
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

FARKLI EMİCİ PLAKA GEOMETRİLERİNE SAHİP HAVA KOLEKTÖRLÜ BİR TERMAL FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ENERJİ-EKSERJİ ANALİZİ

Murat ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- 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 çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat ÖZTÜRK

09/06/2023

FARKLI EMİCİ PLAKA GEOMETRİLERİNE SAHİP HAVA KOLEKTÖRLÜ BİR TERMAL FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ENERJİ-EKSERJİ ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat ÖZTÜRK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2023

ÖZET

Günümüzde güneş hava kolektörleri temiz enerji üretimi konusunda büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yeni bir çift geçişli güneş hava kolektörü tasarlanmış ve performans analizi yapılmıştır. Çalışmada geleneksel sac emici plaka yerine nano-geliştirilmiş alüminyum hava kanallarına sahip yeni tasarlanmış bir güneş enerjili hava ısıtıcısının ısıl performansının ve sürdürülebilirlik göstergelerinin sistem performansını nasıl etkilendiğini deneysel olarak göstermek amaçlanmıştır. Eş zamanlı yapılan deneylerden ilki siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum hava kanalları içeren çift geçişli güneş hava kolektörü (tip_2/gün_1), ikincisi ise siyah mat boya ile kaplanmış sac levha içeren güneş hava kolektörü (tip_1/gün_) içermektedir. Ayrıca, boyaya nanoparçacıklar eklenerek nanoparçacıkların performans üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum hava kanallarına sahip güneş hava kolektörü (tip_2 / gün_2) ve grafen nano malzeme eklenmiş siyah mat boya ile kaplı olan esnek alüminyum hava kanallarına sahip çift geçişli güneş hava kolektörü (tip_3 / gün_2) kullanılarak bir dizi deney daha aynı anda gerçekleştirilmiştir. Deneyler 40 W güce sahip emici fanlar ile gerçekleştirilmiştir. Her tasarım için enerji, ekserji, atık ekserji oranı (WER) ve sürdürülebilirlik endeksi (SI) parametreleri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise deney sonuçları analiz edilmiş ve maksimum ısıl verim tip_3/gün_2'de %73,94 olarak elde edilmiştir. Tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için COP değerleri sırasıyla 4,82, 4,52, 4,56 ve 5,22 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, tip_3/gün_2'nin ortalama ekserji verimliliği %37,73 olarak hesaplanırken, tip_1/gün_1'in ortalama ekserji oranı %17,93 olarak hesaplanmıştır. Sürdürülebilirlik göstergeleri için WER ve SI'ın en iyi sonuçları tip_3/gün_2 üzerinde yapılan deneylerde elde edilmiştir. Bu verilere bağlı olarak esnek alüminyum hava kanallarına sahip çift akışlı güneş hava kolektörünün ısıl performans için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu	: 92802
Anahtar Kelimeler	: Güneş hava kolektörü, esnek alüminyum kanallar, nano-parçacıklar, atık ekserji oranı, sürdürülebilirlik indeksi, performans arttırma.
Sayfa Adedi	: 76
Danışman	: Doç. Dr. Erdem ÇİFTÇİ

ENERGY-EXERGY ANALYSIS OF THE THERMAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH AIR COLLECTOR WITH DIFFERENT ABSORBER PLATE GEOMETERS

(M. Sc. Thesis)

Murat ÖZTÜRK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2023

ABSTRACT

Solar air collectors have had great importance nowadays as far as clean energy production is concerned. In this study, the novel double flow solar air collectors were designed, and their performance was investigated. This study aims to experimentally illustrate how thermal performance and sustainability indicators of a newly designed solar air heater with nano-enhanced aluminum air ducts instead of conventional sheet metal absorber plate affected the system performance. Two double flow solar air collectors, the former of which includes flexible aluminum air ducts coated by black matte paint (type_2/day_1), whereas the latter one includes sheet metal plate coated by black matte paint (type_1/ day_1) were studied under the same environmental conditions. Moreover, the effect of nanoparticles on performance was investigated by adding nanoparticles into the paint. For this purpose, a set of experiments were simultaneously performed utilizing solar air collector with flexible aluminum air ducts coated with black matte paint (type_2/ day_2) and the double flow solar air collector with flexible aluminum air ducts coated with graphene nanoplatelet-included black matte paint (type_3/ day_2). The experiments were conducted with the fans of 40 W power. The energy, exergy, and such sustainability indicators as waste exergy ratio (WER) and sustainability index (SI) were examined for each design. In the second part of experiments, the maximum thermal efficiency was obtained as 73.94% for the type_3/ day_2. The COP values for type_1/ day_1, (type_2/ day_1), type_2/ day_2, and type_3/ day_2 was found as 4.82, 4.52, 4.56, and 5.22, respectively. Similarly, the mean exergy efficiency of the type_3/ day_2 was calculated as 37.73%, whilst DSAC had the mean exergy rate of 17.93%. For the sustainability indicators, the best results of WER and SI were achieved in the experiments conducted on tip_3/ day_2. It was concluded that the double flow solar air collector with flexible aluminum air ducts can be utilized for thermal performance enhancement. Moreover, it is predicted that the outcomes of this study enlightened the new research topics to be emerged.

