



**TARSUS**  
ÜNİVERSİTESİ

**T.C.**

**TARSUS ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ENERJİ DEPOLAMA ÜNİTESİ ENTEGRELİ HAVALI BİR GÜNEŞ**  
**KOLLEKTÖRÜNDE YUTUCU YÜZEYİN ALTINA GÖZENEKLİ**  
**KANATÇIK EKLEMENİN PERFORMANSA ETKİSİ**

**Havva Nur ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**T.C.**  
**TARSUS ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**MAKAİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ENERJİ DEPOLAMA ÜNİTESİ ENTEGRELİ HAVALI BİR GÜNEŞ  
KOLLEKTÖRÜNDE YUTUCU YÜZEYİN ALTINA GÖZENEKLİ KANATÇIK  
EKLEMENİN PERFORMANSA ETKİSİ**

**Havva Nur ŞAHİN**

**Danışman: Doç. Dr. Ata HANLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TARSUS - 2024**

**Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;**

Bu çalışma, jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Başkan:** Doç. Dr. Ata HANLAR  
(Danışman)

**Üye:** Dr. Öğretim Üyesi Münir SÜNER

**Üye:** Doç. Dr. İpek AYTAÇ

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../.... /2024 tarih ve ...../.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.  
.../.../2024

Doç. Dr. Ayşe ERGÜN ÜNAL  
Enstitü Müdürü

**NOT:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 07 / 02 / 2024

İMZA

Havva Nur ŞAHİN

## ÖZET

### ENERJİ DEPOLAMA ÜNİTESİ ENTEGRELİ HAVALI BİR GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNDE YUTUCU YÜZEYİN ALTINA GÖZENEKLİ KANATÇIK EKLEMENİN PERFORMANSA ETKİSİ

HAVVA NUR ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ata HANLAR

Şubat, 2024, 95 sayfa

Bu çalışmada, havalı bir güneş kolektörüne PCM ünitesi eklenerek kullanım süresi artırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, tek geçişli bir havalı güneş kolektörüne PCM ünitesi eklenmiştir. Ek olarak, PCM ünitesinin içine gözenekli kanatçıklar eklenerek PCM erime süresi kısaltılmaya çalışılmıştır. Böylelikle, kolektöre depolama ünitesi ve kanatçıklar eklenerek altı farklı güneş kolektörü tasarlanmış ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal analizlerde, ANSYS Fluent programı kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, analiz edilen havalı kolektöre PCM ünitesinin eklenmesi, kolektörün kullanım süresinin artmasına neden olmuştur. PCM ünitesinin içine gözenekli kanatçıkların eklenmesi sistemin performansının ciddi şekilde artmasına neden olmuştur. Ek olarak, gözenekli kanatçıkların sayısının artması da parafinin erime süresini hızlandırmıştır. Gözenekli kanatçıkların sayısının artması ortalama enerji verimliliğinin ciddi bir oranda artmasına neden olmuştur. Genel olarak, altı farklı sistemin sayısal olarak analiz edilmesi neticesinde, PCM ünitesinin havalı güneş kolektörüne eklenmesiyle kullanım süresi artırılmıştır. Ek olarak PCM ünitesinin içine gözenekli kanatçıkların yerleştirilmesi, parafinin erimesini hızlandırarak sistemin performansını arttırmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Havalı güneş kolektörü, enerji depolama, enerji verimliliği, kanatçık

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF ADDING POROUS FIN UNDER THE ABSORBER SURFACE ON THE PERFORMANCE OF A SOLAR AIR COLLECTOR WITH ENERGY STORAGE UNIT**

**HAVVA NUR ŞAHİN**

**Master / Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Doç. Dr. Ata HANLAR**

**February, 2024, 95 pages**

In this study, it is aimed to improve the utilization time period of a solar air collector by integrating a PCM unit. In this context, a PCM unit was integrated to a single-pass solar air collector. Additionally, porous fins were added into the PCM unit in order to shorten PCM melting time. Thus, six different solar collectors were designed and numerically analyzed by adding a storage unit and fins to the collector. ANSYS Fluent program was used in the numerical analyses. As a result, integrating the PCM unit to the analyzed air collector caused to extend utilization time period of the collector. Adding porous fins into the PCM unit has resulted in a significant increase in the performance of the system. In addition, increasing the number of porous fins also accelerated the melting process of paraffin. Increasing the number of porous fins was significantly improved average energy efficiency. In general, as a result of numerical analysis of six different systems, the utilization time was increased by adding the PCM unit to the solar air collector. Moreover, placing porous fins inside the PCM unit increased the performance of the system by accelerating the melting of the paraffin.

**Keywords:** Solar air collector, energy storage, energy efficiency, fin

## ÖNSÖZ

Artan dünya nüfusu, değişen ve gelişen yaşam standartları beraberinde büyük bir enerji ihtiyacı da doğurmuştur. Neredeyse son 25 yıla kadar enerji ihtiyacımızın büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktaydı. Fosil yakıtların çevreye verdiği zarar, tükenme tehlikesi ve canlıların nesilinin devamlılığını tehdit etmesi araştırmacıları ve çalışmaları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Bu yüksek lisans tezi çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok dikkat çeken güneş enerjisi, güneş enerjisinden aktif enerji üretimi sağlayan havalı güneş kollektörleri, faz değiştiren malzeme ve çeşitli kanatçık konfigürasyonları ile verim artışını değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla, tez çalışması kapsamında deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi, birikim ve tecrübeleriyle beni en güzel şekilde yönlendiren, her zaman güvenini ve desteğini hissettiğim değerli danışman hocam Doç. Dr. Ata HANLAR'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı, maddi ve manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan eşime, aileme ithaf ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

|                       | Sayfa |
|-----------------------|-------|
| ÖZET.....             | i     |
| ABSTRACT.....         | ii    |
| ÖNSÖZ.....            | iii   |
| KISALTMALAR.....      | vii   |
| SİMGELER.....         | vii   |
| YUNAN HARFLERİ.....   | viii  |
| TABLolar LİSTESİ..... | ix    |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | x     |

## GİRİŞ

|            |    |
|------------|----|
| Giriş..... | 12 |
|------------|----|

## GÜNEŞ ENERJİSİ

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2. Güneş Enerjisi.....                                          | 16 |
| 2.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....                   | 17 |
| 2.2. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller).....                    | 19 |
| 2.2.1. Güneş Pillerinin Yapısı ve Yapımı.....                   | 20 |
| 2.2.2. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi.....                   | 21 |
| 2.2.3. Güneş Pillerinin Çeşitleri.....                          | 22 |
| a. Monokristalin Güneş Pilleri.....                             | 22 |
| b. Polikristalin Güneş Pilleri.....                             | 22 |
| c. Amorf Silikon Güneş Pilleri.....                             | 23 |
| d. CIS (Copper-Indium-Diselenid) Güneş Pilleri.....             | 23 |
| 2.2.4. Işınım Şiddeti ve Sıcaklığın Güneş Pillerine Etkisi..... | 23 |
| 2.2.5. Güneş Pili Sistemleri.....                               | 24 |
| a) Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri.....                 | 24 |
| b) Bağımsız Güneş Pili Sistemleri.....                          | 25 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3. Güneş Kollektörleri.....                                           | 25 |
| 2.3.1. Güneş Kollektörlerinin Kullanım Alanları.....                    | 26 |
| 2.3.2. Güneş Kollektörü Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar..... | 27 |
| 2.4. Güneş Kollektörlerinin Çeşitleri.....                              | 27 |
| 2.4.1. Akışkan Tipine Göre Güneş Kollektörleri.....                     | 28 |
| a. Sıvılı Güneş Kollektörleri.....                                      | 28 |
| b. Havalı Güneş Kollektörleri.....                                      | 30 |
| Saydam Geçirgen Örtü.....                                               | 31 |
| Emici Plaka.....                                                        | 32 |
| Kollektör Kasası.....                                                   | 33 |
| Kollektör Yalıtım Tabakası.....                                         | 33 |
| 2.4.2. Toplama Karakteristiğine Göre Güneş Kollektörleri.....           | 34 |
| 2.4.2.1. Sabit Güneş Kollektörleri.....                                 | 34 |
| a. Düzlemsel Güneş Kollektörleri.....                                   | 34 |
| b. Parabolik Güneş Kollektörleri.....                                   | 35 |
| c. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri.....                                 | 35 |
| 2.4.2.2. Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri.....                        | 36 |

## **LİTERATÜR TARAMASI**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 3.1. Literatür Özet Çalışması..... | 37 |
|------------------------------------|----|

## **MATERYAL VE METOT**

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 4.1. Isı Ve Akış Çalışması.....        | 52 |
| 4.1.1. İncelenen Geometrilere.....     | 52 |
| 4.1.2. Ağ Oluşturma Süreci.....        | 55 |
| 4.1.3. Tanımlanan Sınır Koşulları..... | 60 |
| 4.1.4. Analizler.....                  | 61 |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 4.2. Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler..... | 66 |
|------------------------------------------------|----|

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 5. Bulgular Ve Tartışma..... | 67 |
|------------------------------|----|

## **SONUÇ VE ÖNERİLER**

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 6. Sonuç Ve Öneriler..... | 85 |
|---------------------------|----|

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>KAYNAKÇA.....</b> | <b>87</b> |
|----------------------|-----------|

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b> | <b>95</b> |
|----------------------|-----------|

## KISALTMALAR

**CAD:** Bilgisayar Destekli Tasarım

**CFD:** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

**PCM:** Faz Değiştiren Malzeme (Phase Change Material)

**SAC:** Hava Isıtmalı Güneş Kollektörü (Solar Air Collector)

**SI:** Sürdürülebilirlik İndeksi (-)

## SİMGELER

|                       |                                         |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| $A_{SAC}$             | Kollektör yüzey alanı (m <sup>2</sup> ) |
| $c_p$                 | Özgül ısı kapasitesi (J/kg.K)           |
| $\dot{E}_u$           | Faydalı ısı (W)                         |
| $\dot{E}_{x_d}$       | Ekserji yıkımı (W)                      |
| $\dot{E}_{x_i}$       | Ekserji girişi (W)                      |
| $\dot{E}_{x_o}$       | Ekserji çıkışı (W)                      |
| $\vec{F}$             | Dış cisim kuvvetleri                    |
| $F_{i \rightarrow j}$ | Görüş faktörü                           |
| $h$                   | Duyulur entalpi (kJ/kg)                 |
| $h_{ref}$             | Referans entalpi (kJ/kg)                |
| $I$                   | Güneş ışıınımı (W/m <sup>2</sup> )      |
| $J$                   | Işınsallık                              |
| $L_t$                 | Türbülans uzunluk ölçeği                |
| $\dot{m}_a$           | Kütleli debi (kg/s)                     |
| $p$                   | Statik basınç (Pa)                      |
| $T_{ab}$              | Çevre sıcaklığı (K)                     |
| $T_i$                 | Giriş sıcaklığı (K)                     |

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| $T_{liquidus}$ | Erime sıcaklığı (K)   |
| $T_o$          | Çıkış sıcaklığı (K)   |
| $T_{ref}$      | Referans sıcaklık (K) |
| $T_s$          | Güneş sıcaklığı (K)   |
| $T_{solidus}$  | Donma sıcaklığı (K)   |

### YUNAN HARFLERİ

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| $\beta$        | Sıvı oranı               |
| $\Delta H$     | Toplam gizli ısı (kJ/kg) |
| $\varepsilon$  | Dağılma oranı            |
| $\eta_e$       | Ekserji verimi (%)       |
| $\eta_t$       | Isıl verim (%)           |
| $\mu_t$        | Türbülans viskozitesi    |
| $\rho \vec{g}$ | Cisim yerçekimi kuvveti  |
| $\bar{\tau}$   | Gerilme (stres) tensörü  |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 4.1.</b> Tasarlanan altı farklı hava ısıtmalı güneş kolektörüne ait oluşturulan ağ yapılarına ait detaylar..... | 58 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kullanılan PCM'in özellikleri.....                                                                     | 61 |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1.</b> Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 16 |
| <b>Şekil 2.2.</b> Türkiye' de güneş enerjisi şiddeti ile soğutma talebinin karşılaştırılması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 17 |
| <b>Şekil 2.3.</b> Güneş pillerinde (Fotovoltaik pillerde) kullanılan malzemeler.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 20 |
| <b>Şekil 2.4.</b> Güneş pillerinin yapısı ve çalışma prensibi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 22 |
| <b>Şekil 2.5.</b> Güneş kolektörünün görünümü ve içerisinde yer alan elemanları 1:İç Panel, 2:Alt Taban, 3:Üst Örtü, 4:Yalıtım, 5:Kasa, 6:Cam Lastiği, 7:Conta, 8:Kasa Yalıtımı, 9:Cam Çıtası.....                                                                                                                                                                                                              | 26 |
| <b>Şekil 2.6.</b> Sıvı akışkanlı bir güneş kolektörünün kesiti.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 29 |
| <b>Şekil 2.7.</b> Sıvı akışkanlı güneş kolektörlerinde tercih edilen akış biçimleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 30 |
| <b>Şekil 3.1.</b> Çalışmada yer alan kolektörlerin emici yüzey geometrileri.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 40 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Tasarlanan kurutma sisteminin ve kurutma odasının şematik gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 44 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Delikli emici plakaya sahip havalı güneş kolektörün şematik gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 46 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Çalışmada yer alan üç farklı kolektörün modellenmiş gösterimi.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 49 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Çalışmada yer alan ve iki farklı kanatçık modeli eklenen havalı güneş kolektörlerinin şematik gösterimleri.....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 50 |
| <b>Şekil 3.6.</b> İçi boş yarım halka şeklindeki kanatçıklar yerleştirilen kolektör.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 51 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Analiz edilen kolektör geometrileri; a) PCM içermeyen sistem, b) PCM ünitesi içeren sistem.....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 53 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Analiz edilen altı farklı sisteme ait emici plaka geometrileri; a) PCM içermeyen kolektör, b) PCM ünitesi içeren kanatçıksız kolektör, c) Dört adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kolektör, d) Beş adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kolektör, e) Altı adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kolektör, f) Yedi adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kolektör..... | 54 |
| <b>Şekil 4.3.</b> PCM ünitesinde kullanılan gözenekli kanatçıkların boyutları.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 55 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Kolektörlerin ağ yapıları: a) PCM entegre edilmiş ve kanatçıksız kolektör, b) PCM ve kanatçıksız yutucu içeren sistemin orta kısmının büyütülmüş görünümü, c) 6 gözenekli kanatçık içeren PCM entegreli kolektör, d) Kanatçıklı yutucu plakanın orta kısmına ait                                                                                                                              |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| büyütülmüş görüntü, e) Gözenekli kanatçıklara sahip kollektörün yutucu plakası.....                                                                                                                                                              | 57 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Analiz edilen altı farklı kollektör sistemi için ağdan bağımsızlık çalışması.....                                                                                                                                              | 59 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Çevre havası sıcaklığı ve güneş ışınlamının zamana bağlı değişimi.....                                                                                                                                                         | 64 |
| <b>Şekil 5.1.</b> PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektörün yutucu yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi.....                                                                                 | 70 |
| <b>Şekil 5.2.</b> PCM içermeyen konvansiyonel kollektörünün (CSAC) yutucu yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımının zamana göre değişimi.....                                                                                                       | 71 |
| <b>Şekil 5.3.</b> PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektörde akan havanın sıcaklığının yandan görünümünden zamanla değişimi.....                                                                                 | 72 |
| <b>Şekil 5.4.</b> PSAC-5'in hava kanalındaki üst görünümünden zamana bağlı sıcaklık dağılımı.....                                                                                                                                                | 73 |
| <b>Şekil 5.5.</b> Depolama ünitesinin ortasındaki bir düzlem üzerinde sıvı faz dağılımının zamana bağlı değişimi.....                                                                                                                            | 75 |
| <b>Şekil 5.6.</b> PSAC-5'in depolama ünitesi içindeki sıvı fazı dağılımının zamana bağlı değişimi.                                                                                                                                               | 76 |
| <b>Şekil 5.7.</b> PCM sıvı fazı dağılımı; a) PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-5), b) PCM entegre edilmiş 5 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-3).....                        | 78 |
| <b>Şekil 5.8.</b> Kollektör içindeki hacimsel sıcaklık dağılımı; a) PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-5), b) PCM entegre edilmiş 5 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-3)..... | 79 |
| <b>Şekil 5.9.</b> Kollektörlerin çıkış havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....                                                                                                                                                            | 81 |
| <b>Şekil 5.10.</b> Kollektör içindeki akan hava tarafından elde edilen faydalı enerji zamana bağlı değişimi.....                                                                                                                                 | 83 |
| <b>Şekil 5.11.</b> Analiz edilen altı kollektör için ortalama enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik endeksi.....                                                                                                                               | 83 |
| <b>Şekil 5.12.</b> Analiz edilen kollektörlerde zamana bağlı ekserji veriminin değişimi.....                                                                                                                                                     | 84 |

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Türkiye’ de ve dünyada oldukça hızlı bir şekilde artan nüfus, paralelinde tüketim faaliyetleri ve ihtiyaç duyduğumuz enerji miktarını da arttırmaktadır. Araştırmacılar; çeşitli sektörlerde çalışma yürüten insanlar ve bilim insanları, dünyada bulunan enerji kaynaklarının kısıtlı olması sebebiyle yeni enerji kaynakları ya da enerji üretme metotları arayışı içine girmiştir. Bazı çalışmalar, mevcut enerji kaynaklarının en etkin şekilde kullanılabilmesi ve enerji tasarrufunun yaygınlaştırılması için yeni enerji politikaları ortaya koymayı hedeflemektedir.

Nüfus artışı ile birlikte kullanılan enerji miktarındaki yükseliş de her geçen gün artmaktadır. Önümüzdeki yıllar içerisinde enerji tüketiminin daha da artacağını söylemek yanlış bir tespit olmaz. Artan nüfus, tüketim faaliyetleri ile kullanılan enerji miktarı, yeryüzünde bulunan kaynakların sınırlı düzeyde olması, üretilen ve tüketilen enerji sonucunda meydana gelen çıktıların doğaya verdiği geri dönüştürülemeyen zarar, yapılan çalışmalara yeni bir yön vermiştir. Neredeyse 21. yy’ın başlarına kadar mevcut enerji ihtiyacının büyük oranı kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılanırken tükenme tehlikesinin yanı sıra tüketime bağlı çevre kirliliği, buzulların erimesi, iklim değişikliği, sıcaklıkların artması gibi geri dönüşü olmayan ekolojik sorunlar doğurması oldukça dikkat çekmiştir. Bu gelişmelerle birlikte son 30 yıldır enerji üretimi politikası arayışlarına yeni bir yön verilmiştir. Sürdürülebilir enerji kaynakları araştırılmaya başlandığından beri, kullanımı sonucunda zararsız çıktılar ortaya koyan ya da fosil yakıtlara göre daha masum sonuçlar ortaya çıkaran, kendi kendini yenileyebilen ve tükenme riski ile karşı karşıya olmadığımız enerji üretme yöntemleri ile, yeni politikalar geliştirilmeye başlanmıştır. Çevresel sorunların hızla artışına sebep olan fosil yakıt kullanımı artık yerini “yenilenebilir enerji kaynaklarına” yani “sürdürülebilir enerji” üretimine ve kullanımına bırakmaya başlamıştır. Sürdürülebilir enerji politikaları ya da başka bir deyişle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı çalışmaları genel itibariyle incelendiğinde sadece çevresel yarar sağlamakla kalmamaktadır.

Herhangi bir ülkenin, devlet ya da coğrafya elinde bulunan jeopolitik ve coğrafi imkânları doğrultusunda, kaynaklarına uygun enerji üretim politikasını hayata geçirebildiği takdirde ekonomik ve siyasi anlamda da dışa bağımlılığı azaltması mümkün kılınmaktadır. Teknolojilerini ve üretim imkânlarını geliştirmeleri ile birlikte de yeni ticari ilişkiler kurma, uluslararası pazarda yeni bir yer edinme gibi avantajlar da uzun soluklu projelendirmeler ve değerlendirmeler sonucunda söz konusu olacaktır.

Sürdürülebilir enerji kavramını incelediğimizde; ihtiyaç duyduğumuz ya da kullanacağımız enerjiyi daha temiz, daha ucuz yöntemler ile hem çevreye hem de insanlara zarar vermeden, ekolojik dengeyi bozmadan, doğada kendisini yenileyebilen kaynaklardan üretilen enerji olarak tanımlayabiliriz. İnsanlığın var olduğu günden bu yana enerjiye sürekli olarak ve her alanda ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla eldeki mevcut kaynakların tükeniyor olması, ihtiyaca karşılık yeni kaynaklar araştırmayı odak noktası haline getirmiştir. Enerji üretiminde kullanılan kaynaklar yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Yeniden oluşum imkânı olmayan, sadece tüketim ihtiyacını karşılayabilecek ölçekte enerji üretimi sağlayan; tekrarlı bir şekilde kullanılamayan doğal kaynaklardan elde edilen enerjiye yenilenemeyen enerji denilmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları, doğanın enerji üretim hızının insanlığın var olan tüketim ihtiyaçlarını karşılayamadığı kaynaklardır. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil yakıtlar ve nükleer enerji olmak üzere iki ana başlıkta toplanabilir. Fosil yakıtlar yapılarında yüksek oranda karbon (C) bulundurmasıyla bilinirler. Nükleer enerji ise maddenin en küçük yapı taşı olan atomun çekirdeğinden ortaya çıkarılır. Fosil yakıtlar olarak da adlandırılan petrol, doğalgaz ve kömür gibi geleneksel enerji kaynakları ve nükleer enerji sağlayan kaynaklar hem çevreyi hem insan sağlığını giderek daha fazla tehdit eder hale gelmiştir.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının ulaşım başta olmak üzere, sanayi ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılması, sorunu daha da karmaşık bir hale getirmektedir.

Günlük hayatımızda enerji ihtiyacımızın büyük çoğunluğu petrolden karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yanması ile atmosfere CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> gibi zehirli gazlar salınmaktadır. Doğal gazın yanması ile de NO gazı açığa çıkmaktadır. Bu çıktılar insan sağlığını, bağışıklığını ve doğayı doğrudan etkileyen gazlardır. Buzulların erimesi, artan su seviyesi ve türbülanslı akışlar sebebiyle sellerin meydana gelmesi, iklim değişikliği, ozon tabakasının delinmesi gibi ekolojik problemler ile hem insan sağlığı hem de yeryüzünde bulunan diğer canlıların hayatı tehlikeye girmektedir.

Doğal kaynaklarımızın bilinçsizce tüketilmesi, enerji tüketimi sonucunda ortaya çıkan ekolojik problemler ve insanlar başta olmak üzere ağaçlar, hayvanlar, doğal güzelliklerimiz gibi pek çok varlığın hayat dengesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu sebeple fosil yakıtların ve nükleer enerjinin daha az kullanılarak, mevcut enerji tüketiminde daha tasarruflu yollara gidilmesinde karar kılınmıştır. Dolayısıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilgi artarak, sürdürülebilir enerji politikasının yaygınlaşması sağlanmıştır. Böylece, dışa bağımlılığı azaltırken ekonomik olarak da büyük oranda kalkınma sağlanacaktır. Bu sebeple hem ekolojik dengeye verilen zarardan kaçınılırken hem de fosil enerji kaynaklarındaki kısıtlamadan kurtulmayı hedefleyen sürdürülebilir enerji üretimi ve kullanımı politikası son 30 yıldır pek çok ülkenin gündeminde yer almaktadır.

Sürdürülebilir enerji üretme politikası incelediğinde karşılaşılabilecek iki temel unsur vardır; yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları. Fosil yakıtlar gibi kısıtlı bir ömrü ya da belirli bir limiti olmayan, daha çevre dostu, daha ekonomik, doğada aktif olarak bulunabilen ve sürekli olarak varlığını yenileyen, enerji üretebilen kaynaklar “yenilenebilir enerji kaynakları” olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve okyanus (dalga veya gel-git) enerjisi olarak sıralanabilir. Bu enerji kaynaklarından üretilen enerjiler daha az emisyon oranına sahip olmasının yanında fosil yakıtlar ile kıyaslandığında son derece çevre dostudur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıp çevrenin korunmasına yardımcı olmaları, yerli kaynak oldukları için enerjide dışa bağımlılığın büyük oranda azalması ve istihdamın artmasına katkıda bulunmaları yenilenebilir enerjinin en önemli özelliklerindendir.

Üzerinde yaşadığımız dünya yeraltı kaynakları bakımından oldukça zengindir fakat bu kaynaklar sonsuz ve zararsız değildir. Enerji kaynaklarının birçoğunun tükenme riski varken pek çoğunun da çevreye verdiği zarar ortadadır. Bu sebeple dünyaya ve yaşama zarar vermeksizin tüketilebilecek enerjiye yani yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. İnsanlar artık enerji üretiminde daha çevre dostu, daha ekonomik ve daha uzun ömürlü olan bu kaynakları tercih etmektedir.

Enerji, çevre bilinci, ekolojik denge, sürdürülebilir bir dünya ve gelecek nesillere olan sorumluluk bilinci gibi düşünceler bir araya geldiğinde sürdürülebilir enerji politikaları giderek önem kazanmakta ve tahmin edileceği üzere tüm sektörlerde de kullanımı yaygın bir hale gelmektedir. Bilim insanları ve araştırmacılar alternatif enerji kaynaklı teknolojilerin yaygınlaşması için çalışmalarını sürdürmektedir. Özellikle sanayi devriminden sonra süregelen gelişmelerde petrol ve doğalgazın aktif kullanım halinde olmasıyla artan karbon (C) ve azot (N) salınımı ile tüm dünyanın sağlığı ve ekolojik dengenin devamlılığı tehlikeyken, sürdürülebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi hem çevreci bir kalkınma hareketi hem de ekonomik, siyasi ve sosyal bir kalkınma projesi gibi görülmektedir.

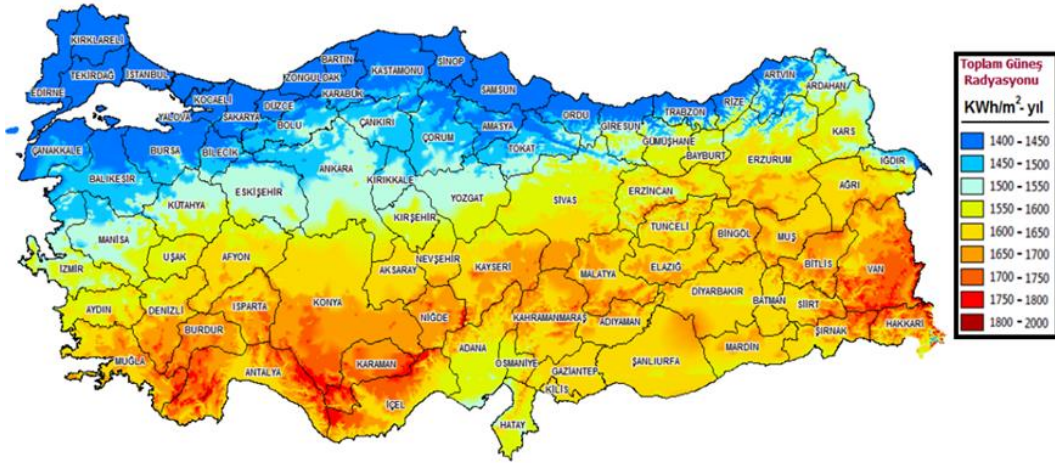
Başka bir deyişle, yenilenebilen enerji kaynakları, ulaşılabilirlik, mevcudiyet, kabul edilebilirlik özelliklerinin hepsini taşımaktadırlar. Bu yüzden tercih edilebilirliği oldukça fazladır ve her geçen gün de artmaktadır.

## BÖLÜM II

### GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, yaklaşık  $3,9 \times 10^{26}$  W güç yayabilen, temiz ve yenilenebilir yani tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen bu enerjinin çok az bir miktarı dünyamıza ulaşmaktadır. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan gazların füzyon süreci sonucunda (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisi olarak tanımlanır (T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2022).

Türkiye, coğrafi konum itibarıyla oldukça önemli bir güneşlenme potansiyeline sahiptir. Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin mevcut güneş alma kapasitesi bir hayli yüksektir. Ülkemizin yıllık toplam güneş alma süresi güneş enerjisi potansiyeli haritasına göre 2.741 saattir. Günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7,5 saate denk düşmektedir (T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2022). Şekil 2.1’de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası

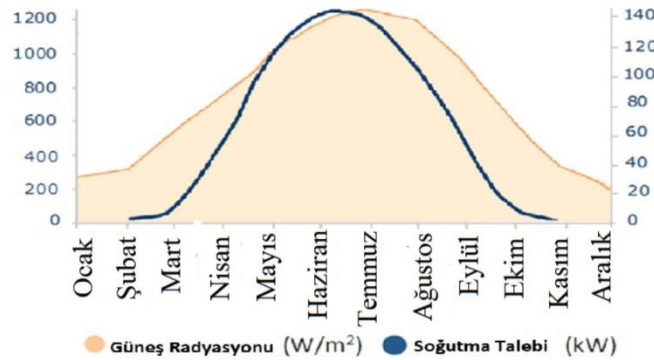
**Kaynak:** (T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,2022).

Son dönemlerde yapılan araştırmalar neticesinde fosil kaynakların çevreye verdiği zararın hızla arttığı tespit edilmiştir. Tüm dünya bu zarardan kaçınmak adına yenilenebilir enerjiye geçiş çalışmalarına hız vermiş bulunmaktadır.

