

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN DOLOMİT  
TUĞLALARI KULLANILARAK VERİMLERİNİN ARTTIRILMASI VE  
KURUTMADA UYGULANMASI**

**Gizem BATTAL**

**Danışman  
Prof. Dr. Recep KÜLCÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Gizem BATTAL]

## TEZ ONAYI

Gizem BATTAL tarafından hazırlanan " Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerinin Dolomit Tuğlaları Kullanılarak Verimlerinin Arttırılması ve Kurutmada Uygulanması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

**Prof. Dr. Recep KÜLCÜ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Can ERTEKİN**  
Akdeniz Üniversitesi

Enstitü Müdürü

**Prof.Dr.Yasin TUNCER**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Gizem BATTAL**



## İÇİNDEKİLER

|                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                                                       | i     |
| ÖZET .....                                                             | iii   |
| ABSTRACT .....                                                         | iv    |
| TEŞEKKÜR.....                                                          | v     |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                  | vi    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                | ix    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                    | x     |
| 1. GİRİŞ.....                                                          | 1     |
| 1.1. Türkiye'nin Enerji ve Yenilenebilir Enerji .....                  | 3     |
| 1.2. Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyeli.....                          | 8     |
| 1.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....                       | 8     |
| 2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ.....                                            | 15    |
| 2.1. Su Isıtmalı Güneş Kollektörleri .....                             | 15    |
| 2.1.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri.....                              | 15    |
| 2.1.1.1. Üst örtü .....                                                | 16    |
| 2.1.1.2. Yutucu (Emici) plaka .....                                    | 17    |
| 2.1.1.3. Isı yalıtımı .....                                            | 17    |
| 2.1.1.4. Kollektör kasası .....                                        | 17    |
| 2.1.2. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri.....                            | 18    |
| 2.2. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri.....                            | 18    |
| 2.2.1. Hava Akış Kanalları Tasarımlarına Göre Sınıflandırma.....       | 20    |
| 2.2.1.1. Tek akışlı-tek geçişli.....                                   | 20    |
| 2.2.1.2. Çift akışlı-tek geçişli .....                                 | 21    |
| 2.2.1.3. Tek akışlı-çift geçişli.....                                  | 22    |
| 2.2.1.4. Tek akışlı-geri dönüşlü çift geçişli .....                    | 23    |
| 2.2.2. Dolgu Malzemesine Göre Sınıflandırma.....                       | 23    |
| 2.2.2.1. Dolgusuz kolektör .....                                       | 23    |
| 2.2.2.2. Dolgulu kolektör .....                                        | 24    |
| 3. KAYNAK ÖZETLERİ .....                                               | 26    |
| 3.1. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri Konusunda Kaynak Özetleri ..... | 26    |
| 3.2. Tarımsal Ürünlerin Kurutulması Konusunda Kaynak Özetleri .....    | 35    |
| 4. MATERYAL ve YÖNTEM.....                                             | 40    |
| 4.1. MATERYAL.....                                                     | 40    |
| 4.1.1. Deneyde Kullanılan Ekipmanlar .....                             | 41    |
| 4.1.1.1. Güneş kolektörü .....                                         | 41    |
| 4.1.1.2. Güneş simülatörü .....                                        | 42    |
| 4.1.1.3. Dolgu malzemesi .....                                         | 43    |
| 4.1.1.4. Radyal fan .....                                              | 44    |
| 4.1.1.5. Elma.....                                                     | 44    |
| 4.1.2. Ölçüm İçin Ekipmanlar .....                                     | 45    |
| 4.1.2.1. Veri kayıt cihazı ve ısı çiftleri .....                       | 45    |
| 4.1.2.2. Hava hızı ölçer .....                                         | 46    |
| 4.1.2.3. Radyometre.....                                               | 46    |
| 4.1.2.4. Renkölçer .....                                               | 47    |
| 4.1.2.5. Hassas terazi .....                                           | 47    |
| 4.1.2.6. Kurutma fırını.....                                           | 48    |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.2.7. Kurutma kabini.....                                                | 49  |
| 4.2. YÖNTEM.....                                                            | 49  |
| 4.3. Kollektör Denemelerinde Test Edilen Uygulamalar .....                  | 50  |
| 4.3.1. Dolgusuz kollektör tasarımı .....                                    | 51  |
| 4.3.2. Kırık dolomit tuğlalı dolgulu kollektör tasarımı.....                | 52  |
| 4.3.3. Beş sıralı 15 dolomit tuğlalı kollektör tasarımı .....               | 53  |
| 4.3.4. Dört sıralı 12 dolomit tuğlalı kollektör tasarımı .....              | 54  |
| 4.3.5. Dört sıralı T tipi 12 dolomit tuğlalı kollektör tasarımı.....        | 55  |
| 4.4. Kollektör Denemelerinde Kullanılan Eşitlikler ve Hesaplamalar.....     | 55  |
| 4.5. Kurutma İle İlgili Hesaplamalar.....                                   | 56  |
| 4.5.1. Nem içeriği ve kuruma hızı .....                                     | 57  |
| 4.5.2. Yeniden su alma kapasitesi.....                                      | 58  |
| 4.5.3. Renk analizi.....                                                    | 58  |
| 4.5.4. Özgül enerji tüketimi.....                                           | 62  |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....                                     | 63  |
| 5.1. Kollektör Denemelerinde Elde Edilen Bulgular .....                     | 63  |
| 5.1.1. 500W/m <sup>2</sup> ısıtım koşullarında elde edilen bulgular.....    | 63  |
| 5.1.1.1. Dolgusuz tasarımlı hava ısıtmalı güneş kollektörü.....             | 63  |
| 5.1.1.2. Kırık dolomit tuğlası dolgulu hava ısıtmalı güneş kollektörü ..... | 65  |
| 5.1.1.3. Beş sıralı 15 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü .....         | 66  |
| 5.1.1.4. Dört sıralı 12 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü .....        | 68  |
| 5.1.1.5. Dört sıralı 12 tuğlalı T tipi hava ısıtmalı güneş kollektörü ..... | 70  |
| 5.1.2. 750W/m <sup>2</sup> ısıtım koşullarında elde edilen bulgular.....    | 72  |
| 5.1.2.1. Dolgusuz tasarımlı hava ısıtmalı güneş kollektörü.....             | 72  |
| 5.1.2.2. Kırık dolomit tuğlalı dolgulu hava ısıtmalı güneş kollektörü ..... | 74  |
| 5.1.2.3. Beş sıralı 15 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü .....         | 75  |
| 5.1.2.4. Dört sıralı 12 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü .....        | 77  |
| 5.1.2.5. Dört sıralı 12 tuğlalı T tipi hava ısıtmalı güneş kollektörü ..... | 79  |
| 5.1.3. 1000W/m <sup>2</sup> ısıtım koşullarında elde edilen bulgular .....  | 81  |
| 5.1.3.1. Dolgusuz tasarımlı hava ısıtmalı güneş kollektörü.....             | 81  |
| 5.1.3.2. Kırık dolomit tuğlası dolgulu hava ısıtmalı güneş kollektörü ..... | 83  |
| 5.1.3.3. Beş sıralı 15 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü .....         | 85  |
| 5.1.3.4. Dört sıralı 12 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü .....        | 86  |
| 5.1.3.5. Dört sıralı 12 tuğlalı T tipi hava ısıtmalı güneş kollektörü ..... | 88  |
| 5.2. Kollektör Denemelerinin Karşılaştırmalı Sonuçları .....                | 90  |
| 5.2.1. Giriş-çıkış sıcaklıkları.....                                        | 90  |
| 5.2.2. Anlık verim.....                                                     | 93  |
| 5.2.3. Verim .....                                                          | 95  |
| 5.3. Kurutma Denemelerinde Elde Edilen Bulgular .....                       | 96  |
| 5.3.1. Nem içeriği ve kuruma hızı değişimi.....                             | 97  |
| 5.3.2. Yeniden su alma kapasitesi.....                                      | 98  |
| 5.3.3. Renk değişimi.....                                                   | 98  |
| 5.3.4. Özgül enerji tüketimi.....                                           | 102 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER (TARTIŞMA VE SONUÇLAR) .....                           | 103 |
| KAYNAKLAR .....                                                             | 106 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                               | 111 |

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN DOLOMIT TUĞLALARI KULLANILARAK VERİMLERİNİN ARTTIRILMASI VE KURUTMADA UYGULANMASI

Gizem BATTAL

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları ve Teknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep KÜLCÜ

Bu çalışmada, hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin ısı verimlerinin artırılması amacıyla dolomit tuğlalarının kullanılabilirliği laboratuvar şartlarında incelenmiştir. Dolomit tuğlaları yüksek ısı depolama kapasitesi ve düşük maliyeti açısından tercih edilmiştir. Dolomit tuğlaları kollektör içerisine, ısı transferi, alan yoğunluğu ve toplam ısı aktarım hızını arttırmak için farklı geometrik diziliş ve sayılarda yerleştirilmiştir. Denemelerde beş farklı tasarım test edilmiştir. Bu tasarımlar; beş sıralı 15 dolomit tuğlalı (5T), dört sıralı T tipi 12 tuğlalı (4TD), dört sıralı 12 tuğlalı (4T), kırık dolomit tuğlalı (K) ve dolomit tuğlasız (B) olarak belirlenmiştir. Kollektör testlerini kontrollü şartlarda gerçekleştirebilmek için güneş simülatörü kullanılmıştır. Deneylerde kollektör yüzeylerine, güneş simülatörü kullanılarak 3 farklı ışıma şiddeti (500, 750 ve 1000 W/m<sup>2</sup>) uygulanmıştır. Kollektör testlerinde hava hızı 4.17 m/s seviyesinde sabitlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre en yüksek enerji ısı verim değerlerine sırasıyla 5T ve 4TD tasarımlı kollektörlerde ulaşılmıştır. Denemeler sonucunda dolgu malzemesi kullanımının kollektör verimini %18 oranında arttırdığı görülmüştür. Kollektörler performansları karşılaştırıldıktan sonra, en yüksek verimi sağlayan tasarımlı kollektör ile elma kurutma denemeleri yapılmıştır. Kurutma denemelerinde, Golden Delicious elma çeşidi kullanılmış ve denemeler süresince ürünün kuruma süresi, kuruma hızı, yeniden su alma kapasitesi ve renk özelliklerindeki değişimler takip edilmiştir. Kurutma öncesinde elma örnekleri 5 mm kalınlığında dilimlenmiş ve iki tasarımda da kurutma havası hızı 4.17 m/s seviyesinde sabitlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 5T tasarımlı kollektör kurutma performansı açısından daha başarılı olmuştur ve kuruma süresini 100 dakika kısaltmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dolomit tuğlası, hava ısıtmalı güneş kollektörü, güneş enerjisi, kollektör, kurutma

2017, 108 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INCREASING OF SOLAR AIR HEATER EFFICIENCY USING DOLOMITE BRICKS AND APPLICATION IN DRYING**

**Gizem BATTAL**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Recep KÜLCÜ**

In this study, the usability of dolomite bricks have been investigated in laboratory conditions in order to increase the thermal efficiency of air heated solar collectors. Dolomite bricks were preferred due to its high heat storage capacity and low cost. Dolomite bricks were placed in the collector in different geometric arrays and numbers to increase heat transfer, area density and total heat transfer rate. Experiments have tested five different designed solar collector air flow channel. These air flow channel were formed as five spins with 15 dolomite bricks (5T), T-type four spins with 12 bricks (4TD), four four spins with 12 bricks (4T), broken dolomite bricks (K) and no brick (B). A solar simulator has been used to perform collector tests under controlled conditions. In the experiments, three different radiation levels (500, 750 and 1000 W/m<sup>2</sup>) were used for the collector planes using a solar simulator. In collector tests, the air velocity was fixed at 4.17 m s<sup>-1</sup>. The experimental results showed that 5T and 4TD types of solar air heaters achieved the highest thermal efficiency, respectively. As a result, the use of dolomite bricks increased the collector efficiency by 18%. After the collector tests, apple drying experiments were carried out with types of 5T and B type collector. In the drying experiments, the Golden delicious apple variety was used and the changes in the drying time of the product, the drying rate, the rehydration capacity and the color properties were followed during the tests. Before drying, the apples were sliced in thickness of 5 mm and in both types the drying air temperature of two different types (5T,B) solar air heaters and constant air velocity was fixed at 4.17 m s<sup>-1</sup>. According to the results, the 5T design was more efficient in terms of drying performance and shortened the drying time by 100 minutes.

**Keywords:** Dolomite brick, solar air heater, solar energy, collector, drying

**2017, 108 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Recep KÜLCÜ'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamda bana her türlü konuda yardım eden Prof.Dr. Ahmet Kamil BAYHAN'a, Yrd.Doç.Dr. Sevil KARAASLAN'a, Yrd.Doç.Dr. Özgür KOŞKAN'a, Yrd.Doç.Dr. Murat KORU'ya ve jürimde yer alan Prof.Dr.Kamil EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

4460-YL1-15 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin imalat aşamasındaki desteklerinden dolayı ÖZEL SERGÜN GÜNİSİ İNŞAAT MALZEMELERİ PAZARLAMA İMALAT NAKLİYAT TURİZM SAN. VE TİC.LTD.ŞTİ.'ne teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımda katkısı olan Kerem DOĞAN'a, manevi desteğini esirgemeyen Nazan KEMALOĞLU'na ve grafik düzenlemelerinde yardımcı olan Kader Hasan ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan anneme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Gizem BATTAL  
ISPARTA, 2017

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                            | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Türkiye'nin nüfusu ve ekonomik durumu .....                                                     | 3     |
| Şekil 1.2. 2015 Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarının tüketimi içindeki payları.....                   | 5     |
| Şekil 1.3. Türkiye'de enerji üretimi ve tüketimi .....                                                     | 6     |
| Şekil 1.4. Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketimi .....                                                  | 8     |
| Şekil 1.5. Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli haritası.....                                               | 9     |
| Şekil 1.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası.....                                              | 10    |
| Şekil 1.7. Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m <sup>2</sup> -gün) ve güneşlenme süreleri (Saat)..... | 11    |
| Şekil 1.8. Isparta ilinin güneş potansiyel atlası .....                                                    | 11    |
| Şekil 1.9. Isparta global radyasyon değerleri (KWh/m <sup>2</sup> -gün) ve güneşlenme süreleri (Saat)..... | 12    |
| Şekil 2.1. Düzlemsel güneş kollektörü ve kısımları .....                                                   | 14    |
| Şekil 2.2. Isı borulu (vakumlu) güneş kollektörü .....                                                     | 17    |
| Şekil 2.3. Havalı güneş kollektörünün kesit ve açılmış görünüşü.....                                       | 18    |
| Şekil 3.1. Tek akışlı tek geçişli kollektörün şematik görünümü .....                                       | 19    |
| Şekil 3.2. Çift akışlı tek geçişli kollektörün şematik görünümü.....                                       | 20    |
| Şekil 3.3. Tek akışlı çift geçişli cam ayırıcılı kollektörün şematik görünümü .....                        | 21    |
| Şekil 3.4. Çift akışlı tek geçişli yutucu ayırıcılı kollektörün şematik görünümü .....                     | 21    |
| Şekil 3.5. Tek akışlı geri dönüşlü çift geçişli kollektörün şematik görünümü .....                         | 22    |
| Şekil 3.6. Dolomit tuğlaları.....                                                                          | 24    |
| Şekil 4.1. Deney kurulum resmi .....                                                                       | 38    |
| Şekil 4.2. Deneyde kullanılan kollektörün açık ve kapalı hali .....                                        | 39    |
| Şekil 4.3. Deneyde kullanılan güneş simülatörü ve kontrol paneli .....                                     | 40    |
| Şekil 4.4. Deneyde kullanılan radyal fan ve dimmer anahtarı.....                                           | 41    |
| Şekil 4.5. Deneyde kullanılan elma dilimleri.....                                                          | 42    |
| Şekil 4.6. Deney sırasında kullanılan sıcaklık ölçüm ve kayıt cihazları ile ısı çiftleri.....              | 43    |
| Şekil 4.7. Deneyde kullanılan kızgın telli hava hızı ölçer .....                                           | 43    |
| Şekil 4.8. Deneyde kullanılan radyometre .....                                                             | 44    |
| Şekil 4.9. Deneyde kullanılan renkölçer.....                                                               | 44    |
| Şekil 4.10. Deneyde kullanılan hassas terazi .....                                                         | 45    |
| Şekil 4.11. Denemelerde kullanılan kurutma fırını .....                                                    | 45    |
| Şekil 4.12. Kurutma kabinin dış ve içten görünüşü.....                                                     | 46    |
| Şekil 4.13. Deney sistemindeki sıcaklık ölçüm noktaları .....                                              | 47    |
| Şekil 4.14. Deney sisteminde yapılan uygulamalar ve kısaltmaları .....                                     | 48    |
| Şekil 4.15. Dolgusuz tasarımlı güneş kollektörü .....                                                      | 49    |
| Şekil 4.16. Kırık tasarımlı güneş kollektörü .....                                                         | 50    |
| Şekil 4.17. On beş tuğlalı tasarımlı güneş kollektörü.....                                                 | 51    |
| Şekil 4.18. On iki tuğlalı tasarımlı güneş kollektörü .....                                                | 51    |
| Şekil 4.19. Dört sıralı Ttipi 12 dolomit tuğlalı kollektör.....                                            | 52    |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.20. CIE L*, a* ve b* renk uzayı.....                                                                                             | 56 |
| Şekil 4.21. CIELAB sistemindeki renk dairesinin gösterimi.....                                                                           | 57 |
| Şekil 5.1. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dolgusuz kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi.....                             | 61 |
| Şekil 5.2. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dolgusuz kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi .....                    | 61 |
| Şekil 5.3. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi.....                | 62 |
| Şekil 5.4. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi .....       | 63 |
| Şekil 5.5. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi.....                  | 63 |
| Şekil 5.6. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi.....          | 64 |
| Şekil 5.7. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi.....                 | 65 |
| Şekil 5.8. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi .....                 | 65 |
| Şekil 5.9. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi.....          | 66 |
| Şekil 5.10. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi .....               | 67 |
| Şekil 5.11. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi .....        | 67 |
| Şekil 5.12. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi..... | 68 |
| Şekil 5.13. 500 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi.....        | 69 |
| Şekil 5.14. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dolgusuz kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi.....                            | 70 |
| Şekil 5.15. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında dolgusuz kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi.....                    | 70 |
| Şekil 5.16. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi .....              | 71 |
| Şekil 5.17. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi.....       | 72 |
| Şekil 5.18. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi .....                | 72 |
| Şekil 5.19. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi.....         | 73 |
| Şekil 5.20. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi .....               | 74 |
| Şekil 5.21. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi .....                | 74 |
| Şekil 5.22. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi.....         | 75 |
| Şekil 5.23. 750 W/m <sup>2</sup> ışıınım koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi .....               | 76 |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.24. 750 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dört sıralı T tipi tasar ımlı<br>kollektörün hava sıcaklıklarının değ iş imi .....         | 76 |
| Şekil 5.25. 750 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dört sıralı T tipi tasar ımlı<br>kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değ iş imi.....  | 77 |
| Şekil 5.26. 750 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dört sıralı T tipi tasar ımlı<br>kollektörün tuğ la sıcaklıklarının değ iş imi.....        | 78 |
| Şekil 5.27. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dolgusuz kollektörün hava<br>sıcaklıklarının değ iş imi.....                              | 79 |
| Şekil 5.28. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dolgusuz kollektörün yutucu<br>plaka sıcaklıklarının değ iş imi.....                      | 79 |
| Şekil 5.29. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında kırık dolomit tuğ lalı<br>kollektörün hava sıcaklıklarının değ iş imi .....               | 80 |
| Şekil 5.30. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında kırık dolomit tuğ lalı<br>kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değ iş imi.....        | 81 |
| Şekil 5.31. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında 15 tuğ lalı tasar ımlı<br>kollektörün hava sıcaklıklarının değ iş imi .....               | 81 |
| Şekil 5.32. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında 15 tuğ lalı tasar ımlı<br>kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değ iş imi.....        | 82 |
| Şekil 5.33. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında 15 tuğ lalı tasar ımlı<br>kollektörün tuğ la sıcaklıklarının değ iş imi.....              | 82 |
| Şekil 5.34. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında 12 tuğ lalı tasar ımlı<br>kollektörün hava sıcaklıklarının değ iş imi .....               | 83 |
| Şekil 5.35. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında 12 tuğ lalı tasar ımlı<br>kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değ iş imi.....        | 84 |
| Şekil 5.36. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında 12 tuğ lalı tasar ımlı<br>kollektörün tuğ la sıcaklıklarının değ iş imi.....              | 84 |
| Şekil 5.37. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dört sıralı T tipi tasar ımlı<br>kollektörün hava sıcaklıklarının değ iş imi .....        | 85 |
| Şekil 5.38. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dört sıralı T tipi tasar ımlı<br>kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değ iş imi..... | 86 |
| Şekil 5.39. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında dört sıralı T tipi tasar ımlı<br>kollektörün tuğ la sıcaklıklarının değ iş imi.....       | 86 |
| Şekil 5.40. Farklı ışı nım seviyelerine göre sıcaklık farkları .....                                                                              | 88 |
| Şekil 5.41. Kollektör tasar ımlarına göre sıcaklık farkları .....                                                                                 | 88 |
| Şekil 5.42. 500 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında anlık verim değ erleri değ iş imi...                                                       | 89 |
| Şekil 5.43. 750 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında anlık verim değ erleri değ iş imi...                                                       | 90 |
| Şekil 5.44. 1000 W/m <sup>2</sup> ışı nım koş ullarında anlık verim değ erleri değ iş imi                                                         | 91 |
| Şekil 5.45. Farklı ışı nım seviyelerine göre verimler.....                                                                                        | 92 |
| Şekil 5.46. Kollektör tasar ımlarına göre verimler .....                                                                                          | 92 |
| Şekil 5.47. Tasarı mlara göre nem içeriğ i ile kuruma süresi.....                                                                                 | 94 |
| Şekil 5.48. Tasarı mlara göre kuruma hız ı ile kuruma süresi.....                                                                                 | 95 |
| Şekil 5.49. Taze ve 1000W-5T tasar ımlı kollektörden elde edilen kurutma<br>havas ı sıcaklıklarının L*, a* ve b* renk değ erleri .....            | 96 |
| Şekil 5.50. Taze ve 1000W-B tasar ımlı kollektörden elde edilen kurutma<br>havas ı sıcaklıklarının L*, a* ve b* renk değ erleri .....             | 96 |
| Şekil 5.51. Farklı tasar ımlardan elde edilen kurutma havas ı<br>sıcaklıklarının toplam renk sapmaları .....                                      | 97 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 1.1. Türkiye'nin birincil enerji kaynakları tüketimi.....                                                         | 4     |
| Çizelge 1.2. Türkiye'de yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli .....                                                     | 6     |
| Çizelge 1.3. Türkiye'nin 2015 yılına ait yenilenebilir enerji<br>kaynaklarından enerji üretim tesislerinin verileri ..... | 7     |
| Çizelge 2.1. Üst örtü malzemelerinin optik özellikleri .....                                                              | 15    |
| Çizelge 2.2. Yutucu plaka kaplamaları ve özellikleri.....                                                                 | 15    |
| Çizelge 4.1. Renk açısının (Hue) bulunmasında kullanılan eşitlikler .....                                                 | 58    |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|            |                                                     |
|------------|-----------------------------------------------------|
| $A_k$      | Kollektör yüzey alanı ( $m^2$ )                     |
| $A_ç$      | Kollektör çıkış kesit alanı ( $m^2$ )               |
| BI         | Esmerleşme indeksi                                  |
| BP         | BP Petrolleri A.Ş.                                  |
| C          | Kroma ( $^{\circ}$ )                                |
| $C_p$      | Havanın özgül ısısı (kcal/gr $^{\circ}$ C)          |
| DPT        | Devlet Planlama Teşkilatı                           |
| EIE        | Elektrik İşleri Etüt İdaresi                        |
| $E_s$      | Özgül enerji tüketimi (MJ/kg $_{su}$ )              |
| $E_T$      | Tüketilen elektrik enerjisi miktarı (MJ)            |
| ETKB       | Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı                 |
| H          | Renk açısı (Hue) ( $H^{\circ}$ )                    |
| I          | Işınım Şiddeti ( $W/m^2$ )                          |
| IEA        | Uluslararası Enerji Ajansı                          |
| K.H.       | Kuruma hızı (g $_{su}$ /g kuru madde.dak)           |
| $M_t$      | t anında nem içeriği (%y.b.)                        |
| $M_t+dt$   | Taze ürün nem içeriği (%y.b.)                       |
| $\dot{m}$  | Kütlesel debi (kg/s)                                |
| $N_1$      | Ürünün ilk nem oranı (%y.b.)                        |
| $N_2$      | Ürünün son nem oranı (%y.b.)                        |
| r          | Yarıçap (cm)                                        |
| RC         | Yeniden su alma kapasitesi (%)                      |
| t          | Zaman                                               |
| $T_ç$      | Kollektörün çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}$ C)         |
| $T_g$      | Kollektörün giriş sıcaklığı ( $^{\circ}$ C)         |
| V          | Hava akış hızı (m/s)                                |
| W          | Ürünün ilk ağırlığı (g)                             |
| $W_0$      | Taze ürün ağırlığı (g)                              |
| $W_1$      | Yeniden su alan ürünün ağırlığı (g)                 |
| $W_k$      | Ürünün kuru ağırlığı (g)                            |
| $W_r$      | Örnekten uzaklaştırılan suyun kütlesi (kg)          |
| $W_{su}$   | Üründen buharlaşan su miktarı (g)                   |
| $W_y$      | Ürünün yaş ağırlığı (g)                             |
| x          | Kromatiklik değeri                                  |
| $\Delta a$ | Kırmızı renk sapması                                |
| $\Delta b$ | Sarı renk sapması                                   |
| $\Delta E$ | Toplam renk sapması                                 |
| $\Delta L$ | Renk parlaklığı sapması                             |
| $\Delta T$ | Sıcaklık farkı ( $^{\circ}$ C)                      |
| $\rho$     | Havanın yoğunluğu (kg/ $m^3$ )                      |
| $\eta$     | Kollektörün ısı verimi                              |
| Q          | Isıl güç (kJ/s)                                     |
| 500W-B     | 500 $W/m^2$ ışıнімda ve dolgusuz tasarım            |
| 500W-K     | 500 $W/m^2$ ışınímda ve kırık dolgulu tasarım       |
| 500W-4T    | 500 $W/m^2$ ışınímda ve 4 sıralı 12 tuğlalı tasarım |
| 500W-5T    | 500 $W/m^2$ ışınímda ve 5 sıralı 15 tuğlalı tasarım |

|           |                                                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|
| 500W-4TD  | 500 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 4 sıralı T tipi 12 tuğlılı tasarımı  |
| 750W-B    | 750 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve dolgusuz tasarımı                    |
| 750W-K    | 750 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve kırık dolgulu tasarımı               |
| 750W-4T   | 750 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 4 sıralı 12 tuğlılı tasarımı         |
| 750W-5T   | 750 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 5 sıralı 15 tuğlılı tasarımı         |
| 750W-4TD  | 750 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 4 sıralı T tipi 12 tuğlılı tasarımı  |
| 1000W-B   | 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve dolgusuz tasarımı                   |
| 1000W-K   | 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve kırık dolgulu tasarımı              |
| 1000W-4T  | 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 4 sıralı 12 tuğlılı tasarımı        |
| 1000W-5T  | 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 5 sıralı 15 tuğlılı tasarımı        |
| 1000W-4TD | 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlımda ve 4 sıralı T tipi 12 tuğlılı tasarımı |



## 1. GİRİŞ

Tarihin ilk dönemlerinden beri insanlık, yaşamsal ihtiyaçlarını karşılamak ve gelişmek için enerjiye ihtiyaç duymuş ve bu ihtiyacın miktarı gün geçtikçe artarak devam etmiştir. Enerji tüketimi ve kaynakları ülkelerin gelişmesi için stratejik öneme sahiptir. Günümüzde ülkeler sosyo-ekonomik kalkınmalarını, gelişmişlik düzeylerini, nüfus artışını ve yaşam standartlarını belirleme konusunda etkili olan enerji politikalarını, toplumların ve çevrenin geleceğini düşünerek sürdürülebilir kalkınma stratejilerine göre yeniden planlamaktadırlar.

Sanayi Devrimi, 18. yüzyılda ortaya çıkan insan ve hayvan gücünden yararlanmak yerine makine gücünün hâkim olduğu bir dönemin başlangıcını ifade etmektedir. Bu dönemde yeni enerji kaynaklarının kullanımı, ekonomik faaliyetlerin hız kazanması ve yeni teknolojilerin üretimde kullanılması, enerji üretimi ve tüketiminin artmasına neden olmuştur. Günümüzde hızla artan nüfus, gelişen ekonomi, hızlı sanayileşme ve yatırımlar sonucu gerçekleşen yüksek hacimli üretim, enerji kaynaklarının hızla tüketilmesine neden olmaktadır. Sanayi devriminden itibaren artan enerji ihtiyacı, yenilenemeyen doğal kaynakların hızla tüketilmesi, çevrenin kirlenmesi ve sera gazlarının kullanımı sonucu küresel iklim değişikliği gibi birçok soruna neden olmaktadır. Küresel iklim değişikliği sorunu, 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizleri ve çevre sorunları ile birlikte artan toplumsal bilinç, yenilenemeyen enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi güçlendirmiştir. Bu sayede doğru enerji kaynaklarının seçimi, sürdürülebilir enerji tercihlerinin yapılması ve ülkelere uygun yenilenebilir uygulamalara geçilmesi konusunda küresel ölçekte çözüm arayışları başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kullanımının yanı sıra ülkemizin büyük oranda yabancı fosil kaynaklara bağımlı olması, ekonomik gelişmeyi olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Fosil kaynaklı enerji kullanımı sonucunda atmosferde konsantrasyonu artan sera gazları ekolojik dengeyi bozmakta ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Dünyayı tehdit eden çevre sorunları olan iklim değişiklikleri ve küresel ısınmayı kontrol altında tutmak amacıyla 2005

yılı itibariyle ülkeler arasında yasal olarak bağlayıcı bir nitelikte olan Kyoto Protokolü imzalanmıştır.

Kyoto Protokolünde, ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltmaları, fosil kaynaklı yakıtların yerine yenilenebilir kaynaklı enerji kullanılması ve yeni temiz enerji kaynaklarının arayışı hedeflenmiştir. Kyoto protokolü hedeflerine ulaşabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması gerekmektedir. Dünyada yenilenebilir enerji kaynakları konusunda özellikle ekvatorial eksene yakın bölgelerde güneş enerjisi kullanımı yaygın bir şekilde artmaktadır. Ancak bu kullanımın önemli bir kısmını ısı sistemler oluşturmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemler konusunda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yatırımlar yapılmaktadır. Dünya genelindeki güneş enerjisinden elektrik üretiminin en yüksek olduğu ülkeler başta ABD olmak üzere bazı Avrupa ülkeleri ve Çin'dir.

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli ve yıllık güneşlenme süresi bakımından oldukça avantajlı durumdadır. Bu potansiyelin efektif kullanımı için, güneş enerjisi kullanımının arttırılması, güneş enerjisine dayalı teknolojik gelişmelerin hızlandırılması ve güneş enerjisinin daha yararlı bir şekilde kullanımının sağlanması hedeflenmelidir.

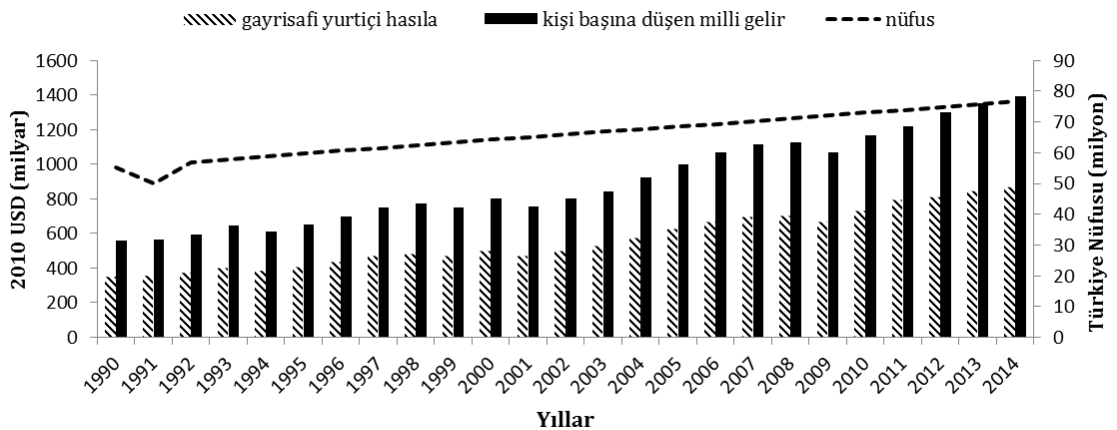
Türkiye'de en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden, özellikle konutlara sıcak su sağlanabilmesi için düz yüzeyli güneş kolektörlerinden yararlanılmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kolektörleri olarak adlandırılan sistemler ise, tarımda ürün kurutma, sera ısıtma ve mekan ısıtmada uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ülkemizde bol miktarda bulunan dolomit mineralinden üretilen tuğlaların hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin ısı depolama malzemesi olarak kullanılarak verimlerinin arttırılması hedeflenmiştir. Dolomit tuğlalarının kolektör içerisinde ısı depolaması ve farklı geometrik dizilişlerle hava akış yolunu uzatarak verimi arttırması düşünülmüştür. Dolomit tuğlası uygulamasının yüksek ısı depolama kapasitesi ve düşük maliyetiyle, literatürde yer alan diğer uygulamalardan daha etkin ve ekonomik olması beklenmektedir.

### 1.1. Enerji ve Yenilenebilir Enerji

Enerji, bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği olmakla birlikte çeşitli kaynaklardan yararlanarak üretilmektedir. Enerji kaynakları, herhangi bir yöntem ile enerji üretimini sağlamaktadır. Dünya üzerindeki enerji kaynakları, fosil enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Fosil enerji kaynakları, petrol, doğalgaz, kömür olurken yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, deniz kökenli enerjiler ve biyokütledir (Öztürk, 2013).

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) verilerine göre, Türkiye'nin nüfusu artış gösterirken, kişi başına düşen milli gelir de artmaktadır (Şekil 1.1). Bu durum, toplumdaki her bireyin, çalışma sektörlerindeki milli gelire katkısının ve buna paralel olarak tüketiminin de arttığını göstermektedir. Tüketimin artışı ile birlikte ülkemizin enerji ihtiyacı da artmaktadır. Ülkemiz, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmektedir. Bu durum ülkemizde cari açığı arttırarak genel ekonomik dengelerini etkilemektedir. Enerji ithalatından kaynaklanan cari açık artışını önlemenin yolu, yerli ve ulusal kaynaklara öncelik vermektir. Yenilenebilir enerji sistemleri, çevreyle dost olmanın yanında yakıt olarak ithal ürünlere ihtiyaç duymadıklarından, ülkemizin cari açığının ve enerji alanında yurt dışına bağımlılığının azaltılmasında stratejik öneme sahiptir.



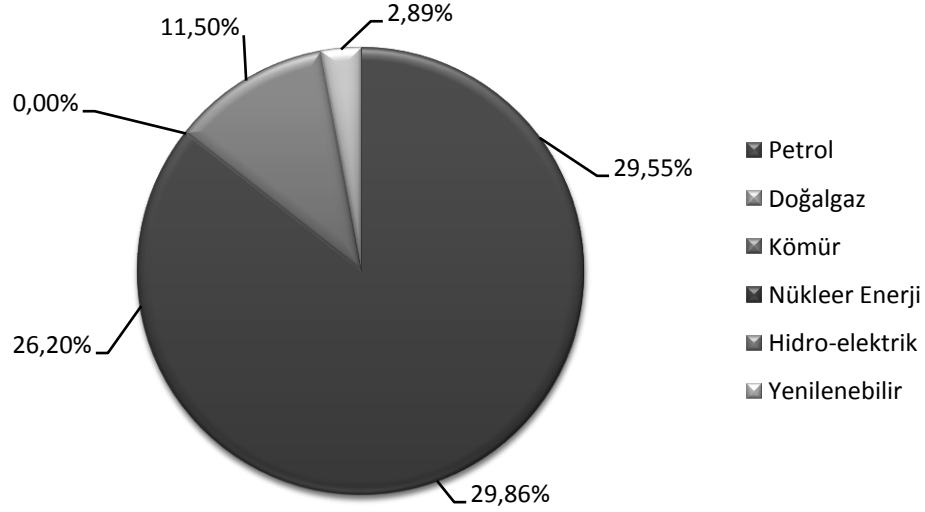
Şekil 1.1. Türkiye'nin nüfusu ve ekonomik durumu (IEA, 2017)

Bir başka sınıflandırmaya göre birincil enerji kaynakları, herhangi bir enerji dönüşümünden geçmemiş enerji taşıyıcılarıdır. Bu kaynaklar, hem yenilenemeyen hem de yenilenebilir enerji kaynaklarını kapsamaktadır. Günümüzde birincil enerji ihtiyacının önemli bir kısmı fosil enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Çizelge 1.1’de 2011-2015 yılları arasında Türkiye’nin enerji tüketim verileri gösterilmiştir. 2011 yılında Türkiye’nin birincil kaynaklardan enerji üretimi 118,1 MTEP seviyesindeyken, 2015 yılında bu rakam %10 artarak 131,3 MTEP düzeyine ulaşmıştır.