Science Code : 92802

Key Words : Solar air collector, flexible air ducts, graphene nanoplatelet, waste exergy ratio, sustainability index, performance enhancement.

Page Number : 76

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Erdem ÇİFTÇİ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yanı sıra hayatımın her noktasında benden desteklerini esirgemeyen, değerli bilgilerini ve görüşlerini benimle paylaşan ve akademik gelişimimde beni yönlendiren danışmanım sayın Doç. Dr. Erdem ÇİFTÇİ' ye teşekkür ederim. Projenin gerçekleşme aşamasında ihtiyaçların sağlanması noktasında desteklerini sunan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürü borç bilirim (Proje Kodu: FYL-2022-8194). Ayrıca bu çalışmamın hazırlanmasında maddi ve manevi desteklerinden dolayı hocam sayın Dr. Azim Doğuş TUNCER'e ve aile bireylerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ x
RESİMLERİN LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR xiii
1. GİRİŞ 1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ 5
2.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları 5
2.1.1. Güneş enerjili kurutma uygulamaları 6
2.1.2. Güneş enerjili ısıtma uygulamaları 7
2.1.3. Güneş enerjili pişirme uygulamaları 9
2.1.4. Güneş havuzları 10
2.1.5. Güneş bacaları 12
2.1.6. Güneş mimarisi 13
2.1.7. Fotovoltaik sistemler 13
2.2. Güneş Kolektörleri 16
2.2.1. Sabit güneş kolektörleri 16
2.2.2. Odaklanabilen güneş kolektörleri 20
3. LİTERATÜR TARAMASI 27
4. MATERYAL VE METOT 39
4.1. Deney Düzeneği 39

Sayfa

4.2. Deneysel Prosedür 44

5. TEORİK ANALİZ 47

5.1. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Isıl Verimi 48

5.2. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Ekserji Verimi 49

5.3. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Atık Ekserjisi ve Sürdürebilirlik İndeksi 50

5.4. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Etkinlik Katsayısı 51

5.5. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Elektriksel Parametreleri 51

5.6. Belirsizlik Analizi 52

6. TARTIŞMA 55

6.1. Hava Debisinin Etkisi 55

6.2. Ortam Havası Sıcaklığı ve Güneş Radyasyonunun Etkisi 56

6.3. Hava Çıkış Sıcaklığında ve Isıl Verimdeki Değişim 58

6.4. Ekserji Veriminde, Atık Ekserji Oranında ve Sürdürebilirlik İndeksindeki Değişim 61

6.5. Etkinlik Katsayısındaki (COP) Farklar 64

6.6. Elektriksel Ekserjideki Değişim 65

6.7. Elde Edilen Sonuçların Benzer Çalışmalar İle Karşılaştırılması 66

7. SONUÇ 67

KAYNAKLAR 69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.1. Fotovoltaik panel özellikleri 42

Çizelge 4.2. tip_1 deney sisteminin özellikleri 43

Çizelge 4.3. tip_2 deney sisteminin özellikleri 43

Çizelge 4.4. tip_3 deney sisteminin özellikleri 44

Çizelge 5.1. Farklı emici yüzeylerin emme ve yayma oranları 49

Çizelge 5.2. Belirsizlik analizinin sonuçları 53

Çizelge 6.1. Mevcut çalışmanın farklı çalışmalar ile kıyaslanması 66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Dikey güneş enerjili kurutucu 27

Şekil 3.2. Farklı akış modellerine sahip güneş hava ısıtıcıları 29

Şekil 3.3. Türbülatörlü güneş hava ısıtıcının kutulu emici yüzeyi 31

Şekil 3.4. Silindirik bakır borulu güneş hava ısıtıcı 32

Şekil 3.5. Üçlü akışlı güneş kurutucu 34

Şekil 3.6. Monokristal ve amorf silikon PV-T kolektör görselleri 36

Şekil 6.1. Deneylerde meydana gelen ortalama hava akış hızı 56

Şekil 6.2. Deney ortamı hava sıcaklığı 57

Şekil 6.3. Deney ortamı güneş radyasyonu 58

Şekil 6.4. Farklı tip PV-T'lerin hava çıkış sıcaklıkları 59

Şekil 6.5. Farklı tip PV-T'lerin kolektör ısıl verimleri 60

Şekil 6.6. Farklı tip PV-T'lerin ekserji verimleri 61

Şekil 6.7. Farklı tip PV-T'lerin sürdürülebilirlik indeksi 62

Şekil 6.8. Farklı tip PV-T'lerin atık ekserji değerleri 63

Şekil 6.9. Farklı tip PV-T'lerin etkinlik katsayıları 64

Şekil 6.10. Farklı tip PV-T'lerin elektriksel ekserjileri 65

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Doğrudan güneş enerjili kurutucular 6