Güneş enerjisinin çevresel anlamda temiz bir kaynak olması ve kurulum maliyeti bakımından diğer kaynaklara nazaran daha ekonomik olması güneş enerjisine yönelimi arttırmıştır. Özellikle güneş enerjisinden ısı ve elektrik üretimi üzerine pek çok nitelikli araştırma yapılmakta ve kullanım durumu da her geçen gün artmaktadır. Pek çok metot ve yöntem olsa da araştırmacılar çoğunlukla fotovoltaiik sistemlere yoğunlaşmıştır.

## 2.1. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Uzun yıllardır kullanım halinde olan kömür, petrol, doğal gaz ile üretilen elektrik enerjisi şimdilerde yerini güneşten elde edilen elektrik enerjisine bırakmaktadır. Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibarıyla kuzey yarım kürede yer alan bir ülke olmakla birlikte güneşten en fazla yararlandığı ve güneş enerjisinin kullanım seviyesinin maksimum düzeye ulaştığı zamanlar yaz aylarıdır. Türkiye'nin Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu gibi güney bölgelerinde yaz aylarında klima kullanımı oldukça arttığı için elektrik tüketimi de doğrudan artar. Şekil 2.2' de Türkiye'de güneş enerjisi şiddeti ile soğutma talebinin karşılaştırılması aylık grafiği verilmiştir. Ayrıca sıcak hava nedeniyle yoğun elektrik tüketiminden kaynaklanan arızalar ile sıkça karşılaşmaktadır. Güneş enerjisinden üretilen enerji ile hem şebekeler üzerindeki yük hafiflerken hem de fosil yakıt tüketimi asgari düzeyde tutulabilir. Ek olarak, tarım ürünlerini saklama ve kurutma faaliyetlerinde özellikle yaz aylarında güneş enerjisinden bolca faydalanılabilir.



**Şekil 2.2.** Türkiye' de güneş enerjisi şiddeti ile soğutma talebinin karşılaştırılması

**Kaynak:** (Türe,2020)

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten kişi ve kurumların sayısı oldukça artış göstermektedir. Bu bağlamda, çevresel ve finansal faydalarının görülmesiyle oldukça kapsamlı bir farkındalık gelişmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yaygın olarak kullanılan güneş enerjisi ile fotovoltaik hücrelerle elektrik üretimi işleminin gerçekleştirilmesine ek olarak, sıcak su üretimi ve tarım ürünlerini kurutma gibi önemli faaliyetler de gerçekleştirilmektedir.

Bilimsel çalışmalar ile güneş enerjisi sayesinde sınırsız, verimli ve doğa dostu elektrik üretim çalışmaları gerçekleştirilebileceği kesinleştirilmiştir. Bu sebeple son yıllarda araştırmacılar güneş enerjisi uygulamalarına odaklanmışlardır. Güneş enerjisi ile ısı ve elektrik üretimi gerçekleştirmek için evlere, binalara ya da işletmelere kurulan sistemlerde yer alan fotovoltaik paneller ve güneş kollektörleri sayesinde insanlar bu enerjiden faydalanabilmektedirler. Ek olarak, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinden daha fazla miktarda üretilen enerji ise doğrudan şebekeye aktarılabilir. Güneş enerjisinin kullanım alanları elbette ki sadece elektrik üretiminde kullanılmakla sınırlı kalmamaktadır. Elektrik üretiminin yanı sıra su ısıtma sistemlerinde de kullanılmakta olan güneş enerjisi sistemleri sayesinde pek çok insan evlerinde sıcak su teminini bu yolla sağlamaktadır.

Enerji tasarrufu yapabilmek ve çevreci bir yol izlemek adına bazı tesislerde yüzme havuzlarının suyu bile güneş enerjisi sistemleri ile ısıtılabilir. Kurulan sistem, güneş ışınlarının ısıttığı bir kollektör vasıtasıyla havuzda kullanılacak suyu ısıtır. Isınan su daha sonra havuza gönderilir. Güneş enerjisi sistemleri sıcak su temininde kullanıldığı gibi bina ısıtma sistemlerinde de kullanılabilir. Binalarda güneş enerjisi sistemleri ile mevcut ısıtma sistemlerinin entegrasyonu sonucunda binanın toplam ısıtma yükü ciddi oranda azaltılabilir. Ek olarak, bina inşaatı sürecinde de pasif güneş enerjisi sistemleri binaya entegre edilerek kış aylarında ısıtma yükü ve aydınlatma ihtiyacı da azaltılabilir. Her geçen gün gelişen ve değişen dünyada elektrikli araçların piyasaya sürülmesiyle birlikte araç şarj istasyonlarında da yine güneş enerjisinden faydalanılmaya başlanmıştır.

Güneş enerjisi üzerine son zamanlarda artan farkındalık sayesinde devletin bazı kurumları ve bakanlıklar da bu alandaki çalışmalarına hız vermiş bulunmaktadır. Özellikle şehir içi çevre düzeninde ve ışıklandırma sistemlerinde güneş enerjisinden faydalanılması için gerekli yapılandırmalar çoktan başlamıştır. Dahası, oldukça düşük maliyetli olması sebebiyle de ekonomiye ve bütçeye katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra dış ve iç mekânlarda da aydınlatma kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanılması hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle yaz aylarında binaların ve yapıların hava dengesini sağlamak ve sıcak havanın etkisini azaltıp ortamı serin tutmak oldukça zordur. Güneş enerjisinden faydalanılan havalandırma sistemleri konutların hava dengesini sağlamak amacıyla kullanılan en etkili çözümlerden birisidir. Bina içine taze hava akışı sağlanırken diğer yandan klima kullanımı azaltılıp doğrudan ortamın serinlemesine imkân sağlanmaktadır. Endüstriyel ve ticari alanlarda kullanımı ile bütçe dostu bir yöntem izlenmiş olur. Bu alanların yanı sıra meyve, sebze ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında, gıdaların depolanma aşamasında uygun hava koşullarının oluşturulmasında, tekstil sektöründe kumaşların çeşitli işlemlerden sonra kurutulması için gerekli sıcak havanın temin edilmesi gibi çok çeşitli alanlarda da güneş enerjisinin kullanım oranı her geçen gün artmaktadır. Bu durum hem ekonomik olarak yarar sağlarken hem de çevreci bir yaklaşım izlenmesine imkân vermektedir (Khanlari vd.,2020).

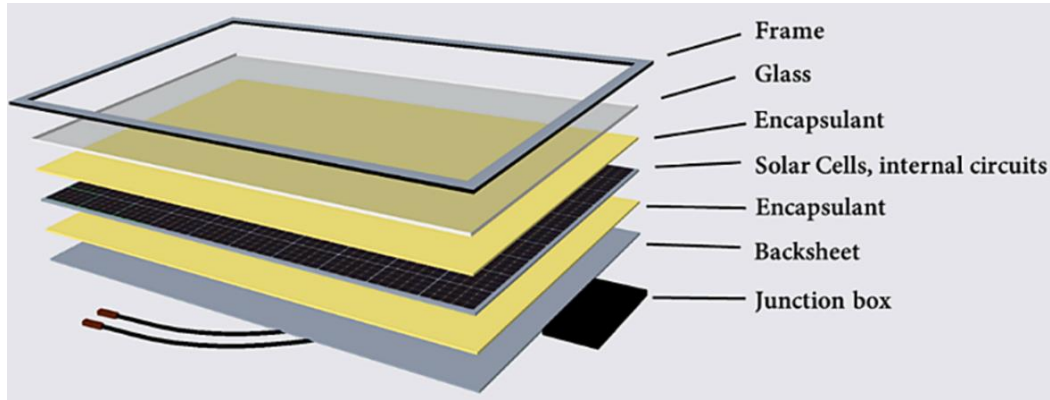
## **2.2. Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)**

Güneşten gelen ışınları direkt elektrik enerjisine dönüştürebilen ve yarı iletken bir diyot olarak çalışan fotovoltaik araçlara güneş pili (fotovoltaik pil) denmektedir. Genellikle dikdörtgen, kare ya da daire şeklinde olup,  $100 \text{ cm}^2$ 'lik ortalama bir yüzey alanına ve 0,2-0,4 mm arası değişen bir kalınlığa sahiptirler (Liu vd., 2023). Güneş pillerinin (fotovoltaik pillerin) en üst katmanında, meydana gelebilecek çatlama ya da kırılmalara karşı koruma ve enerji kayıplarını minimum düzeye indirmek için yansıma önleyici bir kaplama yüzey vardır. Kaplama yüzeyin altında iki farklı tipte yarı iletken bulunmaktadır. Bu yarı iletken tabaka N tipi (verici) ve P tipi (alıcı) yarı iletken maddelerin eriyik haldeyken başka maddelerle kontrollü olarak karıştırılması sonucu oluşmuştur. Güneş pillerinde genellikle en çok kullanılan yarı iletken madde çok kristalli silisyumdur (Liu vd., 2023).

Güneş pillerinin seri ve paralel bağlanmaları sonucunda oldukça yüksek güç oranına sahip olan güneş panelleri üretilir. Fotovoltaik ilkeye göre çalışma gerçekleştiren bir yapıları vardır. Yüzeylerine ışık düştüğü zaman uç noktalarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. Yani pilin ürettiği enerjinin kaynağı aslında üzerine düşen güneş ışıklarıdır dolayısıyla güneşten gelen enerji ile elektrik üretimi sağlanır. Güneş pilleri yapısı ve boyutuna göre ortalama % 5 - % 20 arasında bir verim ile çalışır ve güneşten aldıkları enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Birden fazla sayıdaki güneş pili seri veya paralel şekilde bağlanır, bir yüzey üzerine sabitlenir ve güç çıkışını arttıran bir yapı oluşturulur. Bu yapıya güneş pili modülü veya fotovoltaik modül adı verilmektedir. İhtiyaç duyulan enerji miktarına göre fotovoltaik modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanabilir böylece birkaç Watt'tan birkaç mega Watt'a kadar elektrik üretimi gerçekleştirilebilir.

### 2.2.1. Güneş Pillerinin Yapısı ve Yapımı

Elektronik ürünlerin pek çoğunda kullanılmakta olan diğer yapılar gibi güneş pilleri de yarı iletken malzemelerden yapılmaktadır. Silisyum, galyum, arsenit, kadminyum tellür gibi maddeler güneş pili üretmek için en çok tercih edilen yarı iletken özellik gösteren malzemelerdir (Liu vd.,2023). Şekil 2.3' de standart bir güneş pilinin yapısı ve yapısındaki malzemeler verilmiştir.



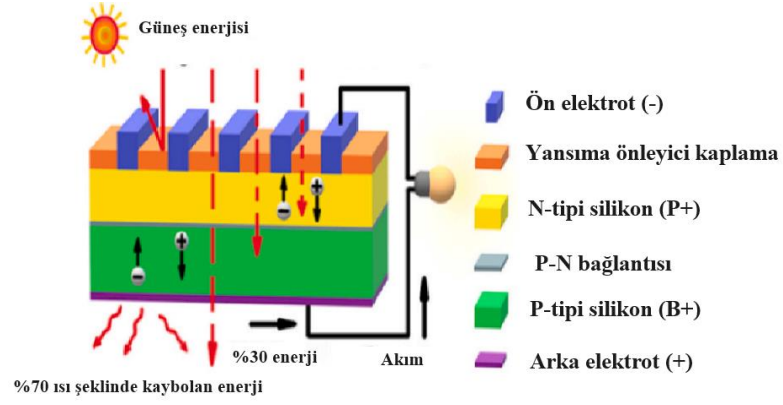
**Şekil 2.3.** Güneş pilinde kullanılan malzemeler

**Kaynak:** (Kumar vd.,2023)

Güneş pillerinin (fotovoltaik pillerin) yapısı P ve N tipi yarı iletken içeren basit formdaki diyotlara benzemektedir. Yarı iletken özelliğe sahip malzemelerin güneş pili olarak işlev gösterebilmesi için yarı iletkenin N tipi ve P tipi malzemeler ile etkileşime girmiş olması gerekmektedir. Eriyik halde bulunan N tipi ve P tipi olarak adlandırılan saf haldeki yarı iletken istenilen madde belirli oranda eklenir ve katı halde yeni bir yarı iletken tabaka oluşturulur. Genellikle en çok tercih edilen güneş pili yarı iletken maddesi silisyumdur. Silisyum maddesinden N tipi bir yarı iletken tabaka oluşturmak için eriyik halde bulunan silisyuma periyodik cetvelde 5. grupta yer alan bir elementten belirli oranda eklenir. 5. grup elementin son yörüngesinde yer alan elektronlardan fazla olan biri kristal yapıya bir elektron verir böylece N tipi yarı iletken tabaka oluşmuş olur. 5. grup elementlerinin yer aldığı yarı iletkenlere N tipi (verici) yarı iletken denir (Liu vd.,2023). Aynı şekilde eriyik halde bulunan silisyum elementi içerisine belirli oranda alüminyum, indiyum, galyum ya da bor elementi gibi son yörüngesinde 3 elektron yer alan 3. grup elementlerinden birisi eklenerek P tipi (alıcı) bir yarı iletken madde oluşturulur. P tipi yarı iletken maddeler N tipi yarı iletken maddelere göre elektron bakımından daha zengin bir yapıdadır.

### 2.2.2. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Üzerine düşen güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren dönüştürücüler iki aşamalı fotovoltaik dönüşümün gerçekleşmesiyle elektrik üretimini gerçekleştirir. Dönüşümün ilk aşamasında yüzeye gelen güneş ışınları fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilir. Güneş ışınları P tipi yarı iletken maddeden elektron koparır ve enerji kazanarak kopan elektron N tipi yarı iletken maddeye doğru geçer. Oluşan elektron-hol çiftleri ikinci aşamada bölgede mevcut olan elektrik alan sebebiyle birbirinden ayrılırlar. Elektron-hol çiftinin ayrılmasıyla güneş pilinin uçlarından bir güç çıkışı meydana gelir. Sabit bir şekilde meydana gelen tek yönlü elektron akışı pilde bir doğru akım (DC) oluşturur. Ayrılan elektronlar P tipi yarı iletken maddeye yani devrenin pozitif tarafına dönerken, hol adı verilen boşluklar ise pildeki negatif tarafa doğru hareket eder. Bunun sonucunda bir elektrik akımı oluşur. Güneş hücreleri üzerine düşmekte olan ışınım miktarı arttıkça güneş pillerinin üreteceği elektrik akımı da artar (Liu vd.,2023). Şekil 2.4 güneş pillerinin yapısı ve çalışma prensibini göstermektedir.



**Şekil 2.4.** Güneş pillerinin yapısı ve çalışma prensibi

**Kaynak:** (Tang vd.,2023)

### 2.2.3. Güneş Pillerinin Çeşitleri

#### a. Monokristalin Güneş Pilleri

Homojen bir atomik yapıya sahip olan monokristalin güneş pilleri diğer güneş pillerine göre %20 ile verim kapasitesi en yüksek olan güneş pili çeşididir. Üretimleri diğer güneş pillerine göre daha zor olup zaman almaktadır. Fiyatı da diğer güneş pili çeşitlerine göre daha yüksektir. Ancak verim oranı ve dayanıklılığı göz önüne alındığında monokristalin güneş pilleri uzun vadede diğer güneş pili çeşitlerine göre daha iyi bir tercih olacaktır (Kumar vd.,2023).

#### b. Polikristalin Güneş Pilleri

Polikristalin güneş pilleri birden fazla monokristal malzemenin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Bu sebeple atomik yapısı incelendiğinde homojen bir yapı olmadığı görülür. Polikristalin güneş pillerinin verimliliği ortalama %16'dır ve monokristal güneş pilleri ile kıyaslandığında daha düşük bir verim oranına sahiptirler.

Üretim tekniği ve maliyet açısından düşünüldüğünde tedariki daha kolaydır. Özellikle monokristal güneş pillerine oldukça yakın bir verim değerine sahip olması ve maliyet açısından daha ekonomik olmasıyla en çok tercih edilen ve en sık üretilen güneş pilleri polikristalin güneş pilleridir (Kumar vd.,2023).

#### **c. Amorf Silikon Güneş Pilleri**

Kristal bir yapıya sahip olmayan amorf silikon güneş pillerinin verim kapasiteleri diğer güneş pillerine göre %5 - %8 arasında değişen değerleri ile en düşük verim kapasitesi olan güneş pilleridir. Verim kapasiteleri düşük olmasına rağmen küçük elektronik cihazlarda en çok kullanılan güneş pilleridir (Kumar vd.,2023). Ayrıca inşaat sektörü için özellikle cam yüzeylerde, yarı saydam yapıya sahip cam olarak, dış koruyucu ve elektrik üretici yüzey olarak tercih edilmektedir.

#### **d. CIS (Copper-Indium-Diselenid) Güneş Pilleri**

CIS (Copper-Indium-Diselenid) yani Bakır-İndiyum-Diselenid güneş pilleri diğer güneş pilleri ile kıyaslandığında en ince tabakaya sahip olan güneş pilleridir. Verim kapasitesi ise %10'a yakın değerler almaktadır. İnce bir yapıya sahip olması, kolay montaj edilebilir olması, düşük maliyetle temin edilebilmesi, hafif olması ve geniş yüzeylerdeki uygulama kolaylığı ile pek çok avantajı mevcuttur (Kumar vd.,2023).

#### **2.2.4. Işınım Şiddeti ve Sıcaklığın Güneş Pillerine Etkisi**

Güneş pillerinin performansını ve karakteristiğini yapısı kadar yüzeyindeki ışıınım şiddeti ( $W/m^2$ ) de etkilemektedir. Güneş pillerinin üretebileceği maksimum güç değeri ışıınım şiddeti ile değişkenlik gösterecektir. Güneş pilinin yüzeyine etkiyen ışıınım şiddeti, pilde üretilecek olan kısa devre akımını etkileyecek derecede büyük bir öneme sahiptir. Işınım şiddetinin değeri arttıkça güneş pilinin kısa devre akımı artış gösterir, açık devre gerilimi ise azalır.

Güneş pillerinde ışınlm şiddetinin yanı sıra sıcaklık etkisi de güneş pilinin performansı üzerinde etkileyici bir role sahiptir. Belirli sıcaklık değerlerinde, ışınlm ile güneş pillerinin kısa devre akımı artış göstermektedir. Sabit ışınlm şiddeti altında, sıcaklık etkisi arttıkça güneş pilindeki kısa devre akımı da doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Bu durumda açık devre geriliminde ise azalma söz konusudur (Jha vd.,2023).

### 2.2.5. Güneş Pili Sistemleri

Güneş enerjisinden faydalanılarak tasarlanan sistemler genel olarak sabit sistemler ve hareketli sistemler olarak iki ana başlık altında incelenebilir. Gelen güneş ışınlarını takip edebilen hareketli sistemlerde özellikle de panel maliyetleri çok yüksekken, parabolik aynaların kullanımı ile daha küçük alanda daha çok enerji üretimi, daha az maliyetle mümkün olabilmektedir. Hareketli sistemler sabit sistemlere göre gelen güneş ışınlarını takip ettikleri için daha fazla enerji alarak daha fazla enerji üretebilirler. Güneş pili sistemleri de şebeke bağlantılı ve bağımsız sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

#### a) Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemleri

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri uygulama alanı bakımından iki farklı türde karşımıza çıkmaktadır. İlk sistem olarak karşımıza çıkan şebeke bağlantılı sistemlerde; sistemin kurulduğu yerleşim yerinin enerji ihtiyacı karşılanır. Fazladan üretilen elektrik ise şebekeye satılır. Gerekli üretimin yapılamadığı dönemlerde ise şebekeden ihtiyaç duyulan enerji kadar enerji satın alınır. Bu tarz oluşturulan sistemlerde fazla enerji şebekeye satıldığı için depolamaya ihtiyaç duyulmaz. Yine şebeke ile alış-veriş içerisinde bulunduğu için sistemin şebeke ile uyumlu olması ve sistemdeki DC geriliminin AC' ye çevrilmesi gerekmektedir. İkinci tür sistem olarak karşımıza çıkan şebeke bağlantılı sistemde ise mevcut güneş pili sistemi büyük bir güç üretme merkezi olarak tasarlanmıştır. Kendi kendine ürettiği enerjiyi tamamen şebekeye satar. Kapasiteleri 600-700 kW'tan MW'lara kadar değişiklik gösterebilmektedir. Doğrudan şebekeye enerji satışı gerçekleşen bu sistemlerde depolama maliyeti ortadan kalkmıştır.

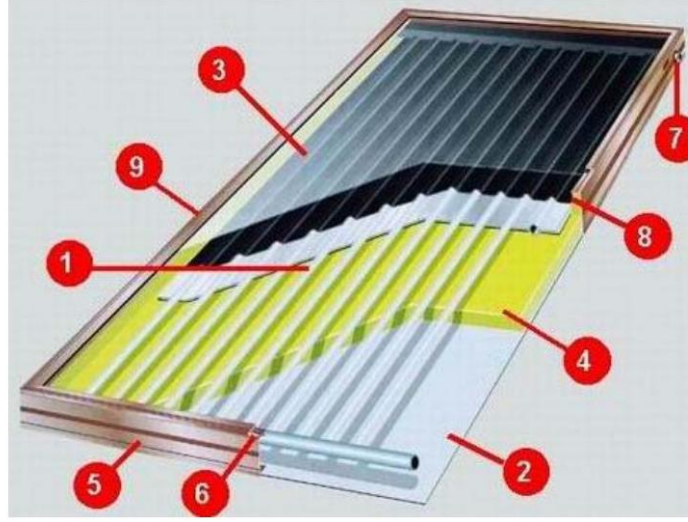
## b) Bağımsız Güneş Pili Sistemleri

Bu sistemlerde çok sayıda güneş pili bir araya getirilerek bir modül oluşturulur. Oluşturulan modül enerji kaynağı olarak kullanılır. Sistemde güneş ışınlarının yetersiz olduğu zamanlarda ve geceleri enerji ihtiyacını karşılamak için bir akü yer almaktadır. Güneş pili modülleri gün boyu enerji üretir ve üretilen enerji aküde depolanır. Akünün yanı sıra bir de regülatör bulunan bu sistemlerde regülatörün görevi aküyü aşırı şarj/deşarj durumlarından korumaktır ve güneş pillerinden gelen akımın fazla olması gibi durumlarda akıma karşı etki koyarak aküyü koruma altına alır. Şebekeye uyumlu alternatif akım gereken uygulamalarda güneş pili sistemine ek olarak bir inverter sisteme dâhil edilir. Aküdeki mevcut doğru akım bu sayede şebekeye uyumlu hale getirilir. Aynı şekilde ekstra gereksinimlerin duyulması halinde çeşitli elektronik devre elemanları ile sistem zenginleştirilir (Ma vd.,2024).

## 2.3. Güneş Kollektörleri

Temel enerji kaynaklarımızdan biri olan güneş, yaşam formunun devamlılığı ve sürekliliği için yapılan çalışmalar neticesinde en temiz, en güvenilir, en ekonomik ve en çevreci enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Güneşten hem termal yollar ile hem de fotovoltaik paneller aracılığı ile enerji elde edilebilmektedir. Son dönemlerde özellikle fotovoltaik sistemler üzerine pek çok araştırmalar yapılmaktadır.

Güneş kollektörleri, dünyaya yansıyan güneş ışınlarında mevcut olan enerjiyi toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerde üretilen paneller olarak tanımlanabilirler. İçinde bulunan akışkanlar ve yutucu plakalar vasıtası ile enerjiyi soğuran güneş kollektörleri, genelde elektrik üretiminde ve sıcak su temininde kullanılmaktadırlar. Şekil 2.5’ de bir güneş kollektörünün genel görünümü ve içerisinde yer alan elemanlar gösterilmektedir (Khanlari vd.,2020).



**Şekil 2.5.** Bir güneş kolektörü ve içerisinde yer alan elemanları 1:İç Panel, 2:Alt Taban, 3:Üst Örtü, 4:Yalıtım, 5:Kasa, 6:Cam Lastiği, 7:Conta, 8:Kasa Yalıtımı, 9:Cam Çıtası

**Kaynak:** (Ağrı ve Günerhan,2003)

### 2.3.1. Güneş Kolektörlerinin Kullanım Alanları

Yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilginin artması, beraberinde güneşten enerji üretme yöntemlerine duyulan ilgiyi de arttırmıştır. Bu yöntemlerden günümüzde en popüler olanı güneş kolektörleridir. Güneş kolektörleri evlerde, endüstriyel tesislerde, tekstilde, kurutma ve gıda sanayide, tarımda, ısıtma ve sıcak su temini gibi pek çok alanda kullanılabilmektedir. Güneş kolektörleri güneş ışınlarını toplayarak, ışınlar ile gelen enerjiyi bir sıvı ya da havaya aktararak faydalı ısı enerji elde edilmesini sağlar. Isıtma sistemlerinde kullanılan güneş kolektörlerinde güneşten gelen enerji alınarak su ya da başka bir sıvı ısıtılır. Isınmış olan akışkan depolama tanklarına aktarılarak daha sonra kullanılacak olan sıcak su temin edilir. Böylece şebeke ve yerel enerji sistemine olan bağımlılık azalırken bir yandan da enerji tüketim maliyeti azalır. Elektrik enerjisi temininde kullanılmakta olan kolektörler ise fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır. Fotovoltaikler (PV), güneş ışığında yer alan fotonlardan elektrik enerjisi üreterek ürettikleri enerjiyi mevcut bir aküye ya da elektrik şebekesine aktarır. Bu kolektörler hem çevreci kimlik taşır hem de fosil yakıt kullanımını minimum düzeye indirmeye yarar (Çiftçi vd.,2021).

### **2.3.2. Güneş Kollektörü Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar**

Performansı ve Verimliliği: Kollektör seçiminde performans ve verimlilik oldukça önemlidir. Verimliliği yüksek güneş kollektörü her zaman daha fazla güneş enerjisi toplayabilir. Böylece daha yüksek sıcaklık değeri ya da elektrik üretimi sağlayabilir.

Kurulum Alanı ve Boyutu: Kollektörün kurulum alanı ve boyutu, kurulum yapılacak olan alana uygun ebatlarda ve özelliklerde olmalıdır. Kollektörün kurulacağı alan güneş ışığından maksimum düzeyde faydalanabileceği bir konuma sahip olmalıdır. Boyutu ise mevcut enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyelde olmalıdır.

Kullanım Amacı: Güneş kollektörü seçimi yapılırken, kollektörün hangi amaçla ve ne işlevde kullanılacağı iyi belirlenmelidir. Örneğin, ısıtma-soğutma sisteminde mi yoksa kurutma sisteminde ya da elektrik üretimi için mi kullanılacağı belirlenmelidir.

Malzemeleri ve Kalitesi: Güneş kollektörü yapılırken kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin kalitesi hem kollektörün verimi için hem de uzun vadede kollektörün ömrü için oldukça önemlidir.

Dayanıklı ve uzun ömürlü malzemelerden yapılmış olan bir kollektörün seçilmesi karşılaşılabilecek masrafları minimum düzeyde tutarak uzun vadede ekonomik bir yatırım yapılmasını sağlar. Kaliteli ve uzun ömürlü malzemelerin seçimi daha verimli sonuçları da beraberinde getirecektir (Aytaç vd.,2023).

### **2.4. Güneş Kollektörlerinin Çeşitleri**

Güneş kollektörleri genel olarak, üzerine düşen güneş enerjisini toplama karakteristiğine, panelinin konumlandırılmasına (sabit ya da güneşi takip eden yönde) ve çalıştığı akışkan tipine göre farklı gruplara ayrılırlar.

#### **2.4.1. Akışkan Tipine Göre Güneş Kollektörleri**

Güneş kollektörü, güneşten gelen radyasyonu ısı enerjisine dönüştürerek kullanılabilir kılan bir ısı değıştiricisidir. Kollektörlerde yer alan emici yüzey, güneşten gelen radyasyonu emer. Emici yüzeyde absorbe edilen radyasyon materyalin sıcaklığını yükseltir. Kollektörler, içerisinde akışı sağlanan ve emici yüzeyin ısını taşıyan akışkanlara göre iki farklı başlıkta incelenebilir (Yıldız,2021).

Sıvılı güneş kollektörlerinde yaygın olarak kullanılan akışkan su ya da antifrizli sudur. Sıvılı güneş kollektörlerin verimi havalı güneş kollektörlerine göre daha yüksektir bunun nedeni suyun havaya göre daha iyi ısı aktarımı yapabilmesidir. Ayrıca sıvılı güneş kollektörlerinin yapımı ise daha kolay ve ucuzdur. Sıvılı güneş kollektörlerinde toplanan enerjinin depolanabilmesi için daha küçük depolar yeterli olur. Fakat aynı zamanda kollektör içerisinde akışı sağlanan sıvının donma tehlikesi vardır, korozyon oluşumu ve sızdırma gibi sorunlar da oldukça önem arz eder (Uyarel,1987).

Havalı güneş kollektörlerinde karşımıza çıkan önemli noktalar ise yapım - bakım zorluğu ve maliyet yüksekliği olarak iki ana başlıkta toplanabilir. Ancak sıvı akışkanlı kollektörlere göre daha uzun ömürlü olması, hafif olmaları ve verimlerinin daha düzgün dağılımlı olması da havalı güneş kollektörlerinin tercih edilme sebepleri arasında yer almaktadır.

