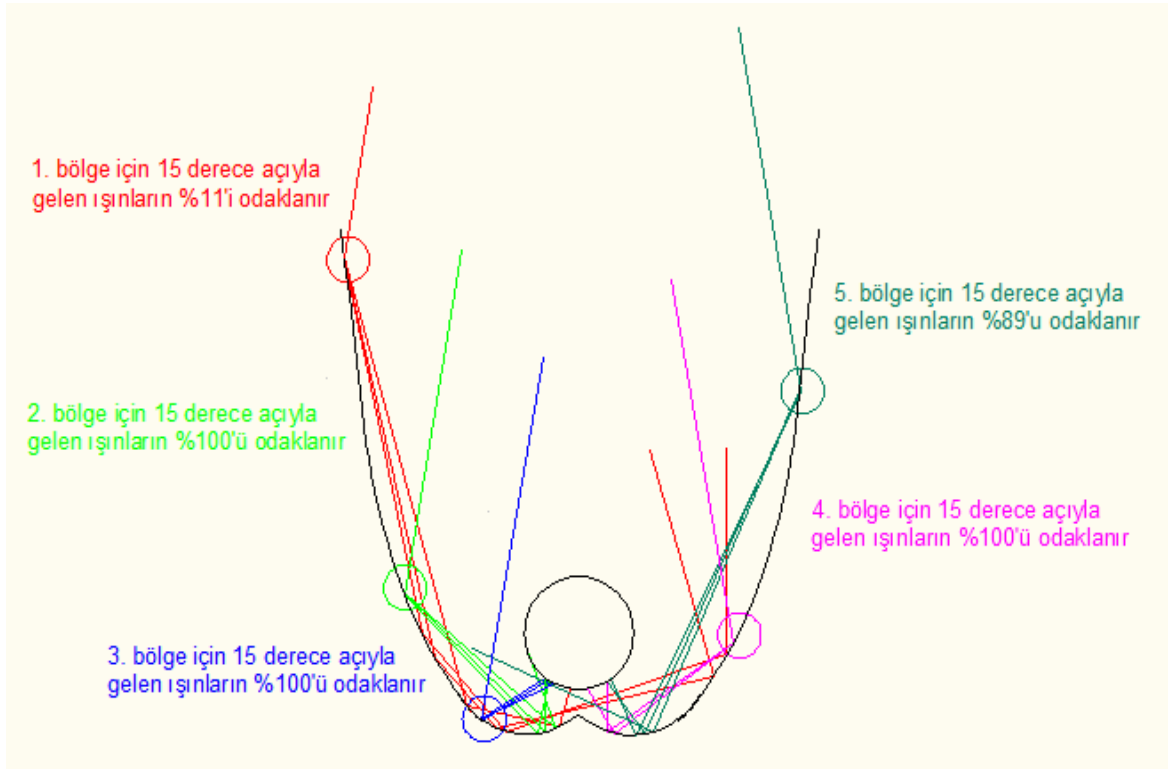
Şekil 5.25 0° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



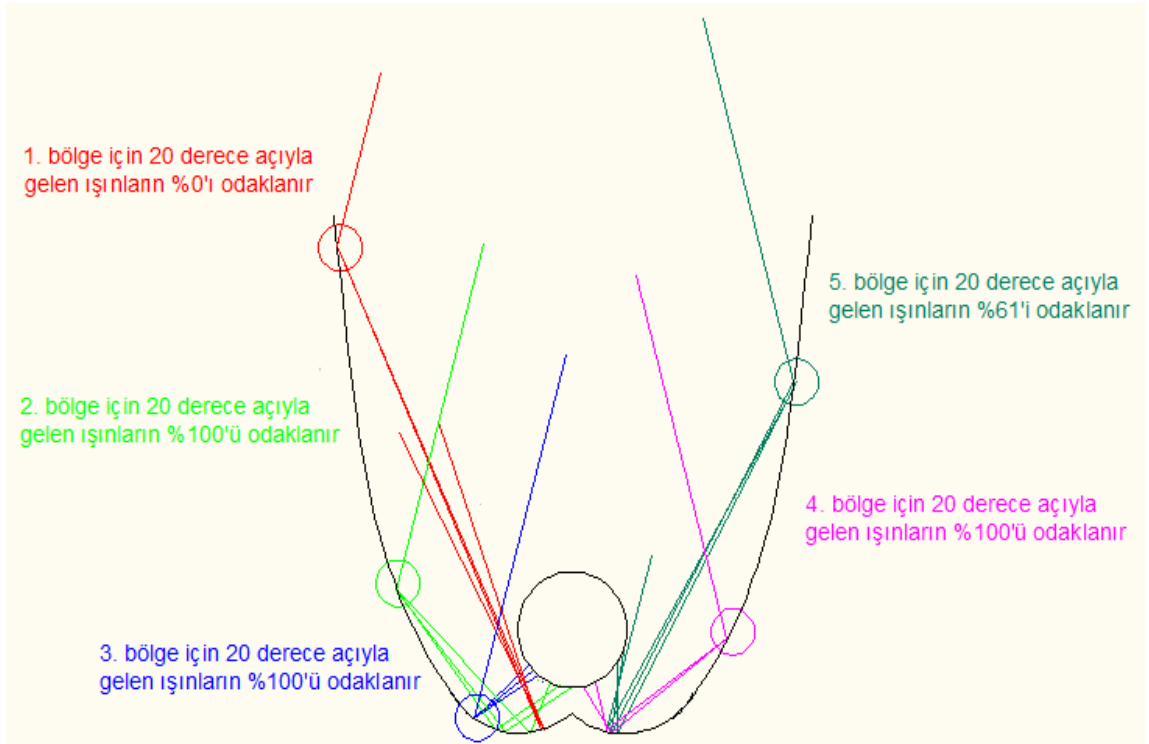
Şekil 5.26 5° geniş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



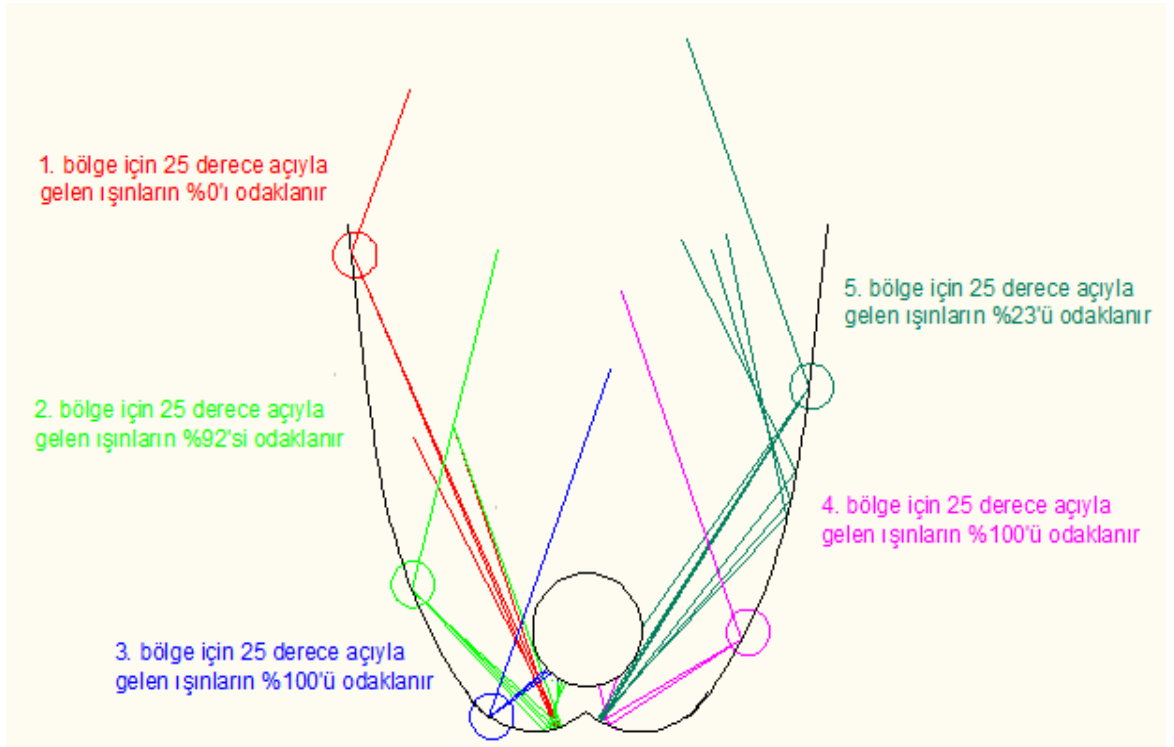
Şekil 5.27 10° geniş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



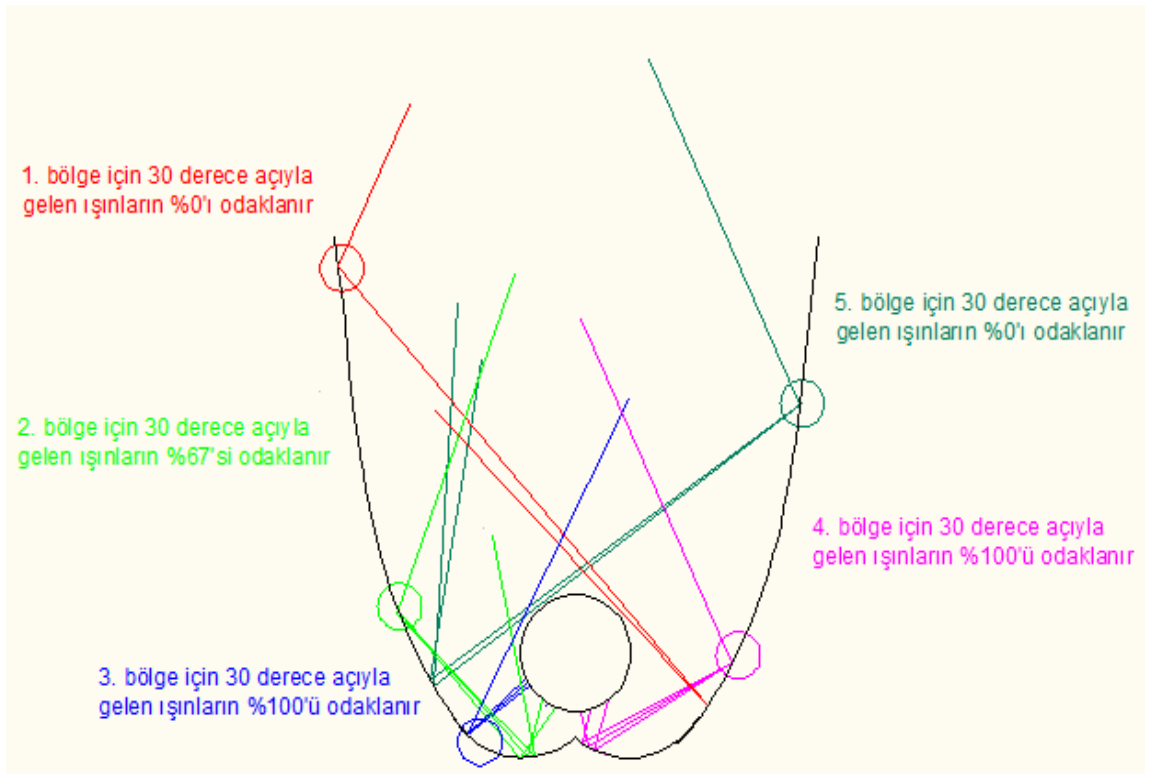
Şekil 5.28 15° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



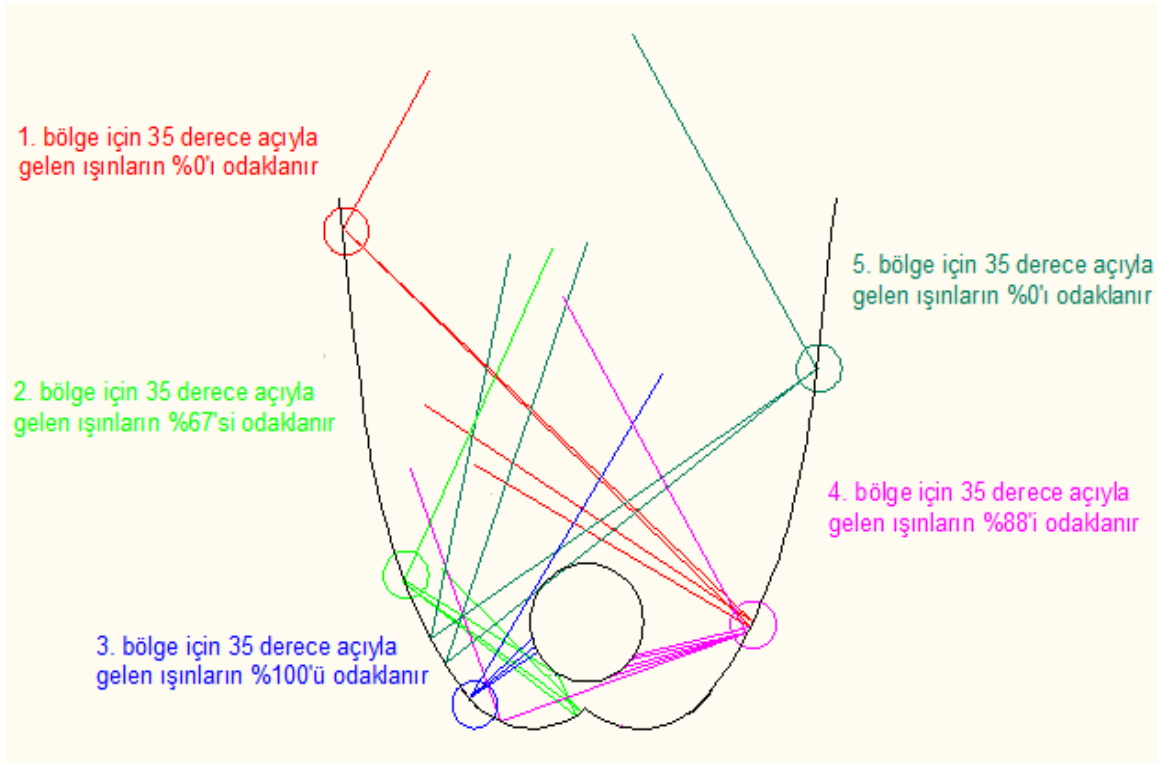
Şekil 5.29 20° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



Şekil 5.30 25° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



Şekil 5.31 30° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları



Şekil 5.32 35° geliş açısında lazer tutulan bölgelerin odaklama oranları

## 6. TEORİK IŞINIM HESAPLAMALARININ ÖLÇÜLEN IŞINIM DEĞERLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Güneş ışınım değerinin tespiti birçok uygulamada önem taşımaktadır. Güneş ışınım değerlerinin bilinmesi, güneş enerjisi sistemleri için teorik performans analizine olanak sağlar. Analizler için gerekli güneş ışınım çeşitleri şunlardır [14,16];

- Direkt ışınım: Atmosferde ve bulutlarda saçılmadan gelen, direkt yeryüzüne ulaşan ışınımdır.
- Yayıllı ışınım: Atmosferden ve gökyüzünden saçılan ve yayılarak yeryüzüne gelen ışınımdır.
- Toplam ışınım: Direkt ve yayıllı ışınımın yeryüzüne gelen toplamıdır. (Global ışınım ise herhangi bir yüzeye gelen direkt ve yayıllı ışınım toplamıdır.)

Bu ışınım türlerini ölçmek için kullanılan cihazlar vardır. Piranometre toplam ışınım miktarını ölçen cihazdır. Sabit bir şekilde kollektör sistemine yerleştirilir ve güneşi takip etmez. Gölgeleme bandıyla kullanıldığında yalnız yayıllı ışınımı ölçer. Pirheliometre de direkt ışınımı ölçmeye yarayan cihazdır. Bu cihazların kullanımında güneş takibi söz konusudur [15]. Deney düzeneğinde piranometre kullanılmıştır.

Kollektörün teorik ısı analizinde kullanılacak ışınım değerini hesaplamak için bazı güneş açılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu açılardan bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır [15];

$\Phi$ : Göz önüne alınan yerin enlem açısıdır.  $-90^{\circ}$  ve  $90^{\circ}$  arasında değişir. kuzeyde “-”, güneyde “+” değer alır.

$\delta$ : Deklinasyon açısıdır, Ekvator düzlemi ve göz önüne alınan yerin güneş öğlesindeki ışınlar arasındaki açıdır.

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

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

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

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

Yukarıda tanımlanan güneş açıları, teorik ışınlam değerleri hesaplamalarında ve tasarlanan kollektörün yerleştirilmesi aşamalarında kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerinde dizayn ve performans hesaplamaları yaparken eğimli yüzey üzerine gelen günlük ışınlam miktarı önemlidir.  $m^2$  başına yatay düzleme düşen günlük ışınlam miktarı Denklem 6.1’de gösterilmektedir;

$$I_o = \frac{24 \cdot 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) x (\cos \phi \cos \delta \sin w_s + \frac{\pi w_s}{180} \sin \phi \sin \delta) \quad (6.1)$$

Denklem 6.1’de  $G_{sc}$ , güneş sabitidir, farklı kaynaklarda değişik değerlerde olup, bu çalışmada  $1353 \text{ W/m}^2$  alınmıştır [1,4,5]. Işınlam değerleri için gerekli olan ve yukarıda açıklanan deklinasyon açısı Denklem 6.2 ile bulunur. Deklinasyon açısını hesaplamak için gerekli değerler de Çizelge 6.1’de verilmiştir.

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{360}{365} (n + 284) \right) \quad (6.2)$$

Çizelge 6.1 Deklinasyon açısı hesabında kullanılan “n” değerleri [14]

| Aylar   | n       |
|---------|---------|
| Ocak    | i       |
| Şubat   | i + 31  |
| Mart    | i + 59  |
| Nisan   | i + 90  |
| Mayıs   | i + 120 |
| Haziran | i + 151 |
| Temmuz  | i + 181 |
| Ağustos | i + 212 |
| Eylül   | i + 243 |
| Ekim    | i + 273 |
| Kasım   | i + 304 |
| Aralık  | i + 334 |

Burada, “n” 1 Ocak’tan itibaren sayılan gün sayısı ve “i” de ayın gün değeridir. Denklem 6.1’de yer alan güneş doğuş açısı Denklem 6.3’den, saat açısı da derece ( $^{\circ}$ ) cinsinden Denklem 6.4’den hesaplanabilir;

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad (6.3)$$

$$\omega = (GZ - 12) \times 15 \quad (6.4)$$

Burada GZ, güneş zamanını ifade etmektedir [16].

Yerküreye ulaşan direkt ışınım değeri için Denklem 6.5 kullanılır. Denklem 6.5’de; “ $I_b$ ” direkt ışınım ( $W/m^2$ ), “ $I_{bn}$ ” normal doğrultudaki direkt ışınım ( $W/m^2$ ), “ $h$ ” de güneş yükseklik açısıdır ve bu açı Denklem 6.9 ile bulunur. Yayıllı ışınım değeri için Denklem 6.6 kullanılır. (C, yayılı gökyüzü faktörü ve  $F_{ss}$  görüş faktörüdür. Yatay yüzeylerde  $F_{ss}$  değeri ihmal edilir).

$$I_b = I_{bn} \sin h \quad (6.5)$$

$$I_d = C I_{bn} F_{ss} \quad (6.6)$$

$$F_{ss} = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (6.7)$$

Direkt ve yayılı ışı nım hesabında gerekli olan “ $I_{bn}$ ” değ eri hesabında açık gün anlık ışı nım hesabı için kullanılan Denklem 6.8'deki yarı ampirik eş itlik önerilmektedir.

$$I_{bn} = Ae^{-B/\sinh} = Ae^{-Bm} \quad (6.8)$$

Eş itlikte;  $A$  hava kütlesinin bulunmadığı durumdaki güneş ışı nımını ( $W/m^2$ ),  $B$  atmosferik sönüm katsayısını,  $m$  hava kütlesini ve  $C$  boyutsuz ifadesi yatay yüzey üzerinde yayılı ışı nımın direkt ışı nıma oranını ifade eder.  $m$ , direkt ışı nımın geçtiği atmosferik hava kütlesinin, güneş in zenitte kat ettiği atmosferik hava kütlesine oranıdır ve Denklem 6.10 ile bulunur [14]. Yerküre ile güneş arasındaki mesafenin değ iş imi, su buharı ve diğ er atmosferik madde bileş imlerinin mevsimsel dalgalanması bu değ erlerde değ iş iklikler yaratır. Aç ıklanan bu değ erler Çizelge 6.2'de verilmiştir.

$$\sinh = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (6.9)$$

$$m = \frac{1}{\cos\theta_z} = \frac{1}{\sinh} \quad (6.10)$$

Çizelge 6.2. Aylara göre anlık ışı nım için parametre değ erleri

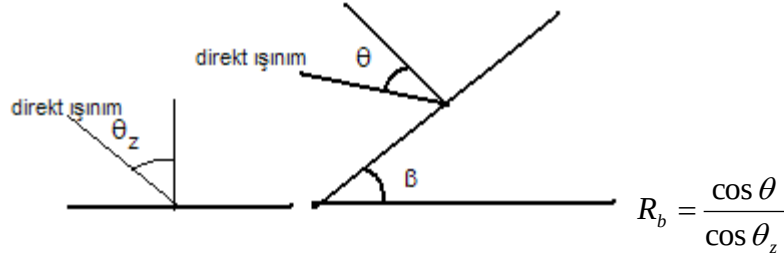
| AY      | A( $W/m^2$ ) | B     | C     |
|---------|--------------|-------|-------|
| Ocak    | 1087,61      | 0,205 | 0,134 |
| Şubat   | 1103,37      | 0,196 | 0,121 |
| Mart    | 1134,90      | 0,180 | 0,097 |
| Nisan   | 1185,34      | 0,156 | 0,071 |
| Mayıs   | 1213,71      | 0,144 | 0,060 |
| Haziran | 1229,47      | 0,142 | 0,058 |
| Temmuz  | 1232,62      | 0,142 | 0,057 |
| Ağustos | 1220,01      | 0,149 | 0,063 |
| Eylül   | 1191,64      | 0,160 | 0,073 |
| Ekim    | 1150,66      | 0,177 | 0,092 |
| Kasım   | 1106,52      | 0,201 | 0,122 |
| Aralık  | 1084,46      | 0,207 | 0,136 |

Direkt ve yayılı ışı nım değ erleri bulundu ktan sonra toplam ışı nım “ $I_t$ ” Denklem 6.11 ile bulunabilir;

$$I_t = I_b + I_d \quad (6.11)$$

Yüzeyin normali ile güneş ışınlarının geliş açısı eşit olduğunda maksimum enerjiyi elde etmek mümkündür. Bundan dolayı, kollektör yerleştirilmesinde, kollektör eğim açısı önemlidir. Eğimli yüzeylerde toplam ışı nım miktarlarını tespit edebilmek için Denklem 6.13 kullanılmaktadır;

$R_b$ : Geometrik faktördür; Eğimli yüzeye yatay düzleme gelen direkt ışı nım oranıdır ve Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Yatay düzleme, eğimli yüzeye gelen direkt ışı nım ve eğim faktörü

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (6.12)$$

$$I_t = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_s \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (6.13)$$

Denklem 6.13’de,  $\beta$  kollektör yerleştirme açısı ve  $\rho_s$  zemin yansıtma katsayısıdır. Çizelge 6.3’de zeminin durumuna göre yansıtma katsayısı değ erleri verilmiştir.  $\rho_s$  değ eri için, Çizelge 6.3’den deney yapılan alana göre toprak, asfalt ve yaş çim değ erlerine bakılarak 0.20 gibi ortalama bir değ er alınmıştır.

Çizelge 6.3 Zemin yansıtma katsayıları

| Zemin                                      | Yansıtma katsayısı |
|--------------------------------------------|--------------------|
| Kar (Yeni yağmış veya buz filmi ile kaplı) | 0,75               |
| Kumlu Yüzey                                | 0,50               |
| Topraklar (Kil, başçık vb.)                | 0,14               |
| Kuru Çim                                   | 0,20               |
| Yaş Çim                                    | 0,26               |
| Beton Kaplı Alan                           | 0,22               |
| Çakıllı Asfalt                             | 0,20               |
| Su Yüzeyleri (geniş geliş açılarında)      | 0,07               |

Yukarıda elde edilen bilgilerle, tasarlanan kollektörün ısı analiz için gerekli olan direkt ve yayılı ışıınım değerleri teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Eylül ve Ekim ayları için ortalama değerler bulunmuştur. Ankara için atmosfer dışı yatay düzleme gelen ışıınım değeri ( $I_o$ ) Denklem 6.1'den  $34.1 \cdot 10^6 \text{ J/m}^2$  olarak hesaplanır. Eğimli yüzeye gelen direkt ışıınım ( $I_{bn}$ ), Denklem 6.8'de değerler yerine konarak  $940.28 \text{ W/m}^2$ , hava kütlesi (m) de Denklem 6.9 ve 6.10'dan 1.23 olarak hesaplanır. Son olarak da direkt ışıınım miktarı ( $I_b$ ) Denklem 6.5'den  $761.76 \text{ W/m}^2$  olarak bulunur.

Deneyde, doğu-batı yönüne çevrilen güneş kollektörü, Ankara'nın enlem açısı olan 39 derece eğimle yerleştirilmiştir. Kollektör yerleştirme eğimi genellikle göz önüne alınan yerin enlem ( $\Phi$ ) açısıdır. Denklem 6.12'de değerler yerine konduğunda eğim faktörü ( $R_b$ ) 0.95 olarak bulunur.  $R_b$  bulunduktan sonra eğimli yüzeyler için teorik direkt ışıınım ( $I_b$ ) değeri Denklem 6.5'den, Yayılı ışıınım ( $I_d$ ) değeri de Denklem 6.6'dan;

$$I_b = 761,76 \times 0,95 = 731,3 \text{ W/m}^2$$

$$I_d = 64,75 \text{ W/m}^2 \quad (C:0,085 \text{ değeri Çizelge 6.2'den bulunmuştur})$$

olarak hesaplanır. Son olarak Denklem 6.13'de bulunan değerler yerine konduğunda toplam ışıınım ( $I_t$ )  $879.9 \text{ W/m}^2$  olarak bulunur.

Çizelge 6.4’de deneyde ölçülen anlık ışıınım değerleri, hava sıcaklık değerleri ve teorik ışıınım değerleri yer almaktadır. Teorik değerlerin ölçülen değerlere yakın olduğu görölmektedir. Çizelge 6.5’de deney yapılan Eylül-Ekim aylarının teorik ve ölçülen verileri bulunmaktadır. Bu çizelgelerde yer alan geçmiş yıllara ait ortalama hava sıcaklık değeri ve deney süresince alınan hava sıcaklık değerleri Devlet Meteoroloji Müdürlüğü’nden alınmıştır.

Çizelge 6.4 Deney yapılan günlerde ortalama ışıınım ve hava sıcaklık değerleri

| Deney yapılan tarih | Günlük ortalama ışıınım değeri( $W/m^2$ ) | Günlük ortalama hava sıcaklık değeri( $C^o$ ) |
|---------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 26-Eylöl-2011       | 974.73                                    | 21.43                                         |
| 27-Eylöl-2011       | 944.70                                    | 22.85                                         |
| 28-Eylöl-2011       | 959.80                                    | 21.05                                         |
| 29-Eylöl-2011       | 975.00                                    | 22.60                                         |
| 02-Ekim-2011        | 991.20                                    | 20.14                                         |
| 03-Ekim-2011        | 1019.95                                   | 19.75                                         |
| 04-Ekim-2011        | 975.10                                    | 19.66                                         |
| 05-Ekim-2011        | 970.23                                    | 20.88                                         |
| 06-Ekim-2011        | 904.50                                    | 22.97                                         |
| 07-Ekim-2011        | 851.30                                    | 23.27                                         |
| 09-Ekim-2011        | 170.38                                    | 16.97                                         |
| 13-Ekim-2011        | 493.10                                    | 17.36                                         |
| 14-Ekim-2011        | 308.39                                    | 13.80                                         |
| 20-Ekim-2011        | 889.19                                    | 13.63                                         |
| 21-Ekim-2011        | 889.21                                    | 16.13                                         |
| Ortalama            | 821.12                                    | 19.50                                         |

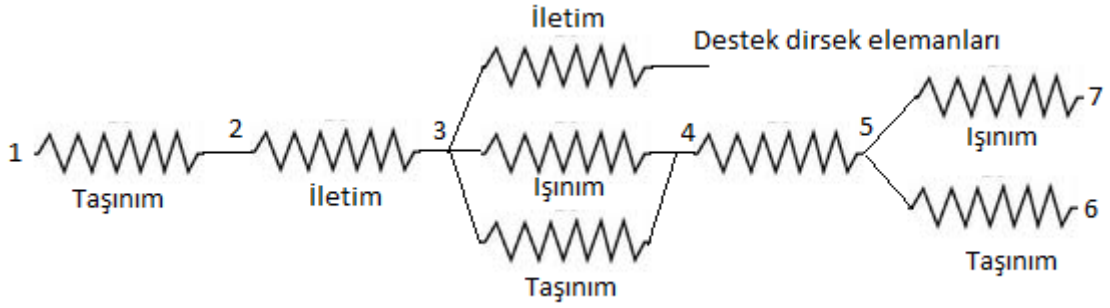
Çizelge 6.5 Teorik ışıınım değeri ile ölçülen değeriın karşılaştırılması

|                          | Teorik ışıınım değeri ve<br>geçmişe ait ortalama hava<br>sıcaklık değeri | Ölçülen ışıınım ve<br>hava sıcaklık<br>değeri |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Anlık ışıınım(ortalama)  | $761.76 \text{ W/m}^2$                                                   | $821.12 \text{ W/m}^2$                        |
| Hava sıcaklığı(ortalama) | $18.00 \text{ }^{\circ}\text{C}$                                         | $19.50 \text{ }^{\circ}\text{C}$              |

Sonuç olarak teorik hesaplara göre tasarlanan kollektörün ısı analiz sonuçları ile deney sonuçlarından elde edilen değeriın birbirine yakın olduğu görölmüşür. Bu da bize yapılan teorik ışıınım hesaplarının doğru olduğunu göstermektedir.

## 7. TASARLANAN KOLLEKTÖRÜN TEORİK ISIL ANALİZİ

Tasarlanan kollektör sisteminin teorik ısı analizinde, ısı transfer mekanizmalarını içeren direnç devresi benzetim yöntemi kullanılmıştır. Şekil 7.1’de direnç benzetim yöntemi gösterilmektedir;



Şekil 7.1 Parabolik kollektörlerin direnç devresi benzetimi

- (1) : Akışkan ortamı
- (2) : Yutucu borunun iç yüzeyi
- (3) : Yutucu borunun dış yüzeyi
- (4) : Cam örtü iç yüzeyi
- (5) : Cam örtü dış yüzeyi
- (6) : Hava ile cam örtü arasındaki taşınım ısı transferi
- (7) : Hava ile cam örtü arasındaki ışıma ısı transferi

Şekil 7.1’de gösterilen destek dirsek elemanı ısı analizde ihmal edilmiştir. Bunun nedeni destek dirsek elemanları uzunluğunun toplam uzunluğa göre az olması ve bu kısımlarda yalıtım malzemesi kullanılmasıdır. Kollektörde gerçekleşen ısı transfer denklem grubu Denklem 7.1 ile 7.5 arasındaki eşitlikleri içerir;

$$q'_{12taş} = q'_{23ile} \quad (7.1)$$

$$q'_{3güneş} = q'_{34taş} + q'_{34ışl} + q'_{23ile} \quad (7.2)$$

$$q'_{45ile} = q'_{34taş} + q'_{34ışl} \quad (7.3)$$

$$q'_{45ile} + q'_{5güneş} = q'_{56taş} + q'_{57ışl} \quad (7.4)$$

$$q'_{ışl kaybl} = q'_{56taş} + q'_{57ışl} \quad (7.5)$$

Çizelge 7.1 Parabolik kolektörlerde oluşan ısı geçişleri

| Isı Akısı              | Isı Transferi Modeli | Isı transferi Yolu    |                        |
|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
|                        |                      | Başlangıç             | Bitiş                  |
| $\dot{q}'_{12tas}$     | Taşıma               | Yutucu boru iç duvar  | Isı transferi akışkanı |
| $\dot{q}'_{23ile}$     | İletim               | Yutucu boru dış duvar | Yutucu boru iç duvar   |
| $\dot{q}'_{3günes}$    | Güneş ışını emilimi  | Gelen güneş ışınımı   | Yutucu boru dış duvar  |
| $\dot{q}'_{34taş}$     | Taşıma               | Yutucu boru dış duvar | Cam kılıf iç duvar     |
| $\dot{q}'_{34ışı}$     | Işınım               | Yutucu boru dış duvar | Cam kılıf iç duvar     |
| $\dot{q}'_{45ile}$     | İletim               | Cam kılıf iç duvar    | Cam kılıf dış duvar    |
| $\dot{q}'_{5günes}$    | Güneş ışınımı emilim | Gelen güneş ışınımı   | Cam kılıf dış duvar    |
| $\dot{q}'_{56tas}$     | Taşıma               | Cam kılıf dış duvar   | Çevre                  |
| $\dot{q}'_{57ışı}$     | Işınım               | Cam kılıf dış duvar   | Gökyüzü                |
| $\dot{q}'_{ısı kaybı}$ | Taşıma ve ışıma      | Isı toplama elemanı   | Çevre ve gökyüzü       |

Yutucu yüzeyle iş akışkanı arasında taşıma ile gerçekleşen ısı transferi vardır. Bu transfer mekanizması Denklem 7.6 ile ifade edilir;

$$q'_{12tas} = h_1 D_2 \pi (T_2 - T_1) \quad (7.6)$$

$$h_1 = Nu_{D_{bi}} \frac{k_1}{D_{bi}} \quad (7.7)$$

Denkleminde bulunan Nusselt sayısı akışkan cinsine göre farklılık göstermektedir. Normal şartlarda bu tür sistemlerde boru içi akışlar türbülanslı olarak nitelendirilir. Ancak sistemin çalışma saatleri dışında ısı transferi akışkanın düşük sıcaklık viskozite değerlerinde akış laminar veya geçiş bölgesi özellikleri gösterebilir. Nusselt sayısı Denklem 7.8 ile bulunur.

$$Nu_{D2} = \frac{\frac{f_2}{8(Re_{D2}-1000)Pr_1}}{1+12,7 \sqrt{\frac{f_2}{8 \left( \frac{Pr_1^2}{Pr_1^3-1} \right)}}} \left( \frac{Pr_1}{Pr_2} \right)^{0.11} \quad (7.8)$$

Bu denklemde  $f_2$  parametresi akışkanın sürtünme katsayısıdır. Bu denklemin geçerli olduğu aralık  $0,5 < Pr_1 < 2000$  ile  $2300 < Re_{D2} < 5 \times 10^6$  olarak tanımlanır.

Yutucu boruda gerçekleşen iletim ısı transferi mekanizması Denklem 7.9 ile ifade edilir. Bu hesaplamada unutulmaması gereken, yutucu yüzey için ısı iletim katsayısı tespitinde ortalama boru sıcaklığının kullanılmasıdır.

$$q'_{23ile} = \frac{2\pi k_{23}(T_2-T_3)}{\ln(D_3/D_2)} \quad (7.9)$$

Yutucu yüzey ve cam örtü arasında oluşan ısı transferi mekanizması iki şekilde gerçekleşmektedir; bunlar ışıınım ve zorlanmamış taşınım ısı transferleridir. Denklem 7.10 ile bu iki yüzey arasındaki zorlanmamış taşınım ısı transferi bulunur.

$$q'_{34tas} = \frac{2.425k_{34}(T_3-T_4)(PrRa_{D3}/(0.861+Pr_{34}))^{1/4}}{(1+(\frac{D_3}{D_4})^{\frac{3}{5}})^{5/4}} \quad (7.10)$$

$$Ra_{D3} = \frac{g\beta_1(T_3-T_4)D_3^3}{\alpha\vartheta} \quad (7.11)$$

$$\text{İdeal gazlar için; } \beta_1 = \frac{1}{T_{ort}} \quad (7.12)$$

Yutucu yüzey-cam örtü arasında gerçekleşen ışıınım ısı transferi, yutucu yüzey dış sıcaklığı ile cam örtü iç yüzey sıcaklığı farkından meydana gelir ve Denklem 7.13 ile bulunur.

$$q'_{34ışl} = \frac{\sigma\pi D_3(T_3^4-T_4^4)}{(\frac{1}{\varepsilon_3}+(1-\varepsilon_4)D_3/(\varepsilon_4D_4))} \quad (7.13)$$

Bir diğer ışıınım ve taşınım ısı transfer mekanizması da cam örtü ile atmosfer arasında gerçekleşir. Buradaki taşınım ısı transferi genelde zorlanmış taşınımdır. Işıınımla olan ısı transferi de çevreyle cam arasındaki sıcaklık

farkından kaynaklanır. Bu zorlanmış taşınım ısı transferi Denklem 7.14 ile tanımlanır;

$$q'_{56taş} = h_{56}\pi D_5(T_5 - T_6) \quad (7.14)$$

$$h_{56} = \frac{k_{56}}{D_5} Nu_{D5} \quad (7.15)$$

$$Nu_{D5} = C Re_{D5}^m Pr_6^n \left(\frac{Pr_6}{Pr_5}\right)^{1/4} \quad (7.16)$$

Bu çalışmada rüzgar faktörünün varlığı kabul edildiğinden denklem Zhukauskas tarafından önerilmiş olan silindirik geometrilerde zorlanmış dış akış formülü ile ifade edilmiştir [12,15]. Bu denklemdeki katsayılar için Çizelge 7.2'den yararlanılmıştır. Burada tüm akışkan özelliklerinin atmosfer sıcaklığında tespit edilmesi gerekmektedir ve  $Pr_6$  değerinin hesaplanmasında cam kılıf dış yüzey sıcaklığı göz önüne alınmalıdır.

Çizelge 7.2 Zorlanmış taşınım ısı transfer katsayısı için Reynolds sayısı ve C, m, n katsayıları [12,14,15]

| $Re_D$         | C     | M   | n                                     | Pr, Re                                                  |
|----------------|-------|-----|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1–40           | 0.750 | 0.4 | 0.37, $Pr \leq 10$<br>0.36, $Pr > 10$ | 0.7 < $Pr_6$ < 500<br>1.0 < $Re_{D5}$ < 10 <sup>6</sup> |
| 40–1000        | 0.510 | 0.5 |                                       |                                                         |
| 1000–200000    | 0.260 | 0.6 |                                       |                                                         |
| 200000–1000000 | 0.076 | 0.7 |                                       |                                                         |

Taşınım ısı transferi incelendikten sonra cam örtü dış yüzeyi ile atmosfer arasında meydana gelen ısı transferi mekanizmasını Denklem 7.17 ile bulabiliriz [3].

$$q'_{57ışl} = \sigma D_5 \pi \varepsilon_5 (T_5^4 - T_7^4) \quad (7.17)$$

Isı transfer mekanizmaları hesaplandıktan sonra yoğunlaştırıcı kollektörde meydana gelen kayıp ısının analizi yapılmalıdır. Bu analiz Denklem 7.18 ile ifade edilir;

$$\frac{Q_{kayıp}}{A_r} = h_w(T_r - T_{atm}) + \varepsilon\sigma(T_r^4 - T_{hava}^4) + U_{iletim}(T_r - T_{atm}) \quad (7.18)$$

Burada “ $h_w$ ” rüzgar taşınım katsayısı olup, kollektör boyu da “ $L$ ” ile ifade edilmektedir. Sonuç olarak kayıp ısı formülü Denklem 7.19’deki biçimde elde edilmiştir;

$$Q_{kayıp} = \pi D_{cd} L h_w (T_{cd} - T_{hava}) + \varepsilon_c \pi D_{cd} L \sigma (T_{cd}^4 - T_{hava}^4) \quad (7.19)$$

Silindirik yutucu yüzeyli güneş kollektörlerinde faydalı ısıyı bulmak için akışkan ortamı referans alınarak toplam ısı transfer katsayısı bulunmalıdır. Bu değer Denklem 7.20 ile bulunabilir;

$$U_o = \left[ \frac{1}{U_L} + \frac{D_d}{h_{akış} D_i} + \frac{D_o \ln(D_d/D_i)}{2k} \right]^{-1} \quad (7.20)$$

$U_o$  : Toplam ısı transfer katsayısı

$D_i, D_d$  : Yutucu boru iç ve dış çapı

$h_{akış}$  : Akışkan taşınım katsayısı

$k$  : Boru ısı iletim katsayısı

Sistemde iş akışkanına aktarılan faydalı ısıyı bulmak için aşağıdaki şu işlemler sırasıyla gerçekleştirilerek faydalı ısı formülü elde edilir;

$$q_f = \frac{A_{açıklık} S}{L} - \frac{A_{alıcı} U_L}{L} (T_{alıcı} - T_{hava}) \quad (7.21)$$

$$q_f = \frac{(A_{alıcı}/L)(T_{alıcı} - T_{akış})}{\frac{D_d}{h_{akış} D_i} + \frac{D_d \ln \frac{D_d}{D_i}}{2k}} \quad (7.22)$$

$$q_f = F' \frac{A_{açıklık}}{L} \left( S - \frac{A_{alıcı}}{A_{açıklık}} U_L (T_{akış} - T_{hava}) \right) \quad (7.23)$$

$$F' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_d}{h_{akış} D_i} + \frac{D_d \ln \frac{D_d}{D_i}}{2k}} = \frac{U_o}{U_L} \quad (7.24)$$

Burada  $F'$  kollektör verim faktörüdür. Bu işlemlerden sonra faydalı ısı için Denklem 7.25 kullanılmaktadır. Bu denklemde  $F_R$  kollektör geri kazanım faktörüdür. Bu değer Denklem 7.26’dan çekilerek bulunur. Denklem 7.26’daki  $F''$  terimi de kollektör akış faktörüdür.

$$Q_f = F_R A_{açıklık} (S - \frac{A_{alıcı}}{A_{açıklık}} U_L (T_g - T_{hava})) \quad (7.25)$$

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{m \times c}{A_{bd} U_L F'} (1 - \exp(A_{bd} U_L F' / m \times c)) \quad (7.26)$$

Yukarıda incelenen ısı transfer mekanizmalarından yola çıkarak tasarlanan kollektörün ısı analizine gökyüzü sıcaklık hesabı ve cam örtü-atmosfer arası ışınlam ısı transferi hesabı ile başlanır. Gökyüzü sıcaklık değeri Denklem 7.27 ile bulunur. Analizde hava sıcaklığı 291 K olarak alınmıştır. Bu değeri geçmiş yıllara ait Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan Eylül ve Ekim ayı ortalama değeridir.

$$T_{g.y.} = T_{hava}^{1.5} \times 0.0552 \quad (7.27)$$

$$T_{g.y.} = 291^{1.5} \times 0.0552 = 274.02K = 1.02^{\circ}C$$

Hesaplamalara cam örtü dış yüzey sıcaklık kabulü yapılarak devam edilir. Cam örtü dış yüzey sıcaklığı 293 K kabulüne göre ısı hesapları gerçekleştirilir. Cam örtü ve hava arasındaki ısı taşınım katsayısı Denklem 7.15 ile bulunur. Denklem 7.15'de yer alan Nusselt sayısını bulmak için Denklem 7.16 ve bu denklemde yer alan Reynolds sayısı için de Denklem 7.28 kullanılır. Denklem 7.16'da C değeri 0.26, m değeri 0.6 ve n değeri de 0.37 olarak Çizelge 7.2'den elde edilir.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1.21 \cdot 2 \cdot 0.036}{1.81 \cdot 10^{-5}} \quad (7.28)$$

Bulunan Reynolds değeri Denklem 7.16'da yerine konduğunda Nusselt sayısı 37.16 olarak bulunur. Bu değeri de Denklem 7.15'de yerine konarak cam örtü ve hava arasındaki ısı taşınım katsayısı bulunur.

$$h_{t-ca} = \frac{0.025}{0.036} \times 37.16 = 25.81 W/m^2K$$

Cam örtü ile atmosfer arası bir diğer ısı transferi de ışınlam ısı transferidir. Cam boruların optik, kimyasal ve fiziksel özellikleri Ek-2'de verilmiştir. Işınlam ısı transfer katsayısı için Denklem 7.29'da değerler yerine konduğunda  $h_{I-ca}$

değeri  $1.1\text{W/m}^2\text{K}$  olarak bulunur. Kollektörde cam örtü ve hava arasında gerçekleşen kayıp ısı hesabı için Denklem 7.30 kullanılır;

$$h_{t-ca} = 4\varepsilon_c\sigma\left(\frac{T_{hava}+T_{cd}}{2}\right)^3 \quad (7.29)$$

$$Q_{kayıp} = \pi D_{cd} L h_{t-ca} (T_{cd} - T_{hava}) + \varepsilon_c \pi D_{cd} L \sigma (T_{cd}^4 - T_{hava}^4) \quad (7.30)$$

Yukarıda yapılan sıcaklık kabulleri ve bulunan değerler Denklem 7.29'da yerine konduğunda kayıp ısı ( $Q_{kayıp}$ )  $60.81\text{ W}$  olarak bulunur. Kayıp ısı ayrıca cam örtüde gerçekleşen iletim ısı transferine eşittir. Bu eşitlik Denklem 7.30 ile gösterilmiştir. Denklem 7.30'da değerler yerine konduğunda, cam örtü iç yüzey sıcaklığı denklemden çekilerek  $293.07\text{ K}$  olarak bulunur;

$$Q_{kayıp} = Q_{ile-cam} = \frac{2\pi k_c (T_{ci} - T_{cd})}{\ln(D_{cd}/D_{ci})} \quad (7.30)$$

Kabul edilen cam örtü dış yüzey sıcaklığından yola çıkarak elde edilen değerler ile yutucu boru ve cam örtü arasındaki taşınım ve ışıınım ısı transfer katsayıları hesapları için yutucu boru dış yüzey sıcaklığı bulunmalıdır. Bunun için de yüzeyde sabit ısı akısı denklemleri kullanılmalıdır. Ayrıca suyun çıkış-giriş sıcaklık farkı da bir tasarım parametresidir. Bu sıcaklık farkı  $5\text{ }^\circ\text{C}$  derece olarak kabul edilmektedir. Öngörülen tasarım kabullerine göre faydalı ısı Denklem 7.31 ile gösterilir. Denklem 7.31'de değerler yerine konduğunda faydalı ısı değeri  $1422.9\text{ W}$  olarak hesaplanır ( $\dot{m}=0.068\text{ kg/s}$ ,  $c=4184\text{ J/kgK}$ ). Burada suyun özgül ısı değeri ( $c$ ), Solar Engineering of Thermal Processes 3<sup>rd</sup> Edition sayfa 856'da suyun özelliklerini içeren tablodan, tasarım için kabul edilen  $19\text{ }^\circ\text{C}$  akışkan ortalama sıcaklığı için bulunmuştur. Denklem 7.32'de bulunan bu değer yerine konduğunda yüzeydeki sabit ısı akısı ( $q_s$ ),  $1811.69\text{W/m}^2$  olarak bulunur;

$$q_f = mc(T_\phi - T_g) \quad (7.31)$$

$$q_f = q_s \times \pi D_{bd} L \quad (7.32)$$

Yutucu boru ortalama iç yüzey sıcaklığı yüzeyde sabit ısı akısı varken Denklem 7.33 ile hesaplanır. Denklem 7.33'deki akışkanın ısı taşınım katsayısını bulmak için de Denklem 7.34'den yararlanılır;

$$T_{bi-ort} = \frac{\dot{q}}{h_{su}} + T_{\zeta} \quad (7.33)$$

$$h_{su} = Nu_{D_{bi}} \frac{k_{su}}{D_{bi}} \quad (7.34)$$

Nusselt sayısı akışkan cinsine göre farklılıklar gösterir. Normal şartlarda bu tür sistemler için boru içi akışlar türbülanslı akışlar olarak nitelendirilir. Ancak sistemin çalışma saatleri dışında akışkanın düşük sıcaklık viskozite değerlerinde akış laminar veya geçiş bölgesi özellikleri gösterebilir. Bu çalışmada türbülans ve geçiş bölgesi için kullanılabilecek ( $Re > 2300$ ) bir bağıntı tavsiye edilecektir [7].

$$Nu_{D_{bi}} = \frac{f/8(Re_{D_{bi}}-1000)Pr_1}{1+12.7\sqrt{\frac{f}{8}(Pr_1^{\frac{2}{3}}-1)}} \left(\frac{Pr_1}{Pr_2}\right)^{0.11} \quad (7.35)$$

$$Re_{D_{bi}} = \frac{\rho u D_{bi}}{\mu} = \frac{999.4 \times 0.38 \times 0.022}{9.45 \times 10^{-4}} = 8841.25 \quad (7.36)$$

$$f = (1.82 \log_{10}(Re_{D_{bi}}) - 1.64)^{-2} \quad (7.37)$$

Denklem 7.35, 7.36 ve 7.37 Petukhov'un geliştirdiği, bu tür akışlar için diğer formüllere göre doğruluğu daha fazla olan denklemlerdir. Bu denklemlerin hata payı yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yaklaşık %6 olarak belirlenmiştir, bu uygulamalar için kullanılan diğer formüllerin hata payı %20'lere kadar çıkmaktadır [7]. Denklem 7.36'da bulunan Reynolds değeri Denklem 7.37'de yerine konduğunda f değeri 0.03255 olarak hesaplanır. Bulunan bu sürtünme katsayısı Denklem 7.35'e yerleştirildiğinde boru içindeki akış için Nusselt sayısı 68.31 olarak bulunur. Sonuç olarak elde edilen değerler Denklem 7.34'de yerine konduğunda; akışkanın ısı taşınım katsayısı ( $h_{su}$ ) 1862.89 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanır. Bu değer de Denklem 7.33'de yerine konduğunda yutucu boru iç yüzey sıcaklığı 296.97 K olarak bulunur. Bulunan bu sıcaklık değeri yutucu boru dış yüzey sıcaklığını bulmada yardımcı olacaktır. Yutucu boru dış sıcaklığı Denklem 7.38'den bulabiliriz;

$$q_f = q_{ile} = \frac{2\pi k_b(T_{bd}-T_{bi})}{\ln(D_{bd}/D_{bi})} \quad (7.38)$$

Denklemden  $k_b$  değeri 90 W/mK'dir (Ankara Bakır firmasından alınan değerdir, malzeme alışım olduğundan dolayı saf bakırdan daha düşük ısı iletim katsayısına sahiptir. Saf bakırın ısı iletim katsayısı  $k_b=314\text{W/mK}$ 'dir). Denklem 7.38'den yutucu yüzey dış sıcaklık terimi çekilerek, 297.3 K olarak hesaplanır.

Yutucu boru ile cam örtü iç yüzey arasındaki taşınım ısı transferi katsayısını bulmak için Denklem 7.39'dan yararlanılır. Denklemden  $k_e$  değeri cam örtü ve yutucu boru arasındaki havanın efektif ısı iletim değeridir [15];

$$h_{t-bc} = \frac{2k_e}{D_{bd}\ln(D_{ci}/D_{bd})} \quad (7.39)$$

$$k_e = k_{hava} \times C(GrPr)^n(L/\rho)^m \quad (7.40)$$

$$GrPr = \frac{g\beta(T_{bd}-T_{ci})D^3}{\nu^2} = 8658.18, C: 0.11, n: 0.29, m: 0$$

Bulunan GrPr değeri Denklem 7.40'da yerine konduğunda  $k_e$  değeri 0.039 W/mK'dir. Bu değer de Denklem 7.39'da yerine konduğunda yutucu boru ve cam örtü arasındaki ısı taşınım katsayısı ( $h_{t-bc}$ ) 11.24W/m<sup>2</sup>K olarak bulunur.

Cam örtü ve yutucu boru arasında gerçekleşen diğer ısı transferi de ışıınım ısı transferidir ve ışıınım ısı transfer katsayısı da Denklem 7.41 ile hesaplanır;

$$h_{i-bc} = \frac{\sigma(T_{ci}+T_{bd})(T_{ci}^2+T_{bd}^2)}{\frac{1}{\epsilon_b} + \frac{D_{bd}}{D_{ci}} \times (\frac{1}{\epsilon_c} - 1)} \quad (7.41)$$

Çizelge 5.2'den  $\epsilon_b$  değeri mat siyah yüzey için 0.88, Ek-2'den  $\epsilon_c$  değeri 0.19 alınıp, denklemde yer alan sıcaklık değerleri de yerine konduğunda Denklem 7.41'den ışıınım ısı transfer katsayısı ( $h_{i-bc}$ ) 1.35 W/m<sup>2</sup>K olarak bulunur.

Kayıp ısı, yutucu boru ve cam örtü arasındaki ısı denkleminde eşittir. Bu eşitlik bize tasarım kabullerinin doğruluğunu gösterecektir.

$$Q_{kayıp} = q_{t-bc} + q_{l-bc} = \frac{2\pi k_e L \Delta T}{\ln(\frac{D_{ci}}{D_{bd}})} + \frac{\sigma \pi L D_{bd} (T_{bd}^4 - T_{ci}^4)}{\frac{1}{\epsilon_b} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} = q_{t-ca} + q_{l-ca} \quad (7.42)$$

Bulunan yutucu boru ve cam örtü arasındaki ısı transfer değerleri yerine konarak Denklem 7.42'deki kayıp ısı ve 7.30'daki kayıp ısı karşılaştırılır. Değerler konulduktan sonra Denklem 7.42'nin sonucu 41 W olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değer Denklem 7.30'daki kayıp ısı değeri olan 60.81 W değerine eşit değildir. Bu da yapılan tasarım kabullerinin hatalı olduğunu göstermektedir. İterasyon yöntemiyle yeni tasarım kabulleri yapılmalıdır.

Isıl analiz cam örtü dış yüzey sıcaklığını 292.65 K olarak kabul edip hesaplar tekrar yapıldığında;

Yeni kabullere göre Denklem 7.14 ve 7.15 kullanılarak cam ile hava arasındaki taşınım ısı transfer katsayısı ( $h_{t-ca}$ ) değeri 25.8 W/m<sup>2</sup>K olarak bulunur ve Denklem 7.28'den de ışıınım ısı transfer katsayısı ( $h_{l-c}$ ) değeri 1.06 W/m<sup>2</sup>K olarak hesaplanır. Bulunan bu katsayı değerlerine göre kayıp ısının yeni değeri Denklem 7.30'dan 50.1 W olarak bulunur.

Elde edilen değerlerle Denklem 7.31'den cam örtü iç yüzey sıcaklığı 292.71 K bulunur. Denklem 7.33 ile yutucu boru iç yüzey sıcaklığı ( $T_{bi}$ ) 296.68 K ve Denklem 7.38 ile yutucu boru dış yüzey sıcaklığı ( $T_{bd}$ ) 297.32 K olarak bulunur. Bu değerler ile; Denklem 7.39 ve 7.40'dan yararlanarak yutucu boru cam arası taşınım ısı transfer katsayısı ( $h_{t-bc}$ ) 11.62 W/m<sup>2</sup>K, Denklem 7.41'den de yutucu boru cam arası ışıınım ısı transfer katsayısı ( $h_{l-bc}$ ) 1.43 W/m<sup>2</sup>K olarak bulunur. Bulunan bu yeni değerler Denklem 7.42'de yerine konduğunda kayıp ısı değeri 49.9 W olarak bulunur. Bu da cam örtü dış yüzeyinden atmosfere olan ısı kaybına neredeyse eşittir. Elde edilen bu sonuçlar, yeni cam örtü dış yüzey sıcaklık kabulünün doğru yapıldığını göstermektedir.

Faydalı ısı hesabı için kollektörün yüzey sıcaklıkları ve ısı transfer katsayıları bulunduğundan sonra toplam ısı transfer katsayısı hesaplanmalıdır. Hesaplamalara eşdeğer ısı direnç hesabı ile başlanır. Denklem 7.43'e yukarıda elde edilen değerler konulduğunda toplam ısı transfer katsayısı hesaplanabilir.

$$R_T = \frac{1}{U_L A_{bd}} = \left[ \frac{1}{(h_{t-bc} + h_{l-bc}) A_{bd}} + \frac{1}{(h_{t-ca} + h_{l-ca}) A_c} \right] \quad (7.43)$$

Eşdeğer ısı direnç hesaplandıktan sonra Denklem 7.43'den toplam ısı transfer katsayısı ( $U_L$ ) 9.73 W/mK olarak hesaplanır. Akışkan ortamı referans alınarak hesaplanan toplam ısı transfer katsayısı ( $U_o$ ) da Denklem 7.19'dan 9.6 W/mK olarak bulunur ;

Faydalı ısı hesabı için kollektör verim faktörü, kollektör akış faktörü ve kollektör geri kazanım faktörü hesaplamaları yapılmalıdır. Kollektör verim faktörü Denklem 7.24, kollektör akış faktörü ve kollektör geri kazanım faktörü de Denklem 7.25 ile hesaplanır. Bulunan değerler yerine konduğunda kollektör verim faktörü ( $F'$ ) 0.98 olarak elde edilir. Faydalı ısı formülünde kullanılan kollektör geri kazanım faktörü ( $F_R$ ) de Denklem 7.25'den çekilerek 0.96 olarak hesaplanır. Denklem 7.24'de "S" değeri kollektör açıklık alanına gelen ve optik kayıplardan sonra faydalı ısı için kullanılan değerdir. Bu değer Denklem 7.44 ile bulunur. Son olarak Denklem 7.24'de bulunan değerler yerine konduğunda tasarlanan kollektör sistemi için faydalı ısı ( $Q_f$ ) değeri 1268.3 W olarak elde edilir.

$$S = I \times \eta_o = 950 \times 0.62 = 590 \text{ W} \quad (7.44)$$

Faydalı ısı hesabından sonra ısı analizinin doğruluğu için kollektör giriş çıkış sıcaklık farkı Denklem 7.45'den kontrol edilir. Denklem 7.45'den sıcaklık farkı 4.5 °C derece olarak bulunur;

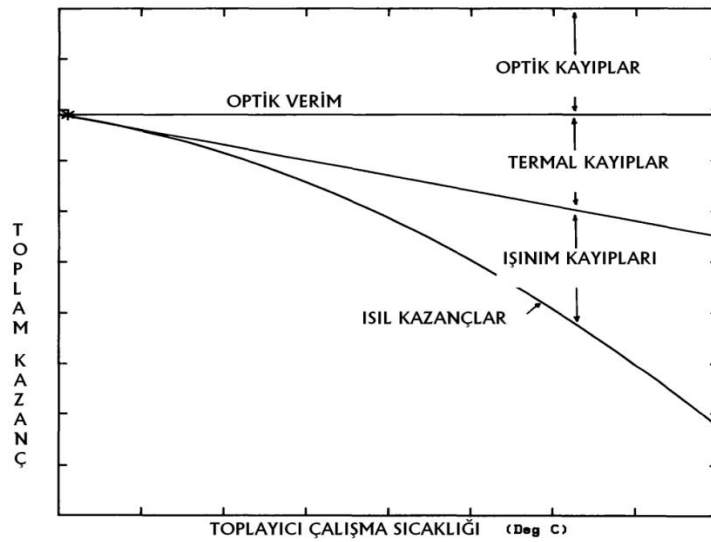
$$\Delta T = \frac{Q_f}{\dot{m} c} = \frac{1268.3}{0.068 \times 4183} = 4.5 \text{ °C} \quad (7.45)$$

Bu değer, tasarım kabullerine ve ısı analiz hesaplarına başlarken tasarım hesabı için ön görülen giriş-çıkış sıcaklık farkına ( $\Delta T=5.0^{\circ}\text{C}$ ) yakındır. Bu da yapılan kabullerin ve hesapların doğruluğunu göstermektedir.

Birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kollektörlerin ısı performansını etkileyen faktörler de incelenmesi gereken bir konudur. S ışıınım değeri, kollektör performansını etkileyen en önemli faktördür. S değeri optik kayıplardan sonra bulunan değerdir. Bu tür kollektörlerin teorik ısı verimi Denklem 7.46 ile hesaplanır.

$$\eta_k = \frac{q_u}{I_c A_{yansiyen}} = \eta_o - \frac{U_L(T_{bd} - T_{hava})}{I_c} \frac{1}{Y.O.} \quad (7.46)$$

Parabolik kollektörlerde optik kayıpların analiz edilmesi zor ve önemli bir aşamadır. Bu aşamada üretilecek olan denklemler her zaman ve her durumda geçerli değildir. Bunun en temel nedeni verim ifadesinin belli varsayımlar ile oluşturulmasıdır. Şekil 7.2'de genel bir ifade ile kollektör veriminin ortalama iş akışkan sıcaklığına göre değişimi görülmektedir. Bu değişim optik kayıplar, ısı kayıplar ve kollektörde elde edilen faydalı ısının sıcaklıkla değişimini içerir. Optik kayıplar sıcaklıkla değişmezken, ısı kayıplar sıcaklık ve güneş ışıınımına bağlı olarak değişim gösterirler.