Şekil 1.2’de 2015 yılında ülkemizin birincil kaynaklarından enerji tüketiminin dağılımı gösterilmiştir. Ülkemiz 2015 yılında enerji ihtiyacının %29,55’lik kısmını petrolden, %26,20’lik kısmını kömürden, %29,86’lık kısmını doğalgazdan olmak üzere toplam %85,61’lik kısmını fosil enerji kaynaklarından karşılamıştır. Bu durum büyük kısmı yurt dışından ithal edilen fosil yakıtlara ödenen bedelin çok yüksek olmasının yanında birçok çevre sorununun da oluşmasına neden olmaktadır.

Çizelge 1.1. Türkiye’nin birincil enerji kaynakları tüketimi (BP, 2017)

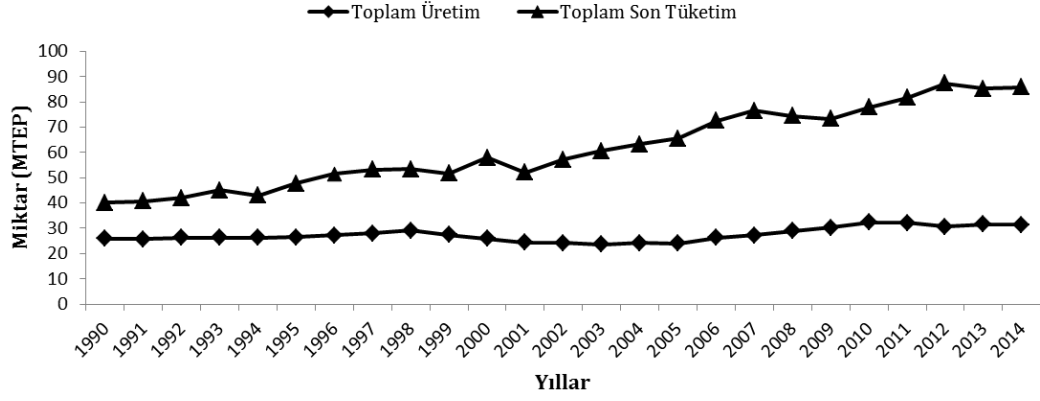
| <b>Birincil Enerji Tüketimi (MTEP)</b> | <b>2011</b>  | <b>2012</b>  | <b>2013</b> | <b>2014</b>  | <b>2015</b>  |
|----------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Petrol                                 | 30,7         | 31,4         | 33,6        | 34,4         | 38,8         |
| Doğalgaz                               | 41,2         | 40,7         | 41,1        | 40,2         | 39,2         |
| Kömür                                  | 33,1         | 35,7         | 31,6        | 36,1         | 34,4         |
| Nükleer Enerji                         | 0            | 0            | 0           | 0            | 0            |
| Hidro-elektrik                         | 11,8         | 13,1         | 13,4        | 9,2          | 15,1         |
| Yenilenebilir                          | 1,3          | 1,7          | 2,3         | 2,8          | 3,8          |
| <b>TOPLAM</b>                          | <b>118,1</b> | <b>122,7</b> | <b>122</b>  | <b>122,8</b> | <b>131,3</b> |



Şekil 1.2. 2015 Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarının tüketimi içindeki payları (BP, 2017)

Türkiye'de enerji üretimi, tüketimi tam olarak karşılamadığı için enerji ihtiyacı %71 gibi yüksek bir oranda ithalat yoluyla karşılanmaktadır (Yıldız, 2011). İthal edilen enerji kaynakları, fosil enerji kaynağı olan petrol, kömür ve doğalgazdır. Enerji ihtiyacının karşılandığı bu fosil kaynaklar, ülkemizi dışa bağımlı hale getirmektedir. Enerji bakımından dış kaynaklara bağımlılığın önüne geçilmesi ve herhangi bir kaynaktan ileri gelebilecek bir azalma, tükenme, kesilme, devre dışı kalma gibi problemlerin oluşmasına karşı önlemlerin alınması gerekmektedir (Uğurlu, 2006). Ülkemizin kullanmış olduğu enerji kaynaklarını çeşitlendirmesi, dışa bağımlılığını azaltması ve mali açıdan uygun olması gerekmektedir.

IEA'nın enerji alanındaki istatistiklerine göre,(Şekil1.3), Türkiye'nin enerji talebi son yıllarda hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Ülkemizin enerji ihtiyacını tam anlamıyla karşılayabilmesi için enerji kaynaklarından elde edilen üretime daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye’de enerji üretimi ve tüketimi (IEA, 1990-2014)

Yenilenebilir enerji, yeryüzünde ve doğada genelde herhangi bir işleme ihtiyaç duyulmadan temin edilebilen, fosil kaynaklı olmayan, daima kendini yenileyen ve kullanılmaya hazır olarak doğada bulunan enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, diğer enerji kaynaklarına göre insan ve çevre açısından daha zararsız olduğu için dikkat çekmektedir (Öztürk, 2013).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından Çizelge 1.2’te olduğu gibi en çok biyokütle ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Jeotermal enerji kullanımı sınırlı olmakla birlikte bu enerjiden yararlanma üçüncü sırada yer almaktadır. Rüzgar enerjisi kullanımı giderek artış gösterirken güneş enerjisi kullanımı düşük düzeydedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için yeni tekniklere ve uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye’de yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (Öztürk, 2013)

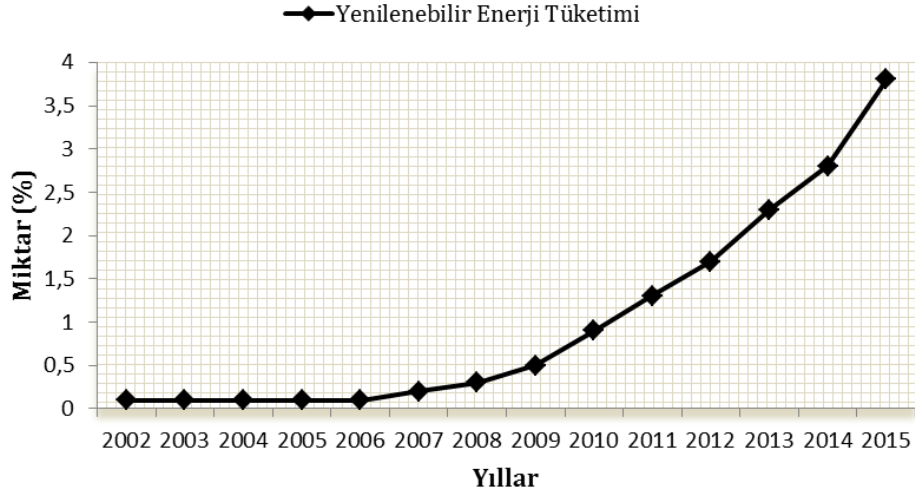
| Yenilenebilir Enerji Türü |                             | Kullanım Enerji Türü  | Doğal Potansiyel | Teknik Potansiyel | Ekonomik Potansiyel |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Güneş Enerjisi            |                             | Elek.Enj.(milyar kWh) | 977000           | 6105              | 305                 |
|                           |                             | Isı (MTEP)            | 80000            | 500               | 25                  |
| Hidrolik Enerji           |                             | Elek.Enj.(milyar kWh) | 430              | 215               | 124,5               |
| Rüzgar Enerjisi           | Direkt Rüzgar Enj. Karasal  | Elek.Enj.(milyar kWh) | 400              | 110               | 50                  |
|                           | Direkt Rüzgar Enj. Denizsel | Elek.Enj.(milyar kWh) | -                | 180               | -                   |
|                           | Deniz Dalga Enj.            | (milyar kWh)          | 150              | 18                | -                   |
| Jeotermal Enerji          |                             | Elek.Enj.(milyar kWh) | -                | -                 | 1,4                 |
|                           |                             | Isı (MTEP)            | 31500            | 7500              | 2843                |
| Biyogaz Enerjisi          |                             | Yakıt (klasik MTEP)   | 30               | 10                | 7                   |
|                           |                             | Yakıt (modern MTEP)   | 90               | 40                | 25                  |

Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan 2015 yılına ait kurulu güç, elektrik üretimi, elde edilen ısı ve 2023 yılı hedefleri Çizelge 1.3'te verilmiştir. Kurulu güç ve elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerji birinci sırayı alırken, sadece güneş ve jeotermal enerjiden ısı elde edilmektedir. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık potansiyeli sırasıyla hidrolik enerji için 160 TWh, rüzgar enerjisi için 48000 MW, güneş enerjisi için 1500 kWh/m<sup>2</sup>, biyokütle enerjisi için 20 Milyon TEP ve jeotermal enerji için ise 31500 MWt/2000 MW olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu kaynaklar için verilen enerji potansiyelleri değerlendirilmeli ve yenilenebilir enerji verimliliğini destekleyen proje ve önerilere ihtiyaç duyulmaktadır (ETKB,2017).

Çizelge 1.3. Türkiye'nin 2015 yılına ait yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim tesislerinin verileri (ETKB,2017)

|                               | HİDROLİK  | RÜZGAR   | GÜNEŞ | BİYOKÜTLE | JEOTERMAL |
|-------------------------------|-----------|----------|-------|-----------|-----------|
| <b>Kurulu Güç (MW)</b>        | 25.867,8  | 4.503,2  | 248,8 | 362,4     | 623,9     |
| <b>Elektrik Üretimi (GWh)</b> | 67.1453,8 | 11.652,5 | 194   | 1.758,2   | 3.424,0   |
| <b>Isı (Bin TEP)</b>          | -         | -        | 795   | -         | 4,99      |
| <b>2023 Hedefi (MW)</b>       | 36000     | 20000    | 5000  | 1000      | 1000      |

BP tarafından 2002-2015 tarihleri arasında yapılan Dünya Enerjisinin İstatistik incelemesi, yenilenebilir enerji tüketimi Şekil 1.4'te yer almaktadır. Ülkemizin yenilenebilir enerji tüketimi yıllara bağlı olarak sürekli artış halindedir. Bu sayede, ülkemizin dışa bağımlılığı azalarak kaynak çeşitlendirmesi ile enerji arz güvenliği artacaktır.

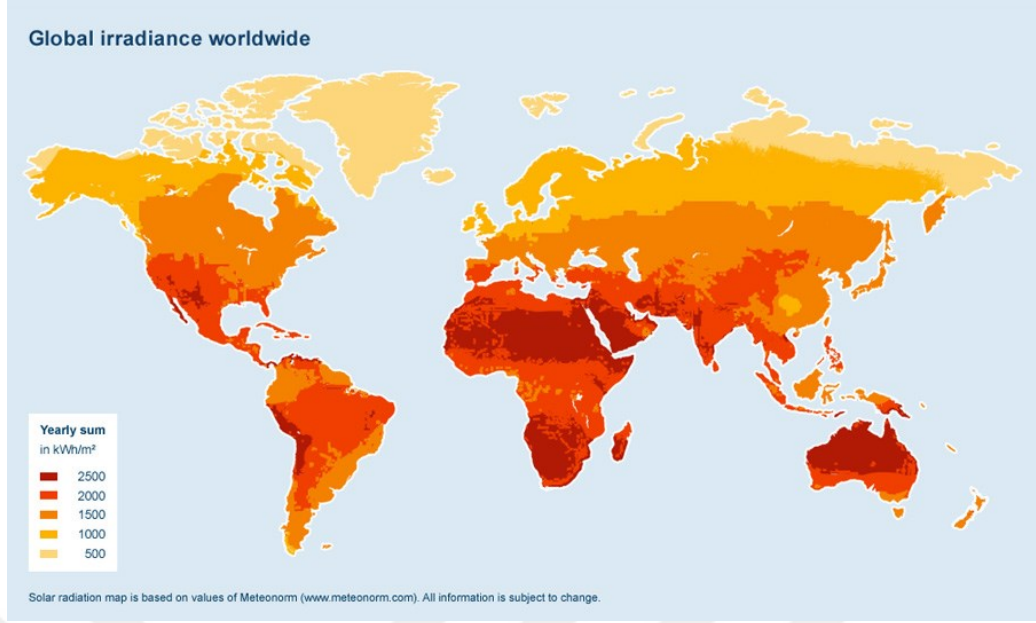


Şekil 1.4. Ülkemizin yenilenebilir enerji tüketimi

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli bakımından oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu yelpaze içerisinde güneş, hidrolik, biyokütle, rüzgar ve jeotermal kaynaklar önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli incelendiğinde en yüksek potansiyele sahip kaynak güneş enerjisi olduğu görülmektedir. Ancak ülkemizin bu potansiyeli yeterli seviyede kullanılamamaktadır. Bu seviyenin artırılması için, güneş enerjisiyle çalışan daha verimli ve düşük maliyetli sistemlerin geliştirilmesinin yanısıra karar alıcılar tarafından farklı teşvik mekanizmalarının işletilmesi de gerekmektedir.

#### 1.1.1. Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli

Dünyanın dönmesi, güneş etrafındaki dönüş ekseninin simetrik olmayışı, küresel yapısı ve atmosferde bulunan farklı gaz kompozisyonları gibi nedenler güneş enerjisinin her yere aynı düzeyde ulaşmamasına neden olmaktadır. Genel itibariyle güneş enerjisi potansiyeli, ekvator çizgisine yaklaştıkça artmakta, kutup noktalarına doğru azalmaktadır (Şekil 1.5). (Varınca ve Gönüllü, 2006).



Şekil 1.5. Dünyanın güneş enerjisi potansiyeli haritası

Güneş ışınımı, yaşamın devam ettiği tüm alanlarda kullanılabilir durumdadır (Akpınar vd., 2008). Dünya'nın yüzeyine ulaşan güneş enerjisi miktarının,  $1.22 \times 10^{14}$  TEK (ton kömür eşdeğeri) ya da  $0.814 \times 10^{14}$  TEP (ton petrol eşdeğeri) değerlerinde olduğu tahmin edilmektedir. Bir yılda güneş enerjisinden gelen ışınım miktarı kömür rezervlerinin 50 katına, petrol rezervlerinin 800 katına eşittir (Özgöçmen, 2007).

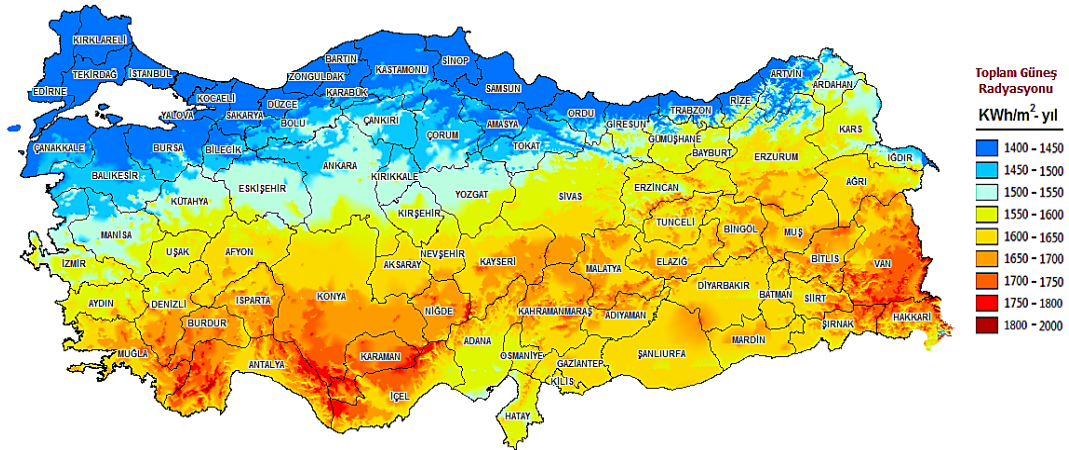
Ülkemizin güneş enerjisinden yararlanma potansiyelinin İspanya dışındaki tüm Avrupa ülkelerinden daha yüksektir. Türkiye ortalama  $1000\text{--}1450 \text{ kWh/m}^2$  yıl değer aralığında güneş enerjisinden faydalanabilir potansiyele sahiptir (Gümüş ve Tüzün, 2009). Türkiye'nin güneşlenme süresi birçok Avrupa ülkesinden daha fazla olmasına rağmen; ülkemize göre bu ülkeler güneş enerjisine dayalı sistemlerden daha fazla yararlanmaktadır. Bu nedenle ülkemizde yapılabilecek güneş enerjisine dayalı sistemlerin kullanımı teşvik edilmelidir (Kotcioğlu, 2011).

Avrupa Birliği'nin 2020 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklı uygulamalar içeren yol haritasında, toplam enerji tüketiminin %20'sinin yenilenebilir kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir. AB enerji ithalatını ve ekonomisini yeterli bir düzeye getirebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır (Arslan, 2015).

### 1.1.2. Türkiye' nin güneş enerjisi potansiyeli

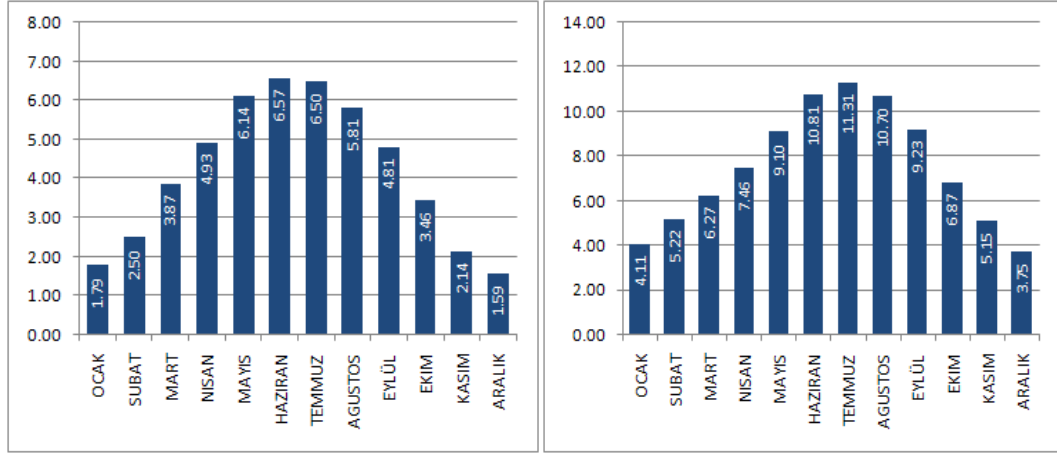
Türkiye güneş enerjisi global ışınlam radyasyonu ve güneşli gün sayısı açısından oldukça avantajlı konumdadır. Güneş ışınlam değerlerine bakıldığında, ülkemizin yılda metrekare başına 1100 kWh'lık güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Altın, 2004).

Yenilenebilir enerji alanında Türkiye, coğrafi konumu itibariyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. ETKB tarafından hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m<sup>2</sup>yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.6) (ETKB, 2014).



Şekil 1.6. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) (EİE,2017)

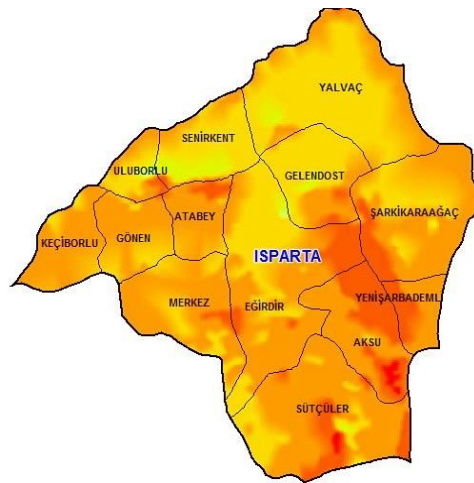
36° ve 42° kuzey enlemleri arasındaki güneş kuşağında bulunan, yıllık ortalama güneş ışınlamı 3.6 kWh/(m<sup>2</sup> gün) olan ve yıl boyunca toplam güneşlenme süresi yaklaşık olarak 2640 saat olan ülkemizde, su ısıtma kollektörleri hariç güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmamaktadır (Şekil 1.7). Sıcak su üretiminde kullanılan bu kollektörler genellikle güneşli bölgeler olarak bilinen Akdeniz ve Ege kıyı bölgelerinde ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır (Kaygusuz, 2002).



Şekil 1.7. Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün) ve güneşlenme süreleri (Saat) (EİE,2017)

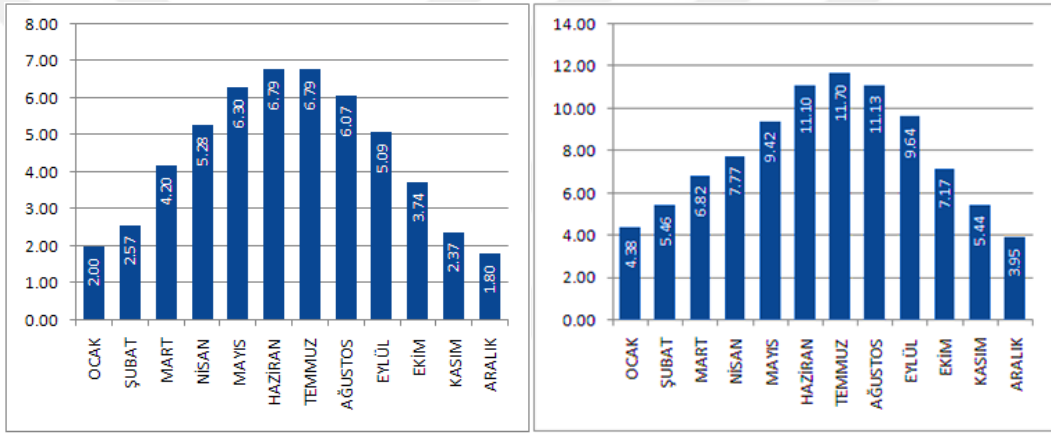
Güneş enerjisi ile sıcak su hazırlama sistemleri, hazırlanacak suyun kullanım yerine, suyun ısıtılma şekline, sistemdeki suyun dolaşımına ve amacına göre değişiklik gösterirler. 2001 yılı istatistiklerine göre evlerde sıcak su ihtiyacının %10.1'lik kısmı güneş enerjisinden karşılanmıştır (Hepbaşlı ve Utlı, 2004).

Akdeniz Bölgesi'nin kuzeyinde bulunan 37° 47' 30" kuzey enleminde ve 30° 34' 03" doğu boylamında yer alan Isparta ilinin doğusunda Eğirdir, kuzeyinde Atabey ve Gönen ilçeleri, batısında Burdur ili bulunmaktadır (Şekil 1.8). Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Kışları serin ve yağışlı yazları ise sıcak ve kurak geçmektedir. Çevresindeki göllerin iklim üzerinde önemli etkisi vardır. Yağışların büyük bir bölümü kış ve ilkbahar aylarında düşmektedir (Akyol,2013).



Şekil 1.8. Isparta ilinin güneş potansiyel atlası (EİE,2017)

İsparta ilinin kış mevsimi ortalama güneş radyasyonu değeri  $167,7 \text{ W/m}^2$ 'dir ve Şubat ayı itibariyle güneş radyasyonu düzgün bir artış göstermektedir. İsparta ilinin yaz mevsiminde ortalama güneş radyasyonu değerinin  $430,4 \text{ W/m}^2$  olduğu görülmektedir. İsparta'nın ortalama güneşlenme süresi ise 7,24 saat olarak hesaplanmıştır. Güneş ışınlam radyasyonu değerleri incelendiğinde, yaz mevsiminde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Özellikle Şekil 1.9'da görüldüğü üzere Temmuz ayında en yüksek seviyelere ulaşmış daha sonra azalmıştır. İsparta bölgesindeki sıcaklık, güneş ışınlam radyasyonu ve güneşlenme süreleri yaz mevsimi içerisinde en yüksek seviyededir (Akyol,2013).



Şekil 1.9. İsparta global radyasyon değerleri ( $\text{KWh/m}^2\text{-gün}$ ) ve güneşlenme süreleri (Saat) (EİE,2017)

Türkiye Güneş ışınlam değerlerine bakıldığında dört kuşağa ayrılmaktadır ve bu bölgelere bakılarak aralarında çok az bir fark olduğunu alınan veriler ile saptanmaktadır. Türkiye'nin coğrafi ve jeopolitik özelliklerinin sağladığı bu imkanı değerlendirmek, yıllık güneş enerjisi elektrik üretimi teknik potansiyelinin 380 milyar kWh olduğu ülkemizde bu enerji kaynağının kazanımını sağlamak gerekmektedir (Aksungur, 2013).

## 2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisi sistemleri materyal, yöntem ve teknoloji bakımından çok çeşitlilik göstermektedir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE 3680-1989), ısı taşıyıcı akışkan cinsine göre güneş kollektörlerini iki ana başlık altında incelemektedir;

- Su Isıtmalı Güneş Kollektörleri,
- Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri.

Güneş enerjisi kullanan bu sistemler, güneş ışınım enerjisini ısı enerjisiye dönüştüren sistemlerdir. Güneş enerjili ısı sistemlerinde düşük ya da yüksek sıcaklıktaki uygulamalar kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık uygulamalı sistemlerle, yapı ve mekân ısıtılması, sanayi ve tarım için gerekli ısı gereksinimleri karşılanırken, yüksek sıcaklık uygulamaları ise buhar üretiminden maden eritmeye kadar çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Ültanır, 1998).

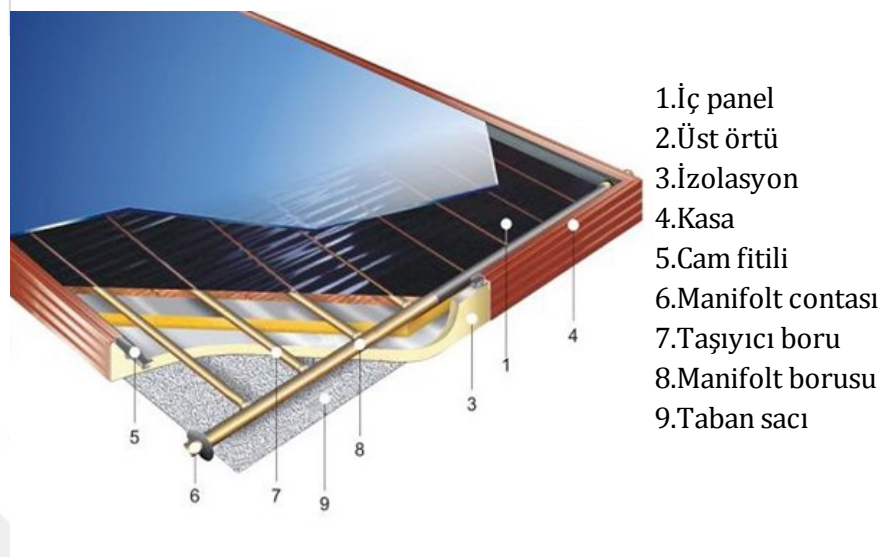
### 2.1. Su Isıtmalı Güneş Kollektörleri

Sıcak su üretimi amacıyla kullanılan güneş kollektörleri, yutucu yüzeyin geometrik şekli ve yapısal özelliklerine göre düzlemsel ve vakum tüplü olarak iki kategoriye ayrılmaktadır.

#### 2.1.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisinden aldığı enerjiyi sıvı ya da hava gibi bir akışkana ısı olarak aktarabilen güneş enerjisi sistemleridir. Bu güneş kollektörleri genel olarak konutlarda sıcak su eldesi amacıyla kullanılmaktadır. Ulaşabildikleri sıcaklık 70°C olduğu bilinmektedir. Düzlemsel güneş kollektörleri, camdan yapılan bir üst örtü, cam ile yutucu plaka arasındaki boşluk, metal veya özel alaşımlardan imal edilmiş yutucu plaka, arka, yan ve alt kısımlara yerleştirilen yalıtım malzemeleri ve bu bölümleri içine alan bir kasadan meydana gelmektedir (Şekil 2.1).

Düzlemsel güneş kolektörleri bulunulan yerin enlemine bağlı olarak maksimum düzeyde güneşi alacak şekilde sabit bir açı ile yerleştirilmektedir (Uyarel ve Öz, 1987).



Şekil 2.1. Düzlemsel güneş kolektörü ve kısımları (Anonim, 2017)

#### 2.1.1.1.1. Üst örtü

Üst örtü, kolektörün üst kısmından oluşan ısı kayıplarını en aza indiren ve güneş ışınlarının geçmesini sağlayan bir malzemeden oluşmaktadır. Cam, güneş ışınlarının geçebilmesine ve yutucu plakadan yayılan uzun dalga boylu ışınların geri yansıtmasına olanak sağlayacak kolektör örtüsü için uygun bir malzemedir. Camın kolektör üst yüzey örtüsü olarak kullanılmasının başlıca nedenleri; kolaylıkla temin edilebilmesi, görünür ışınları geçirebilmesi, yutucu plakadan yansıyan ışınların dış ortama çıkmasını engellemesi ve iklim koşullarından ve güneş ışınımından etkilenmemesidir. Kalınlığı 3 mm olan cam malzeme, güneş ışınımının görülebilen kısmının %82-90'ını geçirebilmektedir. Cam için uygulanan özel yüzey işlemleri vardır ve böylece camın etkinliğinin artmasıyla birlikte kolektör verimi de %10-15 oranında artabilmektedir (Uyarel ve Öz, 1987).

Çizelge 2.1. Üst örtü malzemelerinin optik özellikleri (Özbalta vd., 2003)

| Malzeme               | Kalınlık (mm) | Güneş Işınımı |              |             | Uzun Dalga Işınım |              |             |
|-----------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------------|--------------|-------------|
|                       |               | Geçirme (%)   | Yansıtma (%) | Soğurma (%) | Geçirme (%)       | Yansıtma (%) | Soğurma (%) |
| Levha cam             | 3-4           | 83-91         | 8-9          | 1-8         | 0-3               | 11-15        | 85-88       |
| Akrilik               | 2-3           | 88-92         | 9            | 3           | 2                 | 8            | 90          |
| Polikarbonat          | 3             | 76-89         | 16           | 8           | 4-6               |              |             |
| Cam elyaflı polyester | 1             | 82-90         | 9            | 9           | 3-6               | 5            | 92          |
| Film PVF (teflon)     | 0.1           | 90-94         | 8            | 1.2         | 40-43             | 4-8          | 59-73       |
| FEB (teflon)          | 0.0025-1      | 95-97         | 4            | 0.1         | 54-58             | 2-7          | 35-44       |
| PVC                   | 0.3           | 85            |              |             |                   |              |             |
| PETB                  | 0.3           | 85-86         |              |             | 32                |              |             |

#### 2.1.1.1.2. Yutucu (Emici) plaka

Güneş ışınım enerjisini ısı enerjisine dönüştürebilen ve bu ısıyı ısı transfer görevini üstlenerek hava ya da suya iletebilen elemanlardır. Yutucu plakanın yüzeyi genellikle koyu renktedir ve bazı durumlarda seçici bir madde ile kaplanmaktadır. Kollektör yüzeyinde seçici madde kullanılması ortalama verimi %5 oranında artmaktadır. Isı transfer akışkanının sıvı ya da hava olması halinde yutucu plaka, farklı şekillerde tasarlanmaktadır (Uyarel ve Öz, 1987).

Çizelge 2.2. Yutucu plaka kaplamaları ve özellikleri (Tırıs vd., 1997)

| Kaplama                 | Yayma Oranı ( $\epsilon$ ) | Yutma Oranı ( $\alpha$ ) |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Siyah boyalı yüzeyler   | 0.10-0.13                  | $\alpha > 0.90$          |
| Yarı seçici yüzeyler    | 0.2-0.5                    | $\alpha > 0.90$          |
| Seçici yüzeyler         | 0-0.2                      | $\alpha > 0.90$          |
| Seçici olmayan yüzeyler | 0.5-1.0                    | $\alpha > 0.90$          |

#### **2.1.1.1.3. Isı yalıtımı**

Düz yüzeyli kollektörde ısı kayıplarını en aza indirebilmek için yutucu plaka ile kollektör kasası arasına uygun bir yalıtım malzemesi kullanılmaktadır.

Yutucu plaka sıcaklığı, kollektörün boş kalması halinde 150°C'ye kadar ulaşabilmekte olup kullanılan yalıtım malzemesinin ısıya dayanıklı malzemesi olması gerekmektedir. Kollektörün alt ve yan yüzeylerinin yalıtılması ısı kayıplarını azaltmaktadır. Yalıtım uygulama işlemi ile sistemin ısı tutma kapasitesi korunmaktadır. Yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği düşük, yüksek sıcaklık ve gerilimlere karşı dayanıklı olması gerekmektedir (Uyarel ve Öz, 1987).

#### **2.1.1.1.4. Kollektör kasası**

Kollektörün kasası için giriş ve çıkışların tam sızdırmazlığa sahip olması en temel niteliktir. Kollektör kasalarının yapımında metal ya da plastik malzemeler kullanılmaktadır. Plastik bir kasa kullanılması durumunda mor ötesi ışınlardan zarar görmemesi için UV koruyucularla kaplanması gerekmektedir. Kollektör kasaları kollektörü sağlam bir şekilde taşımali, ısı genleşmenin olabileceği bağlantı yerlerinde sızıntının önlenmesi için conta kullanılmalı, kollektör kolay temizlenebilmeli, kollektörün birleşme yerleri yalıtılmalı ve en önemlisi kollektörün dış ortama doğru su veya hava sızdırmaması gerekmektedir (Uyarel ve Öz, 1987).

#### **2.1.2. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri**

Vakum tüplü güneş kollektörleri, vakumlu cam borulardan ve gerek duyulması halinde absorbe edilen yüzeye gelen enerjiyi arttırabilmek için metal veya cam yansıtıcılardan oluşmaktadır. Bu sistemlerin çıkış sıcaklıkları daha yüksek olduğu için (100-120°C), düzlemsel güneş kollektörlerinden daha verimli çalışırlar. Kollektörde bulunan her vakum tüp, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi iç içe geçmiş 2 cam borudan oluşmaktadır. Vakum tüpe gelen güneş ışınlarının %93'ü

emilip ısıya çevrilmekte ve optik kayıplar en aza (%7) indirilmektedir (Kılıç ve Öztürk, 1983).



Şekil 2.2. Isı borulu (vakumlu) güneş kollektörü (EİE, 2006)

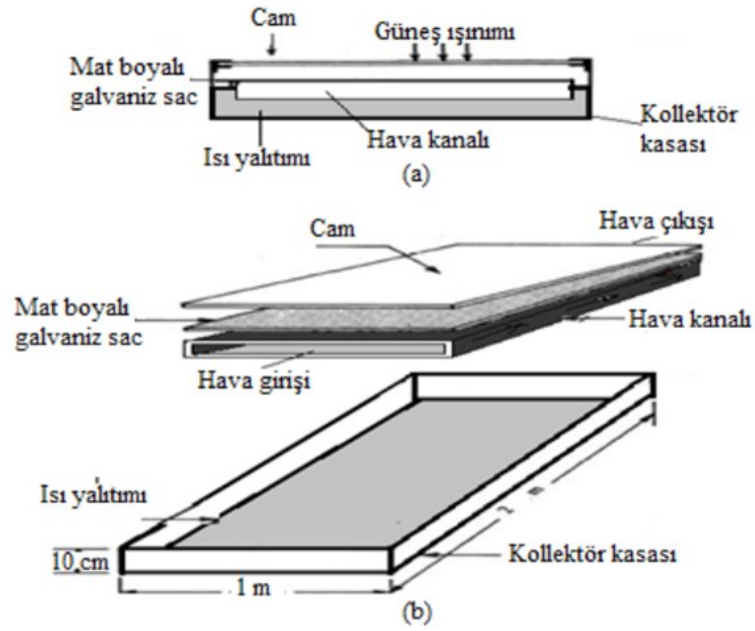
Vakum tüplü güneş kollektörlerinin ısı verimleri geleneksel kollektörlerden daha yüksektir. Verimin yüksek olmasının temel nedeni vakum ortamının konveksiyon yoluyla ısı transferini azaltmasıdır (Garrison, 1983).