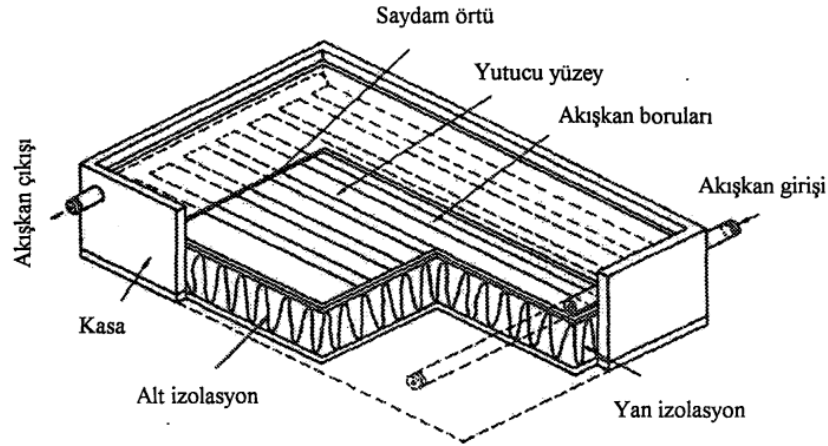
##### **a. Sıvılı Güneş Kollektörleri**

Isı taşıyıcı akışkan olarak bir sıvının kullanıldığı güneş kollektörleridir. Güneşten elde edilen enerji emici yüzey tarafından absorbe edilir ve kollektör içerisinde dolaşmakta olan bir sıvıya iletilir. Güneş ışınlarının belirli bir kısmı saydam örtüden dışarı yansırken bir kısmı ise absorbe edilerek yutucu yüzeye aktarılır.

Yutucu yüzeyin emiciliğine göre absorbe edilen güneş ışığı miktarı ve dolaylı yoldan aktarılabilecek olan enerji miktarı da değişkenlik gösterebilir. Absorbe edilen güneş enerjisi kollektör içinde yer alan akışkan boruları aracılığı ile depolama alanına gönderilir.

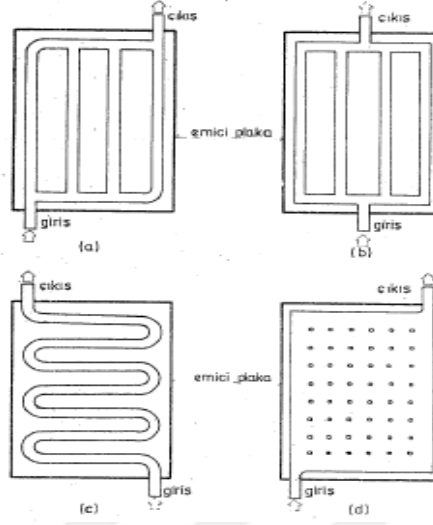
Kollektörde yer alan saydam örtünün öncelikli amacı yüzeyi korumak ve meydana gelebilecek olan ısı kaybını minimum düzeye indirmektir. Adından da anlaşılacağı üzere geçirgen bir yapıya sahiptir. Yutucu yüzey ise güneş ışınlarından absorbe edilen enerjiyi kollektör içinde yer alan akışkan borulara iletmeye yarar. Absorbe edilen enerjinin aktarılmasını sağlayan akışkan, borular içinde dolaşır ve ısınan sıvıyla enerjinin depoya gönderilmesini sağlar. Isınan kollektör ile kollektörün bulunduğu ortam arasında sıcaklık farkı meydana gelir. Bu durum bir ısı kaybına sebep olur.

Kollektör ve kollektörün çalışma sistemi tasarlanırken ısı yalıtımına oldukça dikkat edilmelidir, bu sayede ısı kaybı minimize edilebilir. Şekil 2.6 sıvı akışkanlı bir güneş kollektörünün kesitini, Şekil 2.7 ise sıvı akışkanlı güneş kollektörlerinde tercih edilen akış biçimlerini göstermektedir (Topaloğlu,2019).



**Şekil 2.6.** Sıvı akışkanlı bir güneş kollektörünün kesiti

**Kaynak:** (Tırıs vd. ,1997).



**Şekil 2.7.** Sıvı akışkanlı güneş kolektörlerinde tercih edilen akış biçimleri

**Kaynak:** (Topaloğlu,2019)

#### **b. Havalı Güneş Kolektörleri**

Güneş kolektörlerinde kullanılan akışkanlar, güneş enerjisi sistemlerinde kolektörlerde toplanan ısıyı ısıl enerji depolarına taşımakla görevlidir. Güneş kolektörlerinde en çok kullanılan ısı transferi akışkanları; su, propilen glikol, etilen glikol olarak sıralanabilir. Havalı güneş kolektörleri, akışkan olarak kullanılan hava ile güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sistemler olarak bilinir. Havalı güneş kolektörlerinde, hava direkt olarak kullanılabilirken, havanın kapalı olup güneş almadığı zamanlarda ihtiyaç duyulacak olan enerjiyi karşılayabilmek adına enerji depolanabilir. Havalı kolektörlerin genel yapısını oluşturan dört ana kısım; saydam örtü, emici plaka, kolektör kasası ve kolektör yalıtımı olarak sıralanabilir. Bu tabakalar aynı zamanda kolektörün verimini de oldukça etkileyen kısımlardır (Değirmencioğlu ve İlken, 2003).

Saydam örtü, emici plaka, kolektör kasası ve kolektör yalıtımı havalı güneş kolektörlerinde verimi etkileyen en önemli unsurlardır. Bunların yanı sıra emici yüzeyde bulunan kanatçıklar, kanatların sayısı, kanatların geometrisi, kolektöre giren – çıkan hava

(akışkan miktarı), akışkan sıcaklığı, akışkanın giriş ve çıkış yerleri, akış yolu ve şekli de verimi etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Kollektörde yer alan emici yüzeyler, güneş enerjisini absorbe eder. Absorbe edilen güneş enerjisi akışkan kanallarda yer alan akışkana (havaya) aktarılır ve havanın sıcaklığını artırır. Sıcaklığı artmakta olan akışkan hava depoya aktarılır, kullanım amacına uygun bir şekilde enerji depolanırken akışkan yeniden çevrime dâhil olabilir.

Güneş enerjisinin emilmesi ve akışkana aktarılabacak olan enerjide önemli bir rol oynayan emici yüzeyin, ısı iletim katsayısı yüksek olan bir malzemeden tercih edilmesi verim artırıcı bir etken olmaktadır.

### **Saydam Geçirgen Örtü**

Saydam geçirgen örtü kollektöre gelen güneş ışınlarını kollektör içine alarak meydana gelebilecek olan ısı kayıplarını azaltmaya yarar. Özellikle rüzgârlı havalarda taşınım ile gerçekleşen ısı transferi esnasında çok fazla ısı kaybı meydana gelmektedir. Saydam örtü, ısı kaybını önlemesinin yanı sıra kollektörde bulunan yutucu yüzeyi hem yağmur ve dolu hem de toz gibi dışardan gelebilecek olan etkenlere karşı korur. Saydam örtüler tercih edilirken dikkat edilmesi gereken hususların başında, kısa dalga boyuna sahip güneş ışınlarını geçirme oranının yüksek olması, yutucu yüzey tarafından yayılmakta olan uzun dalga boyuna sahip güneş ışınlarının ise çıkmasına izin vermeyecek şekilde geri yansıtma/geçirme oranı düşük olması gelmektedir. Ekonomik anlamda düşünüldüğünde ise maliyet bakımından uygun olmalı, kolay temin edilebilmelidir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmalıdır, mor ötesi ışınlardan etkilenmemeli, işlenebilirliği kolay olmalı, dışardan gelebilecek olan yağmur, dolu, toz, taş vb. etkenlere ve çizilmelere karşı yüksek mukavemete sahip olmalıdırlar.

Genellikle cam ve plastik temelli saydam geçirgen malzemeler saydam örtü yapımında tercih edilir. Cam olarak tercih edilen saydam örtüler güneşten gelen 0,3-3,0  $\mu\text{m}$  dalga boyundaki ışıınımları büyük oranda geçirir, yutucu yüzeyden yayılmakta olan 3,0-50  $\mu\text{m}$  dalga boyuna sahip kuvvetli ışıınımları ise geçirmezler.

Güneşten gelen ışınlar karşı oldukça dayanıklı olup bozulma reaksiyonu göstermezler, yüksek sıcaklıklara karşı da son derece dayanıklıdır fakat yapısı gereği kırılabilirler. Taşınması zordur. İşlenmesi ve şekil verilmesi de kırılabilir yapısı sebebiyle oldukça güçtür. Kırılabilir ve kristal yapısı sebebiyle taşınırken, montajlanırken ya da kullanım aşamasında köşelerde açıklık kalmayacak şekilde lastik kasketlere sarılmalıdır.

Aksi halde taşıma/montaj aşamalarında kırılıp hasar alabilir ya da kullanım sırasında köşe ve kenarlarda kalacak açıklık yüzünden kollektör içine saydam örtünün altına hava / nem girişi olabilir ve yoğunlaşma meydana gelir. Yoğunlaşma meydana gelen saydam örtüde demir oksit ( $Fe_2O_3$ ) miktarı artar ve bu artış saydam örtünün geçirme oranını düşürür. Dolayısıyla saydam örtüde kullanılacak camın içeriğindeki demir oksit oranı da verimi oldukça etkiler, demir oksit miktarı %0.05 değerinden küçük olan camlar seçilmelidir (Ağrı ve Günerhan,2003)

## **Emici Plaka**

Kollektör verimini artırma da önemli etkenlerden birisi de emici plakadır. Güneşten gelen ışınların kollektör tarafından yutulmasını sağlayan ve ısıyı borularda dolaşan akışkana ileten kısım emici plakadır. Emici plaka seçiminde; seçicilik özelliği, güneşten gelen ışınları yutma oranı yani yüksek emicilik faktörü ve uzun dalga boyuna sahip ışınlar için yayıcılığın düşük olması dikkat edilmesi gereken özelliklerden bazılarıdır. Gelen ışınların yutularak yüzeyle temas etmekte olan akışkana verimli bir şekilde aktarılması için, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerden yapılması gerekir. Isı geçişinin kısa sürede gerçekleşmesi için de ince bir tasarıma sahip olması gerektiği bilinmektedir. Bunun yanında, kolay imal edilebilmesi, üretilecek malzemelerin maliyeti, kolay temin edilebilmesi ve işlenebilirliği de önem arz etmektedir. Seçilecek olan malzemenin işlenebilirliği, lehim/kaynak yapılabilme özelliği de önemli bir faktördür. Bu bakımdan, genellikle bakır, alüminyum ya da paslanmaz çelik kullanılır. Bakır malzemelerin ısı iletim katsayısı oldukça yüksektir fakat maliyet sebebiyle temin edilmesi zordur. Paslanmaz çelik piyasada en kolay bulunabilecek alternatif malzemedir ancak koşul değişikliklerinde kısa zamanda kolay bir şekilde korozyona uğrar yani korozyon değeri yüksektir.

Bakırın lehim ve kaynak yapılma özelliği oldukça iyidir. Alüminyumun ise farklı metaller ile lehim ya da kaynak yapılması oldukça güçtür. Emici plakalarda genellikle seçici yüzey belirlenirken yutma katsayısının yayma katsayısına oranı ( $\alpha/\epsilon$ ) 4'ten büyük olan malzemelerin seçici yüzey olmasına dikkat edilir (Ata,2017). Seçici yüzeyler hazırlanırken önce yüzey temizlenir, daha sonra yüzeye asit banyosu yaptırılır. Uzun dalga boyuna sahip ışınlamaları yayma oranı düşük olan metaller, güneş ışınlarını yutma oranı büyük bir madde ile ince bir film şeklinde kimyasal banyo yaptırılarak, püskürtme yoluyla ya da elektrotlama yöntemleri ile kaplanır (Tuncer, 2018).

### **Kollektör Kasası**

Kollektör kasalarında kullanılan malzemeler genel olarak alüminyum, paslanmaz ya da galvanizli çelik ve plastik olarak sınıflandırılabilir. Olabildiğince tek tip malzeme kullanılmaya özen gösterilir. Kollektör kasası hazırlanırken kullanılacak olan malzemenin aynı tür malzeme olması ve ısıl genleşme katsayısı dikkate alınarak boyutlandırma yapılır (Kalogirou vd. ,1994).

### **Kollektör Yalıtım Tabakası**

Kollektörde sıcaklık bakımından en yüksek kısım olan emici plakanın yalıtılması ile, dışardaki soğuk çevre ile arasındaki temas kesilir. Yalıtım amacı ile kullanılacak malzemeler seçilirken yüksek sıcaklığa dayanabilmesi, neme olan direnci, şekil değiştirme, yanma ve genişleme özellikleri değerlendirilir. Ayrıca ısı kayıplarını minimum düzeyde tutabilmek için ısı iletim katsayısı düşük olan malzemeler tercih edilir ancak düşük sıcaklıkta eriyebilecek, yanabilecek malzemeler kullanılmaz, kollektörün iç kısımlarında ve özellikle yalıtımda kullanılabilecek malzemelerin 175-200°C'ye dayanıklı olmasına dikkat edilir (Ahmed vd.,2021). Yüksek ısıl dirence sahip cam yünleri ve poliüretan köpükler uygun yalıtım malzemeleri olarak tercih edilirken, polistren köpükler ve asbest asla yalıtım malzemesi olarak kullanılmaz. Çünkü bu malzemeler insan sağlığı için son derece zararlı içeriklere sahiptir.

## 2.4.2. Toplama Karakteristiğine Göre Güneş Kollektörleri

### A. Sabit Güneş Kollektörleri

#### a. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Güneş enerjisinin sabit bir pozisyonda toplandığı ve bir akışkana aktarıldığı, optik bir yoğunlaştırıcısı olmayan kollektörlerdir. Düzlemsel güneş kollektörleri hava akışkanlı ve sıvı akışkanlı olmak üzere 2 farklı grupta incelenirler.

Düzlemsel güneş kollektörlerinin yapısı incelendiğinde sırayla; geçirgen bir üst örtü, geçirgen örtü ile emici plaka arasında bir boşluk, emici plaka, kollektörün altında ve yanlarında yer alan bir yalıtım tabakası ve tüm tabakaları kapsayan bir kasa yer alır. En üst tabakada yer alan geçirgen örtü dışındaki tüm elemanlar meydana gelebilecek ısı ve enerji kaybını minimum düzeyde tutmak için ısı yama oranı iyi ve kaliteli malzemelerden seçilir. Geçirgen örtü ise toplayıcılığı-geçirgenliği yüksek, topladığı ve emici yüzeye düşen ışınların geri yayılmasını önleyecek, kayıpları azaltmaya yarayacak bir malzemeden tercih edilir. Düzlemsel güneş kollektörlerinden oluşturulan sistemler doğal dolaşım ve pompa ile çalışan sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki sistem de hem açık sistem halinde hem de kapalı sistem olarak tasarlanabilir.

Doğal dolaşım güneş kollektörü sistemleri adından da anlaşılacağı üzere doğal bir dolaşım sistemine sahiptir. Kullanılan akışkan sıcaklığı arttıkça ısı enerjisi artar ve yoğunluğu azalır. Bu sayede yükselmeye başlayan akışkan sistem içerisinde kendiliğinden hareket etmeye başlar. Akışkan deposu, toplayıcıdan en az 30 cm yukarıda bir yükseklikte konumlandırılmalıdır. Pompalı sistemlere göre daha ucuz olan doğal dolaşım sistemler daha az suyla çalışır ve daha basit bir yapıya sahiptir. Daha yüksek oranda su ile çalışan ve kapasite bakımından daha büyük olan sistemlerde ise pompa kullanılır. Pompalı güneş kollektörlerinde akışkan deposunun toplayıcıya göre daha yüksek konumda yer alma zorunluluğu yoktur.

Açık sistem olarak tasarlanan sistemlerde dolaşımda yer alan akışkan (su) kullanılan su ile aynıdır. Suyun temiz ve kireçsiz olmasına dikkat edilmelidir. Kireç zamanla sistemde aksamalara sebep olabilir aynı zamanda suyun donma tehlikesinin olmadığı yerlerde kullanılması daha uygun olur. Kapalı olarak tasarlanan kollektör sistemlerinde ise kullanılan su ve sistemde dolaşan akışkan farklıdır. Toplayıcılarda ısıtılarak çevrimde dolaşan su, eşanjör vasıtasıyla kullanılacak olan suyu ısıtmaya yarar. Kapalı sistemlerde eşanjör kullanımından dolayı maliyet yüksek olsa da donma, kireç ya da korozyona karşı kullanımı daha kaliteli sonuçlar verir ve verimi daha yüksektir (Şener,2013).

### **b. Parabolik Güneş Kollektörleri**

Adından da anlaşılacağı üzere parabolik bir kesite sahip olan yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını toplayıcının odak kısmında yer alan siyah absorpsiyon borusuna odaklar. Toplayıcılar güneş ışınlarının gün içerisindeki hareketine ve geliş açısına göre maksimum düzeyde ışın toplayacak şekilde yerleştirilir. Büyük alanlara kurulan parabolik güneş kollektörleri bir buhar türbini çalıştıracak termal enerjiyi sağlayabilmelidir. Parabolik oluk tipli toplayıcıların yoğunlaştırıcı güneş santrallerinde oldukça yaygın bir kullanımı vardır. Odak noktalarında yer alan absorpsiyon borusunda bir akışkan dolaşır ve bu akışkanın sıcaklığı 350–400°C'ye kadar çıkabilmektedir. Ekvatora doğru yönelen parabolik güneş kollektörleri kuzey-güney ya da doğu-batı yönlü yerleştirilebilirler. Kuzey-güney yönlü yerleştirildiği takdirde sürekli olarak güneş ışını alabilirler. Yerleştirme açısı kollektörün kurulacağı coğrafyaya ve mevsime göre değişiklik gösterir (Kalogirou vd. ,1994).

### **c. Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri**

Vakum tüplü güneş kollektörlerinde vakumlanmış cam borular yer almaktadır. Kollektörün kapasitesi arttırılmak istenirse ya da farklı koşullarda çalışılmasına ihtiyaç duyulması halinde emici yüzeye gelecek olan enerji miktarını arttırmak için cam / metal yansıtıcılar da sisteme dâhil edilebilir. Vakumlu güneş toplayıcılarında akışkanların çıkış sıcaklığı oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu sebeple düzlemsel güneş kollektörlerinin tercih edildiği yerlerde kullanılabilirler.

Kollektörlerin çıkış sıcaklığı 100-120°C'yi bulabilmektedir ve bu sebeple düzlemsel güneş kollektörlerine göre daha yaygın kullanım alanları vardır. Bina soğutmada, gıda/tahıl dondurmada kullanılabilir (Şener,2013).

### **B. Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri**

Yoğunlaştırıcı güneş kollektörleri güneş ışınlarını merkez alan ve genellikle iç bükey (konkav) bir yapıya sahip ayna şeklinde tasarlanmaktadır. İç bükey tasarımların haricinde silindir veya konik bir tasarıma da sahip olabilirler ve bu tasarımların kesitleri de iç bükey bir haldedir. Kapasite ve verim arttırmak için özel mercekler kullanılmaktadır fakat kullanım alanları çok geniş değildir. Düz plaka şeklinde yansıtıcılar kullanılarak oluşturan yoğunlaştırıcı kollektörlerde de yüksek verimler elde edilebilir. Çok küçük bir alanda oldukça yüksek oranda güneş ışını toplanabilecek yoğunlaştırıcı kollektörler tasarlanabilir.

Yoğunlaştırıcı güneş kollektörlerini ve düzlemsel güneş kollektörlerini kıyaslayacak olursak;

- Sistemde yer alan akışkanın sıcaklık seviyesi düzlemsel kollektörde yer alan akışkanın sıcaklığına göre daha yüksektir. Sıcaklık farkı sebebiyle gözle görülür bir termodinamik verim farkı da ortaya çıkar.
- Toplayıcı bölgelerin küçük alanlardan oluşması sebebiyle oldukça küçük ısı kayıpları meydana gelir, termal verimde yine yoğunlaştırıcı kollektör daha az kayıp sebebiyle farkını ortaya koyar.
- Yapısal olarak düzlemsel kollektörler daha komplike bir yapıya sahiptir. Daha az malzemeye oldukça etkin bir yansıtıcı yüzey oluşturulabilir. Birim alan başına düşen güneş ışını toplama maliyeti düzlemsel kollektörlere göre daha azdır.
- Kayıpların minimum düzeyde tutulması, daha basit bir yapıya sahip olması, kollektör etkinliğinin artırılması gibi sebeplerden dolayı ekonomik açıdan daha uygundur.

Yoğunlaştırıcı güneş kolektörlerinin bazı dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri, yoğunlaştırıcı oranına göre güneş ışını toplamaktadır. Az miktarda güneş ışığı alması az enerji demektir.
- Verimli bir üretim için güneşten gelen ışınları takip edecek bir izleme sistemi gerekebilir, bu durum ekstra maliyet gereksinimi ortaya çıkarır.
- Periyodik bakım ve temizliği düzenli olarak takip edilmez ise kolektörler güneş yansıtıcı özelliğini kaybedebilir.

Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri için pek çok tasarım ortaya atılmıştır. Kolektördeki yoğunlaştırıcılar, ışık kırıcı etkiye sahip, parabolik ya da silindirik, tek parça bir bütün halinde ya da parçalı yapıda olabilir. Toplayıcılar ise genellikle konveks, konkav, düz ya da silindirik yapıda olup camla örtülmüş bir haldedir, örtüsü açık halde kullanılan tasarımlar da mevcuttur (Kalogirou vd., 1994).

## BÖLÜM III

### LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde havalı güneş kolektörlerinin ısı performanslarını arttırmak için pek çok farklı yöntem denenmiştir. En çok kullanılan yöntem çeşitli şekillerde kanatçıklar kullanarak kolektörlerin verimi arttırmaktır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarda güneş kolektörlerinin kullanım sürelerini arttırmak için faz değiştiren malzemeler yardımıyla enerji depolama da oldukça gündemdedir.

Momin ve diğerleri hazırladıkları çalışmada yer alan havalı güneş kolektörünün emici yüzeyine V şeklindeki kirişlerden kanatçık eklemişler ve tasarlanan yeni kolektördeki sürtünme ve ısı transferini analiz etmişlerdir. Kanatçık eklenen kolektörün içinde yer alan borulardaki akış karakteristiklerini ve ısı transferi aşamalarını deneysel olarak gözlemlediklerinde sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısındaki artış üzerine daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek adına başka bir kolektöre düz borular yerleştirilmiş aynı akış karakteristiklerinde çalışma düzeneği değerlendirerek her iki durumda kıyaslanmıştır (Momin vd. ,2002).

Yeh ve diğerlerinin tasarlamış olduğu çift geçişli havalı güneş kolektöründe akış doğrultusu boyunca uzanan beşi üst kanalda, beşi alt kanalda yer almak üzere toplam 10 adet kanatçık eklenmiştir. Havalı güneş kolektörünün girişindeki hava sıcaklığını 30°C olarak sabitlemişlerdir. Çift cam örtü tabakası bulunan kolektörün verimi yaklaşık %62 olarak tespit edilmiştir (Yeh vd. ,2002).

Othman ve diğerleri, hazırlamış oldukları çalışmada çift geçişe sahip bir havalı güneş kolektörüne parabolik yapıya sahip yoğunlaştırıcılar eklemişlerdir. Eklenen yoğunlaştırıcıların orta kısımlarına da fotovoltaik modüller yer almaktadır.

Yapılan deneylerde 0,015-0,16 kg/s arasında değişen kütle debisi ve 500 W/m<sup>2</sup> sabit ısıtım şiddeti kullanmışlar ve deneylerin sonucunda toplam verimi %39 ile %70 arasında elde etmişlerdir (Othman vd.,2005).

Bulut ve Durmaz yapmış oldukları çalışmada, yeni bir havalı güneş kolektörü tasarlamışlardır. Tasarlanan havalı güneş kolektörünün performansını deneysel olarak analiz etmişlerdir. Tasarlanan havalı güneş kolektörünün giriş ve çıkış havası arasındaki ortalama sıcaklık farkı 20°C olarak ölçülmüştür. Çalışmalarının sonucunda bina ısıtma sistemlerinde havalı güneş kolektörlerinin kullanılabilceğini ve güneş enerjisi destekli bir dış hava karışımlı ısıtma sistemi ile yeni bir teknoloji üretilebileceğini önermişlerdir (Bulut ve Durmaz,2006).

Kareem ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, yeni nesil çoklu geçişe sahip bir havalı güneş kolektörünü inceleyerek performansına yönelik deneyler yapmışlardır. Güneş destekli çalışan hava ısıtma sistemini teorik olarak modellemişler ve verim hesaplaması yapmışlardır. Modellenen kolektöre ait ısı verim %59,96 olarak, optik verim ise %72,26 olarak hesaplanmıştır (Kareem vd.,2016).

Lertsatitthanakorn ve diğerleri, hazırlamış oldukları çalışmada yeni bir havalı güneş kolektörü tasarımı ortaya koymuşlardır. Yeni tasarlanan bu kolektör çift geçişli akışa sahip termoelektrik bir havalı güneş kolektörüdür. Geliştirilen bu kolektörü incelediğimizde şeffaf cam, hava boşluğu, bir emici plaka, termoelektrik modüller ve dikdörtgen kanatçıklardan oluştuğu görülmektedir. Emici yüzey tarafından yutulan güneş ışınlarının bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken büyük bir kısmı emici plakanın sıcaklığını arttırmak için kullanılmaktadır. Alt kanalda bulunan ısı emiciden ortam havasına ısı kazanımı gerçekleştirilmektedir. Deney boyunca gözlemlenen en önemli sonuç; termoelektrik modüllerin sıcak ve soğuk tarafı arasındaki sıcaklık farkının, elektrik gücü çıkışını ve mevcut dönüştürme verimini etkilemesi olmuştur. Sıcak ve soğuk taraf arasındaki fark 22.8 °C iken üniteden, 2,13 W güç çıkışı ve % 6.17 dönüşüm verimi elde edilmiştir (Lertsatitthanakorn vd.,2008).

Özgen ve diğerleri, hazırlamış oldukları çalışmada alüminyum içecek kutularından faydalanmışlardır. İçecek kutularının alt ve üst parçalarını keserek elde ettikleri açık silindirik yapıları, çift geçişli havalı güneş kolektörlerine kanatçık olarak eklemişlerdir. Tasarlanan iki farklı kanatçıklı kolektör ile kanatçık eklenmeyen düz bir havalı güneş kolektörü deneysel olarak incelenmiştir. 0,03 kg/s ve 0,05 kg/s'lik kütleli debiler üç farklı kolektörde de denenmiştir (Şekil 3.1). Deney sonuçlarında en yüksek ısı verimin 0,05 kg/s kütleli debide, %55 ile alüminyum kutularının sık bir şekilde yerleştirildiği havalı kolektörde ölçülürken en düşük ısı verim ise kanatçık eklenmeyen havalı güneş kolektöründe tespit edilmiştir (Ozgen vd.,2009).



**Şekil 3.1.** Çalışmada yer alan kolektörlerin emici yüzey geometrileri

**Kaynak:** (Ozgen vd.,2009)

Ramani ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada çift geçişli bir kolektörün emici yüzeyini değiştirerek 2 farklı kolektör modelini incelemişler ve tek geçişli standart bir havalı güneş kolektörü ile karşılaştırmalar yapmışlardır. Gözenekli emici yüzey malzemesi kullanılmış olan çift geçişe sahip havalı güneş kolektörü için teorik ve deneysel analizler yapmışlar ve matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Aynı işlemleri gözeneksiz emici yüzeye sahip havalı güneş kolektörü için de tekrar etmişlerdir. Gözenekli emici yapıya sahip çift geçişli havalı güneş kolektörünün veriminin gözeneksiz malzemeli emici yapıya sahip çift geçişli kolektörün veriminden %20-25 daha yüksek olduğunu ve tek geçişli havalı kolektörden ise %30-35 daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Ramanivd,2010).

Ho ve diğerleri yaptıkları çalışmada, çift geçişli bir havalı güneş kolektörü tasarlamışlardır. Tasarlanan havalı kolektör; çift geçişli ısı transfer alanına ve yutucu yüzeye eklenmiş anahtar kanatçıklara sahiptir. Düz plakalı bir havalı güneş kolektörü ile tasarladıkları çift geçişli yeni kolektörü kıyaslamışlardır. Kanatçıkların eklenmesi ile ısı transfer alanı artmıştır. Eklenen bölmelerden hava akışı sağlandığı için akış kanalı içinde türbülanslı akış oluşmuş ve oluklu yüzeylerin sayesinde konvektif transfer hızı artmıştır. Tüm bu etkilerin sonucunda ise ısı transfer oranı düz plakalı kolektöre göre etkili bir şekilde arttırılmıştır (Ho vd.,2011).

Fudholi ve diğerleri hazırlamış oldukları çalışmada, çift geçişli hava akışına sahip ve yüzeyinde kanatçıklar olan bir havalı güneş kolektörü için kararlı enerji dengesi denklemleri geliştirerek sayısal olarak bu denklemleri çözmüşlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlar ile öncesinde bulunan tahminsel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Kütleli debinin 0,03 kg/s ve 0,1 kg/s aralığında, ışıma şiddetinin 400 W/m<sup>2</sup> ile 800 W/m<sup>2</sup> aralığında değiştiği deneylerde hesaplanan, optimum enerji verimi %77, ekserji verimi ise %15 ile %28 değerleri arasında elde edilmiştir (Fudholi, Sopian., Othman, Ruslan, Bakhtyar,2013).