Resim 2.2. Tek geçişli güneş enerjili hava ısıtıcı 7

Resim 2.3. Doğrudan güneş enerjili su ısıtıcısı 8

Resim 2.4. Kutu tipi güneş enerjili pişirici 9

Resim 2.5. Parabolik tip güneş enerjili pişirici 10

Resim 2.6. a) Tuz katmanlı güneş havuzları b) Jel tipi güneş havuzları c) Sığ güneş havuzları 11

Resim 2.7. Güneş bacası 12

Resim 2.8. Doğrudan ve dolaylı güneş enerjisi pasif ısıtma sistemleri 13

Resim 2.9. Fotovoltaik sistemlerin yapısı 14

Resim 2.10. Düz plakalı güneş kolektörleri 17

Resim 2.11. Parabolik güneş kolektörleri 19

Resim 2.12. Vakum tüplü güneş kolektörleri 20

Resim 2.13. Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri 22

Resim 2.14. Frensel tipi parabolik oluk güneş kolektörleri 23

Resim 2.15. Frensel lens tipi güneş kolektörleri 23

Resim 2.16. Parabolik çanak tipi güneş kolektörleri 24

Resim 2.17. Heliostat alan tipi güneş kolektörleri 25

Resim 4.1. Deney şeması gösterimi 39

Resim 4.2. tip_2 ve tip_3 tipi güneş kolektörü detayları 40

Resim 4.3. tip_1 tipi güneş kolektörü detayları 40

Resim 4.4. Güneş hava kolektörü kasası 41

Resim 4.5. Güneş hava kolektörüne ait emici yüzeyler 42

Resim 4.6. Deney sisteminin önden görünümü, a) tip_1 ve tip_2 b) tip_2 ve tip_3 45

Resim 4.7. Deney sisteminin yandan görünümü 45

Resim **Sayfa**

Resim 5.1. Bir güneş hava kolektöründeki ısıl kayıplar 47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A_{kol}	Kolektör yüzey alanı
c_p	Özgül ısı kapasitesi
$E_{f_{PV}}$	Fotovoltaik panelde üretilen enerji
$E_{f_{kol}}$	Kolektörde elde edilen faydalı enerji
$E_{g_{kol}}$	Kolektöre giren enerji
$E_{k_{kol}}$	Kolektörde meydana gelen enerji kaybı
$E_{güneş}$	Güneşten gelen enerji
G	Güneş ışınım şiddeti
I_{maks}	Maksimum akım
I_{sc}	Kısa devre akımı
I_0	Kolektör yüzeyine düşen güneş ışınımı
I_τ	Cam yüzeyden geçen ışınım
$I_{\tau\alpha}$	Emici yüzeyin yuttuğu enerji
$\dot{m}_{hava}$	Hava debisi
T_0	Ortam havası sıcaklığı
T_1	Kolektör hava giriş sıcaklığı
T_2	Kolektör hava çıkış sıcaklığı
$T_{güneş}$	Güneş yüzey sıcaklığı
V_{maks}	Maksimum gerilim
V_{oc}	Açık devre gerilimi
W_f	Fan gücü
X_{elk}	Elektriksel ekserji
$X_{ç_{kol}}$	Kolektör ekserji çıkışı
$X_{g_{PV}}$	Fotovoltaik kolektöre ekserji girişi
$X_{g_{kol}}$	Kolektör ekserji girişi

Simgeler	**Açıklamalar**
X_{kl}	Kolektör ekserji kaybı
η_X	Kolektör ekserji verimi
η_{elk}	Elektriksel verim
$\eta_{X_{elk}}$	Elektriksel ekserji verimi
η_t	Kolektör ısıl verim
α	Emicilik katsayısı
τ	Cam yüzey geçirgenlik katsayısı