## 2.2. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri

Hava ısıtmalı güneş kollektörleri, güneş enerjisinin yutucu plaka tarafından ısı enerjisiye dönüştürüldüğü ve bu enerjinin akışkan olarak havaya aktarıldığı sistemlerdir. Kollektörden elde edilen yararlı ısı, kollektörden geçirilen havanın giriş ve çıkış entalpilerinin farkına eşit olmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kollektörlerinde ısı verimliliği arttırmak amacıyla farklı yutucu yüzey tasarımları geliştirilerek yeni sistemler elde edilmektedir.

Yutucu yüzey ile hava arasındaki ısı transfer katsayısının yüksek olması ve yutucu yüzeyin pürüzlü yapıya sahip olması ısı verimi olumlu yönde etkilemektedir.

Hava ısıtmalı güneş kollektörleri birçok alanda kullanılmakta olup özellikle son yıllarda tarımsal ürün kurutulması, sera ya da bina ısıtılmasında kullanılmaktadır (Tırıs, 1997). Hava ısıtmalı güneş kollektörünün kesit görünümü, kollektör kasasının içine yerleştirilen kısmı ve kollektör kasasının perspektif Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Havalı güneş kollektörünün kesit ve açılmış görünüşü (Sancar, 2014)

Hava ısıtmalı güneş kollektörlerin avantajları; donma sorununun olmaması, basit ve güvenli yapıları ve korozyon sorununun olmaması şeklinde sıralanabilir.

Hava ısıtmalı güneş kollektörlerin dezavantajları ise sadece mekan ısıtma ve kurutma sistemlerinde kullanılabilir olmaları, akış kanalları için geniş alana ihtiyaç duymaları ve havanın iyi bir ısı transfer akışkanı olmamasıdır. Hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin verimi, su ısıtmalı güneş kollektörlerine göre daha düşüktür. Bu nedenle verimi arttırmak amacıyla farklı tasarımlar yapılmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin yutucu plakaları, ısıtılan yüzeyleri çoğaltmak ve ısı transferini arttırmak için kanatlı yapılmaktadırlar (Uyarel ve Öz, 1987; Özbalt vd., 2003).

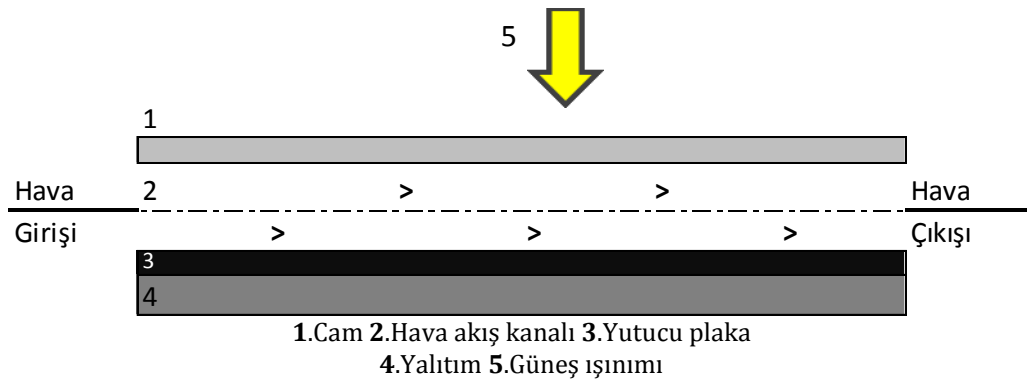
## 2.2.1. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerinin Akış Kanalları Tasarımlarına Göre Sınıflandırma

Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinde uygulanan farklı tasarımlarda hava akış kanalları, kolektör verimini ve çıkış havası sıcaklığını etkilemektedir. Hava akış kanalları tasarımlarında 4 adet sınıflandırmaya yer verilmektedir. Kollektörlerde kullanılan hava akış şekilleri aşağıdaki gibidir;

- Tek akışlı-tek geçişli,
- Çift akışlı-tek geçişli,
- Tek akışlı-çift geçişli,
- Tek akışlı-geri dönüşlü çift geçişli.

### 2.2.1.1. Tek akışlı-tek geçişli

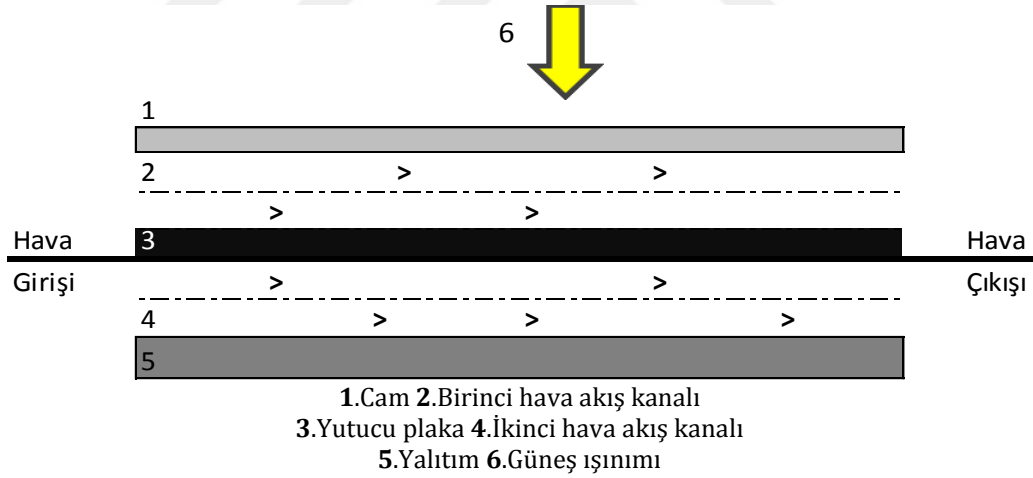
Tek akışlı-tek geçişli hava ısıtmalı güneş kolektörleri basit yapıdadırlar ve yaygın olarak kullanılırlar. Bu tip hava ısıtmalı güneş kolektörleri, bir hava akış kanalı, üst örtü, yutucu plaka ve yalıtım malzemesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Hava akış kanalının altına bir adet yutucu plaka ve üzerine ise cam gibi şeffaf bir üst örtü yerleştirilmektedir. Yutucu plaka genellikle siyah yüzeyli ve seçici geçirgen özelliğe sahiptir. Isı kaybını önlemek amacıyla alt ve yan yüzeyler yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Bu yalıtım malzemesi cam yünü, kaya yünü ya da poliüretan olabilmektedir. Güneş ışınımı üst örtü tarafından geçirilerek yutucu plaka üzerindeki kaplama malzemesi tarafından absorbe edilmektedir. Tek akışlı-tek geçişli hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin, havanın doğrudan girmesini ve kanaldan ayrılmasını sağlayan giriş ve çıkış kanalları vardır (Mohseni-Languri vd., 2009).



Şekil 3.1. Tek akışlı-tek geçişli kolektörün şematik görünümü

### 2.2.1.2. Çift akışlı-tek geçişli

Çift akışlı-tek geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörü, tek akışlı tek geçişli kollektörlere çok benzemektedir. Bu iki hava ısıtmalı güneş kollektörü arasındaki temel fark, hava akış kanal sayılarının farklı olmasıdır. Çift akışlı-tek geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörünün iki hava akış kanalı bulunmaktadır (Şekil 3.2). Üstte bulunan kanal bir yutucu plaka ve camlı üst örtüden meydana gelmektedir. İkinci kanal yani altta bulunan kanal ise aynı yutucu plaka ve yalıtım malzemesinden meydana gelmektedir. Kollektöre giren hava bölünmüş durumdadır; bir kısmı üst kanaldan geçerken diğer hava alt kanaldan geçmektedir. Kollektöre giren hava iki kanaldan paralel akış gerçekleştirerek çıkar. Aynı kütle debisinde çift akışlı-tek geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin ısı transfer alanı ve ısı performans, tek akışlı tek geçişli kollektör sistemine göre daha yüksektir (Forson vd., 2003).

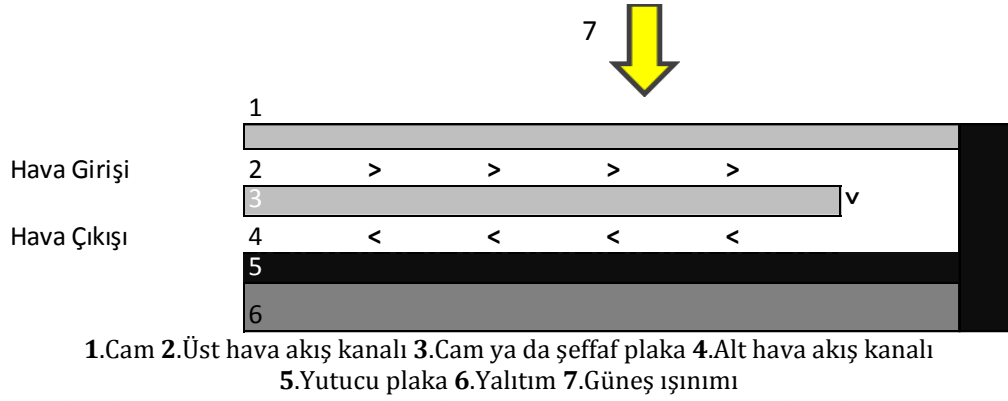


Şekil 3.2. Çift akışlı-tek geçişli kollektörün şematik görünümü

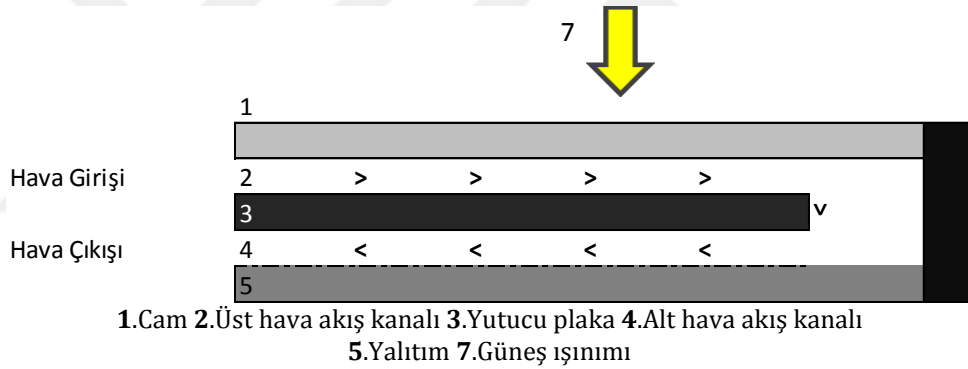
### 2.2.1.3. Tek akışlı-çift geçişli

Tek akışlı-çift geçişli hava ısıtmalı güneş kollektöründe üst üste iki adet hava akış kanalı bulunmaktadır (Şekil 3.3). Hava üst kanaldan geçer, kanalın ucunda yön değiştirir, alt kanala geçer ve hava alt kanaldan devam ederek kollektörü terk eder. Bu kanallar cam ya da şeffaf tabaka ile ayrılmaktadır. İkinci tasarımda Şekil 3.4'de ise üst ve alt kanallar yutucu bir plaka ile ayrılmıştır. Üst hava akış kanalı cam ya da yutucu plaka ile oluşturulmaktadır. Alt hava akış kanalı ise aynı

yutucu plaka ve yalıtım malzemesinden meydana gelmektedir (Sopian vd., 2009).



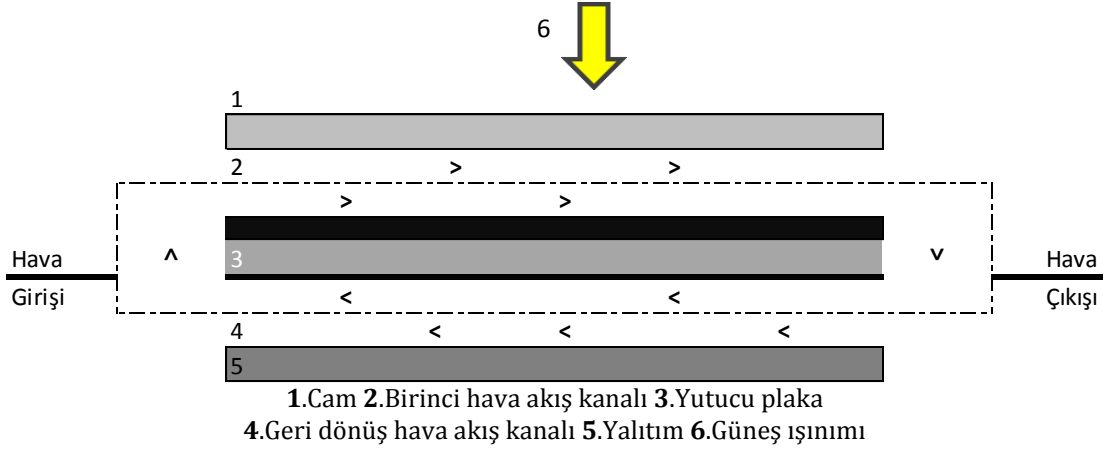
Şekil 3.3. Tek akışlı-çift geçişli cam ayırıcılı kollektörün şematik görünümü



Şekil 3.4. Tek akışlı-çift geçişli yutucu ayırıcılı kollektörün şematik görünümü

#### 2.2.1.4. Tek akışlı-geri dönüşlü çift geçişli

Tek akışlı-geri dönüşlü tasarımlı hava ısıtmalı güneş kollektörünün çıkış sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Isınan havanın kısmi dolaşımı, çıkış havası sıcaklığını değiştirebilmektedir. Şekil 3.5’de gösterildiği gibi hava ısıtmalı güneş kollektörü iki kanaldan meydana gelmektedir. Üst kanal üstte cam ve alt kısımda yutucu plakadan oluşmuştur. Diğer kanalın duvarları ise izole edilmiştir. Isınan havanın bir kısmı alt kanala aktarılır ve ana hava akış kanalına doğru ilerler. Sistemde tek bir giriş ve çıkış vardır (Ho vd., 2009).



Şekil 3.5. Tek akışlı-geri dönüşlü çift geçişli kollektörün şematik görünümü

### 2.2.2. Dolgu Malzemesine Göre Sınıflandırma

Hava ısıtma güneş kollektörlerinde ısı performansını arttırmak için hava akış yolu tasarımları dışında farklı dolgu malzemeleri de kullanılmaktadır. Bu kapsamda hava ısıtma güneş kollektörleri dolgu malzemesi kullanımına göre de sınıflandırılabilir.

#### 2.2.2.1. Dolgusuz hava ısıtma güneş kollektörleri

Dolgusuz hava ısıtma kollektörlerde hava kanalı içerisinde herhangi bir dolgu malzemesi kullanılmamaktadır. Güneşten kazanılan ısı enerjisi, yutucu plakanın sıcaklığını arttırmakta ve oluşan sıcaklık farkıyla yutucu plaka altından geçen havaya transferi gerçekleşmektedir. Ancak dolgusuz kollektörlerde de ısı transfer yüzey alanını arttırmak amacıyla yutucu plaka altına kanatçık oluşturma ve farklı profillerde plaka kullanma gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir (Özbalta ve vd., 2003).

#### 2.2.2.2. Dolgulu hava ısıtma güneş kollektörleri

Hava ısıtma güneş kollektörlerinin etkinliği arttırmak için, absorbe edilen yüzeyin altında bulunan hava akış kanalına farklı şekil ve boyuttaki materyallerden meydana gelen dolgu malzemeleri yerleştirilmektedir. Dolgu malzemesi olarak cam parçaları, metal talaşı, faz değişim materyalleri ya da

buna benzer birçok materyal kullanılabilmektedir. Dolgu malzemesi kullanılırken ısı iletkenlik ve ısı yayma özelliğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Dolgu malzemesi kullanılan hava ısıtmalı güneş kolektörlerinde yüzey alanının artması ve hava akışının izlediği yolun uzaması sonucunda kolektörün verimi artmaktadır.

Dolgu malzemesi kullanmanın avantajları;

- Isı transfer hızı artmaktadır,
- Dolgulu kolektörün yutucu yüzey sıcaklığı daha düşüktür,
- Absorbe edilen yüzeyden dış ortama olan ısı kayıpları daha az olmaktadır,
- Isı transferinin gerçekleştiği alan/hacim oranı daha fazladır,
- Hava akış hızı artar ve bu sayede etkinliği de artar,
- Kolektörün giriş ve çıkışındaki hava sıcaklığı farkı, dolgusuz kolektörlere göre daha fazladır.

Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinde çok farklı dolgu malzemeleri kullanılabilmektedir. Literatürde farklı dolgu malzemelerinin kolektör performansları üzerine etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada kolektörlerde dolgu malzemesi olarak dolomit tuğlalarının kullanımı öngörülmüştür.

Dolomit, başta demir-çelik sanayi olmak üzere cam, seramik, boya, gübre, tuğla, çimento ve inşaat sanayilerinde, ayrıca tarımda toprak ıslahı gibi çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Dünya’da ve Türkiye’de rezerv problemi olmayan bir mineraldir. Dünya üretiminin yaklaşık olarak yarısı ABD’de gerçekleşmekte olup bu miktar 120 milyon tonu bulmaktadır. Dünya’da 3 milyon tonun üzerindeki ihracatın 2 milyon tonunu Belçika ve Kanada yapmaktadır. İki milyon ton civarındaki ithalatın ise 1,3 milyon tonu Japonya tarafından yapılmaktadır. Türkiye’nin ise yıllık üretimi yaklaşık olarak 950 bin ton olurken, yıllık tüketimi yaklaşık olarak 600 bin ton kadardır (DPT, 2007).

Dolomit yüksek sıcaklıklara dayanıklı bir malzemedir. Şekil 3.6’da görüldüğü üzere dolomit (ateş) tuğlaları, farklı şekil ve özelliklerde üretilmektedir. Bunlar

şömine, ocak ve fırın yapılarında ısı depolama malzemesi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Dolomit tuğlaları

Hava ısıtmalı güneş kolektörleri, ek ısıtıcılarla birlikte bina ısıtılmasında, tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Ancak hava iyi bir ısı taşıyıcı akışkan olmadığından hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin verimleri su ısıtmalı tiplere göre daha düşük olmaktadır. Havalı güneş kolektörlerinin verimlerinin arttırılması amacıyla dolgulu kolektör ve farklı yutucu plaka profili uygulamaları yapılmaktadır. Ancak bu uygulamalar hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin maliyetini arttırmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinde ısı taşıyıcı akışkan olan hava ile temas edecek yüksek sıcaklıktaki yüzey alanını arttırmak ve ısı depolama özelliği sağlamak amacıyla dolomit tuğlalarının kullanımı öngörülmektedir. Dolomit tuğlası uygulamasının, yüksek ısı depolama kapasitesi ve düşük maliyetiyle diğer uygulamalardan daha etkin ve ekonomik olması beklenmektedir.

### 3. KAYNAK ÖZETLERİ

#### 3.1. Hava Isıtmalı Güneş Kollektörleri Konusunda Kaynak Özetleri

Literatürde hava ısıtmalı güneş kollektörleri konusunda ulusal ve uluslararası düzeyde hazırlanmış çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Hava ısıtmalı kollektör verimlerinin arttırılmasını sağlayacak yeni tasarımlar geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kollektörleri ile ilgili literatür özetleri aşağıda verilmiştir.

Bansal ve Uhlemann (1984), yutucu plaka malzemesi olarak %100 polyesterden imal edilmiş gözenekli bir tekstil ürünü ve üst örtü olarak PVC kullanmışlardır. Test edilen kollektörlerin biri gözenekli diğeri ise düz yüzeyli yutucu plakaya sahiptir. Bu iki hava ısıtmalı güneş kollektörünün karşılaştırılması sonucunda; gözenekli malzemeden oluşan yutucu plakalı kollektör veriminin en yüksek %60 değerine ulaşırken, diğerkollektör verimi %45 olduğu belirlenmiştir.

Fath (1995), çalışmasında 3 farklı yutucu plakalı ve 3 farklı depolama malzemesi kullanılarak hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin ısı verimliliğini incelemiştir. Kollektörün yutucu plakaları düzlemsel yüzeyli, yanyana doğrusal diziliimli tüplü, yanyana şaşırtmalı diziliimli tüplü olarak tasarlanmış ve depolama malzemesi olarak; parafin, tuz ve kum kullanılmıştır. Denemeler 0.01, 0.02 ve 0.03 kg/s kütleli hava debilerinde gerçekleştirilmiştir. Kollektör 150×67×75 cm ölçülerinde ve 1.0 m<sup>2</sup> yutucu plaka alanına sahiptir. Farklı depolama malzemelerinin ve farklı yutucu yüzey şekillerinin ısı verime etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Kollektörlerin yutucu yüzey kullanımı ile ısı transferi ve ısı transfer katsayısının arttırılması hedeflenmiştir. Sonuçlara göre; öğle vakti dış ortam sıcaklığı 51°C iken; yanyana şaşırtmalı diziliimli tüplü yutucu plakalı sistem %59, yanyana doğrusal diziliimli tüplü yutucu plakalı sistem %53 ve düzlemsel yüzeyli yutucu plakalı sistem ise %38.7 seviyesinde ısı verimleri sağlamıştır. Yanyana şaşırtmalı diziliimli tüplü yutucu plakalı kollektörün 0.01 kg/s kütleli hava debisinde %47.1, 0.02 kg/s kütleli hava debi değerinde %63.35 ve 0.03 kg/s kütleli hava debisinde ise %63.48 ısı verimlere sahip olduğu görülmüştür. Kütleli debi değerinin artışı ile ısı verim

artmıştır. Kollektörde depolama malzemesi olarak parafin kullanımının, diğer depolama malzemelerine göre daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Naphon ve Kontragool (2003), kütsel hava debisinin hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin performansı ve ısı transfer karakteristikleri üzerine nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı akış oranlarının olduğu beş değişik hava ısıtmalı güneş kollektörü modeli tasarlamışlardır ve kollektörlerin performansını etkilediğini tespit etmişlerdir. Çeşitli modellerde hava ısıtmalı güneş kollektörleri geliştirilerek, ısı kaybının azaltılabileceğini ya da ısı verimin arttırılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kollektör yüzeylerinin yalıtımının ısı verimi arttırmak için önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir.

Lin vd. (2006), çalışmalarında 3 farklı tipteki hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin ısı verimlilikleri karşılaştırmışlardır. Kollektörde hava kanalı oluşturmak için; bir adet dalgalı yutucu plaka ve bir adet çapraz dalgalı alt plaka olarak konumlandırılmıştır. Bu tasarımla kollektörün hava kanalındaki türbölans ve ısı transferinin arttırılması hedeflenmiştir. Kollektör tipleri; dalgalı profilli ve akış yönünde olan yutucu plakalı, dalga profilli ve akış yönüne dik olan alt plakalı kollektör (Tip 1); dalgalı profilli ve akış yönüne dik olan yutucu plakalı, dalga profilli ve akış yönünde olan alt plakalı kollektör (Tip 2); düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü (Tip 3) olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre; en yüksek ısı verim sağlayan kollektör tipleri sırasıyla Tip 2, Tip 1, Tip 3 olup verim değerleri bu sırayla %57.4, %55.92 ve %40.21 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, daha verimli bir kollektör elde edebilmek için yutucu ve alt plaka arasında bulunan küçük boşluğa engellerin yerleştirilmesi gerekmektedir. Güneş ışınlımından daha fazla yararlanabilmek için seçici kaplama kullanılmıştır. Ancak cam ve yutucu plakalardan ısı kayıpları oluşmuştur. Deneme sonuçlarına göre; kollektörün giriş-çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka, alt plaka ve ısı transfer katsayısının verim üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Esen (2008), çalışmasında 4 farklı tipteki çift geçişli hava ısıtılmalı güneş kolektörünü incelemiştir. Kollektöre biri düzlemsel yutucu, kolektörün 10 cm yukarısında bulunan engelli yutucu, kolektörün 20 cm yukarısında bulunan engelli yutucu ve kolektörün 30 cm yukarısında bulunan engelli yutucu şeklinde farklı tasarımlar denemiştir. Kollektör 1.25×0.8×1 cm ölçülerinde olup, 5 mm kalınlığında tek cam kullanılmıştır. Denemelerde güneş ışıınımı, giriş-çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve yutucu plaka sıcaklıkları ölçülmüştür. Sistemde bulunan havayı vakumlamak için radyal fan kullanılmıştır. Denemeler 0.015-0.025 kg/s kütleel hava debi aralığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, güneş ışıınımının 925 W/m<sup>2</sup> ve kütleel hava debisinin 0.02 kg/s değerlerinin altındaki ısı verimleri; Tip 1 için %38, Tip 2 için %43, Tip 3 için %45 ve Tip 4 için %41 olarak hesaplanmıştır. Kollektör tasarımları arasında en verimli olan Tip 3 (üst ve alt hava akış kanalları eşit mesafede) ve engelli yutucu plakaya sahip olandır. Araştırmacı kolektörün çift geçişli olması ısı transferini arttırdığından daha verimli olduğunu tespit etmiştir. Kollektörün verimi için hava akış kanallarındaki engeller önemli bir parametre olup kolektörün boyutu, şekli, konumu ve eğimi de önemli parametreler arasındadır. Kollektörde bulunan engellerin, yutucu plakanın altından ve üzerinden akış sağlayarak türbülans yaptığı belirtilmiştir.

Gedik vd. (2008), çalışmalarında zigzaglı ve düz yutucu plakaya sahip iki adet hava ısıtılmalı güneş kolektörünü deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler Karabük'te Ağustos ve Eylül aylarında saat 10:00 ile 17:00 arasında yapılmıştır. Hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin verimini arttırmak için tasarlanan bu hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin ısı performansları deneysel olarak incelenmiştir. Kollektörlerin enerji ve ekserji verimlerini tespit etmek amacıyla deneysel veriler kullanılarak kolektörlerin performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda düz yüzeyli yutucu plakaya verilen farklı geometrik şekillerin kullanılması verimin artmasını sağlamaktadır. Düz yüzeyli yutucu plakaya sahip hava ısıtılmalı güneş kolektörünün enerji veriminin, diğer tasarıma göre yaklaşık %13 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Sopian vd. (2009), çalışmalarında gözenekli ve gözeneksiz ortamında, hava ısıtmalı güneş kollektörünün alt ve üst hava akış kanallarında yapılan değişikliklerin ısı verime etkisini incelemişlerdir. Gözenekli ortam, ısı transferini, hava akış alanını ve toplam ısı transfer oranını arttırmak için kullanılmıştır. Denemelerde bir adet hava ısıtmalı güneş kollektörü tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu kollektör 240 cm uzunluğunda, 120 cm genişliğinde, siyaha boyalı alüminyum yutucu plakalı, yalıtımlı ve cam yüzey örtülü olarak imal edilmiştir. Kollektör, güneş simülatörü altına yerleştirilerek teorik olarak incelenmiştir. Güneş simülatörü, her biri 300 W gücündeki 45 adet halojen lambadan oluşturulmuştur. Simülatör en yüksek  $642 \text{ W/m}^2$  ışınlam sağlamakta olup 6 devirli dimmer anahtarlarıyla kontrol edilmektedir. Sonuçlara göre, teorik simülasyon ile deneysel veri değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Alt kanalında gözenekli ortam oluşturulan çift geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörünün çıkış sıcaklığının, düzlemsel yüzeyli kollektörlere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Gözenekli ortam oluşturulan bu kollektörün ısı verimlilik değeri %60-70 aralığındadır. Gözenekli ortamın oluşturulması, ısı transfer alanını arttırarak ısı verimi de yükseltmektedir.

Ramani vd. (2010), çift hava akış kanalı oluşturarak, çift geçişli ters akışlı gözenekli hava ısıtmalı güneş kollektörünün ısı performansını arttırmak için gözenekli ve gözeneksiz ortamların etkisini incelemişlerdir. Ayrıca hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin verimliliği ve basınç düşümü parametrelerinin etkisini de araştırmışlardır. Denemelerde, her biri 4 mm olan iki cam kapak kullanılmış ve çift hava akış kanalı bu yolla sağlanmış olup her iki kanal boyutu  $2100 \times 540 \times 21$  mm ölçülerinde olduğunu belirtmişlerdir. 1 mm kalınlığa sahip siyah boyalı alüminyum levha, her iki kollektörde yutucu plaka olarak kullanılmıştır. Gözenekli yutucu plakalı çift akışlı hava ısıtmalı güneş kollektörünün ısı verimliliği %20-25 olmakla birlikte, tek akışlı ve gözeneksiz çift akışlı hava ısıtmalı güneş kollektörüne göre %30-35 daha fazla olduğu görülmüştür.

Aldabbagh ve Omojaro (2010), çalışmalarında tel örgülü yutucu plakalı tek ve çift geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin ısı verimini karşılaştırmışlardır. Denemeler  $0.012-0.038 \text{ kg/s}$  kütleli debi aralığında, çıkış sıcaklıkları ve verime etkileri incelenmiştir. Kollektör 150 cm uzunluğunda, 100 cm genişliğinde olup

üst örtü olarak 0.3 cm kalınlığında pencere camı kullanılmıştır. Kollektör kasası, her yeri siyaha boyanmış 2 cm kalınlığında kontraplaktan oluşturulmuş ve tüm yüzeyleri 2 cm köpük ile yalıtılmıştır. Deney sonuçlarına göre; kütleli debi 0.012 kg/s'den 0.038 kg/s değerine çıktığı zaman ısı veriminde artmıştır. En yüksek sıcaklık farkı 0.012 kg/s kütleli debi değerinde; tek geçişli için 36.93°C ve çift geçişli için 41.68°C'dir. En yüksek ısı verimliliği 0.038 kg/s kütleli debi değerinde; tek geçişli için %59.62 ve çift geçişli için %63.74'dür. Kollektörün yüzey alanını arttırmak için uzunlamasına yerleştirilen engeller, hava kanalının altına ve üstüne yerleştirilmiştir. Bu sayede ısı verim artmıştır. Çift geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörü tek geçişli kollektöre göre daha yüksek verim sağlamıştır.

El-Khawajah vd. (2011), çalışmalarında 2, 4 ve 6 kanat kullanarak bir hava ısıtmalı güneş kollektörünün ısı verimini incelemişlerdir. Kollektörde düzlemsel yutucu plaka yerine kanatlar yerleştirmek için tel örgülü yutucu plaka kullanılmıştır. Denemeler 0.0121-0.042 kg/s kütleli hava debisi aralığında gerçekleştirilmiştir. Yaz aylarında Gazimağusa şehrinde yapılan denemelerde, rüzgar hızı 5.1 m/s ve bağıl nem oranı %67.24 olarak ölçülmüştür. Aynı kütleli debide, en yüksek güneş ışınlam değerleri 2, 4 ve 6 kanatlı sistemlere göre sırasıyla 730.26 W/m<sup>2</sup>, 721.18 W/m<sup>2</sup> ve 736 W/m<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre; 0.042 kg/s kütleli hava debisi değerinde 2, 4 ve 6 kanatlı sistemlerin ısı verimleri sırasıyla %75, %82.1 ve %85.9 olarak hesaplanmıştır. Maksimum ortalama sıcaklık farkı 43.1°C ve maksimum anlık sıcaklık farkı 62.1°C olarak belirlenmiştir. Tel örgüler sayesinde gözenekli bir ortam oluşturulmuş ve bu durum ısı transfer yüzey alanını arttırmıştır. Kollektörün hava akış yolunu arttırmak için çapraz kanatlar yardımıyla serpantin şeklinde hava akış yolu oluşturulmuştur. Buna ek olarak kanat sayısı arttıkça ısı verim değerlerinde artış görülmüştür.

Ranjan vd. (2013), çalışmalarında 3 farklı tip akış şekline sahip hava ısıtmalı güneş kollektörlerini incelemişlerdir. Bunlar; üstten akışlı, alttan akışlı ve çift geçişli hava ısıtmalı güneş kollektörleridir. Bu kollektörler, 0.014 kg/s, 0.0279 kg/s ve 0.042 kg/s kütleli debi değerlerinde test edilmiş ve hava yoluyla kazanılan ısı miktarları belirlenmiştir. Yutucu plaka sıcaklıkları, giriş-çıkış

sıcaklıkları ve cam yüzeyi sıcaklıkları J tipi ısı çiftler yardımıyla ölçülmüştür. Sonuçlara göre; çift geçişli hava ısıtma güneş kolektörünün diğer kolektörlere göre ısı verimi ve kazanılan ısı miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çift geçişli kolektörün yutucu plaka sıcaklığı, havanın akış yolundaki sıcaklık artışı nedeniyle diğerlerine göre daha düşük değerler aldığı bilinmektedir. Çift geçişli hava ısıtma güneş kolektörünün 0.014 kg/s kütleli hava debisi değerinde %40-50 ısı verim aralığında değişkenlik gösterdiği hesaplanmıştır.

Gupta vd. (2013), çalışmalarında gözenekli ortam kullanılan ve kullanılmayan yutucu plakalı, tek geçişli ve çift geçişli olarak 4 farklı hava ısıtma güneş kolektörü uygulaması yapılarak ısı verimlerini ve basınç düşümüne etkisini belirlemişlerdir. Çalışmanın amacı, kütleli hava debisinin ısı verime ve basınç düşüşüne etkisini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Kolektörlerin giriş-çıkış sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklıkları ve ortam sıcaklıkları ölçülmüştür. Her bir kolektör 32° eğim açısı ve 900 W/m<sup>2</sup> yapay ışıma koşullarında test edilmiştir. Gözenekli ortam oluşturmak için cam yününün kullanıldığını belirtmişlerdir. Kolektör 1.0×0.5×0.15 m boyutlarında olup kolektörün giriş kısmına 10 mm çaplı bir delik ve kolektörün çıkış kısmına 12 mm çaplı 3 adet delik açılmıştır. Sonuçlara göre; çift geçişli düzlemsel yutucu plakalı hava ısıtma güneş kolektörü, tek geçişli düzlemsel yutucu plakalı kolektöre göre %3-4 oranında daha verimli; gözenekli çift geçişli kolektörün verimliliği, tek geçişli kolektöre göre %5 oranında daha verimli; gözeneksiz çift geçişli hava ısıtma güneş kolektörü, tek geçişli kolektöre göre %2-3 oranında daha verimli bulunmuştur. Sonuçlara göre; çift geçişli kolektör, tek akışlı kolektöre göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Gözenekli ortamın kullanılması, ısı transferini artırarak daha çok ısı verim sağlamak, aynı zamanda kolektörün çıkış sıcaklığını da arttırmaktadır. Kütleli debi değeri arttıkça basınç düşüşü ile verimde yükselmektedir.

Vyas ve Punjabi (2014), çalışmalarında laboratuvar koşullarında kurulmuş olan 3 farklı yutucu plakalı hava ısıtma güneş kolektörlerini, 600 W/m<sup>2</sup> yapay ışıma şiddetinde ve 30° eğimli olarak ısı verim açısından karşılaştırmışlardır. Kolektör 1.0×0.5×0.1 m boyutlarında ve çıkış kesit alanı 0.01314 m<sup>2</sup> olarak imal

edilmiştir. Çalışmalarında düzlemsel yutucu yüzeyli (i), çapraz eğimli V-profilli yutucu yüzeyli (ii) ve eğimli V-profilli yutucu yüzeyli (iii) plakalardan meydana gelen kollektörler karşılaştırılmıştır. Tüm denemeler güneş simülatörü kullanılarak yapay ışıнімda (6 adet halojen lamba ile) gerçekleştirilmiş ve kollektörün ısı verimleri belirlenmiştir. Isıl verimlilik ve sıcaklık artışlarını ölçebilmek için K tipi ısı çiftler ve PT-100 sensörleri kullanılmıştır. Kollektörün hava hızı, çıkış kısmından ölçülerek kütleli hava debisi değeri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, düzlemsel yutucu plakalı (i); 0.00139 kg/s kütleli debide, 32°C sıcaklık farkında ve %14.91 ısı verim, çapraz eğimli V-profilli yutucu plakalı (ii); 0.00103 kg/s kütleli debide, 38°C sıcaklık farkında ve %17.24 ısı verim, eğimli V-profilli yutucu plakalı (iii); 0.001011 kg/s kütleli debide, 45°C sıcaklık farkında ve %20.04 ısı verim hesaplanmıştır. En yüksek ısı verimde, eğimli V-profilli yutucu plakalı (iii) hava ısıtmalı güneş kollektörün olduğu belirlemiştir. Çalışmada hava akış kanalında yer alan yutucu plakaların düzlemsel ya da engel yapıların olmasının ısı verim üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Çağlayan vd. (2014), çalışmalarında 4 farklı yutucu plakalı iki adet hava ısıtmalı güneş kollektörü tasarlamış ve ısı verim karşılaştırmışlardır. Bu yutucu plakalar; düzlemsel yüzeyli (Tip 1), V-profilli (Tip 2), kama profilli (Tip 3) ve dalga profilli (Tip 4) şeklinde olup her bir yutucu plaka 2 mm kalındığındadır. Yutucu plakalar hem alüminyum hem de bakırdan imal edilmiş ve siyaha boyanmıştır. Kollektör 1.92×0.82×0.10 m boyutlarında imal edilmiş ve güneş ışıнімından en üst seviyede yararlanabilmek için, üst örtü olarak cam kullanılmıştır. Kollektörün alt ve yan kısımları 0.05 m kalınlığında izolasyon malzemesi kullanılarak yalıtılmıştır. Kollektörün giriş-çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, hava hızı, güneş ışınímı, basınç düşüşü ve rüzgar hızı sensörler yardımıyla ölçülmüş ve data logger ile kaydedilmiştir. Kollektörün 35° 'lik bir eğimle yerleştirilmiştir. Kollektör 2, 3 ve 4 m/s hava hızlarında denenmiştir. Sonuçlara göre; bakırdan yapılmış yutucu plakalı kollektörler alüminyumdan yapılanlara göre daha verimlidir, ancak alüminyum yutucu plakaya sahip kollektörlerin çıkış hava sıcaklıkları daha yüksek çıkmıştır. En verimli güneş kollektör tipleri Tip 4 ve Tip 2'dir. Bakır malzemedan yapılan yutucu plakalı Tip

4 ve Tip 2 kollektör tiplerinde en yüksek ısı verim değerleri sırasıyla %48.88 ve %48.70 olarak hesaplanmıştır.