Fudholi ve diğerleri, yapmış oldukları çalışmada çift geçişli akışa sahip kanatçıklı ve kanatçıksız olmak üzere 2 farklı havalı güneş kolektörünün performansını inceleyerek maliyet-fayda analizlerini yapmışlardır. Geliştirmiş oldukları teorik model, hem deneysel sonuçları karşılaştırmada kolaylık sağlamış hem de kararlı bir durum analizi yapılmasını kolaylaştırmıştır. Kütle debisi 0,01-0,07 kg/s arasında değişen deneylerde kanatçıklı kolektör için Nusselt Sayısı 5,42-36,21 arasında hesaplanmıştır (Fudholi, Sopian, Ruslan, Othman,2013).

Villanueva ve Noh-pat hazırlamış oldukları çalışmada, havalı güneş kolektörü için 3 farklı prototipin sayısal analizlerini ve uygulamalarını incelemişlerdir. Aynı zamanda havalı güneş kolektörünün ısı akısının matematiksel modeli sunulmuştur. Yapılan matematiksel modeller ve uygulamalar sonucunda kolektörün içerisinde yer alan havanın sıcaklığı tahmin edilebileceği gözlemlenmiştir (Villanueva, Noh-Pat,2014) .

Yang ve arkadaşları hazırlamış oldukları çalışma ile tek geçişli bir hava kollektörünün alt tarafına kanatçıklar ekleyerek yeni bir tasarım yapmışlardır. Kollektör üzerinde yapılan deneylerde düşük hava akış hızında ( $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ) çalıştığında bile, emici yüzey üzerindeki ısıtımın  $600 \text{ W/m}^2$  olduğu bir ısıtma uygulamasında anlık verim %40'ın üzerine çıkmıştır (Yang vd.,2014).

Bahrehand ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, zorlanmış taşınımlı tek ve çift camlı havalı güneş kollektörlerinin ısı davranışlarını incelemek için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Analizler sonucunda, kanatçıklı ve ince metal levhalı sistemlerde 22.000 ve üzeri Reynolds değerlerine ulaşıldığında, ekserji veriminin negatif değerler aldığı saptanmıştır. Ancak enerji-ekserji verimi bakımından kıyas edildiğinde incelenen diğer sistemlere göre kanatçıklı ve ince metal levhalı sistemlerin daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Bahrehand vd.,2015).

Shams ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, güneş radyasyonunun şiddetini arttırmak amacıyla emici tabakada ters çevrilmiş delikli yapıya sahip ve parabolik yoğunlaştırıcı içeren yeni bir tasarım kullanarak farklı bir havalı güneş kollektörü tasarlamışlardır. Tasarlanan bu yeni emici tabaka ile sistemin ortalama veriminin %55 - %65 değerleri arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (Sams vd.,2016).

Kareem ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, yeni nesil çoklu geçişe sahip bir havalı güneş kollektörünü inceleyerek performansa yönelik deneyler yapmışlardır. Güneş destekli çalışan hava ısıtma sistemini teorik olarak modellemişler ve verimi incelemişlerdir. Modellenen kollektöre ait ısı verim %59,96 ve optik verim %72,26 olarak hesaplanmıştır (Kareem vd.,2016).

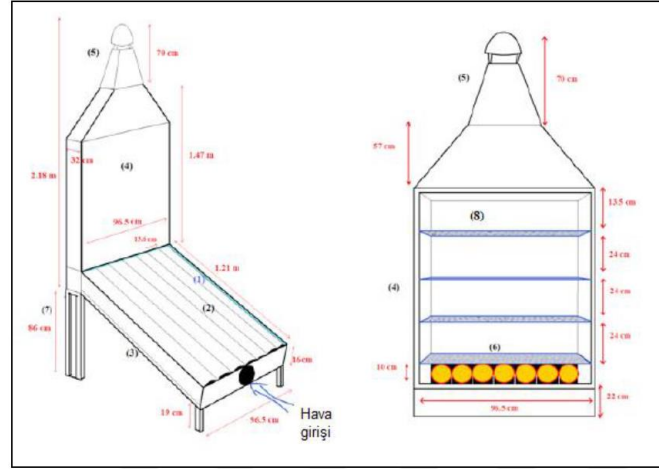
Blowmık ve Amin yapmış oldukları çalışmada yeni bir güneş kollektörü tasarlamışlardır. Düzlemsel güneş kollektörlerinde performans artışı için kollektöre reflektör ekleyerek yeni bir sistem ortaya koymuşlardır. Kollektöre eklenen reflektör sayesinde elde edilen ısıtım oranı arttırılmıştır.

Hazırlanan protatip, reflektör eklenmiş güneş enerjisi ile çalışan su ısıtma sisteminde test edilmiştir. Kollektör veriminde yaklaşık % 10'luk bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir (Blownik ve Amin,2017).

Zheng ve arkadaşları hazırlamış oldukları çalışmada, metal olukları olan plakaya sahip bir havalı güneş kollektörünün termal performansını incelemişlerdir. Havalı güneş kollektörünün termal performansını incelemek için matematiksel modeller geliştirip sonuçları deneysel olarak doğrulamışlardır. Kollektörün veriminin %47-66 arasında değiştiği, kollektörün sahip olduğu geniş ısı transfer alanı, yüksek ısı transfer katsayısı ve ekonomik performans gibi avantajlar ile soğuk bölgelerde yapılan kırsal binalarda kullanılmasının daha verimli sonuçlar sağlayacağı elde edilen veriler arasındadır (Zheng vd.,2017).

Pramanik ve diğerleri hazırlamış oldukları çalışmada kollektörün emici yüzeyini seçici bir tabaka ile kaplamışlar ve emici yüzeyin altına da uzunlamasına kanatçıklar eklemişlerdir. Ayrıca hava akışının gerçekleştiği kanalın çıkışında bir emme fanı kullanarak hava akış hızını arttırmayı da planlamışlardır. Deneyler sırasında anlık verim %69'a yükselirken, hava çıkış sıcaklığı ise 94°C'ye yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Teorik ve deneysel ölçümler arasında standartlar arasında kabul edilebilecek %1.23-9.75 bir fark saptanmıştır (Pramanik vd.,2017).

Hajar ve diğerleri hazırlamış oldukları çalışmada, güneş kurutucular için yeni bir havalı güneş kollektörü tasarlamışlardır. Tasarlanan kollektöre ait emici yüzeyde çift oluklu alüminyum plaka, kollektör boyunca bir silindir oluşturacak şekilde kullanılmıştır (Şekil 3.2). Havalı güneş kollektörü kullanılarak hazırlanan kurutucuda ilk kurutulan ürün armut olmuştur. Hajar ve diğerleri deneye başladıktan 24 saatin ardından 997,3 gram olan örnek, 135,13 gram olarak ölçülmüştür. Kurutma odasındaki ısı verim ise %11,11 olarak tespit etmişlerdir (Hajar vd.,2017).



**Şekil 3.2.** Tasarlanan kurutma sistemini ve kurutma odasının şematik gösterimi

**Kaynak:** (Hajar vd., 2017)

Şevik ve Abuşka çalışmalarında, bakır ve alüminyum malzemeden yapılmış V-oluklu çıkıntıları düz yüzey üzerine ekleyerek yeni bir havalı güneş kolektörü tasarlamışlardır. Düz plakalı kolektörün ve V-oluklu plakaya sahip olan havalı güneş kolektörünün performanslarını deneysel olarak incelemişlerdir. Düz yutucu yüzeye sahip olan havalı güneş kolektörünün ortalama enerji veriminin %43-60 ve ekserji veriminin %6-12 arasında değiştiği görülmüştür. V-oluklu havalı güneş kolektöründe ise enerji veriminde yaklaşık %12 - %18 arasında bir artış meydana gelmiştir (Şevik ve Abuşka,2020).

Gilani ve diğerleri, düşük performanslı doğal taşınımlı havalı güneş kolektörlerini iyileştirmek için bir çalışma yapmışlardır. Öncelikle verim arttırmak amacıyla yutucu plaka üzerine konik pim şeklindeki küçük boyutlu kanatçıklar eklenmiştir. Daha sonra bu kanatçıkların etkisini ölçmek için özel bir test düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. Üç farklı konik pim adımı (16 mm, 32 mm ve 48 mm), üç farklı yükseklikteki (2 mm, 3 mm ve 4 mm) konik pim kademeli olarak test edilmiştir. Sonuçlar, Nusselt sayısını en çok 16 mm pim aralığının arttırdığını göstermiştir. 16 mm pim soğurucu plakada, düz plakaya göre verim %26,5'a kadar artırılmıştır (Gilani vd.,2017).

Kareem ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, yeni bir havalı bir güneş kollektörü tasarlamışlardır ve tasarladıkları bu kollektörü pandanus meyvesini kurutma amacıyla kullanmışlardır.

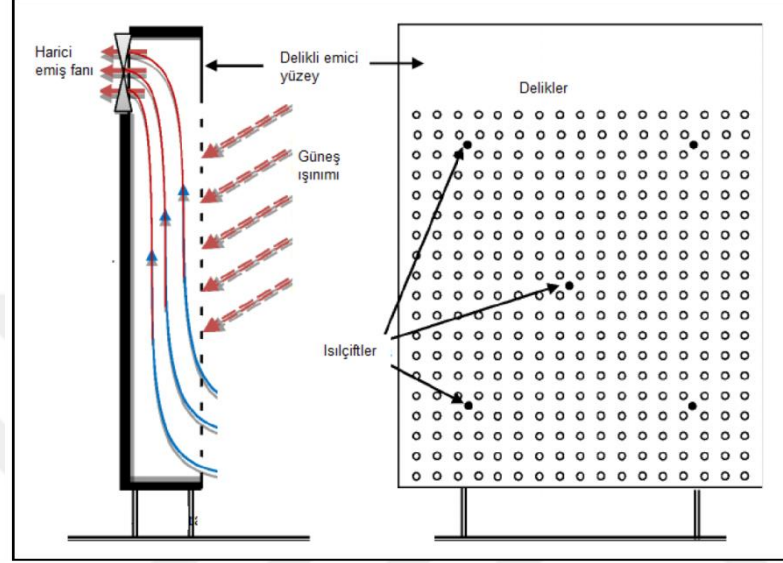
Kollektör ünitesi ve kurutma sisteminin kabinini birleştirerek kollektörlerin arka plaka kısmında oluşacak olan termal kayıpları önlemeye çalışmışlardır. Ölçümler ve deneyler sonucunda tasarlanan yeni sistemde anlık termal kollektör verim değerinin %58,73'e ulaştığı tespit edilmiştir (Kareem, Habib, Sopian, ve Ruslan,2017).

Kareem ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, çift geçişli akışa sahip ve zorlanmış taşınım ile çalışan bir havalı güneş kollektörünün performansını incelemişlerdir. İncelenen kollektör bir kurutma sistemine entegre edilmiş ve hibiskus bitkisi kurutulmuştur. Deneyler sonucunda, optik verim %70,53, kollektör verimliliği %64,08, kurutma verimi %36,22 ve nem alma verimi ise %66,95 olarak hesaplanmıştır (Kareem, Habib, Ruslan ve Saha,2017).

Hung ve diğerleri hazırlamış oldukları çalışmada, havalı güneş kollektörü ile güneş destekli havalandırma teknolojisini bir araya getirmişlerdir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile akış ve ısı transferinin özelliklerini doğrulayacak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aynı özelliklere sahip camdan, farklı en ve boy oranlarındaki akış kanalları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Hazırlanan havalı güneş kollektörü ile güneş destekli havalandırma teknolojisi kombinasyonları arasında en uygun tasarımın 50 mm -10 mm'lik en-boy oranına sahip olan akış kanalı olduğunu belirlemişlerdir (Hung vd.,2017).

Al-damook ve Khalil yapmış oldukları çalışmada yeni bir havalı güneş kollektörü tasarlamışlar ve tasarladıkları bu kollektörü Irak iklim koşulları altında deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir (Şekil 3.3). Tasarladıkları kollektör delikli bir emici plakaya sahip ve camsızdır. Maliyet ve ağırlığın en aza düşürülmesini planladıkları için 90° eğimli olan bina duvarına yatay olarak yerleştirilen kollektörün ısıl performansı ve ekonomik özellikleri diğer kollektörler ile kıyaslanmıştır. Deneyler sonucunda tasarlanan yeni kollektördeki

delikli emici plakanın sağladığı katkıyla ekonomik ve ısıt anlamda daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir (Al-damook ve Khalil,2017).



**Şekil 3.3.** Delikli emici plakaya sahip havalı güneş kollektörün şematik gösterimi

**Kaynak:** (Al-damook ve Khalil,2017)

El Khadraoui ve diğerleri hazırlamış oldukları çalışmada faz değiştiren malzemeleri kullanarak yeni bir tasarım ortaya koymuşlardır. Tasarladıkları zorlanmış taşınımlı ve güneş destekli kurutucuyu imal ederek deneysel olarak da incelemişlerdir. Deneyler hem faz değiştiren malzeme ile hem de faz değiştiren malzeme olmadan gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, gizli ısıyı depolayan faz değiştiren malzeme ünitesinin şarj ve deşarj özelliklerinin değerlendirilmesidir (El Khadraoui vd.,2017).

Gülçimen ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, fesleğen kurutma işlemi için yeni bir havalı güneş kollektörü tasarlamışlardır. Geliştirilen yeni kollektör ile kurutma işlemi için teorik ve deneysel analizler yapmışlardır. Farklı kütesel debilerde gerçekleştirilen deneylerde kurutulan ürünün kütlesi 0,250 kg'dan 0,029 kg'a düşürülmüş ve Page Modeli ile kurutulan fesleğenin en verimli kurutmayı gerçekleştirdiğini tespit etmişlerdir (Gülçimen vd.,2017).

Al-Harahshes ve diğerkleri hazırladıkları çalışmada faz değıştiren malzeme kullanılan bir havalı güneş kollektörüne entegre edilen su arıtma sisteminde deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Güneşten yararlanabileceğı saatlerde güneş enerjisini gizli ısı olarak depolayan faz değıştiren malzemeler akşam saatlerinden itibaren sisteme ısı sağlamaya başlar.

Dolaştırılan sıcak su debisi, soğutma suyu debisi ve havzadaki suyun tuzdan arındırılarak ortaya çıkan tatlı suyun miktarına etkisi de incelenmiştir. Havzada bulunan su miktarı arttıkça kollektörün veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda tatlı su erişiminin kısıtlı olduğu yerlerde bu sistemlerin daha verimli ve ekonomik olarak faydalı sonuçlar sağlayacağını saptamışlardır (Al-harahsheh vd.,2017).

Abuska yapmış olduğu çalışmada yeni bir yutucu plaka tasarlamıştır. Tasarladığı konik yüzeyle yutucu plakanın ısı performansı incelenmiş ve düz yutucu plakaya sahip, tek ön geçişli geleneksel bir havalı güneş kollektörleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalarının sonucunda konik soğurucu plakada düz olana göre ısı veriminde önemli bir artış elde edilmiştir. Yeni tasarlanmış olan kollektördeki konik yüzey, yutucu plaka üzerinde düzgün bir hava akışı, artan yüzey alanı ve nispeten daha az gölgeleme sağlamıştır ve kanaldaki ölü bölgeyi azaltmıştır. Her iki kollektörde de 0.04, 0.08 ve 0.10 kg/sn'lik olmak üzere üç kütleli akış hızı için deneyler gerçekleştirilmiştir. Ortalama ısı verim, konik ve düz soğurucu plakada sırasıyla 0,04 kg/s için %63-%57, 0,08 kg/s için %71-%61 ve 0,1 kg/s için %74 -%64 olarak elde edilmiştir (Abuska, 2018).

Ansari ve Bazargan hazırlamış oldukları çalışmada düzlemsel havalı güneş kollektörünün tabanına havanın akış yönüne dik olarak sıralanmış engel şeklindeki kanatçıklar eklemişlerdir. Kanatçık eklenen yeni düzlemsel havalı güneş kollektörünün performansı ve kanatçık etkisi incelenmiştir. Eklenen kanatçıkların havalı güneş kollektörün verimini %9 oranında artırdığı tespit edilmiştir (Ansari ve Bazargan,2018).

Kumar ve Chand yapmış oldukları çalışmada; kütleli debi, kanatçık büküm oranları ve güneş yoğunluğunun kollektörün performansı üzerindeki etkilerini

incelemişlerdir. Büküm oranı 2, 4, 6 ve 8 olan kanatçıklar ile hazırlanan soğurucu yüzeye sahip olan kollektörlerin ısı performansları MATLAB üzerinde hazırlanan model ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Büküm oranı 2 olan kanatçıklara sahip kollektörün ısı verimi %8,3 arttığı saptanırken, bükülmüş kanatçıklı emici plaka ile sadece kanatçık takılı olan durumdaki plakaya kıyasla termal verimde maksimum %22,56'lık bir artış elde edilmiştir (Kumar ve Chand,2018).

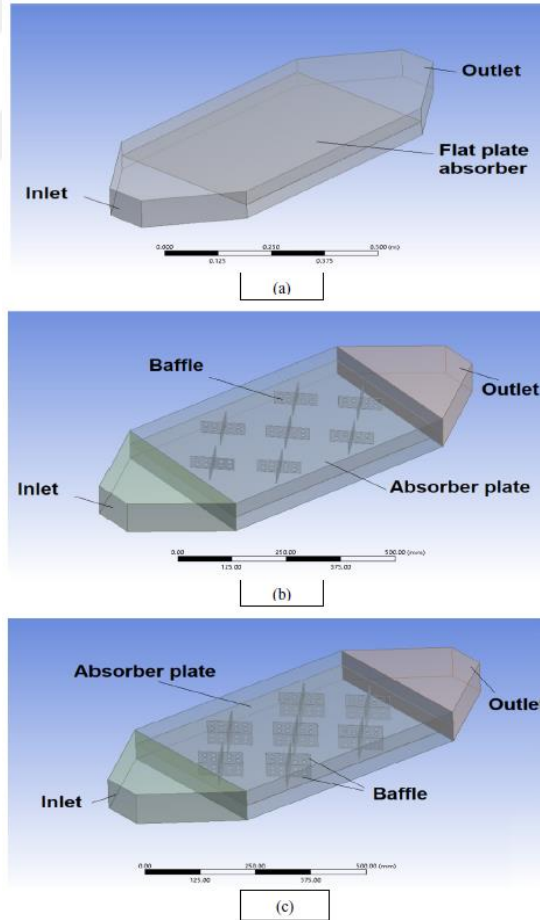
Daliran ve Ajabshirchi yaptıkları çalışmada düz plakalı havalı kollektörlerin verimleri düşük olduğu için verim artırma yöntemlerini araştırmışlardır. Kanatçıksız ve kanatçıklı olmak üzere iki farklı model için kollektörün ısı verimi, zorlanmış taşınım akışı ile teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Hava akışında türbülans oluşturmak için hava kanalı üzerine dikdörtgen kanatçıklar eklenmiştir. Kanatçıksız ve kanatçıklı kollektörler için deneysel ölçümlerde ısı verim sırasıyla %30 ve %51 olarak ölçülürken teorik çalışmalar için ise %33 ve %55 olarak hesaplanmıştır (Daliran ve Ajabshirchi,2018).

Ammar ve diğerleri yaptıkları çalışmada, optimize edilmiş bir düz levhaya sahip havalı güneş kollektörü ile kanatçık eklenerek tasarlanmış bir havalı güneş kollektörünü kıyaslamışlardır. 35 ile 142 arasında değişen sıra sayıları ile kanatçık eklenen havalı güneş kollektörünün termal performansının %63'ten %80'e arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda kollektörün termal performansı, hava kanalının duvarına eklenen kanatçıkların sayısının artışı ile daha da iyileşir hipotezi doğrulanmıştır (Ammar vd.,2020).

Akhbari ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada, U dönüşlü hava akışına sahip üçgen kanallı bir havalı güneş kollektörünün deney setini kurmuşlar ve geliştirilen model ile tasarladıkları kollektörün performansını incelemişlerdir. Kollektörü farklı çalışma koşulları altında test ederek analizler gerçekleştirmişlerdir. Sistemin maksimum ısı verimini, havanın 0,045 kg/s'lik kütleli debisinde elde etmişlerdir. Basınç düşüşü ve çıkış havası sıcaklığı dikkate alındığında ise en yüksek termohidrolik performans 60°'lik bir kanal açısında elde edilmiştir (Akhbari vd.,2020).

Khanlari ve diğerkleri yapmış oldukları çalışmada; güneş enerjisi destekli yeni bir kurutma sistemi tasarlamışlardır. Bu çalışmada 3 farklı çift geçişli kollektör sayısal olarak analiz edilmiştir (Şekil 3.4). Birinci kollektör kanatçık kullanılmadan, ikinci kollektör tek yüzeyde kanatçık kullanılarak, üçüncü kollektörde ise her iki yüzeye de kanatçık eklenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Eklenen kanatçıklar için delikli bir yapı tercih edilmiş ve bu şekilde basınç düşüşündeki artış engellenmiştir.

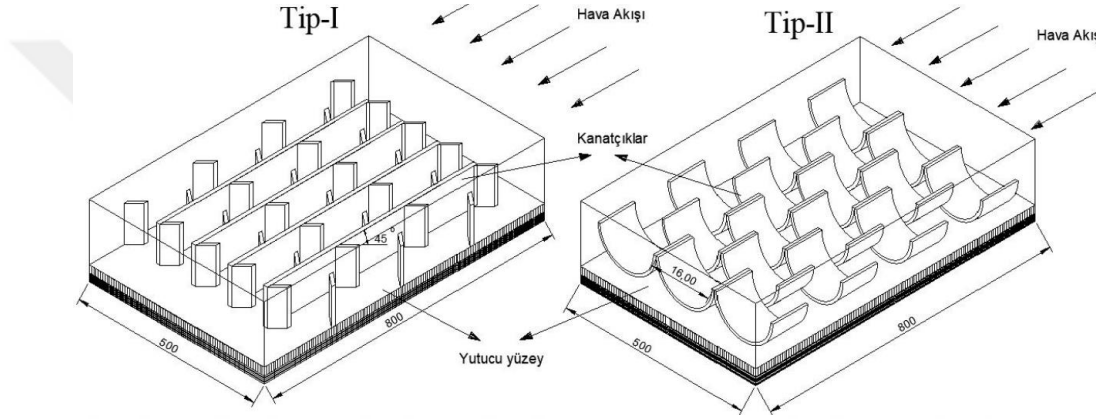
Sayısal analizlerin neticesinde her iki yüzeye de kanatçık eklenen kollektör en verimli sonuçların elde edilmesi sebebiyle imal edilerek kullanılmıştır. Ayrıca imal edilen kanatçıklı kollektör deneysel olarak incelenmiş ve sayısal sonuçlar doğrulanmıştır (Khanlari vd.,2020).



**Şekil 3.4.** Çalışmada yer alan üç farklı kollektörün modellenmiş gösterimi

**Kaynak:** (Khanlari vd.,2020).

Ata ve Acır yapmış oldukları çalışmada, havalı bir güneş kolektörünün yutucu yüzeyi üzerine farklı geometrilere sahip kanatçıklar eklemişlerdir (Şekil 3.5). Isı transferine etki eden çeşitli parametrelerin optimizasyonunu incelemek için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Reynolds sayısı, kolektör eğim açısı ve yutucu yüzey kanatçık tipi olmak üzere 3 farklı deney parametresinde kolektörde gerçekleşen ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Hazırlanılan deney düzeneğinde, değerlendirilen parametreler arasında deney sonucunu en çok etkileyen parametre %73,77 ile Re sayısı olarak belirlenmiştir (Ata ve Acır,2020).



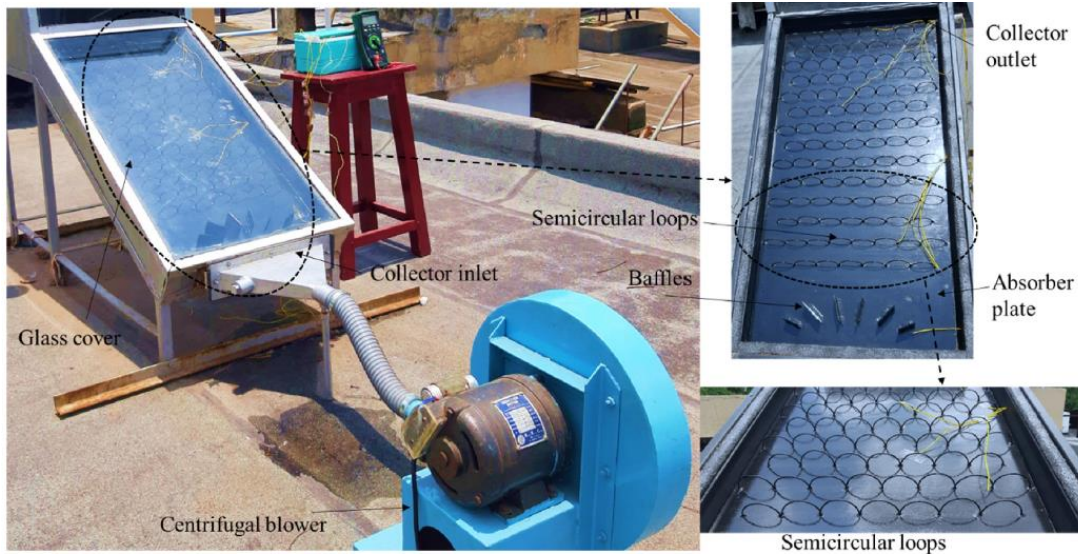
**Şekil 3.5.** Çalışmada yer alan ve iki farklı kanatçık modeli eklenen havalı güneş kolektörlerinin şematik gösterimleri

**Kaynak:** (Ata ve Acır,2020)

Jiang ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada düz plakalı havalı kolektörler yerine oluklu-boşluklu plakaya sahip havalı kolektörlerin kullanılmasının ısı toplama gücünü arttıracak ve daha fazla güneş ışınımı alacak hipotezini savunmuşlardır. Bu bağlamda, deney seti hazırlamışlar ve deneyler yapmışlardır. Düz plakalı kolektör ve oluklu-delikli plakaya sahip kolektörün performansları test edildiğinde elde edilen sonuçlara göre oluklu-delikli plakaya sahip kolektörün ısıyı toplama kapasitesi düz plakaya sahip kolektörlere göre neredeyse  $130 \text{ W/m}^2$  daha yüksektir. Isıtma döneminde oluklu-delikli havalı kolektörün ısı toplama kapasitesi ve güneşten faydalanma oranının düz plakalı hava kolektöründen sırasıyla %24 ve %11 daha yüksek olduğu da sonuçlar arasında yer almaktadır (Jiang vd.,2021).

Chand ve diğerleri hazırlamış oldukları çalışmada panjur kanatçıklı yeni bir kollektör tasarlamışlar ve ısıl performansını değerlendirmek için deneyler yapmışlardır. Panjurlu kanatçıklar, akan havayı yönlendirmek ve ısı transfer oranını artırmak için emici plakanın tabanına takılmıştır. Isıl verim ve sıcaklık artışı üzerindeki güneşlenme ve kanatçık aralığının etkilerini de bu deneysel çalışmada incelemişlerdir. Panjurlu kanatçıklı kollektörlerde, düzlemsel havalı kollektörlere göre ısıl verimin çok daha yüksek olduğu görülmüştür (Chand vd.,2022).

Poonam ve diğerleri yaptıkları çalışmada hava akışını arttırmak için kollektör içerisine kanatçık yerleştirmişlerdir. Kollektörün içerisinde yer alan yutucu yüzeye içi boş yarım halka şeklinde kanatçıklar eklenmiştir (Şekil 3.6). Tasarlanan kollektör için sıcaklık dağılımını, ısı transfer katsayılarını ve termal verimliliği deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler sonucunda içi boş halkaların yerleşimi, akış yönünde ve daireler arası bölgelerde birincil ve ikincil girdapların oluşmasına yol açarak, ısı transferindeki iyileşmeyi desteklediğini tespit etmişlerdir. Böylece sistemde daha iyi bir hava akışı gerçekleştiği ve termal performansın arttığı sonucuna varılmıştır (Poonam ve Tripathy,2022).