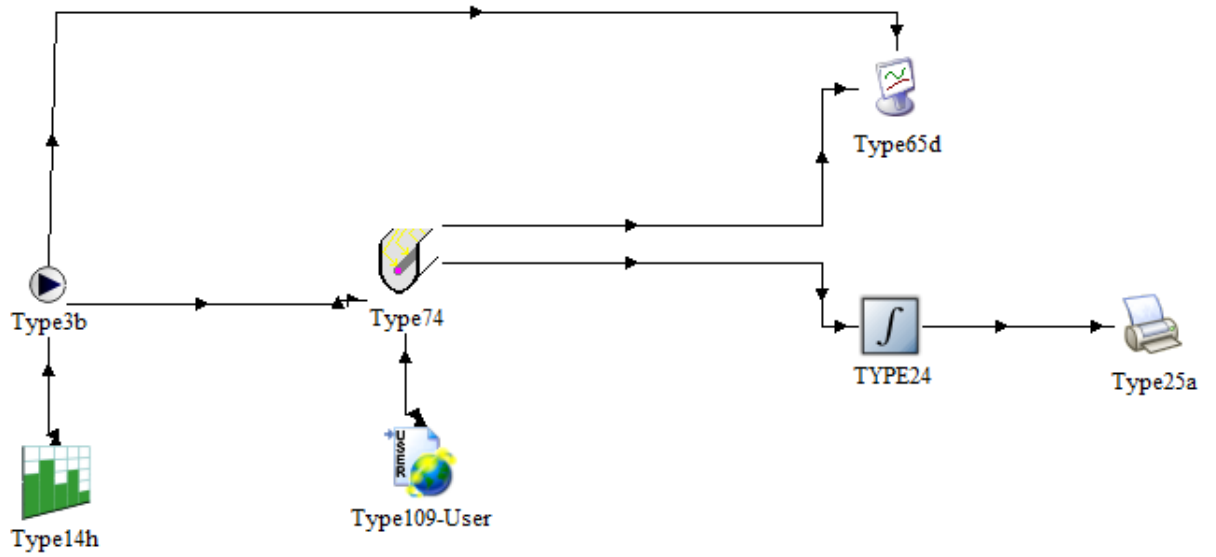
Şekil 7.2 Yoğunlaştırıcı kollektörlerde oluşan kayıplar ve ısı kazanç grafiği

## 8. SİMÜLASYON İÇİN KULLANILAN TRNSYS-16 PROGRAMI VE TASARLANAN DENEY DÜZENEĞİNİN SİMÜLASYONU

Enerji üretim sistemlerinde, ısı ve elektrik üretimi uygulamaları gelişen teknolojiyle daha zor ve karmaşık hale gelmiştir. Sistem tasarımları, testleri, maliyetleri, malzeme özellikleri ve geliştirilmesi üzerinde yapılan çalışmalara önem verilmektedir. Bu aşamalar için sistemi her defasında kurmak maliyetli ve zaman açısından elverişsizdir. Tasarım ve sistem üzerindeki değişiklikler bilgisayar destekli simülasyon programları yardımıyla gerçekleştirilebilir. Enerji sistemleri için kullanılan bilgisayar destekli simülasyon programlarından biri de TRNSYS (Transient System Simulation Tool)'dir.

TRNSYS-16'da kullanıcı arayüzüne önem verilmiştir. Kullanıcılar, tasarımı alt sistemlere bölebilir, farklı sistemleri birleştirebilir, malzeme yapısını inceleyebilir, 1000'e yakın bölgenin meteorolojik bilgilerine ulaşabilir ve enerji uygulamalarında bunun gibi birçok işlemi gerçekleştirebilirler. TRNSYS-16 genellikle binaların ısıtma, soğutma, enerji giderleri, yenilenebilir enerji teknolojileri ve HVAC sistemleri için kullanılmaktadır. Program orijinal olarak "Solar Energy Laboratory at the University of Wisconsin" tarafından yazılmıştır. TRNSYS-16'nın başka yazılımlarla ilişkisi de ön plana çıkarılmıştır, bu yazılımlar; Java, Excel, Matlab, C/C++ vb. yazılımlardır.

Yapılan tez kapsamında tasarlanan kollektör sistemi TRNSYS-16'da kurularak sistemin çalışmasına ait simülasyon değerleri elde edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. TRNSYS-16'da oluşturulan sistem Şekil 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1 TRNSYS-16’da simülasyonu gerçekleştirilen sistem ve bileşenleri

Simülasyon için kurulan sistemin bileşenlerin özellikleri aşağıda açıklanmıştır;

- a) Type14h modülü, sistemin çalışması için ilk başlangıç değerinin verilmesini ve belirtilen zaman dilimlerinde çalışmasını sağlar. Bu modül pompa modülüne bağlanır.
- b) Type3b modülü, kolektörü besleyen pompadır. Pompadan gelen akışkan kolektöre gider. Bu modülden kolektörün giriş sıcaklığını ayarlayabiliriz. Bu nedenle modül kolektör giriş çıkış sıcaklık farkını kullanıcıya gösteren Type65d’ye giriş sıcaklık değeri için bağlıdır.
- c) Type65d modülü ekran çıktısı için gerekli bileşendir.
- d) Type74, sistemdeki birleşik parabolik kolektördür. Pompadan beslenen kolektör ekran çıktısı için Type65d’ye ve dökümantasyon için de Type25a’ya bağlanır. Bu modüle kolektör tasarım parametreleri sistem girdisi olarak verilebilir. Bu parametreler, kolektör alanı, optik ve ısı özellikler (yansıtıcı yüzey yansıtma oranı, yutucu boru yutma oranı, cam örtü geçirgenlik oranı, yutucu boru ısı iletim katsayısı, kolektörün toplam ısı transfer katsayısı, kolektör yerleştirme açısı vb.) gibi değerlerdir.

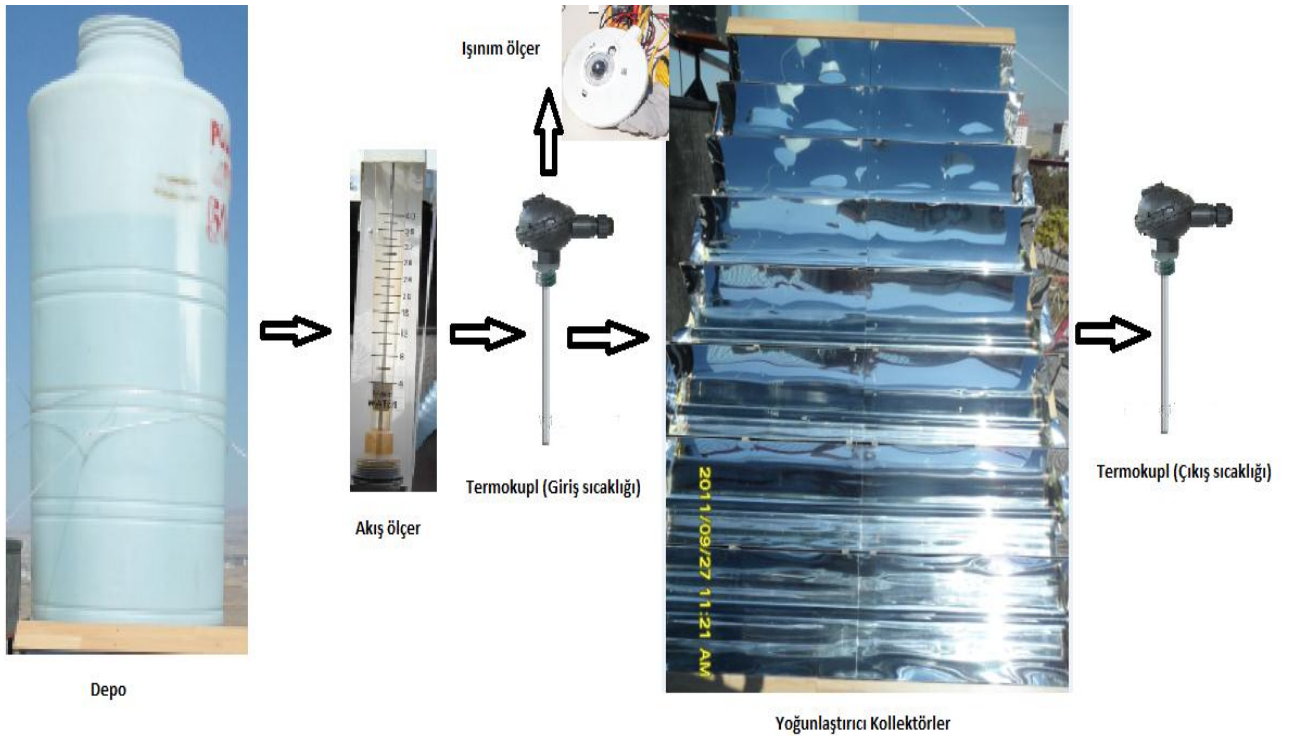
e) Type109-user modülü kullanıcı hava verileri için kullanılır. Bu modül kullanıcıya hava sıcaklığı, bulunan yerin enlem-boylam değerleri, ışıınım değerleri gibi hava değerleri girmesini sağlar. Bu çalışmada modülün içine veri olarak anlık hava sıcaklığı, anlık ışıınım değeri, enlem ve boylam değerleri girilmiştir.

Simülasyonu yapılan sistemin deney değerleri ile karşılaştırılması Bölüm 9'da incelenmiştir. Bu bölümdeki grafiklerde TRNSYS çıkış sıcaklık değerlerinin, TRNSYS'de elde edilen faydalı ısı değerlerinin ve TRNSYS kollektör verim değerlerinin teorik ve deneysel sonuçlara göre yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle çıkış sıcaklık grafiklerinde deney sürecinin sonuna doğru deney sonuçları ve simülasyon sonuçları arasındaki fark artmaktadır. Bunun nedeni Type109-user'da azimut açısı, saat açısı gibi güneş açıları değerlerinin kullanıcı tarafından girilememesi, belirtilen enlem ve boylama göre değerlerin program tarafından oluşturulmasıdır.

Deney sonuçları ve TRNSYS sonuçlarının yakın olması ve teorik değerlerinde bu iki sonuç arasında olması, TRNSYS programının gerçeğe yakın değerler verdiğini göstermiştir. Hem literatürde elde edilen bilgilere hem de yapılan çalışmada elde ettiğimiz değerlere dayanarak bu tür enerji uygulamalarında TRNSYS kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

## 9. DENEY VERİLERİ, KOLLEKTÖR PERFORMANSI VE ISIL VERİM DEĞERLENDİRMESİ

Tasarlanan deney düzeneğinde depodan kollektöre gelen iş akışkanının giriş ve çıkış sıcaklıkları incelenecektir. Bunun için kollektör giriş ve çıkışına termoçiftler yerleştirilmiştir. Depo kullanılmasının nedeni akış hızının mümkün olduğunca sabit gelmesini sağlayarak termoçiftlerin hatalı ölçüm yapmasını ve akışkan giriş sıcaklığının ani değişimler yapmasını engellemektir. Eğimli olarak yerleştirilen kollektör üzerine ışınlmölçer yerleştirilmiştir. Böylece eğimli yüzeye gelen ışınlm değeri ölçülür. Deney değeri saat 11:30-15:30 arasında 5'er dakika arayla alınmıştır. Piranometre'nin + ve - uçları bir voltmetreye bağlıdır. Buradan voltaj olarak ölçülen değeri cihazın duyarlılığına bölünerek metrekaresine düşen ışınlm değeri elde edilir. Ölçülen giriş çıkış sıcaklıkları ve ışınlm değeri bilgisayara girilmektedir. Deney düzeneği Şekil 9.1'de gösterilmiştir.



Şekil 9.1 Deney düzeneğini oluşturan bileşenler



Şekil 9.2 Deney düzeneği resim-1



Şekil 9.3 Deney düzeneği resim-2



Şekil 9.4 Deney düzeneği resim-3



Şekil 9.5 Deney düzeneği resim-4



Şekil 9.6 Deney Düzeneği resim-5

Deneyde kullanılan cihazlar özelliklerinin bilinmesi deney sonuçlarının doğruluğu açısından önem arz etmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan cihazlar ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- a) Akış ölçer, (debi ölçer) depodan gelen akışkanın kollektöre giriş hızının sabit tutulmasını sağlayan elemandır. Depo çıkışına konan bir vana ile akışın debisi akış ölçerde görülerek sabit tutulmuştur. Deneyde akışın debisi 4 lt/dk. olarak ayarlanmıştır.
- b) Deney düzeneğinde iş akışkanının giriş çıkış sıcaklıklarını ölçen termočiftler, Elimko marka T tip termočiftlerdir. Bu termočiftler teorikte yaklaşık -200 ile 350 °C arasında çalışabilmektedir. Üretici firmadan alınan bilgilere dayanarak deney düzeneğinde kullanılan termočiftler -165 ile 320 °C arasında çalışma özelliğine sahiptirler. Kullanılan termočiftlerin

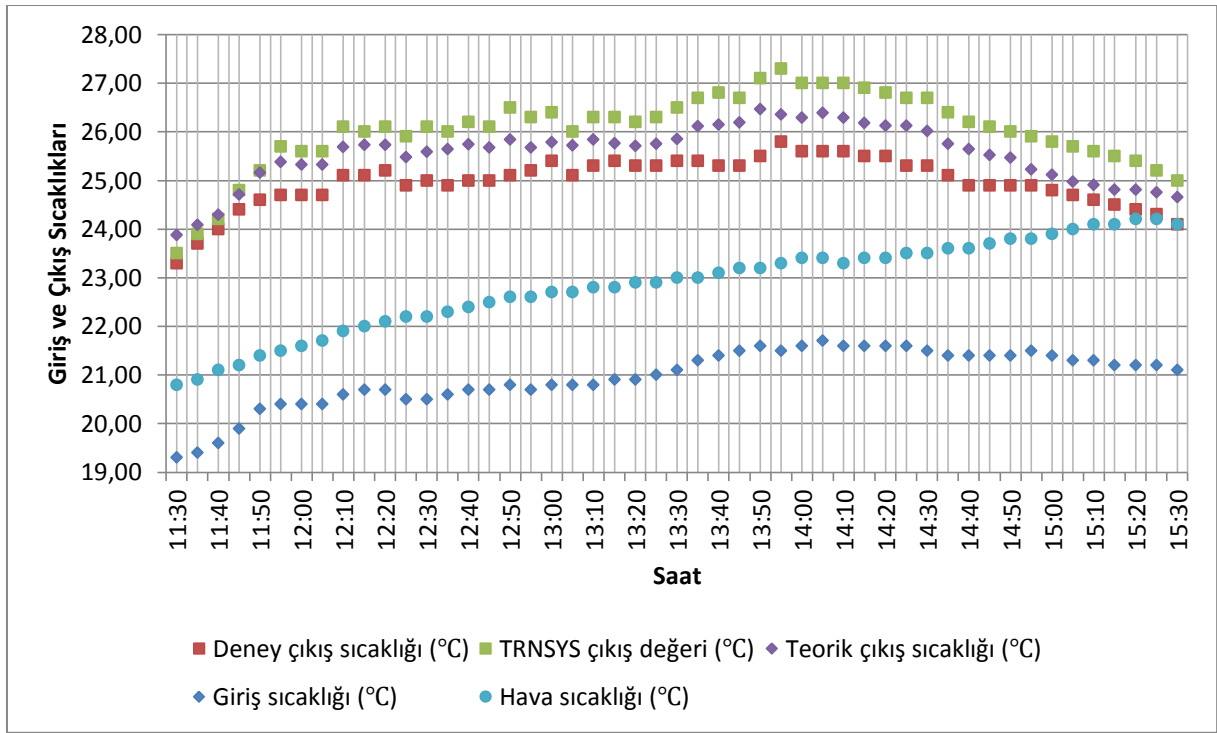
hassasiyeti  $40.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  değerindedir. Bu termočiftlerin hata payı da  $T+(0.0035 \times T)$  ile hesaplanır.

- c) Deney düzeneğinde kullanılan ışıyımölçer Kipp&Zonen adlı markanın SMP11 modelidir. Bu cihazın hassasiyeti  $8.17 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$  değerindedir. Deneyde cihaz bir voltmetreye bağlıdır ve voltmetreden okunan değer mV seviyesindedir. Işıyım değerini bulmak için okunan değer, cihazın hassasiyetine bölünerek bulunur. Bu cihazın tepki verme süresi 2 saniyeden küçüktür. Bu cihaz  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  ışıyım değerinde %0.2'den küçük hata oranına sahiptir.

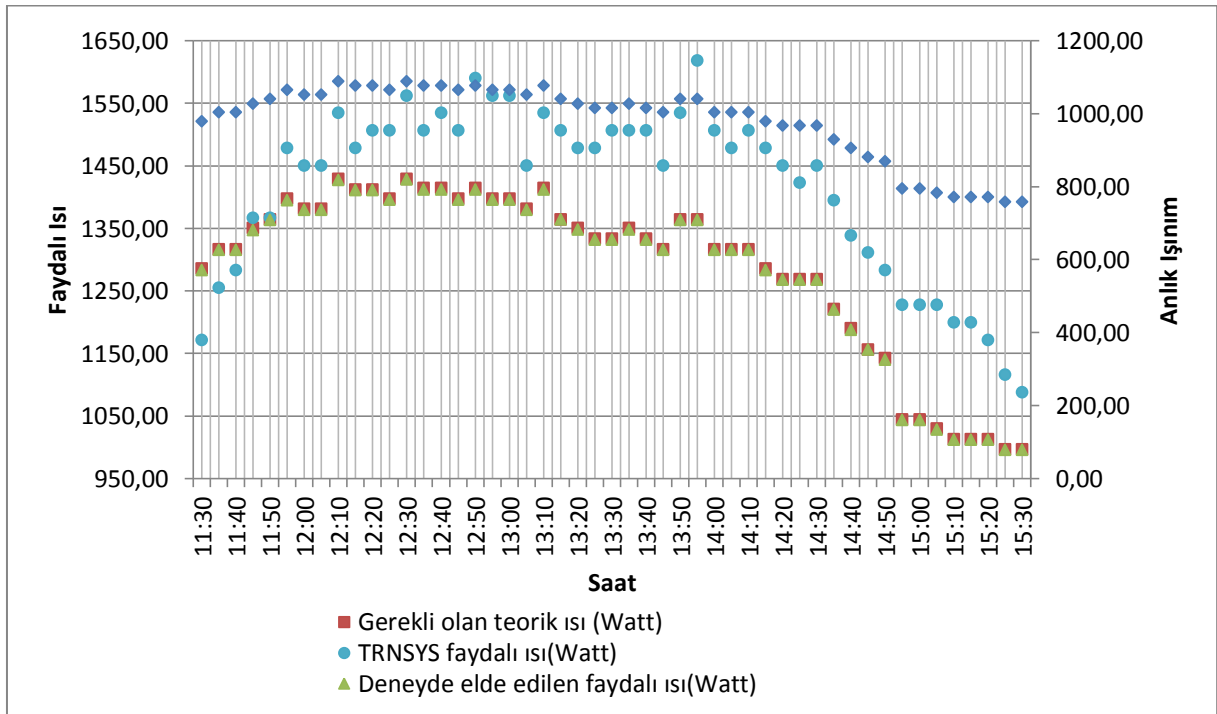
Matematiksel modeli oluşturulan ve üretilen kollektörün deneysel verileri bu bölümde incelenmiştir. Deneyler kapalı hava (bulutlu), parçalı bulutlu hava ve açık hava (bulutsuz) olmak üzere 3 farklı hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kollektör sisteminin performansı da bu hava koşullarına göre değerlendirilmiştir. Açık hava koşullarında sistemin sıcaklık davranışı Şekil 9.7'de görölmektedir. Deney yapılan saatler arasında hava sıcaklığı artış göstermektedir, buna bağlı olarak depodan gelen akışkanın da sıcaklığında artış olmuştur. Şekilde güneşin daha dik olduğu gün ortası saatlerine kadar çıkış sıcaklığının artış gösterdiği daha sonra zamanla azaldığı görölmektedir. Bunun nedeni yoğunlaştırıcı kollektörlerin direkt güneş ışıyımına bağlı olarak çalışmasıdır. Ayrıca deney çıkış sıcaklığının teorik çıkış sıcaklığından düşük olduğu görölmektedir. Bu normal bir sonuçtur. Çünkü teorik hesaplarda destek dirsek elemanlarından kaynaklı kayıplar hesaplanmamıştır ve deneysel hataların (kesişim hataları, cihaz ve ölçüm hataları, kollektör yerleştirmesinden kaynaklı hatalar) bu sonuca etkisi vardır. TRNSYS çıkış değerleri ise teorik değerlerin biraz üstündedir. Bunun nedeni de TRNSYS'e güneş açıları ile ilgili verilerin hepsinin girilememesidir. Simölasyon için yazılıma verilen enlem ve boylam değerlerine göre güneş açıları TRNSYS yazılımı tarafından otomatik belirlenmiştir.

Şekil 9.8’de açık gün için anlık ışıınım ve faydalı ısı grafiği gör÷lmektedir. Deney yapılan zaman süresince anlık ışıınım değeri gün ortasına kadar artmakta ve daha sonra azalmaktadır. Bu tip yoğunlaştırıcı kollektörlere etki eden en önemli faktör direkt güneş ışıınıdır. Denklem 7.45’den ve Denklem 7.47’den bu açıkça gör÷lmektedir. Yine anlık ışıınıma bağlı olarak teorik faydalı ısı, deneysel faydalı ısı ve TRNSYS faydalı ısı değeri gün ortasına kadar artmakta ve daha sonra da düşmektedir.

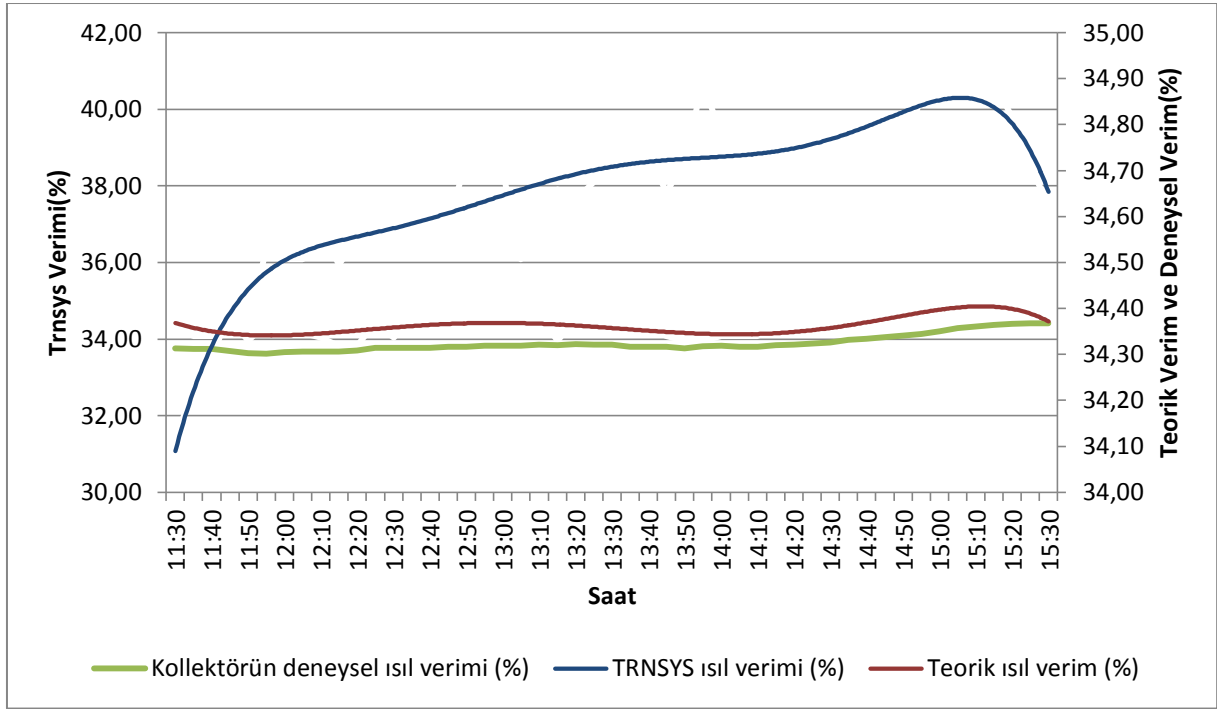
Şekil 9.9’da sistemin ısı verim grafiği gör÷lmektedir. Teorik verimin deneysel verimden biraz fazla olduğu gör÷lmektedir. Bu fark Şekil 9.7’de çıkış sıcaklıkları arasındaki farka yansımıştır. TRNSYS veriminin teorik değeri yüksek olmasının nedeni belirttiğimiz gibi güneş açılarının kullanıcı tarafından girilememesine bağlıdır. Açık gün koşulları için Şekil 9.10’da giriş sıcaklığı ve hava sıcaklığı arasındaki farkın kollektör verimi üzerindeki etkisi gör÷lmektedir. Bu fark arttıkça kollektör veriminin de arttđı gör÷lmektedir. Bu artışın sebebi faydalı ısı form÷lü olan Denklem 7.25’de “ $(T_g - T_a)$ ” terimi ile açıklanır. Denklemde gör÷ldüğü gibi bu terimin önünde eksi ifadesi bulunmaktadır. Bundan dolayı terim eksi değeri aldığında faydalı ısıya artı yönde katkı sağlamaktadır. Akışkan sıcaklığı hava sıcaklığından daha düşük olduğuunda ısının yönü havadan akışkana doğrudur. Bu da ısı kaybını azaltır ve ısı verim artar. Açık havalı günlerde elde edilen deney sonuçlarına göre kollektör sisteminin beklenen şekilde olduğu ve yoğunlaştırıcı kollektörlerin bu tür hava koşulları için uygun olduğu gözlemlenmiştir.



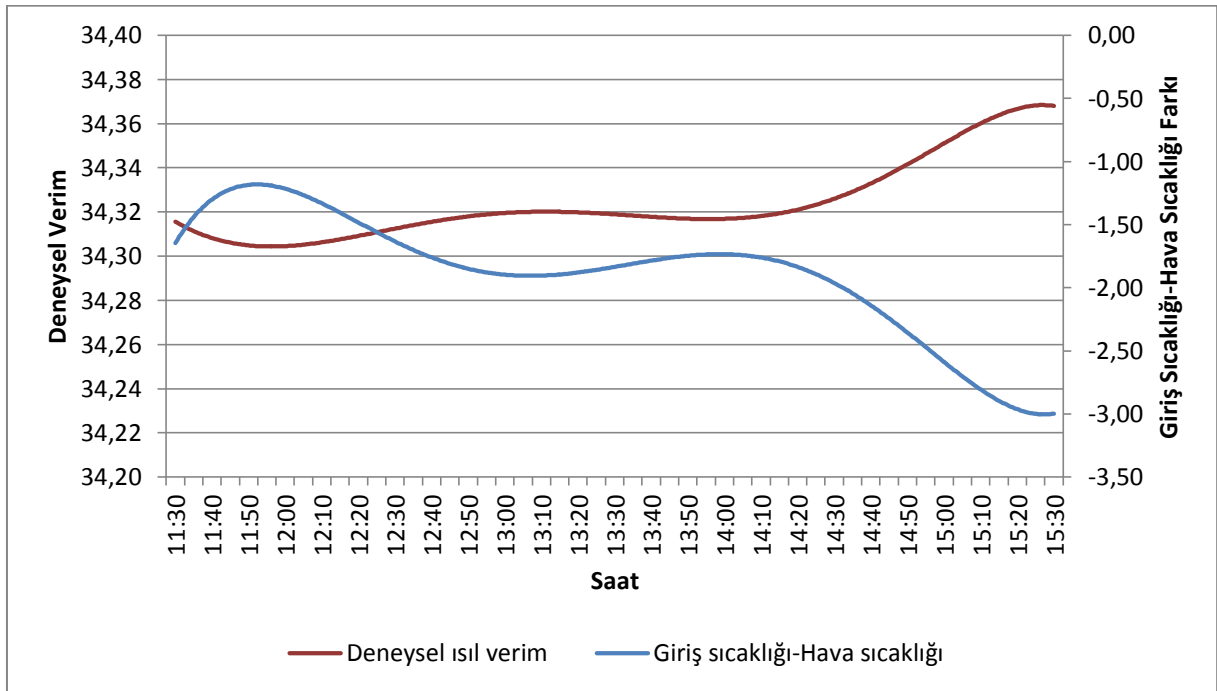
Şekil 9.7 Açık gün için anlık hava ve suyun giriş, çıkış sıcaklık grafikleri



Şekil 9.8 Açık gün için anlık güneş ışınlımı ve faydalı ısı grafikleri

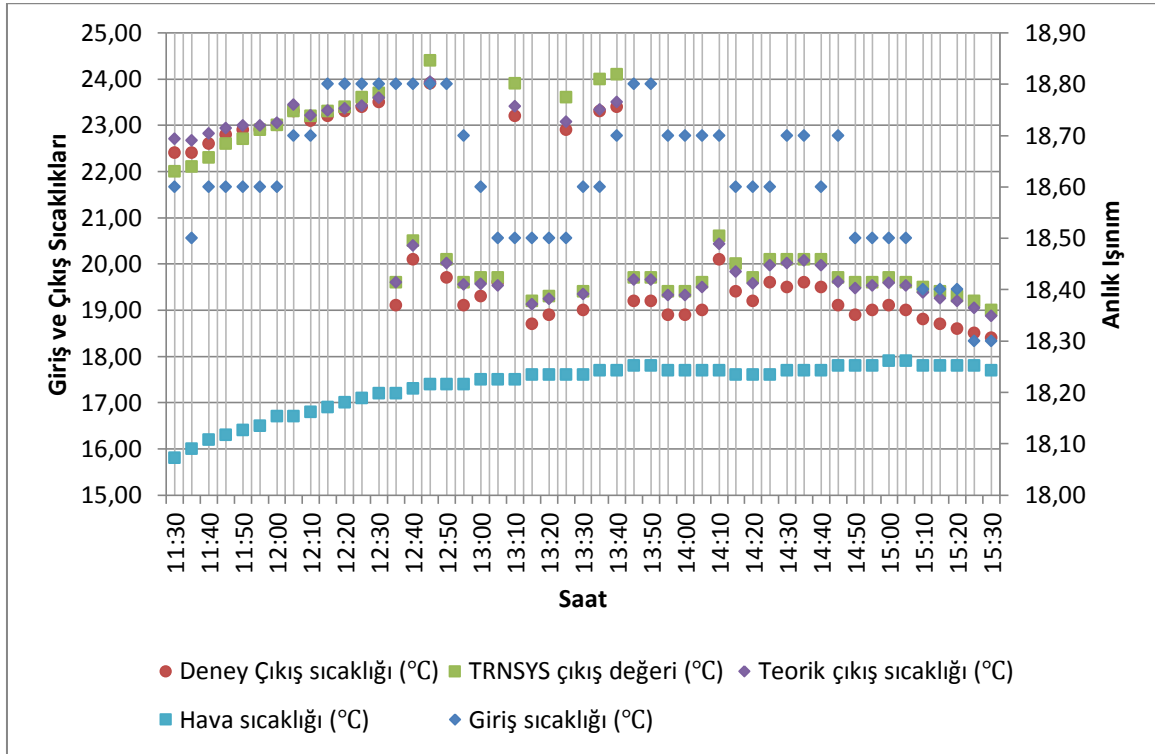


Şekil 9.9 Açık gün için teorik, deneysel ve TRNSYS ısı verimlerinin karşılaştırılması

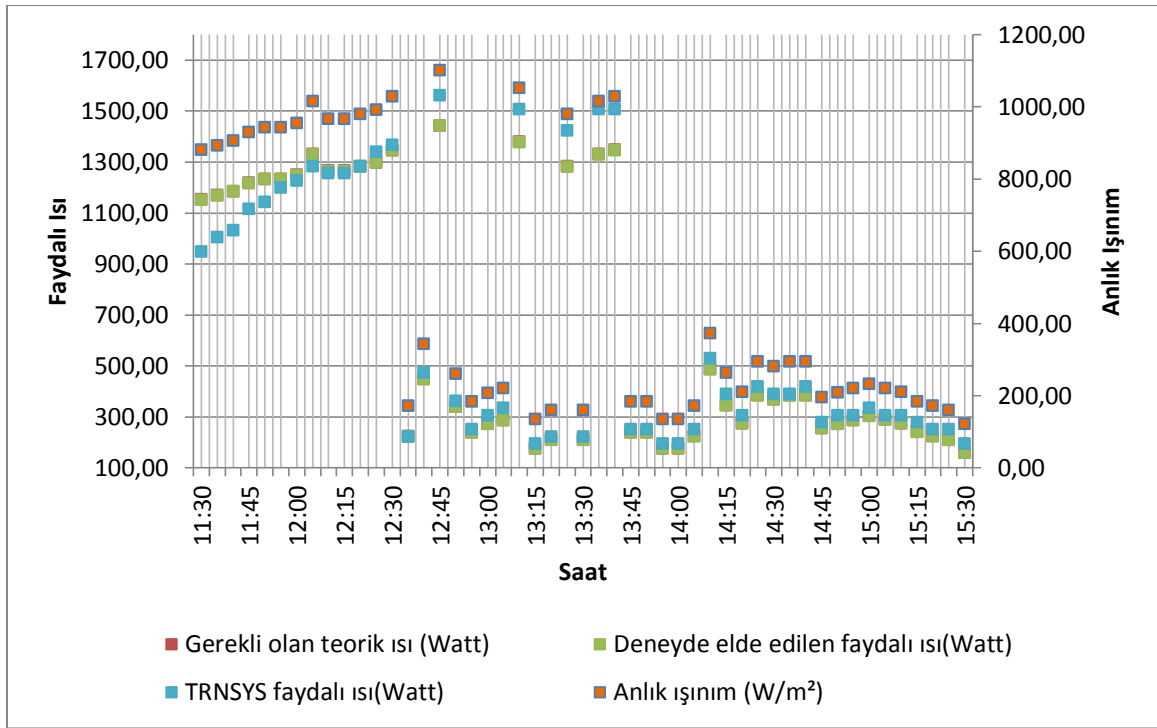


Şekil 9.10 Deneysel verimin, giriş sıcaklığı-hava sıcaklığı farkına göre değişimi

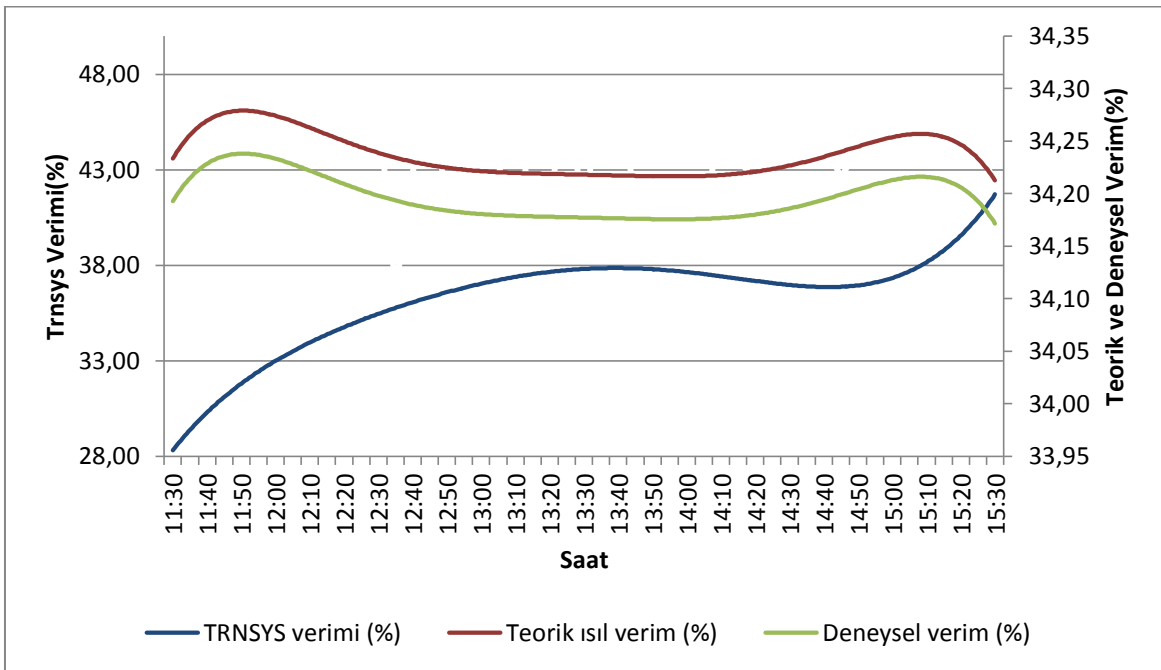
Parçalı bulutlu günlerde yapılan deney verilerine göre kollektör sistemi incelendiğinde, ışıınım değeri hızlı değışimler gösterdiği için ışıınıma bağı olarak elde edilen verilerde de ani değışimler olduğı görölmektedir. Şekil 9.11'de güneşin bulut arkasına gelmesinden dolayı direkt ışıınım azaldığındaki değışimler görölmektedir. Giriş sıcaklığı ve hava sıcaklığında ani değışimler olmamıştır ancak direkt ışıınıma bağı olarak çıkış sıcaklığı hızlı değışimler göstermiştir. Bu şekilde yoğunlaştırıcı kollektörlerde direkt ışıınımın etkileri daha iyi görölmektedir. Şekil 9.12'de parçalı bulutlu günler için anlık ışıınıma bağı faydalı ısı grafikleri verilmiştir. Buradan da kollektör çıkış sıcaklığındaki dalgalanmaların nedeninin direkt ışıınım değeri olduğı görölmektedir. Ayrıca ışıınımdaki bu değışiklikler kollektör verimini de etkilemektedir. Bu da Şekil 9.13'de görölmektedir.



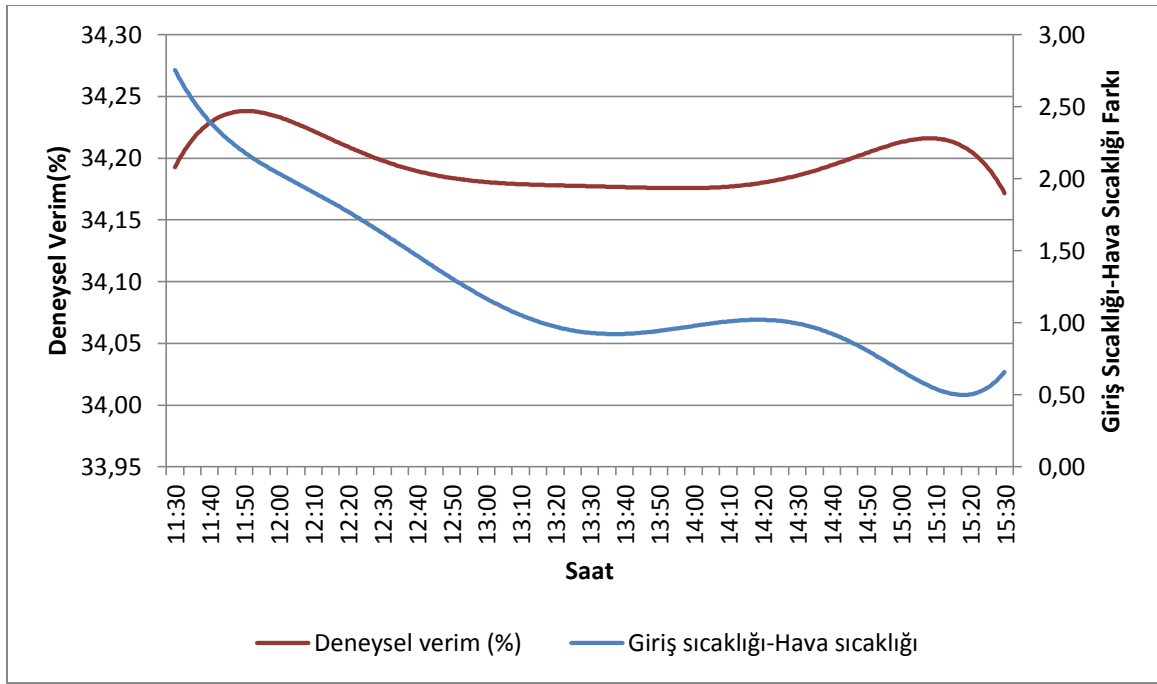
Şekil 9.11 Parçalı bulutlu gün için anlık hava ve suyun giriş, çıkış sıcaklık grafikleri



Şekil 9.12 Parçalı bulutlu gün için anlık güneş ışınlamı ve faydalı ısı grafikleri

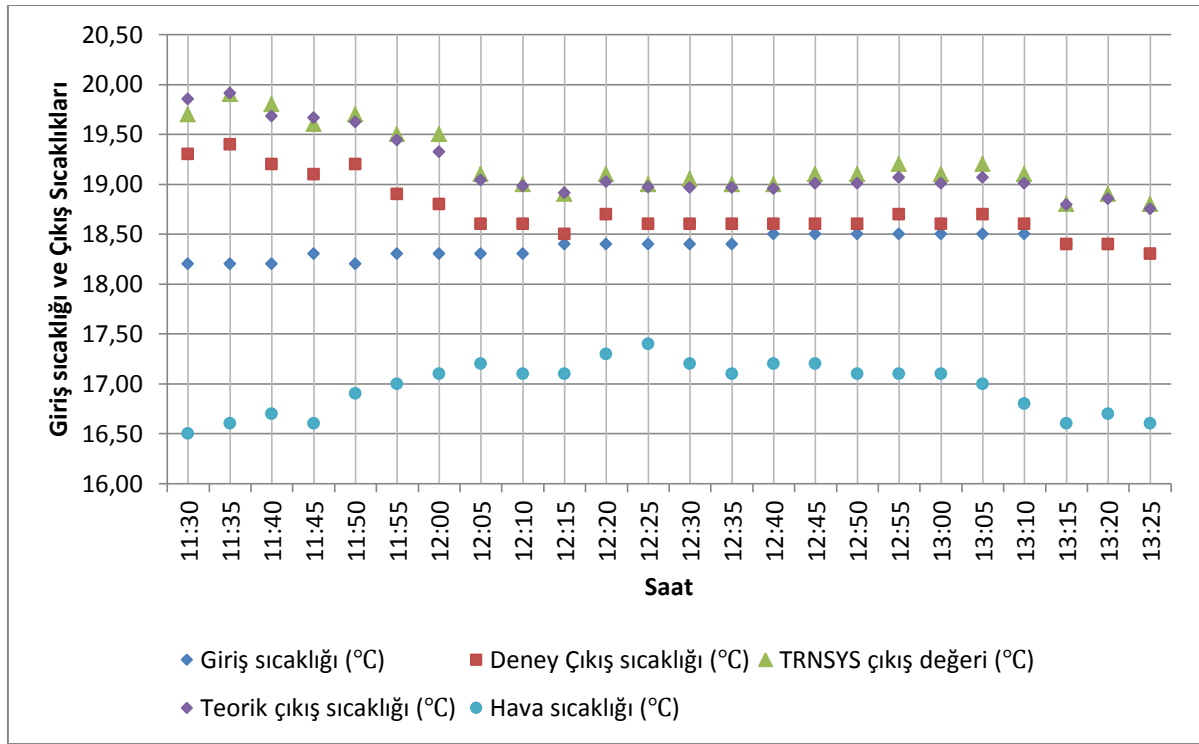


Şekil 9.13 Parçalı bulutlu gün için teorik, deneysel ve TRNSYS ısı verimlerinin karşılaştırılması



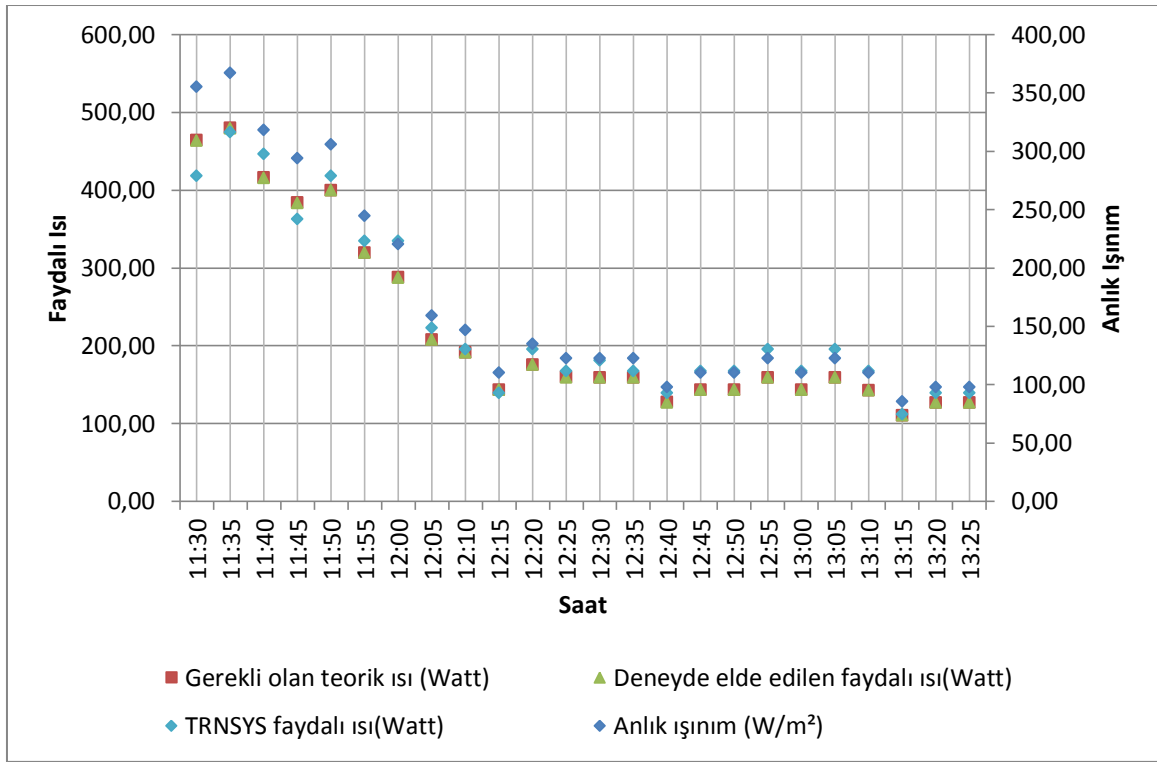
Şekil 9.14 Parçalı bulutlu gün için kolektör ısı veriminin, giriş sıcaklığı-hava sıcaklığı farkına göre değişimi

Son olarak da kapalı (bulutlu) hava koşulları için kolektör deney verilerine bakıldığında; Şekil 9.16'da anlık ışınlım grafiğinden havanın deneyin başlangıcında parçalı bulutlu olduğu ve zamanla tamamen kapanıp bulutlu hale geldiği görülmektedir. Deney sonlarına doğru direkt ışınlım miktarı iyice azalmıştır ve ışınlım değerinin büyük kısmını yayılı ışınlımın oluşturduğu gözlemlenmiştir. Şekil 9.17'den deneyin sonlarına doğru giriş-çıkış sıcaklık farkının sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Bu da yoğunlaştırıcı kolektörlerin kapalı havalarda kullanılmasının uygun olmadığını göstermiştir. Son olarak da Şekil 9.17'de hava bulutlandıkça direkt ışınlımın azalmasına bağlı olarak kolektör ısı veriminde ciddi düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

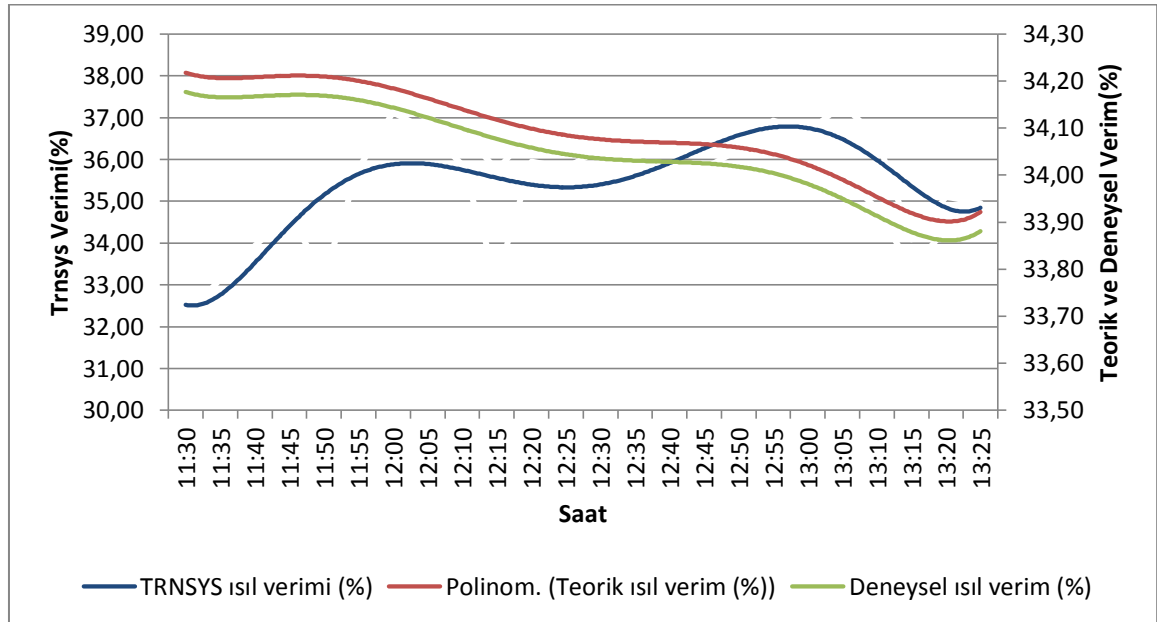


Şekil 9.15 Kapalı gün için anlık hava ve suyun giriş, çıkış sıcaklık grafikleri

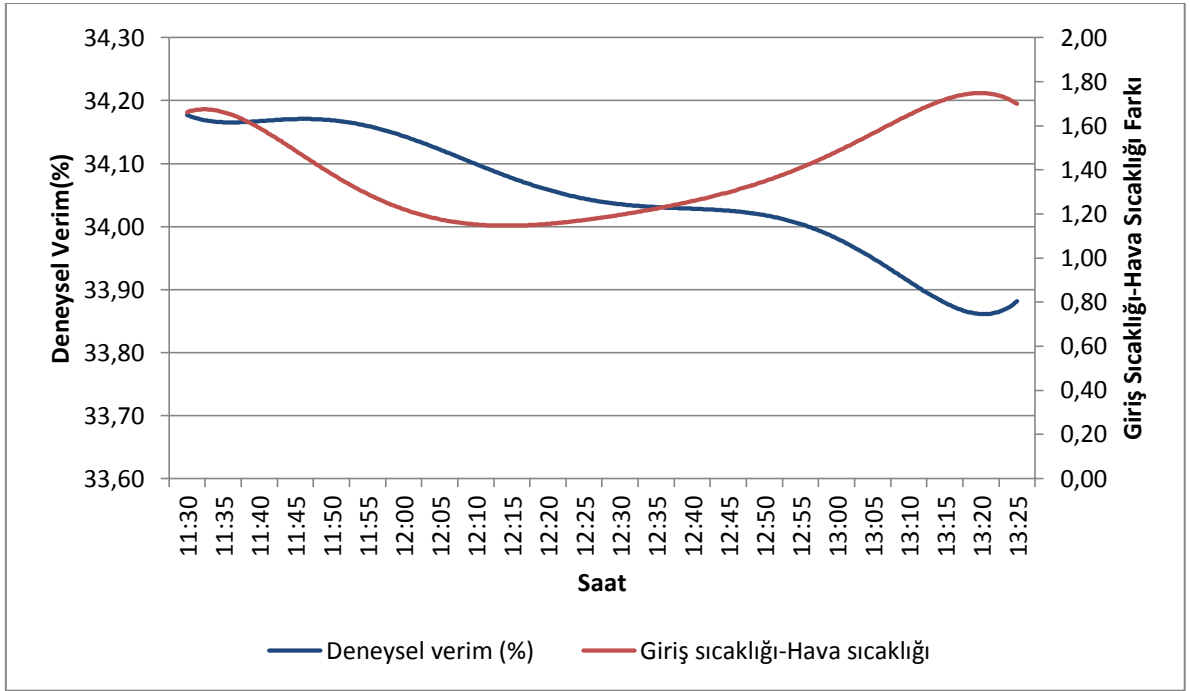
Şekil 9.15’de teorik ve TRNSYS çıkış sıcaklıklarının birbirine yakın ancak deneysel değerlerin teorik ve TRNSYS değerlerinden biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kapalı hava koşullarının deneysel sistemi, teorik ve TRNSYS tasarımlarına göre daha çok etkilemesidir. Gerçek sistem hava şartlarından daha hassas bir şekilde etkilenmektedir. TRNSYS’de ve teorik analizde sistemin optik ve ısı kayıpları gerçek sisteme göre daha sabittir. Bu da grafiklerde görünen farkı yaratmaktadır.



Şekil 9.16 Kapalı gün için anlık güneş ışınlamı ve faydalı ısı grafikleri



Şekil 9.17 Kapalı gün için teorik, deneysel ve TRNSYS'den elde edilen ısı verimlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.18 Kapalı gün için kollektör ısı veriminin, giriş sıcaklığı-hava sıcaklığı farkına göre değişimi

Yoğunlaştırıcı kollektörlerde verim faktörü birçok etkene bağlıdır. Bunlar hava sıcaklığı, optik özellikler, giriş sıcaklığı gibi etkenlerdir. Tasarlanan kollektörün ısı verimi, deney verilerinden yola çıkarak aynı hava sıcaklığı ve ışınlam değerlerinde farklı giriş sıcaklıklarına göre incelenmiştir ve Çizelge 9.1’de bu incelemeye ait değerler verilmiştir. Çizelgede tasarlanan kollektör düşük giriş sıcaklıklarında yüksek, yüksek giriş sıcaklıklarında ise düşük verimle çalıştığı görülmektedir. Bu yoğunlaştırıcı kollektörlerde beklenen bir sonuçtur çünkü bu tür kollektörlerde faydalı ısıyı etkileyen faktörlerden biri de Denklem 7.25’de görüldüğü üzere akışkanın giriş sıcaklığıdır. Aynı hava sıcaklığı ve ışınlam değerine sahip bir ortamda akışkanın giriş sıcaklığı arttıkça denklemde köşeli parantez içinde yer alan terim küçülecektir. Bu da faydalı ısının azalmasına dolayısı ile ısı verimin düşmesine sebep olacaktır.

$$Q_f = F_R A_{a\check{c}ıklık} \left[ S - \frac{A_{alıc}ı}{A_{a\check{c}ıklık}} U_L (T_g - T_{hava}) \right]$$

Deneysel ısı verimin, bulutsuz havalarda yaklaşık %34 olmasına karşın parçalı bulutlu ve bulutlu havalarda %29'lara kadar düştüğü görülmektedir. Bu da yoğunlaştırıcı kolektörlerin açık havalarda yüksek verimle çalıştığını ve uygulanabilirliğinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Çizelge 9.1 Aynı ışınlam ve hava sıcaklıklarında giriş sıcaklığına göre kolektör ısı verimleri

|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|
| 20 °C hava sıcaklığı ve 1064,9 W/m <sup>2</sup> ışınlam için   | 19,1               | 34,39     |
|                                                                | 19,8               | 34,31     |
|                                                                | 19,9               | 34,29     |
| 20 °C hava sıcaklığı ve 991,5 W/m <sup>2</sup> ışınlam için    | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 18,8               | 34,49     |
|                                                                | 19,4               | 34,37     |
| 20,5 °C hava sıcaklığı ve 1016 W/m <sup>2</sup> ışınlam için   | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 19,6               | 34,41     |
|                                                                | 19,7               | 34,40     |
| 20,5 °C hava sıcaklığı ve 1028,2 W/m <sup>2</sup> ışınlam için | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 19,4               | 34,44     |
|                                                                | 19,7               | 34,40     |
| 20,5 °C hava sıcaklığı ve 930,3 W/m <sup>2</sup> ışınlam için  | 19,8               | 34,38     |
|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 18,2               | 34,67     |
| 21 °C hava sıcaklığı ve 1040,4 W/m <sup>2</sup> ışınlam için   | 20,2               | 34,33     |
|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 20,1               | 34,41     |
| 21 °C hava sıcaklığı ve 832,3 W/m <sup>2</sup> ışınlam için    | 20,2               | 34,39     |
|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 18,8               | 34,70     |
| 22,9 °C hava sıcaklığı ve 1028,2 W/m <sup>2</sup> ışınlam için | 19,8               | 34,50     |
|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 20,8               | 34,59     |
| 14,1 °C hava sıcaklığı ve 146,9 W/m <sup>2</sup> ışınlam için  | 20,9               | 34,57     |
|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 17,7               | 30,47     |
| 14,1 °C hava sıcaklığı ve 134,7 W/m <sup>2</sup> ışınlam için  | 17,9               | 30,37     |
|                                                                | 18,1               | 30,17     |
|                                                                | Giriş sıcaklığı °C | Verim (%) |
|                                                                | 17,90              | 30,01     |
|                                                                | 18,00              | 29,91     |

## 10.TASARLANAN KOLLEKTÖRÜN PERFORMANSININ LİTERATÜRDE YER ALAN BAŞKA BİR KOLLEKTÖR PERFORMANSI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde tasarlanan güneş kollektörü, literatürde yer alan ve A. Rabl tarafından incelenen silindir yutuculu birleşik parabolik kollektörle karşılaştırılmıştır [11]. Burada amaç tasarlanan kollektörün uygulanabilirliğini incelemektir. Referans alınan kollektörde yutucu boru etrafında cam boru kullanılmamıştır, ancak kollektör açıklık alanını kaplayan düşük demirli cam ile örtülmüştür. Referans alınan kollektörün açıklık eni ( $W=6.5$  cm), yarım kabul açısı ( $\theta_a=6.4^\circ$ ) ve yutucu boru yarı çapı ( $R_{bd}=0.32$  cm) parametrelerini matematiksel modeli oluşturulan kollektöre girildiğinde matematiksel modeller arasında farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir [11]. Bu farklılıklar kollektör yüksekliği, yansıtıcı yüzey uzunluğu ve bu parametrelere bağlı olarak optik verim hesabında yer alan ortalama yansıtma sayısında meydana gelmiştir. Matematiksel modeldeki bu farklılıklar ısı hesaplamaları da etkilemiştir. Optik verim, kollektör geri kazanım faktörü, toplam ısı transfer katsayısı ısı analize ait değerler her iki kollektör için farklıdır.

Referans kollektörünün tasarım parametreleri Bölüm 5.3'de yer alan tasarım hesaplamalarında kullanılmıştır. Denklem 5.8 ile kollektörün yüksekliği, Denklem 5.9 ile de kollektörün merkez uzaklığı hesaplandıktan sonra Denklem 5.14'den ve 5.16'dan kollektör yansıtıcı yüzey uzunluğu hesaplanmıştır.

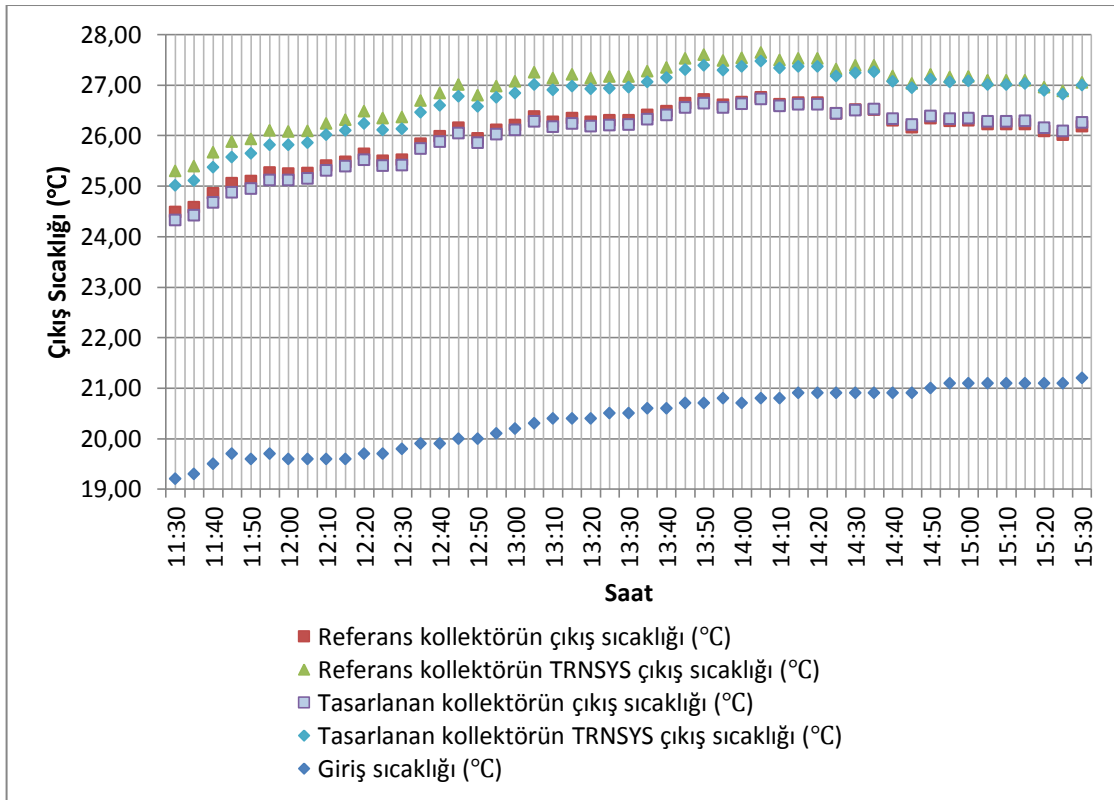
Ortalama yansıtma katsayısını etkileyen faktörler Kollektör yüksekliği, açıklık eni ve yansıtıcı yüzey uzunluğu tasarım parametreleridir. Referans kollektör tasarım parametreleri tasarlanan kollektöre uygulandığında elde edilen değerler ve Ek-1'de verilen grafikler yardımıyla kollektörün ortalama yansıtma katsayısı 0.89 olarak bulunmuştur. Optik verim hesabında yine Bölüm 5'de yer alan ve deney düzeneğinde kullanılan malzemeler baz alınmıştır. Bulunan yeni parametre değerlerine göre Denklem 5.19'dan optik verim 0.72 olarak hesaplanmıştır.