Pal vd. (2015), çalışmada düzlemsel yüzeyli bir hava ısıtmalı güneş kollektörünün ısı verimini farklı kütleli debilerde ve dış ortamdaki güneş ışınlamı altında incelemişlerdir. Bu debi değerleri; 0.036, 0.039 ve 0.042 kg/s'dir. Denemelerde, sistemdeki havayı vakumlamak için bir fan ve bu fanı kontrol etmek amacıyla fan regülatörü kullanılmıştır. Güneş ışınlamı ışınlamölçer ile, rüzgar hızı anemometre ile sistemdeki sıcaklıklar ise J tipi ısı çiftleri kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre; 0.036 kg/s kütleli debide en yüksek ısı verim değeri %46.65, 0.039 kg/s kütleli hava debisinde en yüksek ısı verim değeri %51.35 ve 0.042 kg/s kütleli hava debisinde ise en yüksek ısı verimliliği %56 olarak bulunmuştur. Hava ısıtmalı güneş kollektörünün ortalama ısı verimi, kütleli debisinin artışıyla, orantılı olarak artmıştır. 0.042 kg/s kütleli hava debisinde en yüksek verim gerçekleşmiştir.

Patel vd. (2015), çalışmalarında hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin alan ısıtma ve endüstriyel amaçlı uygulamalarda kullanıldığını, ancak ısı transfer katsayısının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Hava ısıtmalı güneş kollektörlerinin verimi, kollektör boyu, kanal sayısı, kanal derinliği, yutucu plaka tipi, camın malzemesi ve sayısı, hava giriş sıcaklığı ve hava hızı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Çalışmalarında kollektör için 3 farklı tipte yutucu plakalar kullanılmıştır. Bunlar; doğrusal kanat profilli, dikey kanat profilli ve bulaşık telli yutucu plakalardır. Denemelerde, güneş ışınlamı değerinin artması sonucunda kollektörün çıkış sıcaklıkları da artarak ısı verimliliği değeri artmıştır. Kollektörler içinde en yüksek verime sahip olan kollektör, bulaşık telli hava ısıtmalı güneş kollektör olduğu görülmüştür. Bu kollektör tasarımının günlük güneş ışınlamı (0-1200 W/m<sup>2</sup>) değerine bağlı olarak en yüksek ısı verim değerinin %60-65 ve en yüksek çıkış sıcaklıkları değerinin 48-50°C olduğu görülmüştür. Kollektörde yutucu olarak bulaşık teli kullanılması ve ortamın gözenekli olması gibi etkenlerin ısı transferini artırdığını belirtmişlerdir.

Güney ve Külcü (2016), dolomit tuğlalı bir hava ısıtmalı güneş kollektörü tasarlamış ve prototip ölçekteki bu kollektörü laboratuvar şartlarında test etmişlerdir. Denemelerde güneş simülatöründe 3 farklı ışınlamı şiddeti (260, 700

ve  $1000 \text{ W/m}^2$ ) ve 2 farklı eğim açısında ( $45^\circ$  ve  $90^\circ$ ) gerçekleştirilmiştir. Dolomit tuğlalı hava ısıtılmalı güneş kollektörünün geliş açısına göre ısı verimini belirlemek amacıyla yapılan denemelerde, kollektör çıkış havası sıcaklıklarının hızlı bir şekilde yükseldiği görülmüştür.  $45^\circ$  açıda yapılan denemelerde maksimum  $52.9^\circ\text{C}$  seviyesine ulaşılırken,  $90^\circ$  geliş açısında  $55.1^\circ\text{C}$ 'ye ulaşmaktadır. Bu sonuçlara göre uygulanan geliş açılarının, sistemde ulaşılan maksimum sıcaklık değerlerini önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Ancak geliş açılarından kaynaklanan sistemdeki sıcaklık farkları soğuma süreleri için belirleyici bir faktör olduğu belirlenmiştir. Kollektörden çıkan havanın sıcaklığı,  $45^\circ$ 'lik geliş açısında yapılan uygulamada 90 dakikada ortam sıcaklığı düzeyine gelirken, bu süre  $90^\circ$  geliş açısında yapılan uygulamada 140 dakika olmuştur. Bu durum kullanılan dolomit tuğlalarının  $90^\circ$  açıyla gelen ışınlımların daha etkin bir şekilde depoladığını göstermiştir.

Chendake vd. (2016), çalışmada tel örgülü yutucu plakalı hava ısıtılmalı güneş kollektörünü,  $0.00426\text{-}0.00811 \text{ kg/s}$  kütleli hava debisi aralığında test etmişlerdir. Kollektör  $1000 \times 550 \times 150 \text{ mm}$  ölçülerinde olup, cam üst örtüsünün kalınlığı  $4 \text{ mm}$  olarak tasarlanmıştır. Denemelerde, giriş-çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, güneş ışınlımı, rüzgar hızı ve nemlilik gibi parametreler ölçülmüştür. Sonuçlara göre;  $0.00766 \text{ kg/s}$  kütleli hava debisi,  $658 \text{ W/m}^2$  (saat 13:30) güneş ışınlımı,  $39.5^\circ\text{C}$  sıcaklık farkı oluşmuş ve bu koşulda en yüksek verim  $\%82.81$  olarak hesaplanmıştır. Bir hava ısıtılmalı güneş kollektörünün ısı verimi açısından, kütleli debi, güneş ışınlımı, giriş-çıkış sıcaklıkları ve ortam havası sıcaklığı gibi parametrelerin önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Omara vd. (2017), deneysel çalışmalarında 3 farklı kesite sahip plastik yutucu yüzeyli üç adet hava ısıtılmalı güneş kollektörünü incelemişlerdir. Bu kesitler; daire, yarım daire ve yarım daireye eklenen ikizkenar üçgen kesitlerdir. Her hava ısıtılmalı güneş kollektörüne yarım daire şeklinde ve plastik yutucu yüzeyli parçalar yerleştirilmiştir. Denemeler,  $0.05\text{-}0.25 \text{ kg/s}$  kütleli hava debisi aralığında değiştirilerek ısı verimleri karşılaştırılmıştır. Kollektörler tek akışlı,  $30 \text{ cm}$  ölçülerinde yarım daire şeklinde plastik borulu yutucu plakalı ve uzunluğu  $5 \text{ m}$ 'dir. Hava debisi, güneş ışınlımı, ortam sıcaklığı, giriş-çıkış hava sıcaklıkları, iç kısım sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklıkları saatte bir ölçülmüştür.

Denemelerde rüzgar hızı 0-2.8 m/s ve güneş ışınlamı ise 40-1100 W/m<sup>2</sup> aralığında değişmiştir (Mısır'ın Tanta şehrinde yaklaşık yıllık güneş ışınlam değeri 5.5 kWh/m<sup>2</sup> 'dir). Sonuçlara göre; en yüksek verim %80 seviyesinde, 0.18 kg/s kütlesel hava debisi değerinde dairesel şekilli kollektör hesaplanmıştır. Ayrıca yarım daireye eklenen ikizkenar üçgen şekilli kollektörün ısı verimi %64 ve yarım daire şekilli olanın ise %48 değerlerinde olduğu görülmüştür.

### **3.2. Tarımsal rnlerin Kurutulması Konusunda Kaynak zetleri**

Funebo ve Ohlsson (1998), çalışmalarında elma örneklerinin sıcak hava ve mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma işlemlerini karşılaştırmışlardır. Mikrodalgaların kurutucu içerisinde homojen dağılımını sağlamak amacıyla, magnetronların altına enine aplikatörler yerleştirilmiştir. Denemelerde, hava hızı, mikrodalga çıkış gücü, hava sıcaklıklarının değişimi, yeniden su alma kapasitesi, hacimsel yoğunluk ve renk gibi parametreleri incelemişlerdir. Kurutulan elma dilimlerinin renk değerlerinin taze elma örneklerine yakın olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga destekli kurutma yönteminin, sıcak hava ile kurutma yöntemine göre kurutma süresini iki kat azalttığı görülmüştür. Bu nedenle mikrodalga ile kurutma yönteminin, sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Elma rnekleri 0.5-1.0-1.5 m/s hava hızlarında mikrodalga ile kurutulmuş olup kurutma süresinin, hava hızı arttıķa 1.5-3 kat daha azaldığı görülmüştür. Düşük hava hızında (0.5 m/s) kurutulan örneklerde esmerleşme olmuş ve en düşük hava hızı değerinin 1.0 m/s olması gerektiğini belirtmişlerdir. Enine aplikatörler eklenen mikrodalga fırında kurutulan örneklerin, normal mikrodalga fırınında kurutulan örneklere göre rehidrasyon kapasitesinin %20-25 oranında daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutulan rnlerin birbirine yakın olması durumunda (2 cm'den daha ayırık olmamalı), mikrodalgada kullanılan enine aplikatrlere gerek olmadığını belirtmişlerdir.

Ertekin ve Yıldız (2004), çalışmalarında ince dilimlenmiş patlıcanların laboratuvar ortamında bulunan sistemde kuruma davranışlarını incelemişlerdir. Patlıcanların kuruma davranışları, 30-70°C arasındaki kurutma havası sıcaklıklarında ve 0.5-1.0-2.0 m/s kurutma havası hızlarında incelenmiştir. Kurutma havası sıcaklığı ve kuruma hızının etkilerinin yanı sıra ön işlem ve ürünlerin dilim kalınlıklarının, kurutma süresi ve kurutulmuş ürünlerin kalitesine etkilerini belirlemişlerdir. Denemelerde kullanılan patlıcanlar 0.635, 1.27 ve 2.54 cm kalınlıklarında kurutulmuştur. Deneme sonuçlarına göre, örneklere uygulanan ön işlem kurutma süresini azaltmış ve parlaklıkları arttırmış ancak dehidrasyon oranını azaltmıştır. Artan dilim kalınlığının, kuruma süresine ve dehidrasyon oranına etkisi olurken, renk üzerinde etkisi olmamıştır. Kuruma süresinin, kurutma havası sıcaklığı ve kurutma havası hızının artmasıyla azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca kurutma havasının sıcaklığının artırılması, ürünün renk parlaklığını ve doymunluğunu azaltmıştır.

Koyuncu (2005), “Ürün kurutma uygulamaları için güneşsel hava ısıtıcılarında farklı tasarımların performansı” adlı çalışmasında; güneş enerjisinin kurutma için en iyi yenilenebilir enerji kaynağı olduğunu ve tasarım olarak hava ısıtmalı düzlemsel güneş kolektörünün en iyi sistem olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada 6 farklı tipte hava ısıtmalı güneş kolektörü kullanmıştır. Bu hava ısıtmalı güneş kolektörleri güneşe bakan aynı eğim açısında ve aynı çevre koşullarında eş zamanlı olarak test edilmiştir. Deney düzeneklerinde, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı, bağıl nem, çıkış hava sıcaklığı, arka ve kenar yüzey sıcaklığı, yutucu yüzey sıcaklığı ve hava hızı ölçümleri yapılmıştır. Deney sonucunda tek plastik camlı, siyaha boyanmış düz yüzeyli alüminyum yutucu yüzeyin veriminin daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Sacilik ve Elicin (2006), çalışmalarında organik elma dilimlerini 5 ve 9 mm kalınlığında, 40-50-60 °C hava sıcaklıklarında ve 0.8 m/s hava hızında tek katman olarak konvektif bir hava ısıtmalı sistemde kurutmuşlardır. Kurutma havası sıcaklığı ve dilim kalınlığının, kurutma özellikleri ve kalite parametreleri üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Denemelerde; 5 mm kalınlığındaki elma dilimlerinin 40-50-60°C kurutma havası sıcaklıklarında sırasıyla 400, 300 ve

240 dakikada, 9 mm kalınlığındaki elma dilimlerinin aynı sıcaklıklarda sırasıyla 640, 560 ve 460 dakikada kuruduğu tespit edilmiştir. Elma dilimleri, 9 mm'den 5 mm kalınlığa inceltildiğinde, 40-50-60°C kurutma havası sıcaklıklarında, kurutma sürelerinin sırasıyla %60, %86.67 ve %91.66 oranında kısalıldığını belirtmişlerdir. Elma dilimleri, 240-460 dakikada ve 40-50°C kurutma sıcaklıklarında en iyi kurutma işlemini sağlamış olup 50°C'nin üzerine çıkıldığında esmerleşme olduğu görülmüştür.. Kurutma havası arttıkça ve elma dilimlerinin kalınlıkları azaldıkça, kuruma süresi azalmış ve kuruma hızı artmıştır.

Heybeli ve Ertekin (2007), sanayi tipli raflı bir kurutucuda Starking Delicious elma çeşidine uygulanan kurutma havası sıcaklığı değişiminin; ürünün kuruma süresi, kuruma hızı, hacim ağırlığı, hacimsel büzülme, yeniden su alma kapasitesi, renk ve duyuşal özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Dilim kalınlığı 5 mm olan elma örneklerine farklı kurutma havası sıcaklıkları (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) ve 4.1 m/s sabit hava hızı uygulanmıştır. Uygulanan kurutma havası sıcaklığının artışı ile elmanın kuruma süresi azalmıştır. Ayrıca ön işlem gören ve görmeyen elma örnekleri uygulanan farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutma süreleri karşılaştırılmıştır. Ön işlem görmeyen elma örneklerinin uygulama sıcaklıklarının çoğunda diğer örneklerle daha fazla beğeni topladığı görülmüştür.

Nikbakht vd. (2016), çalışmalarında Golden Delicious elma türünü, 3 farklı yöntem ile kurutulmasında (sıcak hava, mikrodalga ve mikrodalga destekli sıcak hava) zaman ve enerji tüketimini analiz etmişlerdir. Denemelerde, kurutma süresi, enerji tüketimi ve ısı verim gibi parametreleri incelemek için; 500-1000-1500-2000 W mikrodalga güç seviyelerinde, 40-50-60-70°C kurutma havası sıcaklıklarında ve 0.5-1.0-1.5-2.0 m/s hava hızlarında uygulamalar yapmışlardır. Ortam sıcaklığı 25°C ve bağıl nem oranı %50 olarak ölçülmüştür. Sonuçlara göre, elma dilimlerinin sıcak hava ile kurutulması diğer yöntemlere göre daha uzun sürmüştür. Bu yöntemde, 40°C kurutma havası sıcaklığında ve 0.5 m/s hava hızında 271 dakika ile en uzun kurutma süresine ulaşıldığı görülmüştür. En kısa kurutma süresi ise 70°C kurutma havası sıcaklığında ve 2.0 m/s hava hızında mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma yöntemi ile 17 dakika

sürdüğü belirlenmiştir. En fazla enerji tüketimi, 40°C kurutma sıcaklığında ve 2.0 m/s hava hızında 10263.2 MJ olarak tespit edilmiştir. Mikrodalga destekli sıcak hava ile kurutma yönteminin diğer yöntemlere göre kurutma süresi ve enerji tüketimini azalttığı görülmüştür. Mikrodalga kurutma yöntemi ile 2000 W çıkış gücündeki enerji tüketimi, 2684 KJ olarak hesaplanmıştır. Isıl verimliliğin, mikrodalga kullanıldığı zaman önemli derecede artış sağladığı belirlenmiştir.

Atalay vd. (2017), çalışmalarında Golden Delicious elma dilimlerinin optimum kuruma hızlarını belirlemek için, bir hava ısıtılmalı güneş kolektörü ve kurutma işleminin devamlılığını sağlayan (güneşin olmadığı saatlerde) çakıl dolgulu bir ısı deposu imal etmişlerdir. Bu sistem, iki hava ısıtılmalı güneş kolektörü, kurutma kabini, fanlar ve ön hava ısıtma ünitesi parçalarından oluşmakta ve kabinin içinde 10 adet kurutma tepsisi bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar için elmalar yıkandıktan sonra çekirdek yuvaları temizlenmiş ve  $5\pm 2$  mm kalınlıklarında dilimleyici ile dilimlenmiş, kurutma kabininde bulunan tepsilere yerleştirilmiştir. Denemeler süresince bağıl nem, sıcaklık, basınç, hava hızı ve güneş enerjisi değerleri ölçülerek kayıt edilmiştir. Kurutma kabinindeki sıcaklık ve bağıl nem değerleri, kurutma kabininin giriş-çıkışına yerleştirilen sıcaklık ve nem sensörleri yardımıyla ölçülmüştür. Sonuçlara göre, güneş ışınlamına bağlı olarak kabin içindeki 60°C olan sıcaklık değeri, 240 dakika sonra düşmüş olup kurutma kabini içindeki bağıl nem içeriğinin, 210. dakikada hızla düşüp ardından arttığı görülmüştür. Çakıl taşı dolgulu ısı enerji depolama sisteminin elmaların kurutulması için gereken enerjiden daha fazlasını sağladığı görülmüştür. Bu sistemin avantajı, diğer kurutma teknolojilerine göre %76.8 oranında daha az enerji tüketmesidir.

## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

### 4.1. MATERYAL

Çalışma kapsamında farklı geometrik dizilişlerde dolomit tuğlalarının kullanılabileceği deneysel hava ısıtılmalı bir güneş kollektörü tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney düzeneği, Süleyman Demirel Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknoloji Mühendisliği Bölümü alt yapısında bulunan Yenilenebilir Enerji Kaynakları laboratuvarında kurulmuştur.

Tasarlanan deneysel hava ısıtılmalı güneş kollektörünün kasası galvanizli sacdan yapılmıştır. Sistem, ısı kayıplarını önlemek amacıyla alt ve yan yüzeyleri 1,5 cm kalınlığındaki taş yünü malzemeye izole edilmiştir. Laboratuvar ortam havası, bir radyal fan yardımıyla zorlamalı dolaşım yaptırılarak sisteme verilmiştir. Fan tarafından sisteme gönderilen havanın debisi, anemometre ile ölçülen hava hızı ve kesit alan değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Denemelerde kollektör tasarımlarında oluşturulan hava kanallarının uzunluklarının ve geometrik şekillerinin farklı olması nedeniyle sürtünme kayıpları da farklı düzeylerde gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda meydana gelen debi değişimlerini önlemek amacıyla havalandırma fanına hareket veren elektrik motoruna dimmer anahtarı bağlanmış ve bu anahtar vasıtasıyla elektrik motoruna gelen elektrik akımının voltajı değiştirilerek, sisteme her denemede aynı debide hava gönderilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.1. Deney kurulum resmi

#### 4.1.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Deney sisteminde kullanılan ekipmanlar ve özellikleri farklı başlıklar altında anlatılmıştır. Bunlar; hava ısıtmalı güneş kolektörü, güneş simülatörü, dolgu malzemesi, radyal fan, kurutma kabini, ölçüm ve analiz cihazları ile kurutma denemelerinde kullanılan elmadır.

##### 4.1.1.1 Hava ısıtmalı güneş kolektörü

Güneş kolektörü 110×80×10 cm boyutlarında galvanizli sac malzemeden imal edilmiştir (Şekil 4.2). Prototip ölçekte imal edilen simülatörde üst örtü malzemesi olarak 2 mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Camın 2,5 cm altında 102×73 cm boyutlarında siyah mat boyayla boyanmış, galvanizli sacdan imal edilmiş yutucu plaka konumlandırılmıştır. Yutucu plakanın alt kısmında 110×80×3 cm boyutlarında dikdörtgen kesitli hava kanalı oluşturulmuştur. Bu kanal, deney koşullarına göre dolgu malzemesi olarak kullanılan dolomit tuğlaları ile doldurulmuştur. Denemeler laboratuvarında yapıldığı için, güneş ışınımı bir güneş simülatörü yardımıyla sağlanmıştır. Yapay güneş ışınımının şiddeti, deneyde belirlenen koşullara göre, güneş simülatörü üzerinde yer alan kontrol panelinden ayarlanmıştır. Hava sıcaklıkları, sac sıcaklıkları ve tuğla sıcaklıkları kolektörün hava akış yolu boyunca ölçülmüştür.



Şekil 4.2. Deneyde kullanılan kolektörün açık ve kapalı hali

Kollektörün çıkış hava borusu, 1.7 cm yarıçapında ve galvaniz sac malzemeden imal edilmiştir. Kollektör hava çıkış borusu emiş yapan fan ile kollektör arasına konumlandırılmıştır. Ortam havası kollektörün hava giriş kısmından girdikten ve kollektör içerisindeki sıcaklık yükseldikten sonra yan taraflardan kollektör çıkış borusuna aktarılmaktadır. Çıkış borusunda hava sıcaklıklarını ölçmek amacıyla 3 adet ısıçift konumlandırılmıştır. Bu ölçümler yapılırken sonuçların fandan etkilenmemesi için çıkış borusu uzun yapılmıştır.

#### 4.1.1.1. Güneş simülatörü

Kollektörün ısı performansını belirlemek amacıyla yapılan denemeler, laboratuvar şartlarında güneş simülatörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güneş simülatörü üzerinde 30 adet 330 W gücünde halojen lamba bulunmaktadır. Halojen lambaların kollektör yüzeyine ulaştırdıkları ışının şiddeti ve dağılımın homojenliği, her lambayı ayrı ayrı komuta eden dimmer anahtarları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Güneş simülatörü 0-1350 W/m<sup>2</sup> aralığında ışınım verebilmektedir. Güneş simülatörü ve kontrol panelinde Şekil 4.3'de görüldüğü gibi farklı ışınım seviyeleri ayarlanabildiği gibi ışının açılarını da değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.3. Deneyde kullanılan güneş simülatörü ve kontrol paneli

#### 4.1.1.2. Dolgu malzemesi

Kollektörde dolgu malzemesi olarak 10×6×3 cm boyutlarına sahip dikdörtgen prizması biçiminde olan ve kırılmış formdaki dolomit tuğlaları kullanılmıştır. Deney koşullarına göre dolomit tuğlaları farklı geometrik dizilişlerle ve dolgu malzemesiz olarak kollektörün hava kanalı boyunca farklı akış şekilleri sağlanarak yerleştirilmiştir. Hava kollektöre girdiğinde dolgu malzemesi ile karşılaşmaktadır ve duruma göre tuğlanın hava akış yolu boyunca ya da kırık dolgu malzemesinin üstünden ve altından akmaktadır. Bu durumun ısı transferini arttırması hedeflenmiştir. Kollektörde optimum ısı transferi ve kollektör verimliliğine ulaşmak için farklı formlar test edilmiştir.

#### 4.1.1.3. Radyal fan

Hava, radyal fan yardımıyla sistemden vakumlanmaktadır. Radyal fanın max. hacimsel debisi 180 m<sup>3</sup>/saat, gerilim, 220-230 V, frekans; 50Hz ve güç değeri 100 W'dır. Sistemde kullanılan fan (Şekil 4.4), güneş kollektörüne monte edilen bir çıkış borusu ile sabitlenmiştir. Sistemin içinde oluşan hava akış hızı değerlerini değiştirebilmek için dimmer anahtarından oluşan bir komuta düzeni radyal fana bağlanmıştır. Kollektörün hava çıkış kanalına bağlanan radyal fanın debisi denemeler süresince 4.17 m<sup>3</sup>/h değerine sabitlenmiştir.



Şekil 4.4. Deneyde kullanılan radyal fan ve dimmer anahtarı

#### 4.1.1.4. Elma

Kollektör denemeleri tamamlandıktan sonra dolgusuz (1000W-B) ve dolgulu (1000W-5T) tasarımlarda kullanılan sistemlerin tarımsal ürün kurutma işlemindeki başarılarının karşılaştırılması planlanmıştır. Bu amaçla tasarımlar, elma kurutma sisteminde test edilmiştir.

Denemelerde kullanılan bu elma örneklerinin su içeriği % 84,68 (y.b) olduğu görülmüştür. Her bir deneme 200 gram elma ile başlatılmış ve su içeriği %10 (y.b.) seviyesine düşene kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Denemelerde elmalar kurutma tepsisi üzerine 0.5 mm kalınlığında dilimlenerek tek sıra halinde dizilmiştir (Şekil 4.5).

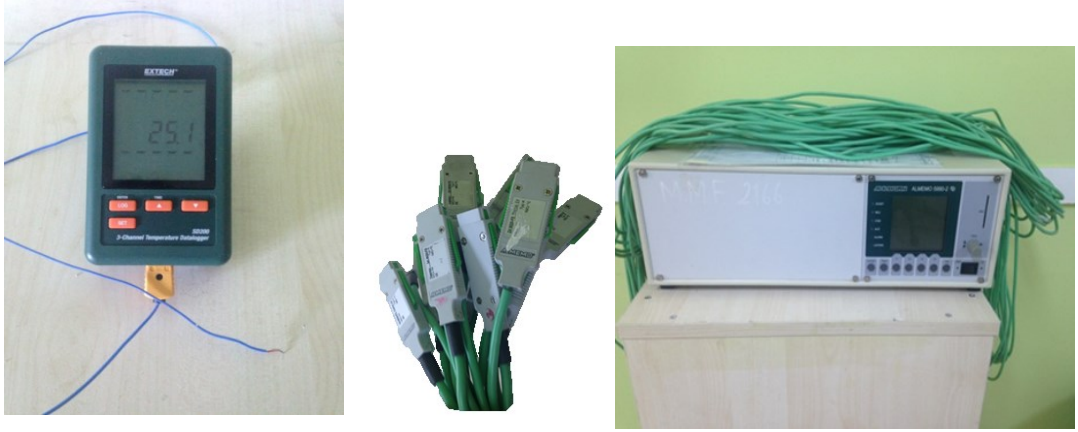


Şekil 4.5. Deneyde kullanılan elma dilimleri

#### 4.1.2. Ölçüm İçin Ekipmanlar

##### 4.1.2.1. Veri kayıt cihazı ve ısı çiftler

Bu çalışmada, Şekil 4.6'da görüldüğü gibi Extech SD 2000 model 3 kanallı ve Ahlborn Almemo 5990-2 model 15 kanallı iki adet data logger kullanılmıştır. Bu ölçüm cihazları yardımı ile eş zamanlı olarak kollektörün hava sıcaklıkları, sac sıcaklıkları ve tuğla sıcaklıkları ölçülmüştür. Her bir deney yaklaşık olarak 7 saat sürmüş ve bu zaman boyunca alınan veriler bilgisayara aktarılmıştır. Sıcaklık ölçümü K tipi ısı çiftlerle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Deney sırasında kullanılan sıcaklık ölçüm ve kayıt cihazları ile ısı çiftler

#### 4.1.2.2. Hava hızı ölçer

Kollektörün hava çıkış kanalına bağlanan radyal fanın debisi, CEM DT-8880 model kızgın telli anemometre kullanılarak ölçülen hava hızı değeri kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Bu cihaz, 0-50.1 °C sıcaklık ve hava hızı değeri 0.1-25 m/s hava hızı koşullarında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 4.7. Deneyde kullanılan kızgın telli hava hızı ölçer

#### 4.1.2.3. Radyometre

Denemelerde simülatör tarafından sağlanan ısıtım düzeylerinin ölçülmesinde Şekil 4.8'de görüldüğü üzere DeltaOhm marka HD2102.2 model Radyometre kullanılmıştır. Bu cihaz X dalgaboyu küresel güneş ısıtımı 0-2000 W/m<sup>2</sup> arasında ısıtım ölçümü yapabilmektedir.



Şekil 4.8. Deneyde kullanılan radyometre

#### 4.1.2.4. Renkölçer

Denemelerde kullanılan taze ve kurutulmuş elma örnekleri Şekil 4.9'da görülen PCE-CSM marka renkölçer ile  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.9. Deneyde kullanılan renkölçer

#### 4.1.2.5. Hassas terazi

Denemelerde kullanılan taze ve kurutulmuş elmaların ağırlıkları Şekil 4.10'da görülen Neck marka FLY-3000 model fanuslu hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür. Hassas terazi maksimum 3000 gram ve minimum 2 gram tartabilmekle beraber 0.01 gram hassasiyete sahiptir.



Şekil 4.10. Deneyde kullanılan hassas terazi

#### 4.1.2.6. Kurutma fırını

Denemelerde kullanılan Nükleon Nst-120 marka kurutma fırını Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Kurutma fırını (etüv), güvenilir ve hassas PID mikroişlemci kontrollü olup fanlı sirkülasyon sistemi sayesinde, sabit kuruma sıcaklıkları sağlamaktadır. Dijital kontrol paneli bulunan kurutma fırını 120 L hacimde ve +5/+250 C sıcaklık seviyelerine çıkabilmektedir. Fırının kurulu gücü 1500W, gerilimi ve frekansı 230V-50Hz, iç ölçü değerleri 49×49×50 cm ve dış ölçü değerleri ise 60×70×76 cm’dir.



Şekil 4. 11. Denemelerde kullanılan kurutma fırını

#### 4.1.2.7. Kurutma kabini

Kollektörün fan tarafından emilen havası elma kurutma denemelerinde kurutma kabine gönderilmiştir. Denemelerde kullanılan kurutma kabini 80×30×30 cm ölçülerinde galvaniz sacdan imal edilmiş ve dikdörtgen şekillidir. Bu kabinin çıkış kısmında yerden 4 cm yükseklikte ve 13 cm çapta bir kanal bulunmaktadır. Bu delikten radyal fana kadar 27 cm uzunluğunda bir hava kanalı oluşturulmuştur. Kurutma kabini içerisine elmaları kurutmak için 29×29 cm ölçülerinde kare kesitli bir kurutma tepsisi hazırlanmıştır (Şekil 4.12).



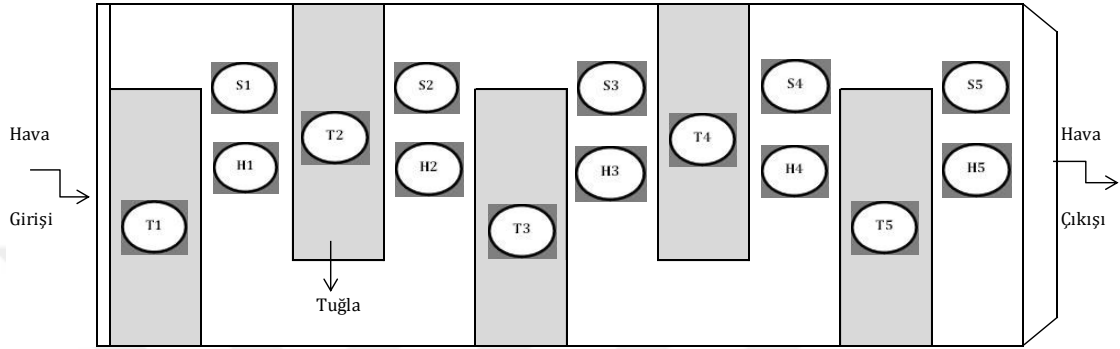
Şekil 4.12. Kurutma kabinin dış ve içten görünüşü

#### 4.2. YÖNTEM

Denemelerde güneş simülatöründe 1000, 750 ve 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetleri ve 0° geliş açısında uygulamalar yapılarak kollektör performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Güneş simülatörü altında bulunan kollektör için yapılan her denemede, yapay güneş ışınlmı sağlamak için simülatör 5 saat çalıştırılmıştır. Ayrıca güneş simülatörü kapatıldıktan sonra kollektör çıkış sıcaklığı, oda sıcaklığına 2-3°C sıcaklık farkına yaklaşıncaya kadar fan kapatılmamıştır. Deneme süresince radyal fan çalışmış olup bütün sıcaklık verileri K tipi ısılciftler ve data logger kullanılarak ölçülmüştür. Deney sistemi ölçüm noktaları ve kollektör yapısı Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Deney sisteminde güneş

kollektöründen sıcaklık ölçümü amacıyla kullanılan ısı çiftlerinin ölçüm noktaları, hava girişinden çıkış yönüne doğru aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Hava hızı ölçüm noktaları H1-H2-H3-H4-H5,
- Sac sıcaklıkları ölçüm noktaları S1-S2-S3-S4-S5,
- Tuğla sıcaklıkları ölçüm noktaları T1-T2-T3-T4-T5.

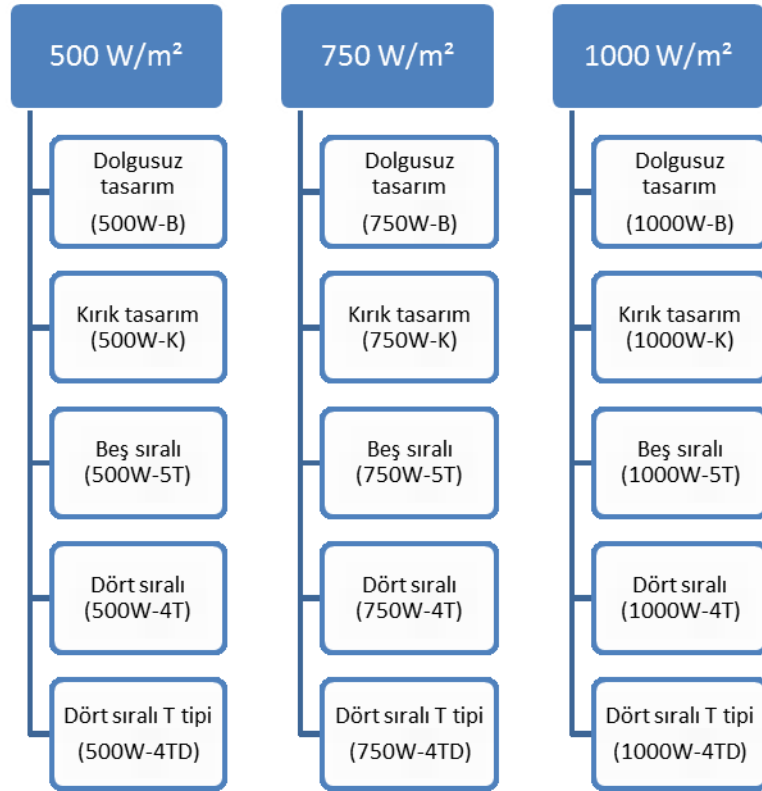


Şekil 4.13. Deney sistemindeki sıcaklık ölçüm noktaları

Çalışma kapsamında, deneysel hava ısıtılmalı güneş kollektörü tasarlanmış ve imal edilmiştir. Sistem, hava kanalı içerisinde farklı geometrik dizilişlerde dolomit tuğlalarının yerleştirilip test edilmesine uygun şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan ve imal edilen kollektör sisteminde kullanılan 5 farklı uygulama testlerinde kullanılan yöntemler farklı başlıklar altında aşağıda verilmiştir.