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
COP	Etkinlik katsayısı
FF	Doldurma faktörü
PV	Fotovoltaik panel
PV-T	Fotovoltaik ısıl kolektör
SI	Sürdürülebilirlik indeksi
Tip_1/gün_1	Düz plakalı PV-T (Deney 1)
Tip_2/gün_1	Esnek alüminyum hava kanallı PV-T (Deney 1)
Tip_2/gün_2	Esnek alüminyum hava kanallı PV-T (Deney 2)
Tip_3/gün_2	Nano esnek alüminyum hava kanallı PV-T (Deney 2)
WER	Ekserji yıkımı

1. GİRİŞ

Dünya çapında artan nüfus, farklı alanlarda yaşamı olumsuz etkileyecek bazı problemler ortaya çıkarmaktadır. Temelde birçok alanda çeşitli olumsuzluklar yaratan bu problemlerin en önemlilerinden biri de enerji kaynaklarının zamanla yetersiz kalma endişesidir. Bu endişelerin temelinde de dünyanın enerji kaynaklarının temelini oluşturan petrol, kömür ve doğal gaz gibi kaynaklarının sınırlı kaynaklar olması ve milyonlarca yıl içerisinde tekrar oluşmasıdır. Bu durum sonucunda da kişi başına düşen enerji miktarının nüfusun artışı ile azalması kaçınılmazdır. Artan nüfus problemlerinin dışında teknolojinin giderek gelişmesi de mevcut enerji rezervlerini tükenme ile karşı karşıya bırakan bir gerçek olarak öne sürülebilir. Teknolojik gelişmelerin yaşam kalitesini arttırması ve hayatı kolaylaştırmasına karşın enerji tüketimini büyük ölçüde arttırdığı açıkça görülmektedir. Bu bağlamda giderek azalan enerji kaynaklarının artan maliyetleri de karşı konulamaz bir olumsuz etki olmaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için enerjiyi mümkün olduğunca verimli kullanmak alınabilecek önlemlerin en temel noktalarından birisidir. Bu noktada farklı ülkelerin odak noktası, enerji verimliliği olan farklı enerji politikaları ortaya çıkmaktadır.

Sürdürülebilir gelecek sağlamak için temel odak noktalarından biri de çevre korumasıdır. Küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin giderek baş gösterdiği şu dönemlerde gelecek için duyulan kaygı gün geçtikçe artmaktadır. Bu kaygıların önüne geçilmesi için enerji ihtiyaçları karşılanırken, gelecek nesillerin yaşamlarını sürdürmek için ihtiyaç duydukları kaynakları yok etmeden yapılması gerekmektedir. Ancak insan etkileri ile Dünya'daki doğal kaynakların her geçen gün daha çok tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kaldığı genel olarak kabul edilen bir durumdur. Buna ek olarak mevcut kullanılmakta olan enerji kaynaklarının çevreye yaymış olduğu kirletici emisyon gazları da yine gelecek için kaygı oluşturan bir durumdur. Oluşan kirliliğin meydana getirdiği sorunları en aza indirmek ve daha yaşanılabilir bir dünya ortaya çıkarmak için Kyoto Protokolü gibi anlaşmalar yapılmaktadır. Buna ek olarak daha temiz enerji kaynaklarına yönelimleri teşvik eden uygulamalar yapıldığı da söylenebilir.

Enerjinin alternatiflerinin üretilmesi ve farklı fikirlerin sunulmasının yanında enerjiyi daha verimli kullanılması da temel olarak incelenmesi gereken bir durum olduğu açıkça belirtilebilir. Artan talep doğrultusunda enerjiyi kullanıma sunan cihaz ya da enerji üretimi alanlarında verimliliği esas alarak bir denge noktası oluşturulabilir. Farklı tüketim

sınıflarındaki cihazlar, ısı yalıtımına sahip binalar ve daha çok benzer uygulamalar gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakılması için arayışların ve çalışmaların olduğunun en basit göstergelerinden bazılarıdır. Bu bağlamda nüfusun artması veya gelişen teknoloji gibi bazı nedenlerden dolayı artacak olan enerji kullanımının en uygun şartlara indirilmesi için enerjiyi etkin kullanım politikaları hayati bir önem taşıdığı açıkça vurgulanabilir.