Karşılaştırma için tasarlanan kollektörün, ısı analiz hesapları Bölüm 7’de yer alan denklemler ile yapılmıştır. Ayrıca toplam ısı transfer katsayısı, kollektör verim faktörü değerleri 11 numaralı kaynakta yer alan Denklem 4 ve Denklem 18’den elde edilmiştir. Her iki kollektöre ait tasarım parametreleri ve değerleri Çizelge 10.1’de verilmiştir.

Çizelge 10.1 Referans alınan ve tasarlanan kollektörün tasarım değerleri

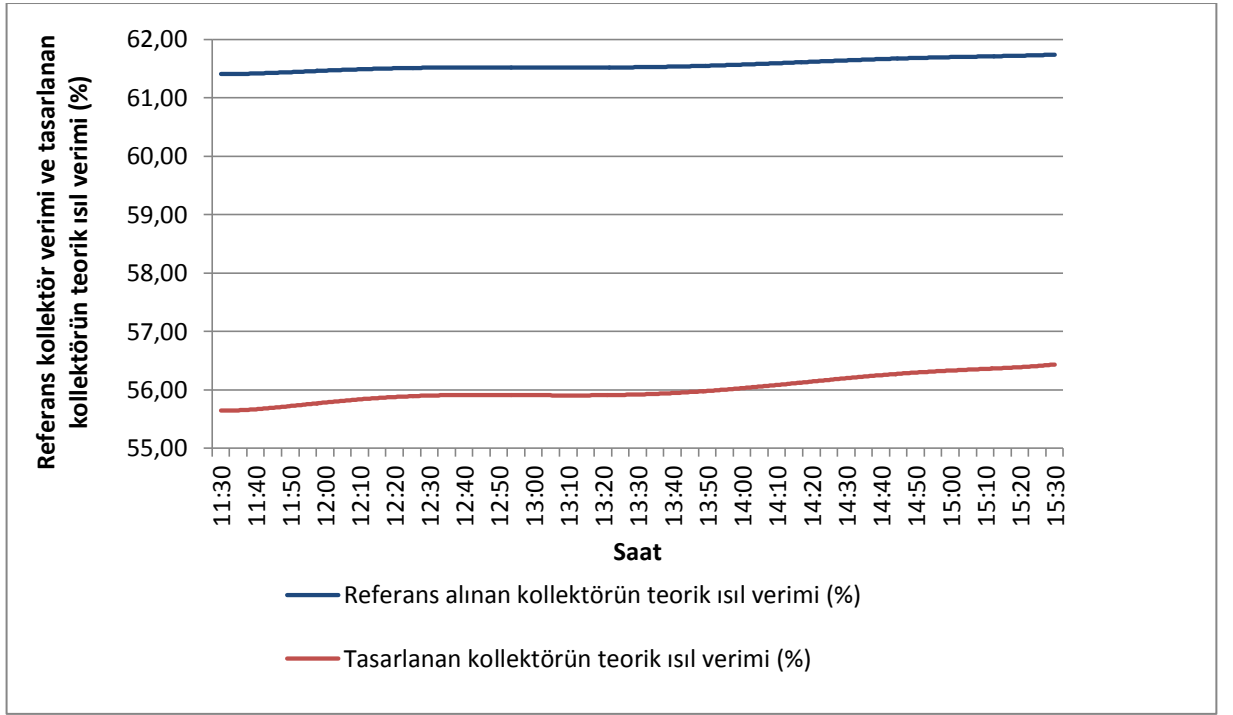
|                                                     | Referans alınan kollektör değerleri | Tasarlanan kollektör değerleri |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Kollektör Yüksekliği (H)                            | 30.5 cm                             | 61.9 cm                        |
| Yansıtıcı Yüzey Uzunluğu ( $L_{\text{yansıtıcı}}$ ) | 31.9 cm                             | 62.8 cm                        |
| Ortalama Yansıtma Katsayısı (n)                     | 1.5                                 | 0.89                           |
| Optik Verim ( $\eta_o$ )                            | 0.73                                | 0.71                           |
| Toplam Isı Transfer Katsayısı (U)                   | 1.73 W/m <sup>2</sup> °C            | 4.85 W/m <sup>2</sup> °C       |
| Kollektör verim faktörü ( $F'$ )                    | 0.99                                | 0.97                           |

Şekil 10.1’de 26 Eylül 2011 tarihindeki deney verileri kullanılarak referans alınan kollektörün teorik çıkış sıcaklık değerleri ile tasarlanan kollektörün teorik çıkış sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlara göre referans alınan kollektörün teorik çıkış sıcaklık değeri tasarlanan kollektörden ortalama olarak 0.12 °C daha yüksektir. İki değer arasındaki fark %0.47 oranındadır. Referans alınan kollektörün TRNSYS çıkış sıcaklığı tasarlanan kollektörün TRNSYS çıkış sıcaklığına göre ortalama 0.32 °C daha fazladır. Bu da %1.13 değerinde bir fark demektir. Bu farkların sebebi referans alınan kollektörün tasarlanan kollektöre göre matematiksel modelindeki farklardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 10.1 Tasarlanan kollektörün teorik ve simülasyonuna ait çıkış sıcaklıkları ile referans alınan kollektörün teorik ve simülasyonuna ait çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması

Tasarlanan kollektör ile referans alınan kollektör ısı verim açısından karşılaştırıldığında Şekil 10.2 elde edilmiştir. Verim hesapları için 11 numaralı kaynakta yer alan Denklem 10'dan yararlanılmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere referans alınan kollektörün teorik ısı verimi ile tasarlanan kollektörün teorik ısı verimi arasında ortalama olarak %8,5 fark oluşmuştur. Bu fark Şekil 10.1'deki sıcaklık farkına yansımıştır. Oluşan bu fark referans alınan kollektörün ısı kayıplarının daha az olduğunun ve optik verimin daha iyi olduğunun göstergesidir.



Şekil 10.2 Referans alınan ve tasarlanan kolektörün teorik ısı verimleri

## 11. SONUÇ

Bu bölümde yapılan çalışmada ortaya çıkan sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır. Çıkan sonuçlardan tasarlanan sistemin eksiklikleri ve geliştirilmesi gereken kısımlar tespit edilmiştir.

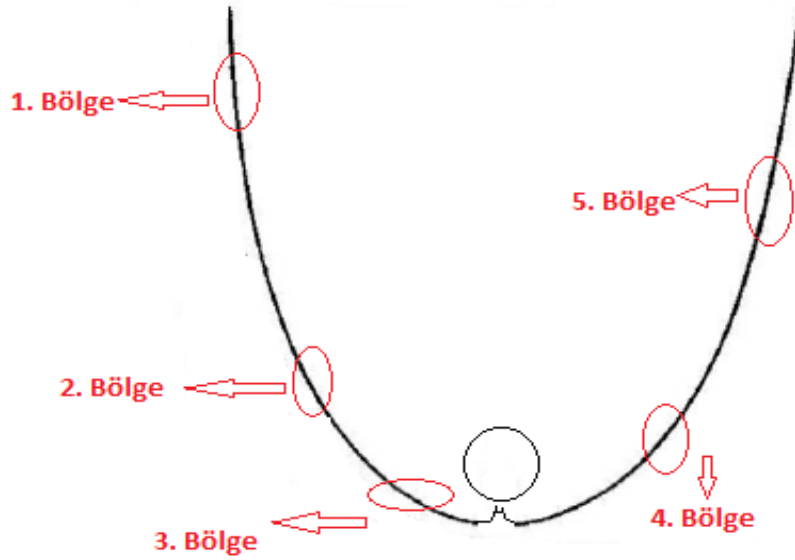
İlk olarak sistem tasarımı için tespit edilen sonuçlar incelendiğinde; Kollektör tasarımı etkileyen en önemli faktörün yarım kabul açısı olduğu görülmüştür. Tasarım bu açıya göre yapılmaktadır. Ayrıca yutucu boru ve cam örtü için piyasada bulunan malzemelere göre tasarım yapılması gerekmektedir. Kollektör üretiminde yansıtıcı yüzeylerin matematiksel modele uygun olmasına özen gösterilmelidir. Yapılan çalışmada maliyet açısından yansıtıcı yüzeyler basit yöntemlerle şekillendirilmiştir. Bu yüzden matematiksel modele göre sapmalar yaşanmıştır. Ancak sistemin performansında önemli kayıplar yaşanmamıştır. Üretim de bir diğer önemli konu da yutucu boru hassasiyetidir. Bu tür kollektörlerin çalışması direkt ışıma bağlı olduğundan yutucu boru yerleştirmesi önem taşımaktadır.

Kollektör yerleştirmesi de sistemin performansını etkileyen önemli faktörlerdendir. Kuzey yarım küre için kollektör Doğu-Batı eksenine dik bir şekilde ve yerleştirilen yerin enlem açısıyla yer yüzeyine eğimli olarak yerleştirilmelidir. Buradaki amaç gün boyunca ışıklardan maksimum seviyede faydalanmaktır. Kollektör yerleştirme açısı doğru yapılmadığında sistemin verimini oldukça düşürür. Yerleştirme açısından kaynaklı kayıpların en aza indirilmesi gerekmektedir.

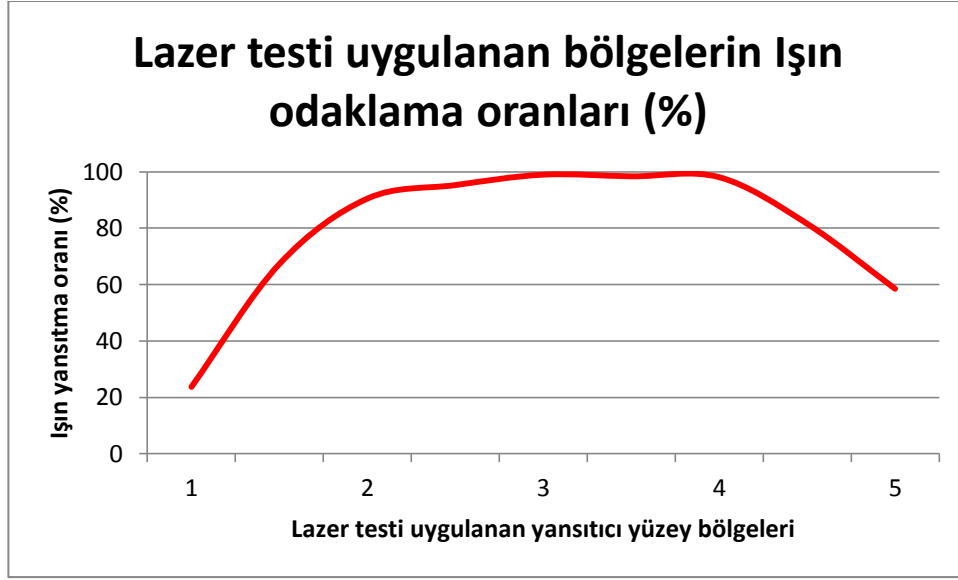
Yapılan çalışmada yutucu yüzey için siyah mat boya ile boyanmış bakır boru kullanılmıştır. Bu yüzeylerin yutma oranı fazla olmasına karşın yayma oranı da oldukça fazladır. Çalışmada bu malzemenin kullanılmasının sebebi düşük maliyetli olmasıdır. Optik verimi arttırmak için yutucu boru tasarımında seçici yüzeyler kullanılmalıdır. Ancak bu malzemelerin maliyetleri fazladır. Mat siyah yüzeylerin yutma oranının yüksek olmasına karşın, yayma oranları da 0.88-0.92 değerleri arasındadır. Ancak seçici yüzeylerde malzemenin cinsine göre

bu oran 0.08-0.13 değerleri arasındadır. Bu malzemelerin yutma oranları da 0.83 ile 0.95 değerleri arasındadır. Optik verimi arttırmaya yönelik çalışmalarda seçici yüzey kullanımı önem arz etmektedir. Ancak bu yüzeylerin maliyetleri normal yutucu yüzeylere göre yüksektir.

Optik verim kesişim kayıpları en aza indirilerek yükseltilebilir. Bu durum hassas tasarımın yanı sıra, güneş izleme sistemleri ile mümkün olabilir. Tasarlanan sistemde kesişim oranı yeterli seviyededir, ancak yansıtıcı yüzeyin st kısımlarına doğru ışın odaklamasında sorunlar yaşanmıştır. Bu da hassas imalat yapılamamasından ve montaj sırasındaki yansıtıcı yüzey bozulmalarından kaynaklanmaktadır. şekil 11.1'de lazer testi uygulanan kollektör yansıtıcı yüzey bölgeleri grlmektedir. şekil 11.2'de de bu bölgelere ait  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $35^\circ$  geliş açılarında ortalama yansıtma oranları verilmiştir.



şekil 11.1 Lazer tutulan yansıtıcı bölgeleri



Şekil 11.2 Lazer testi yapılan bölgelerin ışın yansıtma oranları

Yoğunlaştırıcı kollektörlerde teorik olarak düşük giriş sıcaklıklarında verimin yüksek, yüksek giriş sıcaklıklarında da verimin düşük olması beklenmektedir. Çünkü akışkana geçen faydalı ısı akışkan sıcaklığı düştükçe artar. Bu, faydalı ısı formülünden (Denklem 7.24) rahatça görülmektedir. Çalışmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde tasarlanan kollektörde de aynı hava koşulları için düşük giriş sıcaklıklarında sistemin veriminin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 20.5 °C hava sıcaklığı ve 930.3 W/m<sup>2</sup> anlık ışıınım değerinde giriş sıcaklığının 18.2 °C değerinden 20.2 °C değerine çıktığında sistemin ısı veriminin %34.67'den %34.33'e düştüğü gözlemlenmiştir.

Deney çalışmaları değişik hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu sistemin, bulutlu ve parçalı bulutlu günlerde ısı uygulamaları için uygun olmadığı ancak açık hava koşullarında hem düşük sıcaklık hem de orta sıcaklık uygulamaları için uygulanabilirliğinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Deney yapılan bulutsuz gün değerlerine bakıldığında giriş çıkış sıcaklık farkının 4.7 °C kadar çıktığı gözlemlenmiştir ki bu değer teorik ısı analiz esnasında tasarım kabulü olarak ele alınan 5 °C giriş çıkış sıcaklık farkına yakın bir değerdir. Şekil 9.15 incelendiğinde havanın parçalı bulutlu ve bulutlu olduğu durumlarda giriş çıkış sıcaklık farkının 0 °C'ye kadar düştüğü görülmektedir.

Çalışmada yer alan bir diğer uygulama da sistemin simülasyonudur. Yapılan simülasyon çalışmasında sonuçların teorik sonuçlara yakın olduğu gözlemlenmiştir. Deney verileri ve simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın oranı ortalama %4.8'dir. Bu da ortalama olarak 25 °C'lik sıcaklıkta 1.2 °C değerinde bir farka denk gelmektedir. Oluşan farkın sebebi de simülasyon programında güneş açılarına ait değerlerin kullanıcı tarafından girilememesi ve TRNSYS'nin sağladığı kullanıcı hava değerleri modülünde, kullanıcının sadece ışıınım değeri, kollektör parametreleri, hava sıcaklığı gibi değerler girilebilmesidir. Ayrıca deneylerde 5'er dakika arayla değer alınmasına karşın, TRNSYS programında kullanılan Type-109user modülünün yapısından dolayı girdiler saatlik olarak sisteme verilmek zorundadır. Bu nedenle simülasyonda çıkan grafiklerden istenilen değerleri tam olarak okumak mümkün olmamıştır. Sonuç olarak hem literatürden hem de yapılan çalışmadan yola çıkarak TRNSYS programının güneş enerjisi sistemleri için teorik değerlere yakın değerler sağladığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada, tasarlanan kollektör literatürde yer alan başka bir birleşik parabolik kollektörle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda tasarlanan kollektörün teorik giriş çıkış sıcaklık farkı ile referans alınan kollektörün teorik giriş çıkış sıcaklık farkı ortalama 0.12 °C değerindedir. Bu da iki kollektörün çıkış sıcaklık değerleri arasında %0,47'lik bir fark olduğunu göstermektedir. Bölüm 10'da yapılan karşılaştırmalardan ve çıkan sonuçlardan referans alınan kollektörün ısı veriminin tasarlanan kollektöre göre daha fazla olduğu ve buna bağlı olarak da suyu daha fazla ısıttığı gözlemlenmiştir. Karşılaştırılan iki kollektörün ısı verimleri arasındaki ortalama fark %5 değerindedir. Bu da ısı verimleri arasında %8.5 oranında bir fark olduğunu göstermektedir. Bu oran, çalışma kapsamında yapılan ısı ve optik analizlerde, büyük ölçüde doğru sonuçlar elde edildiğini göstermekte olmasına karşın, tasarlanan kollektörün daha da geliştirilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

Yukarıda elde edilen sonuçlar doğrultusunda tasarlanan sistemin performansının istenildiği gibi olduğu ve birleşik parabolik kollektörlerin çalışma prensibine uygun çalıştığı gözlemlenmiştir. Tasarlanan kollektörün literatürde yer alan başka bir birleşik parabolik kollektörle karşılaştırılması çalışmasında makaleden alınan girdilerle tasarlanan kollektörün, yapılan hesaplamaların ve deneysel verilerin doğruluğu kanıtlanmıştır. Çalışmada yer alan simülasyon programı TRNSYS'nin literatürde de yer aldığı gibi teorik sonuçlara ve deneysel sonuçlara yakın değerler sağladığı gözlemlenmiştir. Son olarak birleşik parabolik yoğunlaştırıcı kollektörlerin direkt ışınlm altında, bulutsuz havalarda çalışmasının daha uygun olduğu ve bu hava şartlarında su ısıtma uygulamaları için iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Tasarlanan sistemin optik verim yönünden geliştirilmelidir, bunun içinde optik özellikleri daha iyi malzemeler kullanılmalıdır. Özellikle yutucu yüzeyde seçici yüzey malzemeleri kullanılmalıdır. Optik özellikler geliştirilerek ısı verim de artırılır. Tasarlanan kollektörün montaj ve imalat aşaması hassas yapılmalıdır, özellikle odaklama sorununu en aza indirmek için yutucu boru yerleştirmesi dikkatli yapılmalıdır. Tasarlanan kollektörde istenilen enerjiyi elde etmek için maliyet fazladır, elde etmek istenilen enerji için verim artırılarak maliyet azaltılmalıdır.

## KAYNAKLAR

### Bilimsel Periyodikler

- [1] Garcia-Rodriguez, A I.; Gbmez-Camachob, C: Perspectives of solar-asssites seawater distillation, vol.15, no.1, s.213-218, 2001
- [2] Garcia-Rodriguez, L; Palmero-Marreroa, A I.; Gbmez-Camachob, C: Comparison of solar thermal technologies for applications in seawater desalination, vol.21, no.2, s.24-36, 2002
- [3] A.Y. El-Assay, J.A. Clark, A thermal-optical analysis of a compound parabolic concentrator for a single and multiphase flows, including superheating, vol.21, s.189-198, 1987
- [4] R. Oommen, S. Jayaraman, Development and performance analysis of compound parabolic solar concentrators with reduced gap losses-oversized reflector, vol.42, no.1, s.1379-1399, 2001
- [5] Yong Kim, GuiYoung Han, Taebeon Seo, An evaluation on thermal performance of CPC solar collector, vol.35, no.1, s.446-457, 2008
- [6] Joshua M. Pearce and David Denkenberger, Numerical simulation of the direct application of compound parabolic concentrators to a single effect basin solar still, vol.33, no.2, s.67-74, 2002
- [7] M. Adsten, A. Helgesson, B. Karlsson, Evaluation of CPC-collector designs for stand-alone roof or wall installation, vol.79, s.638-647, 2005
- [8] Manuel I. Gonzalez, Luis R. Rodriguez, Solar Powered Adsorption Refrigerator with CPC Collection System:Collector Design and Experimental Test, vol.45, no.2, s.548-562, 2002
- [9] David Denkenberger and Joshua M. Pearce, Compound Parabolic Concentrators for Solar Water Heat Pasteurization:Numerical Simulation, vol.23, no.2, s.167-173, 2003
- [10] Asad Khan Durrani and Ammar Tariq, Cpc Through-Compound Parabolic Collector For Cost Efficient Low Temperature Applications, Proceeding of ISES Solar World Congress 2007

- [11] A. Rabl, J.O'Gallegher and R. Winston, Desing and Test of Non-Evacuated Solar Collectors With Compound Parabolic Concentrators, vol.25, s.335-351, 1980
- [12] H.P. Baum and J.M. Gordon, Geometric Characteristics of Ideal Nonimaging (CPC) Solar Collectors With Cylindrical Absorber, vol.33, no.5, s.455-458, 1984
- [13] Ari Rabl, Optical and Thermal Properties of Compound Parabolic Concentrators, vol.18, s.497-511, 1976

#### Tezler

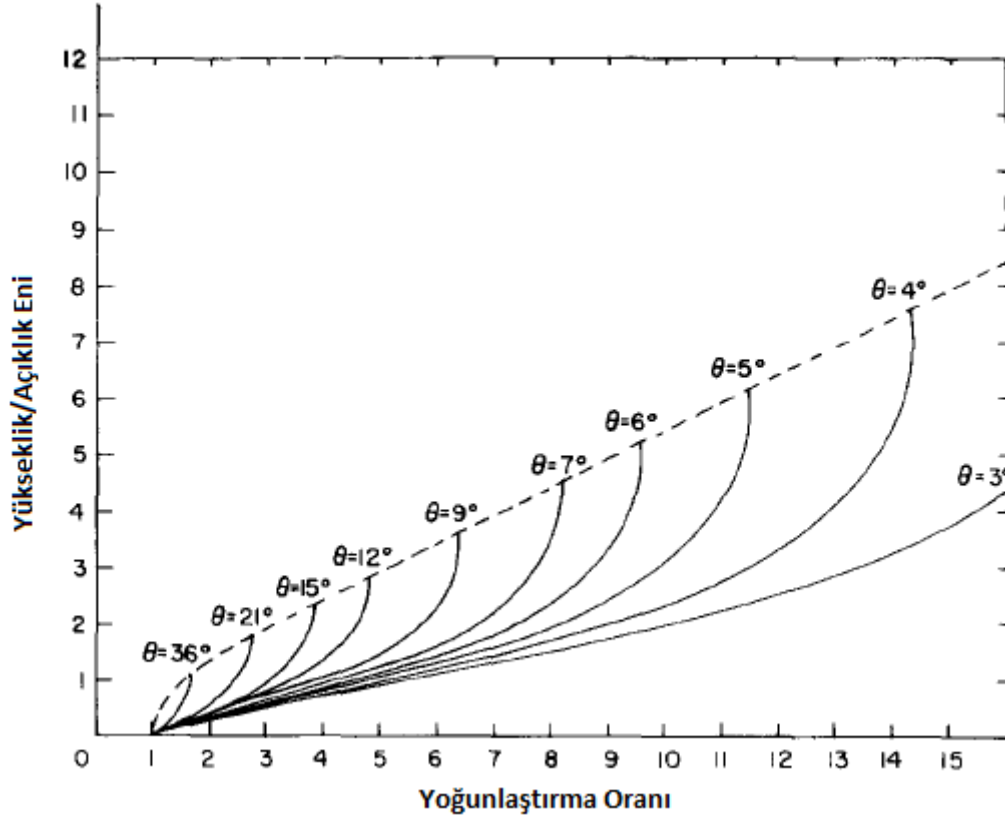
- [14] Yiğit Kartal, Parabolik Yansıtıcı Yüzeyli Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektör Tasarımı, İzmir, 103p, 2007
- [15] Mehrdad Goshtasbpour, Compound Parabolic Concentrating Collectors, Ankara, 92p, 1984
- [16] Ramazan Yılmaz, Parabolik yansıtıcılı güneş kollektörleri imal ve testi, Ankara, 94p, 1989
- [17] Khatri, Noor M., A solar energy collection system utilizing optical fibers and compound parabolic concentrators, 125p, 1991

#### Kitaplar

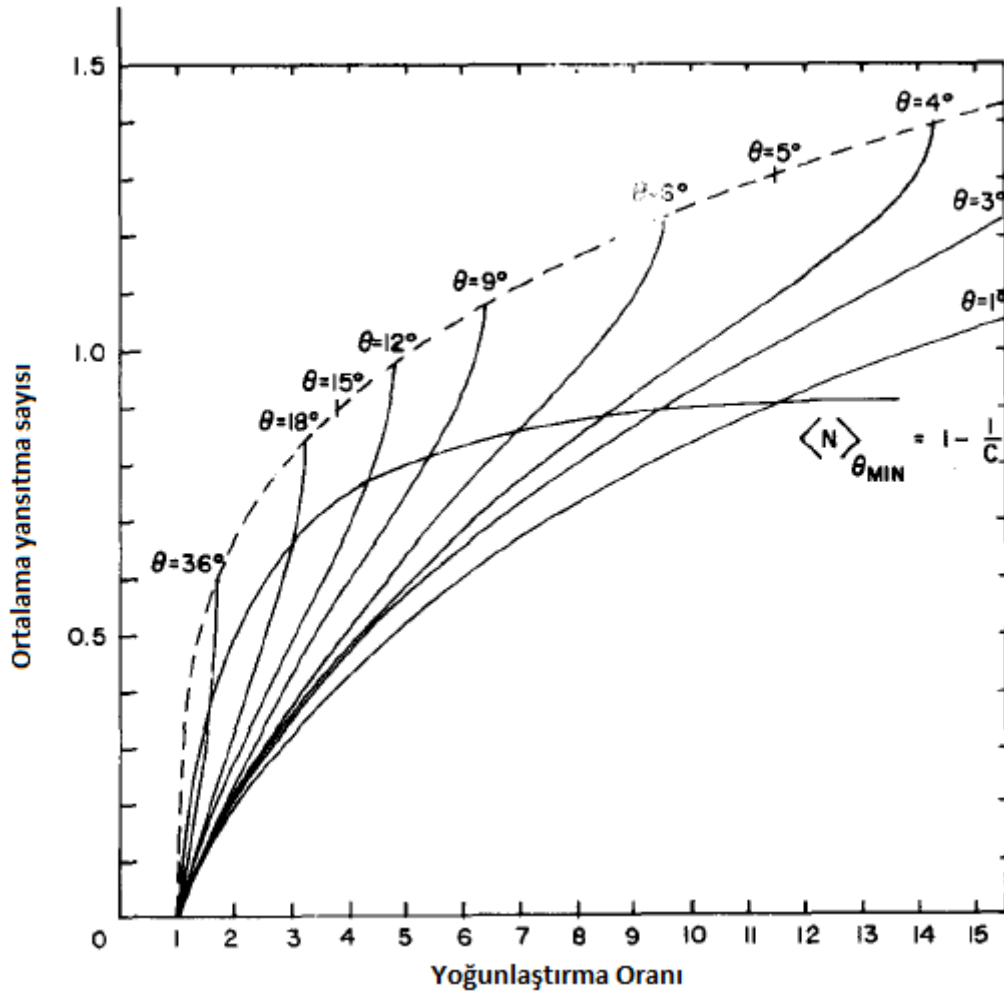
- [18] John A. Duffie, William A. Beckman, Solar enerrgy of thermal processes third edition

**EKLER**

## Ek-1 Ortalama Yansıtma Sayısını Bulmak için Gerekli Grafikler



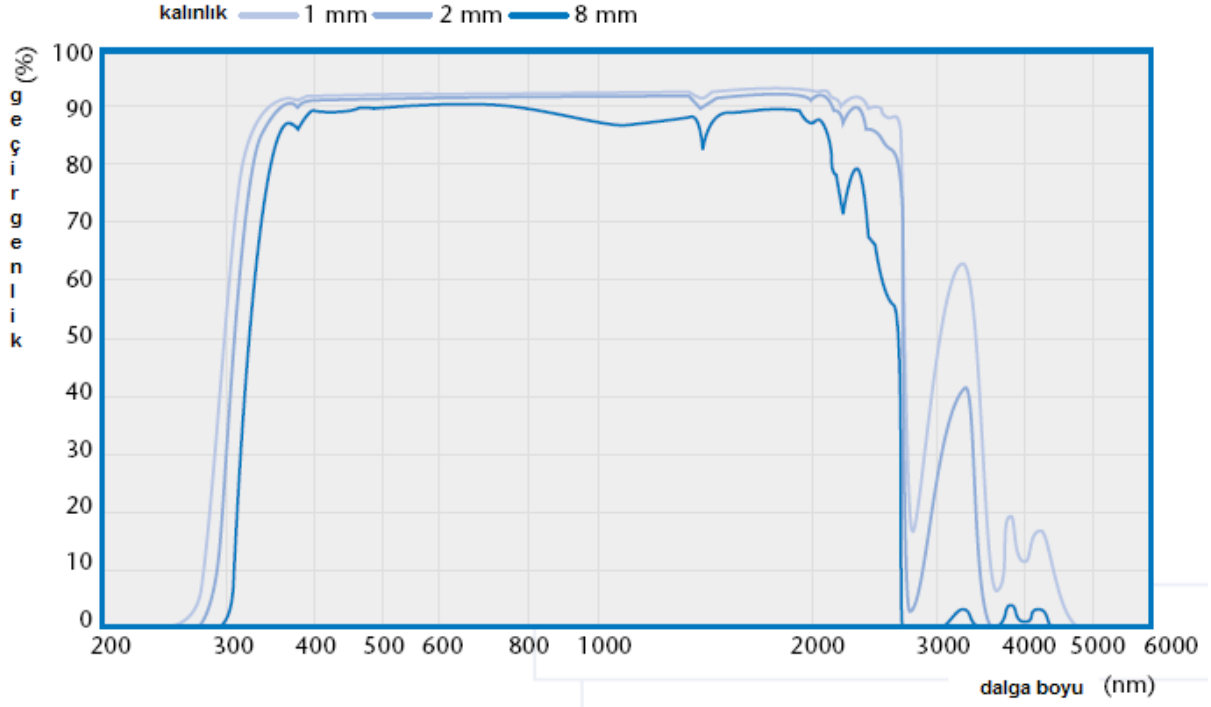
Yarım kabul açlarına göre kısaltılmış birleşik parabolik kolektörlerde yükseklik/açıklık eni değerinin yoğunlaştırma oranları



Yarım kabul açılarına göre kısaltılmış birleşik parabolik kolektörlerde yoğunlaştırma oranı değerleri için ortalama yansıtma sayısı

Kolektör tasarımımda kolektörün açıklık eni : 22 cm, yükseklik : 20 cm ve yarım kabul açısı : 35 derecedir. Yukarıdaki grafiklerden yararlanarak ortalama yansıtma sayısı ( $n$ ) 0.62 olarak bulunur.

## Ek-2 Cam Örtünün Kısa Dalga Boyu Işınları Geçirme Oranları, Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri



Cam örtünün firma tarafından gönderilen dalgaboylarına göre güneş ışınlarını geçirme oranları

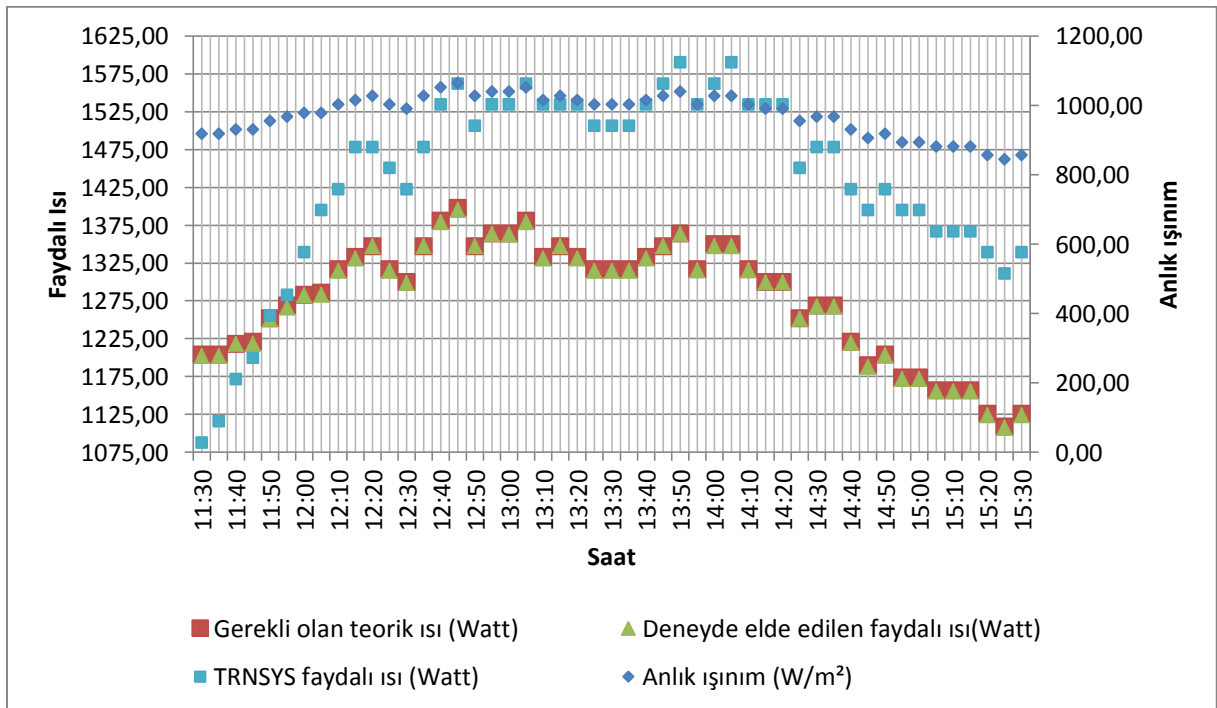
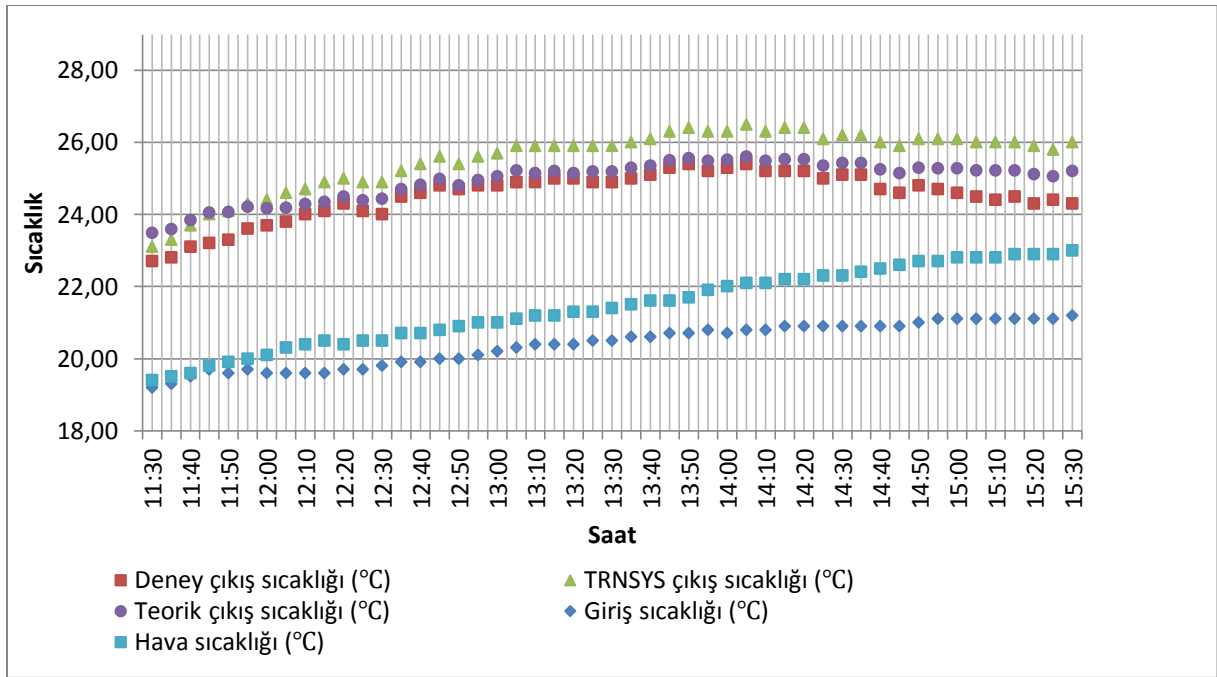
Cam örtü için kullanılan malzemenin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

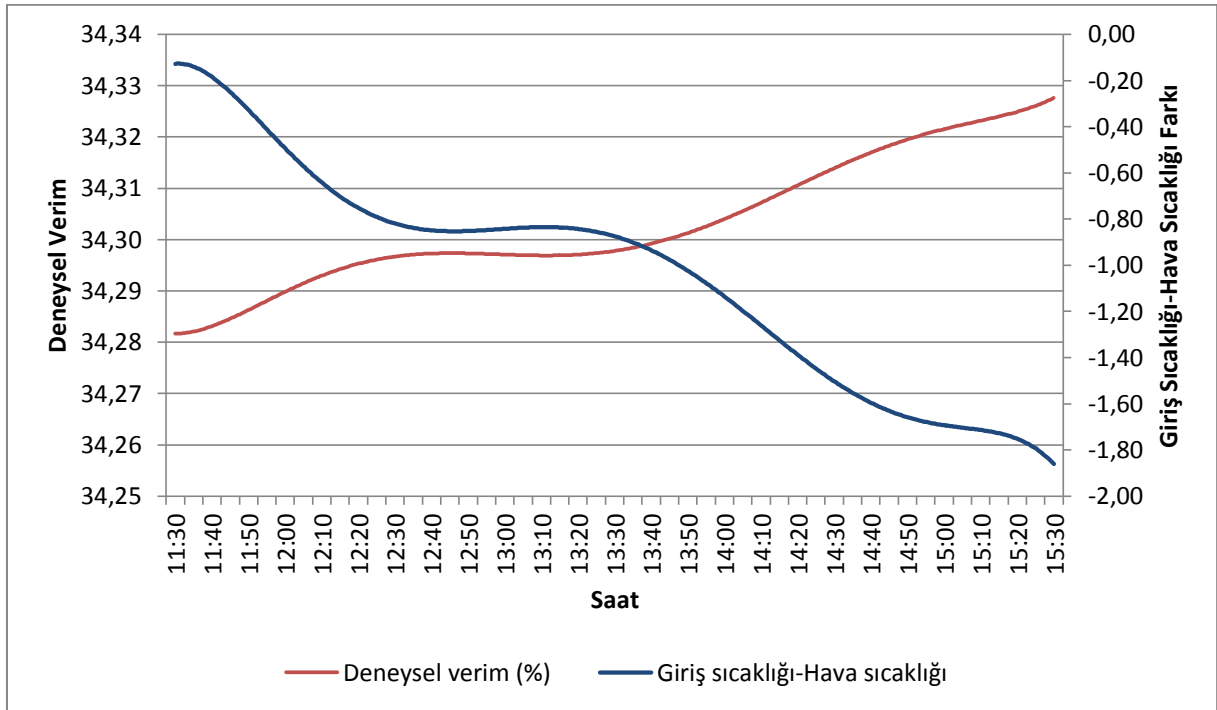
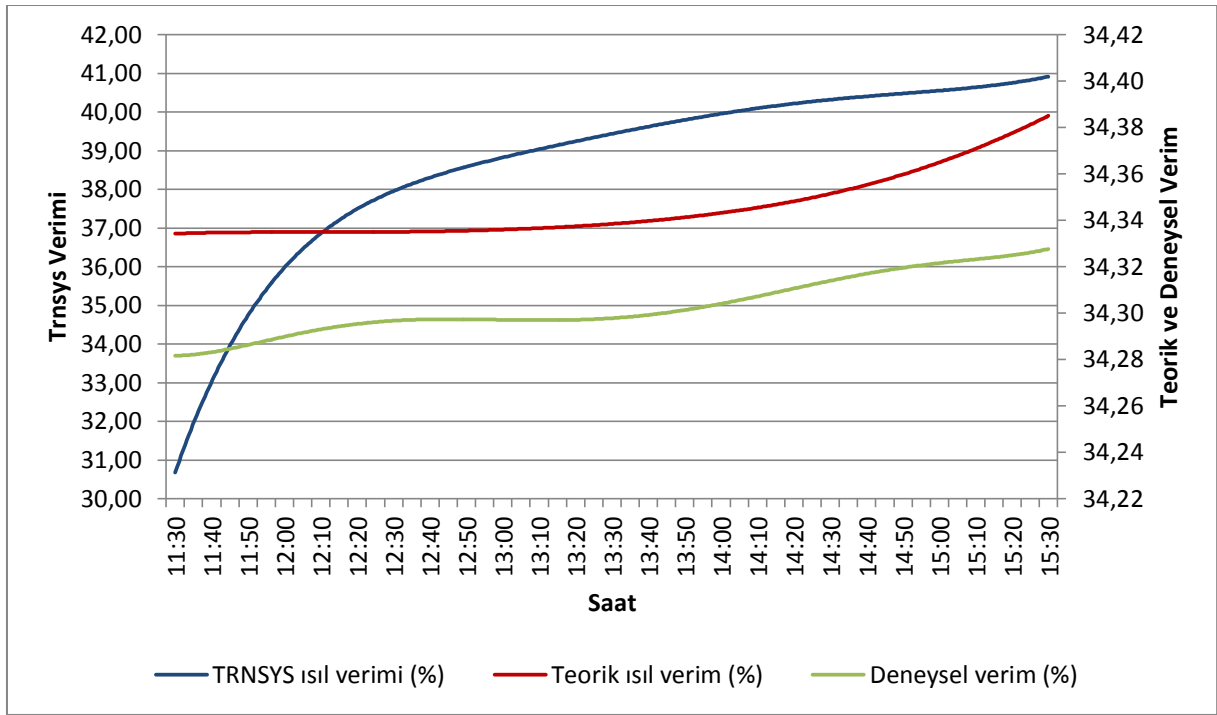
|                                        |                             |
|----------------------------------------|-----------------------------|
| Ortalama lineer ısı genleşme katsayısı | $3.3 \times 10^{-6} K^{-1}$ |
| Geçirgenlik sıcaklığı                  | $525^{\circ} C$             |
| Kullanılabilir ortalama sıcaklık       | $500^{\circ} C$             |
| Yoğunluk                               | $2.23 g / cm^3$             |
| Işın yayıcılık oranı                   | 0.19                        |
| Isıl iletkenlik katsayısı              | $1.2 W / mK$                |
| Işın kırılma indisi                    | 1.473                       |

## **Ek-3 Deney Ve Simülasyon Verileri**

| 26 EYLÜL DEĞERLERİ |                      |                            |                             |                             |                     |                                |                     |                                |                                       |                                |                           |                                 |                      |                                     |
|--------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| saat               | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış sıcaklığı (°C) | Teorik çıkış sıcaklığı (°C) | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı-Hava sıcaklığı | Anlık ısıtım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı (Watt) | TRNSYS kollektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Kollektörün deneysel ısı verimi (%) |
| 11:30              | 19,20                | 22,70                      | 23,10                       | 23,49                       | 19,40               | -0,20                          | 918,00              | 1204,33                        | 1202,24                               | 3506,76                        | 1088,10                   | 31,03                           | 34,34                | 34,28                               |
| 11:35              | 19,30                | 22,80                      | 23,30                       | 23,59                       | 19,50               | -0,20                          | 918,00              | 1204,33                        | 1202,24                               | 3506,76                        | 1116,00                   | 31,82                           | 34,34                | 34,28                               |
| 11:40              | 19,50                | 23,10                      | 23,70                       | 23,84                       | 19,60               | -0,10                          | 930,30              | 1218,37                        | 1218,26                               | 3553,75                        | 1171,80                   | 32,97                           | 34,28                | 34,28                               |
| 11:45              | 19,70                | 23,20                      | 24,00                       | 24,05                       | 19,80               | -0,10                          | 930,30              | 1221,18                        | 1218,26                               | 3553,75                        | 1199,70                   | 33,76                           | 34,36                | 34,28                               |
| 11:50              | 19,60                | 23,30                      | 24,10                       | 24,06                       | 19,90               | -0,30                          | 954,70              | 1252,06                        | 1250,38                               | 3646,95                        | 1255,50                   | 34,43                           | 34,33                | 34,29                               |
| 11:55              | 19,70                | 23,60                      | 24,30                       | 24,22                       | 20,00               | -0,30                          | 967,00              | 1268,90                        | 1266,49                               | 3693,94                        | 1283,40                   | 34,74                           | 34,35                | 34,29                               |
| 12:00              | 19,60                | 23,70                      | 24,40                       | 24,17                       | 20,10               | -0,50                          | 979,20              | 1282,94                        | 1282,64                               | 3740,54                        | 1339,20                   | 35,80                           | 34,30                | 34,29                               |
| 12:05              | 19,60                | 23,80                      | 24,60                       | 24,18                       | 20,30               | -0,70                          | 979,20              | 1285,74                        | 1282,81                               | 3740,54                        | 1395,00                   | 37,29                           | 34,37                | 34,29                               |
| 12:10              | 19,60                | 24,00                      | 24,70                       | 24,29                       | 20,40               | -0,80                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,98                               | 3834,13                        | 1422,90                   | 37,11                           | 34,34                | 34,30                               |
| 12:15              | 19,60                | 24,10                      | 24,90                       | 24,35                       | 20,50               | -0,90                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,17                               | 3881,12                        | 1478,70                   | 38,10                           | 34,36                | 34,30                               |
| 12:20              | 19,70                | 24,30                      | 25,00                       | 24,50                       | 20,40               | -0,70                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1346,97                               | 3927,72                        | 1478,70                   | 37,65                           | 34,31                | 34,29                               |
| 12:25              | 19,70                | 24,10                      | 24,90                       | 24,39                       | 20,50               | -0,80                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,98                               | 3834,13                        | 1450,80                   | 37,84                           | 34,34                | 34,30                               |
| 12:30              | 19,80                | 24,00                      | 24,90                       | 24,43                       | 20,50               | -0,70                          | 991,40              | 1299,78                        | 1298,78                               | 3787,15                        | 1422,90                   | 37,57                           | 34,32                | 34,29                               |
| 12:35              | 19,90                | 24,50                      | 25,20                       | 24,70                       | 20,70               | -0,80                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1347,06                               | 3927,72                        | 1478,70                   | 37,65                           | 34,31                | 34,30                               |
| 12:40              | 19,90                | 24,60                      | 25,40                       | 24,82                       | 20,70               | -0,80                          | 1052,60             | 1381,19                        | 1379,01                               | 4020,93                        | 1534,50                   | 38,16                           | 34,35                | 34,30                               |
| 12:45              | 20,00                | 24,80                      | 25,60                       | 24,98                       | 20,80               | -0,80                          | 1064,90             | 1398,04                        | 1395,12                               | 4067,92                        | 1562,40                   | 38,41                           | 34,37                | 34,30                               |
| 12:50              | 20,00                | 24,70                      | 25,40                       | 24,80                       | 20,90               | -0,90                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1347,15                               | 3927,72                        | 1506,60                   | 38,36                           | 34,31                | 34,30                               |
| 12:55              | 20,10                | 24,80                      | 25,60                       | 24,96                       | 21,00               | -0,90                          | 1040,40             | 1364,35                        | 1363,12                               | 3974,33                        | 1534,50                   | 38,61                           | 34,33                | 34,30                               |
| 13:00              | 20,20                | 24,80                      | 25,70                       | 25,06                       | 21,00               | -0,80                          | 1040,40             | 1364,35                        | 1363,03                               | 3974,33                        | 1534,50                   | 38,61                           | 34,33                | 34,30                               |
| 13:05              | 20,30                | 24,90                      | 25,90                       | 25,22                       | 21,10               | -0,80                          | 1052,60             | 1381,19                        | 1379,01                               | 4020,93                        | 1562,40                   | 38,86                           | 34,35                | 34,30                               |
| 13:10              | 20,40                | 24,90                      | 25,90                       | 25,15                       | 21,20               | -0,80                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,08                               | 3881,12                        | 1534,50                   | 39,54                           | 34,36                | 34,30                               |
| 13:15              | 20,40                | 25,00                      | 25,90                       | 25,20                       | 21,20               | -0,80                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1347,06                               | 3927,72                        | 1534,50                   | 39,07                           | 34,31                | 34,30                               |
| 13:20              | 20,40                | 25,00                      | 25,90                       | 25,15                       | 21,30               | -0,90                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,17                               | 3881,12                        | 1534,50                   | 39,54                           | 34,36                | 34,30                               |
| 13:25              | 20,50                | 24,90                      | 25,90                       | 25,19                       | 21,30               | -0,80                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,98                               | 3834,13                        | 1506,60                   | 39,29                           | 34,34                | 34,30                               |
| 13:30              | 20,50                | 24,90                      | 25,90                       | 25,19                       | 21,40               | -0,90                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1315,06                               | 3834,13                        | 1506,60                   | 39,29                           | 34,34                | 34,30                               |
| 13:35              | 20,60                | 25,00                      | 26,00                       | 25,29                       | 21,50               | -0,90                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1315,06                               | 3834,13                        | 1506,60                   | 39,29                           | 34,34                | 34,30                               |
| 13:40              | 20,60                | 25,10                      | 26,10                       | 25,35                       | 21,60               | -1,00                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,26                               | 3881,12                        | 1534,50                   | 39,54                           | 34,36                | 34,30                               |
| 13:45              | 20,70                | 25,30                      | 26,30                       | 25,50                       | 21,60               | -0,90                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1347,15                               | 3927,72                        | 1562,40                   | 39,78                           | 34,31                | 34,30                               |
| 13:50              | 20,70                | 25,40                      | 26,40                       | 25,56                       | 21,70               | -1,00                          | 1040,40             | 1364,35                        | 1363,21                               | 3974,33                        | 1590,30                   | 40,01                           | 34,33                | 34,30                               |
| 13:55              | 20,80                | 25,20                      | 26,30                       | 25,49                       | 21,90               | -1,10                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1315,24                               | 3834,13                        | 1534,50                   | 40,02                           | 34,34                | 34,30                               |
| 14:00              | 20,70                | 25,30                      | 26,30                       | 25,51                       | 22,00               | -1,30                          | 1028,20             | 1350,31                        | 1347,49                               | 3927,72                        | 1562,40                   | 39,78                           | 34,38                | 34,31                               |
| 14:05              | 20,80                | 25,40                      | 26,50                       | 25,61                       | 22,10               | -1,30                          | 1028,20             | 1350,31                        | 1347,49                               | 3927,72                        | 1590,30                   | 40,49                           | 34,38                | 34,31                               |
| 14:10              | 20,80                | 25,20                      | 26,30                       | 25,49                       | 22,10               | -1,30                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1315,41                               | 3834,13                        | 1534,50                   | 40,02                           | 34,34                | 34,31                               |
| 14:15              | 20,90                | 25,20                      | 26,40                       | 25,53                       | 22,20               | -1,30                          | 991,40              | 1299,78                        | 1299,30                               | 3787,15                        | 1534,50                   | 40,52                           | 34,32                | 34,31                               |
| 14:20              | 20,90                | 25,20                      | 26,40                       | 25,53                       | 22,20               | -1,30                          | 991,40              | 1299,78                        | 1299,30                               | 3787,15                        | 1534,50                   | 40,52                           | 34,32                | 34,31                               |
| 14:25              | 20,90                | 25,00                      | 26,10                       | 25,36                       | 22,30               | -1,40                          | 954,80              | 1252,06                        | 1251,47                               | 3647,34                        | 1450,80                   | 39,78                           | 34,33                | 34,31                               |
| 14:30              | 20,90                | 25,10                      | 26,20                       | 25,42                       | 22,30               | -1,40                          | 967,00              | 1268,90                        | 1267,44                               | 3693,94                        | 1478,70                   | 40,03                           | 34,35                | 34,31                               |
| 14:35              | 20,90                | 25,10                      | 26,20                       | 25,42                       | 22,40               | -1,50                          | 967,00              | 1268,90                        | 1267,53                               | 3693,94                        | 1478,70                   | 40,03                           | 34,35                | 34,31                               |
| 14:40              | 20,90                | 24,70                      | 26,00                       | 25,25                       | 22,50               | -1,60                          | 930,30              | 1221,18                        | 1219,56                               | 3553,75                        | 1422,90                   | 40,04                           | 34,36                | 34,32                               |
| 14:45              | 20,90                | 24,60                      | 25,90                       | 25,14                       | 22,60               | -1,70                          | 905,80              | 1190,30                        | 1187,56                               | 3460,16                        | 1395,00                   | 40,32                           | 34,40                | 34,32                               |
| 14:50              | 21,00                | 24,80                      | 26,10                       | 25,29                       | 22,70               | -1,70                          | 918,00              | 1204,33                        | 1203,54                               | 3506,76                        | 1422,90                   | 40,58                           | 34,34                | 34,32                               |
| 14:55              | 21,10                | 24,70                      | 26,10                       | 25,28                       | 22,70               | -1,60                          | 893,50              | 1173,45                        | 1171,37                               | 3413,17                        | 1395,00                   | 40,87                           | 34,38                | 34,32                               |
| 15:00              | 21,10                | 24,60                      | 26,10                       | 25,28                       | 22,80               | -1,70                          | 893,50              | 1173,45                        | 1171,46                               | 3413,17                        | 1395,00                   | 40,87                           | 34,38                | 34,32                               |
| 15:05              | 21,10                | 24,50                      | 26,00                       | 25,22                       | 22,80               | -1,70                          | 881,30              | 1156,61                        | 1155,48                               | 3366,57                        | 1367,10                   | 40,61                           | 34,36                | 34,32                               |
| 15:10              | 21,10                | 24,40                      | 26,00                       | 25,22                       | 22,80               | -1,70                          | 881,30              | 1156,61                        | 1155,48                               | 3366,57                        | 1367,10                   | 40,61                           | 34,36                | 34,32                               |
| 15:15              | 21,10                | 24,50                      | 26,00                       | 25,22                       | 22,90               | -1,80                          | 881,30              | 1156,61                        | 1155,57                               | 3366,57                        | 1367,10                   | 40,61                           | 34,36                | 34,32                               |
| 15:20              | 21,10                | 24,30                      | 25,90                       | 25,11                       | 22,90               | -1,80                          | 856,80              | 1125,73                        | 1123,49                               | 3272,98                        | 1339,20                   | 40,92                           | 34,39                | 34,33                               |
| 15:25              | 21,10                | 24,40                      | 25,80                       | 25,05                       | 22,90               | -1,80                          | 844,60              | 1108,88                        | 1107,51                               | 3226,37                        | 1311,30                   | 40,64                           | 34,37                | 34,33                               |
| 15:30              | 21,20                | 24,30                      | 26,00                       | 25,21                       | 23,00               | -1,80                          | 856,80              | 1125,73                        | 1123,49                               | 3272,98                        | 1339,20                   | 40,92                           | 34,39                | 34,33                               |

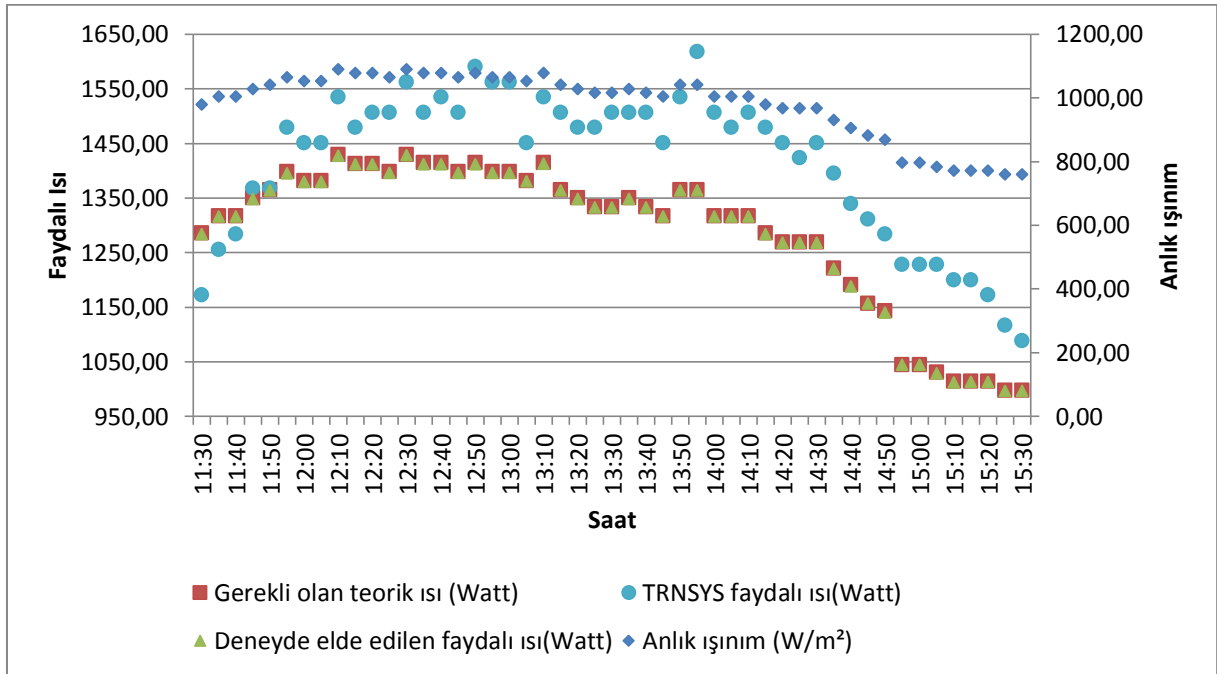
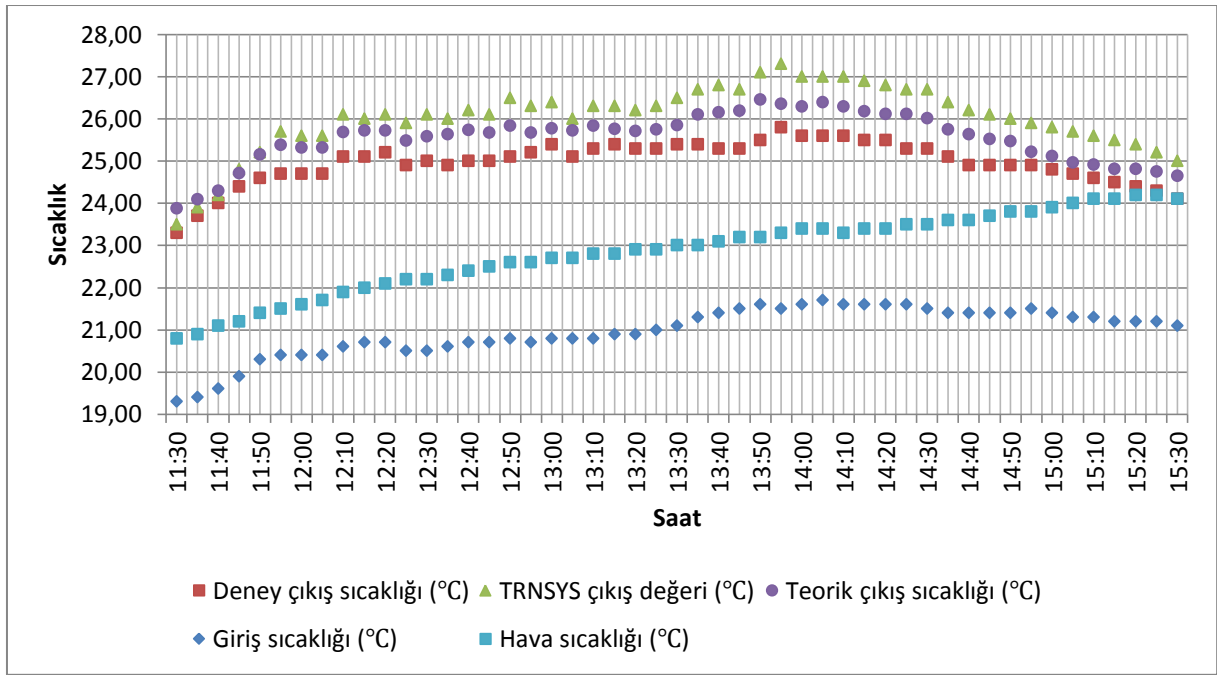
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,59 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %2,6'dır. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,67 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %2,2' dir. Anlık ısıtım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 59,28 W/m²'dir ve Anlık ısıtım değerlerinde hata oranı da %5,2'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,61 °C derecedir ve hata oranı %2,3'dür. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 76,38 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,9'dur. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,6 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,5'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 79,88 W hata oranı da %5,7'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 77,54'tür ve bu değerlerin hata oranı da %4,5'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,086 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,2'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 56,74 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %3,9'dur. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapası 0,081 ve hesaplama hata oranı da %0,17'dir.