**Şekil 3.6.** İçi boş yarım halka şeklindeki kanatçıklar yerleştirilen kollektör

**Kaynak:** (Poonam ve Tripathy,2022).

## BÖLÜM IV

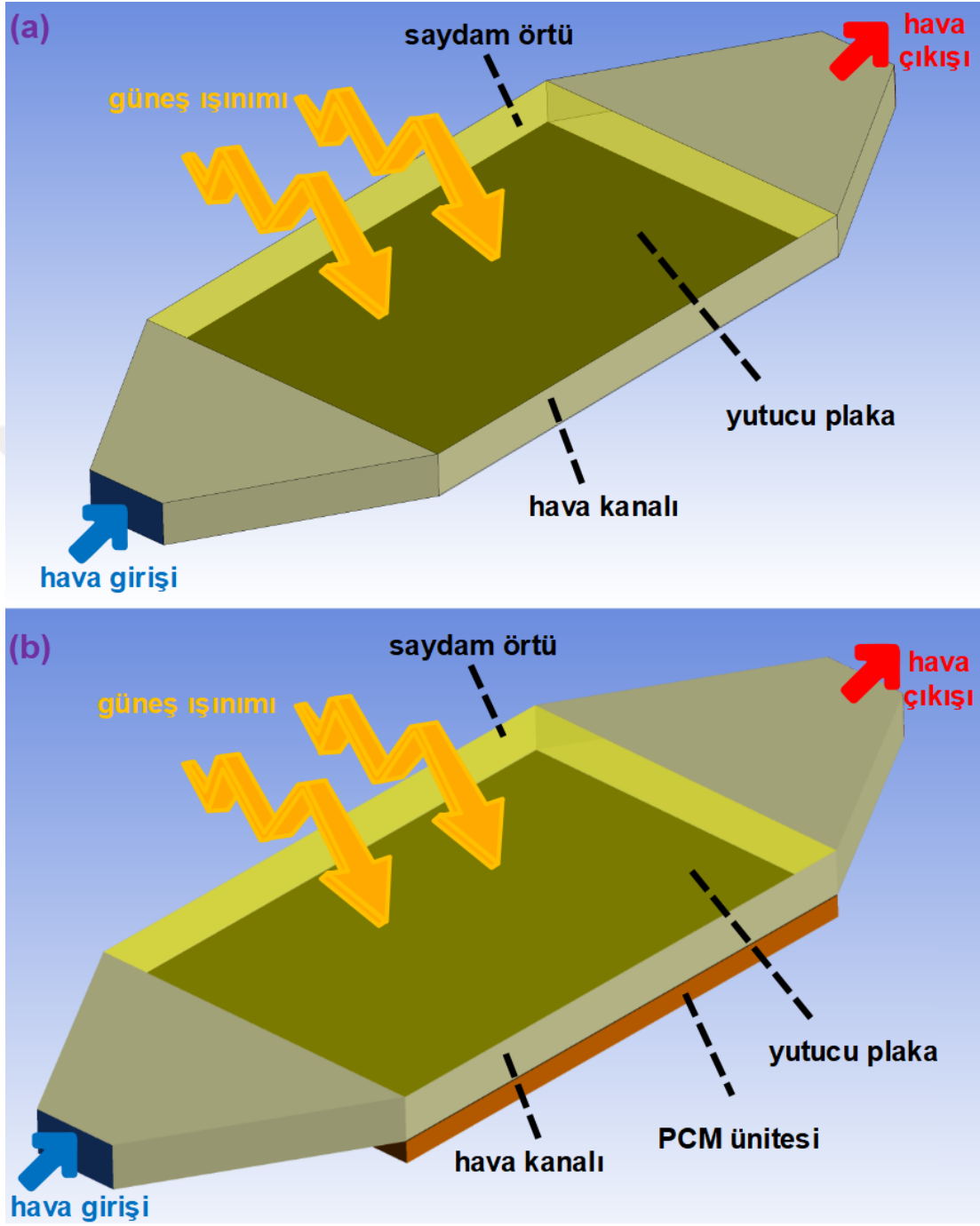
### MATERYAL VE METOT

#### 4.1. Isı ve Akış Çalışması

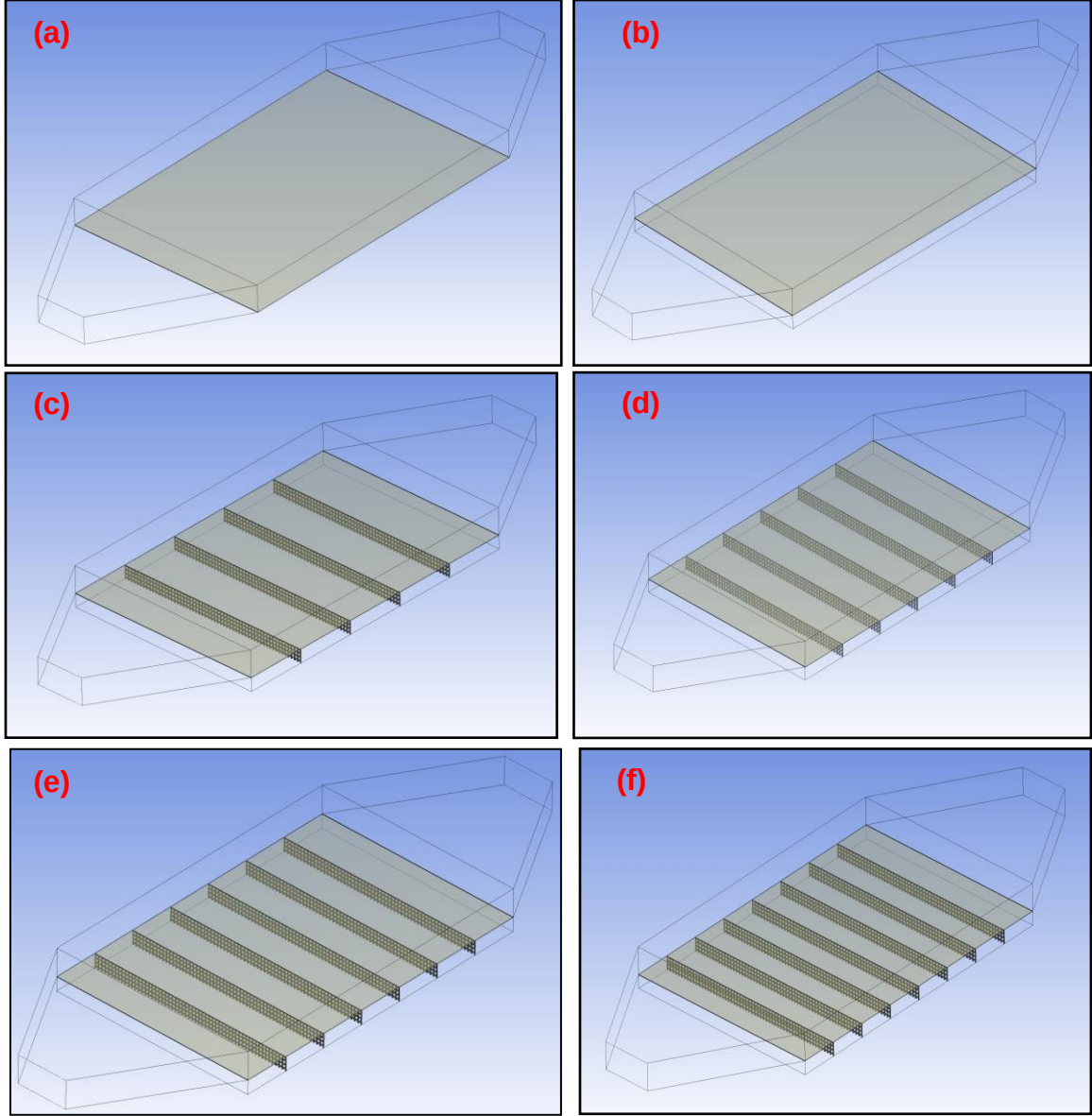
##### 4.1.1. İncelenen Geometriler

Havalı güneş kolektörlerindeki (SAC) hava akışını, güneş ışınlamıyla oluşturulan sıcaklık artışını simüle etmek ve ayrıca faz değiştiren malzeme (PCM) ile doldurulmuş ünitelerden oluşturulmuş sistemler içerisindeki havanın sıcaklık artış süresinin uzatılmasını incelemek için ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımından faydalanılması, çeşitli ısıl mekanizmaları ve enerji üretim yaklaşımlarının incelenmesi açısından faydalı bir yaklaşımdır. Bu bağlamda, ANSYS Fluent yazılımı, tasarlanan sistemlerin simülasyonunu gerçekleştirmek üzere seçilmiştir.

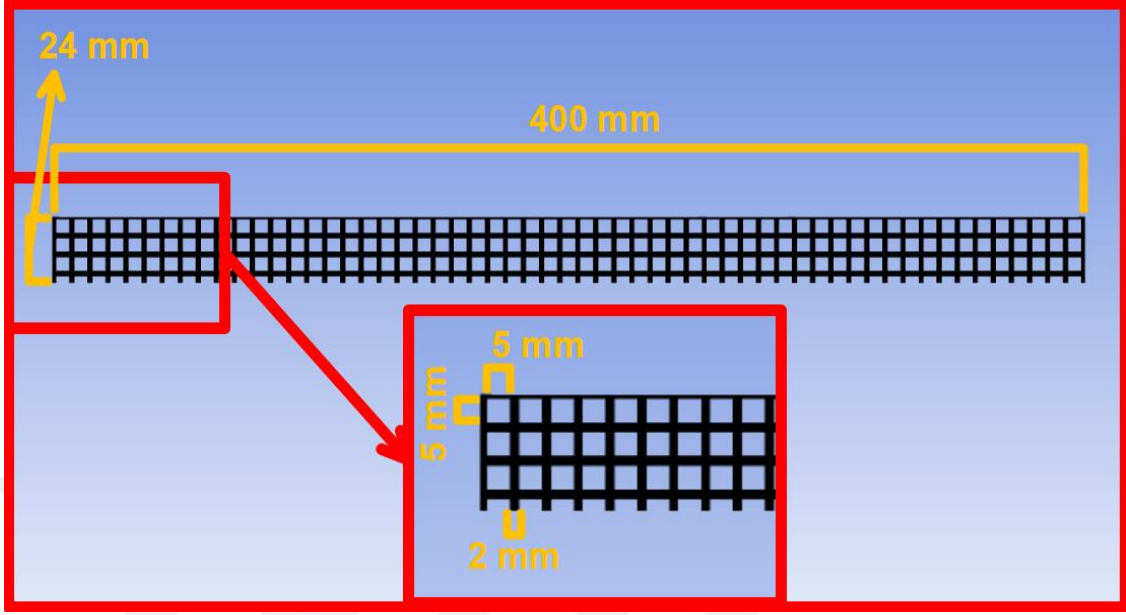
6 farklı kolektör konfigürasyonunun bilgisayar destekli tasarımları (CAD) ANSYS yazılımının “Design Modeler” alt kısmında oluşturulmuştur. Faz değiştiren malzeme dolu ünite içermeyen ve içeren kolektör geometrileri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bir başka ifade ile PCM ile doldurulmuş sistem ve konvansiyonel kolektör sistemi analiz edilmiştir. PCM ile doldurulmuş ünitenin içerisindeki ısı transferinin artırılması için ünite içerisine (üst plaka altına) gözenekli kanatçıklar yerleştirilmiştir. Bu bağlamda, PCM ile doldurulmuş konteynerlerin içerisine dört, beş, altı ve yedi adet gözenekli kanatçık içeren konfigürasyonlar geliştirilmiştir. Şekil 4.2’de analiz edilen altı farklı sisteme ait geometriler gösterilmiştir. Tasarlanan kolektörler hava bölgesi, alüminyum emici plaka, gözenekli plakalar (emici plakanın altına yerleştirilmiş), saydam cam yüzey ve enerji depolama amacıyla kullanılan PCM ile doldurulmuş üniteleri içermektedir. Tüm kolektörlerin emici yüzey boyutları 400x600x1 mm şeklindedir. Emici yüzey ve gözenekli kanatçıklar 1 mm kalınlığında alüminyum malzeme olacak şekilde tasarım yapılmış ve geometriler belirlenmiştir. PCM ünitesinde kullanılan gözenekli kanatçıkların boyutları Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** Analiz edilen kollektör geometrileri; a) PCM içermeyen sistem, b) PCM ünitesi içeren sistem



**Şekil 4.2.** Analiz edilen altı farklı sisteme ait emici plaka geometrileri; a) PCM içermeyen kollektör, b) PCM ünitesi içeren kanatçıksız kollektör, c) Dört adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kollektör, d) Beş adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kollektör, e) Altı adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kollektör, f) Yedi adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kollektör



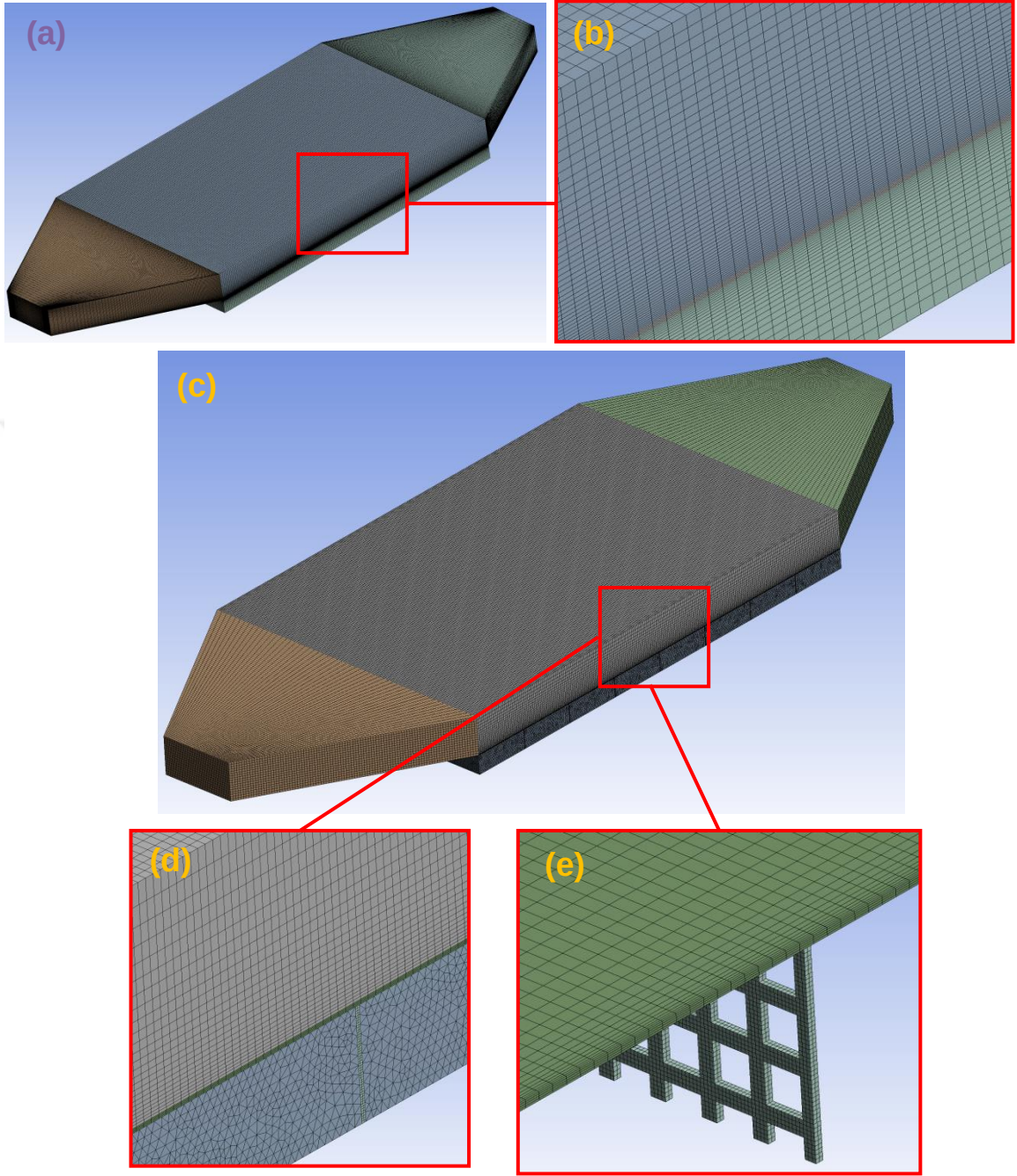
**Şekil 4.3.** PCM ünitesinde kullanılan gözenekli kanatçıkların boyutları

#### 4.1.2. Ağ Oluşturma Süreci

ANSYS Workbench yazılımı kapsamlı bir CFD simülasyonu için gerekli tüm modülleri içerdiğinden, sayısal simülasyonun ikinci aşaması olan iyi tanımlanmış mesh konfigürasyonları oluşturma işlemi Ansys Workbench'in Ağ (Mesh) alt programında gerçekleştirilmiştir. PCM'li ve kanatçıksız emici plakaya sahip kolektörün ağ yapısını, 6 gözenekli kanatçık içeren yutucu plakaya sahip PCM entegre edilmiş kolektörü ve sistemdeki yutucu yüzeyin ve bitişik hava alanının büyütülmüş görünümünü temsil etmektedir. Kolektör duvarları ve kenarları yakınındaki akış ve termal sınır katmanlarının büyümesi dikkate alınarak, hava bölümündeki ağ yapısının iyileştirilmesi ve yüzey boyutlandırması yapılmış, bu kısımdaki ağ konfigürasyonunun eleman boyutu düzenlenmiştir (Şekil 4.4). Güneş enerjisinin kazanılmasında ve elde edilen enerjinin kolektör içerisinde dolaşan havaya aktarılmasında hava kısmı ile yutucu plakaya ait ara yüzey çok önemli olduğundan, bu bölümün oluşturulan yapısı ağ elemanı boyutunun küçültülmesiyle yapılmıştır. Ayrıca, güvenilir ve hassas sonuçlar elde etmek amacıyla yutucu plaka ve gözenekli kanatçıklarda daha ince ağ örgüsü kullanılmıştır.

Ayrıca PCM alanı için eleman boyutu, duvarların yakınında daha ince elemanlarla 2 mm olarak seçilmiştir.

Problemi analiz etmek için oluşturulan ağların kalitesi, ağ oluşturma adımında dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Kollektörlere ait oluşturulan ağlarının, ağ kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir kriter olarak ortalama çarpıklık sayısı tercih edilmiştir. Çarpıklık sayısının değeri 0 (iyi kalite) ile 1 (düşük kalite) arasında değişmektedir. Tasarlanan altı hava ısıtmalı güneş kollektörü için oluşturulan ağlar hakkında ayrıntılı bilgiler Tablo 4.1’de verilmiştir. Oluşturulan ağlar için bir kalite ölçeği olarak çarpıklık parametresinin analiz edilmesi, tasarlanan altı kollektör için ağların kalitesini göstermektedir. Farklı bir ifade ile kabul edilebilir ağ konfigürasyonu için izin verilen en yüksek çarpıklık değerleri 0,98 olarak dikkate alındığında, oluşturulan ağ konfigürasyonlarının sayısal simülasyonlar için ihtiyaç duyulan denklemlerin çözümü için iyi kalitede bir altyapı sağlayabileceğini ifade etmek mümkündür. Sayısal analiz adımında sayısal simülasyonların gerçekleştirilebilmesi için 4,2 GHz işlemciye ve 48 GB RAM’e sahip bir bilgisayar kullanılmıştır.



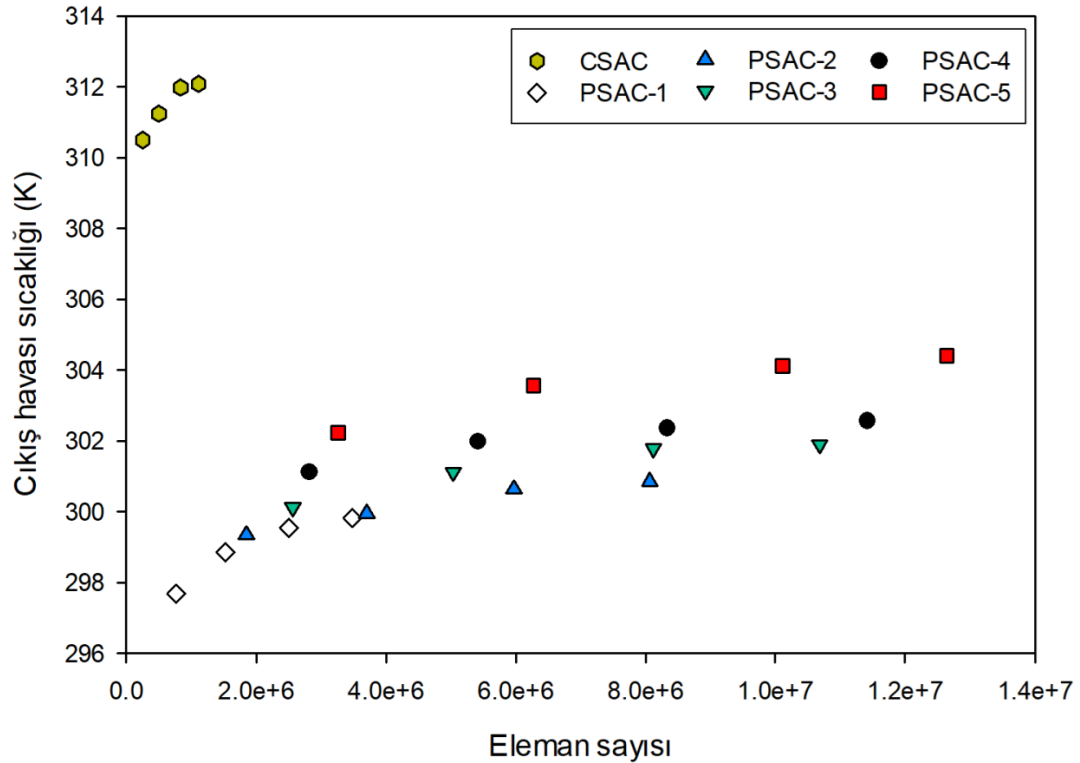
**Şekil 4.4.** Kollektörlerin ağ yapıları: a) PCM entegre edilmiş ve kanatçıksız kollektör, b) PCM ve kanatçıksız yutucu içeren sistemin orta kısmının büyütülmüş görünümü, c) 6 gözenekli kanatçık içeren PCM entegreli kollektör, d) Kanatçıklı yutucu plakanın orta kısmına ait büyütülmüş görüntü, e) Gözenekli kanatçıklara sahip kollektörün yutucu plakası

**Tablo 4.1.** Tasarlanan altı farklı hava ısıtmalı güneş kolektörüne ait oluşturulan ağ yapılarına ait detaylar

| Kollektör tipi                                                                            | Ağ eleman sayısı | Düğüm sayısı | Maksimum<br>çarpıklık değeri | Ortalama<br>çarpıklık değeri |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|
| PCM içermeyen<br>konvansiyonel kolektör<br>(CSAC)                                         | 1,113,800        | 1,156,349    | 0.80                         | 0.07                         |
| PCM entegre edilmiş<br>kanatçıksız yutucu yüzeye<br>sahip kolektör (PSAC-1)               | 3,482,928        | 3,573,180    | 0.80                         | 0.09                         |
| PCM entegre edilmiş 4<br>gözenekli kanatçıklı<br>yutucu yüzeye sahip<br>kolektör (PSAC-2) | 8,064,974        | 3,134,363    | 0.88                         | 0.17                         |
| PCM entegre edilmiş 5<br>gözenekli kanatçıklı<br>yutucu yüzeye sahip<br>kolektör (PSAC-3) | 10,684,214       | 4,215,416    | 0.88                         | 0.18                         |
| PCM entegre edilmiş 6<br>gözenekli kanatçıklı<br>yutucu yüzeye sahip<br>kolektör (PSAC-4) | 11,417,095       | 4,549,545    | 0.88                         | 0.20                         |
| PCM entegre edilmiş 7<br>gözenekli kanatçıklı<br>yutucu yüzeye sahip<br>kolektör (PSAC-5) | 12,639,593       | 4,373,958    | 0.88                         | 0.24                         |

Altı hava ısıtmalı güneş kolektörü için oluşturulan ağların ağ bağımsızlığı analizleri, PCM içeren sistemler için analiz edilen alanlardaki 4 farklı hücre boyutu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Her sistem için çözüm, önceki incelenen çözüm ile karşılaştırıldığında daha ince hücre boyutuna ilişkin analizleri takip etmektedir. Aynı sınır koşullarında her bir kolektör için 4 ağın tamamında ısı ve akış analizleri tekrarlanmış ve çıkış havasının ortalama sıcaklığı elde edilmiştir.

Kollektörlerin çıkış hava sıcaklığı dikkate alınarak analiz edilen altı kolektörün ağ bağımsızlığı çalışması Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Kollektörlere ait çıkış havası sıcaklığı ihmal edilebilir seviyeye geldiğinde, farklı eleman sayılarına sahip ağ yapıları test edilmiş ve uygun ağ yapısı her bir kolektör sistemi için belirlenmiştir. Tasarlanan altı kolektör için kullanılan ağ konfigürasyonları ve bunlara karşılık gelen eleman sayıları hakkındaki detaylar Tablo 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Analiz edilen altı farklı kolektör sistemi için ağdan bağımsızlık çalışması

#### 4.1.3. Tanımlanan Sınır Koşulları

Kollektörlerin giriş hava debisi ve sıcaklıkları, kollektörlerin yan duvarlarının (yüzeylerinin) ortama ısı kaybı ve ışıınım süresine bağımlılık değerlerinin, modelleme kısmında dikkate alınan sınır koşulları olduğu söylenmelidir.

PCM içermeyen konvansiyonel hava ısıtılmalı güneş kollektörü (CSAC), kanatçık içermeyen PCM entegreli kollektör (PSAC-1), dört gözenekli kanatçık içeren PCM entegreli kollektör (PSAC-2), beş gözenekli kanatçık içeren PCM entegreli kollektör (PSAC-3), altı gözenekli kanatçık içeren PCM entegreli kollektör (PSAC-4) ve yedi gözenekli kanatçık içeren PCM entegreli kollektörü (PSAC-5) kapsayan altı farklı hava ısıtılmalı güneş kollektörünün sayısal analizleri, süreksiz ısı transferi analizinin zaman alıcı bir süreç olması ve daha fazla işlem gücü gerektirmesi nedeniyle 0,011 kg/s'lik sabit kütleli debide gerçekleştirilmiştir.

Analiz edilen kollektörlerin saydam örtü duvarında güneş normal vektörü, güneş ışıınının yönünü belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Güneş ışıınının anlık değerleri, daha önce yapılan bir çalışmada elde edilen deneysel veriler dikkate alınarak yarım saatlik adımlarla tanımlanmıştır (Tuncer vd., 2023). Ayrıca, anlık çevre sıcaklığı değerleri de verilen referans çalışmada kaydedilmiş olan deneysel veriler kullanılarak tanımlanmıştır. İncelenen kollektörlerin yan yüzeylerinin konvektif ısı transfer katsayısı, seçilen referans çalışmaya göre seçilmiştir (Tuncer vd., 2023). Bunun yanında, kollektörlerin alt yüzeyleri ideal bir şekilde ısı yalıtımlı olup, kolektörün ilgili yüzeyi adyabatik duvar olarak kabul edilmiştir. Sistemin üst kısmında yer alan şeffaf cam örtü ise kolektörlerde kullanılan mevcut örtülere göre geçirgenliği 0,92 olan bir duvar olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, sayısal olarak incelenen kollektörlerin emici plakalarına ait yutuculuk değeri ise 0,95 olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, bir tek geçişli güneş kollektöründe ısı depolamak amacıyla PCM ünitesi eklenmiştir. Bu bağlamda, PCM ünitesinde, ısı depolama malzemesi olarak parafin kullanılmıştır. Parafin, organik tip PCM kategorisine girmektedir (Khadiran vd. 2016). PCM, sabit gizli füzyon ısısı ve faz ayrımının olmaması gibi avantajlara sahip olması nedeniyle çeşitli ısı depolama uygulamalarında iyi bir seçenek olarak değerlendirilebilir (Wei vd., 2018; Yang vd., 2020).

Parafinin bir diğer önemli özelliği ise, düşük erime sıcaklığına sahip olması nedeniyle, havalı güneş kolektörleri gibi düşük sıcaklıklarda çalışan sistemlerde kullanılabilir olmasıdır. Tablo 4.2, kullanılan parafinin teknik özelliklerini göstermektedir.

**Tablo 4.2.** Kullanılan PCM'in özellikleri

| Özellikler              | Değer                                                          |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Üretici/Model           | RUBITHERM/RT42                                                 |
| Erime aralığı           | 38-43 °C                                                       |
| Isı depolama kapasitesi | 165 kJ.kg <sup>-1</sup>                                        |
| Yoğunluk                | 0.88 kg.l <sup>-1</sup> (katı), 0.76 kg.l <sup>-1</sup> (sıvı) |
| Isıl kapasite           | 2 kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>                         |
| Isı iletim katsayısı    | 0.2 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> (her iki faz için)      |

#### 4.1.4. Analizler

Daha önce de belirtildiği gibi Ansys Workbench programı, kapsamlı bir CFD simülasyonu için gerekli tüm alt programlara sahiptir. Dolayısıyla sayısal model ve çözüm için gerekli korunum denklemlerini oluşturan sayısal simülasyonların üçüncü aşaması, ANSYS'e ait Fluent alt programında gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasındaki sayısal analizler, PCM dolu üniteler içeren kolektörlerde ısı transfer mekanizmalarına ilişkin zamana bağlı ve basınç tabanlı bir akıştır. Bu tez çalışmasında, hava ısıtılmalı güneş kolektörleri ile ilgili yapılan önceki çalışmalar dikkate alınarak, kolektörler içerisindeki hava akışını modellemek amacıyla  $k - \epsilon$  türbülans modeli seçilmiştir (Afshari vd., 2023b; Ceviz vd., 2023). Simülasyonlarda kolektörlerin içerisinde dolaşan hava için sabit termodinamik özelliklere sahip standart hava kullanılmıştır. Ek olarak, güneş ışınımı normal vektörü analiz edilen kolektörlerin açısal konumuna göre oluşturulmuştur.