#### 4.3. Hava Isıtılmalı Güneş Kollektör Denemelerinde Test Edilen Uygulamalar

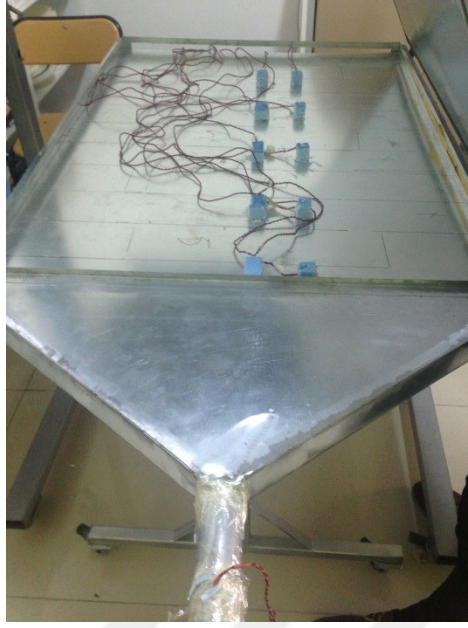
Çalışma kapsamında kollektör denemelerinin hava akış kanalları; dolgusuz, kırık dolomit tuğlası dolgulu, beş sıralı 15 adet dolomit tuğlalı (5T), dört sıralı 12 adet dolomit tuğlalı (4T) ve dört sıralı 12 adet dolomit tuğlalı T tipi (4TD) tasarımları uygulanmıştır. Laboratuvar koşullarında, 5 farklı kollektör tasarımı  $500 \text{ W/m}^2$ ,  $750 \text{ W/m}^2$  ve  $1000 \text{ W/m}^2$  ısıtım seviyelerinde test edilmiştir. Denemelerde kullanılan uygulamalar ve kısaltmaları Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Deney sisteminde yapılan uygulamalar ve kısaltmaları

#### 4.3.1. Dolgusuz kollektör tasarımı

Bu tasarımda, hava akış kanalında herhangi bir dolgu malzemesi kullanılmadan denemeler gerçekleştirilmiştir. Sistem içindeki her bir denemede, 5 adet sac sıcaklığı ve 5 adet hava sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca hava ısıtmalı güneş kollektörünün giriş havası sıcaklığı (ortam), kollektörün çıkış borusundaki hava sıcaklığı ve radyal fandan ortama aktarılan havanın sıcaklığı ısılciftler yardımıyla deneme sonuna kadar ölçülmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Dolgusuz tasarımı güneş kollektörü

#### 4.3.2. Kırık dolomit tuğlalı dolgulu kollektör tasarımı

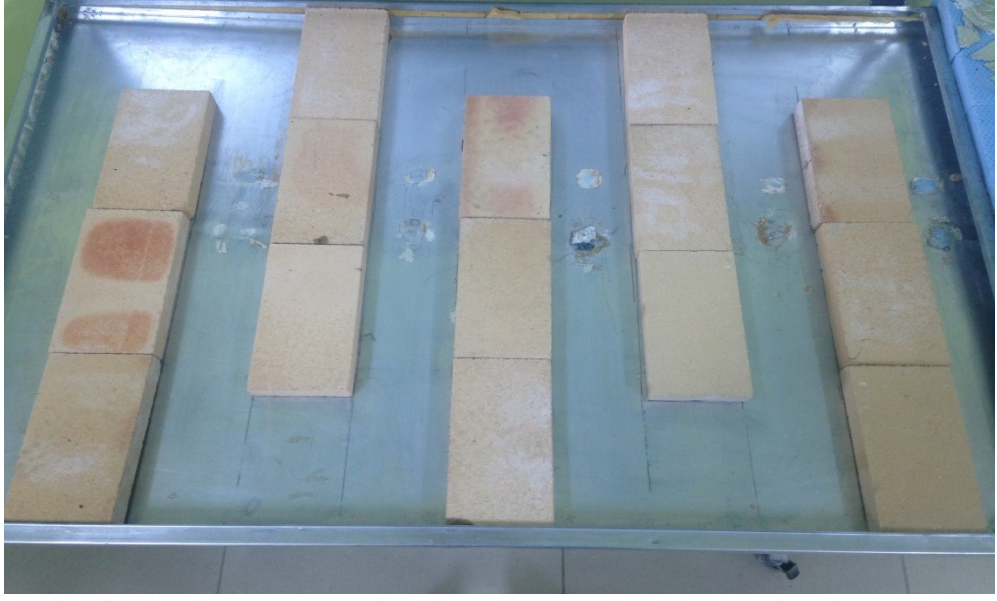
Bu tasarımda, hava akış kanalı kırık formda dolomit tuğlaları ile doldurularak denemeler gerçekleştirilmiştir. Sistem içindeki her bir denemede, 5 adet sac sıcaklığı ve 5 adet hava sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca hava ısıtmalı güneş kollektörünün giriş havası sıcaklığı (ortam), kollektörün çıkış borusundaki hava sıcaklığı ve radyal fandan ortama aktarılan havanın sıcaklığı ısılciftler yardımıyla deneme sonuna kadar ölçülmüş ve kayıt edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kırık tasarımlı güneş kollektörü

#### 4.3.3. Beş sıralı 15 dolomit tuğlalı kollektör tasarımı

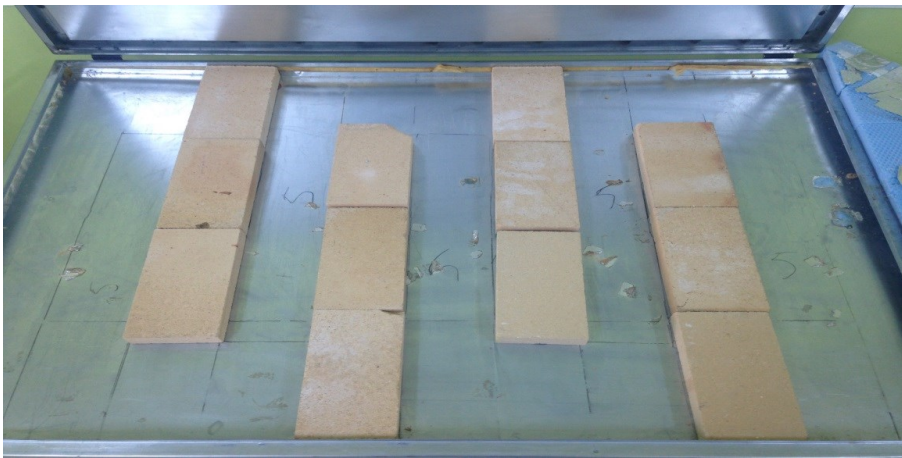
Bu tasarımda, hava akış kanalında 15 adet dolomit tuğlası ile havanın kollektör içerisinde gideceği yol uzatılarak ve kalma süreleri arttırılarak, ısıl verimin arttırılması hedeflenmiştir. Denemelerde havanın kollektör içerisinde 5 tur atarak çıkması sağlanmıştır. Sistem içindeki her bir denemede, 5 adet sac sıcaklığı 5 adet hava sıcaklığı ve 5 adet tuğla sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca hava ısıtmalı güneş kollektörünün giriş havası sıcaklığı (ortam), kollektörün çıkış hava borusundaki sıcaklığı ve radyal fandan ortama aktarılan havanın sıcaklığı ısılciftler yardımıyla ölçülmüş ve veri kayıt cihazı tarafından kayıt edilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. On beş tuğlalı tasarımı güneş kollektörü

#### 4.3.4. Dört sıralı 12 dolomit tuğlalı kollektör tasarımı

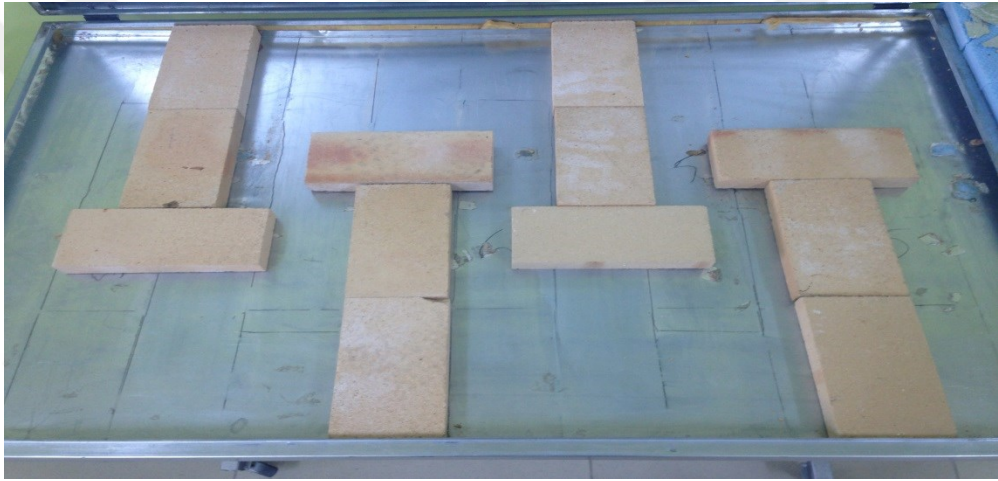
Bu tasarımda, hava akış kanalında 12 adet dolomit tuğlası ile havanın kollektör doğrultusunda 4 tur atması sağlanarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Sistem içindeki her bir denemede 5 adet sac sıcaklığı, 5 adet hava sıcaklığı ve 4 adet tuğla sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca hava ısıtmalı güneş kollektörünün giriş havası sıcaklığı (ortam), kollektörün çıkış borusundaki hava sıcaklığı ve radyal fandan ortama aktarılan havanın sıcaklığı ısılciftler yardımıyla deneme sonuna kadar ölçülerek kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. On iki tuğlalı tasarımı güneş kollektörü

#### 4.3.5. Dört sıralı T tipi 12 dolomit tuğlalı kollektör tasarımı

Bu tasarımda, hava akış kanalında 12 adet dolomit tuğlası kullanılmış ve havanın akış yönünü değiştirmek için son tuğlalar  $90^\circ$  açıyla konumlandırılmıştır. Sistem içindeki her bir denemede 5 adet sac sıcaklığı, 5 adet hava sıcaklığı ve 4 adet tuğla sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca hava ısıtılmalı güneş kollektörünün giriş havası sıcaklığı (ortam), kollektörün çıkış borusundaki hava sıcaklığı ve radyal fandan ortama aktarılan havanın sıcaklığı ısılciftler yardımıyla deneme sonuna kadar ölçülmüş ve kayıt edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Dört sıralı T tipi 12 dolomit tuğlalı kollektör

#### 4.4. Hava Isıtılmalı Güneş Kollektörü Denemelerinde Kullanılan Eşitlikler ve Hesaplamalar

Çalışma kapsamında, her bir deney için yapılan hesaplamalarda sırasıyla aşağıdaki formüller uygulanmış olup, elde edilen sonuçlara göre en başarılı tasarım belirlenmiştir.

Hava ısıtılmalı güneş kollektöründe faydalı enerji, kollektörden geçen havanın kütsel debisine, havanın özgül ısısına ve kollektörün giriş-çıkış sıcaklıklarına bağlıdır. Faydalı enerjinin hesaplanmasında 4.1 numaralı eşitlik kullanılmıştır;

$$Q = \dot{m} C_p (T_{\text{ç}} - T_{\text{g}}) \quad (4.1)$$

Q:Faydalı enerji

$\dot{m}$ :Kütleli debi (kg/s)

$C_p$ : Özgöl ısı (1.005 kJ/kg °C)

$T_{\text{ç}}$ :Kollektörün çıkış sıcaklığı (°C)

$T_{\text{g}}$ : Kollektörün giriş sıcaklığı (°C)

Kollektörden geçen havanın kütleli debisi, havanın yoğunluğuna, hava kanalının çıkış kesit alanına ve hava akış hızına bağlıdır. Havanın kütleli debisi;

$$\dot{m} = \rho A_{\text{ç}} V \quad (4.2)$$

$\rho$ : Havanın yoğunluğu (1.29 kg/m<sup>3</sup>)

$A_{\text{ç}}$ : Kollektör çıkış kesit alanı (0.00138474 m<sup>2</sup>)

$V$ : Hava akış hızı (4.17 m/s)

Kollektörün ısı verimi, faydalı enerjiye, kollektörün üzerine düşen ışınlam şiddetine ve kollektör yüzey alanına bağlıdır. Kollektörün ısı verimi;

$$\eta = \frac{Q}{I \times A} \quad (4.3)$$

$A_k$ : Kollektörün yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

$I$ : Işınlam şiddeti (W/m<sup>2</sup>)

$\eta$ : Kollektörün ısı verimi (%)

#### 4.5. Kurutma İle İlgili Hesaplamalar

Kurutma denemelerinde gerçekleştirilen kollektör çalışmalarında en yüksek çıkış sıcaklığı veren 1000W-5T tasarım ile 1000W-B tasarımları uygulanmıştır. Seçilen bu iki tasarım için elma kurutma denemeleri ve belirlenen kurutma havası sıcaklıklarındaki kurutma hesaplamaları yapılmıştır. Nem içeriği ve

kuruma hızı, yeniden su alma kapasitesi, renk ve özgül enerji tüketimi gibi ölçümler gerçekleştirilmiştir.

#### 4.5.1. Nem içeriği ve kuruma hızı

Taze elma örneklerinin nem içeriğini belirlemek için; 70 °C'ye ayarlanan etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma işlemi uygulanmıştır. Denemelerde kullanılan elma örneklerinin zamana göre nem içeriği değişimini belirlemek için on dakikada bir alınan örnek ağırlıkları MS Excel ortamında kaydedilmiştir. Alınan bu veriler gözden geçirilerek oluşan değişimler hesaplanmıştır. Daha sonra ürünün nem içeriği yaş bazda (y.b.) hesaplanmıştır (Yağcıoğlu, 1999).

$$\%Nem\ İçeriği = \frac{W_y - W_k}{W_y} \times 100 \quad (4.4)$$

$W_y$ : Ürünün yaş ağırlığı (g)

$W_k$ : Ürünün kuru ağırlığı (g)

$$W_{su} = W \frac{N_1 - N_2}{100 - N_2} \quad (4.5)$$

$W_{su}$ : Üründen buharlaşan su miktarı (g)

$W$ : Ürünün ilk ağırlığı (g)

$N_1$ : Ürünün ilk nem içeriği (%y.b.)

$N_2$ : Ürünün son nem içeriği (%y.b.)

Ürünün nem içeriği belirlendikten sonra, birim zamanda elmadan uzaklaştırılan su miktarını gösteren kuruma hızı değeri 4.6 numaralı eşitlik kullanılarak bulunmuştur;

$$K.H. = \frac{dM}{dt} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (4.6)$$

K.H. : Kuruma hızı (g su/g kuru madde.dak)

Mt+dt: Taze ürün nem içeriği (%y.b.)

Mt: t anında nem içeriği (%y.b.)

#### 4.5.2. Yeniden su alma kapasitesi

Kurutulmuş ürünlerin yeniden su alma kapasitesi fiziksel bir olaydır. Ancak ürünlerde analiz edilen su alma kapasitesi uygulaması, ürünler üzerinde büzülme ve parçalanma gibi olumsuz etkiler oluşturmaları halinde kimyasal veya fiziko-kimyasal değişmelere de neden olmaktadır (Lewicki ve Jakubczyk, 2004). Su dolu bir kaba yerleştirilen kurutulmuş elma örnekleri, 24 saat bekletildikten sonra ağırlıkları tartılmıştır (Ertekin ve Yaldız, 2004). Yeniden su alma kapasitesi, kurutulan ürünün taze ürüne yaklaşımını belirlemek için ıslak ürün ağırlığının taze ürün ağırlığına oranı olarak hesaplanmıştır (Akyıldız 1999).

Yeniden su alma kapasitesi, taze ürün ve yeniden su aldırılan ürünün ağırlığına bağlıdır. Aşağıdaki 4.7 numaralı eşitlik kullanılmıştır;

$$RC = \frac{W_1}{W_0} \times 100 \quad (4.7)$$

RC: Yeniden su alma kapasitesi (%)

W<sub>0</sub>: Taze ürün ağırlığı (g)

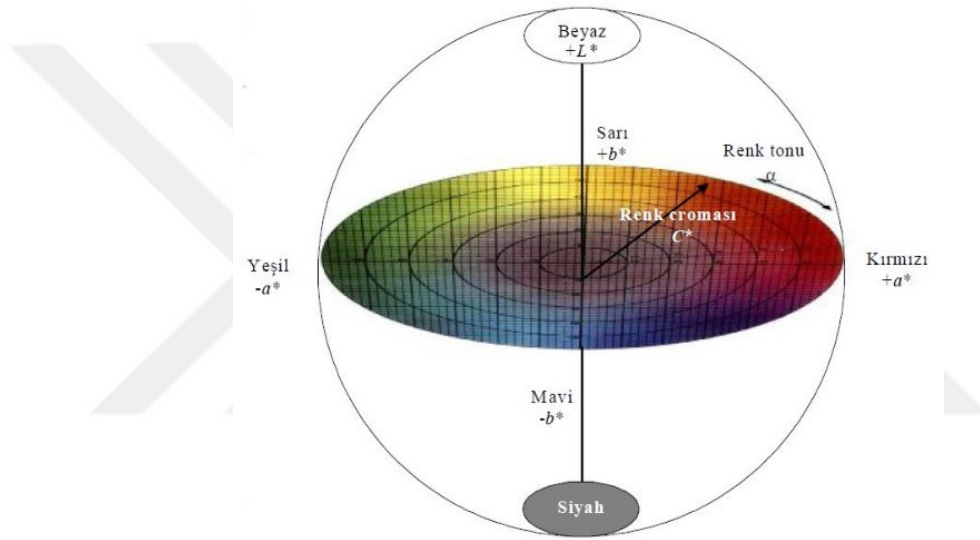
W<sub>1</sub>: Yeniden su alan ürünün ağırlığı (g)

#### 4.5.3. Renk analizi

Renk, meyve ve sebzelerin aroma, besin değeri, kalite ve kendine özgü yapısını oluşturan temel etmenlerden biridir (Jen, 1988). Renk, Hue (H), renk değerleri (L\*, a\*, b\*) ve Chroma (C) olmak üzere 3 parametreden meydana gelmektedir. Taze ve kurutulmuş elma dilimlerinde, kurutma koşullarının etkilerini belirlemek amacıyla renk analizleri yapılmıştır.

Renk ölçümleri Şekil 4.20’de görülen CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) renk sistemine göre;

- Parlaklık değeri (L), 0-100 arasında değişmektedir, 0 değeri (siyah) ve 100 değeri (beyaz),
- Kırmızılık (a) ve yeşillik (-a) değerleri, +90 (kırmızı) ve -90 (yeşil) arasında değişmektedir,
- Sarılık (b) ve mavilik (-b) değerleri, +90 (sarı) ve -90 (mavi) arasında değişmektedir (Anonim,1996).



Şekil 4.20. CIE L\*, a\* ve b\* renk uzayı

Kurutulan ürünlerin taze ürünlere göre renk değişimini belirlemek amacıyla toplam renk sapması hesaplaması yapılmaktadır. Hesaplanan değerlerin negatif ya da pozitif bir değer alması durumunda;

- Pozitif  $\Delta L^*$  kurutulan ürünün renk parlaklığı, taze (standart) ürünün renk parlaklığından daha yüksektir. Eğer değer negatif ise ürünün renk parlaklığının azaldığını göstermektedir,
- Pozitif  $\Delta a^*$  kurutulan üründeki yeşil rengin, taze (standart) ürünün yeşil renginden daha düşük olmasıdır. Eğer değer negatif ise ürünün yeşil renginin arttığını göstermektedir,

- Pozitif  $\Delta b^*$  kurutulan ürünlerdeki sarı rengin taze (standart) ürünün sarı renginden daha yüksektir. Eğer değer negatif ise ürünün sarı renginin azaldığını göstermektedir.

Toplam renk değişimi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır;

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4.8)$$

$$\Delta L = L_{\text{örnek}} - L_{\text{standart}}$$

$$\Delta a = a_{\text{örnek}} - a_{\text{standart}}$$

$$\Delta b = b_{\text{örnek}} - b_{\text{standart}}$$

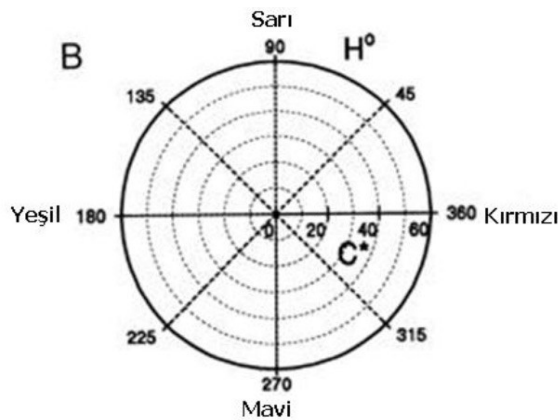
$\Delta a$ : Kırmızı renk sapması

$\Delta b$ : Sarı renk sapması

$\Delta L$ : Renk parlaklığı sapması

$\Delta E$ : Toplam renk sapması

Elma renklerinin karşılaştırılması sırasında  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  koordinatlarının yanı sıra, bu değerlerden türetilmiş olan renk yoğunluğu  $C$  (Kroma) değerleri hesaplanmıştır.  $C$  değeri boyutsuz bir değer olup 0-60 arasında değişmektedir.  $H$  (hue) açısı,  $0^\circ$  ve  $360^\circ$  açı değerinde kırmızı-mor,  $90^\circ$  açı değerinde sarı,  $180^\circ$  açı değerinde yeşil ve  $270^\circ$  açı değerinde ise mavi olan Şekil 4.21'de görüldüğü gibi bir renk dairesi olarak tanımlanmaktadır (McGuire, 1992).



Şekil 4.21. CIELAB sistemindeki renk dairesinin gösterimi

C değerleri ve sapmalarının elde edilmesinde yararlanılan eşitlikler aşağıda belirtilmiştir (Soysal,2000);

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4.9)$$

Hue, renk uzayında bulunan renklerin adıdır ve yeşil, sarı, mavi ve kırmızı renk örnekleri verilebilmektedir. Denemelerde H (hue) değerleri,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin negatif ve pozitif olmasına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Guine ve Barroca, 2012).

Çizelge 4.1. Renk açısının (hue) bulunmasında kullanılan eşitlikler

| Eşitlik                                        | Değer Aralığı          | Eşitlik No |
|------------------------------------------------|------------------------|------------|
| $H = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$       | $a^* > 0$ ve $b^* > 0$ | (4.10)     |
| $H = 180 + \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$ | $a^* < 0$ ve $b^* > 0$ | (4.11)     |
| $H = 270 + \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$ | $a^* < 0$ ve $b^* < 0$ | (4.12)     |
| $H = 360 + \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$ | $a^* > 0$ ve $b^* < 0$ | (4.13)     |

H: Renk açısı (Hue)

Esmerleşme (kahverengileşme) indeksi, kahverengi rengin saflığını temsil etmektedir ve esmerleşme reaksiyonlarının ürün renginde meydana getirdiği bazı değişimleri tanımlamada önemli bir parametredir (Palou vd., 1999).

Örneklerin esmerleşme indeksi (BI), aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır (Buera vd., 1986);

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{(0.17)} \quad (4.14)$$

Formülde yer alan x kromatiklik koordinatıdır ve XYZ tristimulus değerlerinden hesaplanmaktadır. Aşağıdaki formüle göre;

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (4.15)$$

BI: Esmerleşme indeksi

x: Kromatiklik değeri

#### 4.5.4. Özgül enerji tüketimi

Özgül (spesifik) enerji tüketimi örneklerden birim miktarda suyu uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı olarak tarif edilmiş ve MJ/kg su olarak verilmiştir. Kurutma sisteminin çalışması boyunca üzerinde bulunan dijital sayaç ile kullanılan toplam elektrik enerjisi miktarı belirlenmiş, üründen uzaklaştırılan suyun miktarı da hesaplanmıştır. Denemeler esnasında taze ürün ile kuru ürün arasındaki ağırlık farkı bulunmuştur. Bunların sonucunda bir deneme boyunca tüketilen enerjinin o çalışmada örnekten uzaklaştırılan suyun kütlesine oranı özgül enerjiyi vermektedir (Das vd. 2004; Wang ve Sheng 2006);

$$E_s = \frac{E_T}{W_r} \quad (4.16)$$

$E_s$ : Özgül enerji tüketimi (MJ/kg su)

$E_T$ : Tüketilen elektrik enerjisi miktarı (MJ)

$W_r$ : Örnekten uzaklaştırılan suyun kütlesi (kg su)

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Kollektör denemelerinde kullanılan deneysel güneş kollektörü tasarımlarının 5 farklı noktasından hava sıcaklıkları, yutucu plaka sıcaklıkları ve dolgu malzemesi kullanımına göre tuğla sıcaklıkları ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. Denemeler 3 farklı ısıtım düzeylerinde (500, 750 ve 1000 W/m<sup>2</sup>) ve 5 farklı tasarımda gerçekleştirilmiştir. Kollektör denemeleri sonrasında kurutma denemeleri yapılmıştır. Kollektör ve kurutma denemeleri sonuçları ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

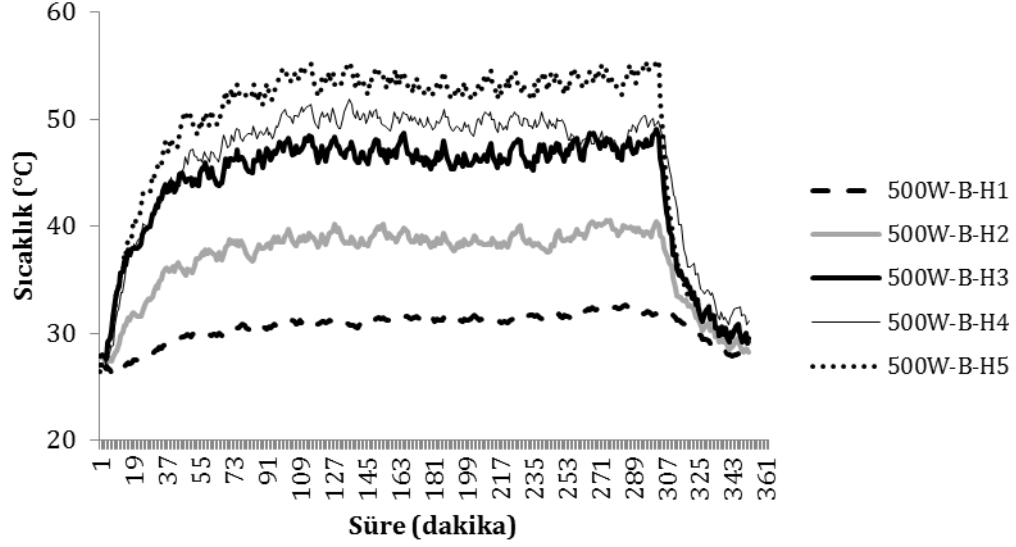
### 5.1. Kollektör Denemelerinden Elde Edilen Bulgular

#### 5.1.1. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında elde edilen bulgular

Güneş simülatöründen sağlanan 500 W/m<sup>2</sup>'lik yapay ısıtım ile deneysel güneş kollektörü üzerinden elde edilen veriler, denemelerde kullanılan tasarımlara göre sıralanmıştır.

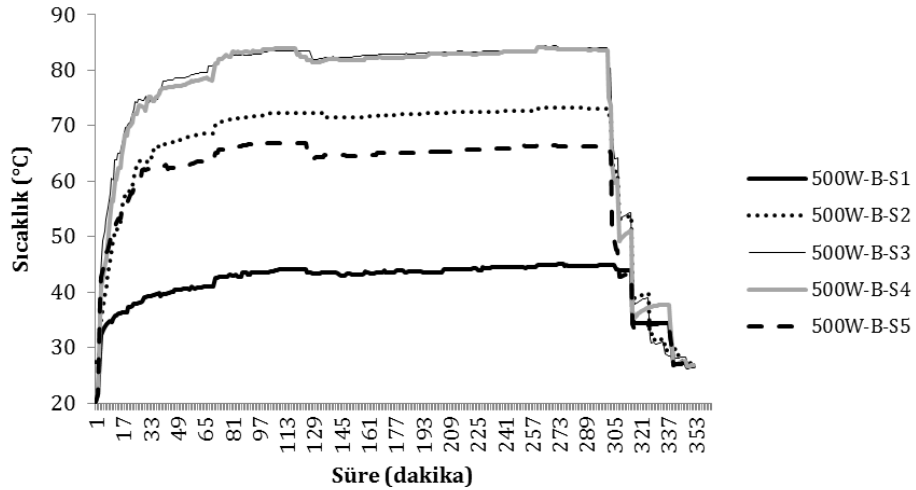
##### 5.1.1.1. Dolgusuz tasarımlı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.1'de deneysel güneş kollektörünün 5 farklı noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı H5 ölçüm noktasında 300. dakikada 55.54°C olarak gerçekleşmiştir. 5 saat tamamlandıktan sonra güneş simülatörü kapatıldığı için çıkış sıcaklıkları tüm ölçüm noktalarında hızlı bir şekilde düşüşe geçmiş ve 362 dakika sonra ortam sıcaklığı seviyelerine düşmüştür.



Şekil 5.1. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dolgusuz kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi

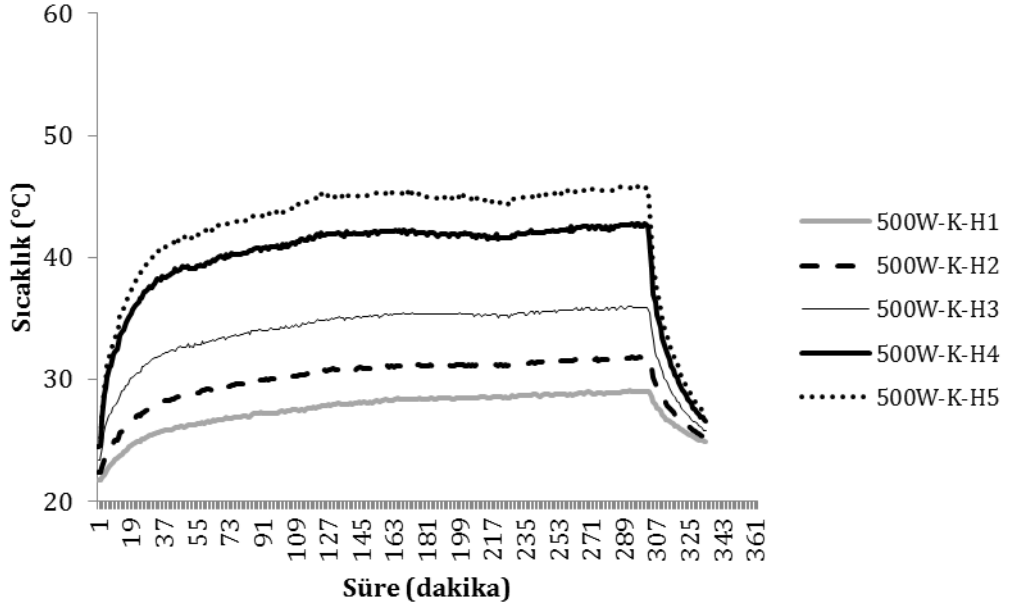
Şekil 5.2’de kollektörün belirli aralıklarla oluşturulan 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında yapılan denemelerde, ölçülen değirlere göre en yüksek plaka sıcaklık değirlarine S3’ün sahip olduğu belirlenmiştir. Güneş simülatörünün çalıştırıldığı 300 dakikalık sürede S3 noktası sıcaklık değirlarinin 84,44°C olduğu görülmüştür.



Şekil 5.2. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dolgusuz kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

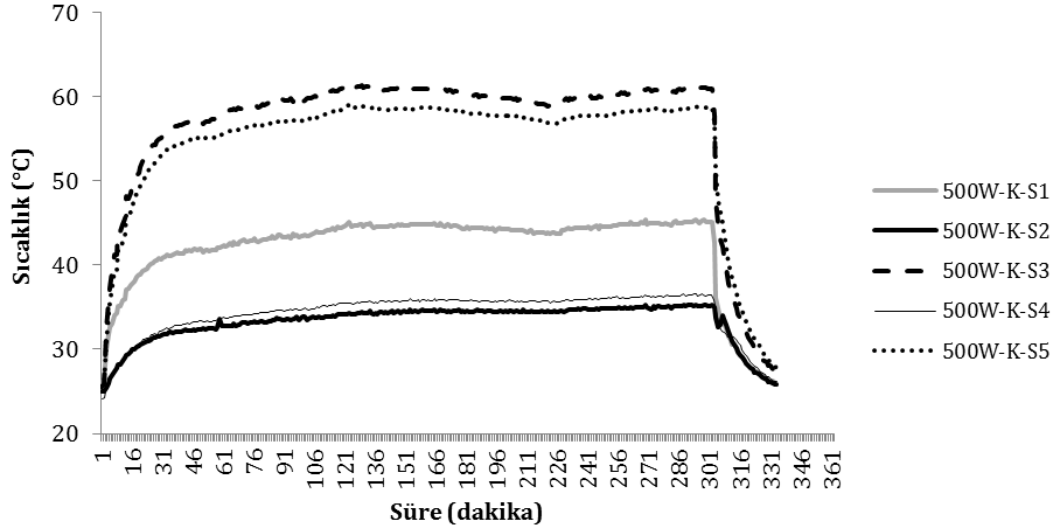
#### 5.1.1.2. Kırık dolomit tuğlası dolgulu hava ısıtmalı güneş kolektörü

Şekil 5.3’de güneş kolektörünün hava akış kanalı boyunca 5 farklı ölçüm noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri 45,86°C olduğu ölçülmüş olup 358 dakika sonunda ortam sıcaklığından 2-3°C daha fazla sıcaklığa ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 5.3. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında kırık dolomit tuğlalı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

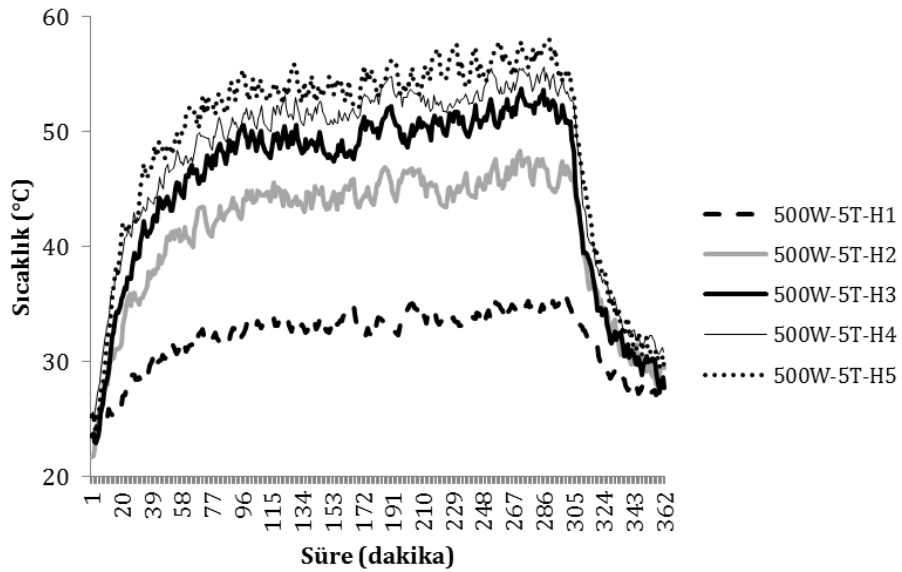
Şekil 5.4’de kolektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S3’ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sıcaklık değeri 61,60°C olarak tespit edilmiştir. Denemenin 307. dakikasından sonra aniden düşüşe geçtiği belirlenmiştir.



Şekil 5.4. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

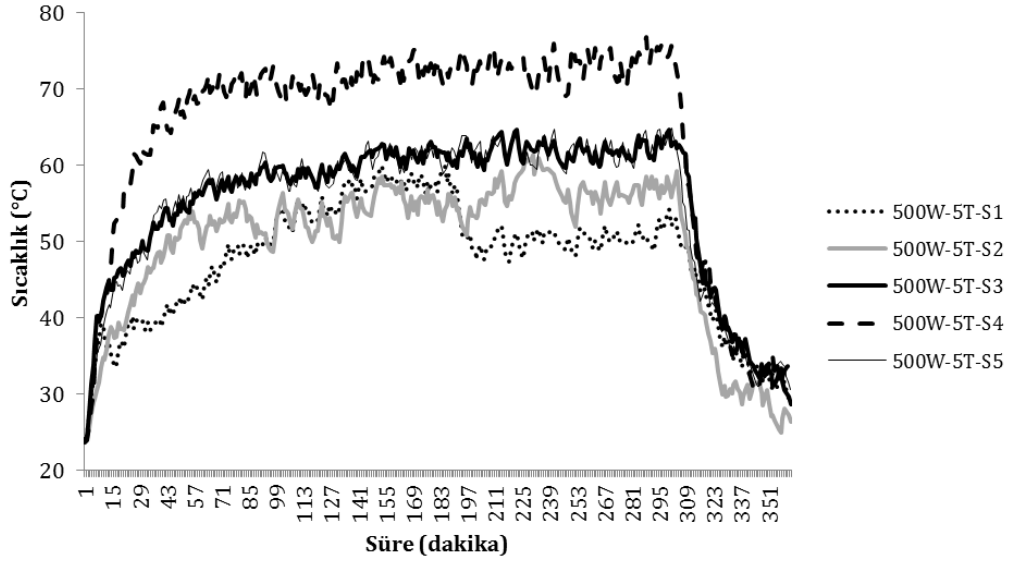
#### 5.1.1.3. Beş sıralı 15 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.5’de kollektörün 5 farklı noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine 300. dakikada H5’in sahip olduğu görülmüştür. Denemede H5’in sıcaklık değeri 58,09°C’ye kadar yükselmiştir ve 362 dakika sonunda oda sıcaklığından 2-3°C daha yüksek sıcaklık değerine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.5. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.6'da kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S4'in sahip olduğu belirlenmiştir. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri 76,80°C olduğu görülmüştür.