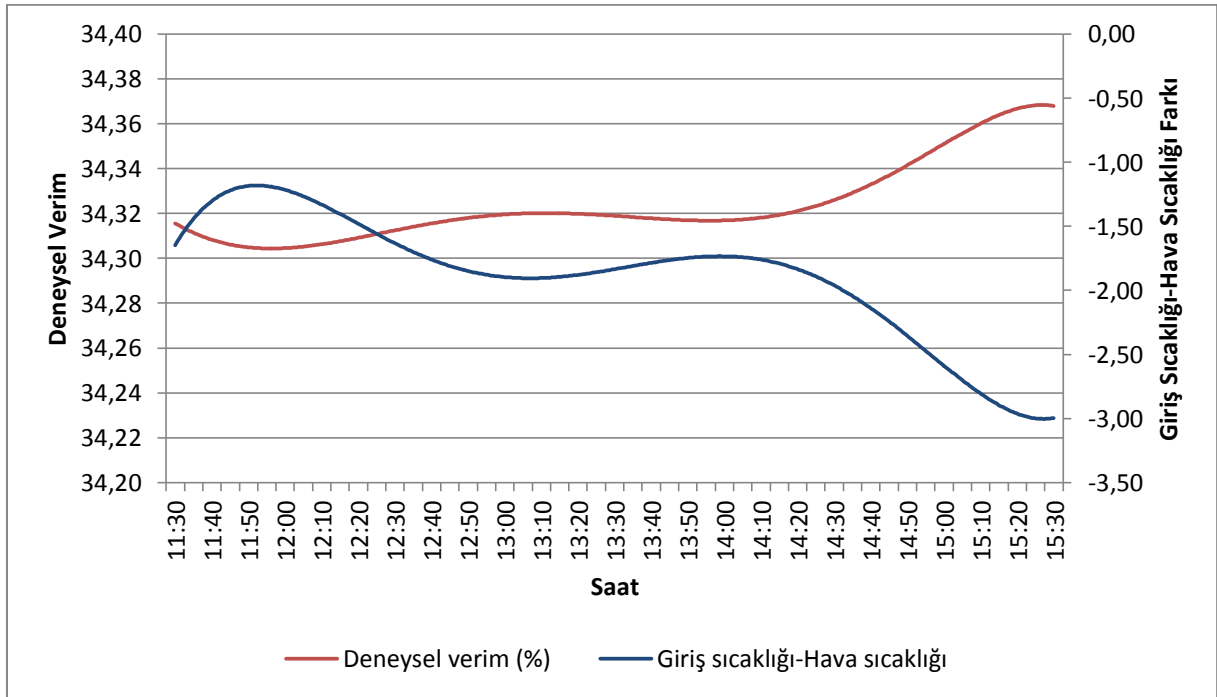
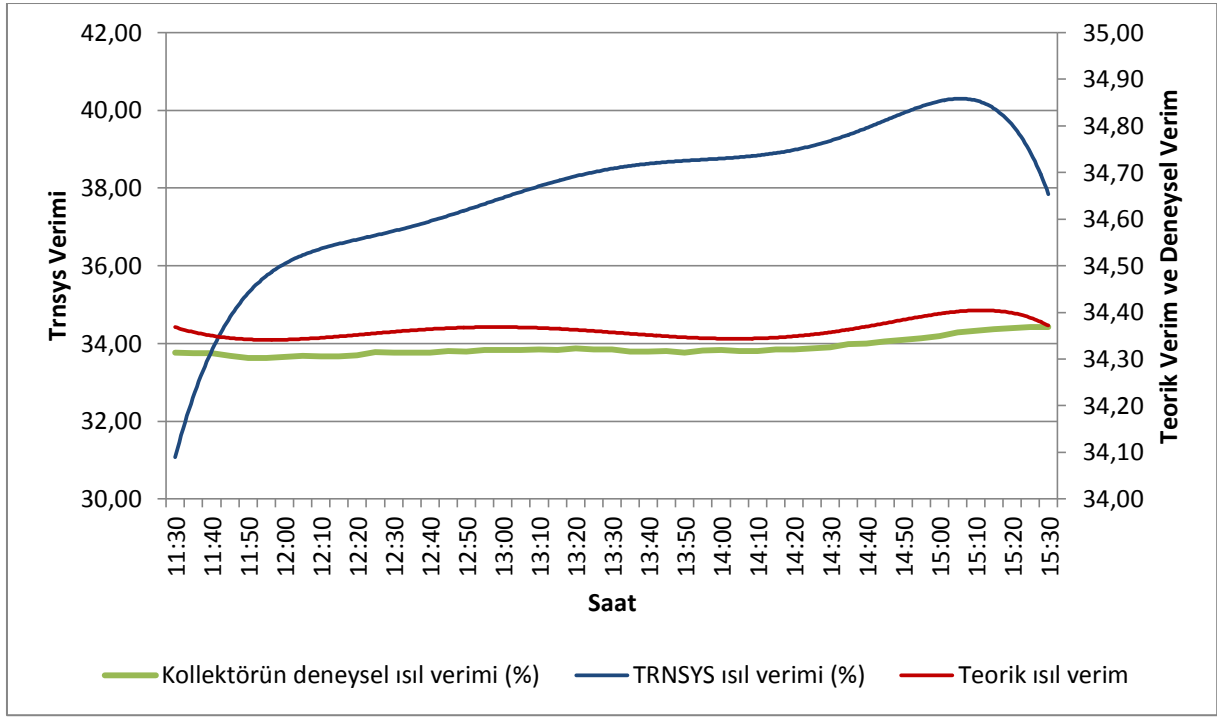




| 27 EYLÜL DEĞERLERİ |                      |                            |                          |                             |                     |                                |                      |                                |                                       |                                |                          |                                 |                      |                                     |
|--------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| saat               | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri (°C) | Teorik çıkış sıcaklığı (°C) | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı-Hava sıcaklığı | Anlık ışıınım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı(Watt) | TRNSYS kollektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Kollektörün deneysel ısı verimi (%) |
| 11:30              | 19,30                | 23,30                      | 23,50                    | 23,88                       | 20,80               | -1,50                          | 979,20               | 1285,74                        | 1283,503                              | 3740,54                        | 1171,80                  | 31,33                           | 34,37                | 34,31                               |
| 11:35              | 19,40                | 23,70                      | 23,90                    | 24,09                       | 20,90               | -1,50                          | 1003,70              | 1316,62                        | 1315,584                              | 3834,13                        | 1255,50                  | 32,75                           | 34,34                | 34,31                               |
| 11:40              | 19,60                | 24,00                      | 24,20                    | 24,29                       | 21,10               | -1,50                          | 1003,70              | 1316,62                        | 1315,584                              | 3834,13                        | 1283,40                  | 33,47                           | 34,34                | 34,31                               |
| 11:45              | 19,90                | 24,40                      | 24,80                    | 24,71                       | 21,20               | -1,30                          | 1028,20              | 1350,31                        | 1347,492                              | 3927,72                        | 1367,10                  | 34,81                           | 34,38                | 34,31                               |
| 11:50              | 20,30                | 24,60                      | 25,20                    | 25,16                       | 21,40               | -1,10                          | 1040,40              | 1364,35                        | 1363,294                              | 3974,33                        | 1367,10                  | 34,40                           | 34,33                | 34,30                               |
| 11:55              | 20,40                | 24,70                      | 25,70                    | 25,38                       | 21,50               | -1,10                          | 1064,90              | 1398,04                        | 1395,375                              | 4067,92                        | 1478,70                  | 36,35                           | 34,37                | 34,30                               |
| 12:00              | 20,40                | 24,70                      | 25,60                    | 25,32                       | 21,60               | -1,20                          | 1052,70              | 1381,19                        | 1379,487                              | 4021,31                        | 1450,80                  | 36,08                           | 34,35                | 34,30                               |
| 12:05              | 20,40                | 24,70                      | 25,60                    | 25,32                       | 21,70               | -1,30                          | 1052,70              | 1381,19                        | 1379,573                              | 4021,31                        | 1450,80                  | 36,08                           | 34,35                | 34,31                               |
| 12:10              | 20,60                | 25,10                      | 26,10                    | 25,69                       | 21,90               | -1,30                          | 1089,40              | 1428,92                        | 1427,63                               | 4161,51                        | 1534,50                  | 36,87                           | 34,34                | 34,31                               |
| 12:15              | 20,70                | 25,10                      | 26,00                    | 25,73                       | 22,00               | -1,30                          | 1077,10              | 1412,07                        | 1411,524                              | 4114,52                        | 1478,70                  | 35,94                           | 34,32                | 34,31                               |
| 12:20              | 20,70                | 25,20                      | 26,10                    | 25,73                       | 22,10               | -1,40                          | 1077,10              | 1412,07                        | 1411,61                               | 4114,52                        | 1506,60                  | 36,62                           | 34,32                | 34,31                               |
| 12:25              | 20,50                | 24,90                      | 25,90                    | 25,48                       | 22,20               | -1,70                          | 1064,90              | 1398,04                        | 1395,895                              | 4067,92                        | 1506,60                  | 37,04                           | 34,37                | 34,31                               |
| 12:30              | 20,50                | 25,00                      | 26,10                    | 25,59                       | 22,20               | -1,70                          | 1089,40              | 1428,92                        | 1427,976                              | 4161,51                        | 1562,40                  | 37,54                           | 34,34                | 34,31                               |
| 12:35              | 20,60                | 24,90                      | 26,00                    | 25,64                       | 22,30               | -1,70                          | 1077,10              | 1414,88                        | 1411,87                               | 4114,52                        | 1506,60                  | 36,62                           | 34,39                | 34,31                               |
| 12:40              | 20,70                | 25,00                      | 26,20                    | 25,74                       | 22,40               | -1,70                          | 1077,10              | 1414,88                        | 1411,87                               | 4114,52                        | 1534,50                  | 37,29                           | 34,39                | 34,31                               |
| 12:45              | 20,70                | 25,00                      | 26,10                    | 25,68                       | 22,50               | -1,80                          | 1064,90              | 1398,04                        | 1395,981                              | 4067,92                        | 1506,60                  | 37,04                           | 34,37                | 34,32                               |
| 12:50              | 20,80                | 25,10                      | 26,50                    | 25,84                       | 22,60               | -1,80                          | 1077,10              | 1414,88                        | 1411,956                              | 4114,52                        | 1590,30                  | 38,65                           | 34,39                | 34,32                               |
| 12:55              | 20,70                | 25,20                      | 26,30                    | 25,68                       | 22,60               | -1,90                          | 1064,90              | 1398,04                        | 1396,068                              | 4067,92                        | 1562,40                  | 38,41                           | 34,37                | 34,32                               |
| 13:00              | 20,80                | 25,40                      | 26,40                    | 25,78                       | 22,70               | -1,90                          | 1064,90              | 1398,04                        | 1396,068                              | 4067,92                        | 1562,40                  | 38,41                           | 34,37                | 34,32                               |
| 13:05              | 20,80                | 25,10                      | 26,00                    | 25,72                       | 22,70               | -1,90                          | 1052,70              | 1381,19                        | 1380,093                              | 4021,31                        | 1450,80                  | 36,08                           | 34,35                | 34,32                               |
| 13:10              | 20,80                | 25,30                      | 26,30                    | 25,84                       | 22,80               | -2,00                          | 1077,10              | 1414,88                        | 1412,13                               | 4114,52                        | 1534,50                  | 37,29                           | 34,39                | 34,32                               |
| 13:15              | 20,90                | 25,40                      | 26,30                    | 25,76                       | 22,80               | -1,90                          | 1040,40              | 1364,35                        | 1363,987                              | 3974,33                        | 1506,60                  | 37,91                           | 34,33                | 34,32                               |
| 13:20              | 20,90                | 25,30                      | 26,20                    | 25,71                       | 22,90               | -2,00                          | 1028,20              | 1350,31                        | 1348,098                              | 3927,72                        | 1478,70                  | 37,65                           | 34,38                | 34,32                               |
| 13:25              | 21,00                | 25,30                      | 26,30                    | 25,75                       | 22,90               | -1,90                          | 1016,00              | 1333,47                        | 1332,036                              | 3881,12                        | 1478,70                  | 38,10                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:30              | 21,10                | 25,40                      | 26,50                    | 25,85                       | 23,00               | -1,90                          | 1016,00              | 1333,47                        | 1332,036                              | 3881,12                        | 1506,60                  | 38,82                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:35              | 21,30                | 25,40                      | 26,70                    | 26,11                       | 23,00               | -1,70                          | 1028,20              | 1350,31                        | 1347,838                              | 3927,72                        | 1506,60                  | 38,36                           | 34,38                | 34,32                               |
| 13:40              | 21,40                | 25,30                      | 26,80                    | 26,15                       | 23,10               | -1,70                          | 1016,00              | 1333,47                        | 1331,863                              | 3881,12                        | 1506,60                  | 38,82                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:45              | 21,50                | 25,30                      | 26,70                    | 26,19                       | 23,20               | -1,70                          | 1003,70              | 1316,62                        | 1315,757                              | 3834,13                        | 1450,80                  | 37,84                           | 34,34                | 34,32                               |
| 13:50              | 21,60                | 25,50                      | 27,10                    | 26,46                       | 23,20               | -1,60                          | 1040,40              | 1364,35                        | 1363,727                              | 3974,33                        | 1534,50                  | 38,61                           | 34,33                | 34,31                               |
| 13:55              | 21,50                | 25,80                      | 27,30                    | 26,36                       | 23,30               | -1,80                          | 1040,40              | 1364,35                        | 1363,9                                | 3974,33                        | 1618,20                  | 40,72                           | 34,33                | 34,32                               |
| 14:00              | 21,60                | 25,60                      | 27,00                    | 26,29                       | 23,40               | -1,80                          | 1003,70              | 1316,62                        | 1315,844                              | 3834,13                        | 1506,60                  | 39,29                           | 34,34                | 34,32                               |
| 14:05              | 21,70                | 25,60                      | 27,00                    | 26,39                       | 23,40               | -1,70                          | 1003,70              | 1316,62                        | 1315,757                              | 3834,13                        | 1478,70                  | 38,57                           | 34,34                | 34,32                               |
| 14:10              | 21,60                | 25,60                      | 27,00                    | 26,29                       | 23,30               | -1,70                          | 1003,70              | 1316,62                        | 1315,757                              | 3834,13                        | 1506,60                  | 39,29                           | 34,34                | 34,32                               |
| 14:15              | 21,60                | 25,50                      | 26,90                    | 26,18                       | 23,40               | -1,80                          | 979,20               | 1285,74                        | 1283,762                              | 3740,54                        | 1478,70                  | 39,53                           | 34,37                | 34,32                               |
| 14:20              | 21,60                | 25,50                      | 26,80                    | 26,12                       | 23,40               | -1,80                          | 967,00               | 1268,90                        | 1267,787                              | 3693,94                        | 1450,80                  | 39,28                           | 34,35                | 34,32                               |
| 14:25              | 21,60                | 25,30                      | 26,70                    | 26,12                       | 23,50               | -1,90                          | 967,00               | 1268,90                        | 1267,874                              | 3693,94                        | 1422,90                  | 38,52                           | 34,35                | 34,32                               |
| 14:30              | 21,50                | 25,30                      | 26,70                    | 26,02                       | 23,50               | -2,00                          | 967,00               | 1268,90                        | 1267,96                               | 3693,94                        | 1450,80                  | 39,28                           | 34,35                | 34,33                               |
| 14:35              | 21,40                | 25,10                      | 26,40                    | 25,75                       | 23,60               | -2,20                          | 930,30               | 1221,18                        | 1220,077                              | 3553,75                        | 1395,00                  | 39,25                           | 34,36                | 34,33                               |
| 14:40              | 21,40                | 24,90                      | 26,20                    | 25,64                       | 23,60               | -2,20                          | 905,80               | 1190,30                        | 1187,996                              | 3460,16                        | 1339,20                  | 38,70                           | 34,40                | 34,33                               |
| 14:45              | 21,40                | 24,90                      | 26,10                    | 25,52                       | 23,70               | -2,30                          | 881,30               | 1156,61                        | 1156,001                              | 3366,57                        | 1311,30                  | 38,95                           | 34,36                | 34,34                               |
| 14:50              | 21,40                | 24,90                      | 26,00                    | 25,47                       | 23,80               | -2,40                          | 869,00               | 1142,57                        | 1139,982                              | 3319,58                        | 1283,40                  | 38,66                           | 34,42                | 34,34                               |
| 14:55              | 21,50                | 24,90                      | 25,90                    | 25,22                       | 23,80               | -2,30                          | 795,60               | 1044,32                        | 1043,782                              | 3039,19                        | 1227,60                  | 40,39                           | 34,36                | 34,34                               |
| 15:00              | 21,40                | 24,80                      | 25,80                    | 25,12                       | 23,90               | -2,50                          | 795,60               | 1044,32                        | 1043,955                              | 3039,19                        | 1227,60                  | 40,39                           | 34,36                | 34,35                               |
| 15:05              | 21,30                | 24,70                      | 25,70                    | 24,97                       | 24,00               | -2,70                          | 783,40               | 1030,28                        | 1028,153                              | 2992,59                        | 1227,60                  | 41,02                           | 34,43                | 34,36                               |
| 15:10              | 21,30                | 24,60                      | 25,60                    | 24,91                       | 24,10               | -2,80                          | 771,10               | 1013,44                        | 1012,134                              | 2945,60                        | 1199,70                  | 40,73                           | 34,41                | 34,36                               |
| 15:15              | 21,20                | 24,50                      | 25,50                    | 24,81                       | 24,10               | -2,90                          | 771,10               | 1013,44                        | 1012,22                               | 2945,60                        | 1199,70                  | 40,73                           | 34,41                | 34,36                               |
| 15:20              | 21,20                | 24,40                      | 25,40                    | 24,81                       | 24,20               | -3,00                          | 771,10               | 1013,44                        | 1012,307                              | 2945,60                        | 1171,80                  | 39,78                           | 34,41                | 34,37                               |
| 15:25              | 21,20                | 24,30                      | 25,20                    | 24,75                       | 24,20               | -3,00                          | 758,90               | 996,59                         | 996,3318                              | 2899,00                        | 1116,00                  | 38,50                           | 34,38                | 34,37                               |
| 15:30              | 21,10                | 24,10                      | 25,00                    | 24,65                       | 24,10               | -3,00                          | 758,90               | 996,59                         | 996,3318                              | 2899,00                        | 1088,10                  | 37,53                           | 34,38                | 34,37                               |

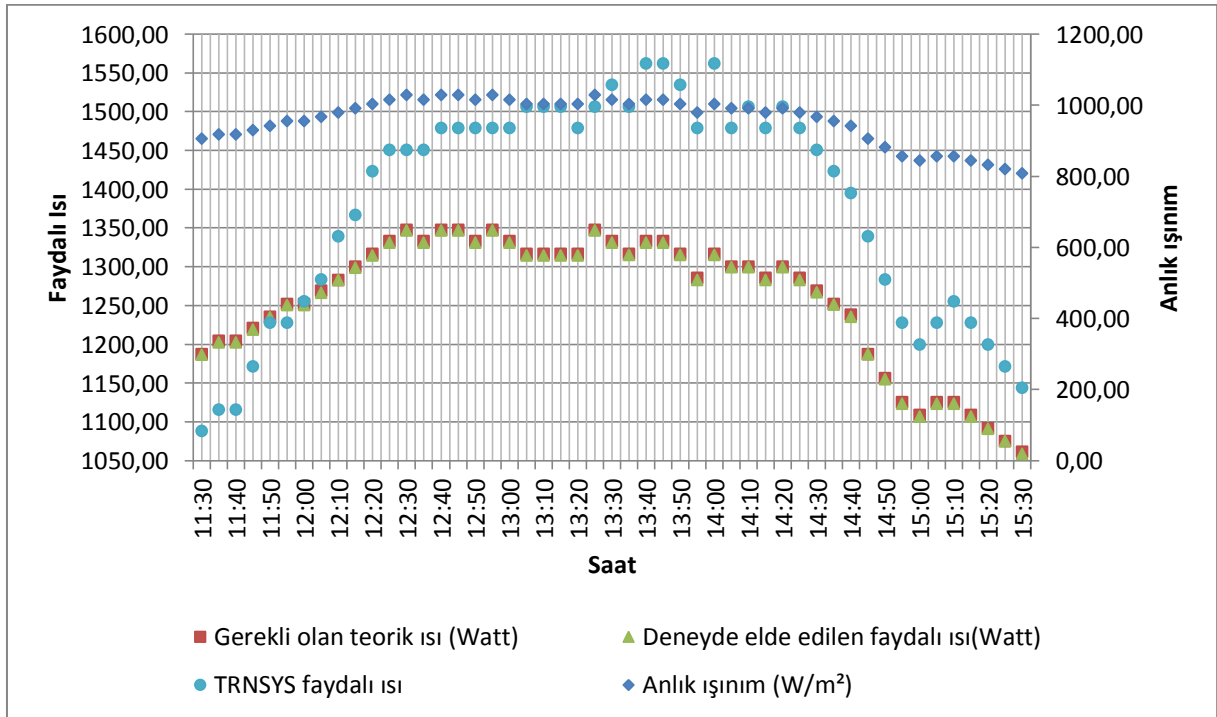
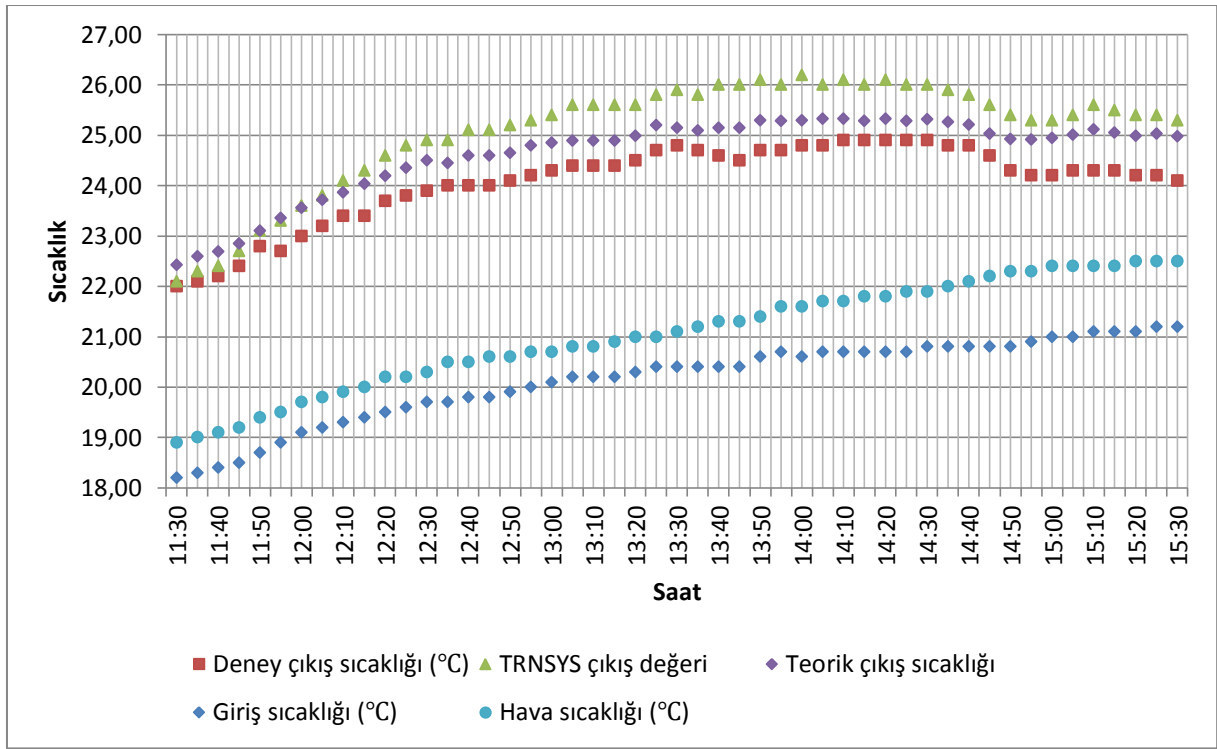
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,62 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %2,4'dür. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,69 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %2,5'dir. Anlık ışıınım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 61,11 W/m²'dir ve Anlık ışıınım değerlerinde hata oranı da %5,1'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,71 °C derecedir ve hata oranı %2,1'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 79,32 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,7'dür. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,63 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,2'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 82,09 W hata oranı da %5,5'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 79,23'tür ve bu değerlerin hata oranı da %4,6'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,083 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,19'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 57,88 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %4,1'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapası 0,082 ve hesaplama hata oranı da %0,16'dir.

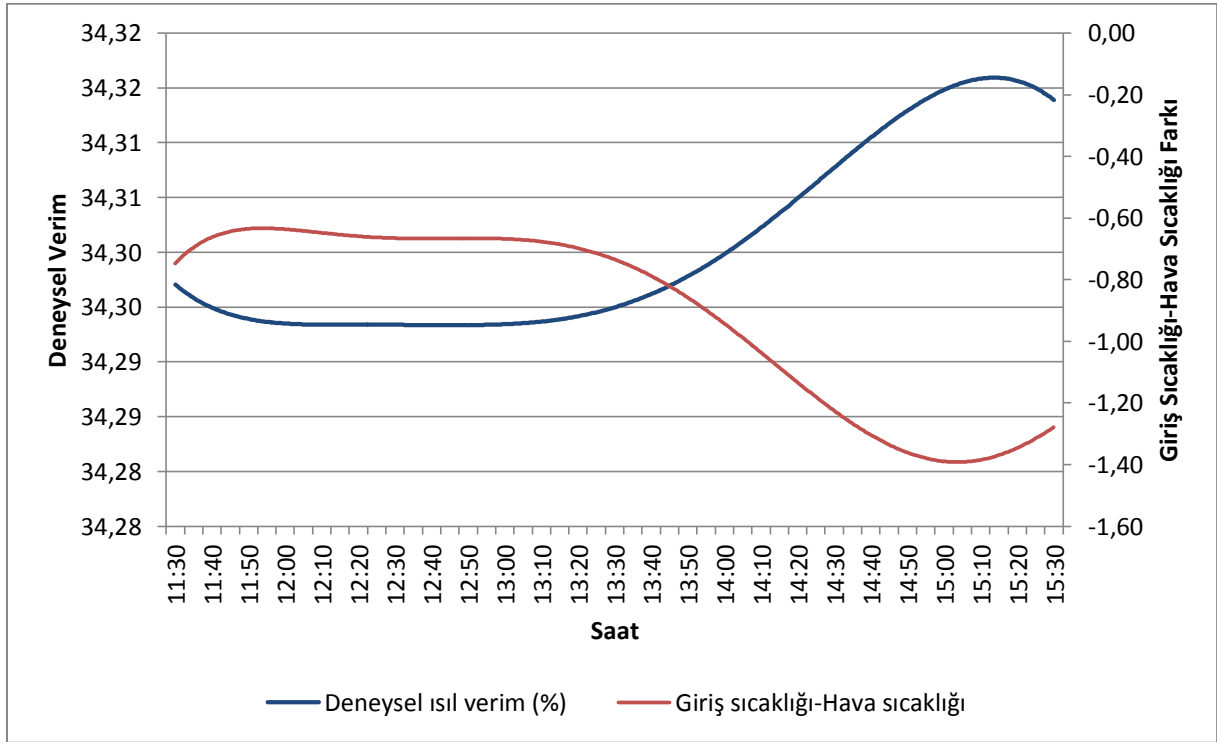
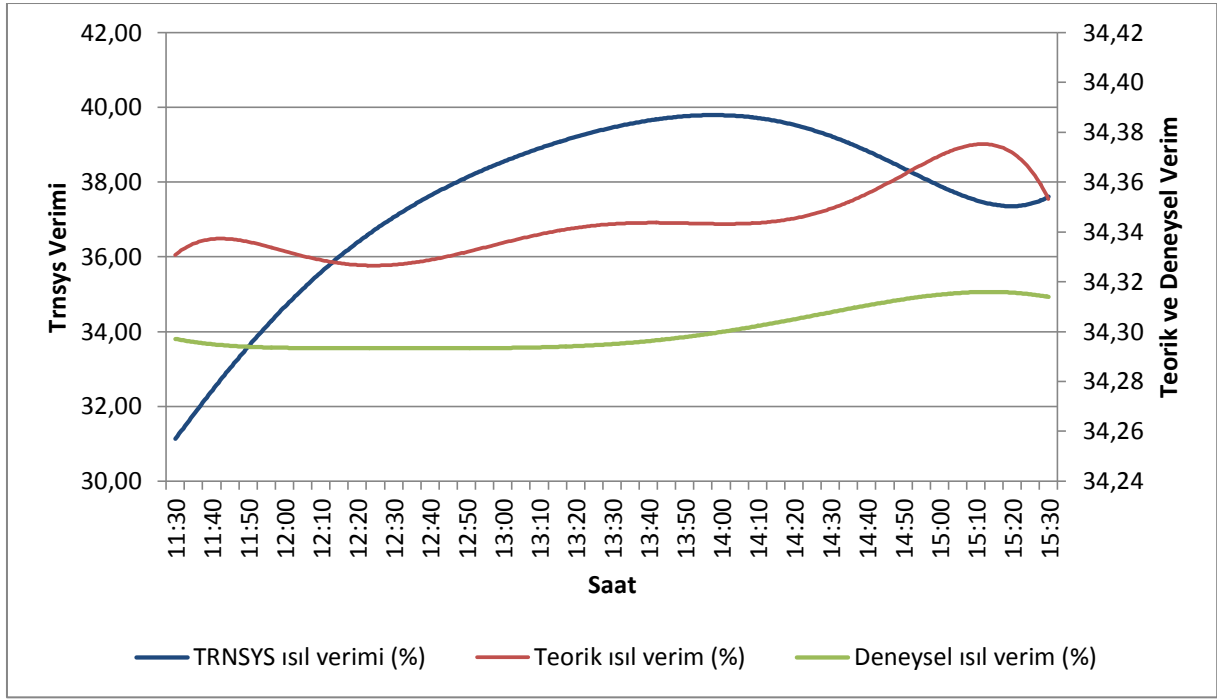




| 28 EYLÜL DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                |                     |                                |                                       |                                |                    |                                 |                      |                                     |
|--------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| saat               | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı-Hava sıcaklığı | Anlık ısıtım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kollektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Kollektörün deneysel ısı verimi (%) |
| 11:30              | 18,20                | 22,00                      | 22,10               | 22,43                  | 18,90               | -0,70                          | 905,80              | 1187,49                        | 1186,70                               | 3460,16                        | 1088,10            | 31,45                           | 34,32                | 34,30                               |
| 11:35              | 18,30                | 22,10                      | 22,30               | 22,59                  | 19,00               | -0,70                          | 918,00              | 1204,33                        | 1202,67                               | 3506,76                        | 1116,00            | 31,82                           | 34,34                | 34,30                               |
| 11:40              | 18,40                | 22,20                      | 22,40               | 22,69                  | 19,10               | -0,70                          | 918,00              | 1204,33                        | 1202,67                               | 3506,76                        | 1116,00            | 31,82                           | 34,34                | 34,30                               |
| 11:45              | 18,50                | 22,40                      | 22,70               | 22,85                  | 19,20               | -0,70                          | 930,20              | 1221,18                        | 1218,65                               | 3553,36                        | 1171,80            | 32,98                           | 34,37                | 34,30                               |
| 11:50              | 18,70                | 22,80                      | 23,10               | 23,10                  | 19,40               | -0,70                          | 942,50              | 1235,21                        | 1234,75                               | 3600,35                        | 1227,60            | 34,10                           | 34,31                | 34,30                               |
| 11:55              | 18,90                | 22,70                      | 23,30               | 23,36                  | 19,50               | -0,60                          | 954,80              | 1252,06                        | 1250,77                               | 3647,34                        | 1227,60            | 33,66                           | 34,33                | 34,29                               |
| 12:00              | 19,10                | 23,00                      | 23,60               | 23,56                  | 19,70               | -0,60                          | 954,80              | 1252,06                        | 1250,77                               | 3647,34                        | 1255,50            | 34,42                           | 34,33                | 34,29                               |
| 12:05              | 19,20                | 23,20                      | 23,80               | 23,72                  | 19,80               | -0,60                          | 967,00              | 1268,90                        | 1266,75                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                           | 34,35                | 34,29                               |
| 12:10              | 19,30                | 23,40                      | 24,10               | 23,87                  | 19,90               | -0,60                          | 979,20              | 1282,94                        | 1282,72                               | 3740,54                        | 1339,20            | 35,80                           | 34,30                | 34,29                               |
| 12:15              | 19,40                | 23,40                      | 24,30               | 24,03                  | 20,00               | -0,60                          | 991,50              | 1299,78                        | 1298,83                               | 3787,53                        | 1367,10            | 36,09                           | 34,32                | 34,29                               |
| 12:20              | 19,50                | 23,70                      | 24,60               | 24,19                  | 20,20               | -0,70                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,89                               | 3834,13                        | 1422,90            | 37,11                           | 34,34                | 34,29                               |
| 12:25              | 19,60                | 23,80                      | 24,80               | 24,35                  | 20,20               | -0,60                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1330,91                               | 3881,12                        | 1450,80            | 37,38                           | 34,36                | 34,29                               |
| 12:30              | 19,70                | 23,90                      | 24,90               | 24,50                  | 20,30               | -0,60                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1346,89                               | 3927,72                        | 1450,80            | 36,94                           | 34,31                | 34,29                               |
| 12:35              | 19,70                | 24,00                      | 24,90               | 24,45                  | 20,50               | -0,80                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,08                               | 3881,12                        | 1450,80            | 37,38                           | 34,36                | 34,30                               |
| 12:40              | 19,80                | 24,00                      | 25,10               | 24,60                  | 20,50               | -0,70                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1346,97                               | 3927,72                        | 1478,70            | 37,65                           | 34,31                | 34,29                               |
| 12:45              | 19,80                | 24,00                      | 25,10               | 24,60                  | 20,60               | -0,80                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1347,06                               | 3927,72                        | 1478,70            | 37,65                           | 34,31                | 34,30                               |
| 12:50              | 19,90                | 24,10                      | 25,20               | 24,65                  | 20,60               | -0,70                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,00                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                           | 34,36                | 34,29                               |
| 12:55              | 20,00                | 24,20                      | 25,30               | 24,80                  | 20,70               | -0,70                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1346,97                               | 3927,72                        | 1478,70            | 37,65                           | 34,31                | 34,29                               |
| 13:00              | 20,10                | 24,30                      | 25,40               | 24,85                  | 20,70               | -0,60                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1330,91                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                           | 34,36                | 34,29                               |
| 13:05              | 20,20                | 24,40                      | 25,60               | 24,89                  | 20,80               | -0,60                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,80                               | 3834,13                        | 1506,60            | 39,29                           | 34,34                | 34,29                               |
| 13:10              | 20,20                | 24,40                      | 25,60               | 24,89                  | 20,80               | -0,60                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,80                               | 3834,13                        | 1506,60            | 39,29                           | 34,34                | 34,29                               |
| 13:15              | 20,20                | 24,40                      | 25,60               | 24,89                  | 20,90               | -0,70                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,89                               | 3834,13                        | 1506,60            | 39,29                           | 34,34                | 34,29                               |
| 13:20              | 20,30                | 24,50                      | 25,60               | 24,99                  | 21,00               | -0,70                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,89                               | 3834,13                        | 1478,70            | 38,57                           | 34,34                | 34,29                               |
| 13:25              | 20,40                | 24,70                      | 25,80               | 25,20                  | 21,00               | -0,60                          | 1028,20             | 1347,50                        | 1346,89                               | 3927,72                        | 1506,60            | 38,36                           | 34,31                | 34,29                               |
| 13:30              | 20,40                | 24,80                      | 25,90               | 25,15                  | 21,10               | -0,70                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,00                               | 3881,12                        | 1534,50            | 39,54                           | 34,36                | 34,29                               |
| 13:35              | 20,40                | 24,70                      | 25,80               | 25,09                  | 21,20               | -0,80                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,98                               | 3834,13                        | 1506,60            | 39,29                           | 34,34                | 34,30                               |
| 13:40              | 20,40                | 24,60                      | 26,00               | 25,15                  | 21,30               | -0,90                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,17                               | 3881,12                        | 1562,40            | 40,26                           | 34,36                | 34,30                               |
| 13:45              | 20,40                | 24,50                      | 26,00               | 25,15                  | 21,30               | -0,90                          | 1016,00             | 1333,47                        | 1331,17                               | 3881,12                        | 1562,40            | 40,26                           | 34,36                | 34,30                               |
| 13:50              | 20,60                | 24,70                      | 26,10               | 25,29                  | 21,40               | -0,80                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1314,98                               | 3834,13                        | 1534,50            | 40,02                           | 34,34                | 34,30                               |
| 13:55              | 20,70                | 24,70                      | 26,00               | 25,28                  | 21,60               | -0,90                          | 979,20              | 1285,74                        | 1282,98                               | 3740,54                        | 1478,70            | 39,53                           | 34,37                | 34,30                               |
| 14:00              | 20,60                | 24,80                      | 26,20               | 25,29                  | 21,60               | -1,00                          | 1003,70             | 1316,62                        | 1315,15                               | 3834,13                        | 1562,40            | 40,75                           | 34,34                | 34,30                               |
| 14:05              | 20,70                | 24,80                      | 26,00               | 25,33                  | 21,70               | -1,00                          | 991,50              | 1299,78                        | 1299,18                               | 3787,53                        | 1478,70            | 39,04                           | 34,32                | 34,30                               |
| 14:10              | 20,70                | 24,90                      | 26,10               | 25,33                  | 21,70               | -1,00                          | 991,50              | 1299,78                        | 1299,18                               | 3787,53                        | 1506,60            | 39,78                           | 34,32                | 34,30                               |
| 14:15              | 20,70                | 24,90                      | 26,00               | 25,28                  | 21,80               | -1,10                          | 979,20              | 1285,74                        | 1283,16                               | 3740,54                        | 1478,70            | 39,53                           | 34,37                | 34,30                               |
| 14:20              | 20,70                | 24,90                      | 26,10               | 25,33                  | 21,80               | -1,10                          | 991,50              | 1299,78                        | 1299,26                               | 3787,53                        | 1506,60            | 39,78                           | 34,32                | 34,30                               |
| 14:25              | 20,70                | 24,90                      | 26,00               | 25,28                  | 21,90               | -1,20                          | 979,20              | 1285,74                        | 1283,24                               | 3740,54                        | 1478,70            | 39,53                           | 34,37                | 34,31                               |
| 14:30              | 20,80                | 24,90                      | 26,00               | 25,32                  | 21,90               | -1,10                          | 967,00              | 1268,90                        | 1267,18                               | 3693,94                        | 1450,80            | 39,28                           | 34,35                | 34,30                               |
| 14:35              | 20,80                | 24,80                      | 25,90               | 25,26                  | 22,00               | -1,20                          | 954,80              | 1252,06                        | 1251,29                               | 3647,34                        | 1422,90            | 39,01                           | 34,33                | 34,31                               |
| 14:40              | 20,80                | 24,80                      | 25,80               | 25,21                  | 22,10               | -1,30                          | 942,50              | 1238,02                        | 1235,27                               | 3600,35                        | 1395,00            | 38,75                           | 34,39                | 34,31                               |
| 14:45              | 20,80                | 24,60                      | 25,60               | 25,03                  | 22,20               | -1,40                          | 905,80              | 1187,49                        | 1187,30                               | 3460,16                        | 1339,20            | 38,70                           | 34,32                | 34,31                               |
| 14:50              | 20,80                | 24,30                      | 25,40               | 24,92                  | 22,30               | -1,50                          | 881,30              | 1156,61                        | 1155,31                               | 3366,57                        | 1283,40            | 38,12                           | 34,36                | 34,32                               |
| 14:55              | 20,90                | 24,20                      | 25,30               | 24,91                  | 22,30               | -1,40                          | 856,80              | 1125,73                        | 1123,14                               | 3272,98                        | 1227,60            | 37,51                           | 34,39                | 34,32                               |
| 15:00              | 21,00                | 24,20                      | 25,30               | 24,95                  | 22,40               | -1,40                          | 844,60              | 1108,88                        | 1107,17                               | 3226,37                        | 1199,70            | 37,18                           | 34,37                | 34,32                               |
| 15:05              | 21,00                | 24,30                      | 25,40               | 25,01                  | 22,40               | -1,40                          | 856,80              | 1125,73                        | 1123,14                               | 3272,98                        | 1227,60            | 37,51                           | 34,39                | 34,32                               |
| 15:10              | 21,10                | 24,30                      | 25,60               | 25,11                  | 22,40               | -1,30                          | 856,80              | 1125,73                        | 1123,05                               | 3272,98                        | 1255,50            | 38,36                           | 34,39                | 34,31                               |
| 15:15              | 21,10                | 24,30                      | 25,50               | 25,05                  | 22,40               | -1,30                          | 844,60              | 1108,88                        | 1107,08                               | 3226,37                        | 1227,60            | 38,05                           | 34,37                | 34,31                               |
| 15:20              | 21,10                | 24,20                      | 25,40               | 24,99                  | 22,50               | -1,40                          | 832,30              | 1092,04                        | 1091,06                               | 3179,39                        | 1199,70            | 37,73                           | 34,35                | 34,32                               |
| 15:25              | 21,20                | 24,20                      | 25,40               | 25,03                  | 22,50               | -1,30                          | 820,00              | 1075,20                        | 1074,87                               | 3132,40                        | 1171,80            | 37,41                           | 34,32                | 34,31                               |
| 15:30              | 21,20                | 24,10                      | 25,30               | 24,98                  | 22,50               | -1,30                          | 807,80              | 1061,16                        | 1058,89                               | 3085,80                        | 1143,90            | 37,07                           | 34,39                | 34,32                               |

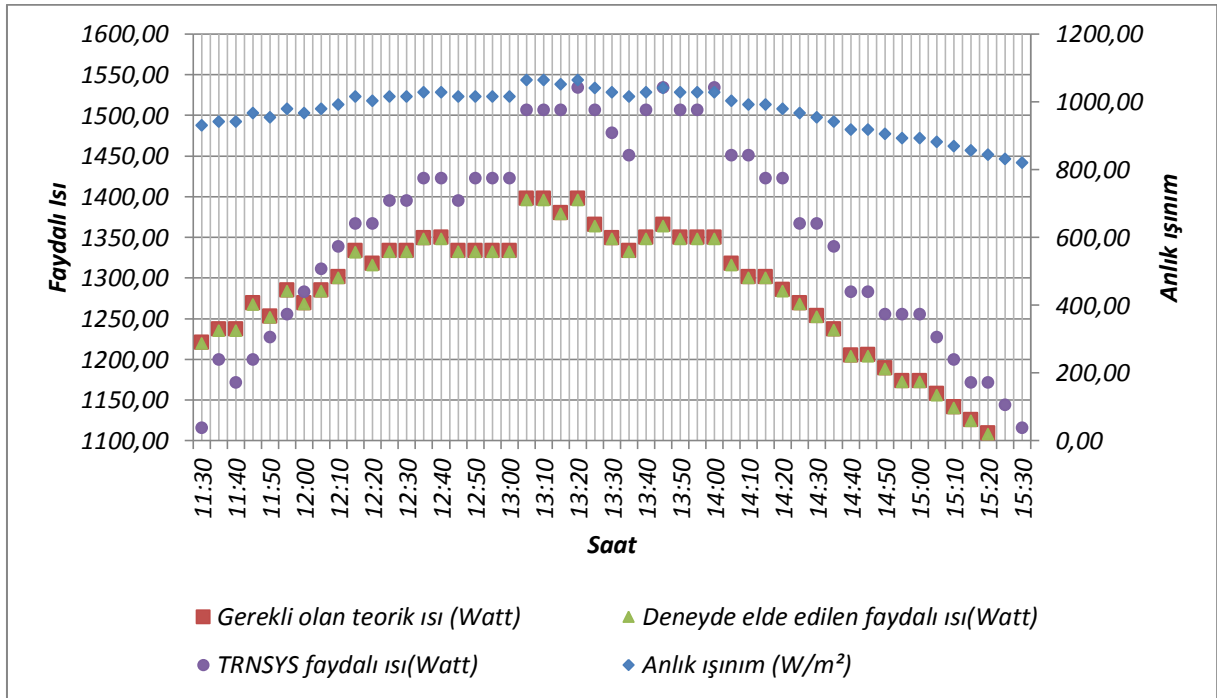
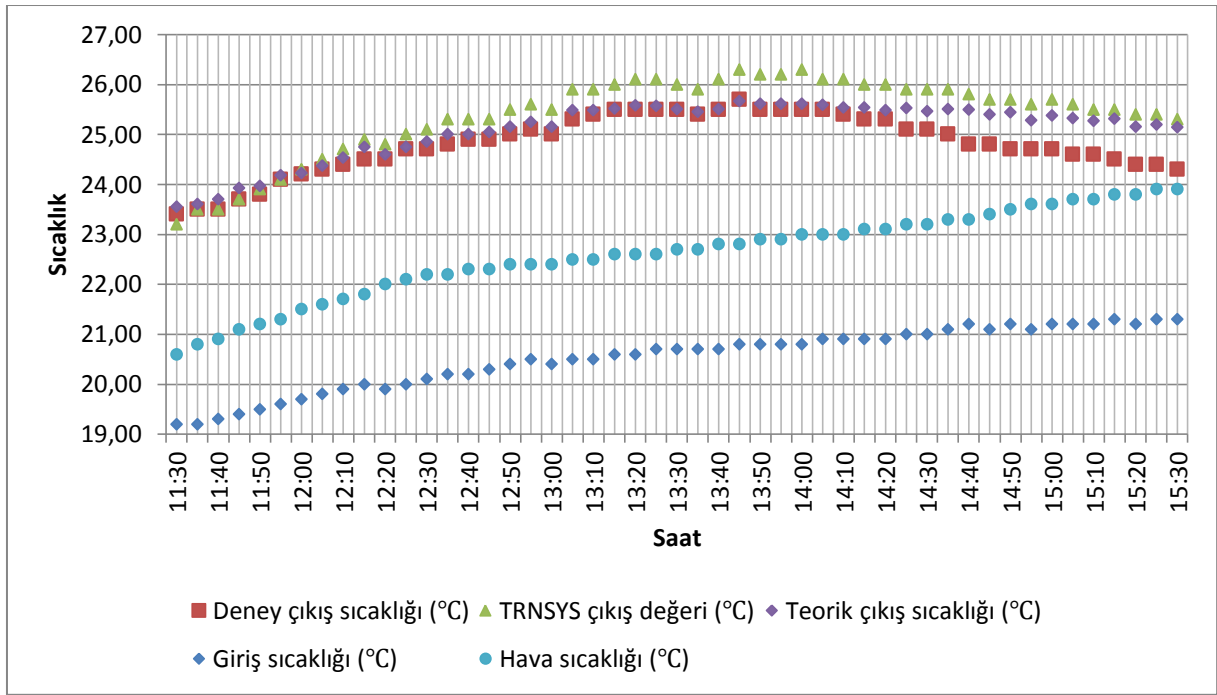
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,82 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %3,3'dür. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,79 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %2,4'dür. Anlık ısıtım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 63,57 W/m²'dir ve Anlık ısıtım değerlerinde hata oranı da %5,5'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,81 °C derecedir ve hata oranı %2,2'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 81,58 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %5,4'dür. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,8 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,3'dür. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 82,43 W hata oranı da %5,3'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 82,77'tür ve bu değerlerin hata oranı da %5,4'dür. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,09 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,18'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 58,83 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %4,5'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,092 ve hesaplama hata oranı da %0,17'dir.

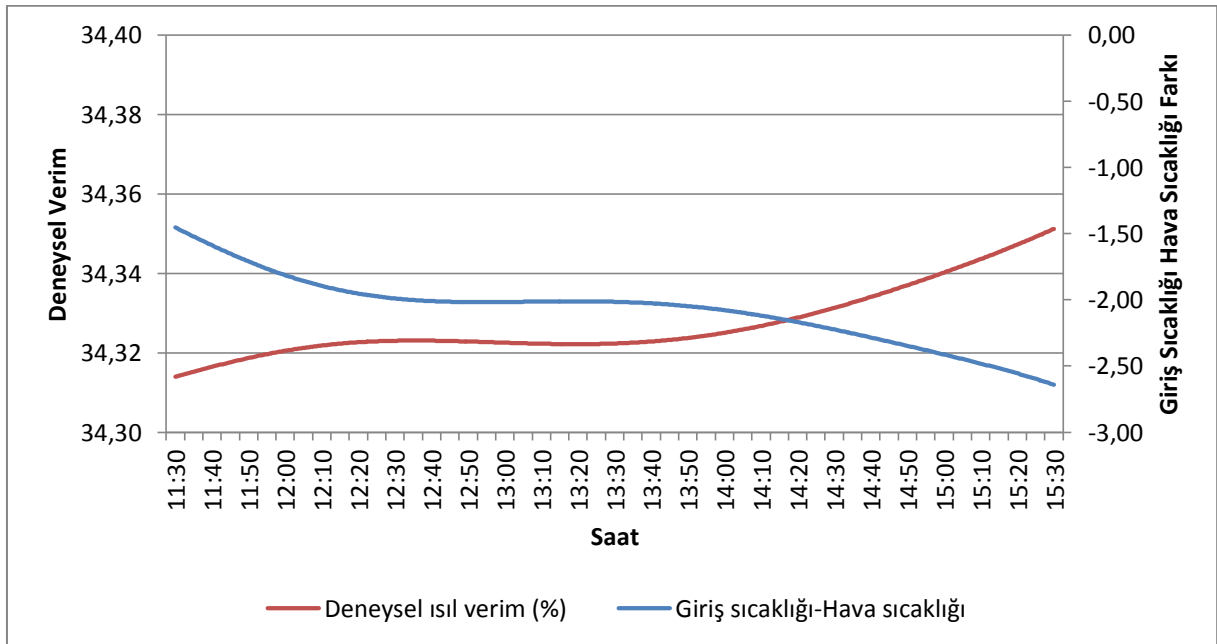
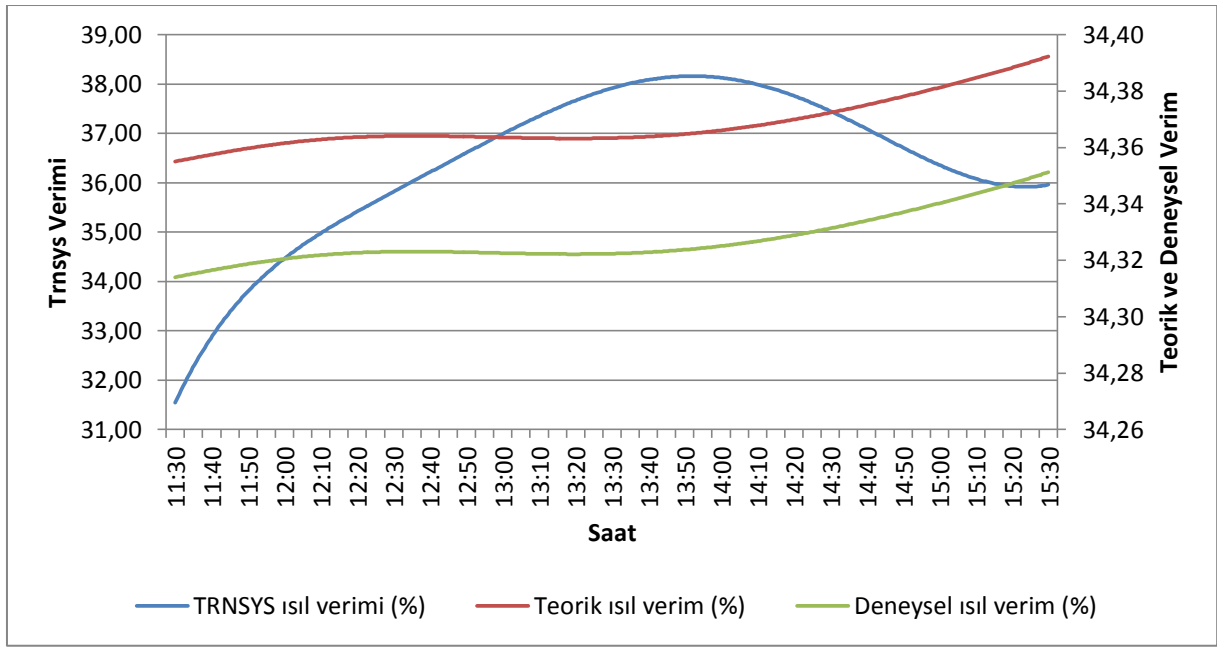