Gerek mevcut enerji kaynaklarının tükenmesi gerekse de petrol, doğal gaz gibi yakıtların çevreye oluşturduğu zararlar geleceği yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru yöneltmiştir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve okyanuslar gibi çeşitli kendini yenileyebilen enerji kaynaklarından elde edilen enerjiler Dünya'nın geleceği için oldukça kıymetli olduğu açıkça belirtilebilir. Buna istinaden temiz kaynaklar olması ve küresel ısınma gibi global sorunalar teşkil etmemesi bu enerji kaynaklarına olan ilgiyi daha da büyütmektedir. Bu noktada bir kısmı sürekli bir enerji kaynağı sağlamamaları olumsuz etki olarak görülse de birçok ülkede yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretim sistemleri popüler bir şekilde kullanılmaya başlanması ve bu sistemlere yönelim için teşvik sağlanması göz ardı edilemeyecek kadar önemli hale gelmiştir. Bu açıdan bakıldığında sürdürülebilir bir gelecek için yenilenebilir enerji sistemleri başyapıt haline geldiği ve bu sistemlerin dünyanın geleceği açısından büyük önem arz ettiği açıkça savunulabilir. Bu sistemlerin enerji maliyeti açısından da büyük bir denge sağlayacağı düşünülebilir. Genel hatlarıyla yenilenebilir enerji kaynakları tekelleşme yerine dünyanın dört bir köşesinde, farklı türde kaynak sağlaması nedeniyle çok önemli bir noktada yer almaktadır. Gelecek için büyük bir umut olan yenilenebilir enerji kaynakları gün geçtikçe gelişmekte ve daha yaygın hale gelmektedir. Temiz bir enerji olması, yine bu enerji kaynaklarının üzerindeki ilgiyi gün geçtikçe daha çok arttırmaktadır.

İnsan yaşamını devam ettirmesi için ihtiyaç duyduğu temel yapıtaşları bulunmaktadır. Kuşkusuz enerji de bu ihtiyaçların en başında gelmektedir. Enerjinin elde edilmesinde şüphesiz devamlı olarak bir kaynak arayışı sürmektedir. Enerji kaynakları açısından azımsanamayacak kadar zengin olan Dünya'da temel enerji kaynakları iki şekilde sınıflandırılabilir. Birinci tip yenilenemez enerji kaynakları, ikinci tip ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenemez enerji kaynakları kömür, petrol, doğalgaz gibi kendini sürekli olarak yenileyemeyen ya da tekrar elde edilmesi için uzun zaman isteyen bu nedenle de sürekli olarak tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalan enerji kaynakları tipi olarak belirtilebilir.

Tükenme tehlikesi karşısında kullanıldığı zaman çevreyi tehdit edici gazlar ortaya çıkarması da ayrı bir olumsuz etkisi olarak belirtilebilir. Bunun yanı sıra Dünya'nın belli bölgeleri bu enerji kaynakları açısından zengin bir alt yapıya sahiptir. Bu durumda yine tekelleşme gibi olumsuz etkilere yol açacak durum olarak belirtilebilir. Bunun dışında dünyadaki birçok araç geçmişten günümüze bu enerji kaynaklarından sağlanan enerjiler ile devamlılığını sürdürmektedir. Bu duruma bağlı olarak da küresel ısınma gibi Dünya çapında problemler ortaya çıkmakta ve farklı çözüm yöntemleri aranmaktadır. Sonuç olarak ne kadar olumsuzluklara gebe bir enerji kaynağı olarak bahsedilse de yenilenemez enerji kaynakları halen insanların yaşamlarını devam ettirmeleri için büyük önem arz eden bir temel enerji kaynağı olarak vurgulanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi ve okyanus enerjisi (dalga ve gel-git) olarak belirtilebilir. Temelde sürdürülebilirlik açısından tükenme tehlikesi bulunmayan bu enerji tipinin en büyük sorunu sürekli olarak aynı verimde var olmamasıdır. Buna karşılık çevre dostu yapısı olması sayesinde dünyanın küresel ısınma ile yaşadığı sorunların minimuma indirilmesi noktasında büyük bir role sahip olduğu genel olarak kabul edilmiş düşüncedir.

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en popüler ve en gelişmekte olan enerji kaynaklarından biri olduğu söylenebilir. En basit şekilde güneşten gelen ışınımları belirli sistemler ile ısı ve elektrik gibi faydalı enerjiye dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemini yapan sistemler hem maliyet açsısından uygun hem de basit sistemler olması ile gerek endüstriyel anlamda gerekse de küçük ölçekli kullanımlarda oldukça yaygın bir şekilde en üst noktaya erişmektedir. Dünya açısından güneşin varlığı devam ettikçe tükenmeyecek olan bu enerji kaynağının temel sorunu kapalı havalarda ve geceleri kullanım dışı kalmasıdır. Bu olumsuz yönüne karşılık dünyanın sürdürülebilir bir geleceğe ulaşması noktasında en temel dayanaklardan biri olduğu açıkça vurgulanabilir.