Şekil 5.6. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

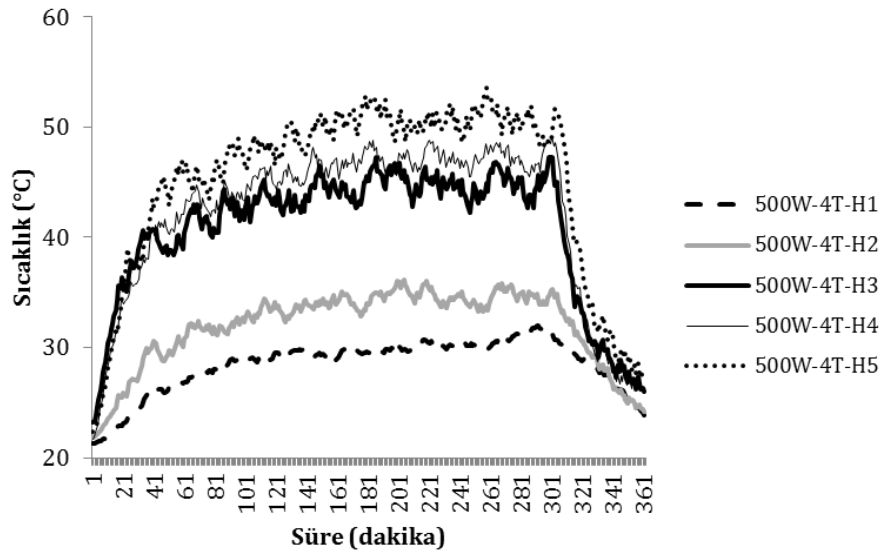
Şekil 5.7'de kollektörün içersine yerleştirilen tuğlaların 5 farklı noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. Güneş simülatöründen elde edilen 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde yapılan denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değierlerine T4 ve T5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla en yüksek sıcaklık değierleri 58,82°C ve 58,61°C olduğu görülmüştür. Kollektörün çıkış kısmına yakın konumlandırılan tuğlaların sıcaklık değierlerinin birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.7. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında 15 tuğlalı tasarımlı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değişimi

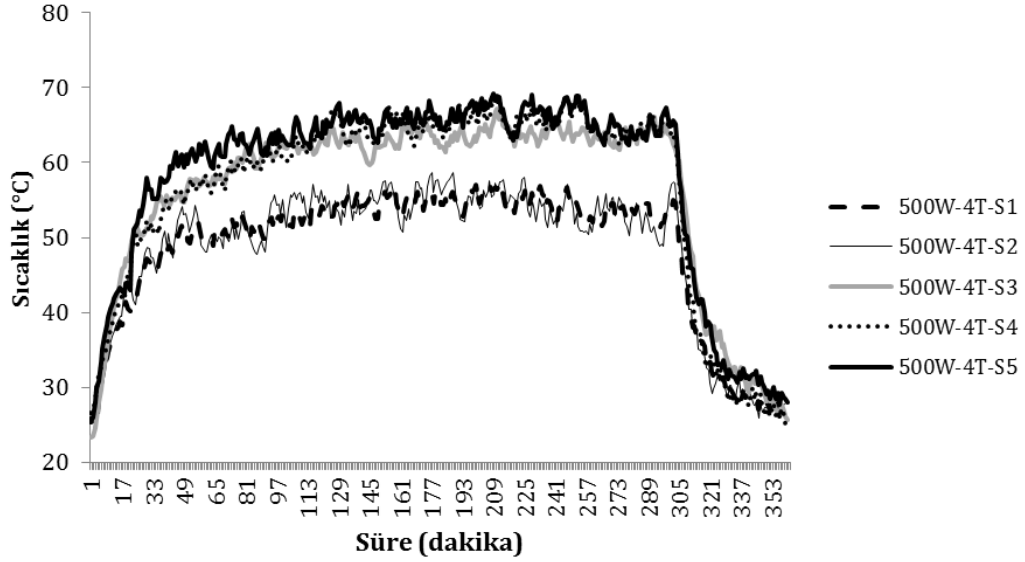
#### 5.1.1.4. Dört sıralı 12 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.8’de kollektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklığı 53,59°C’ye kadar yükselmiş ve 361 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür. Kollektörün çıkış kısmına en yakın olan H5 değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.8. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında 12 tuğlalı tasarımlı kollektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.9'da kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri 69,20°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.9. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

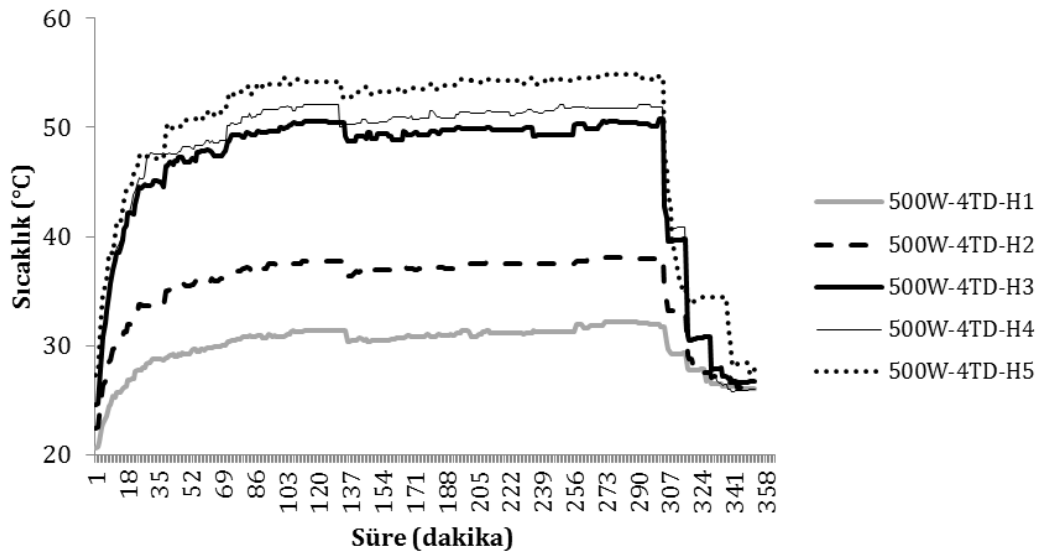
Şekil 5.10'da kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değerlerine T2 ve T4'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değerleri 49,36°C ve 66,24°C olduğu görülmüştür. Kollektörün çıkış kısmına doğru sistem içindeki hava sıcaklığının artması nedeniyle T4'ün tuğla sıcaklık değeri diğerlerine göre daha yüksektir.



Şekil 5.10. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında 12 tuğlalı tasarımlı kolektörün tuğla sıcaklıklarının değişimi

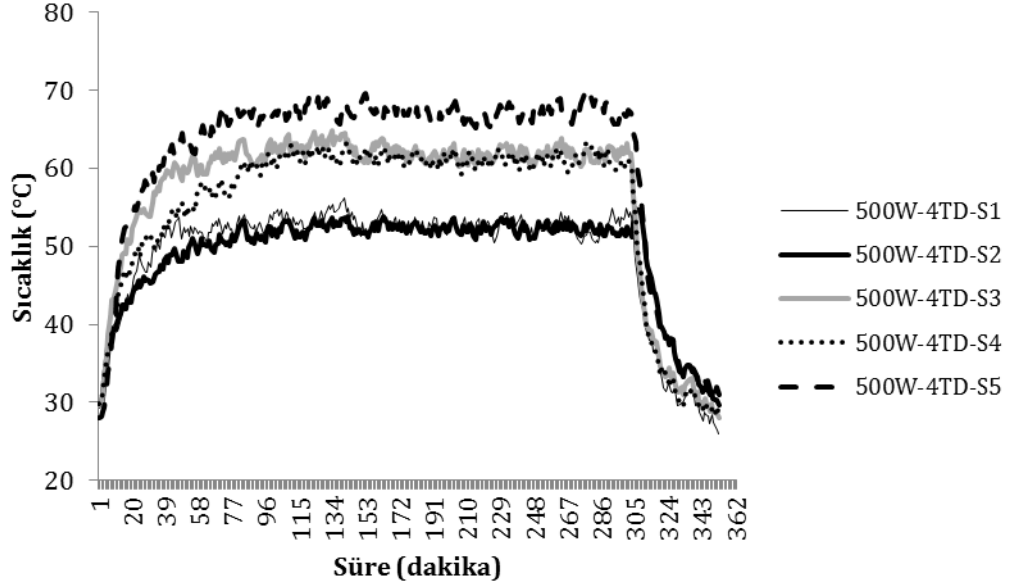
#### 5.1.1.5. Dört sıralı 12 tuğlalı T tipi hava ısıtmalı güneş kolektörü

Şekil 5.11'de kolektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 54,89°C'ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



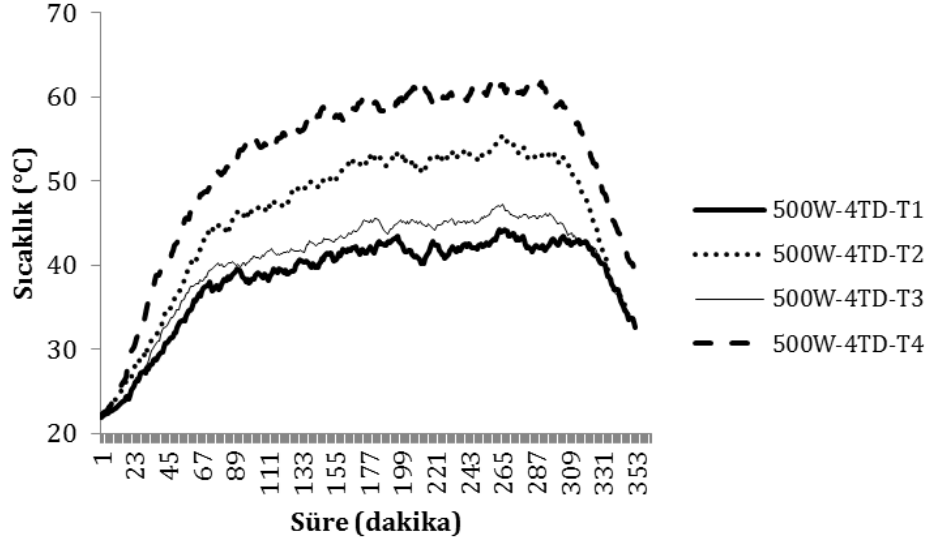
Şekil 5.11. 500 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımlı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.12’de kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $500 \text{ W/m}^2$  ışıınım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerlerine S5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $69,84^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.12.  $500 \text{ W/m}^2$  ışıınım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.13’de kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $500 \text{ W/m}^2$  ışıınım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değerlerine T2 ve T4’ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değerleri  $55,49^\circ\text{C}$  ve  $62,23^\circ\text{C}$  olduğu görülmüştür.



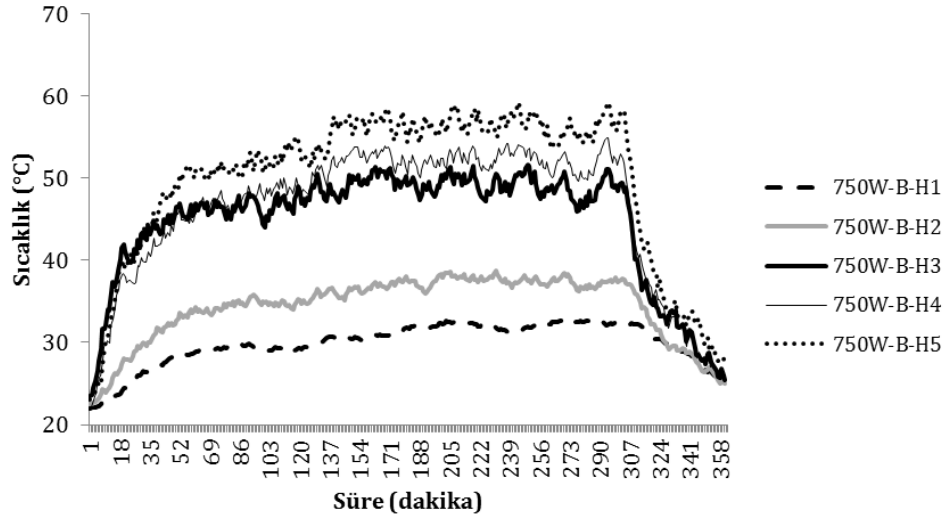
Şekil 5.13. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi

#### 5.1.2. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında elde edilen bulgular

Güneş simülatöründen sağlanan 750 W/m<sup>2</sup>'lik yapay ışınlm ile deneysel güneş kollektörü üzerinden elde edilen veriler, denemelerde kullanılan tasarımlara göre sıralanmıştır.

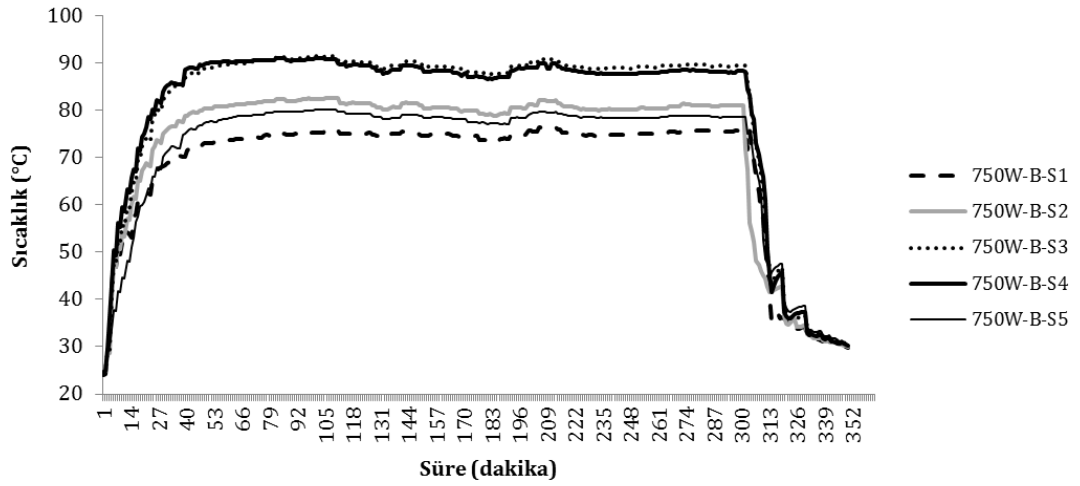
##### 5.1.2.1. Dolgusuz tasarımı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.14'de kollektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değeri H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 59,26°C'ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.14. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dolgusuz kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi

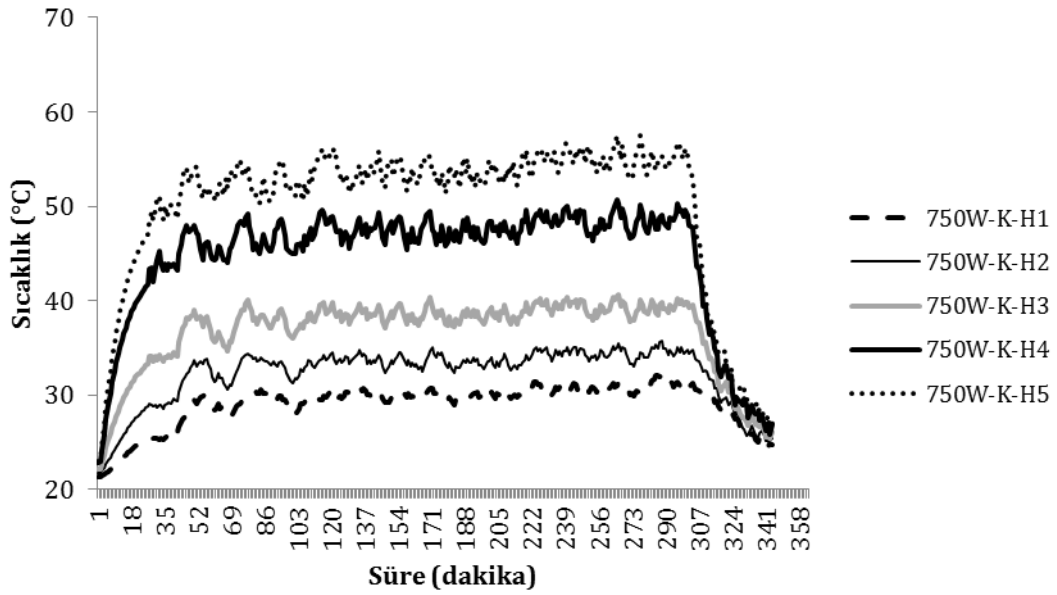
Şekil 5.15'de kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değeri S3'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri 91,53°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.15. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dolgusuz kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

### 5.1.2.2. Kırık dolomit tuğlalı tasarımlı hava ısıtmalı güneş kolektörü

Şekil 5.16'da kolektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı  $57,50^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.16.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.17'de kolektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerlerine S3'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $78,40^\circ\text{C}$  olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.17. 750 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

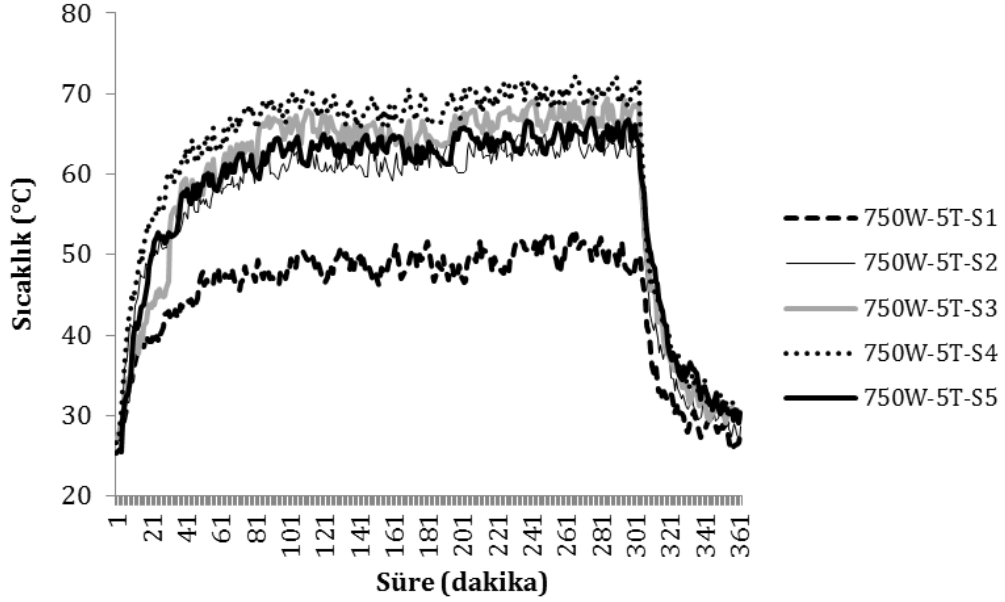
#### 5.1.2.3. Beş sıralı 15 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.18'de kollektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 750 W/m<sup>2</sup> ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 66,26°C'ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.18. 750 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.19'da kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S4'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $72,17^\circ\text{C}$  olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.19.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

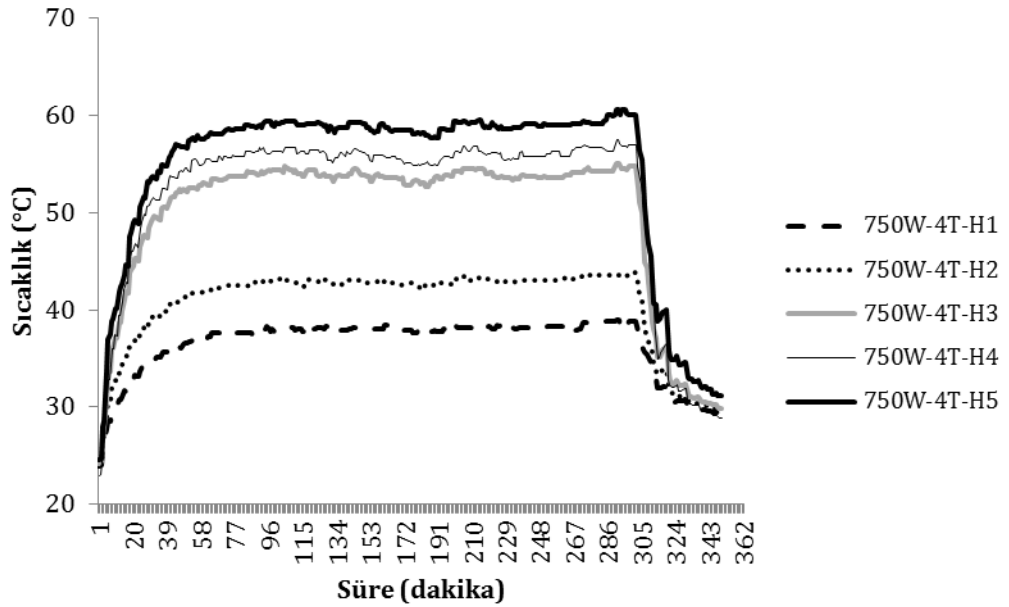
Şekil 5.20'de kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değerlerine T4 ve T5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değerleri  $64,43^\circ\text{C}$  ve  $66,42^\circ\text{C}$  olduğu görülmüştür.



Şekil 5.20. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi

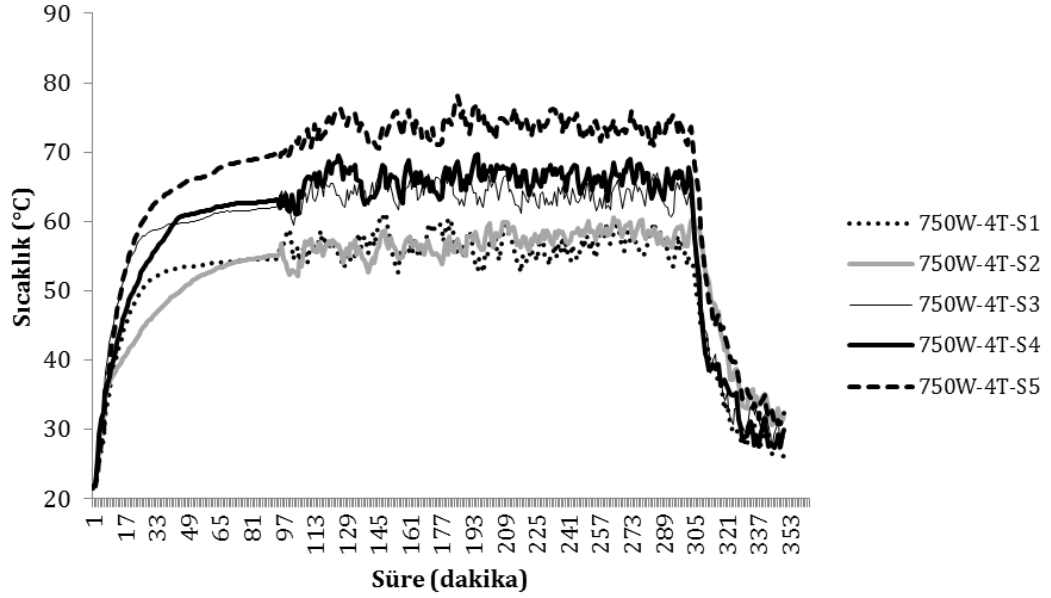
#### 5.1.2.4. Dört sıralı 12 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.21’de kollektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değeri H5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 60,64°C’ye yükselmiş ve 362 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.21. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi

Şekil 5.22’de kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ışıınım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $78,05^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.22.  $750 \text{ W/m}^2$  ışıınım koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

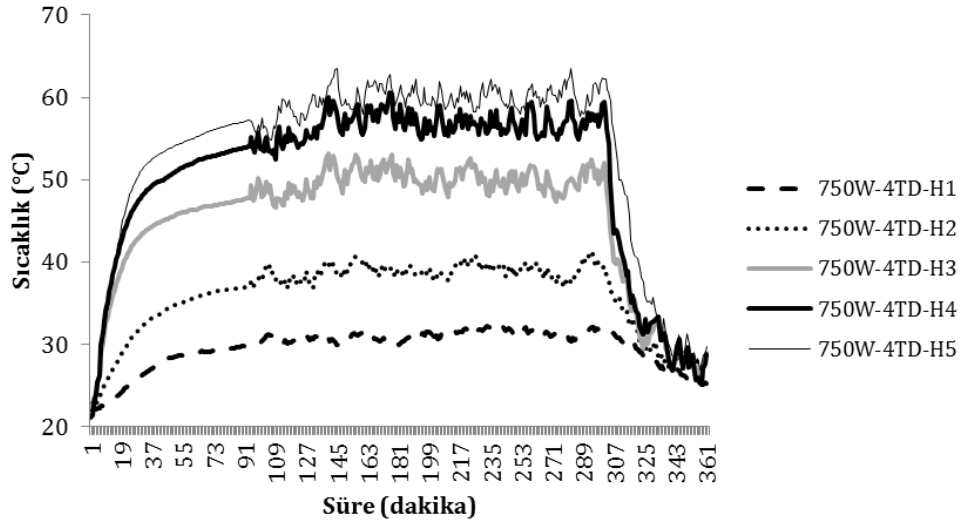
Şekil 5.23’de kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ışıınım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değerlerine T3 ve T4’ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değerleri  $47,86^\circ\text{C}$  ve  $61,82^\circ\text{C}$  olduğu görülmüştür.



Şekil 5.23. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 12 tuğlalı tasarımli kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi

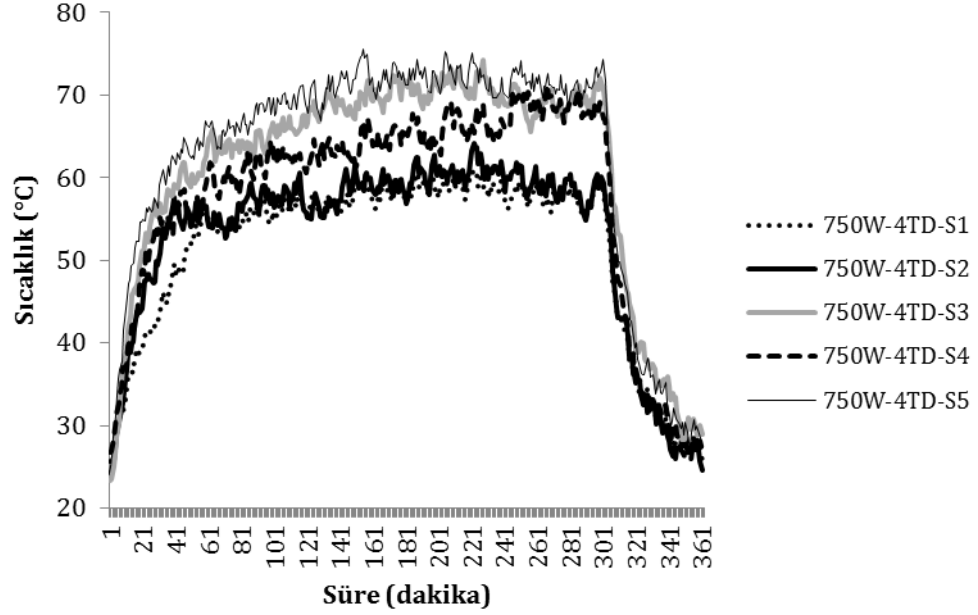
#### 5.1.2.5. Dört sıralı 12 tuğlalı T tipi hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.24'de kollektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değierine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 63,52°C'ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



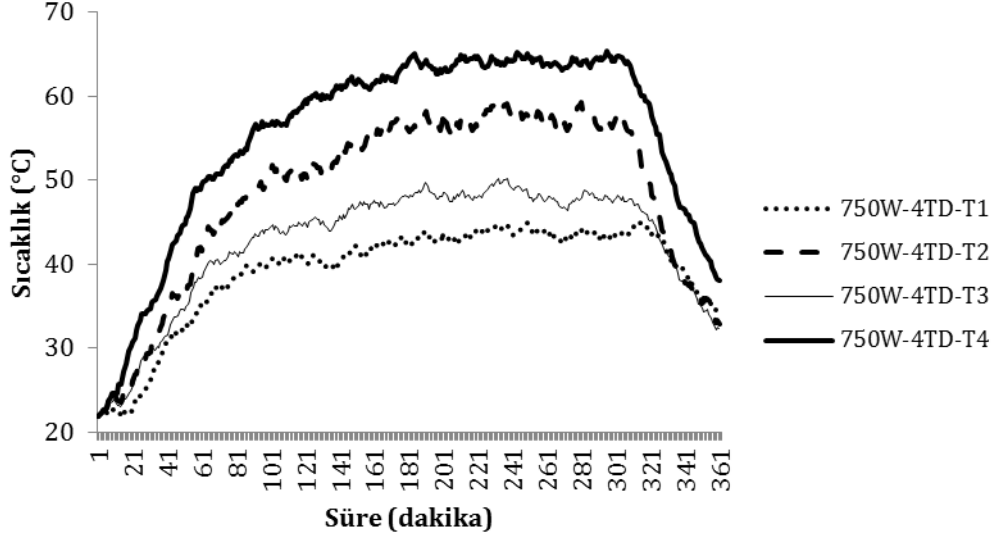
Şekil 5.24. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dört sıralı T tipi tasarımli kollektörün hava sıcaklıklarının değışimi

Şekil 5.25’de kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $75,52^\circ\text{C}$  olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.25.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımlı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.26’da kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $750 \text{ W/m}^2$  ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değerlerine T2 ve T4’ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değerleri  $59,27^\circ\text{C}$  ve  $65,38^\circ\text{C}$  olduğu görülmüştür.



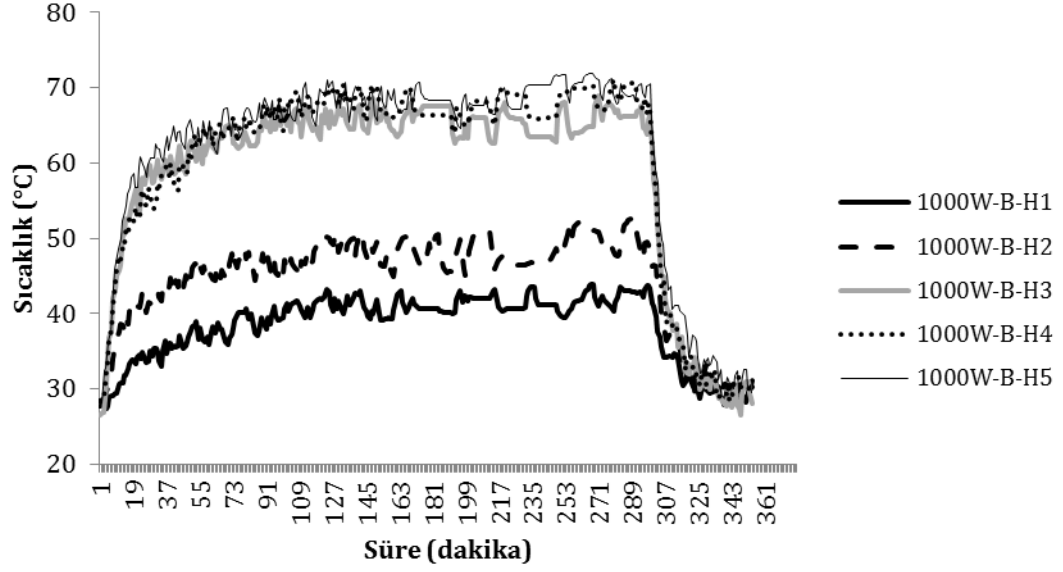
Şekil 5.26. 750 W/m<sup>2</sup> ışınlım koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değişimi

### 5.1.3. 1000W/m<sup>2</sup> ışınlım koşullarında elde edilen bulgular

Güneş simülatöründen sağlanan 1000 W/m<sup>2</sup>'lik yapay ışınlım ile deneysel güneş kollektörü üzerinden elde edilen veriler, denemelerde kullanılan tasarımlara göre sıralanmıştır.

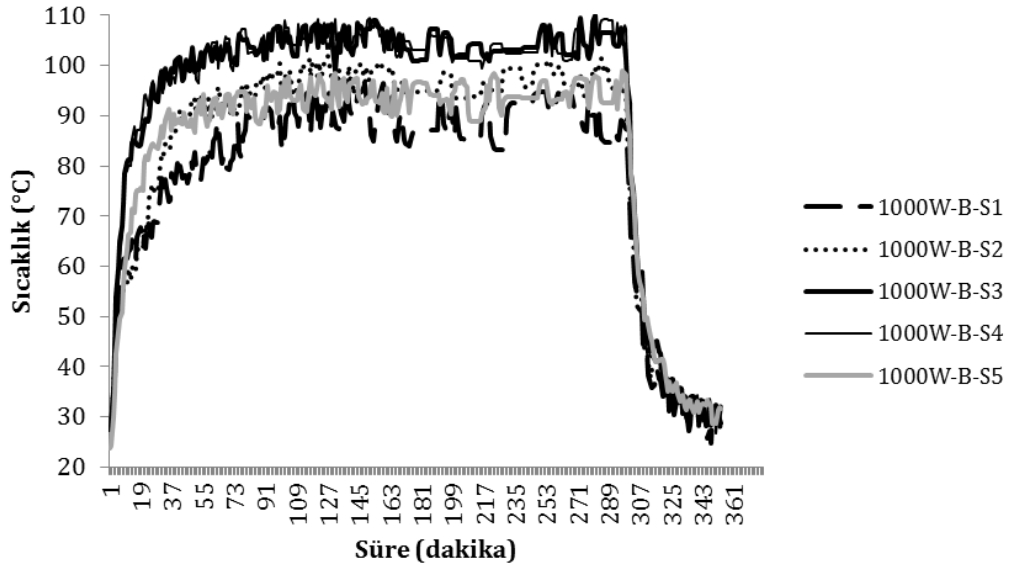
#### 5.1.3.1. Dolgusuz tasarımı hava ısıtmalı güneş kollektörü

Şekil 5.27'de kollektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 71,83°C'ye yükselmiş ve 361 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.27. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlam koşullarında dolgusuz kollektörün hava sıcaklıklarının değişimi

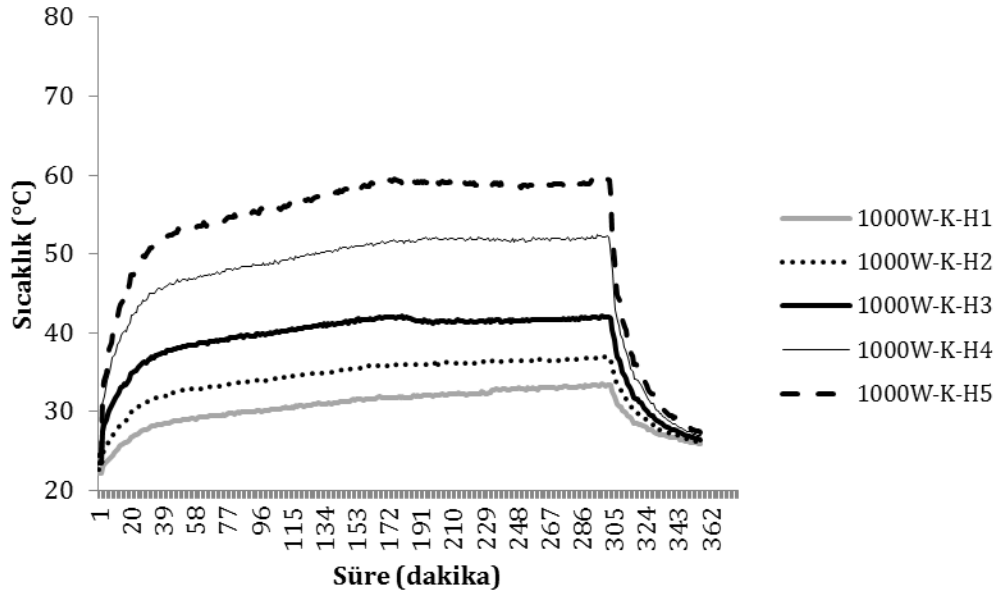
Şekil 5.28'de kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlam şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S3'ün sahip olduğu belirlenmiştir. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri 109,93°C olduğu görülmüştür.