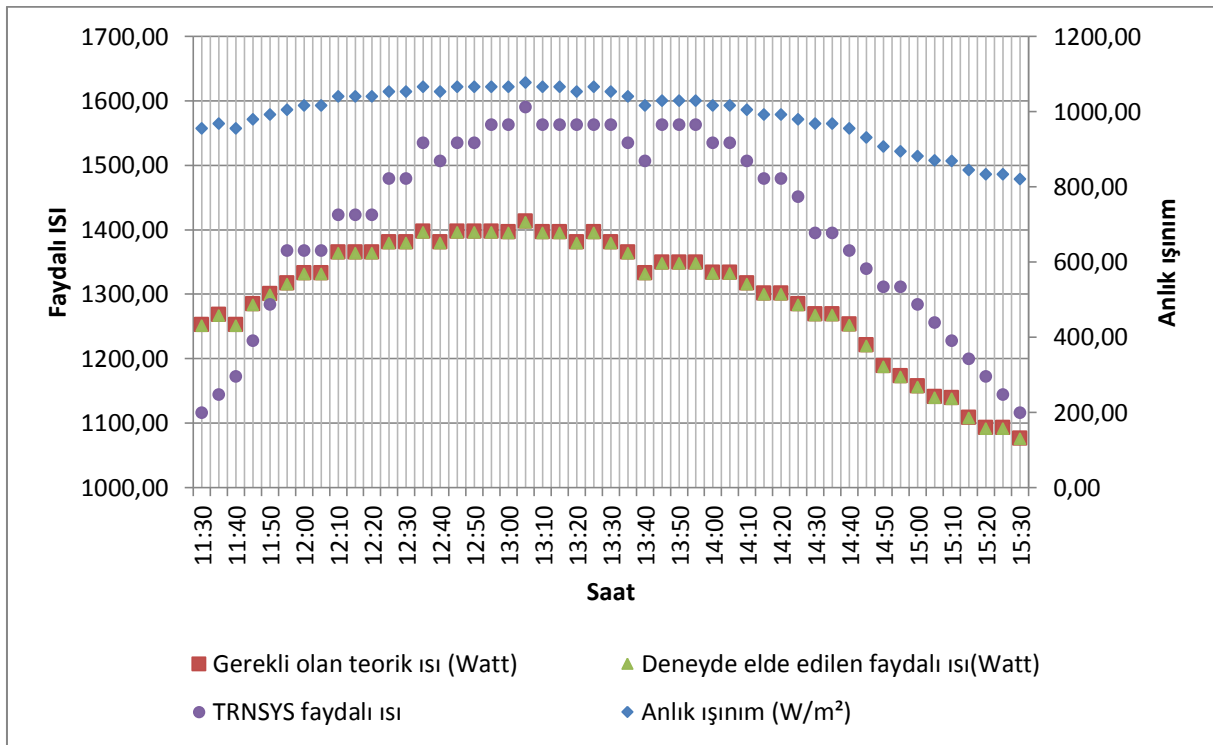
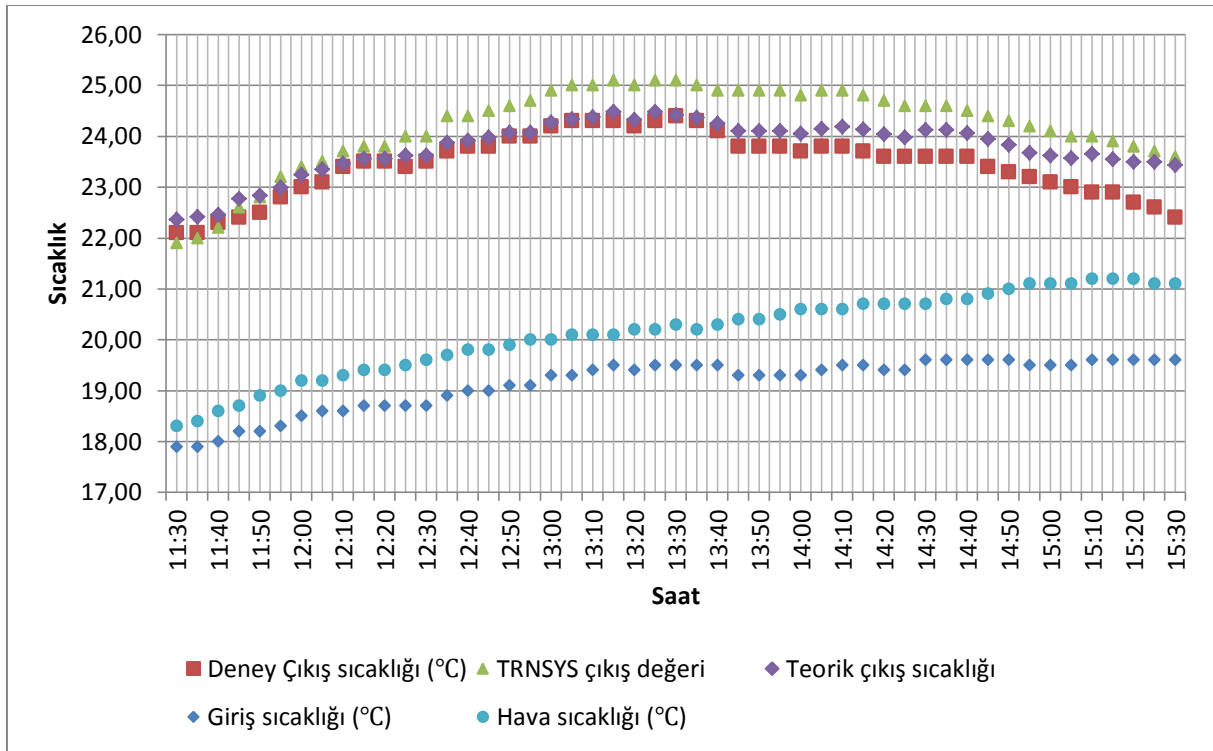
| 29 EYLÜL DEĞERLERİ |                      |                            |                          |                             |                     |                                |                      |                                |                                       |                                |                          |                                 |                      |                                     |
|--------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| saat               | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri (°C) | Teorik çıkış sıcaklığı (°C) | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı-Hava sıcaklığı | Anlık ışıınım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı(Watt) | TRNSYS kollektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Kollektörün deneysel ısı verimi (%) |
| 11:30              | 19,20                | 23,40                      | 23,20                    | 23,55                       | 20,60               | -1,40                          | 930,30               | 1220,84                        | 1219,38                               | 3553,75                        | 1116,00                  | 31,40                           | 34,35                | 34,31                               |
| 11:35              | 19,20                | 23,50                      | 23,50                    | 23,61                       | 20,80               | -1,60                          | 942,50               | 1237,01                        | 1235,53                               | 3600,35                        | 1199,70                  | 33,32                           | 34,36                | 34,32                               |
| 11:40              | 19,30                | 23,50                      | 23,50                    | 23,71                       | 20,90               | -1,60                          | 942,50               | 1237,01                        | 1235,53                               | 3600,35                        | 1171,80                  | 32,55                           | 34,36                | 34,32                               |
| 11:45              | 19,40                | 23,70                      | 23,70                    | 23,92                       | 21,10               | -1,70                          | 967,00               | 1269,22                        | 1267,70                               | 3693,94                        | 1199,70                  | 32,48                           | 34,36                | 34,32                               |
| 11:50              | 19,50                | 23,80                      | 23,90                    | 23,96                       | 21,20               | -1,70                          | 954,80               | 1253,22                        | 1251,73                               | 3647,34                        | 1227,60                  | 33,66                           | 34,36                | 34,32                               |
| 11:55              | 19,60                | 24,10                      | 24,10                    | 24,18                       | 21,30               | -1,70                          | 979,20               | 1285,21                        | 1283,68                               | 3740,54                        | 1255,50                  | 33,56                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:00              | 19,70                | 24,20                      | 24,30                    | 24,22                       | 21,50               | -1,80                          | 967,00               | 1269,30                        | 1267,79                               | 3693,94                        | 1283,40                  | 34,74                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:05              | 19,80                | 24,30                      | 24,50                    | 24,38                       | 21,60               | -1,80                          | 979,20               | 1285,30                        | 1283,76                               | 3740,54                        | 1311,30                  | 35,06                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:10              | 19,90                | 24,40                      | 24,70                    | 24,54                       | 21,70               | -1,80                          | 991,50               | 1301,42                        | 1299,87                               | 3787,53                        | 1339,20                  | 35,36                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:15              | 20,00                | 24,50                      | 24,90                    | 24,75                       | 21,80               | -1,80                          | 1016,00              | 1333,54                        | 1331,95                               | 3881,12                        | 1367,10                  | 35,22                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:20              | 19,90                | 24,50                      | 24,80                    | 24,59                       | 22,00               | -2,10                          | 1003,70              | 1317,68                        | 1316,10                               | 3834,13                        | 1367,10                  | 35,66                           | 34,37                | 34,33                               |
| 12:25              | 20,00                | 24,70                      | 25,00                    | 24,75                       | 22,10               | -2,10                          | 1016,00              | 1333,80                        | 1332,21                               | 3881,12                        | 1395,00                  | 35,94                           | 34,37                | 34,33                               |
| 12:30              | 20,10                | 24,70                      | 25,10                    | 24,85                       | 22,20               | -2,10                          | 1016,00              | 1333,80                        | 1332,21                               | 3881,12                        | 1395,00                  | 35,94                           | 34,37                | 34,33                               |
| 12:35              | 20,20                | 24,80                      | 25,30                    | 25,01                       | 22,20               | -2,00                          | 1028,20              | 1349,71                        | 1348,10                               | 3927,72                        | 1422,90                  | 36,23                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:40              | 20,20                | 24,90                      | 25,30                    | 25,01                       | 22,30               | -2,10                          | 1028,20              | 1349,80                        | 1348,18                               | 3927,72                        | 1422,90                  | 36,23                           | 34,37                | 34,32                               |
| 12:45              | 20,30                | 24,90                      | 25,30                    | 25,05                       | 22,30               | -2,00                          | 1016,00              | 1333,71                        | 1332,12                               | 3881,12                        | 1395,00                  | 35,94                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:50              | 20,40                | 25,00                      | 25,50                    | 25,15                       | 22,40               | -2,00                          | 1016,00              | 1333,71                        | 1332,12                               | 3881,12                        | 1422,90                  | 36,66                           | 34,36                | 34,32                               |
| 12:55              | 20,50                | 25,10                      | 25,60                    | 25,25                       | 22,40               | -1,90                          | 1016,00              | 1333,63                        | 1332,04                               | 3881,12                        | 1422,90                  | 36,66                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:00              | 20,40                | 25,00                      | 25,50                    | 25,15                       | 22,40               | -2,00                          | 1016,00              | 1333,71                        | 1332,12                               | 3881,12                        | 1422,90                  | 36,66                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:05              | 20,50                | 25,30                      | 25,90                    | 25,48                       | 22,50               | -2,00                          | 1064,90              | 1397,82                        | 1396,15                               | 4067,92                        | 1506,60                  | 37,04                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:10              | 20,50                | 25,40                      | 25,90                    | 25,48                       | 22,50               | -2,00                          | 1064,90              | 1397,82                        | 1396,15                               | 4067,92                        | 1506,60                  | 37,04                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:15              | 20,60                | 25,50                      | 26,00                    | 25,52                       | 22,60               | -2,00                          | 1051,70              | 1380,52                        | 1378,87                               | 4017,49                        | 1506,60                  | 37,50                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:20              | 20,60                | 25,50                      | 26,10                    | 25,58                       | 22,60               | -2,00                          | 1064,90              | 1397,82                        | 1396,15                               | 4067,92                        | 1534,50                  | 37,72                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:25              | 20,70                | 25,50                      | 26,10                    | 25,56                       | 22,60               | -1,90                          | 1040,40              | 1365,62                        | 1363,99                               | 3974,33                        | 1506,60                  | 37,91                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:30              | 20,70                | 25,50                      | 26,00                    | 25,51                       | 22,70               | -2,00                          | 1028,20              | 1349,71                        | 1348,10                               | 3927,72                        | 1478,70                  | 37,65                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:35              | 20,70                | 25,40                      | 25,90                    | 25,45                       | 22,70               | -2,00                          | 1016,00              | 1333,71                        | 1332,12                               | 3881,12                        | 1450,80                  | 37,38                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:40              | 20,70                | 25,50                      | 26,10                    | 25,51                       | 22,80               | -2,10                          | 1028,20              | 1349,80                        | 1348,18                               | 3927,72                        | 1506,60                  | 38,36                           | 34,37                | 34,32                               |
| 13:45              | 20,80                | 25,70                      | 26,30                    | 25,66                       | 22,80               | -2,00                          | 1040,40              | 1365,70                        | 1364,07                               | 3974,33                        | 1534,50                  | 38,61                           | 34,36                | 34,32                               |
| 13:50              | 20,80                | 25,50                      | 26,20                    | 25,61                       | 22,90               | -2,10                          | 1028,20              | 1349,80                        | 1348,18                               | 3927,72                        | 1506,60                  | 38,36                           | 34,37                | 34,32                               |
| 13:55              | 20,80                | 25,50                      | 26,20                    | 25,61                       | 22,90               | -2,10                          | 1028,20              | 1349,80                        | 1348,18                               | 3927,72                        | 1506,60                  | 38,36                           | 34,37                | 34,32                               |
| 14:00              | 20,80                | 25,50                      | 26,30                    | 25,61                       | 23,00               | -2,20                          | 1028,20              | 1349,88                        | 1348,27                               | 3927,72                        | 1534,50                  | 39,07                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:05              | 20,90                | 25,50                      | 26,10                    | 25,59                       | 23,00               | -2,10                          | 1003,70              | 1317,68                        | 1316,10                               | 3834,13                        | 1450,80                  | 37,84                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:10              | 20,90                | 25,40                      | 26,10                    | 25,54                       | 23,00               | -2,10                          | 991,50               | 1301,68                        | 1300,13                               | 3787,53                        | 1450,80                  | 38,30                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:15              | 20,90                | 25,30                      | 26,00                    | 25,54                       | 23,10               | -2,20                          | 991,50               | 1301,77                        | 1300,21                               | 3787,53                        | 1422,90                  | 37,57                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:20              | 20,90                | 25,30                      | 26,00                    | 25,48                       | 23,10               | -2,20                          | 979,20               | 1285,64                        | 1284,11                               | 3740,54                        | 1422,90                  | 38,04                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:25              | 21,00                | 25,10                      | 25,90                    | 25,52                       | 23,20               | -2,20                          | 967,00               | 1269,65                        | 1268,13                               | 3693,94                        | 1367,10                  | 37,01                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:30              | 21,00                | 25,10                      | 25,90                    | 25,47                       | 23,20               | -2,20                          | 954,70               | 1253,52                        | 1252,03                               | 3646,95                        | 1367,10                  | 37,49                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:35              | 21,10                | 25,00                      | 25,90                    | 25,51                       | 23,30               | -2,20                          | 942,50               | 1237,53                        | 1236,05                               | 3600,35                        | 1339,20                  | 37,20                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:40              | 21,20                | 24,80                      | 25,80                    | 25,49                       | 23,30               | -2,10                          | 918,00               | 1205,32                        | 1203,88                               | 3506,76                        | 1283,40                  | 36,60                           | 34,37                | 34,33                               |
| 14:45              | 21,10                | 24,80                      | 25,70                    | 25,39                       | 23,40               | -2,30                          | 918,00               | 1205,50                        | 1204,06                               | 3506,76                        | 1283,40                  | 36,60                           | 34,38                | 34,34                               |
| 14:50              | 21,20                | 24,70                      | 25,70                    | 25,44                       | 23,50               | -2,30                          | 905,80               | 1189,50                        | 1188,08                               | 3460,16                        | 1255,50                  | 36,28                           | 34,38                | 34,34                               |
| 14:55              | 21,10                | 24,70                      | 25,60                    | 25,28                       | 23,60               | -2,50                          | 893,50               | 1173,55                        | 1172,15                               | 3413,17                        | 1255,50                  | 36,78                           | 34,38                | 34,34                               |
| 15:00              | 21,20                | 24,70                      | 25,70                    | 25,38                       | 23,60               | -2,40                          | 893,50               | 1173,46                        | 1172,06                               | 3413,17                        | 1255,50                  | 36,78                           | 34,38                | 34,34                               |
| 15:05              | 21,20                | 24,60                      | 25,60                    | 25,32                       | 23,70               | -2,50                          | 881,30               | 1157,56                        | 1156,17                               | 3366,57                        | 1227,60                  | 36,46                           | 34,38                | 34,34                               |
| 15:10              | 21,20                | 24,60                      | 25,50                    | 25,27                       | 23,70               | -2,50                          | 869,00               | 1141,43                        | 1140,07                               | 3319,58                        | 1199,70                  | 36,14                           | 34,38                | 34,34                               |
| 15:15              | 21,30                | 24,50                      | 25,50                    | 25,31                       | 23,80               | -2,50                          | 856,80               | 1125,44                        | 1124,09                               | 3272,98                        | 1171,80                  | 35,80                           | 34,39                | 34,34                               |
| 15:20              | 21,20                | 24,40                      | 25,40                    | 25,15                       | 23,80               | -2,60                          | 844,60               | 1109,53                        | 1108,20                               | 3226,37                        | 1171,80                  | 36,32                           | 34,39                | 34,35                               |
| 15:25              | 21,30                | 24,40                      | 25,40                    | 25,19                       | 23,90               | -2,60                          | 832,30               | 1093,40                        | 1092,10                               | 3179,39                        | 1143,90                  | 35,98                           | 34,39                | 34,35                               |
| 15:30              | 21,30                | 24,30                      | 25,30                    | 25,14                       | 23,90               | -2,60                          | 820,00               | 1077,28                        | 1075,99                               | 3132,40                        | 1116,00                  | 35,63                           | 34,39                | 34,35                               |

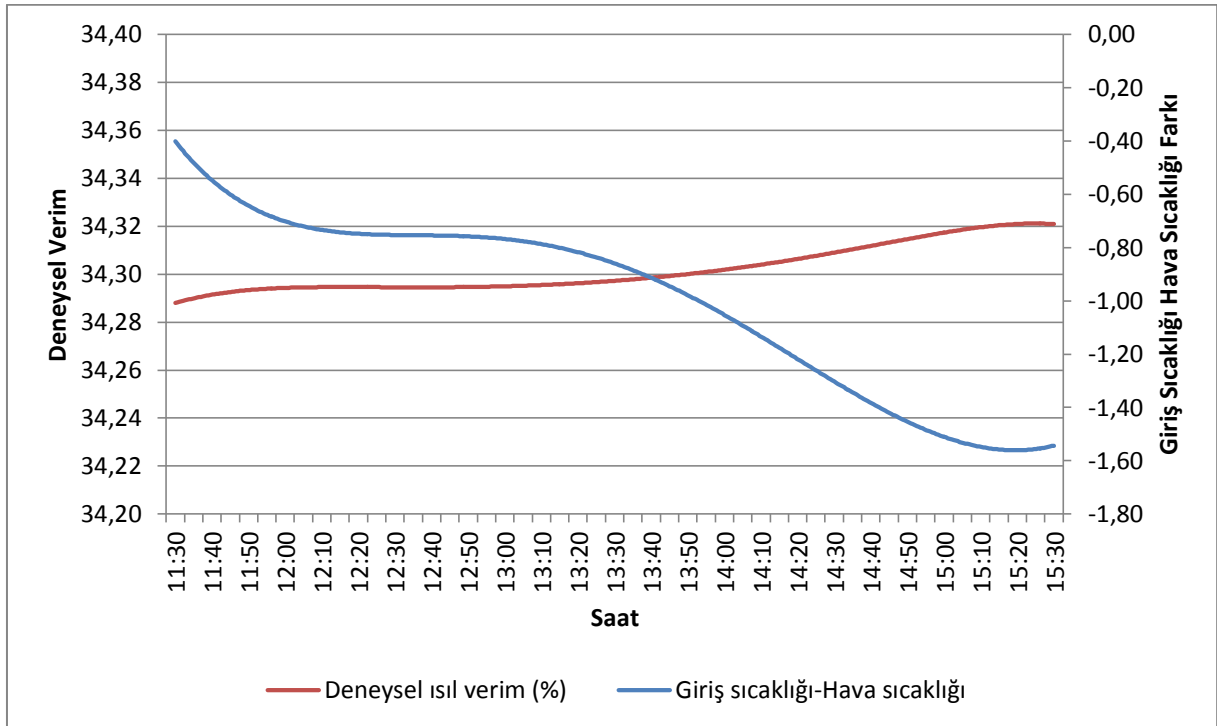
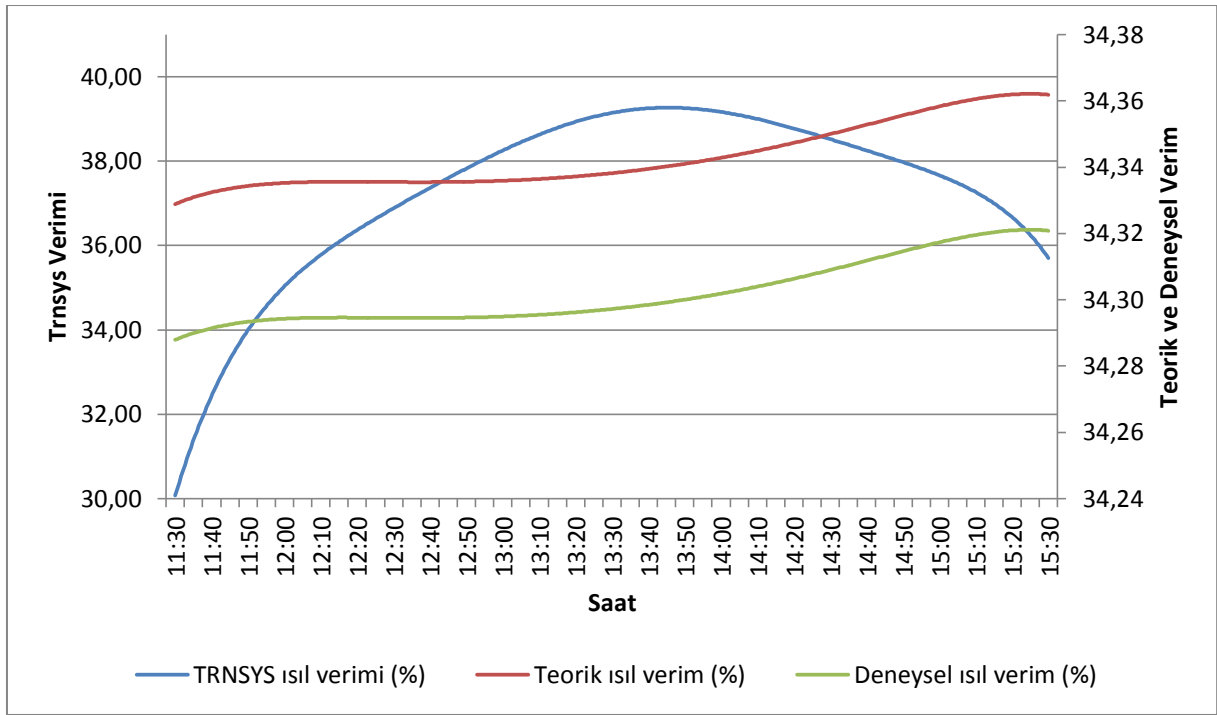
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,61 °C derecedir ve bu değer için ölçümünden kaynaklanan hata oranı da %2,4'dür. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,59 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %1,9'dür. Anlık ışıınım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 63,67 W/m²'dir ve Anlık ışıınım değerlerinde hata oranı da %5,4'dür. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,61°C derecedir ve hata oranı %2,0'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 83,11 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %5,3'dür. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,60 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %5,4'dür. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 85,23 W hata oranı da %5,4'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 84,76'tür ve bu değerlerin hata oranı da %5,4'dür. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,06 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,3'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 65,71 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,3'dür. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapası 0,062 ve hesaplama hata oranı da %0,31'dir.





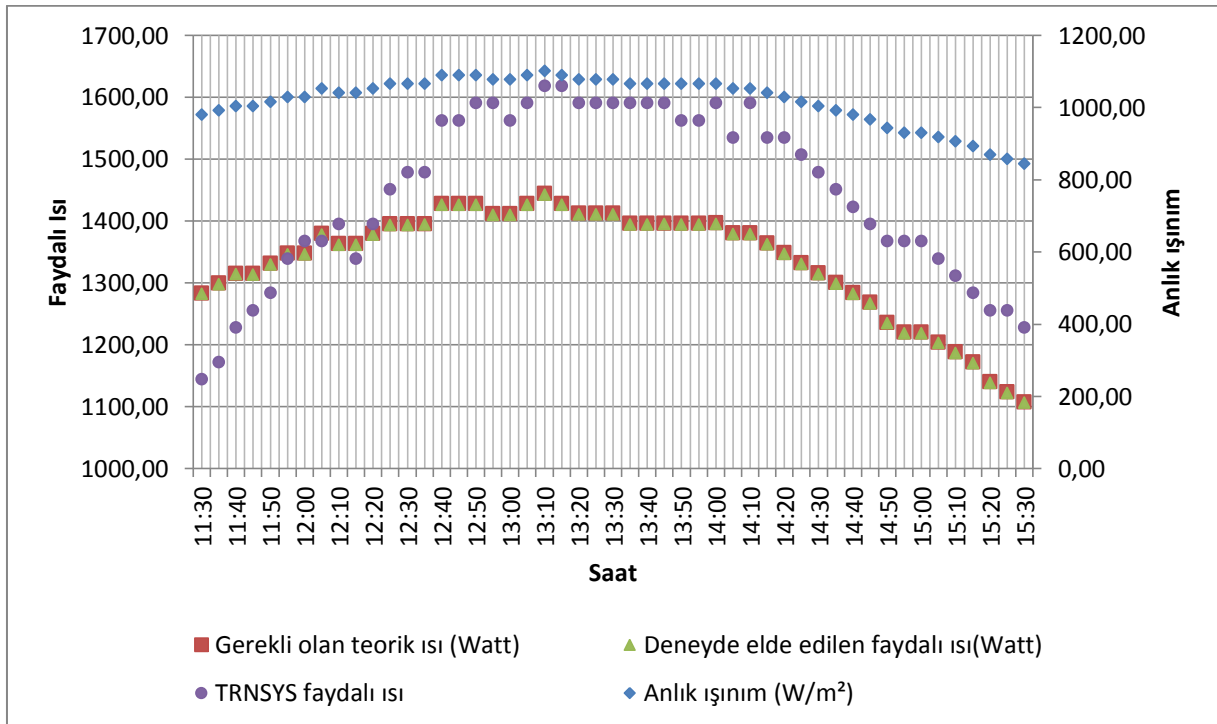
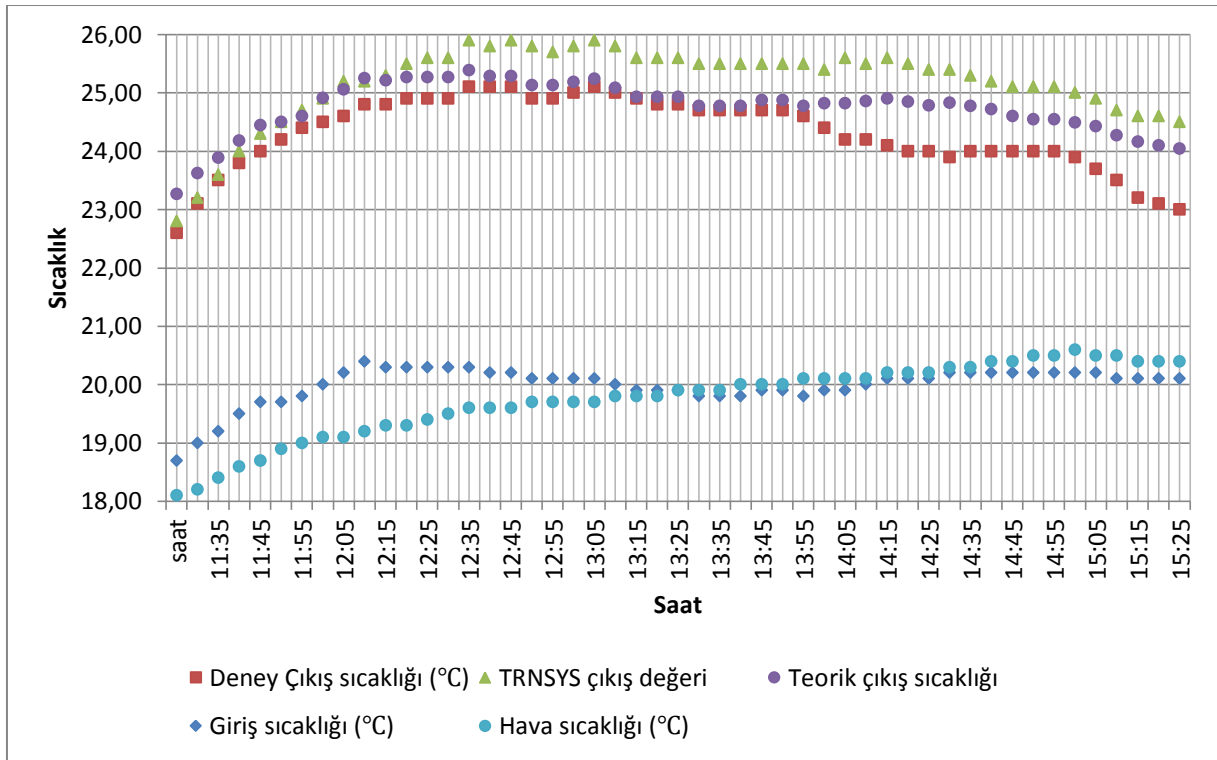
| 2 EKİM DEĞERLERİ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışınlam (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 17,90                | 22,10                      | 21,90               | 22,36                  | 18,30               | -0,40                           | 954,70               | 1251,96                        | 1250,47                               | 3646,95                        | 1116,00            | 30,60                          | 34,33                | 34,29                         |
| 11:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 17,90                | 22,10                      | 22,00               | 22,42                  | 18,40               | -0,50                           | 967,00               | 1268,17                        | 1266,66                               | 3693,94                        | 1143,90            | 30,97                          | 34,33                | 34,29                         |
| 11:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,00                | 22,30                      | 22,20               | 22,46                  | 18,60               | -0,60                           | 954,70               | 1252,14                        | 1250,64                               | 3646,95                        | 1171,80            | 32,13                          | 34,33                | 34,29                         |
| 11:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,20                | 22,40                      | 22,60               | 22,77                  | 18,70               | -0,50                           | 979,20               | 1284,17                        | 1282,64                               | 3740,54                        | 1227,60            | 32,82                          | 34,33                | 34,29                         |
| 11:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,20                | 22,50                      | 22,80               | 22,83                  | 18,90               | -0,70                           | 991,50               | 1300,47                        | 1298,92                               | 3787,53                        | 1283,40            | 33,88                          | 34,34                | 34,29                         |
| 11:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,30                | 22,80                      | 23,20               | 22,99                  | 19,00               | -0,70                           | 1003,70              | 1316,46                        | 1314,89                               | 3834,13                        | 1367,10            | 35,66                          | 34,34                | 34,29                         |
| 12:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,50                | 23,00                      | 23,40               | 23,25                  | 19,20               | -0,70                           | 1016,00              | 1332,59                        | 1331,00                               | 3881,12                        | 1367,10            | 35,22                          | 34,34                | 34,29                         |
| 12:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,60                | 23,10                      | 23,50               | 23,35                  | 19,20               | -0,60                           | 1016,00              | 1332,50                        | 1330,91                               | 3881,12                        | 1367,10            | 35,22                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,60                | 23,40                      | 23,70               | 23,46                  | 19,30               | -0,70                           | 1040,40              | 1364,58                        | 1362,95                               | 3974,33                        | 1422,90            | 35,80                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,70                | 23,50                      | 23,80               | 23,56                  | 19,40               | -0,70                           | 1040,40              | 1364,58                        | 1362,95                               | 3974,33                        | 1422,90            | 35,80                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,70                | 23,50                      | 23,80               | 23,56                  | 19,40               | -0,70                           | 1040,40              | 1364,58                        | 1362,95                               | 3974,33                        | 1422,90            | 35,80                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,70                | 23,40                      | 24,00               | 23,62                  | 19,50               | -0,80                           | 1052,70              | 1380,79                        | 1379,14                               | 4021,31                        | 1478,70            | 36,77                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,70                | 23,50                      | 24,00               | 23,62                  | 19,60               | -0,90                           | 1052,70              | 1380,87                        | 1379,23                               | 4021,31                        | 1478,70            | 36,77                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 18,90                | 23,70                      | 24,40               | 23,88                  | 19,70               | -0,80                           | 1064,90              | 1396,78                        | 1395,12                               | 4067,92                        | 1534,50            | 37,72                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,00                | 23,80                      | 24,40               | 23,92                  | 19,80               | -0,80                           | 1052,70              | 1380,79                        | 1379,14                               | 4021,31                        | 1506,60            | 37,47                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,00                | 23,80                      | 24,50               | 23,98                  | 19,80               | -0,80                           | 1064,90              | 1396,78                        | 1395,12                               | 4067,92                        | 1534,50            | 37,72                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,10                | 24,00                      | 24,60               | 24,08                  | 19,90               | -0,80                           | 1064,90              | 1396,78                        | 1395,12                               | 4067,92                        | 1534,50            | 37,72                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,10                | 24,00                      | 24,70               | 24,08                  | 20,00               | -0,90                           | 1064,90              | 1396,87                        | 1395,20                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,30                | 24,20                      | 24,90               | 24,28                  | 20,00               | -0,70                           | 1064,90              | 1396,70                        | 1395,03                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,33                | 34,29                         |
| 13:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,30                | 24,30                      | 25,00               | 24,33                  | 20,10               | -0,80                           | 1077,10              | 1412,78                        | 1411,09                               | 4114,52                        | 1590,30            | 38,65                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,40                | 24,30                      | 25,00               | 24,38                  | 20,10               | -0,70                           | 1064,90              | 1396,70                        | 1395,03                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,33                | 34,29                         |
| 13:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 24,30                      | 25,10               | 24,47                  | 20,10               | -0,60                           | 1064,90              | 1396,61                        | 1394,94                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,33                | 34,29                         |
| 13:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,40                | 24,20                      | 25,00               | 24,32                  | 20,20               | -0,80                           | 1052,70              | 1380,79                        | 1379,14                               | 4021,31                        | 1562,40            | 38,85                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 24,30                      | 25,10               | 24,48                  | 20,20               | -0,70                           | 1064,90              | 1396,70                        | 1395,03                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,33                | 34,29                         |
| 13:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 24,40                      | 25,10               | 24,42                  | 20,30               | -0,80                           | 1052,70              | 1380,79                        | 1379,14                               | 4021,31                        | 1562,40            | 38,85                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 24,30                      | 25,00               | 24,36                  | 20,20               | -0,70                           | 1040,40              | 1364,58                        | 1362,95                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                          | 34,33                | 34,29                         |
| 13:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 24,10                      | 24,90               | 24,25                  | 20,30               | -0,80                           | 1016,00              | 1332,67                        | 1331,08                               | 3881,12                        | 1506,60            | 38,82                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,30                | 23,80                      | 24,90               | 24,11                  | 20,40               | -1,10                           | 1028,20              | 1348,93                        | 1347,32                               | 3927,72                        | 1562,40            | 39,78                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,30                | 23,80                      | 24,90               | 24,11                  | 20,40               | -1,10                           | 1028,20              | 1348,93                        | 1347,32                               | 3927,72                        | 1562,40            | 39,78                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,30                | 23,80                      | 24,90               | 24,11                  | 20,50               | -1,20                           | 1028,20              | 1349,02                        | 1347,41                               | 3927,72                        | 1562,40            | 39,78                          | 34,35                | 34,30                         |
| 14:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,30                | 23,70                      | 24,80               | 24,05                  | 20,60               | -1,30                           | 1016,00              | 1333,11                        | 1331,52                               | 3881,12                        | 1534,50            | 39,54                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,40                | 23,80                      | 24,90               | 24,15                  | 20,60               | -1,20                           | 1016,00              | 1333,02                        | 1331,43                               | 3881,12                        | 1534,50            | 39,54                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 23,80                      | 24,90               | 24,19                  | 20,60               | -1,10                           | 1003,70              | 1316,81                        | 1315,24                               | 3834,13                        | 1506,60            | 39,29                          | 34,34                | 34,30                         |
| 14:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 23,70                      | 24,80               | 24,13                  | 20,70               | -1,20                           | 991,50               | 1300,90                        | 1299,35                               | 3787,53                        | 1478,70            | 39,04                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,40                | 23,60                      | 24,70               | 24,03                  | 20,70               | -1,30                           | 991,50               | 1300,99                        | 1299,44                               | 3787,53                        | 1478,70            | 39,04                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,40                | 23,60                      | 24,60               | 23,98                  | 20,70               | -1,30                           | 979,20               | 1284,86                        | 1283,33                               | 3740,54                        | 1450,80            | 38,79                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 23,60                      | 24,60               | 24,12                  | 20,70               | -1,10                           | 967,00               | 1268,69                        | 1267,18                               | 3693,94                        | 1395,00            | 37,76                          | 34,35                | 34,30                         |
| 14:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 23,60                      | 24,60               | 24,12                  | 20,80               | -1,20                           | 967,00               | 1268,78                        | 1267,27                               | 3693,94                        | 1395,00            | 37,76                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 23,60                      | 24,50               | 24,06                  | 20,80               | -1,20                           | 954,80               | 1252,79                        | 1251,29                               | 3647,34                        | 1367,10            | 37,48                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 23,40                      | 24,40               | 23,95                  | 20,90               | -1,30                           | 930,30               | 1220,75                        | 1219,30                               | 3553,75                        | 1339,20            | 37,68                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 23,30                      | 24,30               | 23,83                  | 21,00               | -1,40                           | 905,80               | 1188,72                        | 1187,30                               | 3460,16                        | 1311,30            | 37,90                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 23,20                      | 24,20               | 23,68                  | 21,10               | -1,60                           | 893,50               | 1172,77                        | 1171,37                               | 3413,17                        | 1311,30            | 38,42                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 23,10                      | 24,10               | 23,62                  | 21,10               | -1,60                           | 881,30               | 1156,78                        | 1155,39                               | 3366,57                        | 1283,40            | 38,12                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,50                | 23,00                      | 24,00               | 23,56                  | 21,10               | -1,60                           | 869,00               | 1140,65                        | 1139,29                               | 3319,58                        | 1255,50            | 37,82                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 22,90                      | 24,00               | 23,66                  | 21,20               | -1,60                           | 867,40               | 1138,55                        | 1137,19                               | 3313,47                        | 1227,60            | 37,05                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 22,90                      | 23,90               | 23,55                  | 21,20               | -1,60                           | 844,60               | 1108,66                        | 1107,34                               | 3226,37                        | 1199,70            | 37,18                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 22,70                      | 23,80               | 23,49                  | 21,20               | -1,60                           | 832,30               | 1092,54                        | 1091,23                               | 3179,39                        | 1171,80            | 36,86                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 22,60                      | 23,70               | 23,49                  | 21,10               | -1,50                           | 832,30               | 1092,45                        | 1091,15                               | 3179,39                        | 1143,90            | 35,98                          | 34,36                | 34,32                         |
| 15:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 19,60                | 22,40                      | 23,60               | 23,43                  | 21,10               | -1,50                           | 820,00               | 1076,32                        | 1075,04                               | 3132,40                        | 1116,00            | 35,63                          | 34,36                | 34,32                         |
| Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,51 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %2,2'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,62 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %2,1'dür. Anlık ışınlam değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 72,26 W/m²'dir ve Anlık ışınlam değerlerinde hata oranı da %5,9'dür. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,64 °C derecedir ve hata oranı %2,0'dür. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 93,37 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %5,8'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,63 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,1'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 98,12 W hata oranı da %5,6'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 96,22'tür ve bu değerlerin hata oranı da %5,7'dür. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,068 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,17'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 95,31 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,5'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,07 ve hesaplama hata oranı da %0,18'dir. |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |

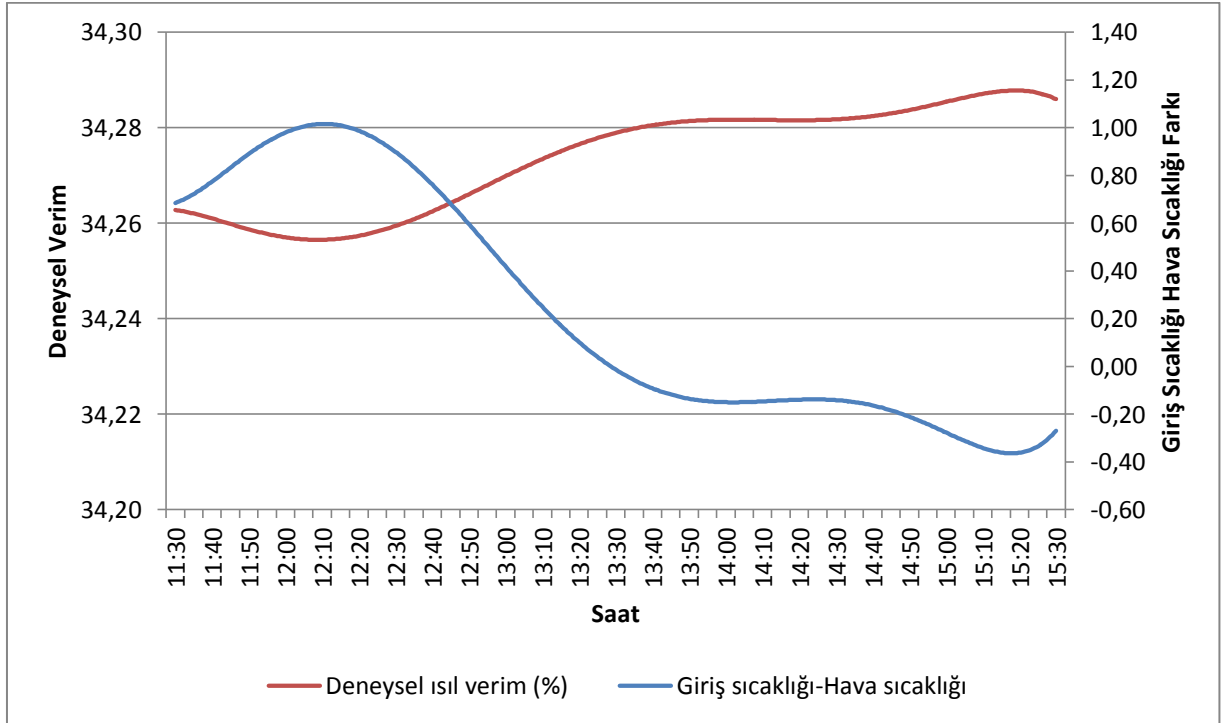
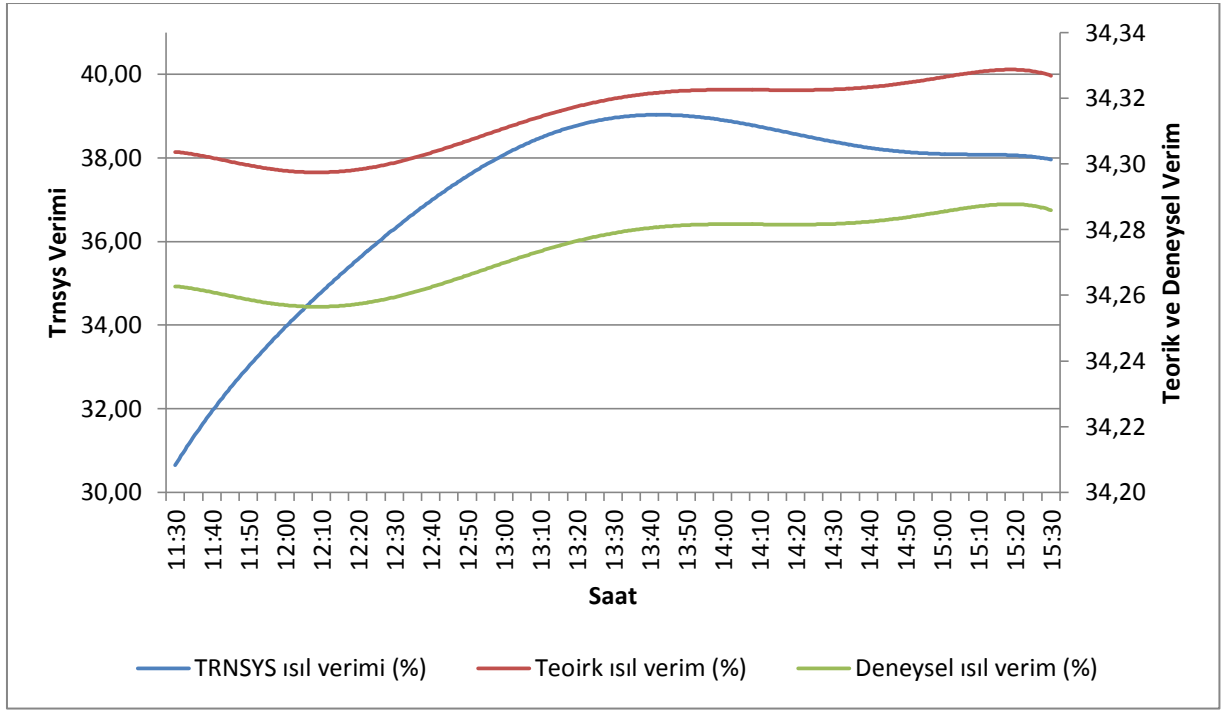




| 3 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |
|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat             | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışınlım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30            | 18,70                | 22,60                      | 22,80               | 23,27                  | 18,10               | 0,60                            | 979,20               | 1283,22                        | 1281,68                               | 3740,54                        | 1143,90            | 30,58                          | 34,31                | 34,26                         |
| 11:35            | 19,00                | 23,10                      | 23,20               | 23,63                  | 18,20               | 0,80                            | 991,50               | 1299,17                        | 1297,62                               | 3787,53                        | 1171,80            | 30,94                          | 34,30                | 34,26                         |
| 11:40            | 19,20                | 23,50                      | 23,60               | 23,88                  | 18,40               | 0,80                            | 1003,70              | 1315,16                        | 1313,59                               | 3834,13                        | 1227,60            | 32,02                          | 34,30                | 34,26                         |
| 11:45            | 19,50                | 23,80                      | 24,00               | 24,18                  | 18,60               | 0,90                            | 1003,70              | 1315,07                        | 1313,51                               | 3834,13                        | 1255,50            | 32,75                          | 34,30                | 34,26                         |
| 11:50            | 19,70                | 24,00                      | 24,30               | 24,44                  | 18,70               | 1,00                            | 1016,00              | 1331,11                        | 1329,53                               | 3881,12                        | 1283,40            | 33,07                          | 34,30                | 34,26                         |
| 11:55            | 19,70                | 24,20                      | 24,50               | 24,50                  | 18,90               | 0,80                            | 1028,20              | 1347,28                        | 1345,67                               | 3927,72                        | 1339,20            | 34,10                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:00            | 19,80                | 24,40                      | 24,70               | 24,60                  | 19,00               | 0,80                            | 1028,20              | 1347,28                        | 1345,67                               | 3927,72                        | 1367,10            | 34,81                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:05            | 20,00                | 24,50                      | 24,90               | 24,91                  | 19,10               | 0,90                            | 1052,70              | 1379,31                        | 1377,67                               | 4021,31                        | 1367,10            | 34,00                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:10            | 20,20                | 24,60                      | 25,20               | 25,06                  | 19,10               | 1,10                            | 1040,40              | 1363,02                        | 1361,39                               | 3974,33                        | 1395,00            | 35,10                          | 34,30                | 34,25                         |
| 12:15            | 20,40                | 24,80                      | 25,20               | 25,25                  | 19,20               | 1,20                            | 1040,40              | 1362,93                        | 1361,30                               | 3974,33                        | 1339,20            | 33,70                          | 34,29                | 34,25                         |
| 12:20            | 20,30                | 24,80                      | 25,30               | 25,21                  | 19,30               | 1,00                            | 1052,70              | 1379,23                        | 1377,58                               | 4021,31                        | 1395,00            | 34,69                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:25            | 20,30                | 24,90                      | 25,50               | 25,27                  | 19,30               | 1,00                            | 1064,90              | 1395,22                        | 1393,56                               | 4067,92                        | 1450,80            | 35,66                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:30            | 20,30                | 24,90                      | 25,60               | 25,27                  | 19,40               | 0,90                            | 1064,90              | 1395,31                        | 1393,64                               | 4067,92                        | 1478,70            | 36,35                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:35            | 20,30                | 24,90                      | 25,60               | 25,27                  | 19,50               | 0,80                            | 1064,90              | 1395,40                        | 1393,73                               | 4067,92                        | 1478,70            | 36,35                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:40            | 20,30                | 25,10                      | 25,90               | 25,39                  | 19,60               | 0,70                            | 1089,40              | 1427,60                        | 1425,90                               | 4161,51                        | 1562,40            | 37,54                          | 34,30                | 34,26                         |
| 12:45            | 20,20                | 25,10                      | 25,80               | 25,29                  | 19,60               | 0,60                            | 1089,40              | 1427,69                        | 1425,98                               | 4161,51                        | 1562,40            | 37,54                          | 34,31                | 34,27                         |
| 12:50            | 20,20                | 25,10                      | 25,90               | 25,29                  | 19,60               | 0,60                            | 1089,40              | 1427,69                        | 1425,98                               | 4161,51                        | 1590,30            | 38,21                          | 34,31                | 34,27                         |
| 12:55            | 20,10                | 24,90                      | 25,80               | 25,13                  | 19,70               | 0,40                            | 1077,10              | 1411,74                        | 1410,05                               | 4114,52                        | 1590,30            | 38,65                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:00            | 20,10                | 24,90                      | 25,70               | 25,13                  | 19,70               | 0,40                            | 1077,10              | 1411,74                        | 1410,05                               | 4114,52                        | 1562,40            | 37,97                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:05            | 20,10                | 25,00                      | 25,80               | 25,19                  | 19,70               | 0,40                            | 1089,40              | 1427,86                        | 1426,16                               | 4161,51                        | 1590,30            | 38,21                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:10            | 20,10                | 25,10                      | 25,90               | 25,24                  | 19,70               | 0,40                            | 1101,60              | 1443,86                        | 1442,13                               | 4208,11                        | 1618,20            | 38,45                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:15            | 20,00                | 25,00                      | 25,80               | 25,09                  | 19,80               | 0,20                            | 1089,40              | 1428,03                        | 1426,33                               | 4161,51                        | 1618,20            | 38,88                          | 34,32                | 34,27                         |
| 13:20            | 19,90                | 24,90                      | 25,60               | 24,93                  | 19,80               | 0,10                            | 1077,10              | 1412,00                        | 1410,31                               | 4114,52                        | 1590,30            | 38,65                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:25            | 19,90                | 24,80                      | 25,60               | 24,93                  | 19,80               | 0,10                            | 1077,10              | 1412,00                        | 1410,31                               | 4114,52                        | 1590,30            | 38,65                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:30            | 19,90                | 24,80                      | 25,60               | 24,93                  | 19,90               | 0,00                            | 1077,10              | 1412,08                        | 1410,40                               | 4114,52                        | 1590,30            | 38,65                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:35            | 19,80                | 24,70                      | 25,50               | 24,77                  | 19,90               | -0,10                           | 1064,90              | 1396,18                        | 1394,51                               | 4067,92                        | 1590,30            | 39,09                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:40            | 19,80                | 24,70                      | 25,50               | 24,77                  | 19,90               | -0,10                           | 1064,90              | 1396,18                        | 1394,51                               | 4067,92                        | 1590,30            | 39,09                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:45            | 19,80                | 24,70                      | 25,50               | 24,77                  | 20,00               | -0,20                           | 1064,90              | 1396,26                        | 1394,60                               | 4067,92                        | 1590,30            | 39,09                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:50            | 19,90                | 24,70                      | 25,50               | 24,87                  | 20,00               | -0,10                           | 1064,90              | 1396,18                        | 1394,51                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:55            | 19,90                | 24,70                      | 25,50               | 24,87                  | 20,00               | -0,10                           | 1064,90              | 1396,18                        | 1394,51                               | 4067,92                        | 1562,40            | 38,41                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:00            | 19,80                | 24,60                      | 25,50               | 24,77                  | 20,10               | -0,30                           | 1064,90              | 1396,35                        | 1394,68                               | 4067,92                        | 1590,30            | 39,09                          | 34,33                | 34,28                         |
| 14:05            | 19,90                | 24,40                      | 25,40               | 24,82                  | 20,10               | -0,20                           | 1052,70              | 1380,27                        | 1378,62                               | 4021,31                        | 1534,50            | 38,16                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:10            | 19,90                | 24,20                      | 25,60               | 24,82                  | 20,10               | -0,20                           | 1052,70              | 1380,27                        | 1378,62                               | 4021,31                        | 1590,30            | 39,55                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:15            | 20,00                | 24,20                      | 25,50               | 24,86                  | 20,10               | -0,10                           | 1040,40              | 1364,06                        | 1362,43                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:20            | 20,10                | 24,10                      | 25,60               | 24,90                  | 20,20               | -0,10                           | 1028,20              | 1348,06                        | 1346,45                               | 3927,72                        | 1534,50            | 39,07                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:25            | 20,10                | 24,00                      | 25,50               | 24,85                  | 20,20               | -0,10                           | 1016,00              | 1332,07                        | 1330,48                               | 3881,12                        | 1506,60            | 38,82                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:30            | 20,10                | 24,00                      | 25,40               | 24,79                  | 20,20               | -0,10                           | 1003,70              | 1315,94                        | 1314,37                               | 3834,13                        | 1478,70            | 38,57                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:35            | 20,20                | 23,90                      | 25,40               | 24,83                  | 20,30               | -0,10                           | 991,50               | 1299,95                        | 1298,40                               | 3787,53                        | 1450,80            | 38,30                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:40            | 20,20                | 24,00                      | 25,30               | 24,77                  | 20,30               | -0,10                           | 979,20               | 1283,82                        | 1282,29                               | 3740,54                        | 1422,90            | 38,04                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:45            | 20,20                | 24,00                      | 25,20               | 24,72                  | 20,40               | -0,20                           | 967,00               | 1267,91                        | 1266,40                               | 3693,94                        | 1395,00            | 37,76                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:50            | 20,20                | 24,00                      | 25,10               | 24,60                  | 20,40               | -0,20                           | 942,50               | 1235,80                        | 1234,32                               | 3600,35                        | 1367,10            | 37,97                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:55            | 20,20                | 24,00                      | 25,10               | 24,55                  | 20,50               | -0,30                           | 930,30               | 1219,89                        | 1218,43                               | 3553,75                        | 1367,10            | 38,47                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:00            | 20,20                | 24,00                      | 25,10               | 24,55                  | 20,50               | -0,30                           | 930,30               | 1219,89                        | 1218,43                               | 3553,75                        | 1367,10            | 38,47                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:05            | 20,20                | 23,90                      | 25,00               | 24,49                  | 20,60               | -0,40                           | 918,00               | 1203,85                        | 1202,41                               | 3506,76                        | 1339,20            | 38,19                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:10            | 20,20                | 23,70                      | 24,90               | 24,43                  | 20,50               | -0,30                           | 905,80               | 1187,77                        | 1186,35                               | 3460,16                        | 1311,30            | 37,90                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:15            | 20,10                | 23,50                      | 24,70               | 24,27                  | 20,50               | -0,40                           | 893,50               | 1171,73                        | 1170,33                               | 3413,17                        | 1283,40            | 37,60                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:20            | 20,10                | 23,20                      | 24,60               | 24,16                  | 20,40               | -0,30                           | 869,00               | 1139,52                        | 1138,16                               | 3319,58                        | 1255,50            | 37,82                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:25            | 20,10                | 23,10                      | 24,60               | 24,10                  | 20,40               | -0,30                           | 856,80               | 1123,53                        | 1122,19                               | 3272,98                        | 1255,50            | 38,36                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:30            | 20,10                | 23,00                      | 24,50               | 24,05                  | 20,40               | -0,30                           | 844,60               | 1107,53                        | 1106,21                               | 3226,37                        | 1227,60            | 38,05                          | 34,33                | 34,29                         |

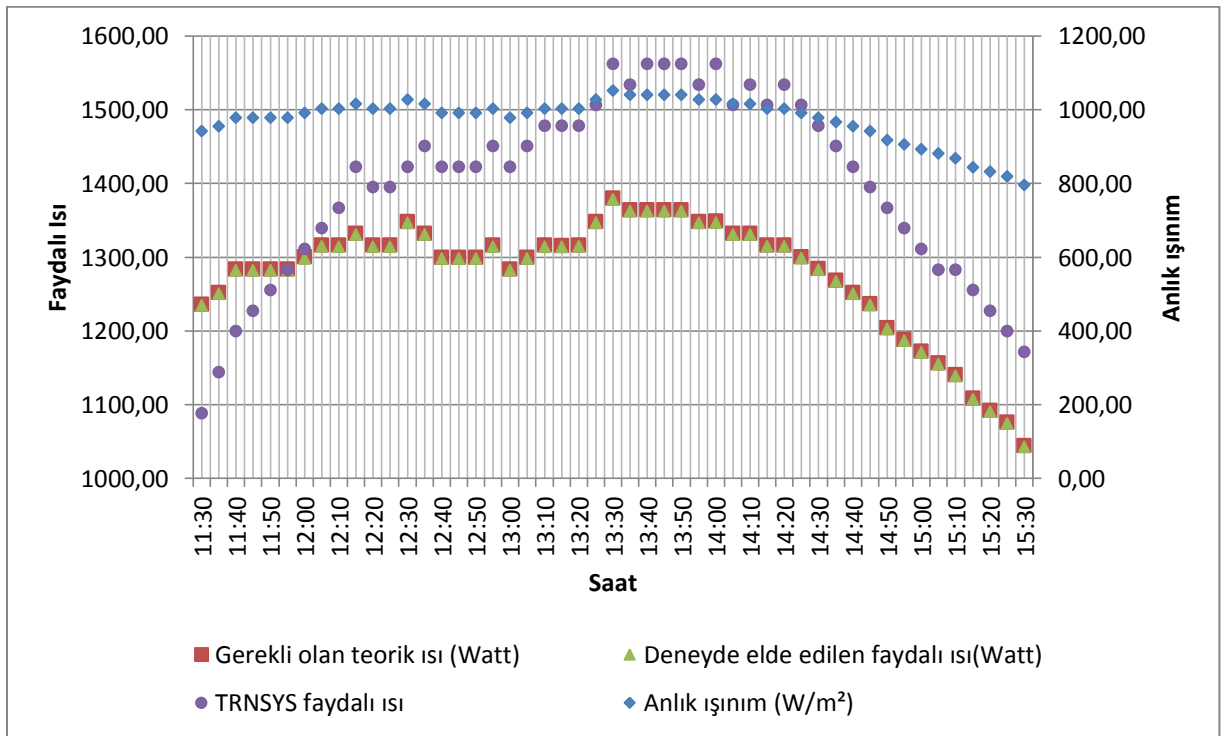
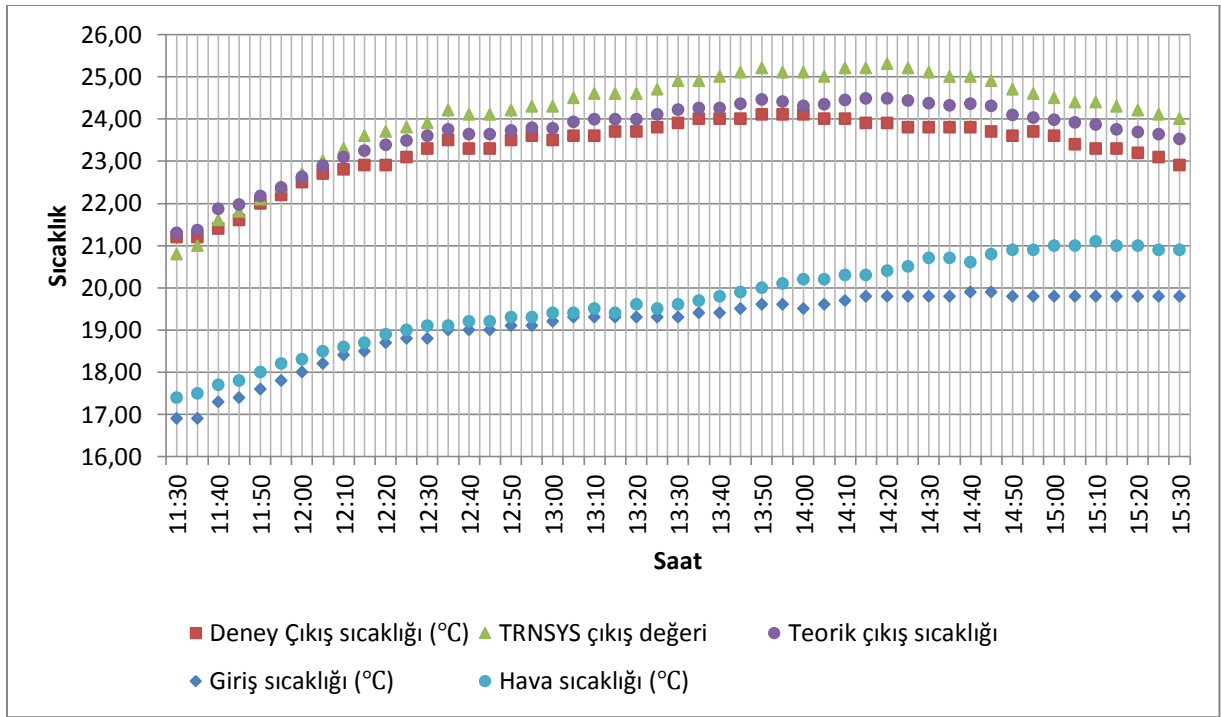
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,33 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %1,1'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,59 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %1,9'dur. Anlık ışınlım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 66,95 W/m²'dir ve Anlık ışınlım değerlerinde hata oranı da %5,3'dür. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,63°C derecedir ve hata oranı %2,0'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 86,74 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %5,2'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,61 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,1'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 90,21 W hata oranı da %5,4'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 88,26'tür ve bu değerlerin hata oranı da %5,4'dür. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,074 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,2'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 89,23 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,5'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,075 ve hesaplama hata oranı da %0,2'dir.