Sürdürülebilir gelecek açısından güneş enerjisinden faydalanmak yok sayılamayacak derecede önem arz etmektedir. Bu etki alanlarından biri de güneş enerjisi ısıl sistemlerdir. Güneşten enerjisini ısıya dönüştürerek kurutma, mahal ısıtma ve sıcak su eldesi gibi bir çeşitli dönüşümler yapılabilir. Bu ısıl sistemlerin en yaygın kullanım türü de havalı güneş kolektörleridir. Temelde farklı emici yüzeyler sayesinde güneş enerjisini kullanarak hava ısıtması işlemi yapar. Bu tip sistemlerde farklı emici yüzeyler geliştirilerek ya da emici

yüzeye farklı işlemler uygulanarak sistem etkinliği arttırılabilmektedir. Bunun en basit yöntemlerinden biri de siyah boya ile emici yüzey kaplama işlemleridir. Temiz enerji ve sürdürülebilir bir gelecek sağlanması noktasında bu tip sistemlerin geliştirilmesi ve üretilmesi gün geçtikçe daha çok önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında yeni bir tip olarak geliştirilmiş çift geçişli esnek alüminyum hava kanallı güneş kolektörü üzerinde çalışılmıştır. Temelde düşük maliyeti olan bu kolektör tipinin nanoparçacıklar da eklenerek performans geliştirmesi hedeflenmiş ve bunun yanında standart tip düz saç plakaya sahip çift geçişli güneş hava kolektörü ile performans kıyaslaması yapılması amaçlanmıştır.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, içinde bulunduğumuz gezegen olan Dünya'nın devamlılığını sürdürebilmesi için en temel gökcismidir. Yeryüzündeki bütün canlıların başlıca enerji kaynaklarından biri olan güneş, aynı zamanda diğer birçok enerji kaynağının var olmasına da ışık tutmaktadır. Bu noktada güneş enerjisi, Dünya'nın ihtiyaç duyduğu en temel enerji kaynağı olduğu kanısına varılabilmektedir.

Güneş hacimce; %92 H, %7'de He, Fe, Ni, Mg, C, Ne ve Ca gibi farklı elementleri içerisinde barındırmaktadır. Yaklaşık olarak 695 000 km yarıçapındaki bir büyüklüğe sahip olan güneşin çekirdeği, 15,5 milyon santigrat derece sıcaklığa ulaşmaktadır. İçerisinde meydana gelen füzyon reaksiyonları sonucu hidrojen, helyuma dönüşmektedir. Her saniyede yaklaşık 600 milyon ton hidrojen, bu füzyon süreci ile helyuma dönüşmektedir. Bu dönüşümler sonucu ihtiyaç duyulan güneş enerjisi oluşmakta ve Dünya'nın yeryüzüne ulaşmaktadır.

Dünya'ya uzaklığı yaklaşık olarak 149,5 milyon km olan Güneş'in toplam ışınım gücü, $3{,}846\times10^{26}$ W'dır. Bu toplam değerden Dünya'nın atmosferinin dış yüzeyine 1 370 W/m^2 gibi sahip olduğundan çok daha küçük bir kısmı ulaşmaktadır. Bu atmosfer yüzeyine düşen kısmının da bölgeden bölgeye değişmek üzre yeryüzüne maksimum 1 100 W/m^2 gibi bir değer ulaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşan bu güneş enerjisi ise Dünya'nın ısı ve ışık enerjisi gibi çeşitli ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Dünya'da fotosentez gibi birçok hayati önem taşıyan süreçlerin gerçekleşmesinde güneş enerjisi başrol oynamaktadır. Bunun yanı sıra sürdürülebilir gelecek kaygısı insanları farklı arayışlara sürüklemiştir. Bu noktada milyarlarca yıl ömrü olan ve Dünya'nın sahip olduğu en önemli enerji kaynağı olan güneş enerjisi, enerji üretim noktasında yok sayılamayacak derecede odak noktası haline gelmiştir Elektrik üretimi, mahal ısıtma sistemleri, su ısıtma sistemleri, kurutma sistemleri ve su damıtma sistemleri gibi birçok alanda kullanıma başvurulmuştur.

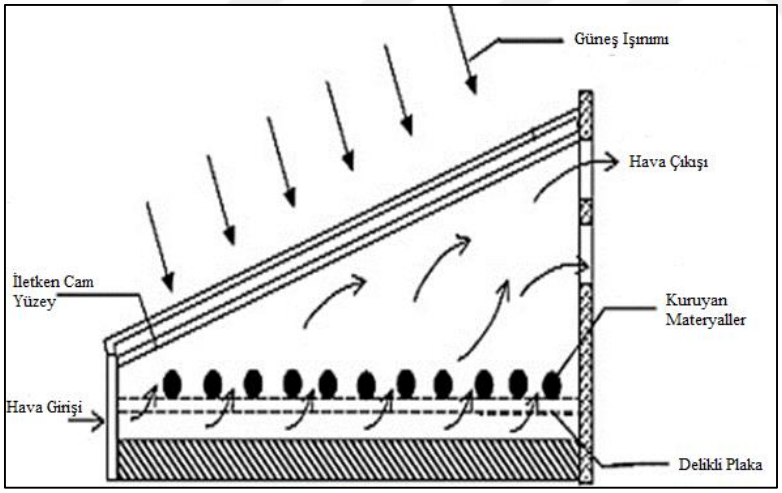
2.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Gerek endüstriyel anlamda gerekse de küçük çaplı işlemlerde güneş enerjisinden faydalı enerji elde etmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerde uygun