Buna göre, daha önce yapılan bir çalışma dikkate alınarak güneş ışınlarının büyüklüğü deneysel olarak elde edilen değerlere göre zamana bağlı olarak uygulanmıştır (Tuncer vd,2023). Belirtilen seçenekler Fluent programındaki yüzeyden yüzeye alt modeli kullanılarak ayarlanmıştır. Sayısal simülasyonlarda, süreklilik ve xyz momentum korunum denklemleri yakınsama kriteri için  $k$  ve  $\varepsilon$  katsayıları için  $1e-3$  olarak seçilmiştir. Enerji korunumu denklemi için yakınsama kriteri ise  $1e-6$  olarak seçilmiştir. Kollektörlerden geçen hava kısmının her noktasındaki x, y, z yönlerindeki hız değerleri (u, v, w) ve basınç değeri (P), momentum ve süreklilik denklemlerinin çözülmesiyle elde edilmiştir.

Süreklilik denklemi ifadesi aşağıdaki şekilde elde edilebilir (Ansys,2017);

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

Burada,  $S_m$  kaynak terimi göstermekte olup, sistemdeki dağılmış ikinci mevcut fazdan sürekli mevcut faza eklenen kütle olarak tanımlanabilir.

Süreklilik denkleminin yanı sıra hakim momentum denkleminin çözümü de aynı anda gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda momentum denklemi şu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

Verilen momentum dengesi formülünde,  $p$  statik basıncı,  $\bar{\tau}$  gerilme (stres) tensörünü,  $\rho \vec{g}$  cisim yerçekimi kuvvetini ve  $\vec{F}$  dış cisim kuvvetlerini ifade etmektedir.  $k - \varepsilon$  türbülans modelinin standart formu, farklı pek çok mühendislik problemi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Aytaç vd., 2023; Afshari vd.2023a; Gülmüş vd.,2023).

Türbülans enerjisi  $k$  için transport denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Ansys, 2017):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_i k)}{\partial x_i} = -\rho \bar{u}_i \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] \quad (3)$$

Ek olarak,  $k - \varepsilon$  türbülans modelindeki dağılma oranı ( $\varepsilon$ ) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_i \varepsilon)}{\partial x_i} = C_{1\varepsilon} P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (4)$$

Türbülans uzunluk ölçeği ( $L_t$ ) olarak kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{L_t} \quad (5)$$

Bunun yanında, türbülans (girdap) viskozitesi ( $\mu_t$ ) Eşitlik (6) yardımıyla ifade edilebilir:

$$\mu_t = \rho C_\mu L_t \sqrt{k} = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

Sayısal simülasyonlarda, hava bölümündeki sıcaklık ( $T$ ) dağılımını elde edebilmek için gerekli enerji denge denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\rho c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \vec{\nabla} \cdot k \vec{\nabla} T + \varphi \quad (7)$$

Enerji dengesi eşitliğinde,  $\varphi$  enerji kaynağı/kuyusunu,  $c_p$  ise tanımlanan malzemelerin özgül ısı kapasitesi değerlerini ifade etmektedir. Analizlerde, emici plaka ve saydam örtü yüzeyi güneş ışınımının yutucu yüzeyleri olarak kullanılmıştır. Analiz edilen bölgenin radyasyon modeli ve yüzey sıcaklığı ifadeleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla ifade edilebilir (Çengel ve Ghajar, 2020)

$$\dot{Q}_i = A_i \sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j) \quad (8)$$

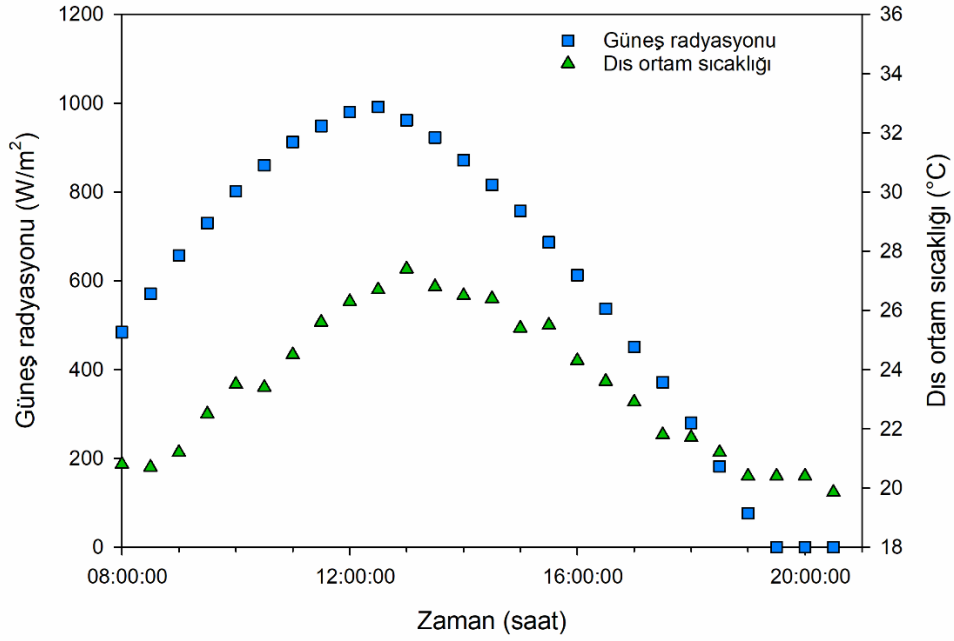
$$\sigma T_i^4 = J_i + \frac{1 - \epsilon_i}{\epsilon_i} \sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j) \quad (9)$$

$i^{\text{th}}$  yüzeyden çıkan ve  $j^{\text{th}}$  yüzeyine çarpan ışıyım enerjisi oranı görüş faktörü (katsayısı) ( $F_{i \rightarrow j}$ ) ile ifade edilmektedir. Işınsallık ( $J$ ) işe toplam radyasyon enerjisini göstermektedir. Belirtilen radyasyon enerjisi, birim zamanda birim alan başına bir yüzeyden çıkış yapmaktadır. Ayrıca etki alanında bulunan toplam yüz sayısı  $N$  ile temsil edilmiştir.

Mevcut araştırmada, analiz edilen kolektörlerin saydam örtülerinden gelen toplam radyasyon enerjisi tüm deneysel verilerin bir gün boyunca kaydedilmesi ve ışıyım şiddetinin zamana bağlı olarak değişmesi nedeni ile süresizdir. Farklı bir ifade ile altı farklı sistemin sayısal analizleri sırasında zamana bağlı sınır koşullarından yararlanılmıştır.

Güneş ışınlamı ve çevre sıcaklığı gibi dış ortam koşullarına duyarlı bir model oluşturmak amacıyla, iyi tanımlanmış bir güneş ışınlam yoğunluğu fonksiyonu ve güneşlenme saatlerine bağlı olarak kollektörlere giriş havası sıcaklığı tanımlanmıştır.

Şekil 4.6 ortam hava sıcaklığının ve güneş ışınlamının zamana göre değişimini göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu deneysel değerler daha önce yapılmış bir çalışmadan elde edilmiştir (Tuncer vd., 2023).



**Şekil 4.6.** Çevre havası sıcaklığı ve güneş ışınlamının zamana bağlı değişimi

Katılaşma/erime denklemlerinin çıkarılması amacıyla sıvı-katı cephelinin takibi tam yapılmadığından, bu amaçla entalpi gözeneklilik formülasyonundan yararlanılmıştır. Belirtilen formülasyonu uygulamak için katı-sıvı peltens alanı, gözeneklilik değeri sıvı fraksiyonla aynı olan gözenekli bir alan olarak ele alınmıştır.

Bu yaklaşımda, erimiş faz ayırma yüzeyi açıkça izlenmemektedir. Bunun yerine sıvı fraksiyonun miktarı tanımlanmaktadır. Bu yeni miktar, alandaki her hücrenin sıvı formdaki fraksiyonunu göstermektedir. Her yinelemede sıvı fraksiyonu entalpi denkleminde göre hesaplanmaktadır. Bu bakımdan peltens bölgede sıvı fraksiyonu 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu bölge, katılaşma meydana geldikçe gözeneklilik değeri 1 ile 0 arasında değişen "sözde" gözenekli bir malzeme gibi davranmaktadır.

Hücre yalnızca katı bir faz içerdiğinde, gözeneklilik değeri sıfır değerini almakta ve sonuç olarak akış hızı sıfıra düşmektedir.

Gizli ısıнын ( $\Delta H$ ) toplam miktarı ve duyulur entalpi ( $h$ ), malzemenin entalpi fonksiyonu şeklinde Eşitlik (10) ile ifade edilebilir:

$$H = h + \Delta H \quad (10)$$

Eşitlik (10)'da duyulur entalpi değeri referans entalpi ( $h_{ref}$ ), referans sıcaklık ( $T_{ref}$ ) ve sabit basınçtaki malzemenin özgül ısıısına ( $c_p$ ) göre ifade edilmiştir.

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T c_p dT \quad (11)$$

Sıvı fraksiyonu ( $\beta$ ), katılma sıcaklığı ( $T_{katılma}$ ) ve erime sıcaklığı ( $T_{sıvılaşma}$ ) dikkate alınarak aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\beta = \begin{cases} 0 & \text{if } T < T_{katılma} \\ 1 & \text{if } T > T_{sıvılaşma} \\ \frac{T - T_{katılma}}{T_{sıvılaşma} - T_{katılma}} & \text{if } T_{katılma} < T < T_{sıvılaşma} \end{cases} \quad (12)$$

Gizli ısı ( $\Delta H$ ), sıvı fraksiyonunun ( $\beta$ ) ve malzemenin gizli ısıısının ( $L$ ) değeri alınarak aşağıdaki tanımlanabilir:

$$\Delta H = \beta \times L \quad (13)$$

Katı ve sıvı fazlar için gizli ısı değeri sırasıyla 0 ile  $L$  arasında değişmektedir. Ek olarak, katılma veya erime problemi için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \vec{\nabla} \cdot \rho \vec{V} H = \vec{\nabla} \cdot k \vec{\nabla} T + \varphi \quad (14)$$

Katılma veya erime denkleminin yanı sıra enerji dengesi denklemini de örtülü bir şekilde çözerek sıcaklık için bir sonuç vermek mümkündür (Ansys, 2017).

#### 4.2. Hesaplamalarda Kullanılan Denklemler

Hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinde, hava tarafından kazanılan faydalı ısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir (Selimefendigil vd., 2022b):

$$\dot{E}_u = \dot{m}_a \cdot c_p \cdot (T_o - T_i) \quad (15)$$

Sistem içerisinde dolaşan iş akışkanının (hava) özgül ısı kapasitesi aşağıdaki denklem ile bulunabilir (Zare et al., 2006):

$$c_p = 1009.26 - (0.0040403 \cdot T) + (0.00061759 \cdot T^2) - (0.0000004097 \cdot T^3) \quad (16)$$

Kollektörün ısı (enerji) verimi Eşitlik (17) ile hesaplanabilmektedir:

$$\eta_t = \frac{\dot{m}_a \cdot c_p \cdot (T_o - T_i)}{I \cdot A_{SAC}} \quad (17)$$

Sistem içerisindeki ekserji dengesi aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\sum \dot{E}_{X_i} - \sum \dot{E}_{X_o} = \sum \dot{E}_{X_d} \quad (18)$$

Ekserji girişi Eşitlik (19) yardımıyla hesaplanabilir (Tuncer et al., 2023):

$$\sum \dot{E}_{X_i} = I \cdot A_{SAC} \left[ 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{ab}}{T_s} + \frac{1}{3} \left( \frac{T_{ab}}{T_s} \right)^4 \right] + \dot{m} \cdot c_p \cdot \left[ (T_i - T_{ab}) \cdot T_{ab} \cdot \ln \left( \frac{T_i}{T_{ab}} \right) \right] \quad (19)$$

SAC için çıkış ekserjisi, çıkış havasının ekserjisi olarak alınabilir ve bu değişken aşağıdaki ifade yardımıyla bulunabilir:

$$\sum \dot{E}_{X_o} = \dot{m}_a \cdot c_p \cdot \left[ (T_o - T_{ab}) - T_{ab} \cdot \ln \left( \frac{T_o}{T_{ab}} \right) \right] \quad (20)$$

Sistemin ekserji verimi aşağıdaki gibi yazılabilir (Das, 2021):

$$\eta_e = \frac{\sum \dot{E}_{X_o}}{\sum \dot{E}_{X_i}} \quad (21)$$

Sürdürülebilirlik endeksi parametresi, ekserji temelli bir performans göstergesi olup aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir (Selimefendigil vd., 2022b):

$$SI = \frac{1}{1 - \eta_e} \quad (22)$$

## BÖLÜM V

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan çalışmanın sayısal olarak elde edilen sonuçları detaylı bir şekilde örneklendirilmiş ve açıklanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı PCM dolu ünitenin SAC içerisinde kullanılmasının sistemin termal performansına ve kullanım süresine etkisini belirlemektir. Bu çalışmanın bir diğer amacı ise, PCM ile doldurulmuş kabın içine gözenekli kanatçıkların eklenmesinin, SAC'nin termal performansı ve PCM'nin erime süreci üzerindeki etkisini belirlemektir. SAC'a eklenmiş PCM ünitesi içindeki parafinin erimesi ve katılaşması, CFD yaklaşımı kullanılarak analiz edilebilecek önemli bir olgudur. SAC'ın ana hava kanalı tarafındaki akışkan akışı, şeffaf cam ve soğurucu yüzey aracılığıyla güneş ışınlarının yutulması, metal parça ve onun üzerindeki akan hava ile arayüzünde iletim ve taşınım ısı transferi ayrıca PCM-içinde erime-katılaşma işlemlerinin tamamı bu çalışmada simüle edilmiştir. Daha sonra analiz edilen altı farklı senaryonun tamamı için elde edilen sonuçlar incelenmiştir ve karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.1, yedi adet gözenekli kanatçık içeren PCM üniteli kollektörün soğurucu yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımının zaman içinde değişimini göstermektedir. Günün farklı saatlerindeki sıcaklık değişimlerini karşılaştırmak amacıyla sunulan tüm sıcaklık dağılımları için aynı sıcaklık aralığı uygulanmıştır. Ayrıca, Şekil 5.3'de PCM'siz (CSAC) güneş kollektörünün soğurucu yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımının zamana göre değişimi verilmiştir. Ortam koşulları grafiklerinde de görüldüğü gibi güneş ışıını ve ortam havası sıcaklığı öğle saatlerinde en yüksek değerlere sahip olduğundan sıcaklık dağılımları en yüksek değerlerini saat 13:00 ile 15:00 zaman aralığında almıştır. Ayrıca öğleden sonra hava giriş sıcaklığının artması, soğurucu yüzey sıcaklığının artmasında olumlu etki yapmıştır. Bununla birlikte, PCM ile doldurulmuş SAC ile PCM'siz SAC'ın sıcaklık dağılımları arasında büyük bir fark gözlemlenmektedir. Başka bir ifadeyle, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de, PCM ile doldurulmuş SAC ile PCM'siz SAC'nin sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması sonucunda, CSAC'daki yutucu plakanın sıcaklığının daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu durumun nedeni, emici plakanın altında PCM kullanılması olarak açıklanabilir.

PCM kullanılan sistemde, plaka tarafından emilen enerji PCM ünitesine aktarılır ve PCM malzemesinin eritilmesi için kullanılır. Ancak CSAC'daki emilen güneş enerjisi, yalnızca plakanın sıcaklığının artırılması ve kanalda akan havanın ısıtılması için kullanılır. Bu nedenle, CSAC'ın yutucu plakası, PCM ile doldurulmuş kollektöre kıyasla daha yüksek sıcaklığa ulaşmıştır. Kollektörlerdeki hava kanalı tasarımına göre, kollektörün hava kanalı içerisinde herhangi bir engel bulunmadığından hava, yutucu plakanın orta kısmından aktığı için daha düşük sıcaklık değerleri elde edilmektedir.

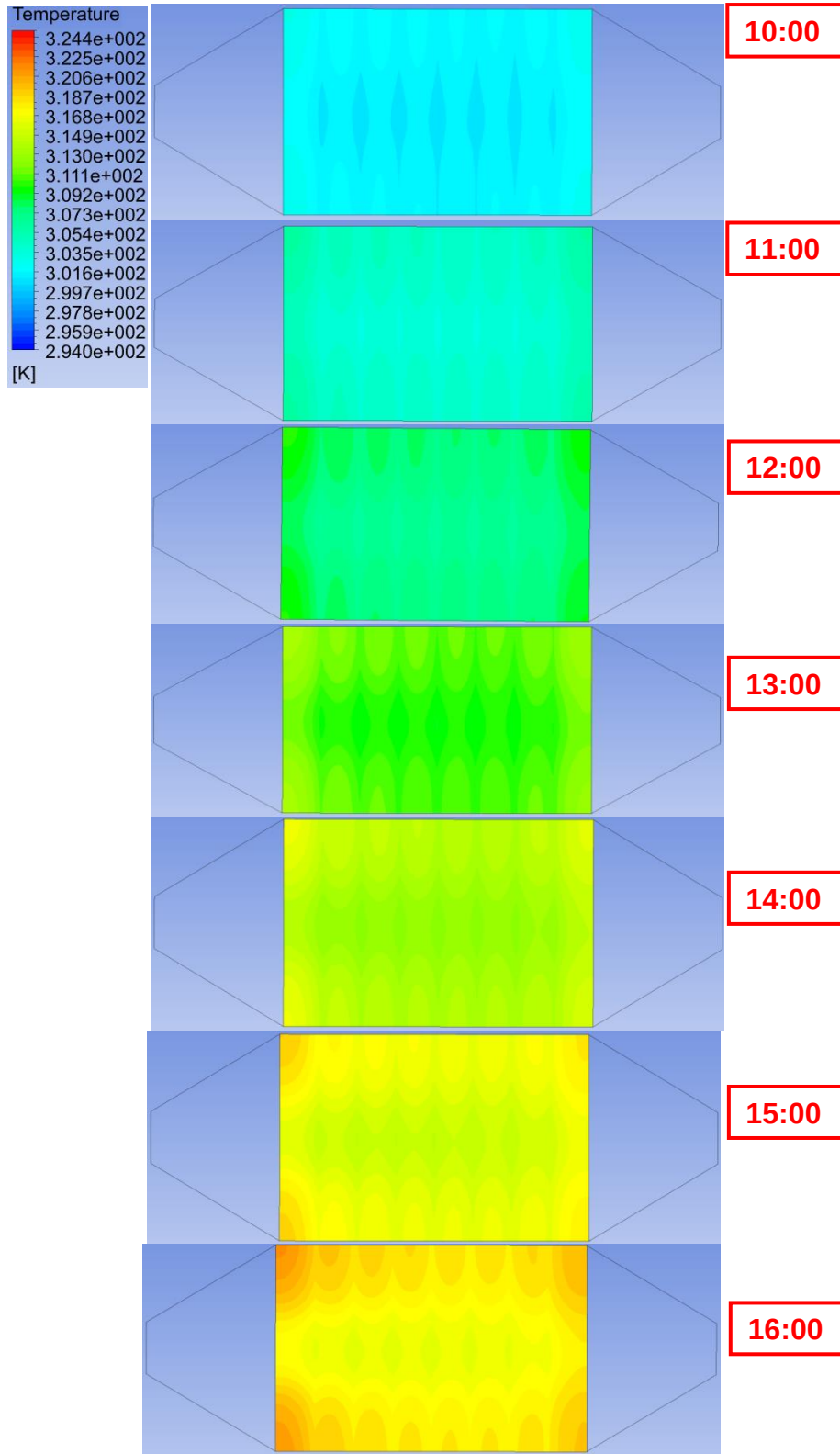
Şekil 5.3, PCM ile doldurulmuş 7 gözenekli kanatçıklı güneş kolektöründe akan havanın sıcaklık dağılımının yandan görünüşünün zaman içinde değişimini göstermektedir. Daha iyi anlaşılması için sıcaklık dağılımının konumu Şekil 5.3'de verilmiştir. Bu şekil, PSAC-5'in hava kanalı içindeki havanın ısıtılması işleminin zamana bağlı değişimini göstermektedir. Öğle saatlerinde yüksek güneş ışınlamı ve yüksek giriş sıcaklığından dolayı hava kanalı içindeki sıcaklık artışı da artmıştır. Şekil 5.3'de, hava kanalının ortasındaki bir düzlem üzerinde sıcaklık değişimi verilmiştir. Hava kanalının kanatçıksız yapısından dolayı en düşük hava sıcaklığı bu orta kısımda oluşmuştur. Bu bağlamda, hava kanalı ve tüm kollektör kasası içindeki toplam ısı transferinin izlenmesi için hacimsel sıcaklık dağılımının kullanılması genel bir perspektif sağlamak açısından yararlı olacaktır.

Öğle saatlerinde SAC yapısının sıcaklığının yükselmesi ve sistemde kullanılan PCM'nin erime noktası sıcaklığına göre yüksek sıcaklık avantajı, PCM malzemesinin eritilmesinde bir kaldıraç olarak kullanılabilir ve kollektörden daha fazla güneş enerjisi elde edilmesini mümkün kılabilir. Kazanılan ısı enerjisi PCM ile doldurulmuş kaptaki depolanabilir ve daha sonra akşam SAC'ın ortalama sıcaklığı PCM'nin katılma noktasının altına düştüğünde akan havaya aktarılabilir. Böylece, kollektörde etkin bir şekilde enerji elde edilmesi ve çalışma süresini uzatmak için, PCM ünitesinin SAC yapısına entegre edilebilir.

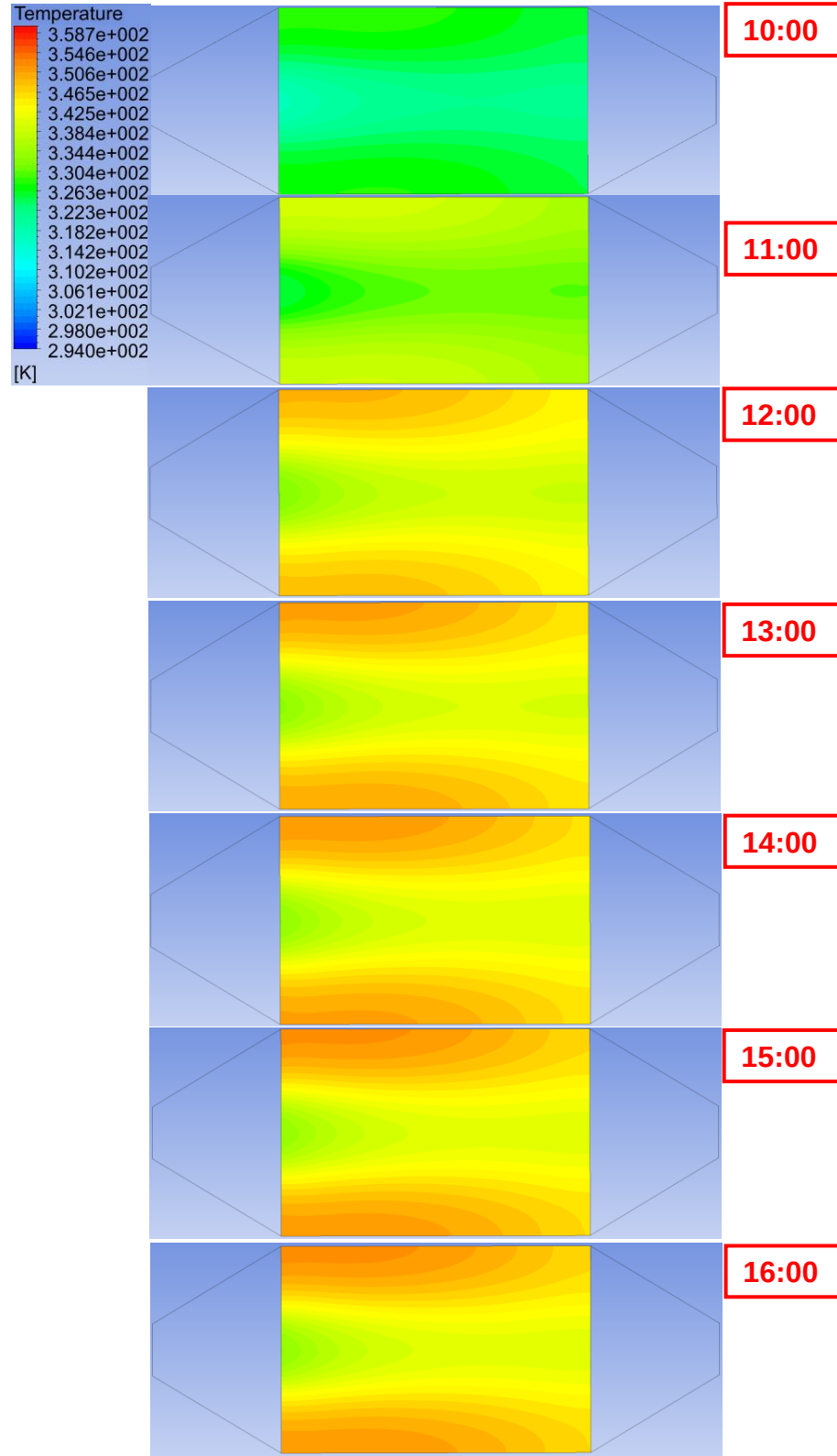
PSAC-5'in hava kanalındaki sıcaklık dağılımının üstten görünüşünün zamana göre değişimi Şekil 5.4'te verilmiştir.

Bu şekilde, havanın kollektör içinde nasıl ısındığı ve zamana bağlı sıcaklık dağılımlarının gelişimi görülmektedir. Görüldüğü üzere hava genel olarak SAC'ın hava kanalının orta kısmından akmaktadır.

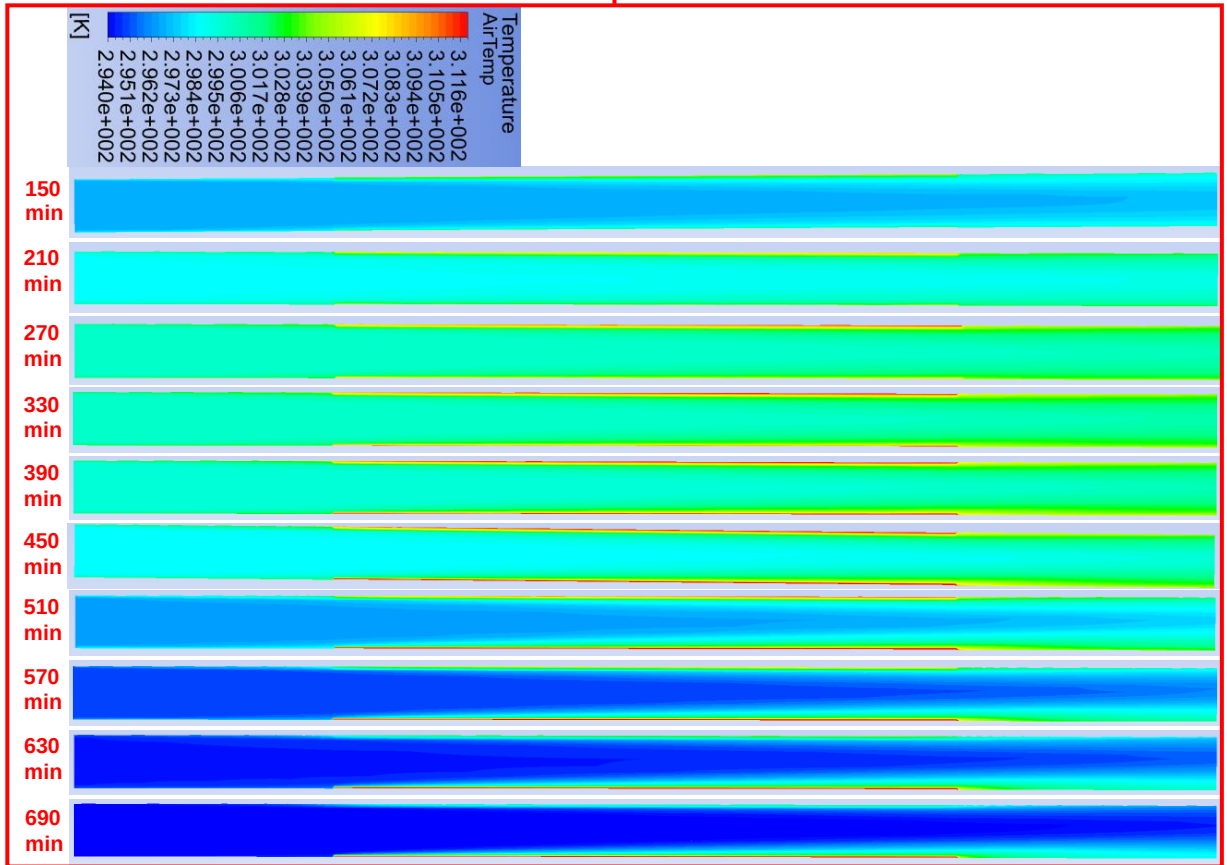
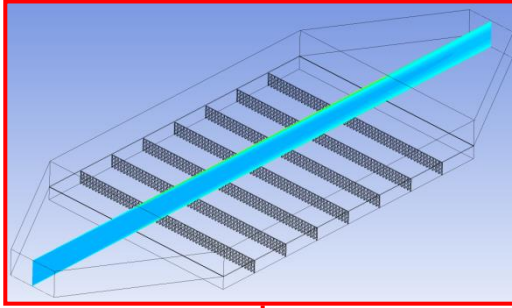
Bu nedenle, havanın hiçbir engelle karşılaşmadan aktığı SAC'ın orta kısmında düşük sıcaklık değerleri görülebilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, PCM ünitesini bir SAC'da kullanmak ve PCM'nin erimesini hızlandırmak için yutucu plakanın arka yüzeyine gözenekli kanatçıkların entegre edilmesinin etkilerini analiz etmek bu çalışmanın ana amaçları arasındadır. Daha sonraki çalışmalarda, bu çalışmada en iyi termal performansa sahip olduğu belirlenen kollektör için hava kanalının çeşitli modifikasyonlarının araştırılması önemli olacaktır. Şekil 5.4'te görüldüğü üzere giriş havası sıcaklığı ve güneş radyasyon değerlerinin artması sebebiyle kollektördeki hava sıcaklığı zamanla artmaktadır. Bununla birlikte, PCM'nin kap içinde erimesi sıcaklıkta daha fazla artışa yol açar ve bunun hava sıcaklığı üzerindeki etkisi Şekil 10'da görülebilir.