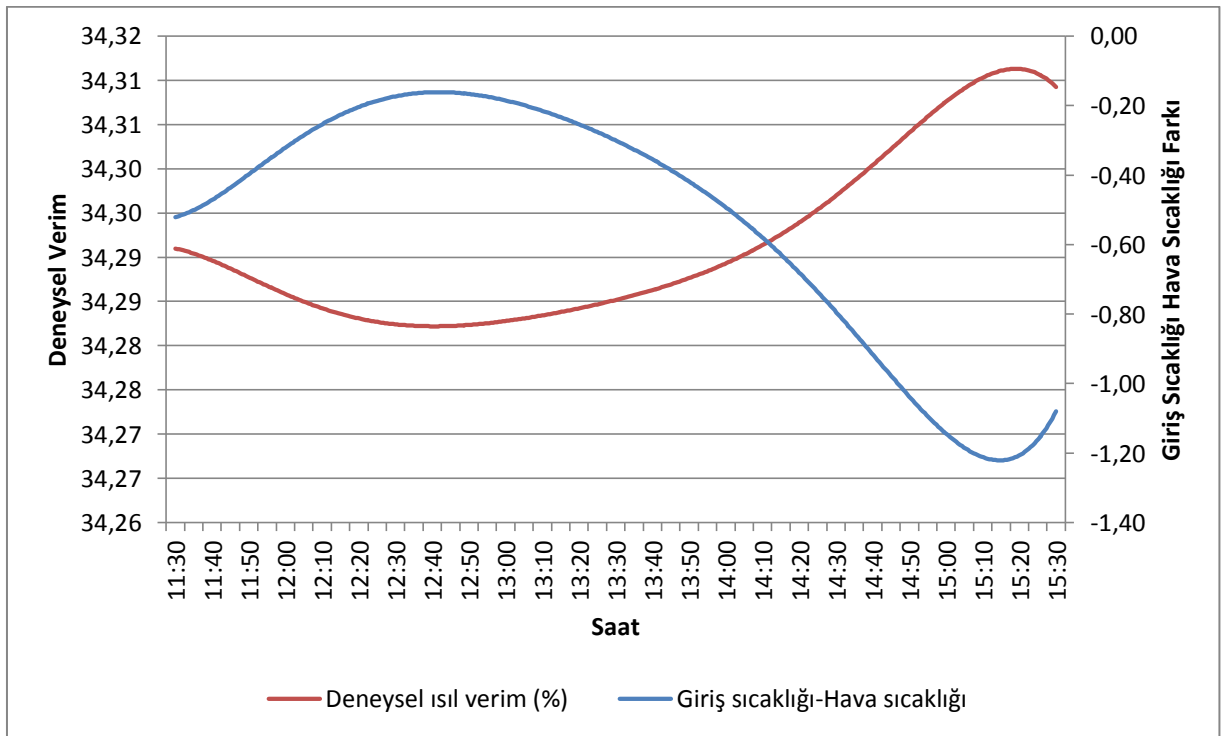
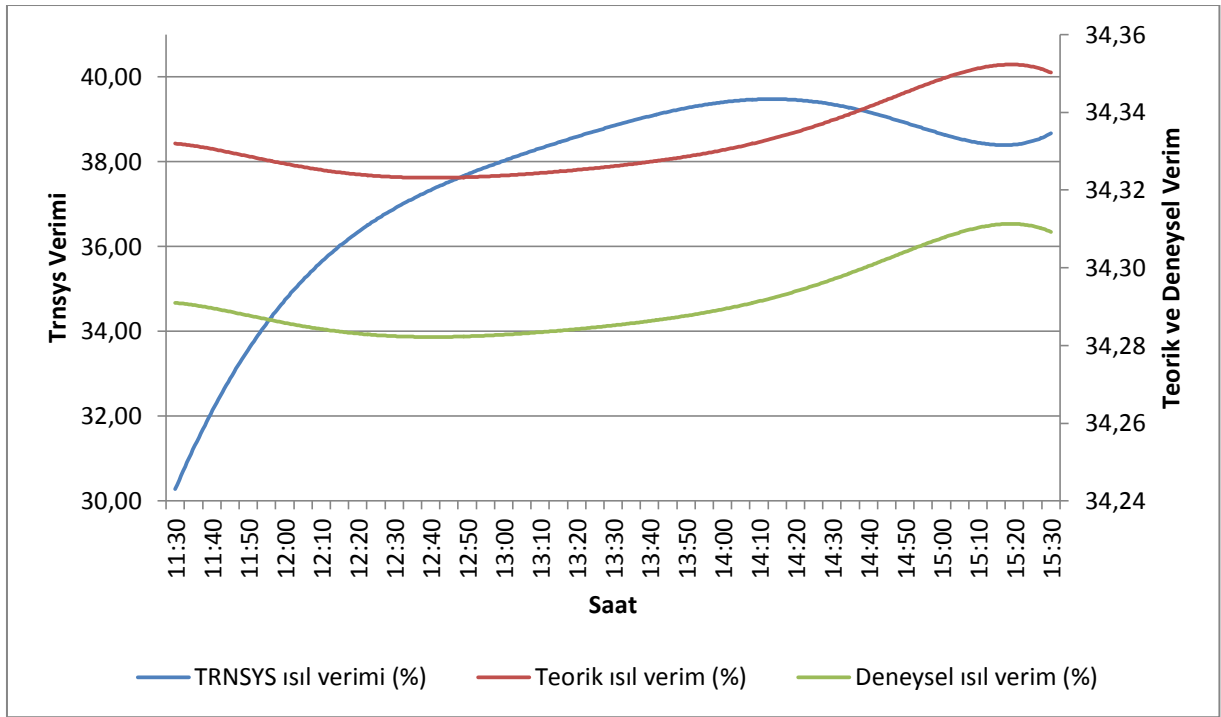




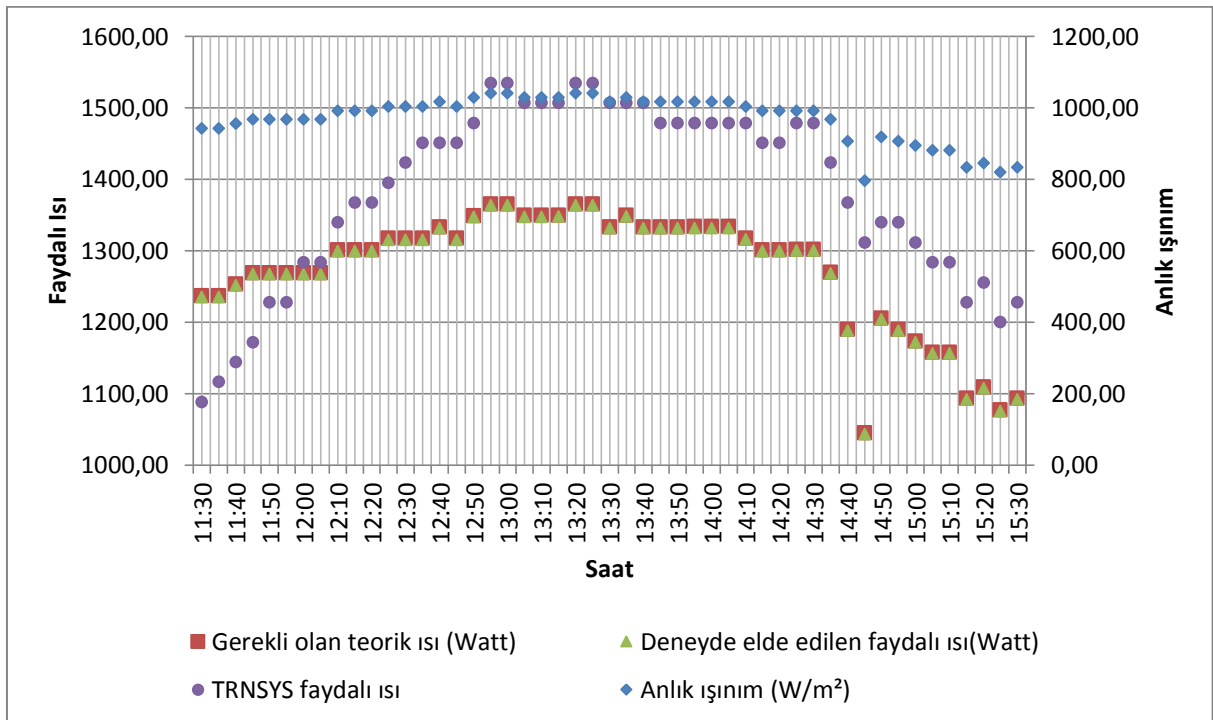
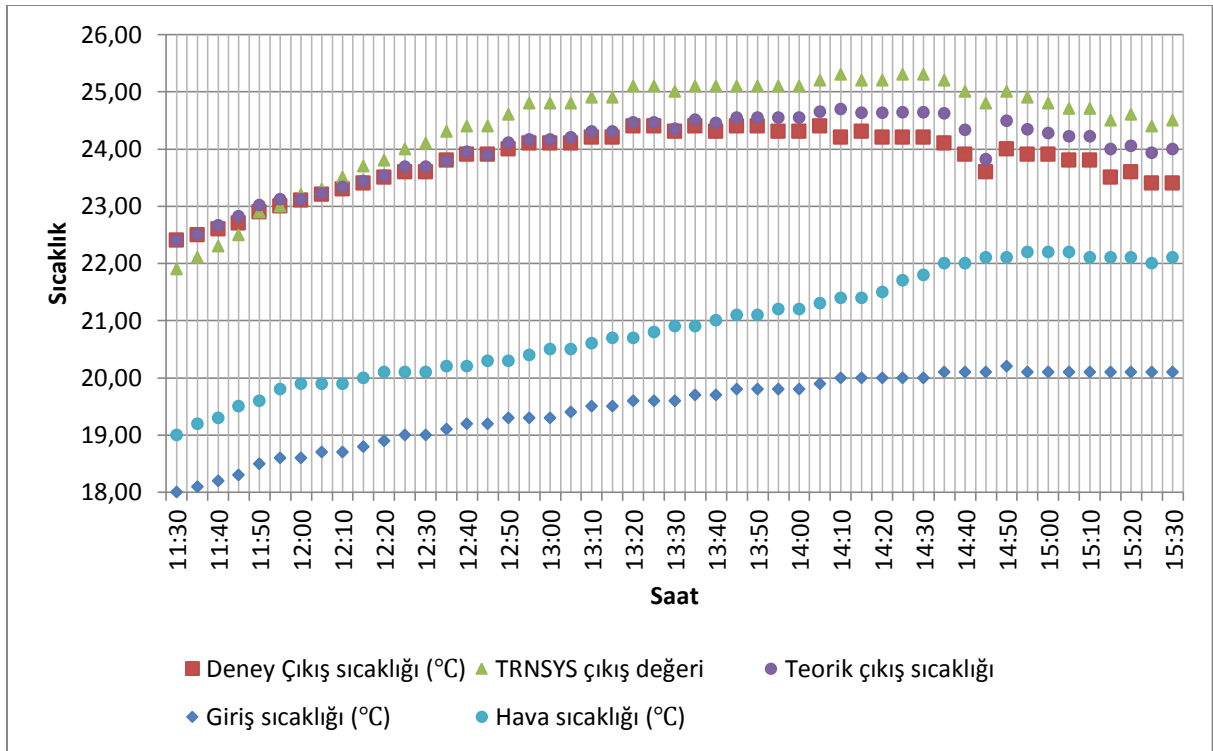
| 4 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                 |                      |                                |
|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| saat             | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışıınım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kollektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kollektör ısı verimi (%) |
| 11:30            | 16,90                | 21,20                      | 20,80               | 21,30                  | 17,40               | -0,50                           | 942,50               | 1236,06                        | 1234,58                               | 3600,35                        | 1088,10            | 30,22                           | 34,33                | 34,29                          |
| 11:35            | 16,90                | 21,20                      | 21,00               | 21,36                  | 17,50               | -0,60                           | 954,70               | 1252,14                        | 1250,64                               | 3646,95                        | 1143,90            | 31,37                           | 34,33                | 34,29                          |
| 11:40            | 17,30                | 21,40                      | 21,60               | 21,87                  | 17,70               | -0,40                           | 979,20               | 1284,08                        | 1282,55                               | 3740,54                        | 1199,70            | 32,07                           | 34,33                | 34,29                          |
| 11:45            | 17,40                | 21,60                      | 21,80               | 21,97                  | 17,80               | -0,40                           | 979,20               | 1284,08                        | 1282,55                               | 3740,54                        | 1227,60            | 32,82                           | 34,33                | 34,29                          |
| 11:50            | 17,60                | 22,00                      | 22,10               | 22,17                  | 18,00               | -0,40                           | 979,20               | 1284,08                        | 1282,55                               | 3740,54                        | 1255,50            | 33,56                           | 34,33                | 34,29                          |
| 11:55            | 17,80                | 22,20                      | 22,40               | 22,37                  | 18,20               | -0,40                           | 979,20               | 1284,08                        | 1282,55                               | 3740,54                        | 1283,40            | 34,31                           | 34,33                | 34,29                          |
| 12:00            | 18,00                | 22,50                      | 22,70               | 22,63                  | 18,30               | -0,30                           | 991,50               | 1300,12                        | 1298,57                               | 3787,53                        | 1311,30            | 34,62                           | 34,33                | 34,29                          |
| 12:05            | 18,20                | 22,70                      | 23,00               | 22,89                  | 18,50               | -0,30                           | 1003,70              | 1316,12                        | 1314,54                               | 3834,13                        | 1339,20            | 34,93                           | 34,33                | 34,29                          |
| 12:10            | 18,40                | 22,80                      | 23,30               | 23,09                  | 18,60               | -0,20                           | 1003,70              | 1316,03                        | 1314,46                               | 3834,13                        | 1367,10            | 35,66                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:15            | 18,50                | 22,90                      | 23,60               | 23,25                  | 18,70               | -0,20                           | 1016,00              | 1332,15                        | 1330,56                               | 3881,12                        | 1422,90            | 36,66                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:20            | 18,70                | 22,90                      | 23,70               | 23,39                  | 18,90               | -0,20                           | 1003,70              | 1316,03                        | 1314,46                               | 3834,13                        | 1395,00            | 36,38                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:25            | 18,80                | 23,10                      | 23,80               | 23,49                  | 19,00               | -0,20                           | 1003,70              | 1316,03                        | 1314,46                               | 3834,13                        | 1395,00            | 36,38                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:30            | 18,80                | 23,30                      | 23,90               | 23,60                  | 19,10               | -0,30                           | 1028,20              | 1348,23                        | 1346,63                               | 3927,72                        | 1422,90            | 36,23                           | 34,33                | 34,29                          |
| 12:35            | 19,00                | 23,50                      | 24,20               | 23,75                  | 19,10               | -0,10                           | 1016,00              | 1332,07                        | 1330,48                               | 3881,12                        | 1450,80            | 37,38                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:40            | 19,00                | 23,30                      | 24,10               | 23,63                  | 19,20               | -0,20                           | 991,50               | 1300,03                        | 1298,48                               | 3787,53                        | 1422,90            | 37,57                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:45            | 19,00                | 23,30                      | 24,10               | 23,63                  | 19,20               | -0,20                           | 991,50               | 1300,03                        | 1298,48                               | 3787,53                        | 1422,90            | 37,57                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:50            | 19,10                | 23,50                      | 24,20               | 23,73                  | 19,30               | -0,20                           | 991,50               | 1300,03                        | 1298,48                               | 3787,53                        | 1422,90            | 37,57                           | 34,32                | 34,28                          |
| 12:55            | 19,10                | 23,60                      | 24,30               | 23,79                  | 19,30               | -0,20                           | 1003,70              | 1316,03                        | 1314,46                               | 3834,13                        | 1450,80            | 37,84                           | 34,32                | 34,28                          |
| 13:00            | 19,20                | 23,50                      | 24,30               | 23,77                  | 19,40               | -0,20                           | 979,20               | 1283,91                        | 1282,38                               | 3740,54                        | 1422,90            | 38,04                           | 34,32                | 34,28                          |
| 13:05            | 19,30                | 23,60                      | 24,50               | 23,93                  | 19,40               | -0,10                           | 991,50               | 1299,95                        | 1298,40                               | 3787,53                        | 1450,80            | 38,30                           | 34,32                | 34,28                          |
| 13:10            | 19,30                | 23,60                      | 24,60               | 23,99                  | 19,50               | -0,20                           | 1003,70              | 1316,03                        | 1314,46                               | 3834,13                        | 1478,70            | 38,57                           | 34,32                | 34,28                          |
| 13:15            | 19,30                | 23,70                      | 24,60               | 23,99                  | 19,40               | -0,10                           | 1003,70              | 1315,94                        | 1314,37                               | 3834,13                        | 1478,70            | 38,57                           | 34,32                | 34,28                          |
| 13:20            | 19,30                | 23,70                      | 24,60               | 23,99                  | 19,60               | -0,30                           | 1003,70              | 1316,12                        | 1314,54                               | 3834,13                        | 1478,70            | 38,57                           | 34,33                | 34,29                          |
| 13:25            | 19,30                | 23,80                      | 24,70               | 24,10                  | 19,50               | -0,20                           | 1028,20              | 1348,15                        | 1346,54                               | 3927,72                        | 1506,60            | 38,36                           | 34,32                | 34,28                          |
| 13:30            | 19,30                | 23,90                      | 24,90               | 24,22                  | 19,60               | -0,30                           | 1052,70              | 1380,35                        | 1378,71                               | 4021,31                        | 1562,40            | 38,85                           | 34,33                | 34,28                          |
| 13:35            | 19,40                | 24,00                      | 24,90               | 24,26                  | 19,70               | -0,30                           | 1040,40              | 1364,23                        | 1362,60                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                           | 34,33                | 34,29                          |
| 13:40            | 19,40                | 24,00                      | 25,00               | 24,26                  | 19,80               | -0,40                           | 1040,40              | 1364,32                        | 1362,69                               | 3974,33                        | 1562,40            | 39,31                           | 34,33                | 34,29                          |
| 13:45            | 19,50                | 24,00                      | 25,10               | 24,36                  | 19,90               | -0,40                           | 1040,40              | 1364,32                        | 1362,69                               | 3974,33                        | 1562,40            | 39,31                           | 34,33                | 34,29                          |
| 13:50            | 19,60                | 24,10                      | 25,20               | 24,46                  | 20,00               | -0,40                           | 1040,40              | 1364,32                        | 1362,69                               | 3974,33                        | 1562,40            | 39,31                           | 34,33                | 34,29                          |
| 13:55            | 19,60                | 24,10                      | 25,10               | 24,40                  | 20,10               | -0,50                           | 1028,20              | 1348,41                        | 1346,80                               | 3927,72                        | 1534,50            | 39,07                           | 34,33                | 34,29                          |
| 14:00            | 19,50                | 24,10                      | 25,10               | 24,30                  | 20,20               | -0,70                           | 1028,20              | 1348,58                        | 1346,97                               | 3927,72                        | 1562,40            | 39,78                           | 34,33                | 34,29                          |
| 14:05            | 19,60                | 24,00                      | 25,00               | 24,35                  | 20,20               | -0,60                           | 1016,00              | 1332,50                        | 1330,91                               | 3881,12                        | 1506,60            | 38,82                           | 34,33                | 34,29                          |
| 14:10            | 19,70                | 24,00                      | 25,20               | 24,45                  | 20,30               | -0,60                           | 1016,00              | 1332,50                        | 1330,91                               | 3881,12                        | 1534,50            | 39,54                           | 34,33                | 34,29                          |
| 14:15            | 19,80                | 23,90                      | 25,20               | 24,49                  | 20,30               | -0,50                           | 1003,70              | 1316,29                        | 1314,72                               | 3834,13                        | 1506,60            | 39,29                           | 34,33                | 34,29                          |
| 14:20            | 19,80                | 23,90                      | 25,30               | 24,49                  | 20,40               | -0,60                           | 1003,70              | 1316,38                        | 1314,80                               | 3834,13                        | 1534,50            | 40,02                           | 34,33                | 34,29                          |
| 14:25            | 19,80                | 23,80                      | 25,20               | 24,43                  | 20,50               | -0,70                           | 991,50               | 1300,47                        | 1298,92                               | 3787,53                        | 1506,60            | 39,78                           | 34,34                | 34,29                          |
| 14:30            | 19,80                | 23,80                      | 25,10               | 24,38                  | 20,70               | -0,90                           | 979,20               | 1284,52                        | 1282,98                               | 3740,54                        | 1478,70            | 39,53                           | 34,34                | 34,30                          |
| 14:35            | 19,80                | 23,80                      | 25,00               | 24,32                  | 20,70               | -0,90                           | 967,00               | 1268,52                        | 1267,01                               | 3693,94                        | 1450,80            | 39,28                           | 34,34                | 34,30                          |
| 14:40            | 19,90                | 23,80                      | 25,00               | 24,36                  | 20,60               | -0,70                           | 954,70               | 1252,22                        | 1250,73                               | 3646,95                        | 1422,90            | 39,02                           | 34,34                | 34,30                          |
| 14:45            | 19,90                | 23,70                      | 24,90               | 24,30                  | 20,80               | -0,90                           | 942,50               | 1236,40                        | 1234,93                               | 3600,35                        | 1395,00            | 38,75                           | 34,34                | 34,30                          |
| 14:50            | 19,80                | 23,60                      | 24,70               | 24,09                  | 20,90               | -1,10                           | 918,00               | 1204,46                        | 1203,02                               | 3506,76                        | 1367,10            | 38,98                           | 34,35                | 34,31                          |
| 14:55            | 19,80                | 23,70                      | 24,60               | 24,03                  | 20,90               | -1,10                           | 905,80               | 1188,46                        | 1187,04                               | 3460,16                        | 1339,20            | 38,70                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:00            | 19,80                | 23,60                      | 24,50               | 23,98                  | 21,00               | -1,20                           | 893,50               | 1172,42                        | 1171,02                               | 3413,17                        | 1311,30            | 38,42                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:05            | 19,80                | 23,40                      | 24,40               | 23,92                  | 21,00               | -1,20                           | 881,30               | 1156,43                        | 1155,05                               | 3366,57                        | 1283,40            | 38,12                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:10            | 19,80                | 23,30                      | 24,40               | 23,86                  | 21,10               | -1,30                           | 869,00               | 1140,39                        | 1139,03                               | 3319,58                        | 1283,40            | 38,66                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:15            | 19,80                | 23,30                      | 24,30               | 23,75                  | 21,00               | -1,20                           | 844,60               | 1108,31                        | 1106,99                               | 3226,37                        | 1255,50            | 38,91                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:20            | 19,80                | 23,20                      | 24,20               | 23,69                  | 21,00               | -1,20                           | 832,20               | 1092,06                        | 1090,76                               | 3179,00                        | 1227,60            | 38,62                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:25            | 19,80                | 23,10                      | 24,10               | 23,63                  | 20,90               | -1,10                           | 820,00               | 1075,98                        | 1074,69                               | 3132,40                        | 1199,70            | 38,30                           | 34,35                | 34,31                          |
| 15:30            | 19,80                | 22,90                      | 24,00               | 23,52                  | 20,90               | -1,10                           | 795,60               | 1043,99                        | 1042,74                               | 3039,19                        | 1171,80            | 38,56                           | 34,35                | 34,31                          |

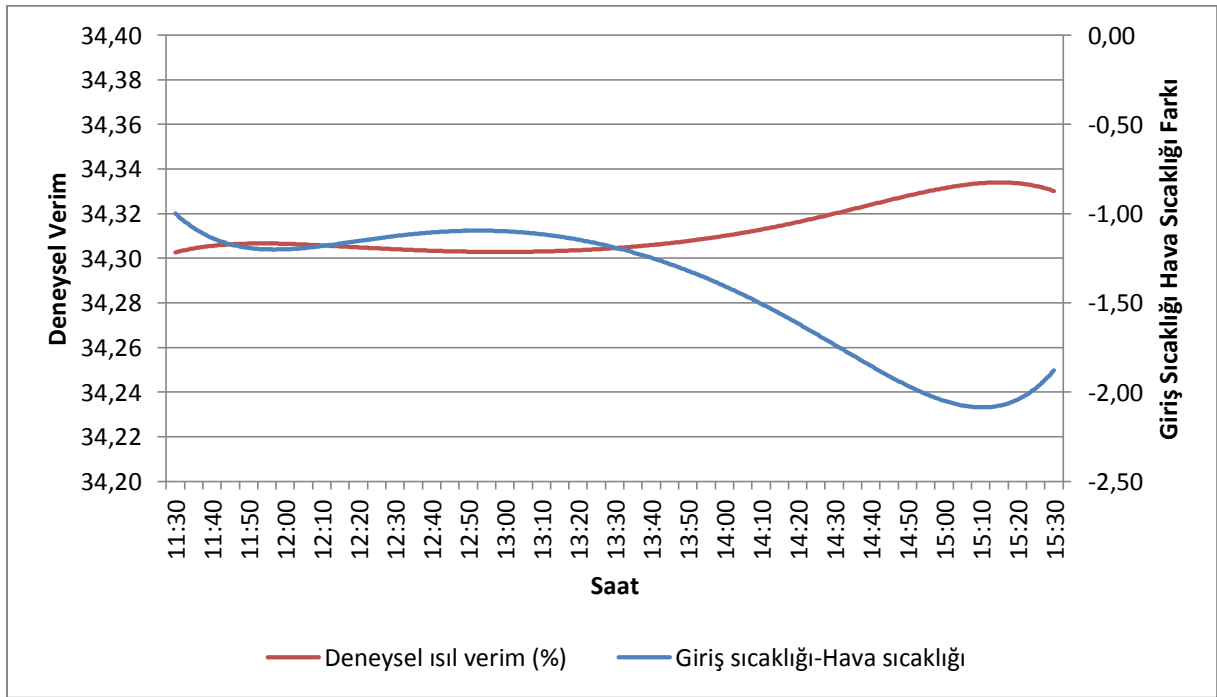
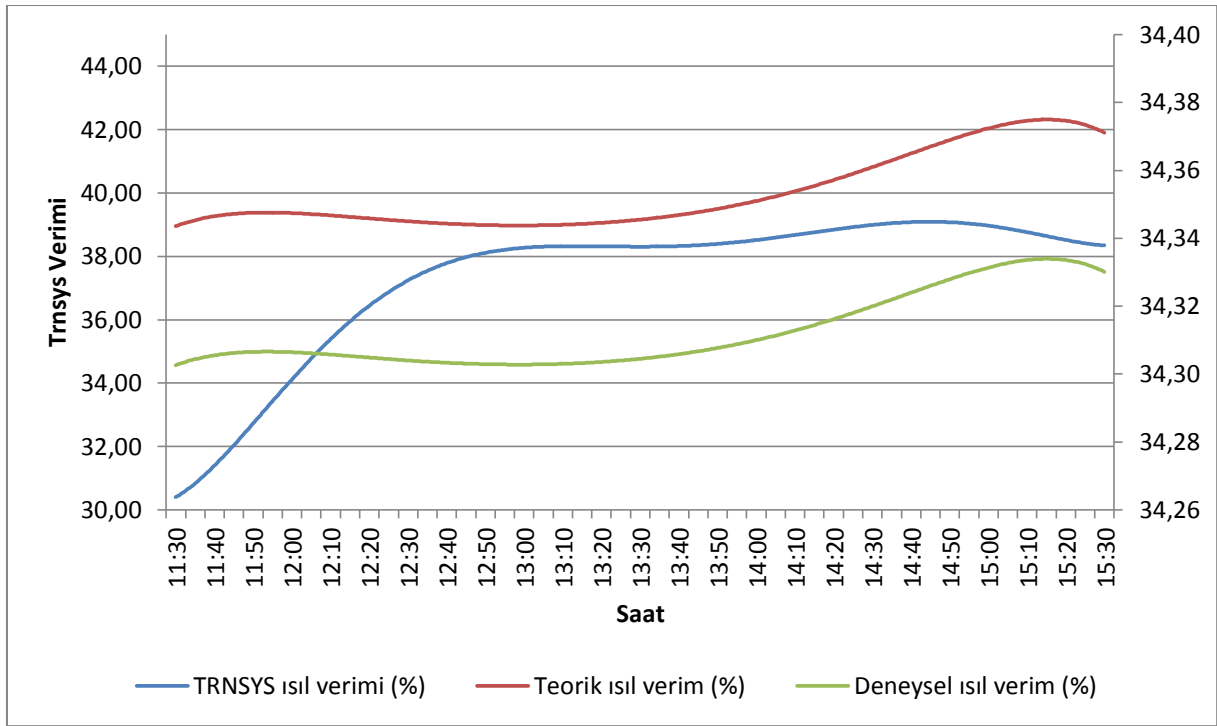
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,82 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %3,3'dür. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,76 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %2,4'dür. Anlık ışıınım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 60,85 W/m²'dir ve Anlık ışıınım değerlerinde hata oranı da %4,7'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,79 °C derecedir ve hata oranı %2,2'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 78,31 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,7'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,77 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,3'dür. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 82,21 W hata oranı da %4,5'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 80,66'tür ve bu değerlerin hata oranı da %4,6'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,063 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,1'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 81,14 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %4,9'dür. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapası 0,065 ve hesaplama hata oranı da %0,12'dir.





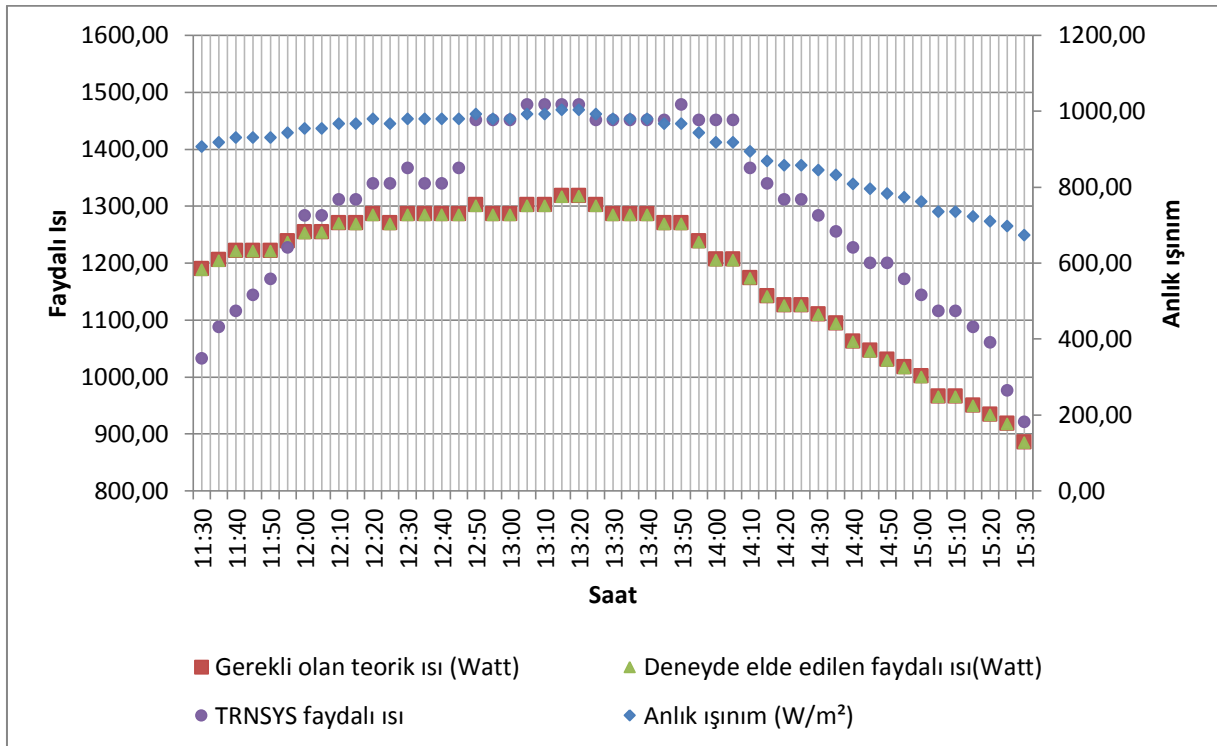
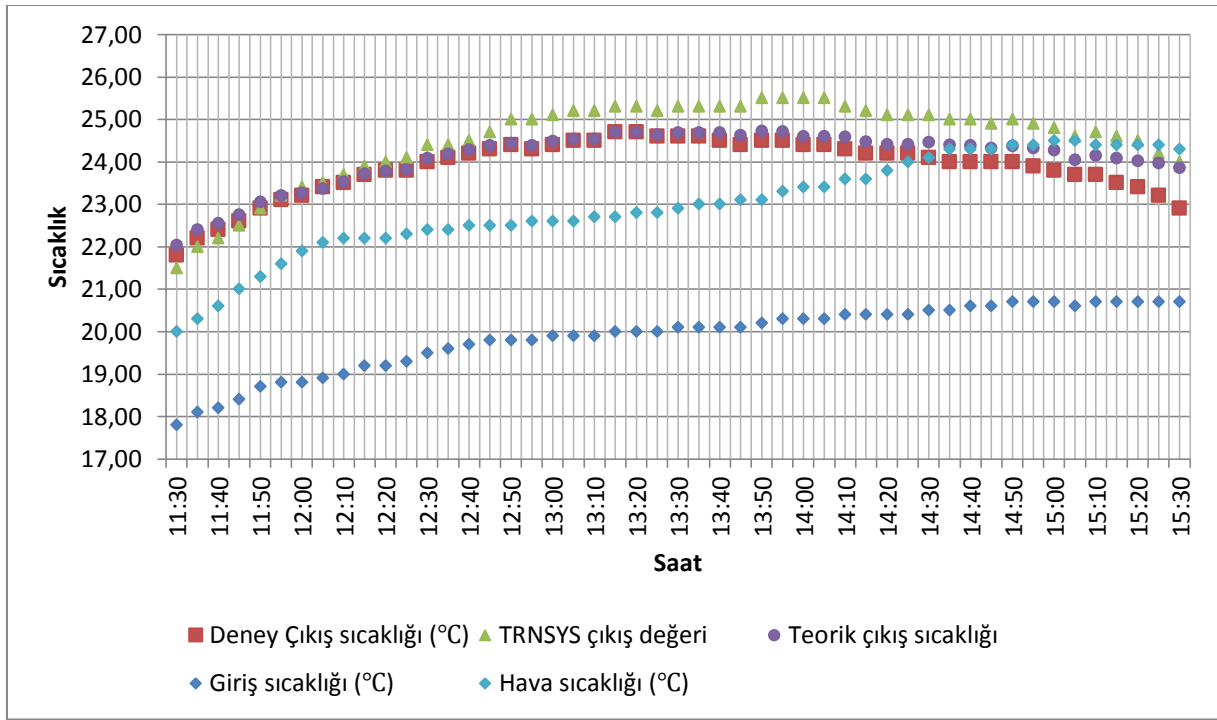
| 5 EKİM DEĞERLERİ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışınlım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektör e toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,00                | 22,40                      | 21,90               | 22,40                  | 19,00               | -1,00                           | 942,50               | 1236,49                        | 1235,01                               | 3600,35                        | 1088,10            | 30,22                          | 34,34                | 34,30                         |
| 11:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,10                | 22,50                      | 22,10               | 22,50                  | 19,20               | -1,10                           | 942,50               | 1236,58                        | 1235,10                               | 3600,35                        | 1116,00            | 31,00                          | 34,35                | 34,30                         |
| 11:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,20                | 22,60                      | 22,30               | 22,66                  | 19,30               | -1,10                           | 954,70               | 1252,57                        | 1251,07                               | 3646,95                        | 1143,90            | 31,37                          | 34,35                | 34,30                         |
| 11:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,30                | 22,70                      | 22,50               | 22,82                  | 19,50               | -1,20                           | 967,00               | 1268,78                        | 1267,27                               | 3693,94                        | 1171,80            | 31,72                          | 34,35                | 34,31                         |
| 11:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,50                | 22,90                      | 22,90               | 23,02                  | 19,60               | -1,10                           | 967,00               | 1268,69                        | 1267,18                               | 3693,94                        | 1227,60            | 33,23                          | 34,35                | 34,30                         |
| 11:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,60                | 23,00                      | 23,00               | 23,12                  | 19,80               | -1,20                           | 967,00               | 1268,78                        | 1267,27                               | 3693,94                        | 1227,60            | 33,23                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,60                | 23,10                      | 23,20               | 23,12                  | 19,90               | -1,30                           | 967,00               | 1268,87                        | 1267,35                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,70                | 23,20                      | 23,30               | 23,22                  | 19,90               | -1,20                           | 967,00               | 1268,78                        | 1267,27                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,70                | 23,30                      | 23,50               | 23,33                  | 19,90               | -1,20                           | 991,50               | 1300,90                        | 1299,35                               | 3787,53                        | 1339,20            | 35,36                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,80                | 23,40                      | 23,70               | 23,43                  | 20,00               | -1,20                           | 991,50               | 1300,90                        | 1299,35                               | 3787,53                        | 1367,10            | 36,09                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 18,90                | 23,50                      | 23,80               | 23,53                  | 20,10               | -1,20                           | 991,50               | 1300,90                        | 1299,35                               | 3787,53                        | 1367,10            | 36,09                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,00                | 23,60                      | 24,00               | 23,69                  | 20,10               | -1,10                           | 1003,70              | 1316,81                        | 1315,24                               | 3834,13                        | 1395,00            | 36,38                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,00                | 23,60                      | 24,10               | 23,69                  | 20,10               | -1,10                           | 1003,70              | 1316,81                        | 1315,24                               | 3834,13                        | 1422,90            | 37,11                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,10                | 23,80                      | 24,30               | 23,79                  | 20,20               | -1,10                           | 1003,70              | 1316,81                        | 1315,24                               | 3834,13                        | 1450,80            | 37,84                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,20                | 23,90                      | 24,40               | 23,95                  | 20,20               | -1,00                           | 1016,00              | 1332,85                        | 1331,26                               | 3881,12                        | 1450,80            | 37,38                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,20                | 23,90                      | 24,40               | 23,89                  | 20,30               | -1,10                           | 1003,70              | 1316,81                        | 1315,24                               | 3834,13                        | 1450,80            | 37,84                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,30                | 24,00                      | 24,60               | 24,10                  | 20,30               | -1,00                           | 1028,20              | 1348,84                        | 1347,23                               | 3927,72                        | 1478,70            | 37,65                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,30                | 24,10                      | 24,80               | 24,16                  | 20,40               | -1,10                           | 1040,40              | 1364,92                        | 1363,29                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,30                | 24,10                      | 24,80               | 24,16                  | 20,50               | -1,20                           | 1040,40              | 1365,01                        | 1363,38                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                          | 34,35                | 34,30                         |
| 13:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,40                | 24,10                      | 24,80               | 24,21                  | 20,50               | -1,10                           | 1028,20              | 1348,93                        | 1347,32                               | 3927,72                        | 1506,60            | 38,36                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,50                | 24,20                      | 24,90               | 24,31                  | 20,60               | -1,10                           | 1028,20              | 1348,93                        | 1347,32                               | 3927,72                        | 1506,60            | 38,36                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,50                | 24,20                      | 24,90               | 24,31                  | 20,70               | -1,20                           | 1028,20              | 1349,02                        | 1347,41                               | 3927,72                        | 1506,60            | 38,36                          | 34,35                | 34,30                         |
| 13:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,60                | 24,40                      | 25,10               | 24,46                  | 20,70               | -1,10                           | 1040,40              | 1364,92                        | 1363,29                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                          | 34,34                | 34,30                         |
| 13:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,60                | 24,40                      | 25,10               | 24,46                  | 20,80               | -1,20                           | 1040,40              | 1365,01                        | 1363,38                               | 3974,33                        | 1534,50            | 38,61                          | 34,35                | 34,30                         |
| 13:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,60                | 24,30                      | 25,00               | 24,35                  | 20,90               | -1,30                           | 1016,00              | 1333,11                        | 1331,52                               | 3881,12                        | 1506,60            | 38,82                          | 34,35                | 34,31                         |
| 13:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,70                | 24,40                      | 25,10               | 24,51                  | 20,90               | -1,20                           | 1028,20              | 1349,02                        | 1347,41                               | 3927,72                        | 1506,60            | 38,36                          | 34,35                | 34,30                         |
| 13:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,70                | 24,30                      | 25,10               | 24,45                  | 21,00               | -1,30                           | 1016,00              | 1333,11                        | 1331,52                               | 3881,12                        | 1506,60            | 38,82                          | 34,35                | 34,31                         |
| 13:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,80                | 24,40                      | 25,10               | 24,55                  | 21,10               | -1,30                           | 1016,00              | 1333,11                        | 1331,52                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                          | 34,35                | 34,31                         |
| 13:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,80                | 24,40                      | 25,10               | 24,55                  | 21,10               | -1,30                           | 1016,00              | 1333,11                        | 1331,52                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                          | 34,35                | 34,31                         |
| 13:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,80                | 24,30                      | 25,10               | 24,55                  | 21,20               | -1,40                           | 1016,00              | 1333,19                        | 1331,60                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,80                | 24,30                      | 25,10               | 24,55                  | 21,20               | -1,40                           | 1016,00              | 1333,19                        | 1331,60                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 19,90                | 24,40                      | 25,20               | 24,65                  | 21,30               | -1,40                           | 1016,00              | 1333,19                        | 1331,60                               | 3881,12                        | 1478,70            | 38,10                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,00                | 24,20                      | 25,30               | 24,69                  | 21,40               | -1,40                           | 1003,70              | 1317,07                        | 1315,50                               | 3834,13                        | 1478,70            | 38,57                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,00                | 24,30                      | 25,20               | 24,63                  | 21,40               | -1,40                           | 991,40               | 1300,94                        | 1299,39                               | 3787,15                        | 1450,80            | 38,31                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,00                | 24,20                      | 25,20               | 24,63                  | 21,50               | -1,50                           | 991,40               | 1301,03                        | 1299,48                               | 3787,15                        | 1450,80            | 38,31                          | 34,35                | 34,31                         |
| 14:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,00                | 24,20                      | 25,30               | 24,64                  | 21,70               | -1,70                           | 991,40               | 1301,20                        | 1299,65                               | 3787,15                        | 1478,70            | 39,05                          | 34,36                | 34,32                         |
| 14:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,00                | 24,20                      | 25,30               | 24,64                  | 21,80               | -1,80                           | 991,40               | 1301,29                        | 1299,74                               | 3787,15                        | 1478,70            | 39,05                          | 34,36                | 34,32                         |
| 14:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 24,10                      | 25,20               | 24,62                  | 22,00               | -1,90                           | 967,00               | 1269,39                        | 1267,87                               | 3693,94                        | 1422,90            | 38,52                          | 34,36                | 34,32                         |
| 14:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,90                      | 25,00               | 24,34                  | 22,00               | -1,90                           | 905,80               | 1189,16                        | 1187,74                               | 3460,16                        | 1367,10            | 39,51                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,60                      | 24,80               | 23,82                  | 22,10               | -2,00                           | 795,60               | 1044,77                        | 1043,52                               | 3039,19                        | 1311,30            | 43,15                          | 34,38                | 34,34                         |
| 14:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,20                | 24,00                      | 25,00               | 24,49                  | 22,10               | -1,90                           | 918,00               | 1205,15                        | 1203,71                               | 3506,76                        | 1339,20            | 38,19                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,90                      | 24,90               | 24,34                  | 22,20               | -2,10                           | 905,80               | 1189,33                        | 1187,91                               | 3460,16                        | 1339,20            | 38,70                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,90                      | 24,80               | 24,28                  | 22,20               | -2,10                           | 893,50               | 1173,20                        | 1171,80                               | 3413,17                        | 1311,30            | 38,42                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,80                      | 24,70               | 24,22                  | 22,20               | -2,10                           | 881,30               | 1157,21                        | 1155,83                               | 3366,57                        | 1283,40            | 38,12                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,80                      | 24,70               | 24,22                  | 22,10               | -2,00                           | 881,30               | 1157,12                        | 1155,74                               | 3366,57                        | 1283,40            | 38,12                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,50                      | 24,50               | 23,99                  | 22,10               | -2,00                           | 832,30               | 1092,88                        | 1091,58                               | 3179,39                        | 1227,60            | 38,61                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,60                      | 24,60               | 24,05                  | 22,10               | -2,00                           | 844,60               | 1109,01                        | 1107,68                               | 3226,37                        | 1255,50            | 38,91                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,40                      | 24,40               | 23,94                  | 22,00               | -1,90                           | 820,00               | 1076,67                        | 1075,39                               | 3132,40                        | 1199,70            | 38,30                          | 34,37                | 34,33                         |
| 15:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20,10                | 23,40                      | 24,50               | 23,99                  | 22,10               | -2,00                           | 832,30               | 1092,88                        | 1091,58                               | 3179,39                        | 1227,60            | 38,61                          | 34,37                | 34,33                         |
| Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,63 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %2,7'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,55 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %1,8'dir. Anlık ışınlım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 62,32 W/m²'dir ve Anlık ışınlım değerlerinde hata oranı da %5,1'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,58 °C derecedir ve hata oranı %1,7'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 82,76 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %5,1'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,57 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %1,8'dür. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 85,78 W hata oranı da %4,9'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 83,67'tür ve bu değerlerin hata oranı da %5,0'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,073 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,1'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 83,92 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,3'dür. Son olarak teorik ısı veriminin standart sapası 0,075 ve hesaplama hata oranı da %0,12'dir. |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |

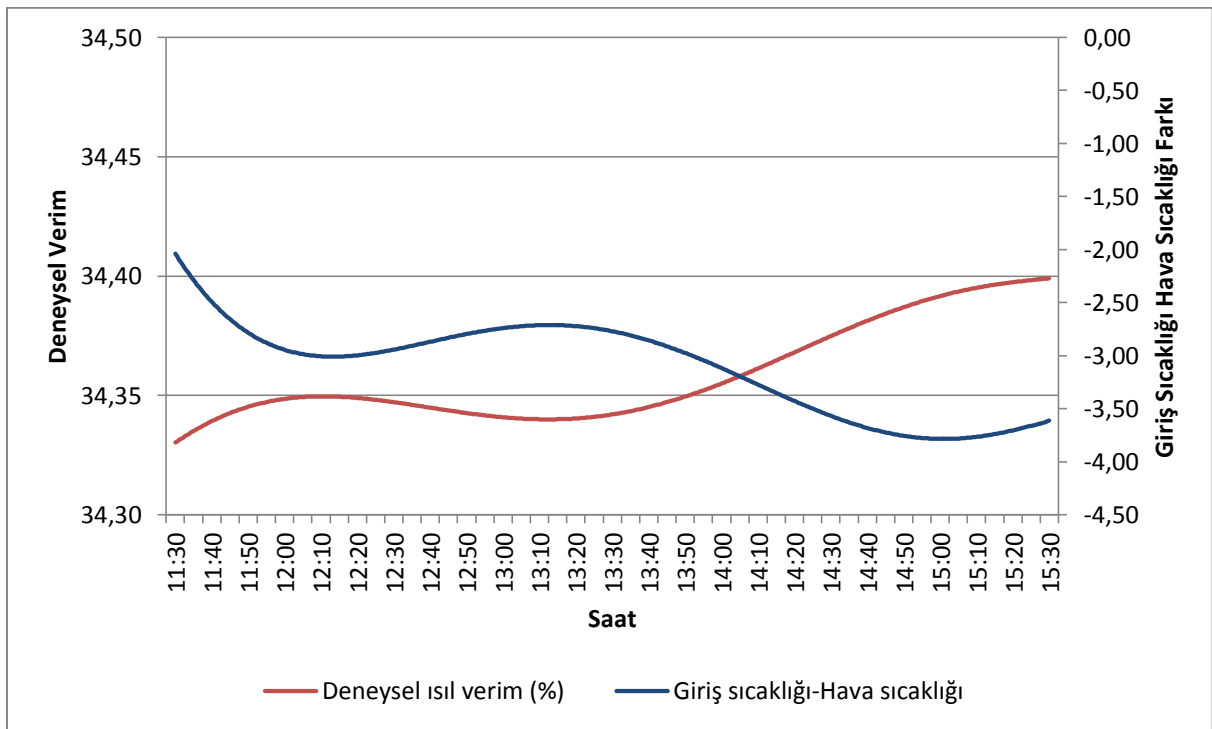
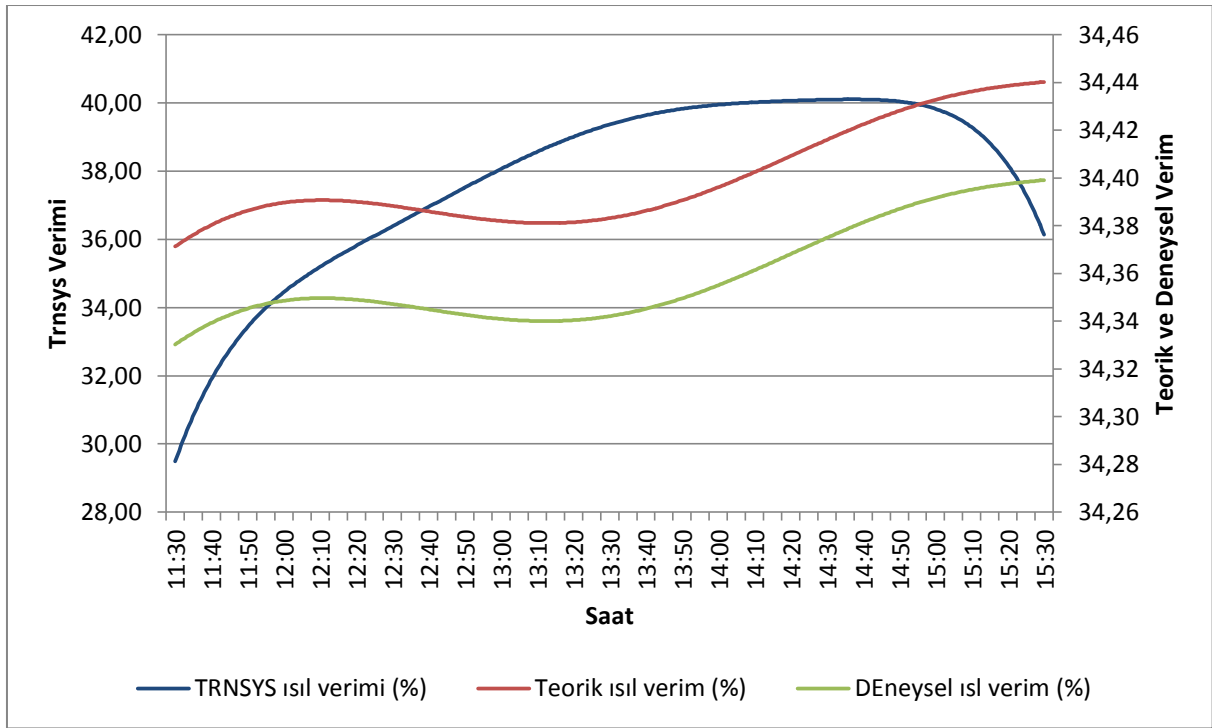




| 6 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                     |                                |                                       |                                 |                    |                                |                      |                               |
|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat             | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ısıtım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörd e toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30            | 17,80                | 21,80                      | 21,50               | 22,04                  | 20,00               | -2,20                           | 905,80              | 1189,42                        | 1188,00                               | 3460,16                         | 1032,30            | 29,83                          | 34,37                | 34,33                         |
| 11:35            | 18,10                | 22,20                      | 22,00               | 22,39                  | 20,30               | -2,20                           | 918,00              | 1205,41                        | 1203,97                               | 3506,76                         | 1088,10            | 31,03                          | 34,37                | 34,33                         |
| 11:40            | 18,20                | 22,40                      | 22,20               | 22,55                  | 20,60               | -2,40                           | 930,30              | 1221,71                        | 1220,25                               | 3553,75                         | 1116,00            | 31,40                          | 34,38                | 34,34                         |
| 11:45            | 18,40                | 22,60                      | 22,50               | 22,75                  | 21,00               | -2,60                           | 930,30              | 1221,88                        | 1220,42                               | 3553,75                         | 1143,90            | 32,19                          | 34,38                | 34,34                         |
| 11:50            | 18,70                | 22,90                      | 22,90               | 23,05                  | 21,30               | -2,60                           | 930,30              | 1221,88                        | 1220,42                               | 3553,75                         | 1171,80            | 32,97                          | 34,38                | 34,34                         |
| 11:55            | 18,80                | 23,10                      | 23,20               | 23,21                  | 21,60               | -2,80                           | 942,50              | 1238,05                        | 1236,57                               | 3600,35                         | 1227,60            | 34,10                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:00            | 18,80                | 23,20                      | 23,40               | 23,27                  | 21,90               | -3,10                           | 954,80              | 1254,43                        | 1252,94                               | 3647,34                         | 1283,40            | 35,19                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:05            | 18,90                | 23,40                      | 23,50               | 23,37                  | 22,10               | -3,20                           | 954,80              | 1254,52                        | 1253,02                               | 3647,34                         | 1283,40            | 35,19                          | 34,40                | 34,35                         |
| 12:10            | 19,00                | 23,50                      | 23,70               | 23,53                  | 22,20               | -3,20                           | 967,00              | 1270,52                        | 1269,00                               | 3693,94                         | 1311,30            | 35,50                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:15            | 19,20                | 23,70                      | 23,90               | 23,73                  | 22,20               | -3,00                           | 967,00              | 1270,34                        | 1268,83                               | 3693,94                         | 1311,30            | 35,50                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:20            | 19,20                | 23,80                      | 24,00               | 23,78                  | 22,20               | -3,00                           | 979,20              | 1286,34                        | 1284,80                               | 3740,54                         | 1339,20            | 35,80                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:25            | 19,30                | 23,80                      | 24,10               | 23,83                  | 22,30               | -3,00                           | 967,00              | 1270,34                        | 1268,83                               | 3693,94                         | 1339,20            | 36,25                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:30            | 19,50                | 24,00                      | 24,40               | 24,08                  | 22,40               | -2,90                           | 979,20              | 1286,25                        | 1284,71                               | 3740,54                         | 1367,10            | 36,55                          | 34,39                | 34,35                         |
| 12:35            | 19,60                | 24,10                      | 24,40               | 24,18                  | 22,40               | -2,80                           | 979,20              | 1286,16                        | 1284,63                               | 3740,54                         | 1339,20            | 35,80                          | 34,38                | 34,34                         |
| 12:40            | 19,70                | 24,20                      | 24,50               | 24,28                  | 22,50               | -2,80                           | 979,20              | 1286,16                        | 1284,63                               | 3740,54                         | 1339,20            | 35,80                          | 34,38                | 34,34                         |
| 12:45            | 19,80                | 24,30                      | 24,70               | 24,38                  | 22,50               | -2,70                           | 979,20              | 1286,08                        | 1284,54                               | 3740,54                         | 1367,10            | 36,55                          | 34,38                | 34,34                         |
| 12:50            | 19,80                | 24,40                      | 25,00               | 24,44                  | 22,50               | -2,70                           | 991,50              | 1302,20                        | 1300,65                               | 3787,53                         | 1450,80            | 38,30                          | 34,38                | 34,34                         |
| 12:55            | 19,80                | 24,30                      | 25,00               | 24,38                  | 22,60               | -2,80                           | 979,20              | 1286,16                        | 1284,63                               | 3740,54                         | 1450,80            | 38,79                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:00            | 19,90                | 24,40                      | 25,10               | 24,48                  | 22,60               | -2,70                           | 979,20              | 1286,08                        | 1284,54                               | 3740,54                         | 1450,80            | 38,79                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:05            | 19,90                | 24,50                      | 25,20               | 24,54                  | 22,60               | -2,70                           | 991,50              | 1302,20                        | 1300,65                               | 3787,53                         | 1478,70            | 39,04                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:10            | 19,90                | 24,50                      | 25,20               | 24,54                  | 22,70               | -2,80                           | 991,50              | 1302,29                        | 1300,73                               | 3787,53                         | 1478,70            | 39,04                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:15            | 20,00                | 24,70                      | 25,30               | 24,70                  | 22,70               | -2,70                           | 1003,70             | 1318,20                        | 1316,62                               | 3834,13                         | 1478,70            | 38,57                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:20            | 20,00                | 24,70                      | 25,30               | 24,70                  | 22,80               | -2,80                           | 1003,70             | 1318,28                        | 1316,71                               | 3834,13                         | 1478,70            | 38,57                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:25            | 20,00                | 24,60                      | 25,20               | 24,64                  | 22,80               | -2,80                           | 991,50              | 1302,29                        | 1300,73                               | 3787,53                         | 1450,80            | 38,30                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:30            | 20,10                | 24,60                      | 25,30               | 24,68                  | 22,90               | -2,80                           | 979,20              | 1286,16                        | 1284,63                               | 3740,54                         | 1450,80            | 38,79                          | 34,38                | 34,34                         |
| 13:35            | 20,10                | 24,60                      | 25,30               | 24,68                  | 23,00               | -2,90                           | 979,20              | 1286,25                        | 1284,71                               | 3740,54                         | 1450,80            | 38,79                          | 34,39                | 34,35                         |
| 13:40            | 20,10                | 24,50                      | 25,30               | 24,68                  | 23,00               | -2,90                           | 979,20              | 1286,25                        | 1284,71                               | 3740,54                         | 1450,80            | 38,79                          | 34,39                | 34,35                         |
| 13:45            | 20,10                | 24,40                      | 25,30               | 24,63                  | 23,10               | -3,00                           | 967,00              | 1270,34                        | 1268,83                               | 3693,94                         | 1450,80            | 39,28                          | 34,39                | 34,35                         |
| 13:50            | 20,20                | 24,50                      | 25,50               | 24,72                  | 23,10               | -2,90                           | 967,00              | 1270,26                        | 1268,74                               | 3693,94                         | 1478,70            | 40,03                          | 34,39                | 34,35                         |
| 13:55            | 20,30                | 24,50                      | 25,50               | 24,71                  | 23,30               | -3,00                           | 942,50              | 1238,22                        | 1236,74                               | 3600,35                         | 1450,80            | 40,30                          | 34,39                | 34,35                         |
| 14:00            | 20,30                | 24,40                      | 25,50               | 24,60                  | 23,40               | -3,10                           | 918,00              | 1206,19                        | 1204,75                               | 3506,76                         | 1450,80            | 41,37                          | 34,40                | 34,36                         |
| 14:05            | 20,30                | 24,40                      | 25,50               | 24,60                  | 23,40               | -3,10                           | 918,00              | 1206,19                        | 1204,75                               | 3506,76                         | 1450,80            | 41,37                          | 34,40                | 34,36                         |
| 14:10            | 20,40                | 24,30                      | 25,30               | 24,58                  | 23,60               | -3,20                           | 893,50              | 1174,16                        | 1172,76                               | 3413,17                         | 1367,10            | 40,05                          | 34,40                | 34,36                         |
| 14:15            | 20,40                | 24,20                      | 25,20               | 24,47                  | 23,60               | -3,20                           | 869,00              | 1142,04                        | 1140,67                               | 3319,58                         | 1339,20            | 40,34                          | 34,40                | 34,36                         |
| 14:20            | 20,40                | 24,20                      | 25,10               | 24,41                  | 23,80               | -3,40                           | 856,80              | 1126,22                        | 1124,87                               | 3272,98                         | 1311,30            | 40,06                          | 34,41                | 34,37                         |
| 14:25            | 20,40                | 24,20                      | 25,10               | 24,41                  | 24,00               | -3,60                           | 856,80              | 1126,39                        | 1125,05                               | 3272,98                         | 1311,30            | 40,06                          | 34,41                | 34,37                         |
| 14:30            | 20,50                | 24,10                      | 25,10               | 24,46                  | 24,10               | -3,60                           | 844,60              | 1110,40                        | 1109,07                               | 3226,37                         | 1283,40            | 39,78                          | 34,42                | 34,38                         |
| 14:35            | 20,50                | 24,00                      | 25,00               | 24,40                  | 24,30               | -3,80                           | 832,30              | 1094,44                        | 1093,14                               | 3179,39                         | 1255,50            | 39,49                          | 34,42                | 34,38                         |
| 14:40            | 20,60                | 24,00                      | 25,00               | 24,38                  | 24,30               | -3,70                           | 807,90              | 1062,37                        | 1061,10                               | 3086,18                         | 1227,60            | 39,78                          | 34,42                | 34,38                         |
| 14:45            | 20,60                | 24,00                      | 24,90               | 24,33                  | 24,30               | -3,70                           | 795,60              | 1046,24                        | 1044,99                               | 3039,19                         | 1199,70            | 39,47                          | 34,43                | 34,38                         |
| 14:50            | 20,70                | 24,00                      | 25,00               | 24,37                  | 24,40               | -3,70                           | 783,40              | 1030,25                        | 1029,02                               | 2992,59                         | 1199,70            | 40,09                          | 34,43                | 34,39                         |
| 14:55            | 20,70                | 23,90                      | 24,90               | 24,32                  | 24,40               | -3,70                           | 773,40              | 1017,14                        | 1015,92                               | 2954,39                         | 1171,80            | 39,66                          | 34,43                | 34,39                         |
| 15:00            | 20,70                | 23,80                      | 24,80               | 24,27                  | 24,50               | -3,80                           | 761,20              | 1001,23                        | 1000,04                               | 2907,78                         | 1143,90            | 39,34                          | 34,43                | 34,39                         |
| 15:05            | 20,60                | 23,70                      | 24,60               | 24,04                  | 24,50               | -3,90                           | 734,40              | 966,18                         | 965,03                                | 2805,41                         | 1116,00            | 39,78                          | 34,44                | 34,40                         |
| 15:10            | 20,70                | 23,70                      | 24,70               | 24,14                  | 24,40               | -3,70                           | 734,40              | 966,01                         | 964,86                                | 2805,41                         | 1116,00            | 39,78                          | 34,43                | 34,39                         |
| 15:15            | 20,70                | 23,50                      | 24,60               | 24,08                  | 24,40               | -3,70                           | 722,20              | 950,02                         | 948,88                                | 2758,80                         | 1088,10            | 39,44                          | 34,44                | 34,39                         |
| 15:20            | 20,70                | 23,40                      | 24,50               | 24,03                  | 24,40               | -3,70                           | 710,00              | 934,02                         | 932,91                                | 2712,20                         | 1060,20            | 39,09                          | 34,44                | 34,40                         |
| 15:25            | 20,70                | 23,20                      | 24,20               | 23,97                  | 24,40               | -3,70                           | 697,70              | 917,90                         | 916,80                                | 2665,21                         | 976,50             | 36,64                          | 34,44                | 34,40                         |
| 15:30            | 20,70                | 22,90                      | 24,00               | 23,85                  | 24,30               | -3,60                           | 673,20              | 885,69                         | 884,63                                | 2571,62                         | 920,70             | 35,80                          | 34,44                | 34,40                         |

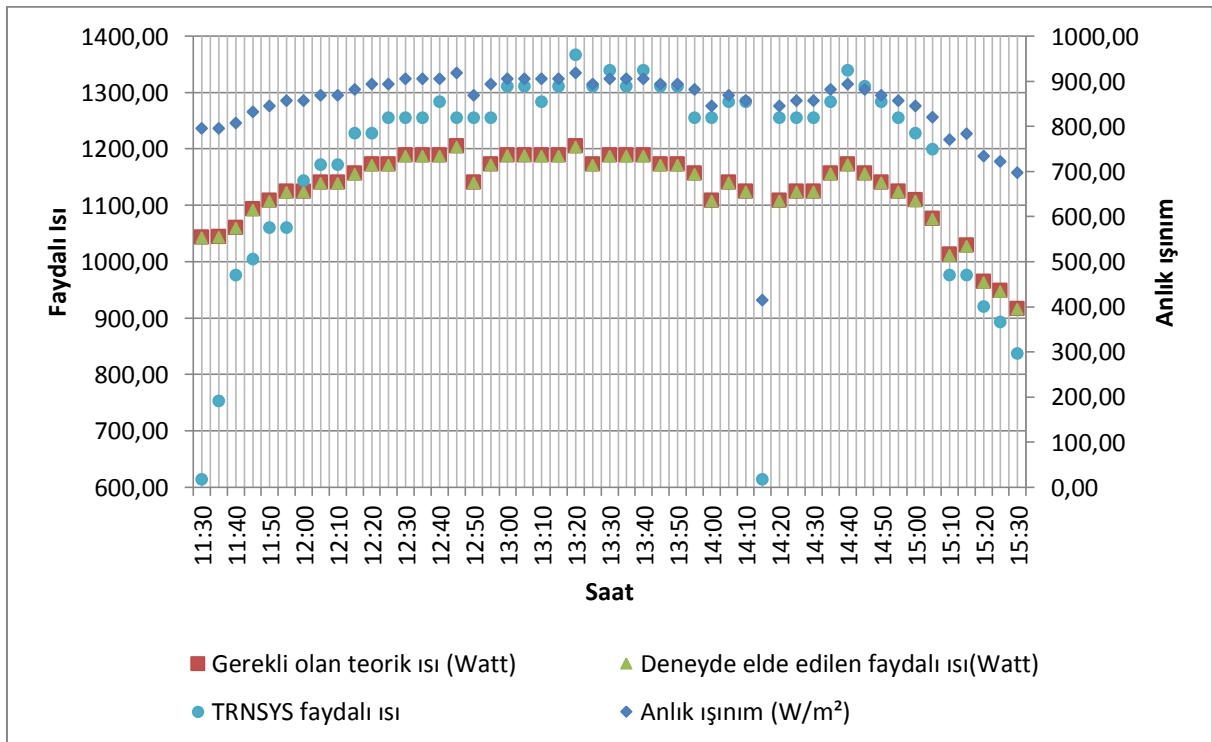
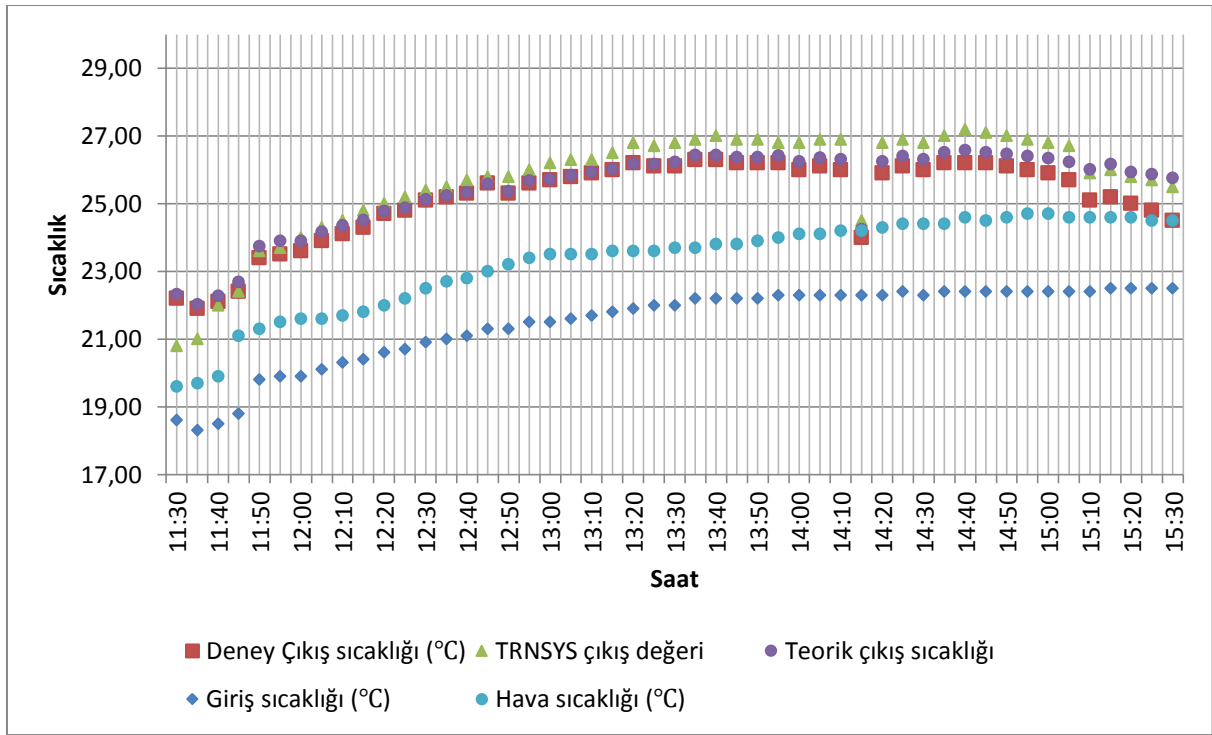
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,77 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %3,1'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,67 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı da %8,8'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,7 °C derecedir ve hata oranı %1,9'dur. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 123,26 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %8,6'dır. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,68 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,1'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 127,65 W hata oranı da %8,3'dür. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 124,67'dir ve bu değerlerin hata oranı da %8,7'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,14 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,3'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 126,83 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %8,9'dür. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,17 ve hesaplama hata oranı da %0,3'dir.