fiyata sahip olmak ve yüksek verimlilik elde etmek gibi çeşitli hedefler yer almaktadır. Bu noktada yaşamı kolaylaştırabilecek, farklı sektörlerde pratik yöntemler sağlayacak veya endüstriyel anlamda enerjiden tasarruf sağlayacak, güneş enerjisinden faydalı enerji elde edilebilecek farklı uygulamalar yapılmıştır.

2.1.1. Güneş enerjili kurutma uygulamaları

Kurutma, ürünün içerisinde yer alan suyun, üründen uzaklaştırma işlemidir. Geçmişten günümüze kadar pek çok kurutma işlemine yönelik uygulamalar yapılmıştır. Bunlar arasında en yaygın olarak bilinen de geleneksel güneş altına yayılmış ürünlerin bekletilerek kurtulmasıdır. Ancak hem hijyenik olmaması hem de çeşitli doğa şartlarına maruz kalarak üründe bozulmalar meydana gelmesi kurutma işlemleri için daha farklı yöntemler geliştirme gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu gereksinimlere bağlı olarak farklı güneş enerjili kurutucular ortaya çıkmıştır. Temelde bu sistemler güneş enerjisini toplayarak doğrudan muhafaza edilen ürüne aktarma anlayışı üzerine kurulmuştur.



Resim 2.1. Doğrudan güneş enerjili kurutucular [1]

“Isıl enerji depolama malzemelerine dayalı güneş enerjisi kurutucusu, 40°C–60°C sıcaklık aralığında sabit durumda tarım ve gıda ürünlerinin sürekli olarak kurutulması için oldukça etkilidir. Bu tür kurutucular, temiz enerji kaynaklarının kullanımı ve maliyet etkinliği nedeniyle, küresel olarak fosil yakıta dayalı güneş enerjisi kurutucularının potansiyel bir alternatifi haline gelmiştir [2].”

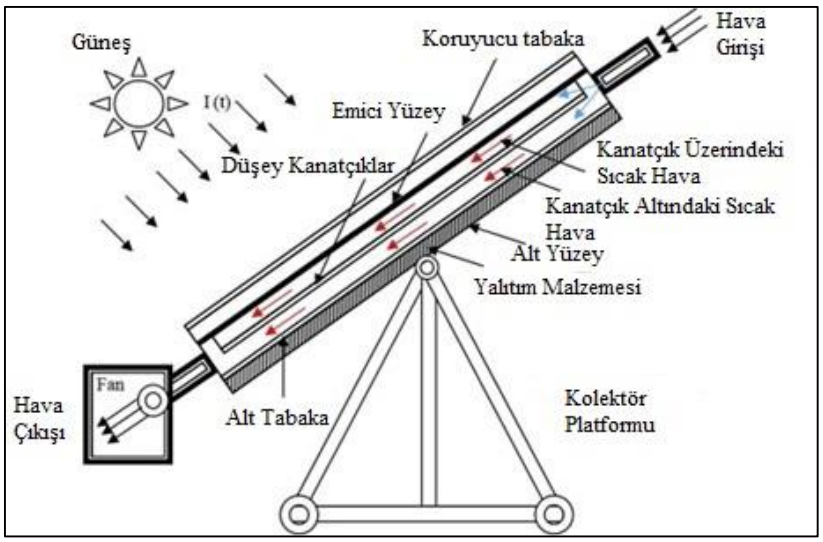
Zamanla tasarlanan kurutucu tipleri gelişmiş ve daha çok performans alma hedefli yeni tip kurutucular geliştirilmiştir. Geliştirilen bu tiplerde ana hedef minimum maliyetle maksimum verimi alma odaklıdır. Gerek sera tipi gerekse de farklı bütünleşmiş sistemler ile bu kurutucular gelişmesini sürdürmektedir. Özellikle güneş enerjisi bakımından zengin olan ülkemiz için tarımsal alanda kullanılmak üzere güneş enerjisi ile kurutma sistemleri popülerliğini arttırmaktadır. Hem temiz çevreyi desteklemesi hem de sürdürülebilir açıdan tükenme ile karşı karşıya kalmaması bu tip sistemlerin daha farklı boyutlara yönlendirilebileceğini garanti etmektedir. Farklı teknolojik gelişmeler ile birlikte daha modern bir hal alarak ülkemiz kalkınma projeleri açısından olumlu bir yön verilebilir.