Şekil 5.28. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlam koşullarında dolgusuz kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

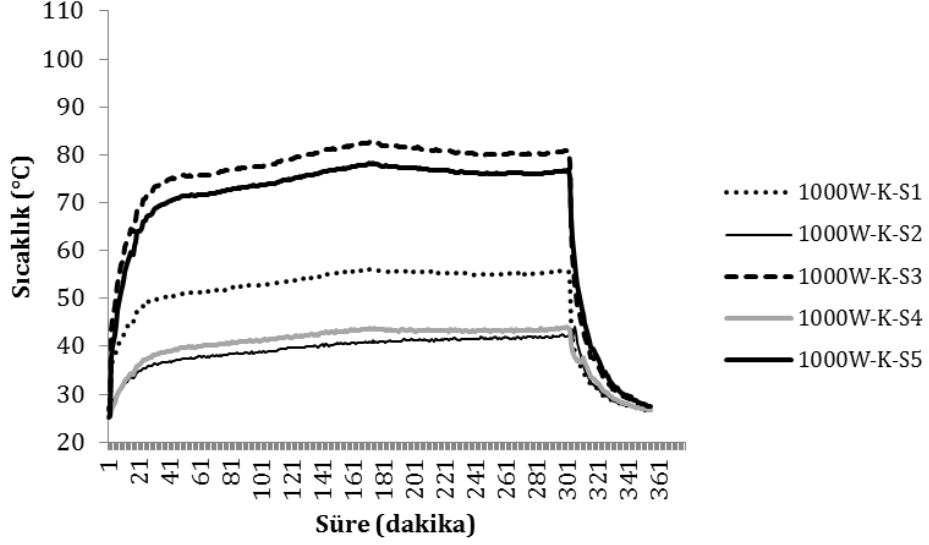
### 5.1.3.2. Kırık dolomit tuğlalı tasarımı hava ısıtma güneş kolektörü

Şekil 5.29'da kolektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışıma şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı  $59,47^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.29.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışıma koşullarında kırık dolomit tuğlalı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

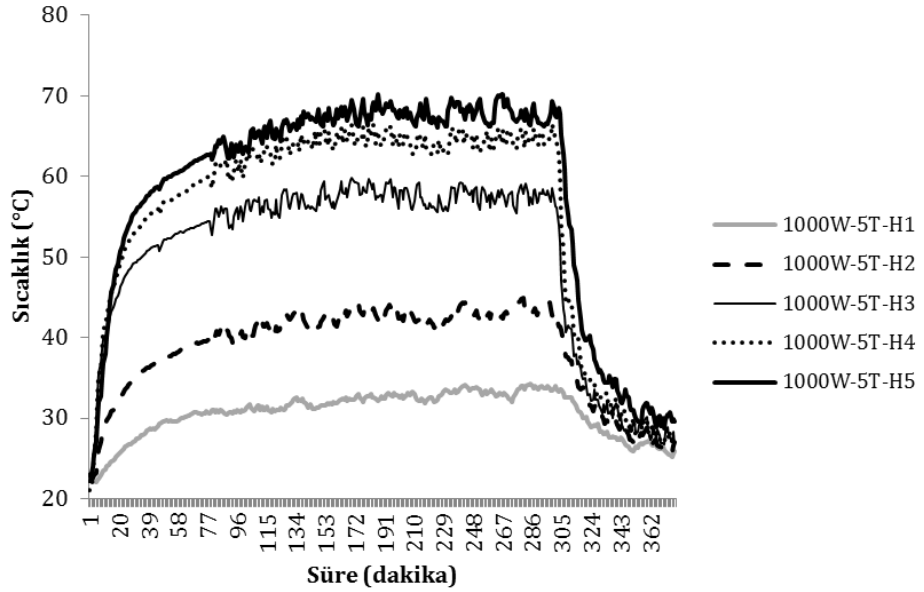
Şekil 5.30'da kolektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışıma şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S3'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $82,80^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.30. 1000 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında kırık dolomit tuğlalı kolektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değişimi

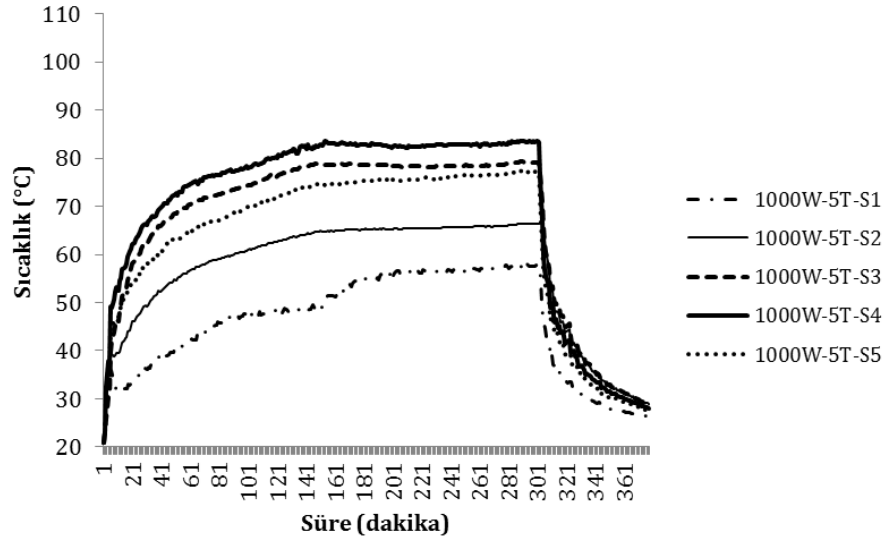
#### 5.1.3.3. Beş sıralı 15 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kolektörü

Şekil 5.31'de kolektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ısıtım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 70,23°C'ye yükselmiş ve 361 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



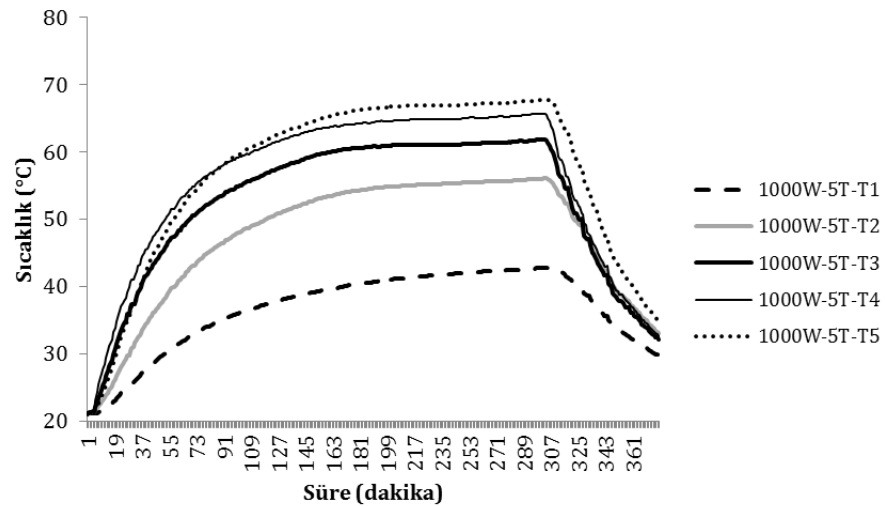
Şekil 5.31. 1000 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.32’de kollektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerin 300 dakikalık sürede S4’ün sahip olduğu ve 83,70°C olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.32. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

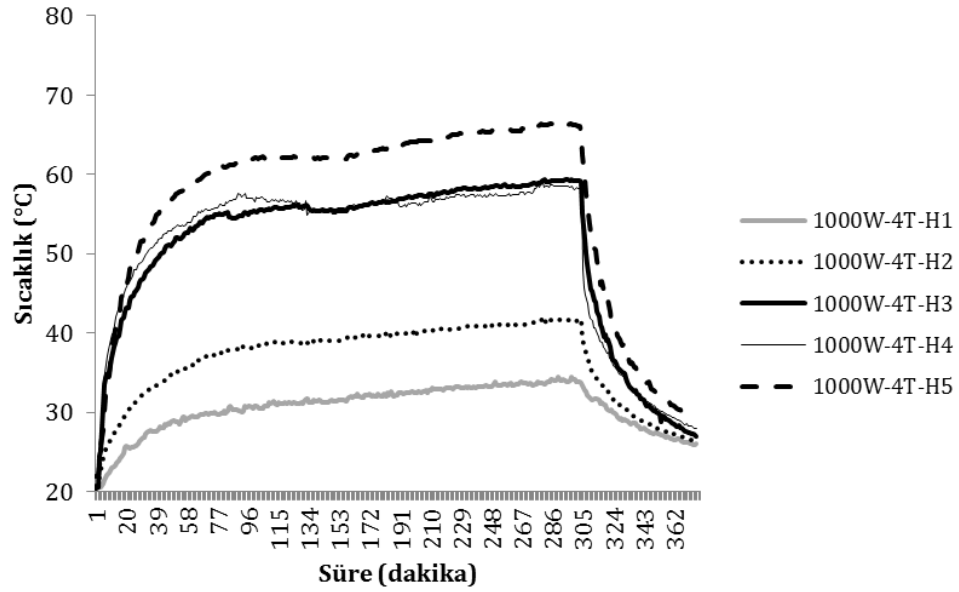
Şekil 5.33’de kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değerin 300 dakikalık sürede T5’in sahip olduğu ve 67,77°C olduğu görülmüştür.



Şekil 5.33. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 15 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi

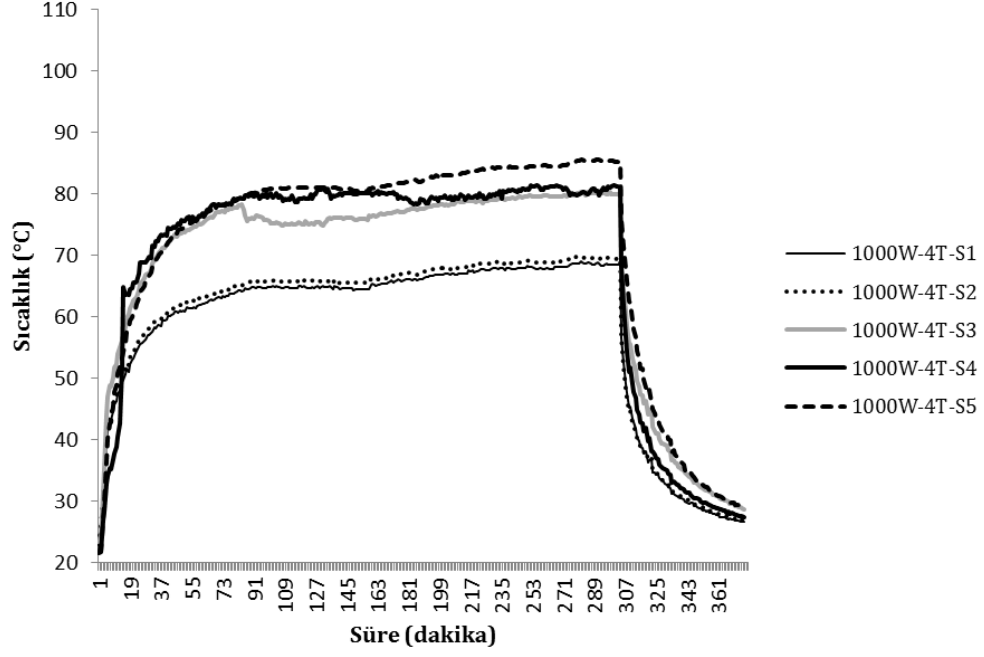
#### 5.1.3.4. Dört sıralı 12 tuğlalı hava ısıtmalı güneş kolektörü

Şekil 5.34.'de kolektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınlım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5'in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı  $66,17^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiş ve 361 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



Şekil 5.34.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınlım koşullarında 12 tuğlalı tasarımlı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.35'de kolektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınlım şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S5'in sahip olduğu belirlenmiştir. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri  $85,56^\circ\text{C}$  olduğu görülmüştür.



Şekil 5.35. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

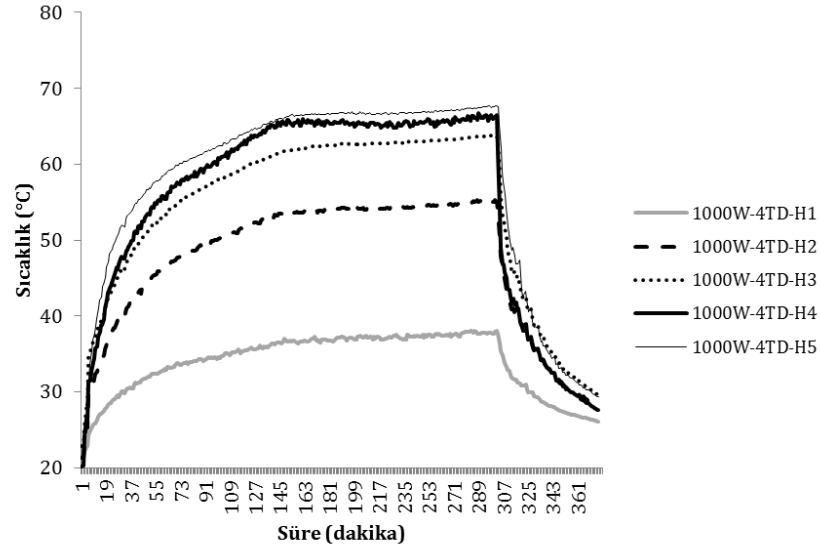
Şekil 5.36'da kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değierlerine T3 ve T4'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değierleri 52,66°C ve 72,44°C olduğu görülmüştür.



Şekil 5.36. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında 12 tuğlalı tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi

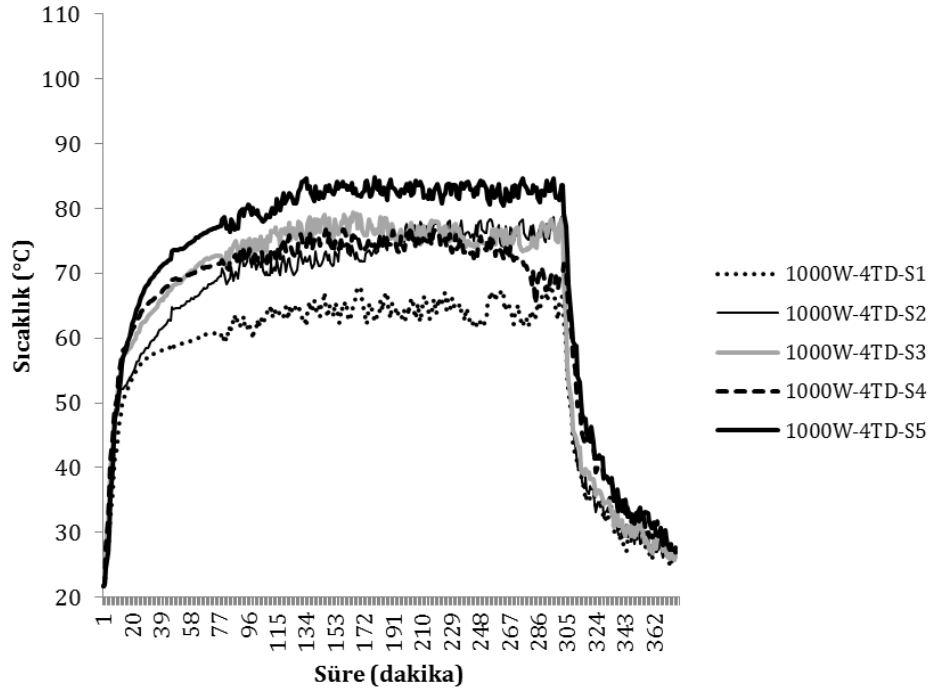
### 5.1.3.5. Dört sıralı 12 tuğlalı T tipi hava ısıtmalı güneş kolektörü

Şekil 5.37’de kolektörün 5 noktasından ölçülen hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek hava sıcaklığı değerine H5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede maksimum sıcaklığı 67,69°C’ye yükselmiş ve 358 dakika sonunda tekrar oda sıcaklığına düşmüştür.



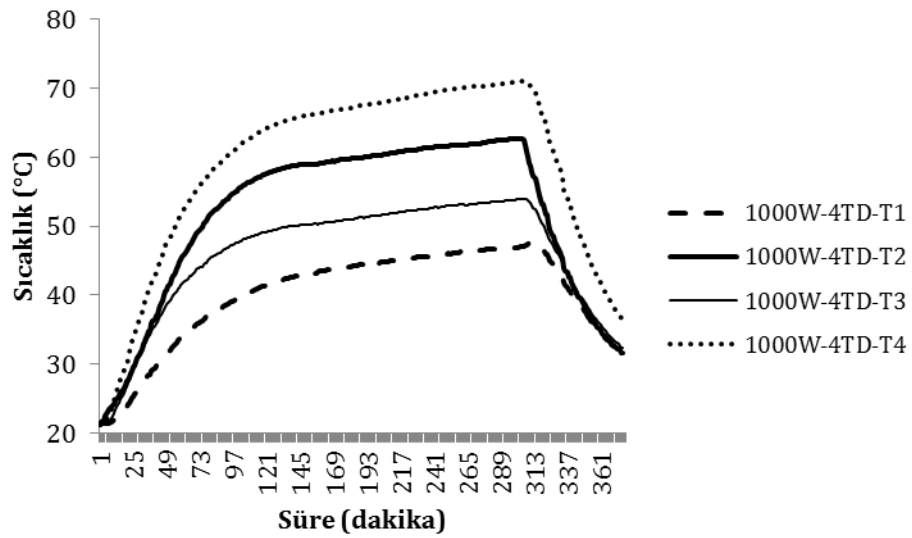
Şekil 5.37. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dört sıralı T tipi tasarımlı kolektörün hava sıcaklıklarının değişimi

Şekil 5.38’de kolektörün 5 noktasından ölçülen yutucu plaka sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek plaka sıcaklık değerine S5’in sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede en yüksek sıcaklık değeri 84,84°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.38. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün yutucu plaka sıcaklıklarının değışimi

Şekil 5.39'da kollektörün 5 noktasından ölçülen tuğla sıcaklıklarının zamana göre değışimi verilmiştir. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde gerçekleştirilen denemelerde, en yüksek tuğla sıcaklık değışlerine T2 ve T4'ün sahip olduğu görülmüştür. 300 dakikalık sürede sırasıyla maksimum sıcaklık değışleri 62,72°C ve 71,12°C olduğu görülmüştür.



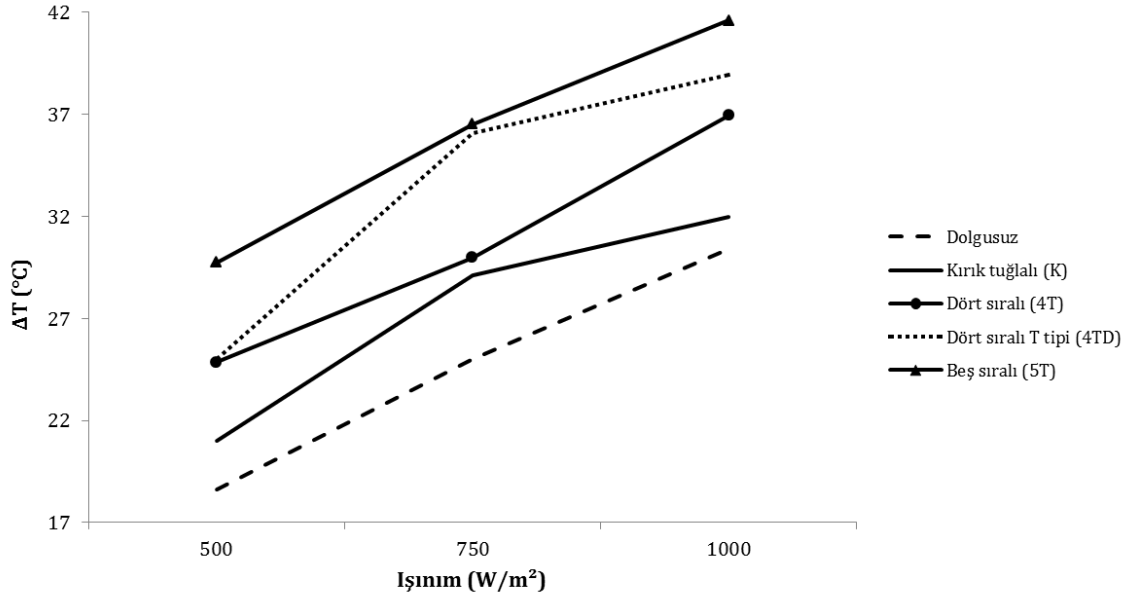
Şekil 5.39. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm koşullarında dört sıralı T tipi tasarımı kollektörün tuğla sıcaklıklarının değışimi

## 5.2. Kollektör Denemelerinin Karşılaştırmalı Sonuçları

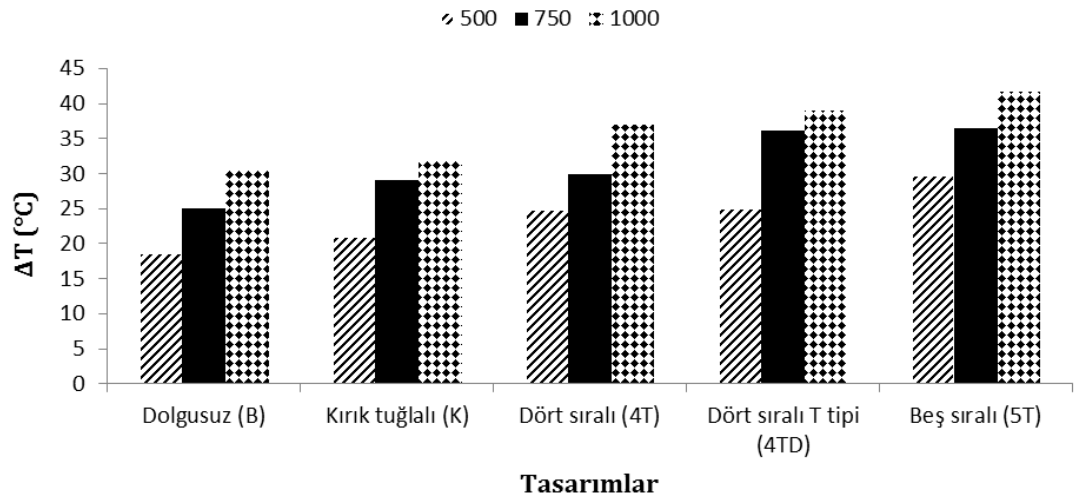
Kollektör denemelerinden elde edilen verilerin karşılaştırmalı sonuçları olarak; giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki farklar ( $\Delta T$ ), anlık verim ve toplam verim parametreleri incelenmiştir. Parametreler güneş simülatöründen sağlanan 3 farklı ışıınım koşulları kullanılarak 5 farklı tasarım için değerlendirilmiştir.

### 5.2.1. Giriş-çıkış sıcaklıkları

Güneş simülatöründen elde edilen  $500 \text{ W/m}^2$  ışıınımda gerçekleştirilen deneylere göre; en yüksek sıcaklık farkına sahip olan tasarım 500W-5T ve en düşük sıcaklık farkına sahip olan tasarımın ise 500W-B olduğu görülmektedir (Şekil 5.40 ve Şekil 5.41). Kollektörlere uygulanan tasarımlarda (500W-5T, 500W-4TD, 500W-4T, 500W-K ve 500W-B) oluşan en yüksek sıcaklık değişimleri sırasıyla 29.74, 25.0, 24.85, 21.0 ve 18.6°C olarak belirlenmiştir. Güneş simülatöründen elde edilen  $750 \text{ W/m}^2$  ışıınımda gerçekleştirilen deneylere göre; en yüksek sıcaklık farkına sahip olan tasarım 750W-5T ve en düşük sıcaklık farkına sahip olan tasarımın ise 750W-B olduğu görülmektedir (Şekil 5.40 ve Şekil 5.41). Kollektörlere uygulanan tasarımlarda (750W-5T, 750W-4TD, 750W-4T, 750W-K ve 750W-B) oluşan en yüksek sıcaklık değişimleri sırasıyla 36.52, 36.10, 29.97, 29.13 ve 25.0°C olarak belirlenmiştir. Güneş simülatöründen elde edilen  $1000 \text{ W/m}^2$  ışıınımda gerçekleştirilen deneylere göre; en yüksek sıcaklık farkına sahip olan tasarım 1000W-5T ve en düşük sıcaklık farkına sahip olan tasarımın ise 1000W-B olduğu görülmektedir (Şekil 5.40 ve Şekil 5.41). Kollektörlere uygulanan tasarımlarda (1000W-5T, 1000W-4TD, 1000W-4T, 1000W-K ve 1000W-B) oluşan en yüksek sıcaklık değişimleri sırasıyla 41.60, 38.93, 36.95, 31.95 ve 30.40°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.40. Farklı ısıtım seviyelerine göre sıcaklık farkları



Şekil 5.41. Kollektör tasarımlarına göre sıcaklık farkları

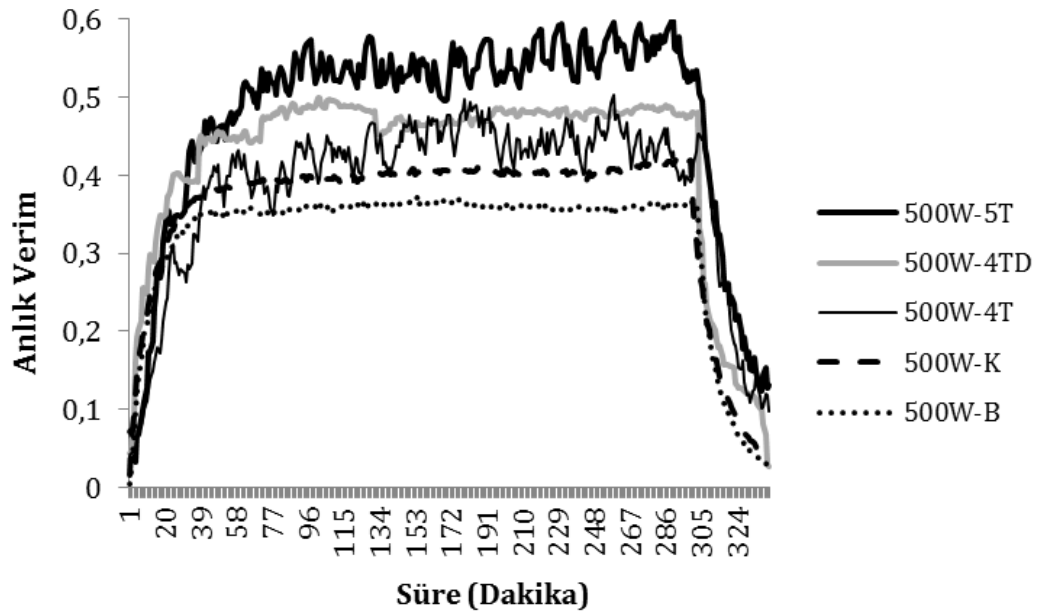
Güneş simülatöründen elde edilen ısıtım miktarı şiddeti arttıkça kollektörün giriş-çıkış sıcaklıkları arasındaki değişim de artmaktadır. Kollektörlerde uygulanan dolgu malzemesi tasarımlarında deney verilerine göre; en yüksek sıcaklık değişiminin 1000 W/ m<sup>2</sup> ısıtımında ve beş sıralı 15 dolomit tuğlalı kollektörde (1000W-5T) gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu tasarımda kollektör ortamdan aldığı havayı (giriş sıcaklığı) ısıtarak diğer tasarımlara göre daha yüksek çıkış sıcaklıkları sağlamıştır. Gupta vd. (2013), ısı transferini arttırmak

için yapılan uygulamalar sayesinde ısı verim artarken, kolektörün çıkış sıcaklığının da arttırdığını belirtmişlerdir.

### 5.2.2. Anlık verim

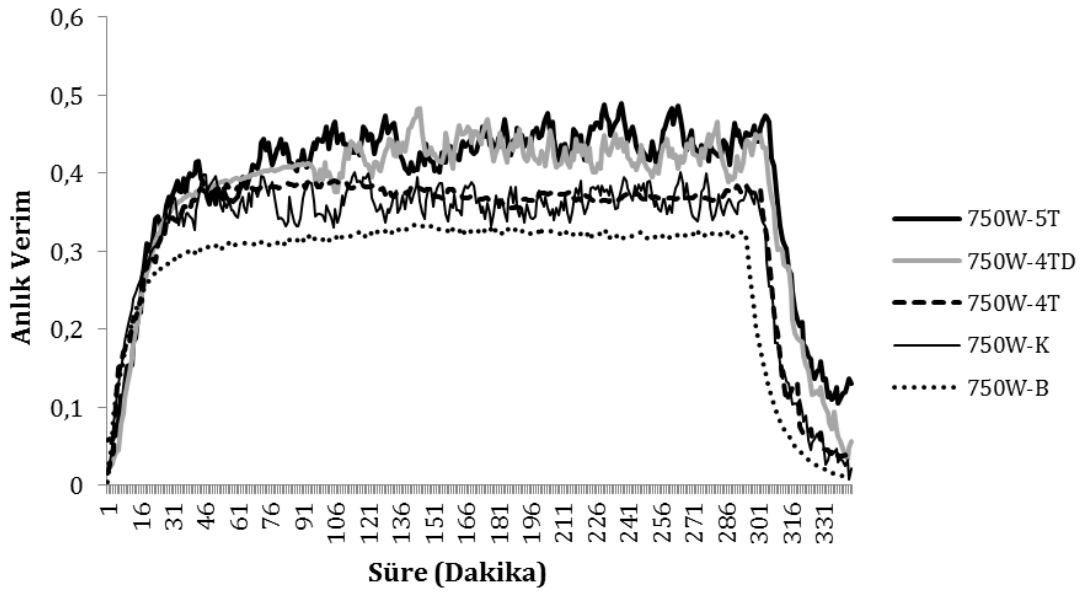
Deneysel güneş kolektörüne uygulanan tasarımlar ve farklı ışınlam değerlerinde gerçekleştirilen denemelerin her bir ölçüm periyodu için anlık verim değerleri hesaplanmıştır. Denemeler 500, 750 ve 1000W/m<sup>2</sup> ışınlam koşullarında ve uygulanan farklı tasarımlarda gerçekleştirilmiştir. Her bir ışınlam değerinde gerçekleştirilen denemeler ayrı ayrı ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen denemelerde 500 W/m<sup>2</sup> ışınlamda en yüksek anlık verim değerlerine beş sıralı 15 dolomit tuğlalı kolektör sahip olurken, en düşük verimli olanın dolgusuz kolektör olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.42). Anlık verim değerleri; 0.37-0.59 seviyeleri arasında değişkenlik göstermektedir. Kolektörlerin anlık verimlerinin seviyeleri yüksekten düşüğe göre sırasıyla 500W-5T, 500W-4TD, 500W-4T, 500W-K ve 500W-B tasarımlı kolektörler şeklinde gerçekleşmiştir. .



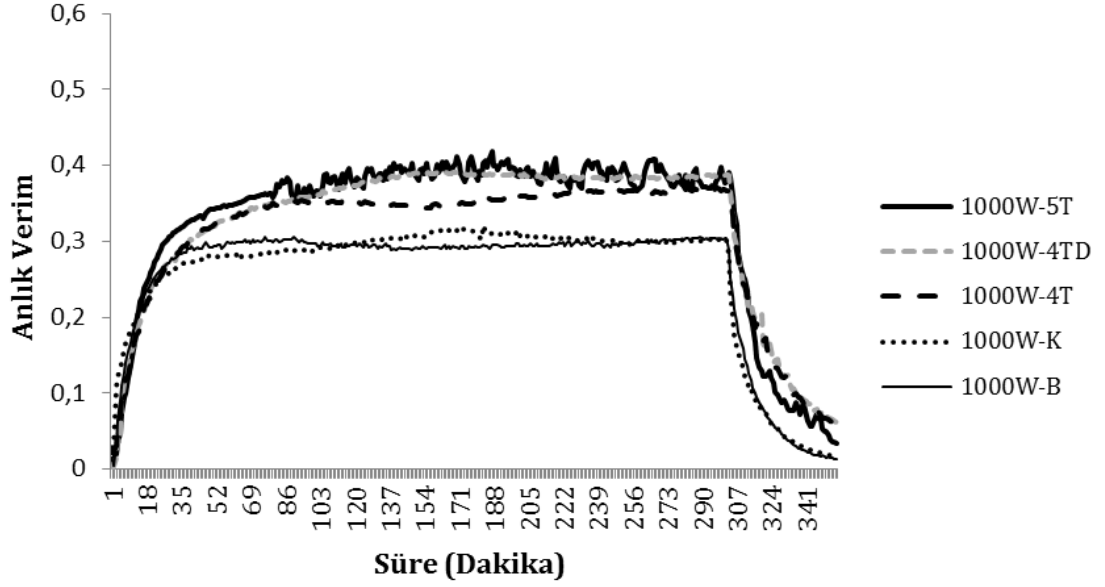
Şekil 5.42. 500 W/m<sup>2</sup> ışınlam koşullarında anlık verim değerleri değişimi

750 W/m<sup>2</sup> ışı nım ko şullarında ger çekle ştirilen denemelerde hesaplanan anlık verim de ğerlerinin de ği şimi verilmi ştir Şekil 5.43'de verilmi ştir. En yüksek verime sahip olan kollektör tasarımı nın, be ş sıralı 15 dolomit tu ğlalı kollektör oldu ğu ve bu kollektörde en yüksek anlık verim de ğerinin 0.48 olarak ger çekle ştir ği belirlenmi ştir. En düşük verime sahip olanın ise dolgusuz güne ş kollektörlü 750W-B tasarım oldu ğu ve bu tasarımda en yüksek anlık verimin 0.33 oldu ğu görülmü ştür. Anlık verim de ğerleri 0.33-0.48 de ğerleri arasında de ği şkenlik göstermi ştir.



Şekil 5.43. 750 W/m<sup>2</sup> ışı nım ko şullarında anlık verim de ğerleri de ği şimi

Çalı şma kapsamında 1000 W/m<sup>2</sup> ışı nım ko şullarında ger çekle ştirilen denemelerde, anlık verim de ğerleri 0.30 ile 0.41 arasında de ği şmi ştir (Şekil 5.44). En yüksek anlık verim de ğeri 1000W-5T kollektör tasarımı nda ger çekle şirken, en düşük anlık verim seviyeleri 1000W-B kollektör tasarımı için hesaplanmı ştır.

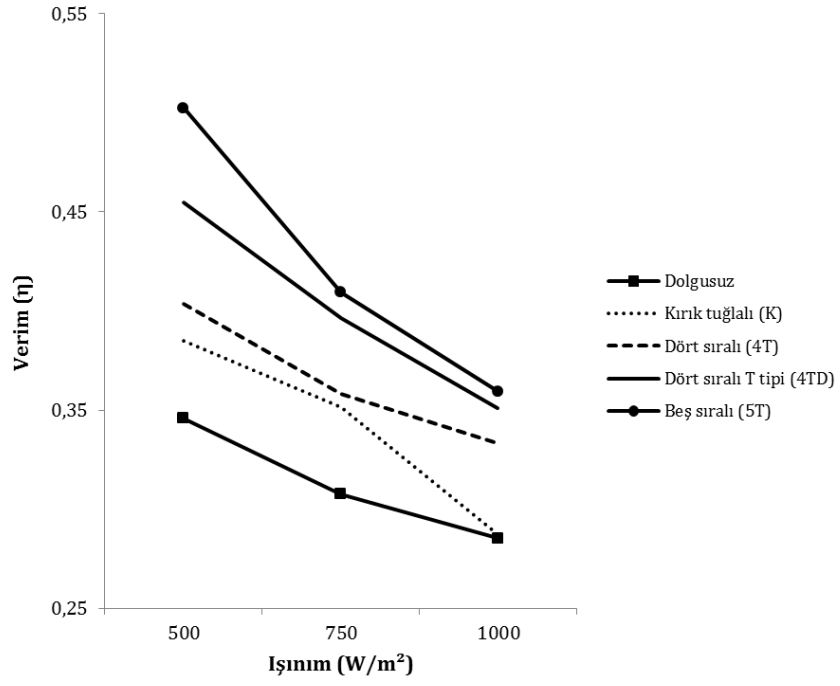


Şekil 5.44. 1000 W/m<sup>2</sup> ısıtım koşullarında anlık verim değeri değişimi

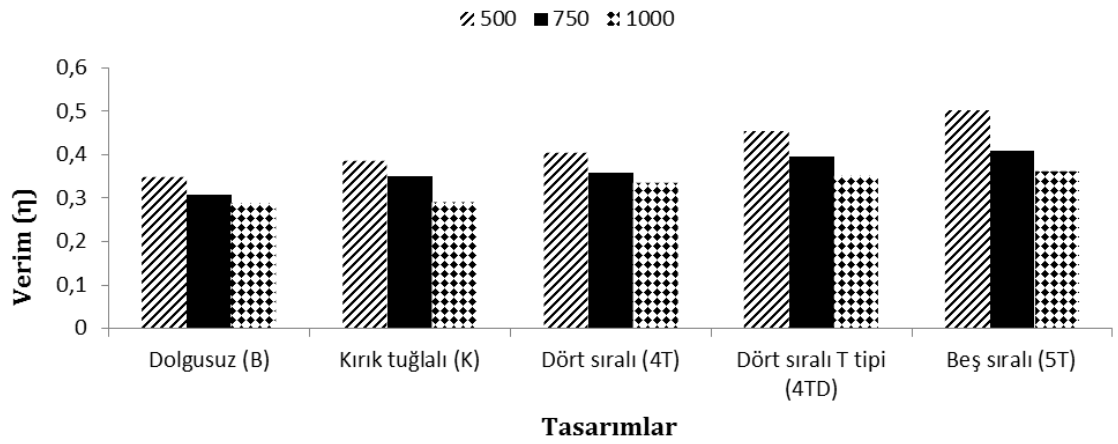
Denemelerden elde edilen sonuçlara göre, dolgu malzemesi kullanılan uygulamalarda boş tasarıma göre anlık verim değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dolgu malzemesi kullanılan tasarımlarda anlık verim değerlerinin seviyeleri denemede kullanılan üç farklı ısıtım koşulunda 5T, 4TD, 4T ve K şeklinde gerçekleşmiştir. Vyas ve Punjabi (2014), hava akış kanalında yer alan yutucu plakaların düzlemsel ya da engel yapılı olmasının verim üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

### 5.2.3. Verim

Tasarım şekillerine ve ısıtım değerlerine göre hesaplanan kollektörün verim değerleri gösterilmiştir (Şekil 5.45 ve Şekil 5.46). Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek verime 500 W/m<sup>2</sup> ısıtımda gerçekleştirilen ve beş sıralı 15 dolomit tuğlalı kollektör sahip olurken, en düşük verim seviyesinin 1000 W/m<sup>2</sup> ısıtımdaki dolgusuz kollektörde elde edilmiştir. Anlık verim değerlerinde olduğu gibi ısıtım miktarının artması ile toplam verim değerlerinin de düştüğü görülmüştür. Aldabbagh ve Omojaro (2010), kollektörün yüzey alanını arttırmak için uzunlamasına yerleştirilen engeller, hava kanalına yerleştirilmiş ve bu sayede verimin arttığını gözlemlemişlerdir.