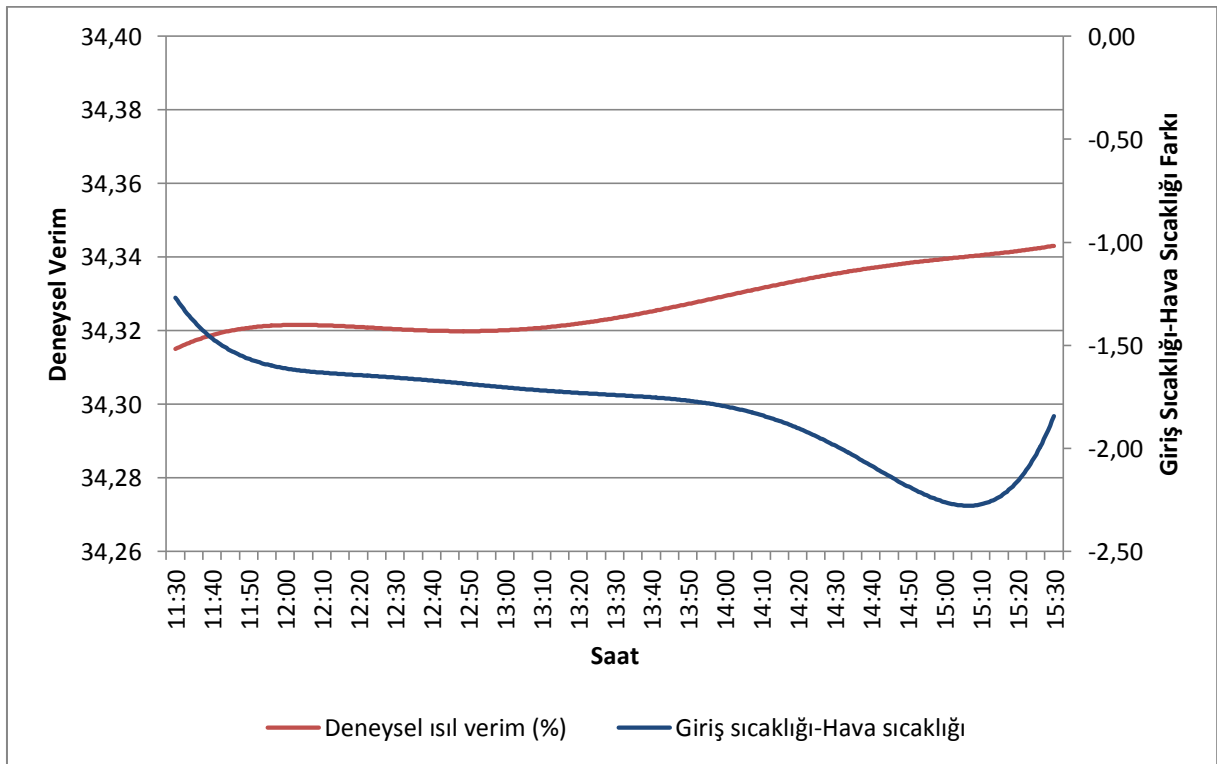
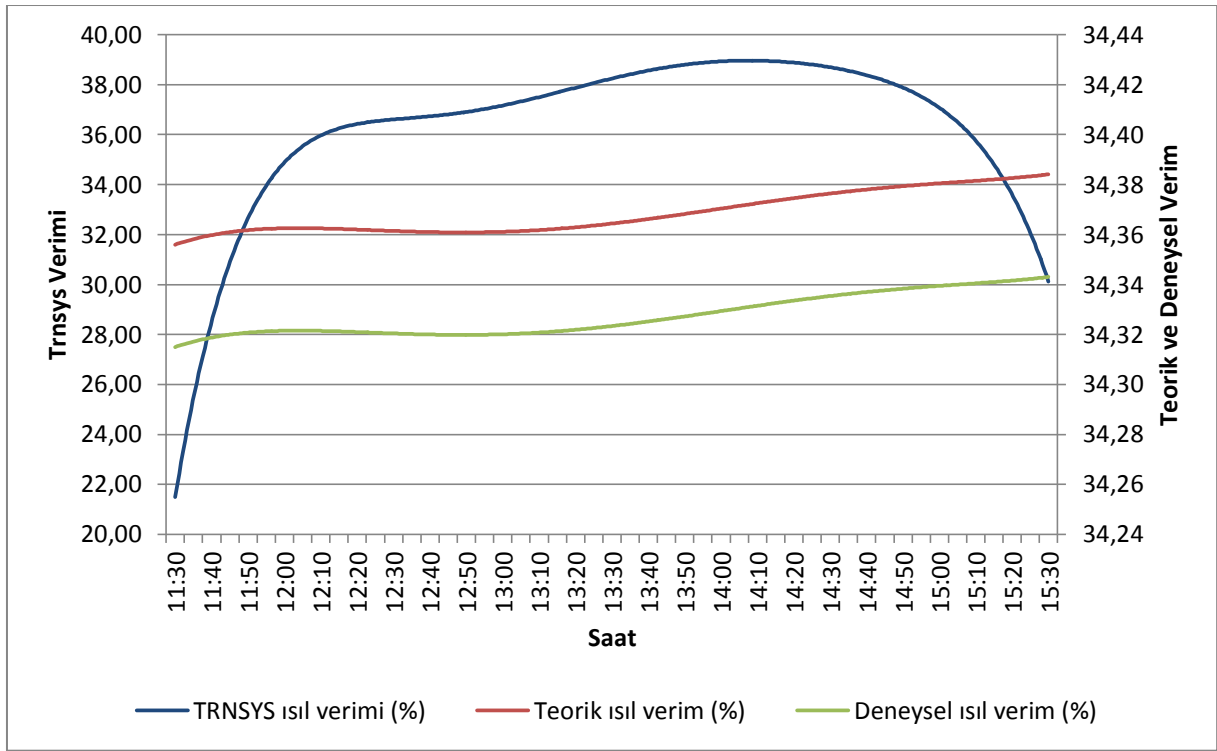




| 7 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |
|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat             | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışınlım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30            | 18,60                | 22,20                      | 20,80               | 22,32                  | 19,60               | -1,00                           | 795,60               | 1043,90                        | 1042,66                               | 3039,19                        | 613,80             | 20,20                          | 34,35                | 34,31                         |
| 11:35            | 18,30                | 21,90                      | 21,00               | 22,02                  | 19,70               | -1,40                           | 795,60               | 1044,25                        | 1043,00                               | 3039,19                        | 753,30             | 24,79                          | 34,36                | 34,32                         |
| 11:40            | 18,50                | 22,10                      | 22,00               | 22,28                  | 19,90               | -1,40                           | 807,90               | 1060,37                        | 1059,11                               | 3086,18                        | 976,50             | 31,64                          | 34,36                | 34,32                         |
| 11:45            | 18,80                | 22,40                      | 22,40               | 22,69                  | 21,10               | -2,30                           | 832,30               | 1093,14                        | 1091,84                               | 3179,39                        | 1004,40            | 31,59                          | 34,38                | 34,34                         |
| 11:50            | 19,80                | 23,40                      | 23,60               | 23,75                  | 21,30               | -1,50                           | 844,60               | 1108,57                        | 1107,25                               | 3226,37                        | 1060,20            | 32,86                          | 34,36                | 34,32                         |
| 11:55            | 19,90                | 23,50                      | 23,70               | 23,91                  | 21,50               | -1,60                           | 856,80               | 1124,66                        | 1123,31                               | 3272,98                        | 1060,20            | 32,39                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:00            | 19,90                | 23,60                      | 24,00               | 23,91                  | 21,60               | -1,70                           | 856,80               | 1124,74                        | 1123,40                               | 3272,98                        | 1143,90            | 34,95                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:05            | 20,10                | 23,90                      | 24,30               | 24,16                  | 21,60               | -1,50                           | 869,00               | 1140,56                        | 1139,20                               | 3319,58                        | 1171,80            | 35,30                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:10            | 20,30                | 24,10                      | 24,50               | 24,36                  | 21,70               | -1,40                           | 869,00               | 1140,48                        | 1139,12                               | 3319,58                        | 1171,80            | 35,30                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:15            | 20,40                | 24,30                      | 24,80               | 24,52                  | 21,80               | -1,40                           | 881,30               | 1156,60                        | 1155,22                               | 3366,57                        | 1227,60            | 36,46                          | 34,36                | 34,31                         |
| 12:20            | 20,60                | 24,70                      | 25,00               | 24,78                  | 22,00               | -1,40                           | 893,60               | 1172,73                        | 1171,33                               | 3413,55                        | 1227,60            | 35,96                          | 34,36                | 34,31                         |
| 12:25            | 20,70                | 24,80                      | 25,20               | 24,88                  | 22,20               | -1,50                           | 893,60               | 1172,81                        | 1171,41                               | 3413,55                        | 1255,50            | 36,78                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:30            | 20,90                | 25,10                      | 25,40               | 25,14                  | 22,50               | -1,60                           | 905,80               | 1188,89                        | 1187,48                               | 3460,16                        | 1255,50            | 36,28                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:35            | 21,00                | 25,20                      | 25,50               | 25,24                  | 22,70               | -1,70                           | 905,80               | 1188,98                        | 1187,56                               | 3460,16                        | 1255,50            | 36,28                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:40            | 21,10                | 25,30                      | 25,70               | 25,34                  | 22,80               | -1,70                           | 905,80               | 1188,98                        | 1187,56                               | 3460,16                        | 1283,40            | 37,09                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:45            | 21,30                | 25,60                      | 25,80               | 25,59                  | 23,00               | -1,70                           | 918,00               | 1204,98                        | 1203,54                               | 3506,76                        | 1255,50            | 35,80                          | 34,36                | 34,32                         |
| 12:50            | 21,30                | 25,30                      | 25,80               | 25,36                  | 23,20               | -1,90                           | 869,00               | 1140,91                        | 1139,55                               | 3319,58                        | 1255,50            | 37,82                          | 34,37                | 34,33                         |
| 12:55            | 21,50                | 25,60                      | 26,00               | 25,68                  | 23,40               | -1,90                           | 893,60               | 1173,16                        | 1171,76                               | 3413,55                        | 1255,50            | 36,78                          | 34,37                | 34,33                         |
| 13:00            | 21,50                | 25,70                      | 26,20               | 25,74                  | 23,50               | -2,00                           | 905,80               | 1189,24                        | 1187,82                               | 3460,16                        | 1311,30            | 37,90                          | 34,37                | 34,33                         |
| 13:05            | 21,60                | 25,80                      | 26,30               | 25,84                  | 23,50               | -1,90                           | 905,80               | 1189,16                        | 1187,74                               | 3460,16                        | 1311,30            | 37,90                          | 34,37                | 34,33                         |
| 13:10            | 21,70                | 25,90                      | 26,30               | 25,94                  | 23,50               | -1,80                           | 905,80               | 1189,07                        | 1187,65                               | 3460,16                        | 1283,40            | 37,09                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:15            | 21,80                | 26,00                      | 26,50               | 26,04                  | 23,60               | -1,80                           | 905,80               | 1189,07                        | 1187,65                               | 3460,16                        | 1311,30            | 37,90                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:20            | 21,90                | 26,20                      | 26,80               | 26,19                  | 23,60               | -1,70                           | 918,00               | 1204,98                        | 1203,54                               | 3506,76                        | 1367,10            | 38,98                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:25            | 22,00                | 26,10                      | 26,70               | 26,18                  | 23,60               | -1,60                           | 893,60               | 1172,90                        | 1171,50                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:30            | 22,00                | 26,10                      | 26,80               | 26,24                  | 23,70               | -1,70                           | 905,80               | 1188,98                        | 1187,56                               | 3460,16                        | 1339,20            | 38,70                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:35            | 22,20                | 26,30                      | 26,90               | 26,43                  | 23,70               | -1,50                           | 905,80               | 1188,81                        | 1187,39                               | 3460,16                        | 1311,30            | 37,90                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:40            | 22,20                | 26,30                      | 27,00               | 26,44                  | 23,80               | -1,60                           | 905,80               | 1188,89                        | 1187,48                               | 3460,16                        | 1339,20            | 38,70                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:45            | 22,20                | 26,20                      | 26,90               | 26,38                  | 23,80               | -1,60                           | 893,60               | 1172,90                        | 1171,50                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:50            | 22,20                | 26,20                      | 26,90               | 26,38                  | 23,90               | -1,70                           | 893,60               | 1172,99                        | 1171,59                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,36                | 34,32                         |
| 13:55            | 22,30                | 26,20                      | 26,80               | 26,42                  | 24,00               | -1,70                           | 881,30               | 1156,86                        | 1155,48                               | 3366,57                        | 1255,50            | 37,29                          | 34,36                | 34,32                         |
| 14:00            | 22,30                | 26,00                      | 26,80               | 26,25                  | 24,10               | -1,80                           | 844,60               | 1108,83                        | 1107,51                               | 3226,37                        | 1255,50            | 38,91                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:05            | 22,30                | 26,10                      | 26,90               | 26,36                  | 24,10               | -1,80                           | 869,00               | 1140,82                        | 1139,46                               | 3319,58                        | 1283,40            | 38,66                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:10            | 22,30                | 26,00                      | 26,90               | 26,31                  | 24,20               | -1,90                           | 856,80               | 1124,92                        | 1123,57                               | 3272,98                        | 1283,40            | 39,21                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:15            | 22,30                | 24,00                      | 24,50               | 24,24                  | 24,20               | -1,90                           | 415,20               | 545,98                         | 545,32                                | 1586,06                        | 613,80             | 38,70                          | 34,42                | 34,38                         |
| 14:20            | 22,30                | 25,90                      | 26,80               | 26,25                  | 24,30               | -2,00                           | 844,60               | 1109,01                        | 1107,68                               | 3226,37                        | 1255,50            | 38,91                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:25            | 22,40                | 26,10                      | 26,90               | 26,41                  | 24,40               | -2,00                           | 856,80               | 1125,00                        | 1123,66                               | 3272,98                        | 1255,50            | 38,36                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:30            | 22,30                | 26,00                      | 26,80               | 26,31                  | 24,40               | -2,10                           | 856,80               | 1125,09                        | 1123,75                               | 3272,98                        | 1255,50            | 38,36                          | 34,38                | 34,33                         |
| 14:35            | 22,40                | 26,20                      | 27,00               | 26,52                  | 24,40               | -2,00                           | 881,30               | 1157,12                        | 1155,74                               | 3366,57                        | 1283,40            | 38,12                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:40            | 22,40                | 26,20                      | 27,20               | 26,58                  | 24,60               | -2,20                           | 893,60               | 1173,42                        | 1172,02                               | 3413,55                        | 1339,20            | 39,23                          | 34,38                | 34,33                         |
| 14:45            | 22,40                | 26,20                      | 27,10               | 26,52                  | 24,50               | -2,10                           | 881,30               | 1157,21                        | 1155,83                               | 3366,57                        | 1311,30            | 38,95                          | 34,37                | 34,33                         |
| 14:50            | 22,40                | 26,10                      | 27,00               | 26,47                  | 24,60               | -2,20                           | 869,00               | 1141,17                        | 1139,81                               | 3319,58                        | 1283,40            | 38,66                          | 34,38                | 34,34                         |
| 14:55            | 22,40                | 26,00                      | 26,90               | 26,41                  | 24,70               | -2,30                           | 856,80               | 1125,26                        | 1123,92                               | 3272,98                        | 1255,50            | 38,36                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:00            | 22,40                | 25,90                      | 26,80               | 26,35                  | 24,70               | -2,30                           | 844,60               | 1109,27                        | 1107,94                               | 3226,37                        | 1227,60            | 38,05                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:05            | 22,40                | 25,70                      | 26,70               | 26,24                  | 24,60               | -2,20                           | 820,00               | 1076,93                        | 1075,65                               | 3132,40                        | 1199,70            | 38,30                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:10            | 22,40                | 25,10                      | 25,90               | 26,01                  | 24,60               | -2,20                           | 771,20               | 1012,95                        | 1011,75                               | 2945,98                        | 976,50             | 33,15                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:15            | 22,50                | 25,20                      | 26,00               | 26,16                  | 24,60               | -2,10                           | 783,40               | 1028,86                        | 1027,63                               | 2992,59                        | 976,50             | 32,63                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:20            | 22,50                | 25,00                      | 25,80               | 25,94                  | 24,60               | -2,10                           | 734,40               | 964,62                         | 963,47                                | 2805,41                        | 920,70             | 32,82                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:25            | 22,50                | 24,80                      | 25,70               | 25,88                  | 24,50               | -2,00                           | 722,20               | 948,54                         | 947,41                                | 2758,80                        | 892,80             | 32,36                          | 34,38                | 34,34                         |
| 15:30            | 22,50                | 24,50                      | 25,50               | 25,76                  | 24,50               | -2,00                           | 697,70               | 916,42                         | 915,33                                | 2665,21                        | 837,00             | 31,40                          | 34,38                | 34,34                         |

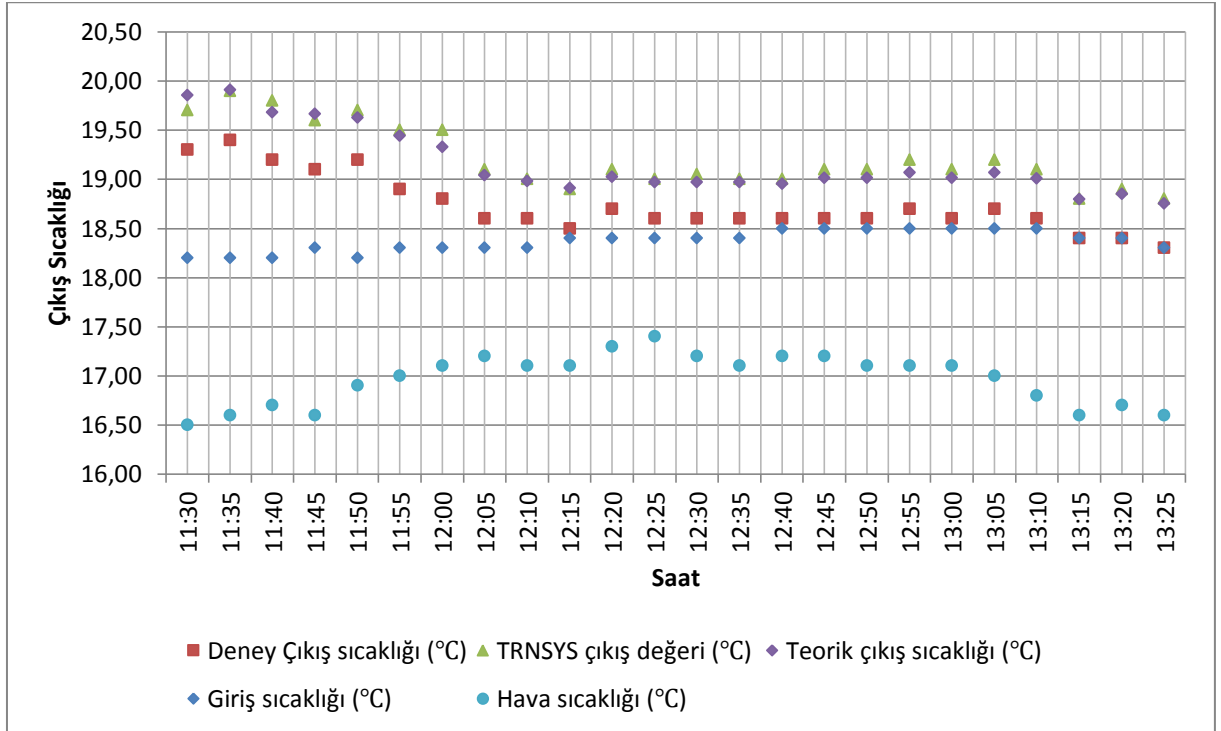
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 1,18 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %4,5'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 1,21 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %3,9'dur. Anlık ışınlım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 80,97 W/m²'dir ve Anlık ışınlım değerlerinde hata oranı da %5,9'dur. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 1,34°C derecedir ve hata oranı %3,5'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 105,73 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %5,8'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 1,27 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %3,7'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 110,12 W hata oranı da %5,6'dır. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 107,56'dır ve bu değerlerin hata oranı da %5,8'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,11 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,2'dir. Gerekli olan teorik ısı değerlerinin standart sapması 106,98 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,3'dür. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,14 ve hesaplama hata oranı da %0,19'dir.

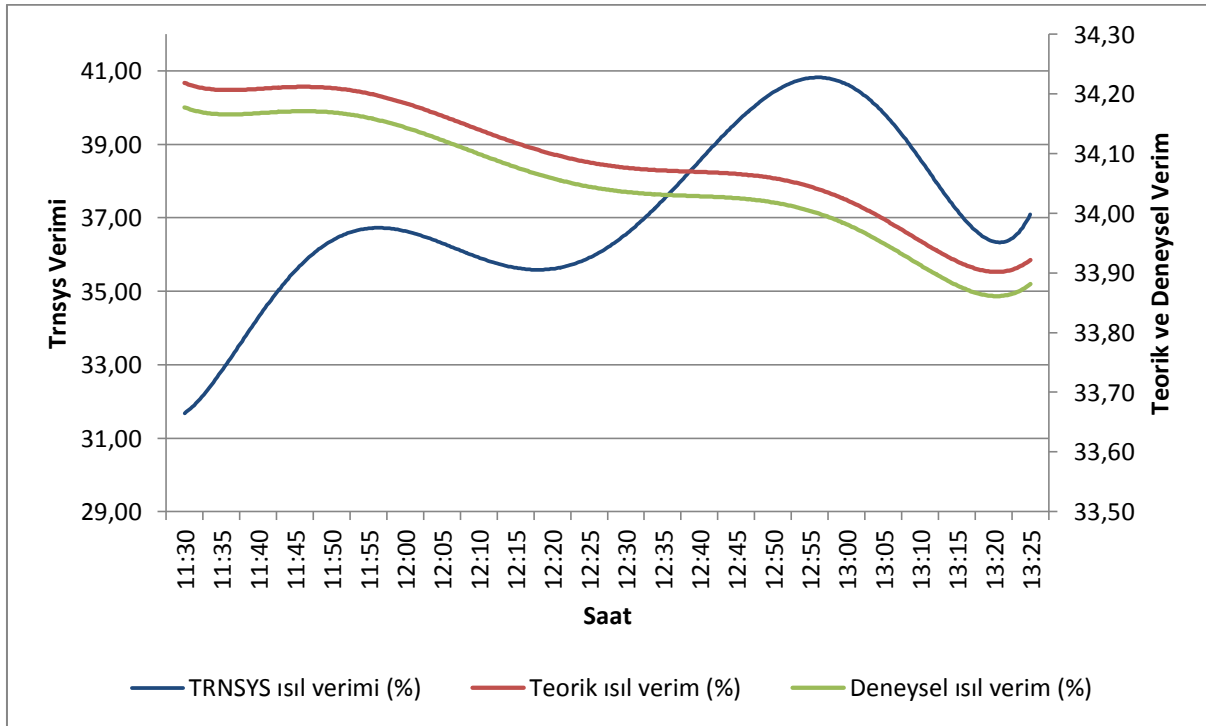
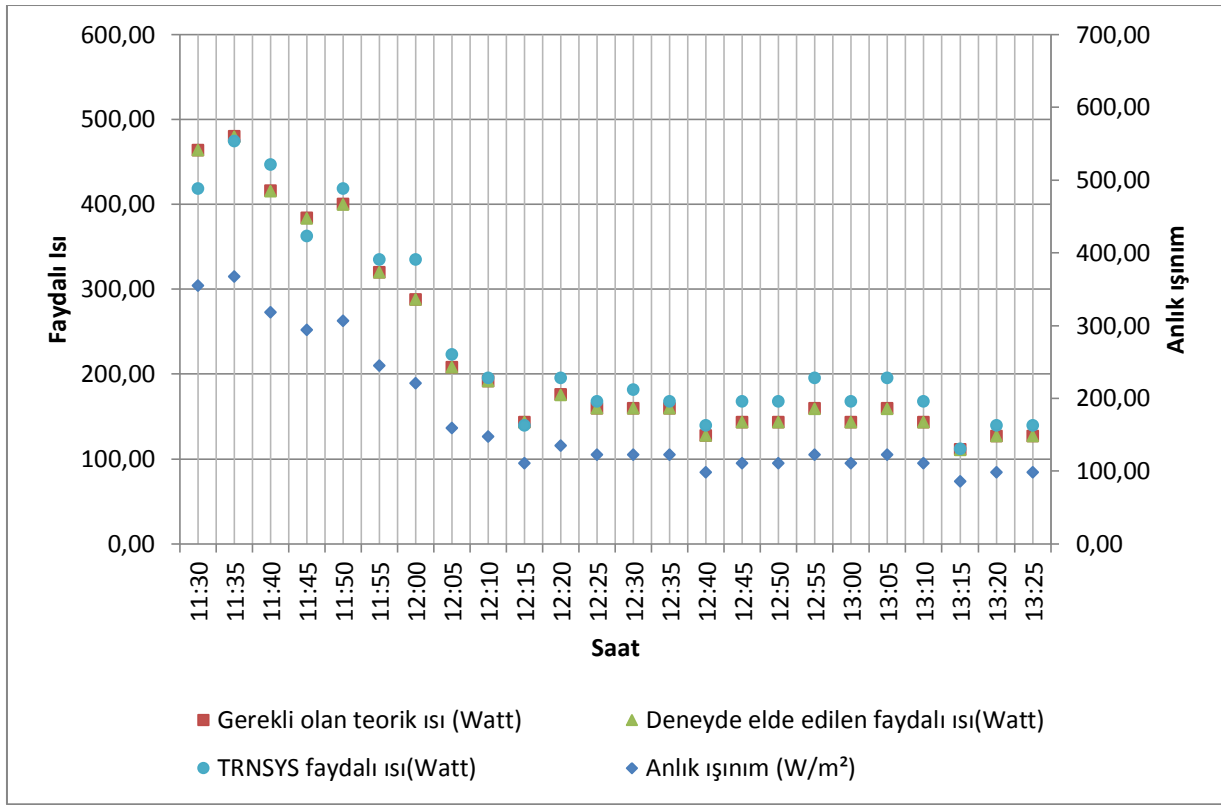


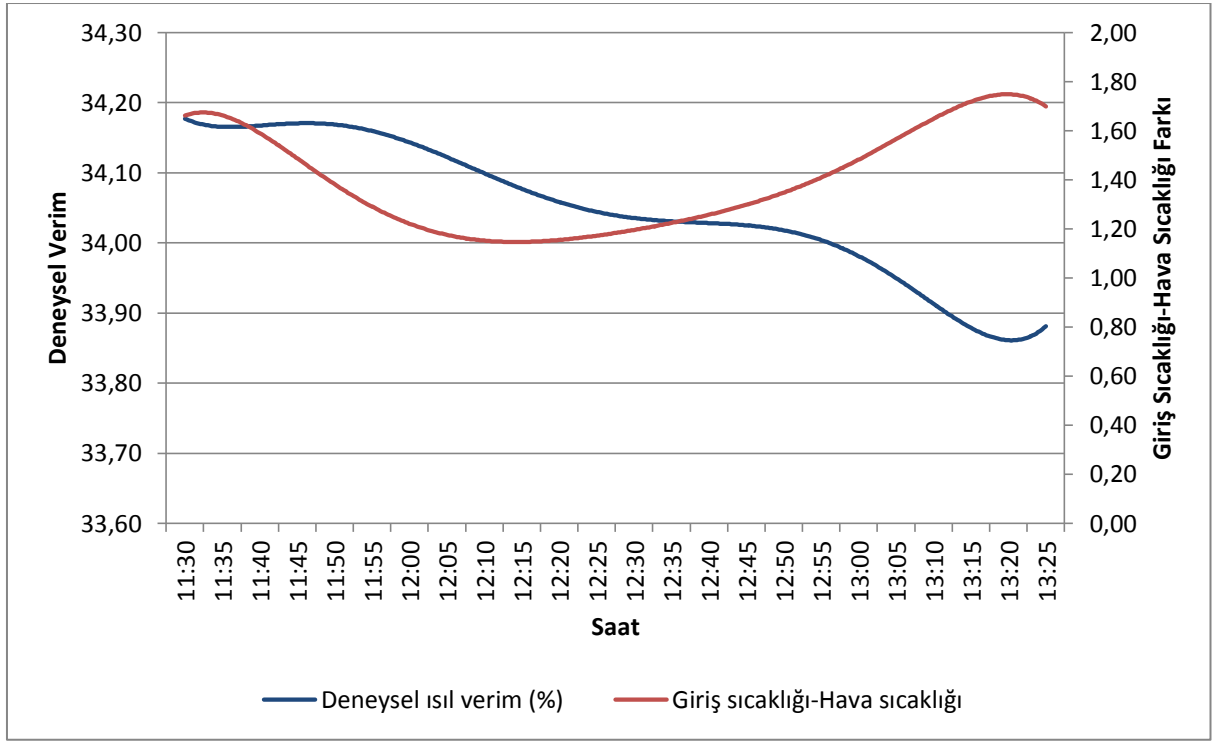


| 9 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                          |                             |                     |                                |                      |                                |                                       |                                |                          |                                |                      |                                     |
|------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| saat             | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri (°C) | Teorik çıkış sıcaklığı (°C) | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı-Hava sıcaklığı | Anlık ışınlım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı(Watt) | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Kollektörün deneysel ısı verimi (%) |
| 11:30            | 18,20                | 19,30                      | 19,70                    | 19,85                       | 16,50               | 1,70                           | 355,00               | 463,93                         | 463,38                                | 1356,10                        | 418,50                   | 30,86                          | 34,21                | 34,17                               |
| 11:35            | 18,20                | 19,40                      | 19,90                    | 19,91                       | 16,60               | 1,60                           | 367,20               | 480,01                         | 479,44                                | 1402,70                        | 474,30                   | 33,81                          | 34,22                | 34,18                               |
| 11:40            | 18,20                | 19,20                      | 19,80                    | 19,68                       | 16,70               | 1,50                           | 318,30               | 415,99                         | 415,50                                | 1215,91                        | 446,40                   | 36,71                          | 34,21                | 34,17                               |
| 11:45            | 18,30                | 19,10                      | 19,60                    | 19,67                       | 16,60               | 1,70                           | 293,80               | 383,70                         | 383,24                                | 1122,32                        | 362,70                   | 32,32                          | 34,19                | 34,15                               |
| 11:50            | 18,20                | 19,20                      | 19,70                    | 19,63                       | 16,90               | 1,30                           | 306,00               | 400,04                         | 399,56                                | 1168,92                        | 418,50                   | 35,80                          | 34,22                | 34,18                               |
| 11:55            | 18,30                | 18,90                      | 19,50                    | 19,44                       | 17,00               | 1,30                           | 244,80               | 319,81                         | 319,43                                | 935,14                         | 334,80                   | 35,80                          | 34,20                | 34,16                               |
| 12:00            | 18,30                | 18,80                      | 19,50                    | 19,33                       | 17,10               | 1,20                           | 220,40               | 287,91                         | 287,56                                | 841,93                         | 334,80                   | 39,77                          | 34,20                | 34,16                               |
| 12:05            | 18,30                | 18,60                      | 19,10                    | 19,04                       | 17,20               | 1,10                           | 159,20               | 207,76                         | 207,51                                | 608,14                         | 223,20                   | 36,70                          | 34,16                | 34,12                               |
| 12:10            | 18,30                | 18,60                      | 19,00                    | 18,98                       | 17,10               | 1,20                           | 146,90               | 191,55                         | 191,32                                | 561,16                         | 195,30                   | 34,80                          | 34,13                | 34,09                               |
| 12:15            | 18,40                | 18,50                      | 18,90                    | 18,91                       | 17,10               | 1,30                           | 110,20               | 143,35                         | 143,17                                | 420,96                         | 139,50                   | 33,14                          | 34,05                | 34,01                               |
| 12:20            | 18,40                | 18,70                      | 19,10                    | 19,03                       | 17,30               | 1,10                           | 134,70               | 175,64                         | 175,43                                | 514,55                         | 195,30                   | 37,96                          | 34,13                | 34,09                               |
| 12:25            | 18,40                | 18,60                      | 19,00                    | 18,97                       | 17,40               | 1,00                           | 122,40               | 159,60                         | 159,41                                | 467,57                         | 167,40                   | 35,80                          | 34,13                | 34,09                               |
| 12:30            | 18,40                | 18,60                      | 19,05                    | 18,97                       | 17,20               | 1,20                           | 122,40               | 159,43                         | 159,24                                | 467,57                         | 181,35                   | 38,79                          | 34,10                | 34,06                               |
| 12:35            | 18,40                | 18,60                      | 19,00                    | 18,97                       | 17,10               | 1,30                           | 122,40               | 159,34                         | 159,15                                | 467,57                         | 167,40                   | 35,80                          | 34,08                | 34,04                               |
| 12:40            | 18,50                | 18,60                      | 19,00                    | 18,95                       | 17,20               | 1,30                           | 98,00                | 127,35                         | 127,20                                | 374,36                         | 139,50                   | 37,26                          | 34,02                | 33,98                               |
| 12:45            | 18,50                | 18,60                      | 19,10                    | 19,01                       | 17,20               | 1,30                           | 110,20               | 143,35                         | 143,17                                | 420,96                         | 167,40                   | 39,77                          | 34,05                | 34,01                               |
| 12:50            | 18,50                | 18,60                      | 19,10                    | 19,01                       | 17,10               | 1,40                           | 110,20               | 143,26                         | 143,09                                | 420,96                         | 167,40                   | 39,77                          | 34,03                | 33,99                               |
| 12:55            | 18,50                | 18,70                      | 19,20                    | 19,07                       | 17,10               | 1,40                           | 122,40               | 159,25                         | 159,06                                | 467,57                         | 195,30                   | 41,77                          | 34,06                | 34,02                               |
| 13:00            | 18,50                | 18,60                      | 19,10                    | 19,01                       | 17,10               | 1,40                           | 110,20               | 143,26                         | 143,09                                | 420,96                         | 167,40                   | 39,77                          | 34,03                | 33,99                               |
| 13:05            | 18,50                | 18,70                      | 19,20                    | 19,07                       | 17,00               | 1,50                           | 122,40               | 159,17                         | 158,98                                | 467,57                         | 195,30                   | 41,77                          | 34,04                | 34,00                               |
| 13:10            | 18,50                | 18,60                      | 19,10                    | 19,01                       | 16,80               | 1,70                           | 110,20               | 143,00                         | 142,83                                | 420,96                         | 167,40                   | 39,77                          | 33,97                | 33,93                               |
| 13:15            | 18,40                | 18,40                      | 18,80                    | 18,79                       | 16,60               | 1,80                           | 85,70                | 110,79                         | 110,66                                | 327,37                         | 111,60                   | 34,09                          | 33,84                | 33,80                               |
| 13:20            | 18,40                | 18,40                      | 18,90                    | 18,85                       | 16,70               | 1,70                           | 98,00                | 127,00                         | 126,85                                | 374,36                         | 139,50                   | 37,26                          | 33,93                | 33,89                               |
| 13:25            | 18,30                | 18,30                      | 18,80                    | 18,75                       | 16,60               | 1,70                           | 98,00                | 127,00                         | 126,85                                | 374,36                         | 139,50                   | 37,26                          | 33,93                | 33,89                               |

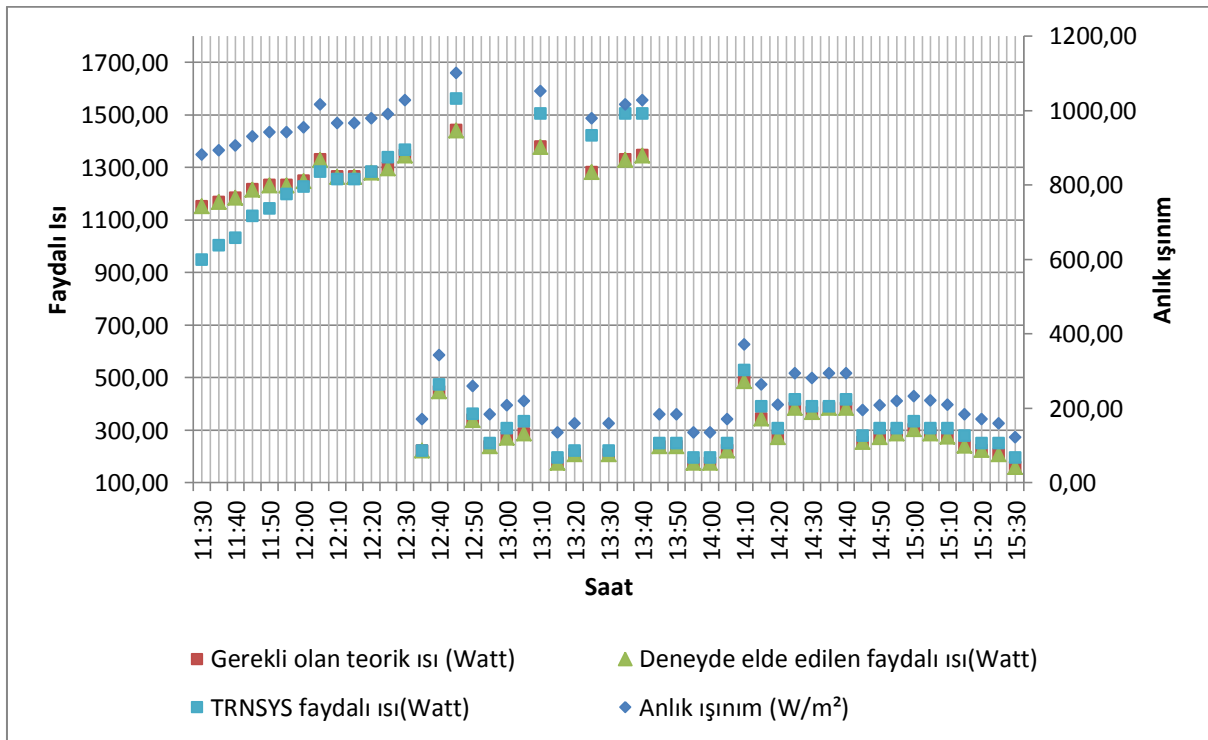
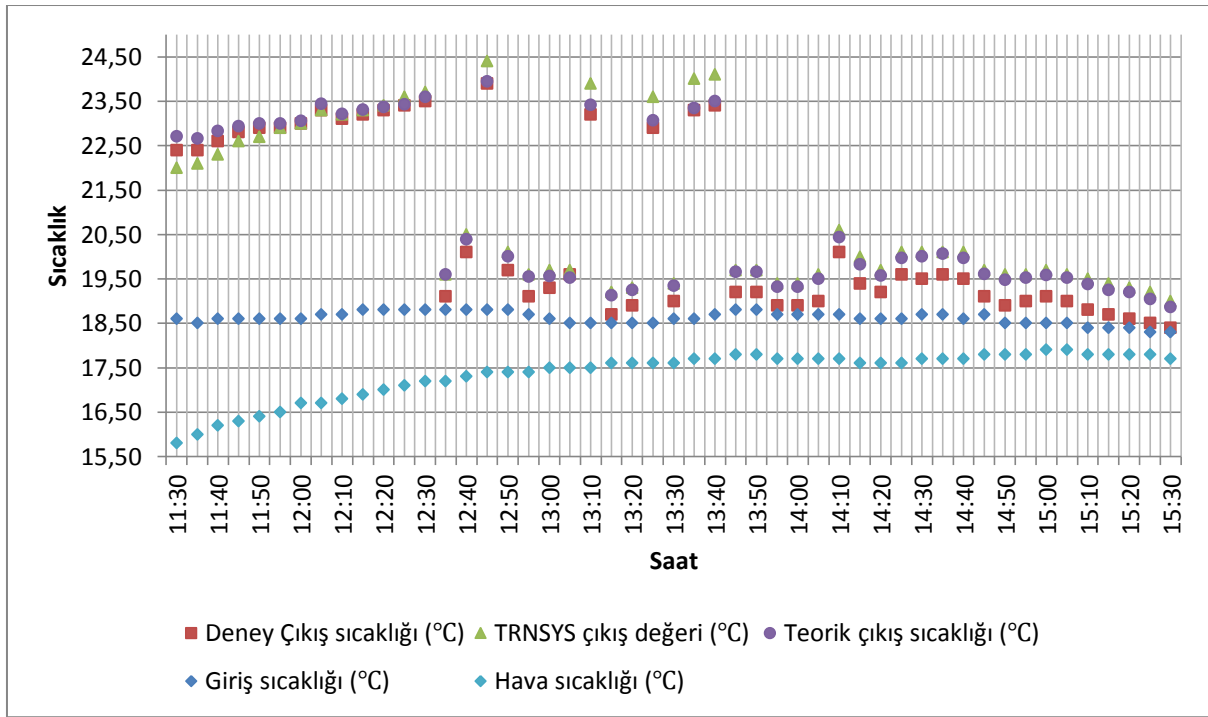
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,15 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %0,7'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,36 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %1,4'dür. Anlık ışınlım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 89,17 W/m²'dir ve Anlık ışınlım değerlerinde hata oranı da %4,7'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,39°C derecedir ve hata oranı %1,5'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 116,54 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,3'dür. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,37 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %1,4'dür. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 120,12 W hata oranı da %4,6'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 117,98'dir ve bu değerlerin hata oranı da %4,7'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,69 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %1,7'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 117,75 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %4,2'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,7 ve hesaplama hata oranı da %1,5'dir.

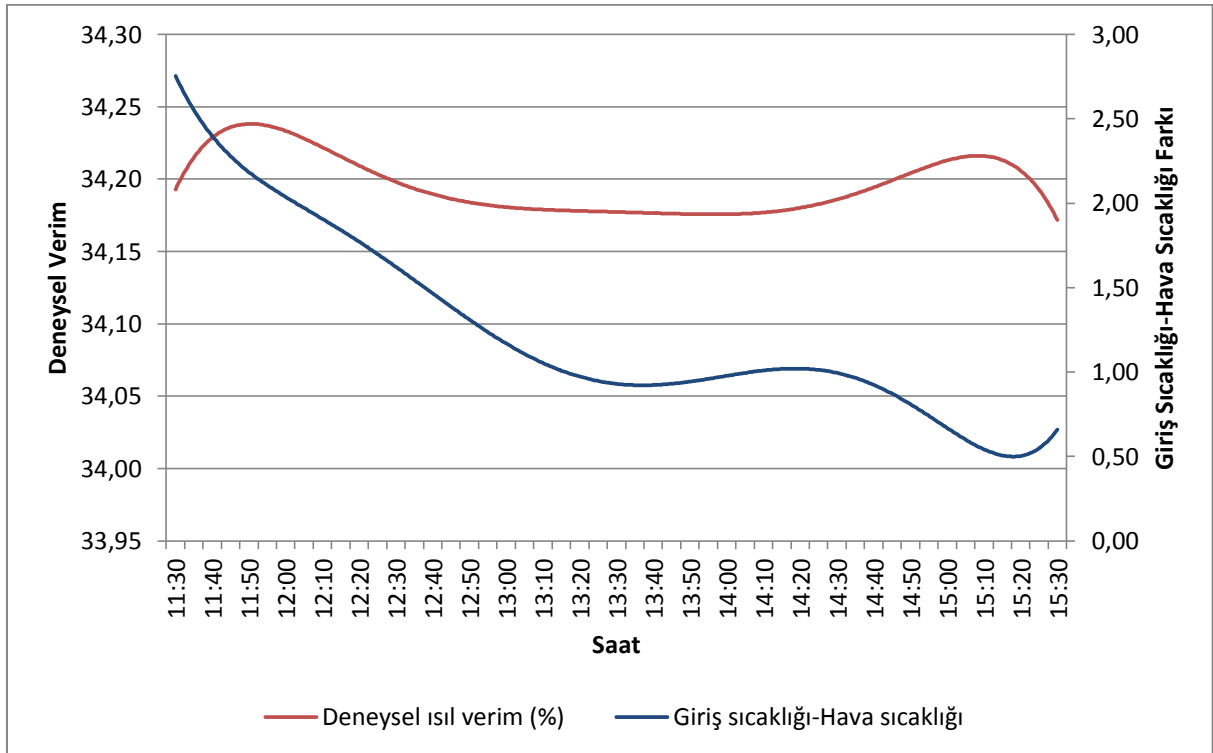
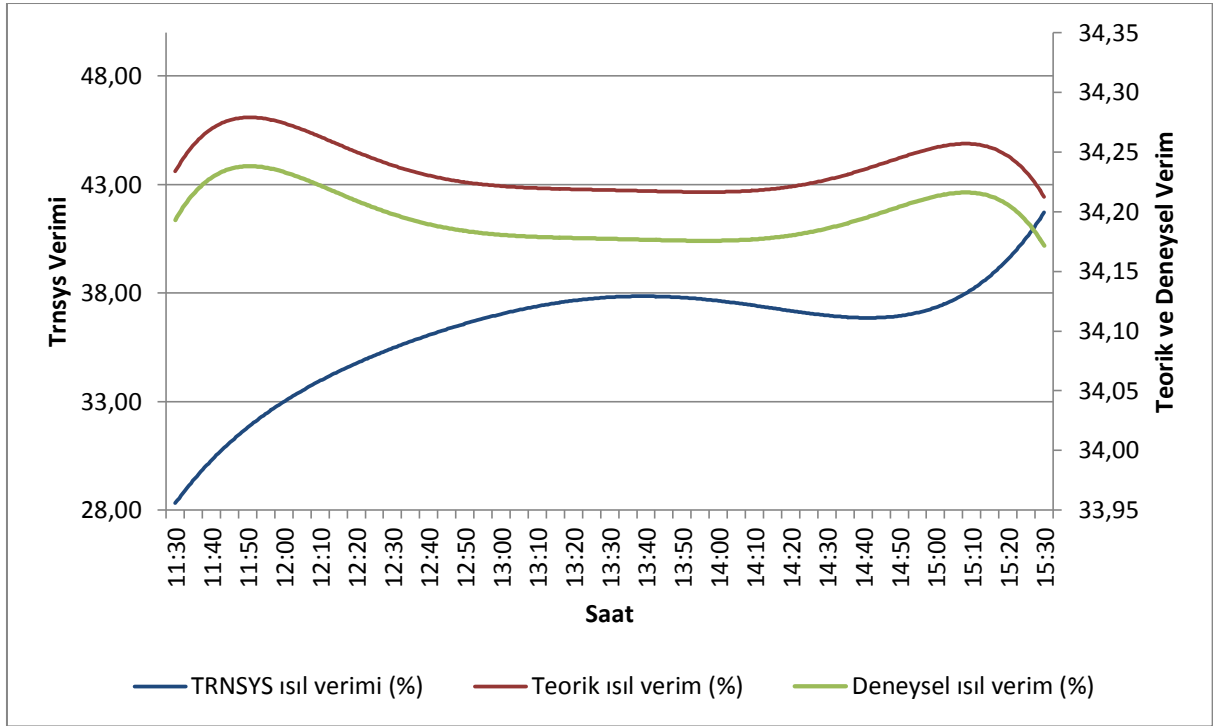






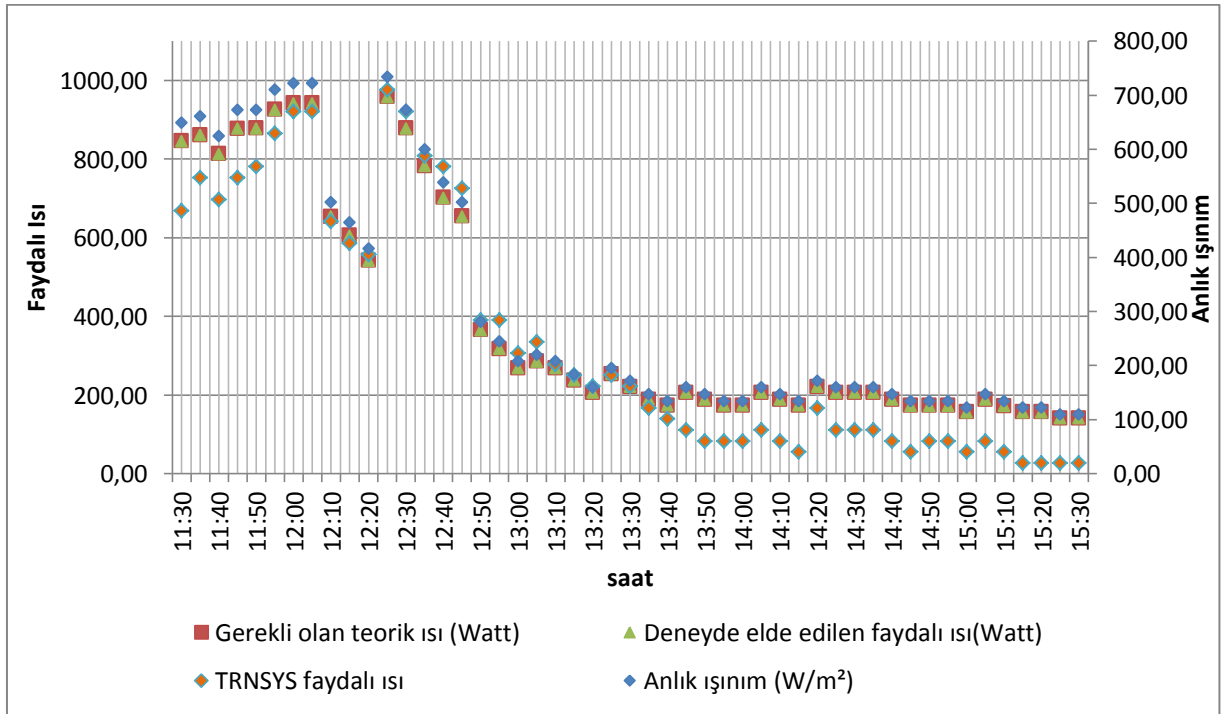
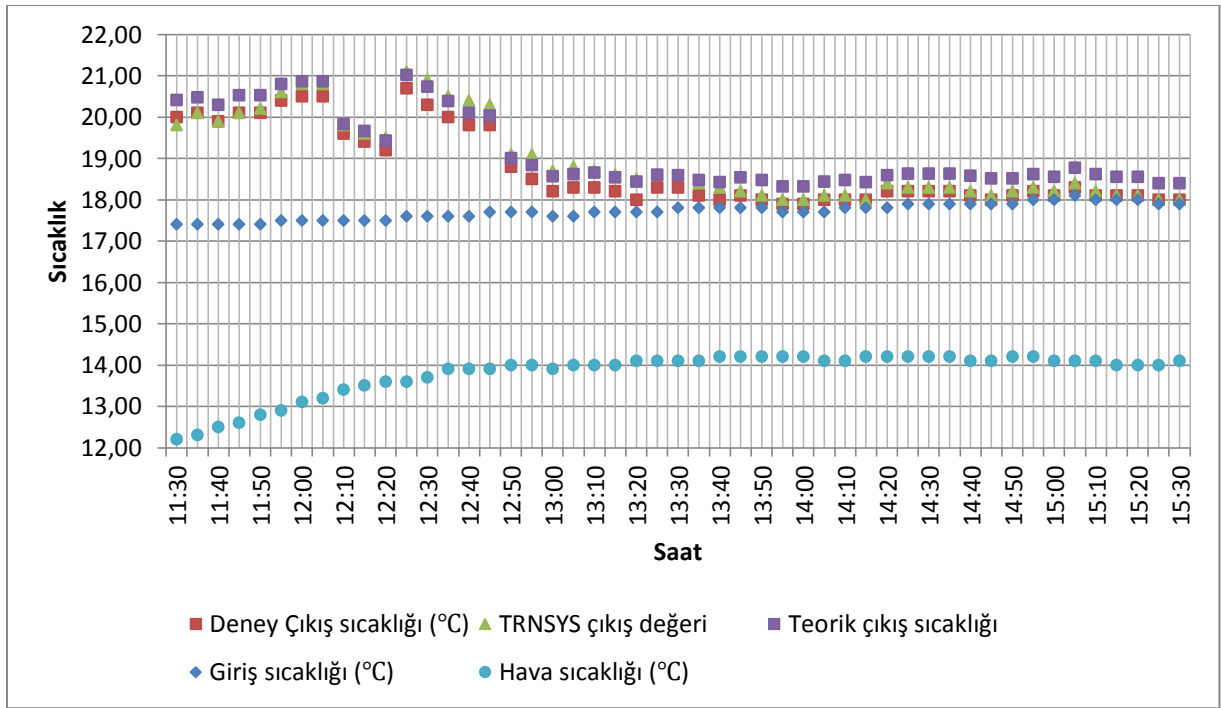
| 13 EKİM DEĞERLERİ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                            |                          |                             |                     |                                |                      |                                |                                       |                                |                          |                                |                      |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| saat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri (°C) | Teorik çıkış sıcaklığı (°C) | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı-Hava sıcaklığı | Anlık ışıınım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı(Watt) | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Kollektörün deneysel ısı verimi (%) |
| 11:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 22,40                      | 22,00                    | 22,71                       | 15,80               | 2,80                           | 881,30               | 1152,96                        | 1151,58                               | 3366,57                        | 948,60                   | 28,18                          | 34,25                | 34,21                               |
| 11:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 22,40                      | 22,10                    | 22,66                       | 16,00               | 2,50                           | 893,50               | 1169,22                        | 1167,82                               | 3413,17                        | 1004,40                  | 29,43                          | 34,26                | 34,22                               |
| 11:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 22,60                      | 22,30                    | 22,82                       | 16,20               | 2,40                           | 905,80               | 1185,43                        | 1184,01                               | 3460,16                        | 1032,30                  | 29,83                          | 34,26                | 34,22                               |
| 11:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 22,80                      | 22,60                    | 22,94                       | 16,30               | 2,30                           | 930,20               | 1217,50                        | 1216,05                               | 3553,36                        | 1116,00                  | 31,41                          | 34,26                | 34,22                               |
| 11:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 22,90                      | 22,70                    | 22,99                       | 16,40               | 2,20                           | 942,50               | 1233,71                        | 1232,24                               | 3600,35                        | 1143,90                  | 31,77                          | 34,27                | 34,23                               |
| 11:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 22,90                      | 22,90                    | 22,99                       | 16,50               | 2,10                           | 942,50               | 1233,80                        | 1232,33                               | 3600,35                        | 1199,70                  | 33,32                          | 34,27                | 34,23                               |
| 12:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 23,00                      | 23,00                    | 23,05                       | 16,70               | 1,90                           | 954,80               | 1250,10                        | 1248,61                               | 3647,34                        | 1227,60                  | 33,66                          | 34,27                | 34,23                               |
| 12:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 23,30                      | 23,30                    | 23,44                       | 16,70               | 2,00                           | 1016,00              | 1330,25                        | 1328,66                               | 3881,12                        | 1283,40                  | 33,07                          | 34,27                | 34,23                               |
| 12:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 23,10                      | 23,20                    | 23,21                       | 16,80               | 1,90                           | 967,00               | 1266,09                        | 1264,58                               | 3693,94                        | 1255,50                  | 33,99                          | 34,27                | 34,23                               |
| 12:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 23,20                      | 23,30                    | 23,31                       | 16,90               | 1,90                           | 967,00               | 1266,09                        | 1264,58                               | 3693,94                        | 1255,50                  | 33,99                          | 34,27                | 34,23                               |
| 12:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 23,30                      | 23,40                    | 23,37                       | 17,00               | 1,80                           | 979,20               | 1282,18                        | 1280,64                               | 3740,54                        | 1283,40                  | 34,31                          | 34,28                | 34,24                               |
| 12:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 23,40                      | 23,60                    | 23,43                       | 17,10               | 1,70                           | 991,50               | 1298,39                        | 1296,84                               | 3787,53                        | 1339,20                  | 35,36                          | 34,28                | 34,24                               |
| 12:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 23,50                      | 23,70                    | 23,60                       | 17,20               | 1,60                           | 1028,20              | 1346,59                        | 1344,98                               | 3927,72                        | 1367,10                  | 34,81                          | 34,28                | 34,24                               |
| 12:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 19,10                      | 19,60                    | 19,60                       | 17,20               | 1,60                           | 171,40               | 223,32                         | 223,05                                | 654,75                         | 223,20                   | 34,09                          | 34,11                | 34,07                               |
| 12:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 20,10                      | 20,50                    | 20,40                       | 17,30               | 1,50                           | 342,70               | 447,98                         | 447,45                                | 1309,11                        | 474,30                   | 36,23                          | 34,22                | 34,18                               |
| 12:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 23,90                      | 24,40                    | 23,94                       | 17,40               | 1,40                           | 1101,60              | 1442,99                        | 1441,27                               | 4208,11                        | 1562,40                  | 37,13                          | 34,29                | 34,25                               |
| 12:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 19,70                      | 20,10                    | 20,01                       | 17,40               | 1,40                           | 260,00               | 339,65                         | 339,24                                | 993,20                         | 362,70                   | 36,52                          | 34,20                | 34,16                               |
| 12:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 19,10                      | 19,60                    | 19,55                       | 17,40               | 1,30                           | 183,60               | 239,57                         | 239,29                                | 701,35                         | 251,10                   | 35,80                          | 34,16                | 34,12                               |
| 13:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 19,30                      | 19,70                    | 19,57                       | 17,50               | 1,10                           | 208,00               | 271,74                         | 271,41                                | 794,56                         | 306,90                   | 38,63                          | 34,20                | 34,16                               |
| 13:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 19,60                      | 19,70                    | 19,53                       | 17,50               | 1,00                           | 220,40               | 288,08                         | 287,73                                | 841,93                         | 334,80                   | 39,77                          | 34,22                | 34,18                               |
| 13:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 23,20                      | 23,90                    | 23,41                       | 17,50               | 1,00                           | 1052,70              | 1379,23                        | 1377,58                               | 4021,31                        | 1506,60                  | 37,47                          | 34,30                | 34,26                               |
| 13:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 18,70                      | 19,20                    | 19,13                       | 17,60               | 0,90                           | 135,00               | 176,21                         | 176,00                                | 515,70                         | 195,30                   | 37,87                          | 34,17                | 34,13                               |
| 13:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 18,90                      | 19,30                    | 19,24                       | 17,60               | 0,90                           | 160,00               | 208,98                         | 208,73                                | 611,20                         | 223,20                   | 36,52                          | 34,19                | 34,15                               |
| 13:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 22,90                      | 23,60                    | 23,07                       | 17,60               | 0,90                           | 979,20               | 1282,96                        | 1281,42                               | 3740,54                        | 1422,90                  | 38,04                          | 34,30                | 34,26                               |
| 13:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 19,00                      | 19,40                    | 19,34                       | 17,60               | 1,00                           | 160,00               | 208,89                         | 208,64                                | 611,20                         | 223,20                   | 36,52                          | 34,18                | 34,14                               |
| 13:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 23,30                      | 24,00                    | 23,34                       | 17,70               | 0,90                           | 1016,00              | 1331,20                        | 1329,61                               | 3881,12                        | 1506,60                  | 38,82                          | 34,30                | 34,26                               |
| 13:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 23,40                      | 24,10                    | 23,50                       | 17,70               | 1,00                           | 1028,20              | 1347,11                        | 1345,50                               | 3927,72                        | 1506,60                  | 38,36                          | 34,30                | 34,26                               |
| 13:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 19,20                      | 19,70                    | 19,65                       | 17,80               | 1,00                           | 183,60               | 239,83                         | 239,55                                | 701,35                         | 251,10                   | 35,80                          | 34,20                | 34,16                               |
| 13:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,80                | 19,20                      | 19,70                    | 19,65                       | 17,80               | 1,00                           | 183,60               | 239,83                         | 239,55                                | 701,35                         | 251,10                   | 35,80                          | 34,20                | 34,16                               |
| 13:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 18,90                      | 19,40                    | 19,33                       | 17,70               | 1,00                           | 134,70               | 175,73                         | 175,52                                | 514,55                         | 195,30                   | 37,96                          | 34,15                | 34,11                               |
| 14:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 18,90                      | 19,40                    | 19,33                       | 17,70               | 1,00                           | 134,70               | 175,73                         | 175,52                                | 514,55                         | 195,30                   | 37,96                          | 34,15                | 34,11                               |
| 14:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 19,00                      | 19,60                    | 19,50                       | 17,70               | 1,00                           | 171,40               | 223,84                         | 223,57                                | 654,75                         | 251,10                   | 38,35                          | 34,19                | 34,15                               |
| 14:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 20,10                      | 20,60                    | 20,44                       | 17,70               | 1,00                           | 372,40               | 487,35                         | 486,77                                | 1422,57                        | 530,10                   | 37,26                          | 34,26                | 34,22                               |
| 14:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 19,40                      | 20,00                    | 19,83                       | 17,60               | 1,00                           | 263,90               | 345,11                         | 344,70                                | 1008,10                        | 390,60                   | 38,75                          | 34,23                | 34,19                               |
| 14:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 19,20                      | 19,70                    | 19,58                       | 17,60               | 1,00                           | 210,00               | 274,44                         | 274,12                                | 802,20                         | 306,90                   | 38,26                          | 34,21                | 34,17                               |
| 14:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 19,60                      | 20,10                    | 19,97                       | 17,60               | 1,00                           | 294,00               | 384,57                         | 384,11                                | 1123,08                        | 418,50                   | 37,26                          | 34,24                | 34,20                               |
| 14:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 19,50                      | 20,10                    | 20,01                       | 17,70               | 1,00                           | 281,60               | 368,31                         | 367,87                                | 1075,71                        | 390,60                   | 36,31                          | 34,24                | 34,20                               |
| 14:35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 19,60                      | 20,10                    | 20,07                       | 17,70               | 1,00                           | 294,00               | 384,57                         | 384,11                                | 1123,08                        | 390,60                   | 34,78                          | 34,24                | 34,20                               |
| 14:40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,60                | 19,50                      | 20,10                    | 19,97                       | 17,70               | 0,90                           | 294,00               | 384,66                         | 384,20                                | 1123,08                        | 418,50                   | 37,26                          | 34,25                | 34,21                               |
| 14:45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,70                | 19,10                      | 19,70                    | 19,61                       | 17,80               | 0,90                           | 195,90               | 256,05                         | 255,74                                | 748,34                         | 279,00                   | 37,28                          | 34,22                | 34,17                               |
| 14:50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 18,90                      | 19,60                    | 19,47                       | 17,80               | 0,70                           | 209,00               | 273,39                         | 273,07                                | 798,38                         | 306,90                   | 38,44                          | 34,24                | 34,20                               |
| 14:55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 19,00                      | 19,60                    | 19,53                       | 17,80               | 0,70                           | 220,00               | 287,81                         | 287,47                                | 840,40                         | 306,90                   | 36,52                          | 34,25                | 34,21                               |
| 15:00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 19,10                      | 19,70                    | 19,58                       | 17,90               | 0,60                           | 232,60               | 304,42                         | 304,06                                | 888,53                         | 334,80                   | 37,68                          | 34,26                | 34,22                               |
| 15:05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,50                | 19,00                      | 19,60                    | 19,53                       | 17,90               | 0,60                           | 220,60               | 288,69                         | 288,34                                | 842,69                         | 306,90                   | 36,42                          | 34,26                | 34,22                               |
| 15:10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,40                | 18,80                      | 19,50                    | 19,38                       | 17,80               | 0,60                           | 210,30               | 275,18                         | 274,86                                | 803,35                         | 306,90                   | 38,20                          | 34,25                | 34,21                               |
| 15:15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,40                | 18,70                      | 19,40                    | 19,26                       | 17,80               | 0,60                           | 183,70               | 240,31                         | 240,02                                | 701,73                         | 279,00                   | 39,76                          | 34,25                | 34,20                               |
| 15:20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,40                | 18,60                      | 19,30                    | 19,20                       | 17,80               | 0,60                           | 171,40               | 224,19                         | 223,92                                | 654,75                         | 251,10                   | 38,35                          | 34,24                | 34,20                               |
| 15:25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,30                | 18,50                      | 19,20                    | 19,05                       | 17,80               | 0,50                           | 160,00               | 209,33                         | 209,08                                | 611,20                         | 251,10                   | 41,08                          | 34,25                | 34,21                               |
| 15:30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18,30                | 18,40                      | 19,00                    | 18,87                       | 17,70               | 0,60                           | 122,40               | 159,95                         | 159,76                                | 467,57                         | 195,30                   | 41,77                          | 34,21                | 34,17                               |
| Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,45 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %0,59'dur. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 1,97 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %8,87'dir. Anlık ışıınım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 89,27 W/m²'dir ve Anlık ışıınım değerlerinde hata oranı da %4,8'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 2,08 °C derecedir ve hata oranı %8,9'dur. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 126,54 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %6,5'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 2,0 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %8,92'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 130,24 W hata oranı da %6,2'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 128,66'dir ve bu değerlerin hata oranı da %6,4'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,32 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,67'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 119,75 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,9'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapası 0,71 ve hesaplama hata oranı da %0,9'dir. |                      |                            |                          |                             |                     |                                |                      |                                |                                       |                                |                          |                                |                      |                                     |