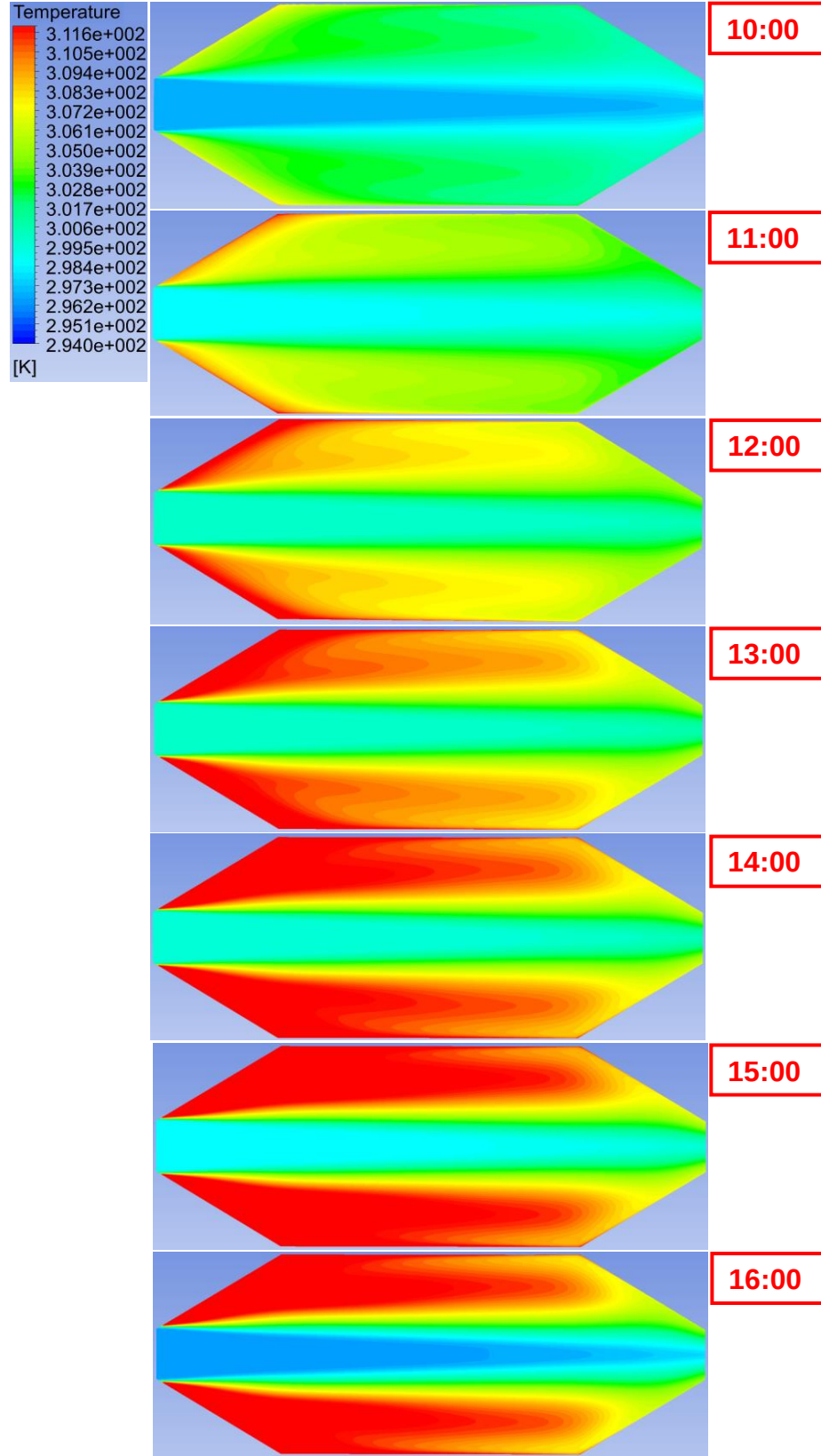
Şekil. 5.1. PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kolektörün yutucu yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi



**Şekil. 5.2.** PCM içermeyen konvansiyonel kollektörünün (CSAC) yutucu yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımının zamana göre değişimi



**Şekil 5.3.** PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektörde akan havanın sıcaklığının yandan görünümünden zamanla değişimi

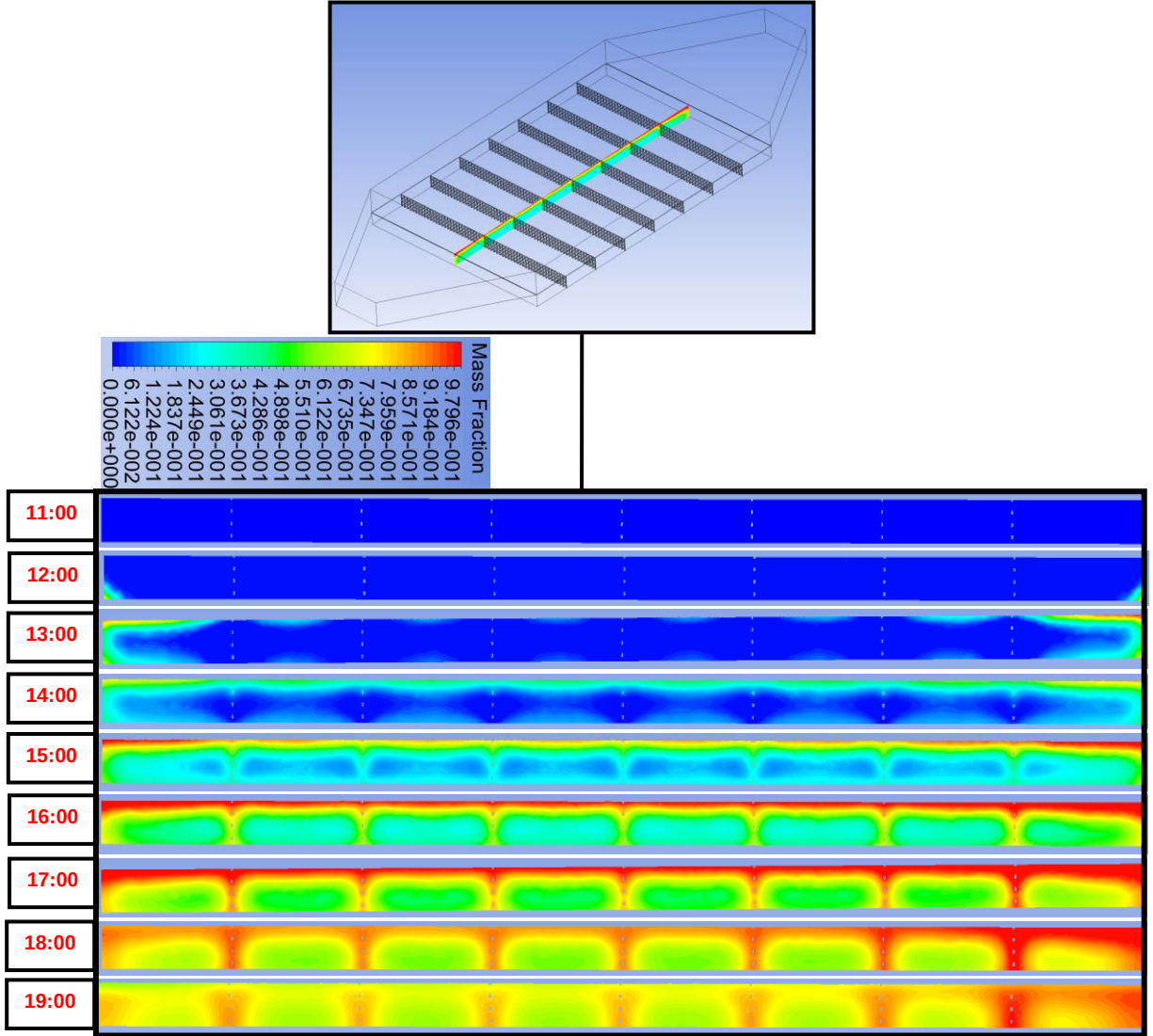


Şekil 5.4. PSAC-5'in hava kanalındaki üst görünümünden zamana bağlı sıcaklık dağılımı

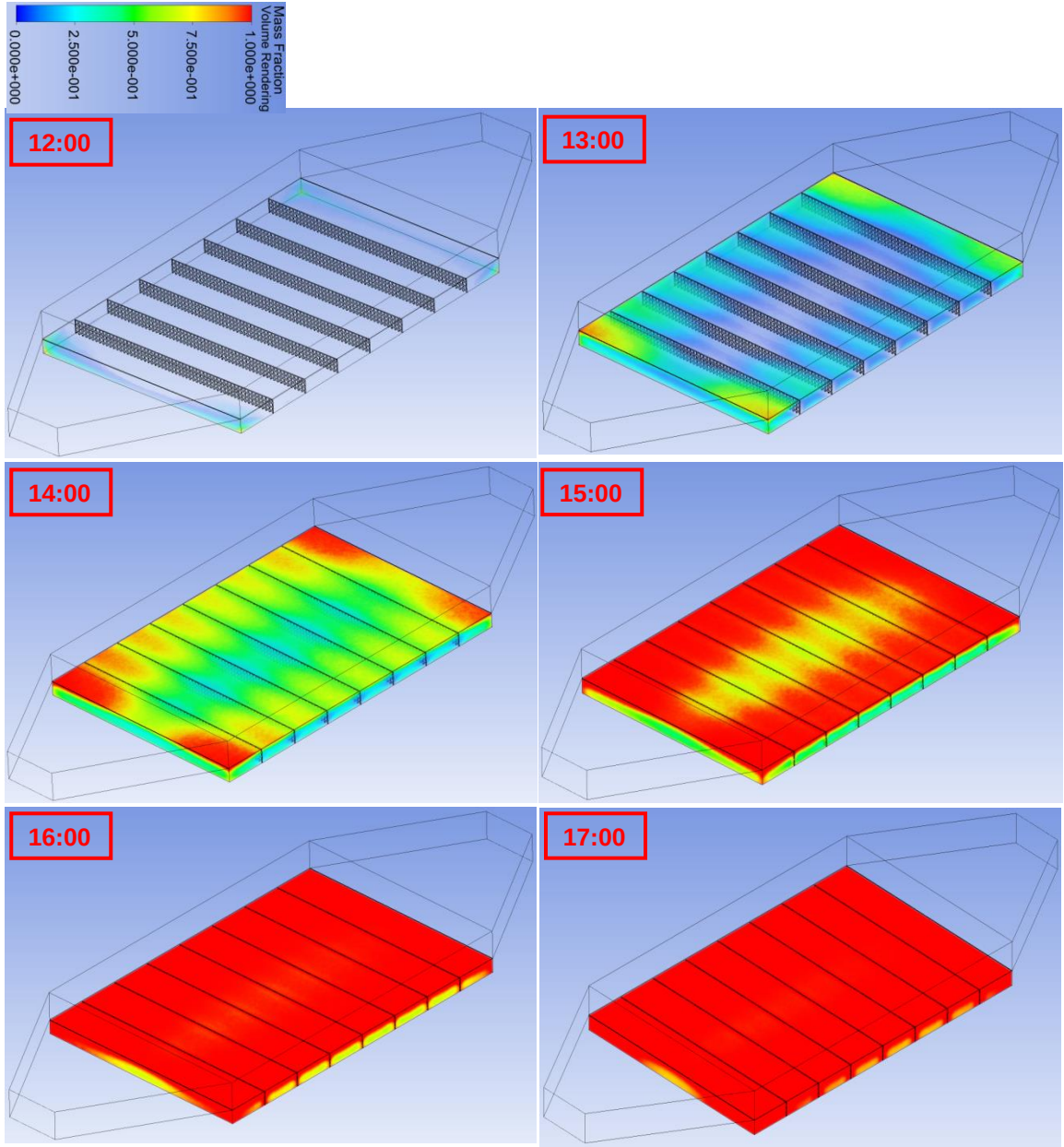
Depolama ünitesinin ortasındaki bir düzlem üzerinde PCM'nin sıvı faz dağılımının zamana bağlı değişimi Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Başka bir ifadeyle, PCM malzemesinin PCM ile doldurulmuş ünitenin ortasındaki bir düzlem üzerinde erime işlemi Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Seçilen düzlemin PCM dolu ünitenin içindeki konumu şeklin üst kısmında gösterilmiştir. PCM ile doldurulmuş kabın içindeki gözenekli kanatçıkların kullanılması, güneş ışınlarının yutucu yüzey tarafından emildiği emici plakanın üst kısmından ısı transferini hızlandırmaktadır. Ayrıca, gözenekli tip kanatçıkların kullanılması, metalik parça ile PCM malzemesi arasındaki temas yüzeyini iyileştirmiştir. Şekil 5.5, gözenekli kanatçıkların kullanılmasının ısı transferini ve dolayısıyla PCM dolu ünite içindeki PCM'nin erimesini nasıl etkilediğini açıkça göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi hava genellikle SAC'ın orta kısmından akmakta ve bu bölgedeki soğutma etkisi diğer bölgelere göre daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, SAC'ın orta kısmında seçilen düzlem üzerindeki PCM malzemesi tam olarak erimemiştir. Bununla birlikte, PCM'nin SAC'ın depolama ünitesi içindeki eritme işlemine ilişkin genel bir bakış açısı kazandırmak amacıyla sıvı fazı dağılımının hacimsel olarak gösterilmesi daha yararlı olacaktır.

Şekil 5.6, PSAC-5'in depolama ünitesi içindeki PCM sıvı fazı ( $\beta$ ) dağılımının zamana bağlı değişimini göstermektedir. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi saat 12:00'de PCM gerekli enerjiyi aldığı ve erime noktası sıcaklığına ulaştığında erimeye başlamıştır. Belirtildiği gibi, hava kanalı içinde akan havanın soğutma etkisinden dolayı kabın orta kısmında kollektör içindeki PCM'nin eritilmesinde farklı bir davranış görülmektedir. Başka bir deyişle, Şekil 5.2'de görüldüğü gibi akan hava, SAC'nin orta kısmından daha fazla enerji alarak bu bölgedeki yutucu plaka yüzeyini soğutmuştur. Kabın içindeki PCM'nin diğer kısımları orta kısma göre daha çabuk erimiştir. Çünkü belirtilen kısımlar yutucu yüzeyden istenilen enerjiyi alarak erime noktasına ulaşmışlardır.

SAC'da elde edilen enerji, kabın içindeki PCM tarafından depolanabilir ve daha sonra akşam saatlerinde sistemin ortalama sıcaklığı katılaşma sıcaklığının altına düştüğünde ana kanal içindeki akan havaya boşaltılır. Akşam saatlerinde güneş enerjisinin olmaması ve düşük giriş havası sıcaklığı nedeniyle, PCM kabı içindeki faz değişim sürecinden enerji kazanılarak kollektörün çalışması devam edebilir. PCM'nin katılaşmasının son aşamasına kadar PSAC içinde sıcaklık artışı devam edebilir.

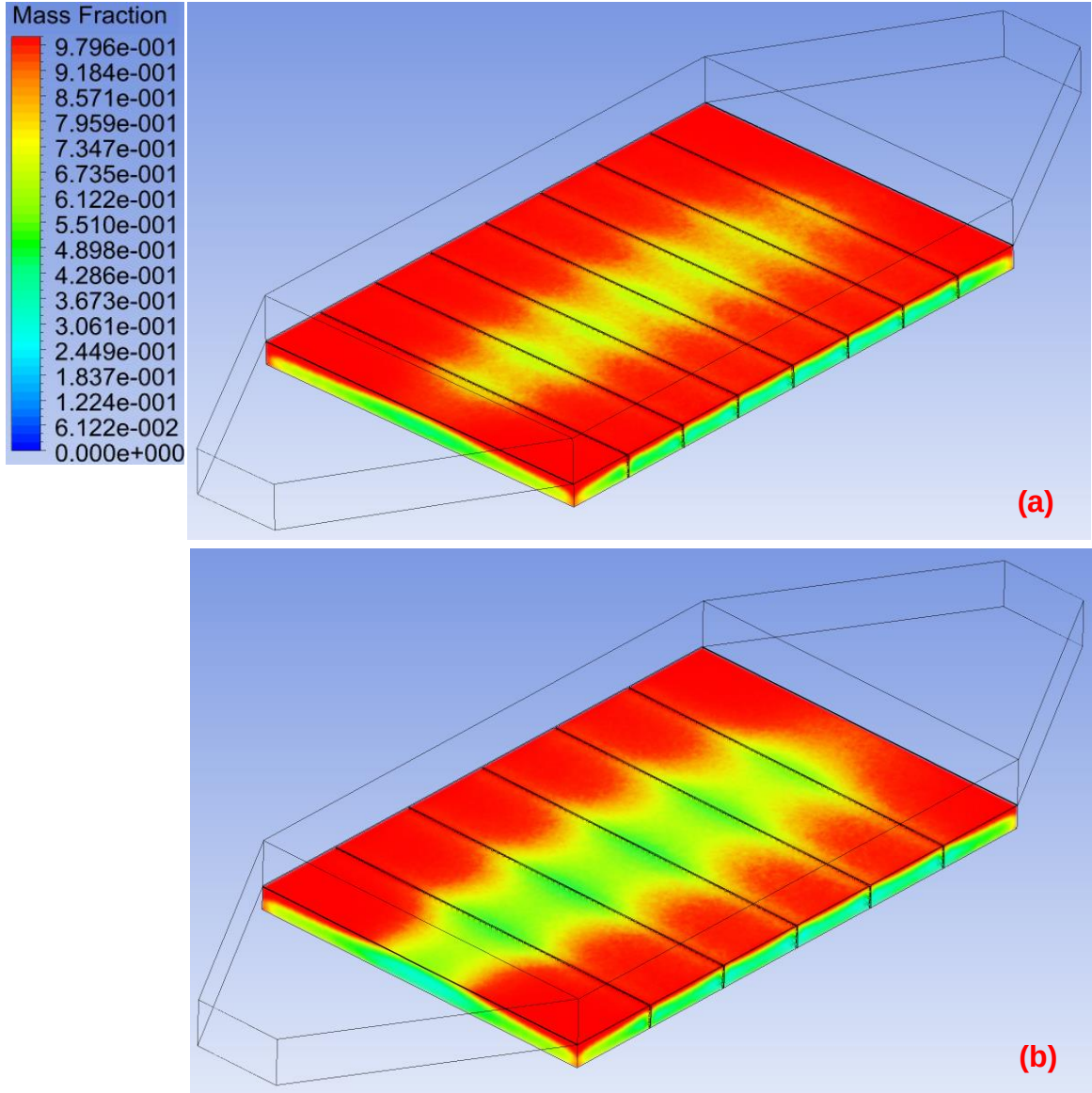


Şekil 5.5. Depolama ünitesinin ortasındaki bir düzlem üzerinde sıvı faz dağılımının zamana bağlı değişimi

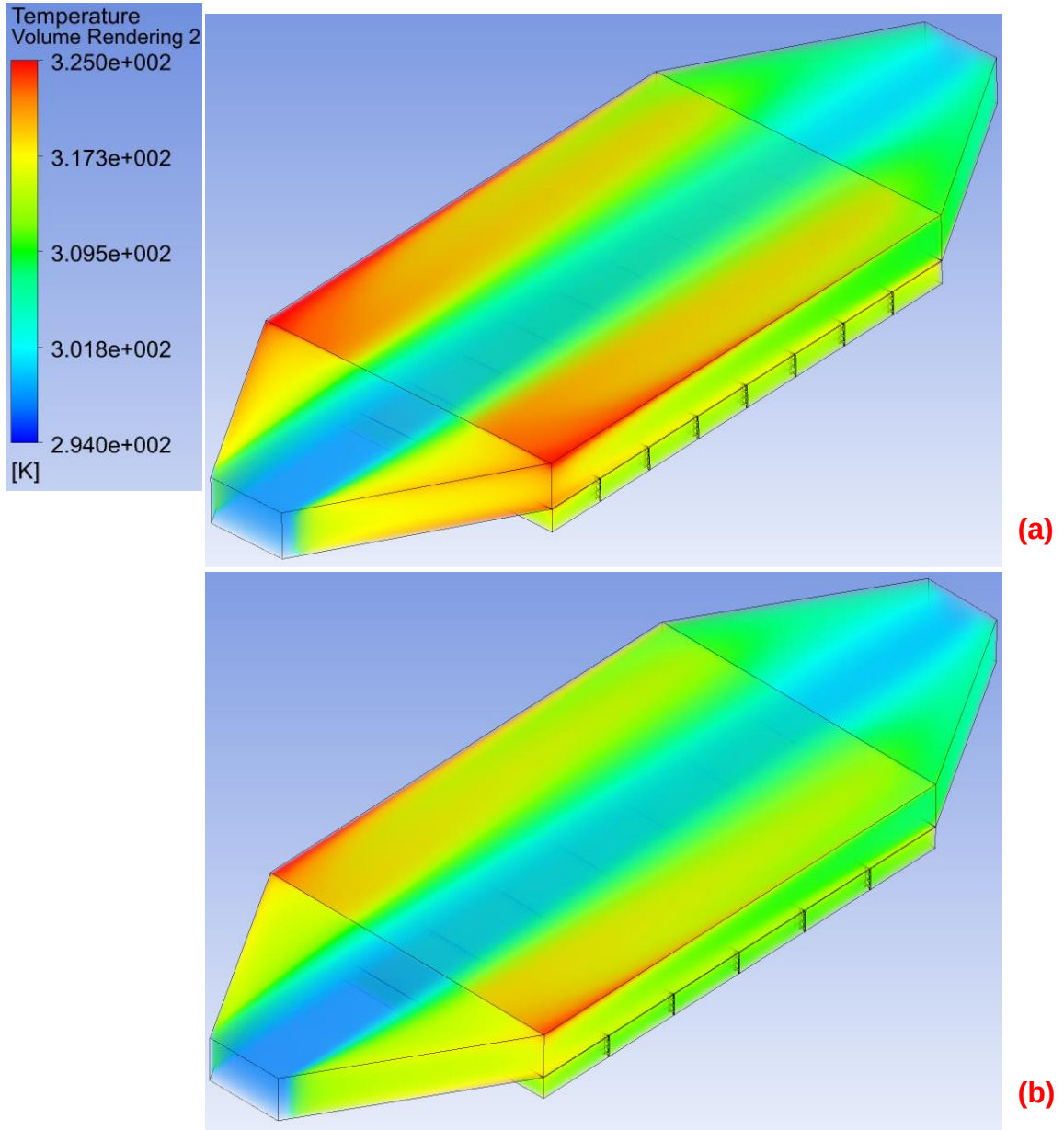


**Şekil 5.6.** PSAC-5'in depolama ünitesi içindeki sıvı fazı dağılımının zamana bağlı değişimi

Günün aynı saatinde (15:00) PSAC-3 ve PSAC-5'in depolama ünitesi içindeki PCM sıvı fazı dağılımlarının karşılaştırması Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Bu şekil, depolama ünitesi içindeki artan gözenekli kanatçıkların PCM'nin erime süreci üzerindeki etkisini açık bir şekilde göstermektedir. Şekil 5.7, 5 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör ile 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör arasındaki PCM'nin erime prosesindeki farkı açıkça göstermektedir. Gözenekli kanatlara sahip olmayan PSAC-1 tasarımında PCM'nin tamamen erimeye girmemesi gözlemlenmiştir. Yutucunun alt tarafına gözenekli kanatçıkların eklenmesi, PCM ünitesinin içindeki ısı transferini hızlandırmış ve sonuç olarak PCM'yi daha hızlı ve etkin bir şekilde eritmiştir. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi PSAC-5 tasarımında, SAC ünitesinin içindeki mevcut PCM'nin büyük bir kısmı erimştir. Şekil 5.7'nin daha iyi anlaşılması için PSAC-5 ve PSAC-3'ün günün aynı saatindeki hacimsel sıcaklık dağılımları Şekil 5.8'de verilmiştir. Şekil 5.8'de gösterilen PSAC-5 ve PSAC-3 için hacimsel sıcaklık dağılımları, kollektörün farklı kısımlarındaki sıcaklık dağılımının analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi PSAC-5'in tüm bölgelerindeki sıcaklık, PSAC-3'teki aynı bölgelerdeki sıcaklıklara göre daha yüksektir. Özellikle, kollektörlerin PCM ünitelerindeki yüksek sıcaklık, tasarımlar arasındaki temel farkı ortaya koymaktadır ve bu da iki tasarımın da erime işlemlerinin farklı davranış göstermesine yol açmaktadır.



**Şekil 5.7.** PCM sıvı fazı dağılımı; a) PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-5), b) PCM entegre edilmiş 5 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-3)

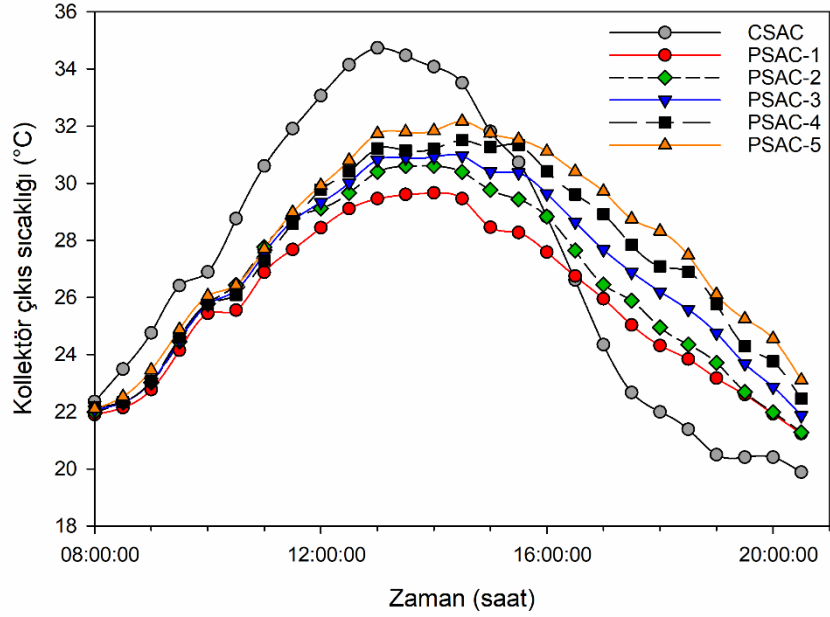


**Şekil 5.8.** Kollektör içindeki hacimsel sıcaklık dağılımı; a) PCM entegre edilmiş 7 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-5), b) PCM entegre edilmiş 5 gözenekli kanatçıklı yutucu yüzeye sahip kollektör (PSAC-3)

PCM içermeyen konvansiyonel kollektör ve PCM ile doldurulmuş kollektörlerin çıkış havası sıcaklığı Şekil 5.9’da verilmiştir. Ortalama çıkış sıcaklık değerleri CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için sırasıyla 27,25, 25,82, 26,47, 26,98, 27,49, ve 28,02°C olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, PCM içermeyen konvansiyonel kollektörün çıkış sıcaklığının PCM üniteli kollektörlere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. PSAC’larda yutulan güneş enerjisinin büyük bir kısmı başlangıç aşamasında PCM’nin eritilmesi için kullanılmıştır. Bu nedenle, başlangıç aşamasında CSAC’ın çıkış sıcaklığı PSAC’larından daha yüksektir. Şekil 5.10’da açıkça görüldüğü gibi, PCM ünitesinin entegre edilmesi ile SAC’ın kullanım süresi uzatılmıştır.

Saat 16:00’den sonra CSAC’ın çıkış sıcaklığı önemli ölçüde düşmektedir ve bu da giriş havası sıcaklığının ve güneş radyasyonunun azalmasıyla doğrudan ilişkilidir. PCM dolu ünitenin kollektöre entegre edilmesinin etkisi, saat 16:00’den sonra güneş radyasyonu ve giriş havası sıcaklığının azalması ve PCM’de depolanan enerjinin akan havaya salınmaya başlamasıyla görülmüştür. Ayrıca, yutucu plakanın alt yüzeyine gözenekli kanatçıkların eklenmesi çıkış sıcaklığını önemli ölçüde arttırmıştır. Ek olarak, gözenekli kanatçıkların sayısının artırılması, kollektörün çıkış sıcaklığını belirgin şekilde arttırmıştır. Benzer bir çalışmada, Tiwari ve Kumar (2023) bir SAC tasarımında vakum tüpler kullanmış ve kollektörü PCM ile ve PCM olmadan test etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, mevcut çalışmada elde edilen çıkış sıcaklıklarıyla benzer eğilim göstermiştir.