Şekil 5.45. Farklı ışınlam seviyelerine göre verimler



Şekil 5.46. Kollektör tasarımlarına göre verimler

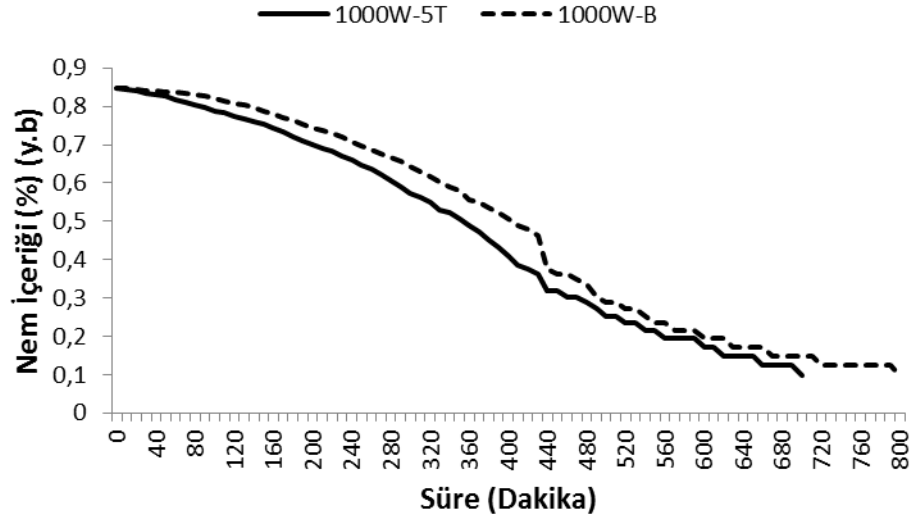
### 5.3. Kurutma Denemelerinde Elde Edilen Bulgular

#### 5.3.1. Nem içeriği ve kuruma hızı değişimi

Kurutma denemeleri, ön işlem görmeyen 5 mm kalınlığında dilimlenen Golden Delicious elma örnekleri kullanılarak sabit kurutma havası hızında (4.17 m/s) örneklerin nem içerikleri %10 (y.b) seviyesine düşene kadar sürdürölmüştür. Kurutma denemelerinde, kollektör denemelerinde en yüksek verim değerini sağlayan 5T tasarımı ve en yüksek  $\Delta T$  seviyesinin gerçekleştiği 1000 W/m<sup>2</sup> koşullarında test edilmiştir. Tasarımın karşılaştırılması amacıyla kontrol örneği olarak aynı deney koşullarında dolgusu kollektörde de kurutma denemeleri yapılmıştır.

Elma örneklerinde yapılan nem analizlerinde, denemelerde kullanılan Golden Delicious elma örneklerinin ilk nem içerikleri  $84.68 \pm 2.57$  (y.b.) olarak hesaplanmıştır. Denemeler süresince kurutma kabini içerisindeki elma örneklerinin nem içeriklerinin zamana göre değişimi Şekil 5.45'de verilmiştir. Elma örneklerinin, 1000W-5T tasarımda 800 dakika (11 saat 30 dakika) ve 1000W-B tasarımda 700 dakika (13 saat 10 dakika) sürelerinde istenilen nem seviyesine indirildiği saptanmıştır.

Kurutma denemelerinde kullanılan kollektör tasarımlarının (1000W-5T ve 1000W-B) kurutma performansları karşılaştırıldığında, dolgu malzemesi kullanılan kollektörde kurutulan ürünlerin nem içeriklerinin, diğerinden daha kısa sürede düştüğü ve kurutmada hedeflenen %10 (y.b) nem içeriğine daha önce ulaştığı görölmüştür (Şekil 5.47).

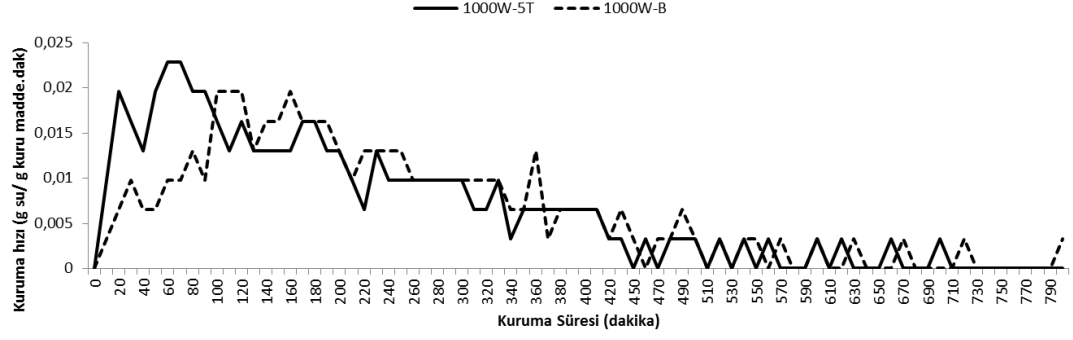


Şekil 5.47. Tasarımlara göre nem içeriği ile kuruma süresi

Kurutma denemelerinde, 1000W-5T tasarımlı kollektörün en yüksek çıkış sıcaklığı 70,1°C ve kurutma kabin içi sıcaklığı 59°C olarak belirlenmiştir. Dolgu malzemesi kullanılan kollektörün çıkış sıcaklık değeri ve kabin içi sıcaklık değeri, dolgu malzemesi kullanılmayan kollektöre göre daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür.

Kurutma denemelerinde 1000W-B tasarımlı kollektörün en yüksek çıkış sıcaklığı 66,3°C ve kurutma kabin içi sıcaklığı 54,4°C olduğu belirlenmiştir. Dolgu malzemesi kullanılmayan denemelerde, kollektörün kabin içi sıcaklık değerinin ve kollektörün çıkış sıcaklık değerinin düştüğü belirlenmiştir.

Farklı kollektör tasarımlarında kurutulan elma örneklerinin kuruma hızlarının zaman göre değişimi Şekil 5.48’de verilmiştir. Kurutma denemelerinde kullanılan tasarımlar karşılaştırıldığında, kurutma havası sıcaklığının artışının, örneklerin kuruma hızlarının artmasına neden olduğu görülmüştür (Seiiedlou vd. 2010; Heybeli ve Ertekin, 2007). 1000W-5T tasarımlı ve ön işlem görmeyen elma örneklerinin kuruma hızları, en yüksek 0.022 (g su/g kuru madde.dak) değerleri alırken, 1000W-B tasarımlı sistemde en yüksek 0.019 (g su/g kuru madde.dak) seviyesine yükselebilmektedir.



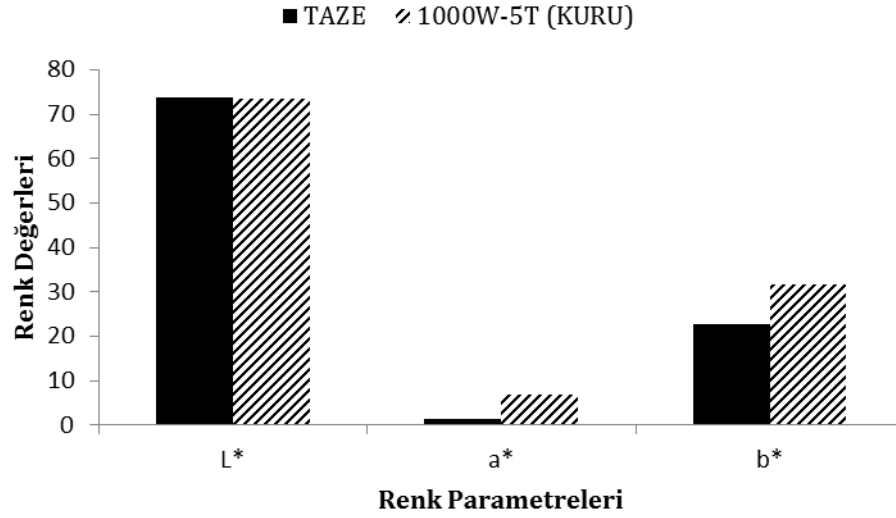
Şekil 5.48. Tasarımlara göre kuruma hızı ile kuruma süresi

### 5.3.2. Yeniden su alma kapasitesi

Kurutma işlemi sonunda her biri 34 g olarak belirlenen kurumuş elma örnekleri, yeniden su alma kapasitesi analizinde kullanılmıştır. Örnekler su içerisinde oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra son ağırlıkları ölçülerek yeniden su alma kapasiteleri analiz edilmiştir. Yirmidört saat sonraki örneklerde yeniden su alma kapasitesi; 1000W-5T tasarımlı sistemde kurutulan elmalar için  $71 \pm 0.52$  ve 1000W-B tasarımlı sistemin ise yaklaşık  $72 \pm 0.86$  olduğu görülmüştür. Her iki sistemde çıkış sıcaklıklarının yaklaşık değerde olması nedeniyle yeniden su alma kapasitelerinin benzer değerlerde olduğu tahmin edilmektedir.

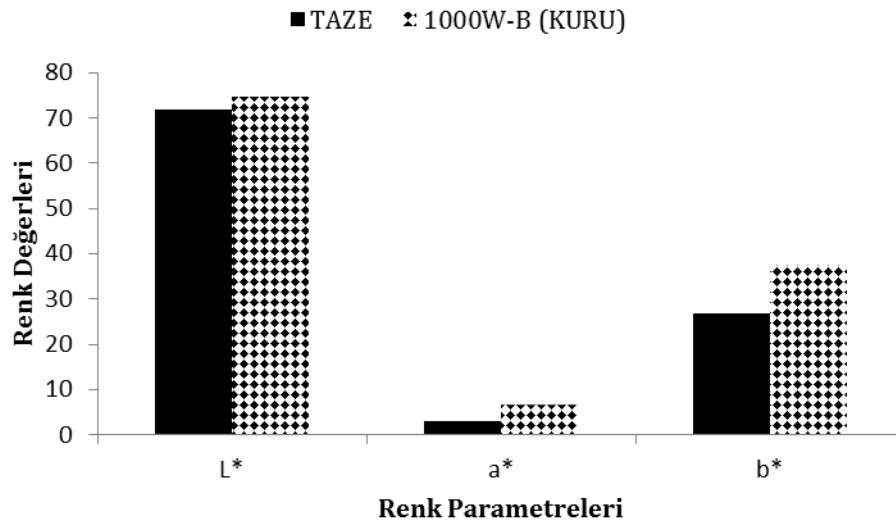
### 5.3.3. Renk değişimi

Kurutma denemelerinde 1000W-5T tasarımlı kollektörde kullanılan taze Golden Delicious elma örneklerinin ortalama parlaklık değeri ( $L^*$ )  $73.63 \pm 2.19$ ,  $a^*$  değeri  $1.44 \pm 0.65$  ve  $b^*$  değeri ise  $22.70 \pm 2.92$  olarak belirlenmiştir. 1000W-5T tasarımlı kollektörde gerçekleştirilen deneme sonucunda kurutulan örneklerin, ( $L^*$ ) değeri  $73.36 \pm 0.84$ ,  $a^*$  değeri  $6.77 \pm 0.59$  ve  $b^*$  değeri  $31.45 \pm 0.78$  olduğu görülmüştür (Şekil 5.49). Kurutulmuş elma örneklerinin, taze örneklerle göre renk parlaklığının düşük seviyede azaldığı, a ve b değerlerinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.49. Taze ve 1000W-5T tasarımlı kollektörden elde edilen kurutma havası sıcaklıklarının L\*, a\* ve b\* renk değerleri

Kurutma denemelerinde 1000W-B tasarımlı kollektörde kullanılan taze elma örneklerinin ortalama parlaklık değeri (L\*)  $71.99 \pm 2.15$ , a\* değeri  $2.94 \pm 1.12$  ve b\* değeri ise  $26.71 \pm 3.21$  olarak belirlenmiştir. 1000W-B tasarımlı kollektör için yapılan denemeler sonucunda kurutulan elmaların, (L\*) değeri  $74.72 \pm 1.46$ , a\* değeri  $6.28 \pm 0.21$  ve b\* değeri  $37.13 \pm 0.38$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.50). Kurutulmuş elma örneklerinin, taze örneklere göre L\*, a\* ve b\* değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

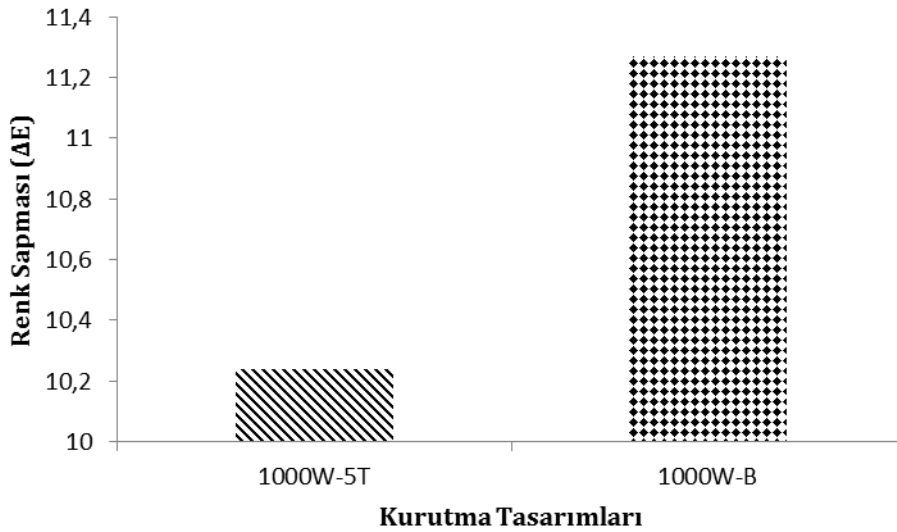


Şekil 5.50. Taze ve 1000W-B tasarımlı kollektörden elde edilen kurutma havası sıcaklıklarının L\*, a\* ve b\* renk değerleri

Denemelerde kullanılan taze ve iki ayrı sistemde kurutulmuş elma örneklerinin kırmızı (+a) renk alanında olduğu belirlenmiştir. Kurutma havası sıcaklığının artışı ile elma örneklerinin kırmızılık değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

Taze örneklerin b\* değerleri sarılık düzeyindedir, kurutma işlemi sonrasında da örneklerin sarılık (+b) düzeyinde olduğu görülmüştür. Denemeler sonucunda elde edilen verilere göre, elma örneklerinin renk skalasında sarı renk alanına yakın değerler aldığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.51’de kuru elma örneklerinin renk sapması ( $\Delta E$ ) değerleri verilmiştir. Denemelerde kullanılan 1000W-5T ve 1000W-B tasarımlarında kurutulan elma örneklerinin toplam renk sapması değerleri sırasıyla  $10.24 \pm 0.69$  ve  $11.27 \pm 1.45$  olarak hesaplanmıştır. 1000W-5T tasarımlı kollektörün çıkış sıcaklığı ve kurutma kabini sıcaklığı daha yüksek olduğu için örneklerin toplam renk sapmasının azaldığı tahmin edilmektedir.



Şekil 5.51. Farklı tasarımlardan elde edilen kurutma havası sıcaklıklarının toplam renk sapmaları

Kurutma öncesi ve iki farklı tasarımda kurutulan elma örneklerinin kroma ( $C^*$ ) değerleri hesaplanmıştır. 1000W-5T tasarımı denemelerinde kullanılan taze ve kurutulmuş elma örneklerinin kroma ( $C^*$ ) değeri sırasıyla 26.88 ve 37.66, 1000W-B tasarımı ise 22.75 ve 32.17 olarak belirlenmiştir. Denemede

kullanılan iki tasarımda kurutulan elma örneklerinin kroma ( $C^\circ$ ) değerlerinin birbirlerine yakın oranda yükseldiği görülmüştür.

Kurutma öncesi ve iki farklı tasarımda kurutulan elma örneklerinin Hue ( $H^\circ$ ) değerlerinin hesaplanmasında kullanılan  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin sırasıyla  $a^*>0$  ve  $b^*>0$  koşullarını sağladığı görülmüştür. Bu koşul doğrultusunda, 1000W-5T tasarımı denemelerinde kullanılan taze ve kurutulmuş elma örneklerinin ( $H^\circ$ ) değerleri sırasıyla 86.34 ve 77.84, 1000W-B tasarımında ise 83.70 ve 80.38 olarak hesaplanmıştır. Her iki tasarımda da kurutulan ürünlerin, taze örneklerle göre  $H^\circ$  değerinin azaldığı belirlenmiştir. Uygulanan her iki tasarımın  $H^\circ$  değerleri  $90^\circ$ 'dan küçük olduğu için sarı renk bölgesinde olduğu söylenebilir.

Taze ve iki farklı tasarımda kurutulan elma örneklerinin Esmerleşme indeksi (BI) değerleri belirlenmiştir. 1000W-5T tasarımı denemelerinde kullanılan taze ve kurutulmuş elma örneklerinin BI değerleri sırasıyla 37.45 ve 61.40, 1000W-B tasarımında ise 48.26 ve 72.57 olarak hesaplanmıştır. Denemelerde kullanılan tasarımlarda kurutulan elma örneklerinin, taze örneklerle göre esmerleşme indeksinin arttığı gözlemlenmiştir.

#### **5.3.4. Özgül enerji tüketimi**

Kurutma denemelerinde özgül enerji tüketimleri, kollektör üzerine gelen ışıının şiddeti kullanılarak hesaplanmıştır. Denemelerde kullanılan tasarımların (1000W-5T ve 1000W-B) özgül enerji tüketim değerleri sırasıyla 185.70 MJ/kg su ve 210.89 MJ/kg su olarak bulunmuştur. Denemelerde kurutma havası ve kurutma kabin içi hava sıcaklığı arttıkça özgül enerji tüketimi değerinin azaldığı görülmüştür. Kurutulan örnekler için kuruma süreleri önemli bir faktördür, kuruma süresi ne kadar azalırsa, özgül enerji tüketimi o oranda azalmaktadır (Alibas, 2006). Kurutma denemelerinde kullanılan iki tasarımın kurutma süreleri karşılaştırıldığında, 1000W-5T tasarımı diğer tasarıma göre 1 saat 40 dk daha erken kurutma işlemini tamamlamasından dolayı daha az enerji tüketimi olduğu tespit edilmiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında hava ısıtmalı güneş kollektörlerinde ısı verimi arttırmak amacıyla, dolomit tuğlalarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Kollektör denemelerinde dolomit tuğlaları dolgu malzemesi oluşturmak ve hava akış yolunu uzatacak kanal yapmak amaçlarıyla; farklı sayı, şekil ve geometrik dizilişlerde kollektör kasası içerisine yerleştirilmiştir. Kollektör performans testleri tamamlandıktan sonra en yüksek verimi sağlayan tasarım, elma kurutma denemelerinde kullanılarak kurutma başarısı açısından değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen denemelerde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

Kollektör denemelerinden elde edilen sonuçlar;

- Dolgu malzemesi kullanılan bütün tasarımlarda ısı verim yükselmiştir. Çalışma kapsamında yapılan denemeler sonucunda dolomit tuğlalarının dolgu malzemesi olarak kullanılması yoluyla kollektör verimlerinin %18'e kadar arttırılabildiği görülmüştür.
- Denemelerde en düşük verim değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  ışıyım koşullarında 1000W-B tasarımı için %30.0 olarak hesaplanırken, en yüksek verim seviyesine 500W-5T tasarımında  $500 \text{ W/m}^2$  ışıyım koşullarında %54.04 olarak ulaşılmıştır.
- Denemelerde yapay güneş ışıyım şiddetinin artması ve dolgu malzemesinin kullanımı ile kollektörlerin giriş-çıkış sıcaklık farklarının da arttığı tespit edilmiştir.
- Yutucu plaka sıcaklıkları, simülatörden elde edilen güneş ışıyımının artmasıyla artmıştır. Dolgu malzemesi kullanımının yutucu plaka sıcaklıklarına etkisi olmamıştır.
- Simülatörden elde edilen güneş ışıyımı değeri arttıkça, tuğla sıcaklıkları da artmıştır. Tuğlaların konumu ve kollektörün giriş kısmına yakın olması gibi etmenler tuğlaların sıcaklık değerlerini etkilemiştir.

Kurutma denemelerinden elde edilen sonuçlar;

- Dolgu malzemesi kullanımı ile kurutma havası sıcaklığı ve kuruma hızı artarak kuruma süresinin azaldığı belirlenmiştir.
- Kurutma denemelerinde ürünün parlaklık değerinde ( $L^*$ ) önemli bir değişim yaşanmazken kırmızılık ( $a^*$ ) ve sarılık ( $b^*$ ) değerleri ciddi seviyelerde artmıştır. Bu değerlerin artışı 1000W-5T tasarımı kullanılan kollektörde daha yüksek gerçekleşmiştir. Bu durumun 1000W-5T tasarımında kurutma havası sıcaklığının daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Dolgu malzemesi kullanımının kurutma havası sıcaklığını arttırması nedeniyle toplam renk sapmasının değerleri azalmıştır.
- Taze örneklerle uygulanan kurutma sıcaklığı, kroma ( $C^o$ ) değerlerinde ve esmerleşme indeksinde artışa neden olmuştur. Kurutma havasının artması ile örneklerin renk doygunluğunu artmıştır.
- Dolgu malzemesinin kullanımı ile kurutma havası sıcaklığı artarak, özgül enerji tüketiminin azaldığı görülmüştür. 1000W-B tasarımında gerçekleştirilen kurutma denemelerinde özgül enerji tüketimi 210.89 MJ/kg su olurken, bu değer 1000W-5T tasarımında 185.70 MJ/kg su seviyesine düşmüştür.

### Öneriler;

Denemeler kapsamında elde edilen sonuçlar kullanılarak, ileride yapılacak çalışmalara dair öneriler aşağıda sunulmuştur;

- Dolgu malzemesi olarak dolomit tuğlası kullanılarak, çalışma kapsamında denemesi yapılan uygulamalardan farklı tasarımlar ve geometrik dizilimler denenebilir.
- Tez kapsamında geliştirilen tasarımların doğal güneş ışıını altındaki performanslarını belirlemek amacıyla yeni çalışmalar planlanabilir.
- Hava ısıtılmalı güneş kollektörü farklı debi değerleri, eğim açısı ve kanal tasarımları kullanılarak test edilebilir.

- Hava ısıtmalı güneş kollektöründe kullanılan düzlemsel yutucu plaka yerine farklı yutucu plaka profillerinin ısı performans üzerine etkileri incelenebilir.
- Kollektörde kullanılan dolomit tuğlalarının hava akış yollarındaki toplam enerji transferini arttırmak ve hava akış yolunu uzatmak amacıyla kanatçık veya engeller uygulamaları yapılabilir.
- Kurutma denemelerinde kullanılan elma örnekleri yerine farklı sebze, meyve ya da tıbbi aromatik bitkiler kullanılabilir.
- Kurutma denemeleri için kullanılan hava ısıtmalı güneş kollektörünün, güneş ışınımının daha yetersiz olduğu koşullarda ısı enerjisi ihtiyacını karşılayabilmesi amacıyla farklı dolgu malzemeleri kullanılan (Faz değişim malzemeleri, çakıl taşları vs.) bir ısı depolama sistemi, kurutma ünitesine entegre edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdullah, A. S., El-Samadony, Y. A. F., & Omara, Z. M. (2017). Performance evaluation of plastic solar air heater with different cross sectional configuration. *Applied Thermal Engineering*, 121, 218-223.
- Aksungur, K. M., Kurban, M., & Filik, Ü. B. (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*.
- Akyıldız, A. (1999). Kurutulmuş elma cipsi üretim tekniği üzerine araştırma. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana*.
- Akyol, A. (2013). Güneş enerji potansiyelinin yüzey ve uydu verilerine dayalı olarak belirlenmesi ve analiz edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Uzay Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul 93 s.
- Alibas, I. (2006). Characteristics of chard leaves during microwave, convective, and combined microwave-convective drying. *Drying Technology*, 24(11), 1425-1435.
- Altın, V. (2004). Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33: 28-31.
- Anonim (2017). Düzlemsel güneş kollektörü ve kısımları. <http://www.enerjibodrum.com/?product=1701844&pt=BODRUM%20%C4%B0STEK%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0S%C4%B0>
- Anonim. (1996). Hunter lab color scale applications note, vol.8, No.9, Hunter associates Lab., Virginia, pp. 1-4.
- Arrese, E. L., Sorgentini, D. A., Wagner, J. R., & Anon, M. C. (1991). Electrophoretic, solubility and functional properties of commercial soy protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(6), 1029-1032.
- Aslan, S. (2015). Küreselleşmenin ulus devletlere etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 25(25).
- Atalay, H., Çoban, M. T., & Kincay, O. (2017). Modeling of the drying process of apple slices: Application with a solar dryer and the thermal energy storage system. *Energy*.
- Bansal, N. K., & Uhlemann, R. (1984). Development and testing of low cost solar energy collectors for heating air. *Solar Energy*, 33(2), 197-208.

- Batu, A., Thompson, A. K., Ghafir, S. A., & Abdel-Rahman, N. A. (1997). Minolta ve Hunter renk ölçüm aletleri ile domates, elma ve muzun renk değerlerinin karşılaştırılması. *Gıda Dergisi*, 22(4).
- Buera, M. D. P., Lozano, R. D., & Petriella, C. (1986). Definition of colour in the non enzymatic browning process. *Die Farbe*, 32(33), 318-322.
- Chendake, A. D., & Chendake, A. D. Design and Development of Wire Mesh Type Solar Air Heater Unit. *International Journal*, 2, 1-5.
- Cohen, S. G., & Bailey, D. E. (1997). What makes teams work: Group effectiveness research from the shop floor to the executive suite. *Journal of Management*, 23: 239-290.
- Çağlayan, N., Ertekin, C., & ALTA, Z. D. (2015). Experimental Investigation of Various Type Absorber Plates for Solar. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(4), 459-470.
- D.P.T., 2007, Dokuzuncu Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 975-19-4168-8.
- Das, I., Das, S. K., & Bal, S. (2004). Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice. *Journal of Food Engineering*, 62(1), 9-14.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
- EiE (2006). Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, [http://www.eie.gov.tr/türkçe/güneş/güneş\\_index.htm](http://www.eie.gov.tr/türkçe/güneş/güneş_index.htm).
- EiE (2007). Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, [http://www.eie.gov.tr/türkçe/güneş/güneş\\_index.htm](http://www.eie.gov.tr/türkçe/güneş/güneş_index.htm).
- Elicin, A. K., & Sacilik, K. (2005). An experimental study for solar tunnel drying of apple. *Tarım Bilimleri*, 11(2), 207-11.
- El-Khawajah, M. F., Aldabbagh, L. B. Y., & Egelioglu, F. (2011). The effect of using transverse fins on a double pass flow solar air heater using wire mesh as an absorber. *Solar energy*, 85(7), 1479-1487.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>, Elektrik Üretim Sektör Raporu, 2017.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, Sayı: 28215, 16 Mart 2014.
- Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of food engineering*, 63(3), 349-359.
- Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of food engineering*, 63(3), 349-359.

- Esen, H. (2008). Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Building and Environment*, 43(6), 1046-1054.
- Fath, H. E. (1995). Thermal performance of a simple design solar air heater with built-in thermal energy storage system. *Renewable energy*, 6(8), 1033-1039.
- Forson, F. K., Nazha, M. A., & Rajakaruna, H. (2003). Experimental and simulation studies on a single pass, double duct solar air heater. *Energy conversion and Management*, 44(8), 1209-1227.
- Funebo, T., & Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38(3), 353-367.
- Gedik, E., Keçebaş, A., & Öz, E. S. (2008). Havalı Güneş Kollektörlerinde Farklı Tip Emici Plakaların Performansa Olan Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4).
- Glaser, E. M., Abelson, H. H., & Garrison, K. N. (1983). *Putting knowledge to use: facilitating the diffusion of knowledge and the implementation of planned change*. Jossey-Bass Incorporated Pub.
- Görçiz, G. (2000). Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi.
- Guiné, R. P., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 58-63.
- Gupta, B., Waiker, J. K., Manikpuri, G. P., & Bhalavi, B. S. (2013). Experimental Analysis of Single and Double Pass Smooth Plate Solar Air Collector with and without Porous Media. *American Journal of Engineering Research*, 2(12), 144-149.
- Gümüş, B., Tüzün, M., N.: "Kentlerde Enerji Verimliliği, Van İlinin Enerji Üretim Potansiyeli ve Elektrik Enerjisi Problemleri", Van Kent Sempozyumu, 1-3 Ekim 2009, sayfa: 301 – 320, Van.
- Güney N. & Külcü R. (2016). Dolomit Tuğlalı Hava Isıtmalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Geliş Açısına Göre Değişiminin Belirlenmesi. 1.th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences. 21 Nisan, Afyon.
- Hazervazifeh, A., Nikbakht, A. M., & Moghaddam, P. A. (2016). Novel hybridized drying methods for processing of apple fruit: Energy conservation approach. *Energy*, 103, 679-687.
- Hepbasli, A., & Utlü, Z. (2004). Evaluating the energy utilization efficiency of Turkey's renewable energy sources during 2001. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(3), 237-255.

- Heybeli, N. (2016). Farklı kurutma sistemlerinin birlikte kullanımı ile stanley erik çeşidinin kurutulması üzerine bir araştırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Antalya.
- Heybeli, N., & Ertekin, C. (2007). Elma Dilimlerinin İnce Tabaka Halinde Kuruma Karakteristiği. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 3, 179-187.
- Ho, C. D., Yeh, H. M., Cheng, T. W., Chen, T. C., & Wang, R. C. (2009). The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached. *Applied Energy*, 86(9), 1470-1478.
- Iqbal M. (1984). Introduction to Solar Radiation Book. Academic Press Inc. Publisher, 390 pages.
- Jen, J.J., 1988. Quality Factors of Fruits And Vegetables. The university of georgia, ACS symposium series, ISSN. 0065-6156, 405, California. Agricultural and Food Chemistry at the 196th National Meeting of the American Chemical Society, 25-30, 1998.
- Kantörün U. (2010), Bölgesel Enerji Politikaları ve Türkiye, Bilgi Strateji Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, İstanbul, 89s.
- Kaygusuz, K., & Kaygusuz, A. (2002). Renewable energy and sustainable development in Turkey. *Renewable Energy*, 25(3), 431-453.
- Kılıç A., Öztürk, A., 1983. Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık, Cağaloğlu-İstanbul.
- Kotcioğlu, İ. (2011). Clean and sustainable energy policies in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5111-5119.
- Koyuncu, T. (2006). Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications. *Renewable Energy*, 31(7), 1073-1088.
- Lewicki, P. P., & Jakubczyk, E. (2004). Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 307-314.
- Lin, W., Gao, W., & Liu, T. (2006). A parametric study on the thermal performance of cross-corrugated solar air collectors. *Applied Thermal Engineering*, 26(10), 1043-1053.
- Maraba, G. (2012). *An experimental study on enhancement of heat transfer in a solar air heater collector by using porous medium* (Master's thesis, İzmir Institute of Technology).
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.

- Mohseni-Languri, E., Taherian, H., Masoodi, R., & Reisel, J. R. (2009). An energy and exergy study of a solar thermal air collector. *Thermal science*, 13(1), 205-216.
- Naphon, P., & Kongtragool, B. (2003). Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heaters. *International communications in heat and mass transfer*, 30(8), 1125-1136.
- Omojaro, A. P., & Aldabbagh, L. B. Y. (2010). Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber. *Applied energy*, 87(12), 3759-3765.
- Özbalta, N., Güngör, A., & Gürlek, A. G. G. (2003). Güneş enerjili hava toplayıcılarındaki gelişmeler ve tasarım parametrelerinin araştırılması.
- Özgöçmen, A. (2007). Electricity generation using solar cells. *Gazi University in Turkey, MSc Thesis*.
- Öztürk H.H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kitabı, Birsen Yayınevi, Ankara 442s.
- Pal, V., Rai, A. K., & Sachan, V. (2015). Performance study of a solar air heater. *International Journal*, 6(7).
- Palou, E., López-Malo, A., Barbosa-Cánovas, G. V., Welte-Chanes, J., & Swanson, B. G. (1999). Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64(1), 42-45.
- Patel, K., Soni, S., & Travadi, S. (2015). Comparative Study of Double Pass Solar Air Heater with Baffles & With Longitudinal Fins. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3(5).
- Ramani, B. M., Gupta, A., & Kumar, R. (2010). Performance of a double pass solar air collector. *Solar Energy*, 84(11), 1929-1937.
- Sacilik, K., & Elicin, A. K. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of food engineering*, 73(3), 281-289.
- Sancar, İ., & Bulut, H. (2014). Mahal ısıltmasında kullanılan güneş kollektörleri ve Adıyaman şartlarında performansının incelenmesi
- Seiiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., Hamdami, N., Talati, F., & Moghaddam, M. (2010). Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International journal of agriculture and biology*, 12(2), 171-178.
- Sopian, K., Alghoul, M. A., Alfegi, E. M., Sulaiman, M. Y., & Musa, E. A. (2009). Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous–nonporous media. *Renewable Energy*, 34(3), 640-645.

- Soysal, Y. (2000). İşletme Ölçeğinde Çeşitli Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasına Yönelik Bir Araştırma. *ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana.*
- Söhmen, H. M., Tırıs, M., Tırıs, Ç., & Erdallı, Y. (1997). Güneş Kollektörleri Test Yöntemleri ve Seçici Yüzey Uygulamaları. *Güneş Enerji Sistemleri Semineri, İçel*, 20-21.
- Şahin, S. (2001). Türkiyede TuğlaKiremit Sanayiinin Genel Görünümü ve Çorum İli Örneği. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(2).
- Tırıs M., Tırıs Ç., Erdallı Y., 1997. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, Tübitak-MAM, Gebze.
- Tyagi, R. K., Ranjan, R., & Kishore, K. (2014). Performance studies on flat plate solar air heater subjected to various flow patterns. *Applied Solar Energy*, 50(2), 98-102.
- Uğurlu, Ö. (2006). Türkiye’de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, AÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.*
- Uyarel, Y. A. ve Öz S. E (1987). Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları Kitabı, Birsan Yayınevi, Ankara 239 s.
- Ültanır, M. Ö. (1998). 21. Yüzyıla girerken Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi. *TÜSİAD Parlamento İşleri Komisyonu Raporu, İstanbul*, 12, 201-213.
- Varınca, K. B., & Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 21-23.
- Vyas, S., & Punjabi, D. S. (2014). Thermal Performance Testing of a flat Plate Solar Air Heater Using Optical Measurement Technique. *International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering (IJMECH)*, 3(4).
- Wang, J., & Sheng, K. (2006). Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 247-255.
- Yağcıoğlu, A. (1999). Tarım ürünleri kurutma tekniği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, (536).
- Yıldız T. (2011), Türkiye Enerji Politikalarımız, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 11s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gizem BATTAL  
Doğum Yeri ve Yılı : Çorum, 1988  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : gizem\_battal@hotmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Seyhan Çağrıbey Lisesi, 2006, Adana  
Lisans : SDÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları, Isparta

### Mesleki Deneyim

SER-GÜN LTD. 2014-2015