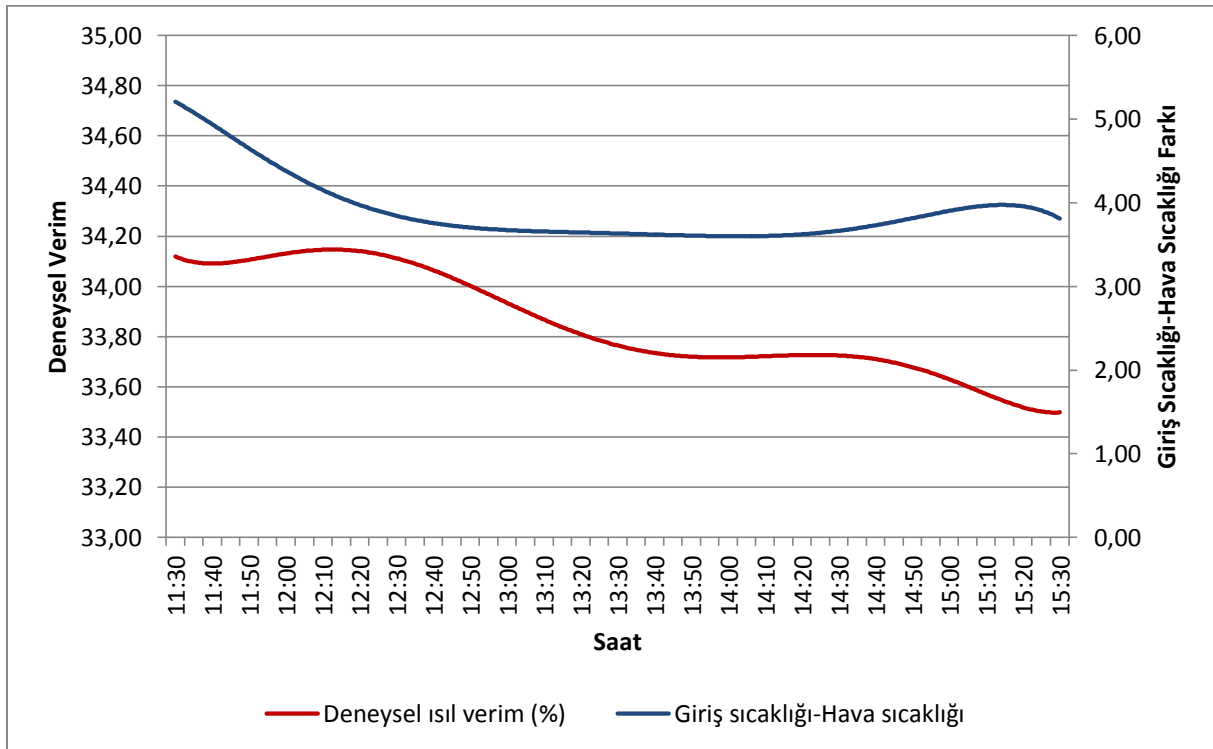
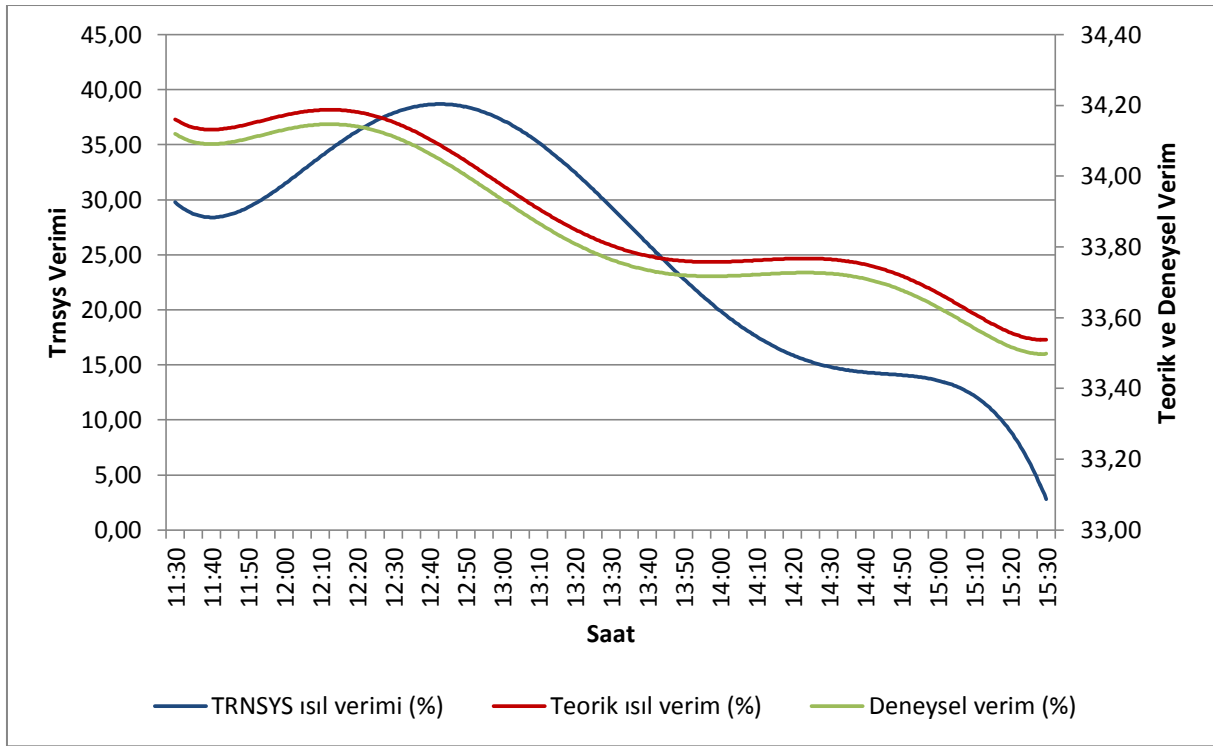




| 14 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                                |
|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| saat              | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışıınım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kollektör ısı verimi (%) |
| 11:30             | 17,40                | 20,00                      | 19,80               | 20,41                  | 12,20               | 5,20                            | 648,80               | 846,07                         | 845,06                                | 2478,42                        | 669,60             | 27,02                          | 34,14                | 34,10                          |
| 11:35             | 17,40                | 20,10                      | 20,10               | 20,47                  | 12,30               | 5,10                            | 661,00               | 862,15                         | 861,12                                | 2525,02                        | 753,30             | 29,83                          | 34,14                | 34,10                          |
| 11:40             | 17,40                | 19,90                      | 19,90               | 20,30                  | 12,50               | 4,90                            | 624,30               | 814,21                         | 813,24                                | 2384,83                        | 697,50             | 29,25                          | 34,14                | 34,10                          |
| 11:45             | 17,40                | 20,10                      | 20,10               | 20,53                  | 12,60               | 4,80                            | 673,20               | 878,41                         | 877,36                                | 2571,62                        | 753,30             | 29,29                          | 34,16                | 34,12                          |
| 11:50             | 17,40                | 20,10                      | 20,20               | 20,53                  | 12,80               | 4,60                            | 673,20               | 878,58                         | 877,53                                | 2571,62                        | 781,20             | 30,38                          | 34,16                | 34,12                          |
| 11:55             | 17,50                | 20,40                      | 20,60               | 20,80                  | 12,90               | 4,60                            | 710,00               | 926,83                         | 925,72                                | 2712,20                        | 864,90             | 31,89                          | 34,17                | 34,13                          |
| 12:00             | 17,50                | 20,50                      | 20,80               | 20,86                  | 13,10               | 4,40                            | 722,20               | 942,99                         | 941,87                                | 2758,80                        | 920,70             | 33,37                          | 34,18                | 34,14                          |
| 12:05             | 17,50                | 20,50                      | 20,80               | 20,86                  | 13,20               | 4,30                            | 722,20               | 943,08                         | 941,95                                | 2758,80                        | 920,70             | 33,37                          | 34,18                | 34,14                          |
| 12:10             | 17,50                | 19,60                      | 19,80               | 19,83                  | 13,40               | 4,10                            | 501,90               | 654,44                         | 653,66                                | 1917,26                        | 641,70             | 33,47                          | 34,13                | 34,09                          |
| 12:15             | 17,50                | 19,40                      | 19,60               | 19,66                  | 13,50               | 4,00                            | 465,20               | 606,41                         | 605,69                                | 1777,06                        | 585,90             | 32,97                          | 34,12                | 34,08                          |
| 12:20             | 17,50                | 19,20                      | 19,50               | 19,43                  | 13,60               | 3,90                            | 416,20               | 542,26                         | 541,61                                | 1589,88                        | 558,00             | 35,10                          | 34,11                | 34,07                          |
| 12:25             | 17,60                | 20,70                      | 21,10               | 21,02                  | 13,60               | 4,00                            | 734,40               | 959,33                         | 958,19                                | 2805,41                        | 976,50             | 34,81                          | 34,20                | 34,16                          |
| 12:30             | 17,60                | 20,30                      | 20,90               | 20,73                  | 13,70               | 3,90                            | 673,20               | 879,19                         | 878,14                                | 2571,62                        | 920,70             | 35,80                          | 34,19                | 34,15                          |
| 12:35             | 17,60                | 20,00                      | 20,50               | 20,39                  | 13,90               | 3,70                            | 599,80               | 783,13                         | 782,20                                | 2291,24                        | 809,10             | 35,31                          | 34,18                | 34,14                          |
| 12:40             | 17,60                | 19,80                      | 20,40               | 20,10                  | 13,90               | 3,70                            | 538,60               | 702,90                         | 702,06                                | 2057,45                        | 781,20             | 37,97                          | 34,16                | 34,12                          |
| 12:45             | 17,70                | 19,80                      | 20,30               | 20,03                  | 13,90               | 3,80                            | 501,90               | 654,70                         | 653,92                                | 1917,26                        | 725,40             | 37,84                          | 34,15                | 34,11                          |
| 12:50             | 17,70                | 18,80                      | 19,10               | 19,00                  | 14,00               | 3,70                            | 281,60               | 365,97                         | 365,53                                | 1075,71                        | 390,60             | 36,31                          | 34,02                | 33,98                          |
| 12:55             | 17,70                | 18,50                      | 19,10               | 18,83                  | 14,00               | 3,70                            | 244,80               | 317,73                         | 317,35                                | 935,14                         | 390,60             | 41,77                          | 33,98                | 33,94                          |
| 13:00             | 17,60                | 18,20                      | 18,70               | 18,56                  | 13,90               | 3,70                            | 208,00               | 269,48                         | 269,16                                | 794,56                         | 306,90             | 38,63                          | 33,92                | 33,88                          |
| 13:05             | 17,60                | 18,30                      | 18,80               | 18,62                  | 14,00               | 3,60                            | 220,40               | 285,82                         | 285,48                                | 841,93                         | 334,80             | 39,77                          | 33,95                | 33,91                          |
| 13:10             | 17,70                | 18,30                      | 18,70               | 18,66                  | 14,00               | 3,70                            | 208,00               | 269,48                         | 269,16                                | 794,56                         | 279,00             | 35,11                          | 33,92                | 33,88                          |
| 13:15             | 17,70                | 18,20                      | 18,60               | 18,55                  | 14,00               | 3,70                            | 183,60               | 237,49                         | 237,21                                | 701,35                         | 251,10             | 35,80                          | 33,86                | 33,82                          |
| 13:20             | 17,70                | 18,00                      | 18,50               | 18,44                  | 14,10               | 3,60                            | 160,00               | 206,64                         | 206,39                                | 611,20                         | 223,20             | 36,52                          | 33,81                | 33,77                          |
| 13:25             | 17,70                | 18,30                      | 18,60               | 18,60                  | 14,10               | 3,60                            | 196,00               | 253,84                         | 253,53                                | 748,72                         | 251,10             | 33,54                          | 33,90                | 33,86                          |
| 13:30             | 17,80                | 18,30                      | 18,60               | 18,59                  | 14,10               | 3,70                            | 171,40               | 221,50                         | 221,23                                | 654,75                         | 223,20             | 34,09                          | 33,83                | 33,79                          |
| 13:35             | 17,80                | 18,10                      | 18,40               | 18,47                  | 14,10               | 3,70                            | 146,90               | 189,38                         | 189,15                                | 561,16                         | 167,40             | 29,83                          | 33,75                | 33,71                          |
| 13:40             | 17,80                | 18,00                      | 18,30               | 18,42                  | 14,20               | 3,60                            | 134,70               | 173,47                         | 173,26                                | 514,55                         | 139,50             | 27,11                          | 33,71                | 33,67                          |
| 13:45             | 17,80                | 18,10                      | 18,20               | 18,54                  | 14,20               | 3,60                            | 160,00               | 206,64                         | 206,39                                | 611,20                         | 111,60             | 18,26                          | 33,81                | 33,77                          |
| 13:50             | 17,80                | 18,00                      | 18,10               | 18,47                  | 14,20               | 3,60                            | 146,90               | 189,47                         | 189,24                                | 561,16                         | 83,70              | 14,92                          | 33,76                | 33,72                          |
| 13:55             | 17,70                | 17,90                      | 18,00               | 18,32                  | 14,20               | 3,50                            | 134,70               | 173,56                         | 173,35                                | 514,55                         | 83,70              | 16,27                          | 33,73                | 33,69                          |
| 14:00             | 17,70                | 17,90                      | 18,00               | 18,32                  | 14,20               | 3,50                            | 134,70               | 173,56                         | 173,35                                | 514,55                         | 83,70              | 16,27                          | 33,73                | 33,69                          |
| 14:05             | 17,70                | 18,00                      | 18,10               | 18,44                  | 14,10               | 3,60                            | 160,00               | 206,64                         | 206,39                                | 611,20                         | 111,60             | 18,26                          | 33,81                | 33,77                          |
| 14:10             | 17,80                | 18,00                      | 18,10               | 18,47                  | 14,10               | 3,70                            | 146,90               | 189,38                         | 189,15                                | 561,16                         | 83,70              | 14,92                          | 33,75                | 33,71                          |
| 14:15             | 17,80                | 18,00                      | 18,00               | 18,42                  | 14,20               | 3,60                            | 134,70               | 173,47                         | 173,26                                | 514,55                         | 55,80              | 10,84                          | 33,71                | 33,67                          |
| 14:20             | 17,80                | 18,20                      | 18,40               | 18,59                  | 14,20               | 3,60                            | 171,40               | 221,59                         | 221,32                                | 654,75                         | 167,40             | 25,57                          | 33,84                | 33,80                          |
| 14:25             | 17,90                | 18,20                      | 18,30               | 18,64                  | 14,20               | 3,70                            | 160,00               | 206,55                         | 206,31                                | 611,20                         | 111,60             | 18,26                          | 33,79                | 33,75                          |
| 14:30             | 17,90                | 18,20                      | 18,30               | 18,64                  | 14,20               | 3,70                            | 160,00               | 206,55                         | 206,31                                | 611,20                         | 111,60             | 18,26                          | 33,79                | 33,75                          |
| 14:35             | 17,90                | 18,20                      | 18,30               | 18,64                  | 14,20               | 3,70                            | 160,00               | 206,55                         | 206,31                                | 611,20                         | 111,60             | 18,26                          | 33,79                | 33,75                          |
| 14:40             | 17,90                | 18,10                      | 18,20               | 18,57                  | 14,10               | 3,80                            | 146,90               | 189,29                         | 189,07                                | 561,16                         | 83,70              | 14,92                          | 33,73                | 33,69                          |
| 14:45             | 17,90                | 18,00                      | 18,10               | 18,52                  | 14,10               | 3,80                            | 134,70               | 173,30                         | 173,09                                | 514,55                         | 55,80              | 10,84                          | 33,68                | 33,64                          |
| 14:50             | 17,90                | 18,10                      | 18,20               | 18,52                  | 14,20               | 3,70                            | 134,70               | 173,38                         | 173,18                                | 514,55                         | 83,70              | 16,27                          | 33,70                | 33,66                          |
| 14:55             | 18,00                | 18,20                      | 18,30               | 18,62                  | 14,20               | 3,80                            | 134,70               | 173,30                         | 173,09                                | 514,55                         | 83,70              | 16,27                          | 33,68                | 33,64                          |
| 15:00             | 18,00                | 18,10                      | 18,20               | 18,56                  | 14,10               | 3,90                            | 122,40               | 157,09                         | 156,90                                | 467,57                         | 55,80              | 11,93                          | 33,60                | 33,56                          |
| 15:05             | 18,10                | 18,30                      | 18,40               | 18,77                  | 14,10               | 4,00                            | 146,90               | 189,12                         | 188,89                                | 561,16                         | 83,70              | 14,92                          | 33,70                | 33,66                          |
| 15:10             | 18,00                | 18,10                      | 18,20               | 18,62                  | 14,10               | 3,90                            | 134,70               | 173,21                         | 173,00                                | 514,55                         | 55,80              | 10,84                          | 33,66                | 33,62                          |
| 15:15             | 18,00                | 18,10                      | 18,10               | 18,56                  | 14,00               | 4,00                            | 122,40               | 157,00                         | 156,81                                | 467,57                         | 27,90              | 5,97                           | 33,58                | 33,54                          |
| 15:20             | 18,00                | 18,10                      | 18,10               | 18,56                  | 14,00               | 4,00                            | 122,40               | 157,00                         | 156,81                                | 467,57                         | 27,90              | 5,97                           | 33,58                | 33,54                          |
| 15:25             | 17,90                | 18,00                      | 18,00               | 18,40                  | 14,00               | 3,90                            | 110,20               | 141,09                         | 140,92                                | 420,96                         | 27,90              | 6,63                           | 33,52                | 33,48                          |
| 15:30             | 17,90                | 18,00                      | 18,00               | 18,40                  | 14,10               | 3,80                            | 110,20               | 141,18                         | 141,01                                | 420,96                         | 27,90              | 6,63                           | 33,54                | 33,50                          |

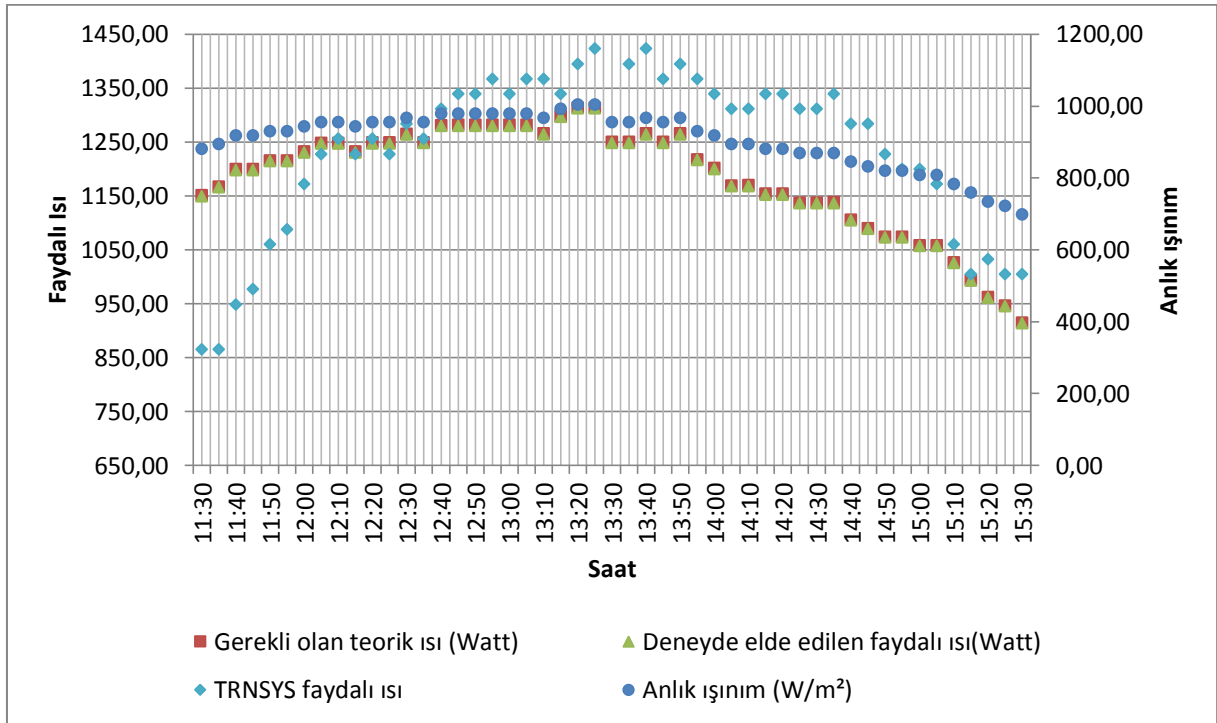
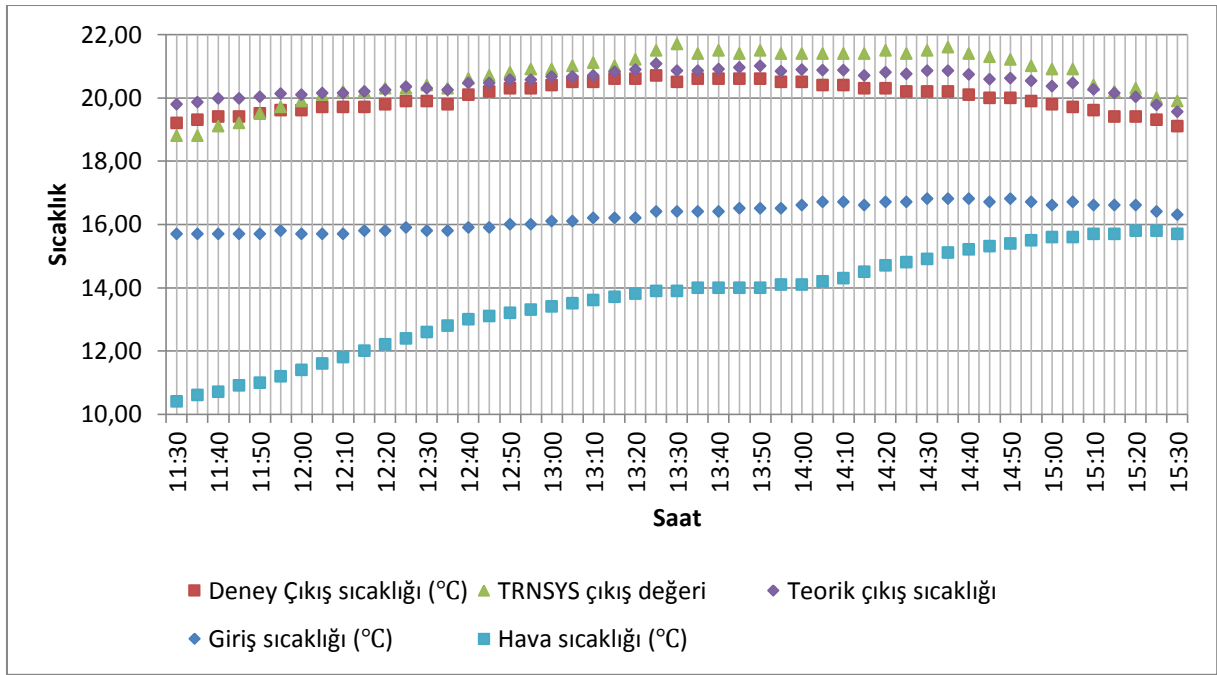
Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,35 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %0,52'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,96 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %4,87'dir. Anlık ışıınım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 81,57 W/m²'dir ve Anlık ışıınım değerlerinde hata oranı da %4,1'dir. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 1,12°C derecedir ve hata oranı %4,5'dir. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 103,43 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,5'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 1,02 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %4,7'dir. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 106,54 W hata oranı da %4,2'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 105,16'dır ve bu değerlerin hata oranı da %4,4'dür. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,21 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,42'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 103,78 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %4,2'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapası 0,26 ve hesaplama hata oranı da %0,45'dir.

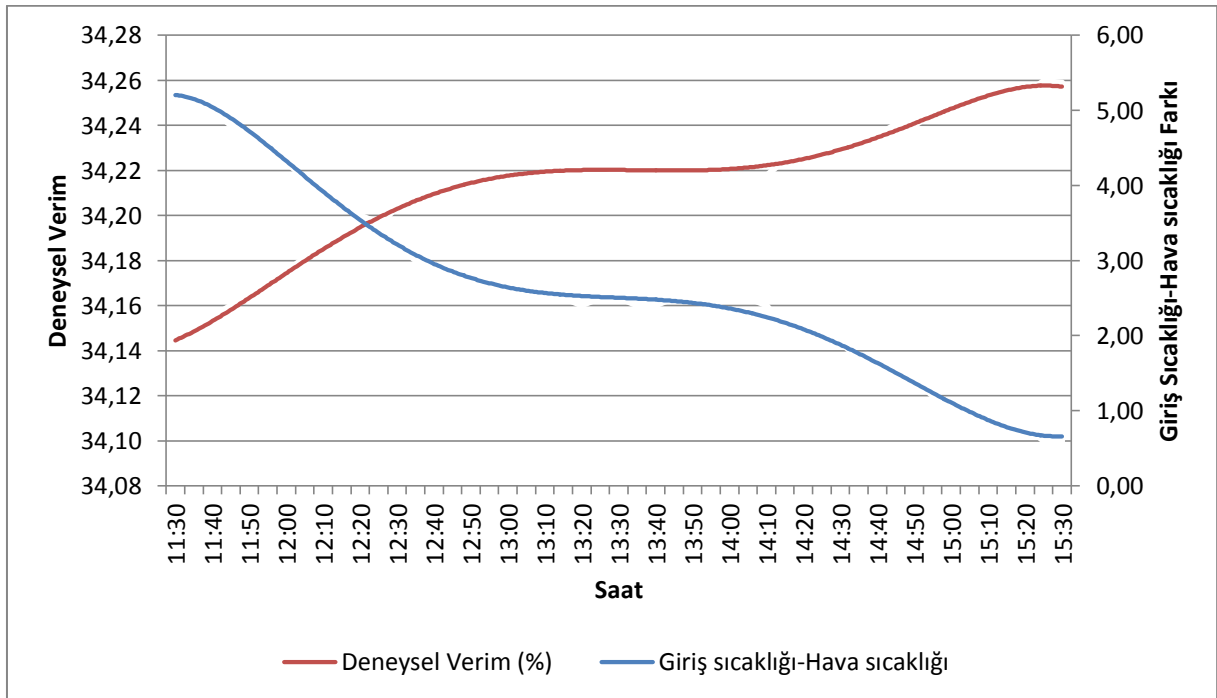
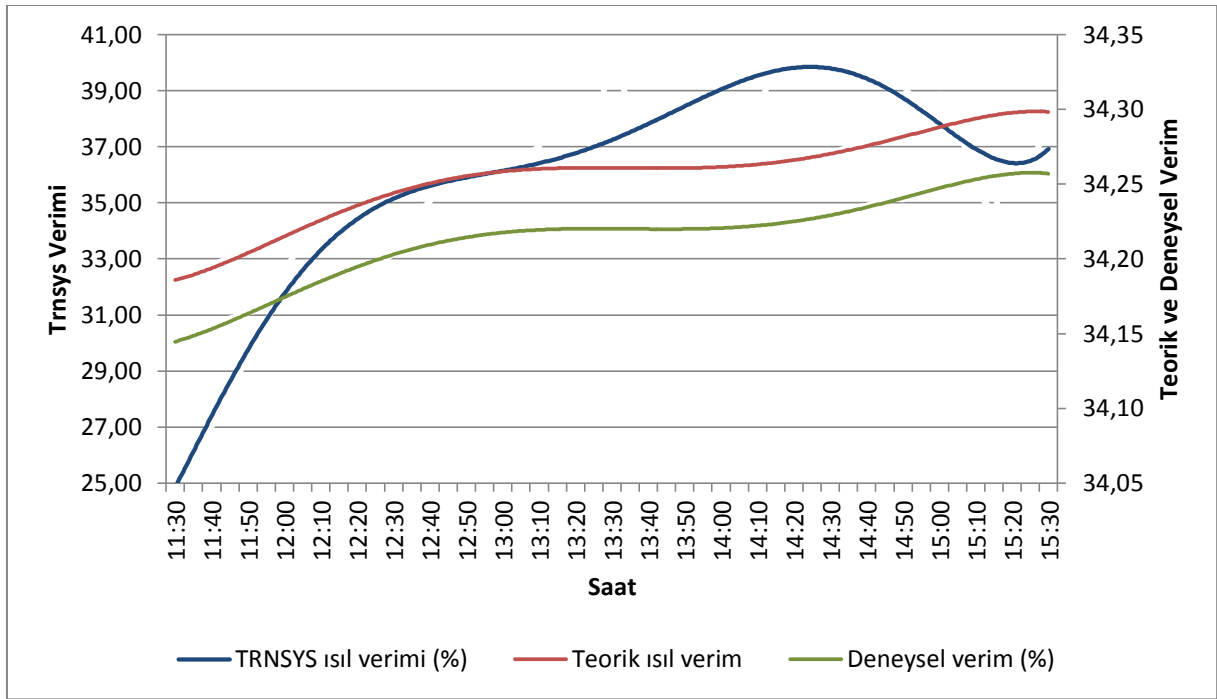




| 20 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |
|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat              | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışınlım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30             | 15,70                | 19,20                      | 18,80               | 19,80                  | 10,40               | 5,30                            | 881,30               | 1150,79                        | 1149,42                               | 3366,57                        | 864,90             | 25,69                          | 34,18                | 34,14                         |
| 11:35             | 15,70                | 19,30                      | 18,80               | 19,86                  | 10,60               | 5,10                            | 893,60               | 1167,09                        | 1165,70                               | 3413,55                        | 864,90             | 25,34                          | 34,19                | 34,15                         |
| 11:40             | 15,70                | 19,40                      | 19,10               | 19,97                  | 10,70               | 5,00                            | 918,00               | 1199,17                        | 1197,74                               | 3506,76                        | 948,60             | 27,05                          | 34,20                | 34,16                         |
| 11:45             | 15,70                | 19,40                      | 19,20               | 19,97                  | 10,90               | 4,80                            | 918,00               | 1199,34                        | 1197,91                               | 3506,76                        | 976,50             | 27,85                          | 34,20                | 34,16                         |
| 11:50             | 15,70                | 19,50                      | 19,50               | 20,03                  | 11,00               | 4,70                            | 930,30               | 1215,55                        | 1214,10                               | 3553,75                        | 1060,20            | 29,83                          | 34,20                | 34,16                         |
| 11:55             | 15,80                | 19,60                      | 19,70               | 20,13                  | 11,20               | 4,60                            | 930,30               | 1215,64                        | 1214,19                               | 3553,75                        | 1088,10            | 30,62                          | 34,21                | 34,17                         |
| 12:00             | 15,70                | 19,60                      | 19,90               | 20,09                  | 11,40               | 4,30                            | 942,50               | 1231,89                        | 1230,42                               | 3600,35                        | 1171,80            | 32,55                          | 34,22                | 34,18                         |
| 12:05             | 15,70                | 19,70                      | 20,10               | 20,15                  | 11,60               | 4,10                            | 954,80               | 1248,19                        | 1246,70                               | 3647,34                        | 1227,60            | 33,66                          | 34,22                | 34,18                         |
| 12:10             | 15,70                | 19,70                      | 20,20               | 20,15                  | 11,80               | 3,90                            | 954,80               | 1248,37                        | 1246,88                               | 3647,34                        | 1255,50            | 34,42                          | 34,23                | 34,19                         |
| 12:15             | 15,80                | 19,70                      | 20,20               | 20,19                  | 12,00               | 3,80                            | 942,40               | 1232,20                        | 1230,73                               | 3599,97                        | 1227,60            | 34,10                          | 34,23                | 34,19                         |
| 12:20             | 15,80                | 19,80                      | 20,30               | 20,25                  | 12,20               | 3,60                            | 954,80               | 1248,63                        | 1247,14                               | 3647,34                        | 1255,50            | 34,42                          | 34,23                | 34,19                         |
| 12:25             | 15,90                | 19,90                      | 20,30               | 20,35                  | 12,40               | 3,50                            | 954,80               | 1248,71                        | 1247,22                               | 3647,34                        | 1227,60            | 33,66                          | 34,24                | 34,20                         |
| 12:30             | 15,80                | 19,90                      | 20,40               | 20,31                  | 12,60               | 3,20                            | 967,00               | 1264,97                        | 1263,46                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                          | 34,24                | 34,20                         |
| 12:35             | 15,80                | 19,80                      | 20,30               | 20,25                  | 12,80               | 3,00                            | 954,80               | 1249,15                        | 1247,66                               | 3647,34                        | 1255,50            | 34,42                          | 34,25                | 34,21                         |
| 12:40             | 15,90                | 20,10                      | 20,60               | 20,46                  | 13,00               | 2,90                            | 979,20               | 1281,22                        | 1279,69                               | 3740,54                        | 1311,30            | 35,06                          | 34,25                | 34,21                         |
| 12:45             | 15,90                | 20,20                      | 20,70               | 20,46                  | 13,10               | 2,80                            | 979,20               | 1281,31                        | 1279,78                               | 3740,54                        | 1339,20            | 35,80                          | 34,25                | 34,21                         |
| 12:50             | 16,00                | 20,30                      | 20,80               | 20,56                  | 13,20               | 2,80                            | 979,20               | 1281,31                        | 1279,78                               | 3740,54                        | 1339,20            | 35,80                          | 34,25                | 34,21                         |
| 12:55             | 16,00                | 20,30                      | 20,90               | 20,56                  | 13,30               | 2,70                            | 979,20               | 1281,39                        | 1279,87                               | 3740,54                        | 1367,10            | 36,55                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:00             | 16,10                | 20,40                      | 20,90               | 20,66                  | 13,40               | 2,70                            | 979,20               | 1281,39                        | 1279,87                               | 3740,54                        | 1339,20            | 35,80                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:05             | 16,10                | 20,50                      | 21,00               | 20,66                  | 13,50               | 2,60                            | 979,20               | 1281,48                        | 1279,95                               | 3740,54                        | 1367,10            | 36,55                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:10             | 16,20                | 20,50                      | 21,10               | 20,71                  | 13,60               | 2,60                            | 967,00               | 1265,49                        | 1263,98                               | 3693,94                        | 1367,10            | 37,01                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:15             | 16,20                | 20,60                      | 21,00               | 20,82                  | 13,70               | 2,50                            | 991,50               | 1297,69                        | 1296,14                               | 3787,53                        | 1339,20            | 35,36                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:20             | 16,20                | 20,60                      | 21,20               | 20,88                  | 13,80               | 2,40                            | 1003,70              | 1313,77                        | 1312,21                               | 3834,13                        | 1395,00            | 36,38                          | 34,27                | 34,22                         |
| 13:25             | 16,40                | 20,70                      | 21,50               | 21,08                  | 13,90               | 2,50                            | 1003,70              | 1313,69                        | 1312,12                               | 3834,13                        | 1422,90            | 37,11                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:30             | 16,40                | 20,50                      | 21,70               | 20,85                  | 13,90               | 2,50                            | 954,80               | 1249,58                        | 1248,09                               | 3647,34                        | 1478,70            | 40,54                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:35             | 16,40                | 20,60                      | 21,40               | 20,85                  | 14,00               | 2,40                            | 954,80               | 1249,67                        | 1248,18                               | 3647,34                        | 1395,00            | 38,25                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:40             | 16,40                | 20,60                      | 21,50               | 20,91                  | 14,00               | 2,40                            | 967,00               | 1265,66                        | 1264,15                               | 3693,94                        | 1422,90            | 38,52                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:45             | 16,50                | 20,60                      | 21,40               | 20,95                  | 14,00               | 2,50                            | 954,80               | 1249,58                        | 1248,09                               | 3647,34                        | 1367,10            | 37,48                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:50             | 16,50                | 20,60                      | 21,50               | 21,01                  | 14,00               | 2,50                            | 967,00               | 1265,57                        | 1264,06                               | 3693,94                        | 1395,00            | 37,76                          | 34,26                | 34,22                         |
| 13:55             | 16,50                | 20,50                      | 21,40               | 20,84                  | 14,10               | 2,40                            | 930,30               | 1217,55                        | 1216,09                               | 3553,75                        | 1367,10            | 38,47                          | 34,26                | 34,22                         |
| 14:00             | 16,60                | 20,50                      | 21,40               | 20,88                  | 14,10               | 2,50                            | 918,00               | 1201,33                        | 1199,90                               | 3506,76                        | 1339,20            | 38,19                          | 34,26                | 34,22                         |
| 14:05             | 16,70                | 20,40                      | 21,40               | 20,87                  | 14,20               | 2,50                            | 893,60               | 1169,35                        | 1167,95                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,26                | 34,22                         |
| 14:10             | 16,70                | 20,40                      | 21,40               | 20,87                  | 14,30               | 2,40                            | 893,60               | 1169,43                        | 1168,04                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,26                | 34,22                         |
| 14:15             | 16,60                | 20,30                      | 21,40               | 20,71                  | 14,50               | 2,10                            | 881,30               | 1153,57                        | 1152,19                               | 3366,57                        | 1339,20            | 39,78                          | 34,27                | 34,22                         |
| 14:20             | 16,70                | 20,30                      | 21,50               | 20,81                  | 14,70               | 2,00                            | 881,30               | 1153,65                        | 1152,28                               | 3366,57                        | 1339,20            | 39,78                          | 34,27                | 34,23                         |
| 14:25             | 16,70                | 20,20                      | 21,40               | 20,75                  | 14,80               | 1,90                            | 869,00               | 1137,62                        | 1136,26                               | 3319,58                        | 1311,30            | 39,50                          | 34,27                | 34,23                         |
| 14:30             | 16,80                | 20,20                      | 21,50               | 20,85                  | 14,90               | 1,90                            | 869,00               | 1137,62                        | 1136,26                               | 3319,58                        | 1311,30            | 39,50                          | 34,27                | 34,23                         |
| 14:35             | 16,80                | 20,20                      | 21,60               | 20,85                  | 15,10               | 1,70                            | 869,00               | 1137,79                        | 1136,43                               | 3319,58                        | 1339,20            | 40,34                          | 34,28                | 34,23                         |
| 14:40             | 16,80                | 20,10                      | 21,40               | 20,74                  | 15,20               | 1,60                            | 844,60               | 1105,89                        | 1104,57                               | 3226,37                        | 1283,40            | 39,78                          | 34,28                | 34,24                         |
| 14:45             | 16,70                | 20,00                      | 21,30               | 20,58                  | 15,30               | 1,40                            | 832,30               | 1089,94                        | 1088,63                               | 3179,39                        | 1283,40            | 40,37                          | 34,28                | 34,24                         |
| 14:50             | 16,80                | 20,00                      | 21,20               | 20,63                  | 15,40               | 1,40                            | 820,00               | 1073,81                        | 1072,53                               | 3132,40                        | 1227,60            | 39,19                          | 34,28                | 34,24                         |
| 14:55             | 16,70                | 19,90                      | 21,00               | 20,53                  | 15,50               | 1,20                            | 820,00               | 1073,98                        | 1072,70                               | 3132,40                        | 1199,70            | 38,30                          | 34,29                | 34,25                         |
| 15:00             | 16,60                | 19,80                      | 20,90               | 20,37                  | 15,60               | 1,00                            | 807,90               | 1058,29                        | 1057,03                               | 3086,18                        | 1199,70            | 38,87                          | 34,29                | 34,25                         |
| 15:05             | 16,70                | 19,70                      | 20,90               | 20,47                  | 15,60               | 1,10                            | 807,90               | 1058,21                        | 1056,94                               | 3086,18                        | 1171,80            | 37,97                          | 34,29                | 34,25                         |
| 15:10             | 16,60                | 19,60                      | 20,40               | 20,26                  | 15,70               | 0,90                            | 783,40               | 1026,26                        | 1025,04                               | 2992,59                        | 1060,20            | 35,43                          | 34,29                | 34,25                         |
| 15:15             | 16,60                | 19,40                      | 20,20               | 20,14                  | 15,70               | 0,90                            | 758,90               | 994,14                         | 992,95                                | 2899,00                        | 1004,40            | 34,65                          | 34,29                | 34,25                         |
| 15:20             | 16,60                | 19,40                      | 20,30               | 20,03                  | 15,80               | 0,80                            | 734,40               | 962,11                         | 960,96                                | 2805,41                        | 1032,30            | 36,80                          | 34,29                | 34,25                         |
| 15:25             | 16,40                | 19,30                      | 20,00               | 19,77                  | 15,80               | 0,60                            | 722,20               | 946,29                         | 945,16                                | 2758,80                        | 1004,40            | 36,41                          | 34,30                | 34,26                         |
| 15:30             | 16,30                | 19,10                      | 19,90               | 19,56                  | 15,70               | 0,60                            | 697,70               | 914,17                         | 913,08                                | 2665,21                        | 1004,40            | 37,69                          | 34,30                | 34,26                         |

Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,25 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %2,39'dur. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,22 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %2,11'dir. Anlık ışınlım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 91,37 W/m²'dir ve Anlık ışınlım değerlerinde hata oranı da %4,3'dür. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,33°C derecedir ve hata oranı %2,06'dır. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 98,54 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,7'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,2 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %2,10'dur. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 100,94 W hata oranı da %4,5'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 99,61W'dir ve bu değerlerin hata oranı da %4,8'dir. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,22 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,37'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 95,43 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %4,9'dur. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,31 ve hesaplama hata oranı da %0,46'dır.





| 21 EKİM DEĞERLERİ |                      |                            |                     |                        |                     |                                 |                      |                                |                                       |                                |                    |                                |                      |                               |
|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| saat              | Giriş sıcaklığı (°C) | Deney Çıkış sıcaklığı (°C) | TRNSYS çıkış değeri | Teorik çıkış sıcaklığı | Hava sıcaklığı (°C) | Giriş sıcaklığı- Hava sıcaklığı | Anlık ışınlım (W/m²) | Gerekli olan teorik ısı (Watt) | Deneyde elde edilen faydalı ısı(Watt) | Kollektörde toplanan ısı(Watt) | TRNSYS faydalı ısı | TRNSYS kolektör ısı verimi (%) | Teorik ısı verim (%) | Deney Kolektör ısı verimi (%) |
| 11:30             | 13,40                | 17,30                      | 16,50               | 17,51                  | 13,10               | 0,30                            | 881,30               | 1155,13                        | 1153,75                               | 3366,57                        | 864,90             | 25,69                          | 34,31                | 34,27                         |
| 11:35             | 13,50                | 17,50                      | 16,50               | 17,67                  | 13,30               | 0,20                            | 893,60               | 1171,34                        | 1169,94                               | 3413,55                        | 837,00             | 24,52                          | 34,31                | 34,27                         |
| 11:40             | 13,50                | 17,40                      | 16,60               | 17,67                  | 13,50               | 0,00                            | 893,60               | 1171,51                        | 1170,12                               | 3413,55                        | 864,90             | 25,34                          | 34,32                | 34,28                         |
| 11:45             | 13,50                | 17,40                      | 16,70               | 17,67                  | 13,70               | -0,20                           | 893,60               | 1171,69                        | 1170,29                               | 3413,55                        | 892,80             | 26,15                          | 34,32                | 34,28                         |
| 11:50             | 13,60                | 17,60                      | 16,90               | 17,83                  | 13,90               | -0,30                           | 905,80               | 1187,77                        | 1186,35                               | 3460,16                        | 920,70             | 26,61                          | 34,33                | 34,29                         |
| 11:55             | 13,60                | 17,80                      | 17,60               | 17,95                  | 14,20               | -0,60                           | 930,30               | 1220,15                        | 1218,69                               | 3553,75                        | 1116,00            | 31,40                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:00             | 13,70                | 17,90                      | 17,80               | 18,05                  | 14,50               | -0,80                           | 930,30               | 1220,32                        | 1218,86                               | 3553,75                        | 1143,90            | 32,19                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:05             | 13,80                | 18,10                      | 18,10               | 18,20                  | 14,80               | -1,00                           | 942,50               | 1236,49                        | 1235,01                               | 3600,35                        | 1199,70            | 33,32                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:10             | 14,00                | 18,40                      | 18,40               | 18,46                  | 15,00               | -1,00                           | 954,80               | 1252,61                        | 1251,12                               | 3647,34                        | 1227,60            | 33,66                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:15             | 14,10                | 18,60                      | 18,70               | 18,62                  | 15,30               | -1,20                           | 967,00               | 1268,78                        | 1267,27                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                          | 34,35                | 34,31                         |
| 12:20             | 14,30                | 18,90                      | 19,00               | 18,88                  | 15,40               | -1,10                           | 979,20               | 1284,69                        | 1283,16                               | 3740,54                        | 1311,30            | 35,06                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:25             | 14,50                | 19,00                      | 19,10               | 19,02                  | 15,40               | -0,90                           | 967,00               | 1268,52                        | 1267,01                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:30             | 14,70                | 19,20                      | 19,30               | 19,28                  | 15,50               | -0,80                           | 979,20               | 1284,43                        | 1282,90                               | 3740,54                        | 1283,40            | 34,31                          | 34,34                | 34,30                         |
| 12:35             | 14,90                | 19,30                      | 19,50               | 19,42                  | 15,60               | -0,70                           | 967,00               | 1268,35                        | 1266,83                               | 3693,94                        | 1283,40            | 34,74                          | 34,34                | 34,29                         |
| 12:40             | 15,30                | 19,80                      | 20,20               | 19,87                  | 15,70               | -0,40                           | 979,20               | 1284,08                        | 1282,55                               | 3740,54                        | 1367,10            | 36,55                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:45             | 15,40                | 19,90                      | 20,40               | 19,97                  | 15,70               | -0,30                           | 979,20               | 1284,00                        | 1282,46                               | 3740,54                        | 1395,00            | 37,29                          | 34,33                | 34,29                         |
| 12:50             | 15,60                | 20,10                      | 20,60               | 20,17                  | 15,80               | -0,20                           | 979,20               | 1283,91                        | 1282,38                               | 3740,54                        | 1395,00            | 37,29                          | 34,32                | 34,28                         |
| 12:55             | 15,70                | 20,30                      | 20,80               | 20,39                  | 15,80               | -0,10                           | 1003,70              | 1315,94                        | 1314,37                               | 3834,13                        | 1422,90            | 37,11                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:00             | 15,90                | 20,40                      | 20,80               | 20,47                  | 15,90               | 0,00                            | 979,20               | 1283,74                        | 1282,20                               | 3740,54                        | 1367,10            | 36,55                          | 34,32                | 34,28                         |
| 13:05             | 16,20                | 20,50                      | 21,00               | 20,72                  | 16,00               | 0,20                            | 967,00               | 1267,57                        | 1266,06                               | 3693,94                        | 1339,20            | 36,25                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:10             | 16,30                | 20,70                      | 21,30               | 20,87                  | 16,00               | 0,30                            | 979,20               | 1283,48                        | 1281,94                               | 3740,54                        | 1395,00            | 37,29                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:15             | 16,40                | 20,80                      | 21,40               | 20,97                  | 16,10               | 0,30                            | 979,20               | 1283,48                        | 1281,94                               | 3740,54                        | 1395,00            | 37,29                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:20             | 16,60                | 21,10                      | 21,80               | 21,29                  | 16,20               | 0,40                            | 1003,70              | 1315,51                        | 1313,94                               | 3834,13                        | 1450,80            | 37,84                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:25             | 16,70                | 21,10                      | 21,70               | 21,27                  | 16,30               | 0,40                            | 979,20               | 1283,39                        | 1281,86                               | 3740,54                        | 1395,00            | 37,29                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:30             | 16,80                | 21,20                      | 21,90               | 21,37                  | 16,30               | 0,50                            | 979,20               | 1283,30                        | 1281,77                               | 3740,54                        | 1422,90            | 38,04                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:35             | 16,80                | 21,30                      | 21,90               | 21,37                  | 16,40               | 0,40                            | 979,20               | 1283,39                        | 1281,86                               | 3740,54                        | 1422,90            | 38,04                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:40             | 16,90                | 21,30                      | 21,90               | 21,47                  | 16,50               | 0,40                            | 979,20               | 1283,39                        | 1281,86                               | 3740,54                        | 1395,00            | 37,29                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:45             | 16,90                | 21,40                      | 22,00               | 21,47                  | 16,60               | 0,30                            | 979,20               | 1283,48                        | 1281,94                               | 3740,54                        | 1422,90            | 38,04                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:50             | 17,00                | 21,40                      | 22,00               | 21,51                  | 16,70               | 0,30                            | 967,00               | 1267,48                        | 1265,97                               | 3693,94                        | 1395,00            | 37,76                          | 34,31                | 34,27                         |
| 13:55             | 17,10                | 21,40                      | 22,10               | 21,56                  | 16,70               | 0,40                            | 954,80               | 1251,40                        | 1249,91                               | 3647,34                        | 1395,00            | 38,25                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:00             | 17,00                | 21,50                      | 22,10               | 21,52                  | 16,80               | 0,20                            | 967,00               | 1267,57                        | 1266,06                               | 3693,94                        | 1422,90            | 38,52                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:05             | 17,20                | 21,60                      | 22,20               | 21,66                  | 16,80               | 0,40                            | 954,80               | 1251,40                        | 1249,91                               | 3647,34                        | 1395,00            | 38,25                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:10             | 17,10                | 21,40                      | 22,10               | 21,50                  | 16,80               | 0,30                            | 942,50               | 1235,36                        | 1233,89                               | 3600,35                        | 1395,00            | 38,75                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:15             | 17,20                | 21,40                      | 22,20               | 21,60                  | 16,90               | 0,30                            | 942,50               | 1235,36                        | 1233,89                               | 3600,35                        | 1395,00            | 38,75                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:20             | 17,30                | 21,50                      | 22,20               | 21,64                  | 17,00               | 0,30                            | 930,30               | 1219,37                        | 1217,91                               | 3553,75                        | 1367,10            | 38,47                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:25             | 17,30                | 21,40                      | 22,20               | 21,53                  | 17,10               | 0,20                            | 905,80               | 1187,33                        | 1185,92                               | 3460,16                        | 1367,10            | 39,51                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:30             | 17,40                | 21,40                      | 22,10               | 21,57                  | 17,20               | 0,20                            | 893,60               | 1171,34                        | 1169,94                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,31                | 34,27                         |
| 14:35             | 17,30                | 21,30                      | 22,00               | 21,47                  | 17,20               | 0,10                            | 893,60               | 1171,43                        | 1170,03                               | 3413,55                        | 1311,30            | 38,41                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:40             | 17,40                | 21,20                      | 21,90               | 21,52                  | 17,30               | 0,10                            | 881,30               | 1155,30                        | 1153,92                               | 3366,57                        | 1255,50            | 37,29                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:45             | 17,40                | 21,20                      | 21,80               | 21,46                  | 17,30               | 0,10                            | 869,00               | 1139,18                        | 1137,82                               | 3319,58                        | 1227,60            | 36,98                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:50             | 17,40                | 21,10                      | 21,70               | 21,34                  | 17,40               | 0,00                            | 844,60               | 1107,27                        | 1105,95                               | 3226,37                        | 1199,70            | 37,18                          | 34,32                | 34,28                         |
| 14:55             | 17,40                | 21,00                      | 21,80               | 21,29                  | 17,40               | 0,00                            | 832,30               | 1091,15                        | 1089,85                               | 3179,39                        | 1227,60            | 38,61                          | 34,32                | 34,28                         |
| 15:00             | 17,50                | 21,00                      | 21,90               | 21,39                  | 17,50               | 0,00                            | 832,30               | 1091,15                        | 1089,85                               | 3179,39                        | 1227,60            | 38,61                          | 34,32                | 34,28                         |
| 15:05             | 17,50                | 20,90                      | 21,70               | 21,22                  | 17,50               | 0,00                            | 795,60               | 1043,04                        | 1041,79                               | 3039,19                        | 1171,80            | 38,56                          | 34,32                | 34,28                         |
| 15:10             | 17,50                | 20,90                      | 21,60               | 21,16                  | 17,60               | -0,10                           | 783,40               | 1027,13                        | 1025,90                               | 2992,59                        | 1143,90            | 38,22                          | 34,32                | 34,28                         |
| 15:15             | 17,50                | 20,80                      | 21,50               | 21,10                  | 17,60               | -0,10                           | 771,20               | 1011,13                        | 1009,93                               | 2945,98                        | 1116,00            | 37,88                          | 34,32                | 34,28                         |
| 15:20             | 17,40                | 20,70                      | 21,60               | 20,94                  | 17,70               | -0,30                           | 758,90               | 995,18                         | 993,99                                | 2899,00                        | 1171,80            | 40,42                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:25             | 17,40                | 20,70                      | 21,50               | 20,89                  | 17,70               | -0,30                           | 746,70               | 979,19                         | 978,02                                | 2852,39                        | 1143,90            | 40,10                          | 34,33                | 34,29                         |
| 15:30             | 17,40                | 20,60                      | 21,40               | 20,83                  | 17,70               | -0,30                           | 734,40               | 963,06                         | 961,91                                | 2805,41                        | 1116,00            | 39,78                          | 34,33                | 34,29                         |

Deney Giriş sıcaklığı için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 0,24 °C derecedir ve bu değer için ölçümden kaynaklanan hata oranı da %0,78'dir. Deney çıkış sıcaklığı ölçümlerinin standart sapma değeri 0,52 °C derecedir. Çıkış sıcaklık değerlerinde hata oranı %1,56'dır. Anlık ışınlım değeri için yapılan ölçümlerin standart sapma değeri 92,27 W/m²'dir ve Anlık ışınlım değerlerinde hata oranı da %4,9'dur. TRNSYS çıkış değeri için standart sapma değeri 0,58 °C derecedir ve hata oranı %1,79'dur. Deneyde elde edilen faydalı ısı için standart sapma değeri 96,58 W'tır. Deneyde elde edilen faydalı ısı değerlerinde hesaplardan kaynaklı hata oranı %4,7'dir. Teorik çıkış sıcaklık standart sapma değeri 0,66 °C derecedir. teorik çıkış sıcaklık hata oranı %1,66'dır. Trnsys faydalı ısı standart sapma değeri 101,44 W hata oranı da %5,1'dir. Teorik faydalı ısı değerleri için standart sapma 98,36'dır ve bu değerlerin hata oranı da %4,9'dur. Kollektörün deneysel ısı verimi için standart sapma değeri 0,12 ve hesaplardan, ölçümlerden kaynaklı hata oranı da %0,21'dir. Gerekli olan teorik ısı değerinin standart sapması 91,72 W'tır ve hesaplardan kaynaklı hata oranı da %5,2'dir. Son olarak da teorik ısı veriminin standart sapması 0,11 ve hesaplama hata oranı da %0,19'dur.