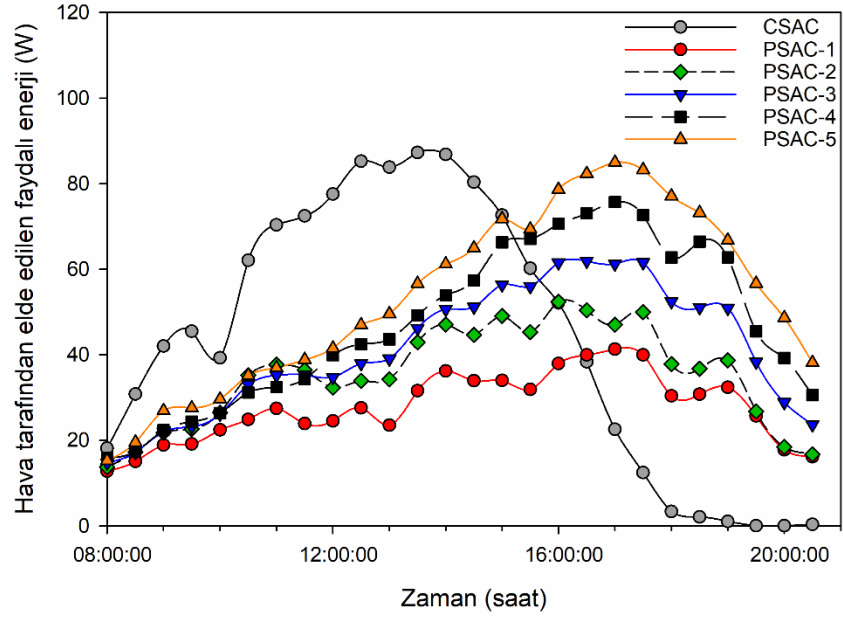
Şekil 5.10, zamana bağlı altı SAC içindeki akan hava tarafından elde edilen faydalı enerjiyi göstermektedir. CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için hava tarafından emilen faydalı enerji sırasıyla 0,35-87,27, 12,79-41,29, 13,77-52,39, 14,72-61,93, 15,87-75,72, ve 15,28-84,98 W olarak elde edilmiştir. Ek olarak, CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için hava tarafından emilen ortalama faydalı enerji sırasıyla 44,11, 27,69, 35,22, 41,18, 47,06, ve 53,15 W olarak elde edilmiştir.



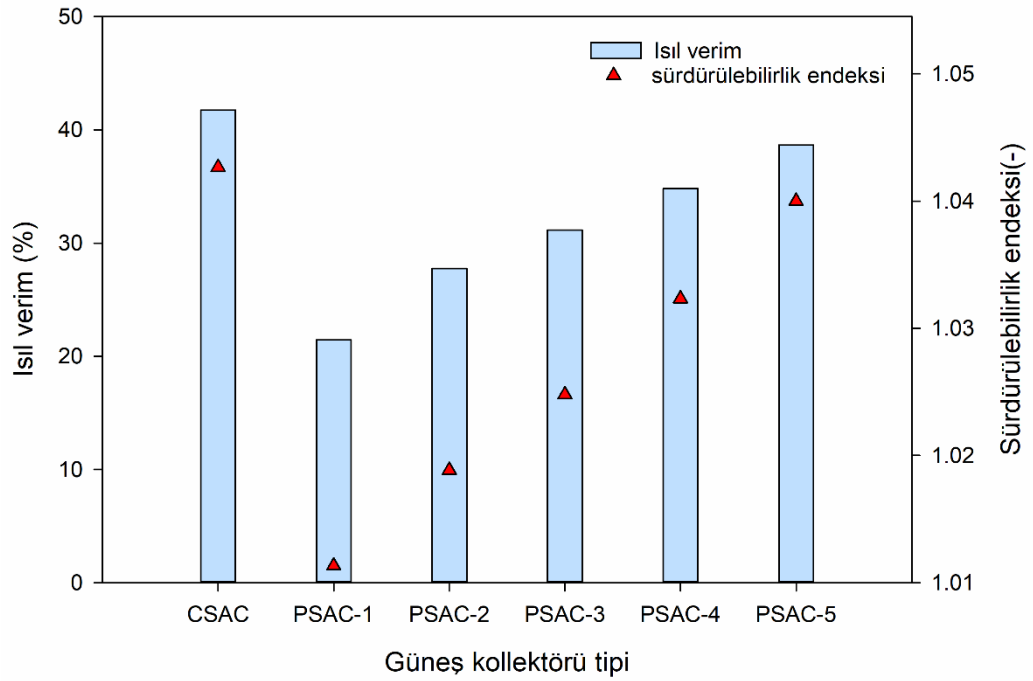
**Şekil 5.9.** Kolektörlerin çıkış havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Analiz edilen altı kolektör için ortalama enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik endeksi Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Ortalama ısı verim değerleri CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için sırasıyla %41,73, %21,45, %27,74, %31,15, %34,80, ve %38,66 olarak elde edilmiştir. Ortalama sürdürülebilirlik endeksi CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için sırasıyla 1,0426, 1,0113, 1,0188, 1,0247, 1,0323, ve 1,0400 olarak elde edilmiştir. Verilen ortalama değerler saat 08:00 ile 17:00’ı kapsamaktadır. PCM ile doldurulmuş ünite kullanımı, geleneksel kolektöre kıyasla sayısal olarak elde edilen ısı verim ve sürdürülebilirlik endeksi değerlerini azaltmıştır. Kolektör veriminin hesaplanmasında, kolektör çıkış sıcaklığı ısı verimi büyük oranda etkileyen önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Kolektör içerisine PCM dolu ünite eklenmesi, özellikle ilk aşamalarda sistemin çıkış sıcaklığını düşürmüştür çünkü yutulan enerjinin büyük bir kısmı PCM’yi eritmek için kullanılmıştır. Bu olay, ısı verim gibi bazı parametrelerin azalmasının ana nedenidir. Rani ve Tripathy (2022) yaptıkları çalışmada yeni tip kanatçıklara sahip bir SAC geliştirmişler ve ısı verimin %19,73-34,3 aralığında arttığını belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada (Farzan vd. 2022), PCM entegreli bir SAC’ı analiz etmiş ve PCM’nin içinde ağ kullanmışlardır. Ağ kullanılan PCM üniteli sistemde, 0,012 kg/s havanın kütesel debisinde sistemin ısı verimi %48,14 artmıştır.

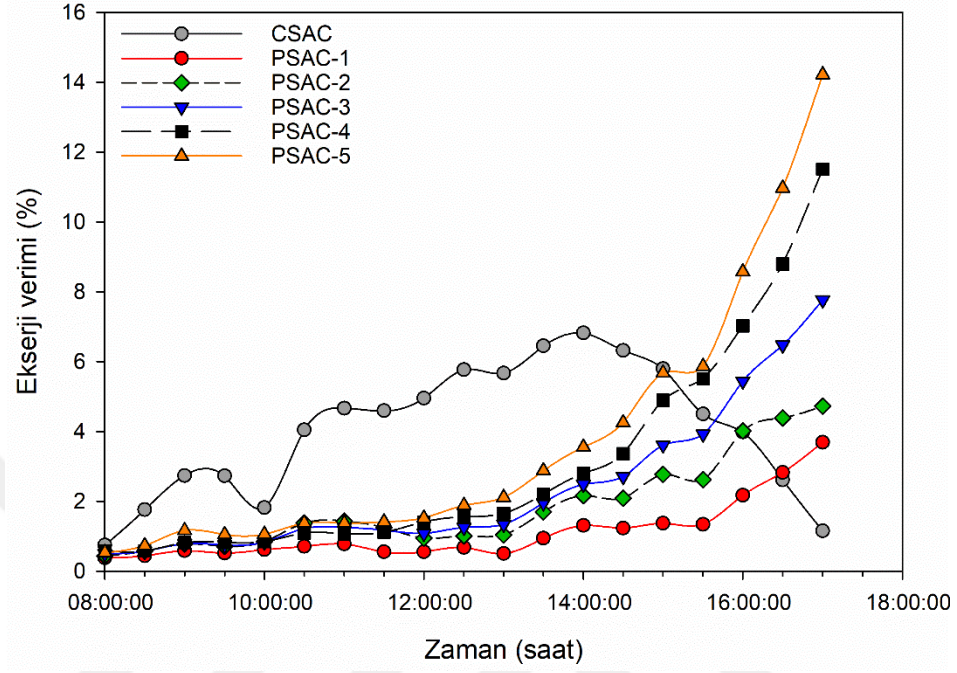
Şekil 5.12’de analiz edilen kollektörlerde zamana bağlı ekserji veriminin değişimi verilmiştir. Şekil 5.12’de görüldüğü gibi CSAC’ın ekserji verimliliği diğer sistemlere göre daha yüksektir. Bu davranışın ana sebebi, diğer tasarımlarda SAC’a PCM eklenmesidir. Ekserji enerjisi, kollektör çıkış sıcaklığı gibi farklı parametrelere bağlıdır. Diğer parametrelerin yanı sıra, SAC’ın çıkış sıcaklığının ekserji verimliliği üzerinde önemli etkisi vardır. PCM’li tasarımlarda, yutulan güneş enerjisinin büyük bir kısmı PCM’yi eritmek için kullanılır, bu da daha düşük çıkış sıcaklığı elde edilmesine ve dolayısıyla daha düşük ekserji verimliliğine yol açmaktadır. Yutucu yüzeyin alt yüzeyine gözenekli kanatçıkların entegre edilmesi ekserji verimliliğini arttırmıştır. Ayrıca, gözenekli kanatçıkların sayısının artırılması ekserji verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Ek olarak, güneş radyasyonunun azaldığı son aşamalarda PSAC’ların ekserji verimliliğinde artış görülmektedir. Bu davranışın temel nedeni, çıkış sıcaklığındaki ihmal edilebilir bir azalma ile güneş radyasyonunun ciddi bir şekilde azalmasıdır. Ekserji verim değerleri CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için sırasıyla %0,74-6,81, %0,37-3,68, %0,43-4,72, %0,49-7,76, %0,57-11,50, ve %0,53-14,22 aralığında elde edilmiştir. Ortalama ekserji verim değerleri CASC, PSAC-1, PSAC-2, PSAC-3, PSAC-4, ve PSAC-5 için sırasıyla %4,05, %1,11, %1,83, %2,37, %3,03, ve %3,69 olarak elde edilmiştir. Verilen ekserji değerleri saat 08:00 ile 17:00’ı kapsamaktadır.



**Şekil 5.10.** Kollektör içindeki akan hava tarafından elde edilen faydalı enerjinin zamana bağlı değişimi



**Şekil 5.11.** Analiz edilen altı kolektör için ortalama enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik endeksi



**Şekil 5.12.** Analiz edilen kolektörlerde zamana bağlı ekserji veriminin değişimi

## BÖLÜM VI

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, havalı bir güneş kolektörüne PCM ünitesi eklenerek kullanım süresi arttırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, tek geçişli bir havalı güneş kolektörüne PCM ünitesi eklenmiştir. Ek olarak, PCM ünitesinin içine gözenekli kanatçıklar eklenerek PCM erime süresi kısaltılmaya çalışılmıştır. Böylelikle, altı farklı güneş kolektörü tasarlanmış ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Analiz edilen havalı kolektöre PCM ünitesinin eklenmesi, kolektörün kullanım süresini arttırmıştır.
- PCM ünitesinin sisteme eklenmesi, ilk aşamada hava çıkış sıcaklığının düşmesine neden olmuştur. Bunun nedeni ise, ilk aşamada enerjinin bir kısmının parafinin eritilmesi için harcanmasıdır.
- PCM ünitesinin içine gözenekli kanatçıkların eklenmesi sistemin performansının ciddi şekilde artmasına neden olmuştur. Ek olarak, gözenekli kanatçıkların sayısının artması da parafinin erime süresini hızlandırmıştır.
- PCM ünitesinin sisteme eklenmesi, ortalama enerji verimliliğini düşürmüş, ancak kullanım süresinin ciddi bir şekilde arttırmıştır. Bunun yanında, gözenekli kanatçıkların sayısının artması ortalama enerji verimliliğinin ciddi oranda artmasına neden olmuştur.
- Gözenekli kanatçıkların sayısının arttırılması ekserji verimliliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Ek olarak, güneş radyasyonunun azaldığı son aşamalarda PSAC'ların ekserji verimliliğinde artış görülmektedir. Bu davranışın temel nedeni, çıkış sıcaklığındaki ihmal edilebilir bir azalma ile güneş radyasyonunun ciddi bir şekilde azalmasıdır.
- Genel olarak, altı farklı sistemin sayısal olarak analiz edilmesi neticesinde, PCM ünitesinin havalı güneş kolektörüne eklenmesiyle kullanım süresi arttırılmıştır. Ek

olarak PCM ünitesinin içine gözenekli kanatçıkların yerleştirilmesi, parafinin erimesini hızlandırarak sistemin performansını arttırmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, çalışmayı geliştirmek amacıyla aşağıdaki hususların değerlendirilmesi önerilir:

- Yapılan çalışmada sabit tutulan PCM ünitesinin kalınlığı değiştirilerek sistem performansı analiz edilebilir.
- Hava kanalı için farklı modifikasyonlar yapılarak, hava akışının daha düzenli hale getirilmesiyle sistem verimi arttırılabilir.
- PCM ünitesi içinde kullanılan parafinin erimesini hızlandırmak için farklı nano-parçacıklar eklenerek sistemin genel performansı arttırılabilir.

## BÖLÜM VII

### KAYNAKÇA

- Abuska M. (2018) , Energy and exergy analysis of solar air heater having new design absorber plate with conical surface , *Applied Thermal Engineering* 131 115–124
- Afshari, F., Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Yetim, A. F., Ceviz, M. A. (2023a). Experimental and numerical study on a novel fanless air-to-air solar thermoelectric refrigerator equipped with boosted heat exchanger. *Renewable Energy*, 207, 253-265.
- Afshari, F., Muratçobanoğlu, B., Mandev, E., Ceviz, M. A., Mirzaee, Z. (2023b). Effects of double glazing, black wall, black carpeted floor and insulation on thermal performance of solar-glazed balconies. *Energy and Buildings*, 285, 112919.
- Ağı S., Günerhan H., 2003, Sıvılı Düzlemsel Güneş Kolektörlerinde Verim Artırma Olanakları, *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi*
- Ahmed, S. F., Khalid, M., Vaka, M., Walvekar, R., Numan, A., Rasheed, A. K., & Mubarak, N. M. (2021). Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25, 100981.
- Akhbari M. , Rahimi A. , Hatamipour M. S. (2020) , Modeling and experimental study of a triangular channel solar air heater, *Applied Thermal Engineering* 170 114902
- Al-damook, A. and Khalil, W. H. (2017) Experimental evaluation of an unglazed solar air collector for building space heating in Iraq. *Renewable Energy*, 112, 498-509
- Al-harashsheh, M., Abu-Arabi, M., Mousa, H. and Alzghoul, Z. (2018) Solar desalination using solar still enhanced by external solar collector and PCM. *Applied Thermal Engineering*, 128, 1030–1040
- Ammar M. , Mokni A. , Mhiri H. , Bournot P. , (2020) , Numerical analysis of solar air collector provided with rows of rectangular fins, *Energy Reports* 6 3412–3424
- Ansari, M. and Bazargan, M. (2018) Optimization of flat plate solar air heaters with ribbed surfaces. *Applied Thermal Engineering*, 136, 356-363

Ansys, ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS Inc, Canonsburg, 2017.

Ata İ., Acır A., “Hava Akışkanlı Güneş Kollektöründe Isı Transferi İyileştirmesine Etki Eden Parametrelerin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 23(2): 527-535, (2020)

Ata, İ. ,2017, Güneş Enerjisi Destekli Hava Isıtıcısı Performansının Deneysel İncelenmesi ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Optimizasyonu. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Aytaç, İ., Badali, Y., Tuncer, A. D. (2023). Numerical and experimental investigation for enhancing thermal performance of a concentric heat exchanger using different scenarios. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 33(6), 2100-2127.

Aytaç, İ., Tuncer, A. D., Khanlari, A., Variyenli, H. İ., Mantıcı, S., Güngör, L., & Ünvar, S. (2023). Investigating the effects of using MgO-CuO/water hybrid nanofluid in an evacuated solar water collector: A comprehensive survey. *Thermal Science and Engineering Progress*, 101688.

Bahrehand, D., Ameri, M. and Gholampour, M. (2015). Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with forced convection. *Renewable Energy*, 83, 1119-1130

Blowmik, H. and Amin, R., (2017). Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. *Energy Reports*, 3, 119–123.

Bulut, H. ve Durmaz, A. F. (2006). Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Analizi, *1. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*

Cengel, Y., Ghajar, A. (2020). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 6th Edition, *McGraw Hill Publication*, New York, USA.

Ceviz, M. A., Mandev, E., Muratçobanoğlu, B., Çelik, A., Afshari, F. (2023). Experimental analysis of energy storage performance of phase change materials in horizontal double-glazing applications. *Journal of Energy Storage*, 73, 108836.

- Chand S. , Chand P. , Ghritlahre H. K. , (2022), Thermal performance enhancement of solar air heater using louvered fins collector, *Solar Energy* 239 10–24
- Çiftçi, E., Khanlari, A., Sözen, A., Aytaç, İ., & Tuncer, A. D. (2021). Energy and exergy analysis of a photovoltaic thermal (PVT) system used in solar dryer: A numerical and experimental investigation. *Renewable Energy*, 180, 410-423.
- Daliran A. , Ajabshirchi Y. , (2018) , Theoretical and experimental research on effect of fins attachment on operating parameters and thermal efficiency of solar air collector, *Information Processing In Agriculture* 5 (2018) 411–421
- Das, M. (2021). Exploration of the effect of two-axis PLC solar tracking system on the thermal performance of solar air collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101692.
- Değirmencioğlu, C. İlken, Z. 2003, Havalı Güneş Kolektörleri Üzerine Bir Literatür Araştırması ve Temel ilkeleri, TTMD
- El Khadraoui, A., Bouadila, S., Kooli, S., Farhat, A. and Guizani, A. (2017) Thermal behavior of indirect solar dryer: Nocturnal usage of solar air collector with PCM. *Journal of Cleaner Production*, 148, 37-48
- Farzan, H., Zaim, E. H., & Amiri, T. (2022). Performance investigation on a new solar air heater using phase change material/expanded metal mesh composite as heat storage unit: An experimental study. *Journal of Energy Storage*, 47, 103602.
- Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M. Y., Ruslan, M. H. and Bakhtyar, B. (2013) Energy analysis and improvement potential of finned double-pass solar collector. *Energy Conversion and Management*, 75, 234–240
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H. and Othman, M. Y. (2013) Performance and cost benefits analysis of double-pass solar collector with and without fins. *Energy Conversion and Management*, 76, 8–19
- Gilani S. E. , Al-Kayiem H. , Woldemicheal D.E. , Gilani S. I. (2017) , Performance enhancement of free convective solar air heater by pin protrusions on the absorber, *Solar Energy* 151 173–185

- Gülçimen, F., Karakaya, H. and Durmuş, A. (2017) Drying of sweet basil with solar air collectors. *Renewable Energy*, 93, 77-86
- Gülmüş, B., Muratçobanoğlu, B., Mandev, E., Afshari, F. (2023). Experimental and numerical investigation of flow and thermal characteristics of aluminum block exchanger using surface-modified and recycled nanofluids. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 33 (8), 2685-2709.
- Hajar, E., Rachid, T. and Najib, B. M. (2017) Conception of a Solar Air Collector for an Indirect Solar Dryer: Pear Drying Test. *Energy Procedia*, 141, 29-33
- Ho C. D. , Yeh H. M. , Chen T. C. , (2011) , Collector efficiency of upward-type double-pass solar air heaters with fins attached , *International Communications in Heat and Mass Transfer* 38 49–56
- Hung, T. C., Huang, T. J., Lee, D. S., Lin, C. H., Pei, B. S. and Li, Z. Y. (2017) Numerical analysis and experimental validation of heat transfer characteristic for flat-plate solar air collector, *Applied Thermal Engineering*, 111, 1025-1038
- Jha, P., Das, B., Gupta, R., Mondol, J. D., & Ehyaei, M. A. (2023). Review of recent research on photovoltaic thermal solar collectors. *Solar Energy*, 257, 164-195.
- Jiang, Y., Zhang, H., Wang, Y., You, S., Wu, Z., Fan, M., ... Wei, S. (2021). A comparative study on the performance of a novel triangular solar air collector with tilted transparent cover plate. *Solar Energy*, 227, 224–235.
- Kalogirou, S., Eleftheriou, P., Lloyd, S. and Ward, J. , 1994 Desing and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system. *Applied Energy*, 47, 341-354.
- Kareem, M. W., Habib, K., Ruslan, M. H. and Saha, B. B. (2017) Thermal performance study of a multi-pass solar air heating collector system for drying of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Renewable Energy*, 113, 281-292
- Kareem, M. W., Habib, K., Sopian, K. and Irshad, K. (2016) Performance evaluation of a novel multi-pass solar air heating collector. *Procedia Engineering*, 148, 638-645

- Kareem, M. W., Habib, K., Sopian, K. and Irshad, K. (2016) Performance evaluation of a novel multi-pass solar air heating collector. *Procedia Engineering*, 148, 638-645
- Kareem, M. W., Habib, K., Sopian, K. and Ruslan, M. H. (2017). Multi-pass solar air heating collector system for drying of screw-pine leaf (*Pandanus tectorius*). *Renewable Energy*, 112, 413-424
- Khanlari A., Güler H. Ö., Tuncer A. D., Şirin C., Bilge Y. C., Yılmaz Y., Güngör A. (2019). Experimental and numerical study of the effect of integrating plusshaped perforated baffles to solar air collector in drying application. *Renewable Energy* 145 (2020) 1677-1692
- Kumar, A., Ganesan, H., Saini, V., Almujiabah, H., Petrounias, P., Jeyan, J. M. L., ... & Agrawal, A. (2023). An assessment of photovoltaic module degradation for life expectancy: A comprehensive review. *Engineering Failure Analysis*, 107863.
- Kumar R., Chand P. (2018) , Performance prediction of extended surface absorber solar air collector with twisted tape inserts, *Solar Energy* 169 40–48
- Lertsatitthanakorn, C., Khasee, N., Atthajariyakul, S., Soponronnarit, S., Therdyothin, A. and Suzuki, R. O. (2008) Performance analysis of a double-pass thermoelectric solar air collector. *Energy Materials & Solar Cells*, 92, 1105–11092
- Liu, X., Shen, C., Wang, J., Zhang, C., & Shuai, Y. (2023). Static and dynamic regulations of photovoltaic double skin facades towards building sustainability: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113458.
- Ma, C., Wu, R., Liu, Z., & Li, X. (2024). Performance assessment of different photovoltaic module technologies in floating photovoltaic power plants under waters environment. *Renewable Energy*, 222, 119890.
- Momin, A. E., Saini, J. S. and Solanki, S. C. (2002) Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, 3383-3396

- Othman, M. Y. H., Yatima, B., Sopian, K. and Abu Bakara, M. N. (2005). Performance analysis of a double-pass photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector with CPC and fins. *Renewable Energy*, 30, 2005–2017
- Ozgen, F., Esen, M. and Esen, H. (2009). Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans. *Renewable Energy*, 34, 2391–2398
- Poonam R., Tripathy P. P. , (2022) , Experimental Investigation On Heat Transfer Performance Of Solar Collector With Baffles And Semicircular Loops Fins Under Varied Air Mass Flow Rates, *International Journal Of Thermal Sciences* 178, 107597
- Pramanik, R. N., Sahoo, S. S., Swain, R. K., Mohapatra, T. P. and Srivastava, A. K. (2017) Performance Analysis of Double Pass Solar Air Heater with Bottom Extended Surface. *Energy Procedia*, 109, 331 – 337
- Ramani, B. M., Gupta, A. and Kumar, R. (2010) Performance of a double pass solar air collector. *Solar Energy*, 84, 1929–1937
- Rani, P., Tripathy, P. P. (2022). Experimental investigation on heat transfer performance of solar collector with baffles and semicircular loops fins under varied air mass flow rates. *International Journal of Thermal Sciences*, 178, 107597.
- Selimefendigil, F., Şirin, C., Ghachem, K., Kolsi, L., Alqahtani, T., Algarni, S. (2022a). Enhancing The Performance Of A Greenhouse Drying System By Using Triple-Flow Solar Air Collector With Nano-Enhanced Absorber Coating. *Case Studies In Thermal Engineering*, 34, 102011.
- Selimefendigil, F., Şirin, C., Öztürk, H. F. (2022b). Improving the performance of an active greenhouse dryer by integrating a solar absorber north wall coated with graphene nanoplatelet-embedded black paint. *Solar Energy*, 231, 140-148.
- Shams, S. M. N., Mc Keever, M., Mc Cormack, S. and Norton, B. (2016). Design and experiment of a new solar air heating collector. *Energy*, 100, 374-383
- Sönmez, M., & TIRİZ , M. (1995, 03 5). Güneş Kollektörlerinde Verim Arttıran Önemli Bir Parametre: Seçici Yüzey. 12 29, 2023 tarihinde Termodinamik.info:

<https://www.termodinamik.info/makale/gunes-kollektorlerinde-verimi-arttiran-onemli-bir-parametre-secici-yuzey-uygulamasi> adresinden alındı

- Şener, M. (2013) Etkin Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Şevik, S.; Abuşka, M. (2020). Energy, exergy, economic and environmental (4E) analyses of flat-plate and V-groove solar air collectors based on aluminium and copper, *Solar Energy* 158 (2017) 259–277
- Tang, J., Ni, H., Peng, R. L., Wang, N., & Zuo, L. (2023). A review on energy conversion using hybrid photovoltaic and thermoelectric systems. *Journal of Power Sources*, 562, 232785.
- Tırıs M., Tırıs Ç. Ve Erdallı Y., 1997, Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, *TÜTBİTAK-M.A.M Matbaası*, Kocaeli 56
- Tiwari, A., Kumar, A. (2023). Solar air heater based on double-ends open evacuated tube with & without phase change material: An experimental investigation. *Journal of Energy Storage*, 72, 108265.
- Topaloğlu, P. D. (2019). On Dokuz Mayıs Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi. On Dokuz Mayıs Üniversitesi: <https://avys.omu.edu.tr/lessons/1/6/2728-932001/239725-71085> adresinden alınmıştır
- Tuncer A. D., 2018, Yeni Tip Havalı Bir Güneş Kolektörünün Tasarımı İmalatı Ve Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Tuncer, A. D., Amini, A., & Khanlari, A. (2023). Experimental and transient CFD analysis of parallel-flow solar air collectors with paraffin-filled recyclable aluminum cans as latent heat energy storage unit. *Journal of Energy Storage*, 70, 108009.
- Tuncer, A. D., Amini, A., Khanlari, A. (2023). Experimental and transient CFD analysis of parallel-flow solar air collectors with paraffin-filled recyclable aluminum cans as latent heat energy storage unit. *Journal of Energy Storage*, 70, 108009.

- Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. (2022, Ağustos 22). Aralık 2023, 2023 tarihinde TC ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> adresinden alındı
- TÜRE, P. D. (2020, Ekim 1). TEMİZENERJİ HABER PORTALI. Kasım 22, 2023 tarihinde TEMİZ ENERJİ : [https://temizenerji.org/2020/10/01/prof-dr-ture-gunes-enerjisinin-en-etkin-verimli-ve-akilci-kullanim-alani-sogutmadir/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA6vaqBhCbARIsACF9M6l7O\\_cRSZPKArnDS\\_vo0AJs8eZjQ\\_3PVUBx51EqC2JXXSZ3BBVxGGUaArNiEALw\\_wcB](https://temizenerji.org/2020/10/01/prof-dr-ture-gunes-enerjisinin-en-etkin-verimli-ve-akilci-kullanim-alani-sogutmadir/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA6vaqBhCbARIsACF9M6l7O_cRSZPKArnDS_vo0AJs8eZjQ_3PVUBx51EqC2JXXSZ3BBVxGGUaArNiEALw_wcB) adresinden alındı
- Uyarel, Y. A. ve Öz S. E (1987). Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları Kitabı, Birsen Yayınevi, Ankara 239 s
- Villanueva Vega, E., Noh-Pat, F., (2014). Validation of the simulation of solar air collector prototypes. *Energy Procedia*, 57, 2295– 2304
- Yang, M., Yang, X., Li, X., Wang, Z. and Wang, P. (2014). Design and optimization of a solarair heater with offset strip fin absorber plate. *Applied Energy*, 113, 1349–1362.
- Yeh, H. M., Ho, C. D. and Hou, J. Z. (2002). Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached. *Energy*, 27, 715–727.
- Yıldız, M. E. , 2021, İç Yüzey Geometrisi Farklı, Kanatçık Yapıda Tasarlanmış Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerinin Isıl Performansının Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman,
- Zare D., S. Minaei, M. Mohamad Zadeh, M.H. Khoshtaghaza, Computer simulation of rough rice drying in a batch dryer, *Energy Conversion Management* 47 (2006) 3241-3254.
- Zheng, W., Zhang, H., You, S., Fu, Y. and Zheng, X. (2017). Thermal performance analysis of a metal corrugated packing solar air collector in cold regions. *Applied Energy*, 203, 938–94

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Havva Nur ŞAHİN

**Doğum Tarihi** :

**E-mail** :

**Öğrenim Durumu** :

| Derece | Bölüm/Program       | Üniversite            | Yıl  |
|--------|---------------------|-----------------------|------|
| Lisans | Makine Mühendisliği | Çukurova Üniversitesi | 2021 |
|        |                     |                       |      |
|        |                     |                       |      |

**Görevler** :

| Görev Ünvanı | Görev Yeri | Yıl |
|--------------|------------|-----|
|              |            |     |
|              |            |     |
|              |            |     |

## ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1.