2.1.2. Güneş enerjili ısıtma uygulamaları

Güneş enerjili hava ısıtıcılar

Sürdürülebilir bir gelecek amacıyla güneş enerjisi, özellikle mahal ısıtmada doğal gaz gibi enerji kaynaklarının yerini alabilecek ya da onları destekleyerek kullanımını azaltacak bir konumda yer almaktadır. Bu önemi bu tip sistemlerin gün geçtikçe daha çok geliştirilme ve kullanımını daha yaygın hale getirme sonuçlarını doğurmuştur.

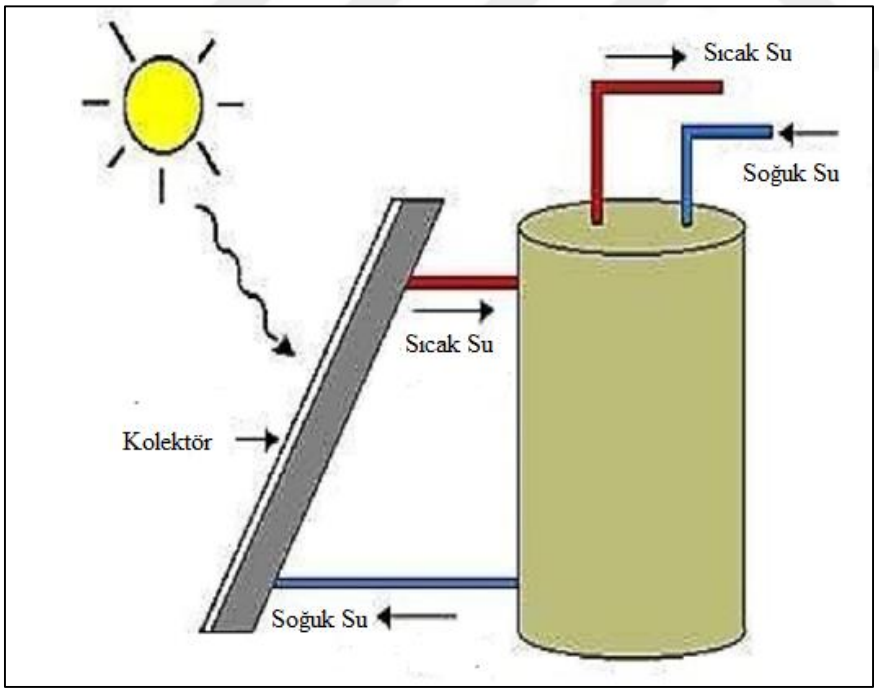
"Güneş hava ısıtıcısı, gelen güneş radyasyon enerjisini faydalı ısı enerjisi formuna dönüştürür. Konsantrik olmayan düz plaka tipi güneş kolektörlerinden biridir. Ucuzdur, yapımı basittir ve esas olarak orta ve düşük sıcaklık uygulamaları için geçerlidir [3]."



Resim 2.2. Tek geçişli güneş enerjili hava ısıtıcı [4]

Resim 2.2, farklı amaçlarla kullanılabilen güneş enerjili hava ısıtıcılarını ifade etmektedir. Pek çok farklı alanda kullanılabilen bu sistemler, güneşten gelen ışınımları emici yardımı ile kolektör içine alınan havaya ısı olarak aktarır. Elde edilen bu sıcak hava da gerek mahal ısıtmada gerek farklı sistemlere entegre edilmesi ile kullanılabilir. Geleneksel olarak siyah boyalı siyah saç plakalı emici yüzeye sahip olan bu sistemlerin performansını arttırmak ya da daha uygun maliyetlere elde etmek amacıyla farklı geometrilerde ya da farklı malzemelerden imal edilmiş emici yüzeyler yapılmaktadır. Bunun yanı sıra ısıl performansını arttırmak amacıyla sistem emici yüzeyini nano-malzemeler gibi seçiciliği arttıracak ürünler ile kaplama yapılmaktadır. Ana odak daha uygun fiyatlarda maksimum performansı alabilmektir. Günümüzde çift geçişli, üç geçişli gibi hava sirkülasyonunu arttıracak ya da sistem içerisine ısı transferini daha iyi noktalara getirecek kanatçıklar ekleme işlemi de yapılmaktadır. Bu bağlamda güneş enerjili hava ısıtıcılar, gün geçtikçe gelişmekte ve ilerleyen süreçte çok daha iyi konuma geleceğini öngörmek kaçınılmazdır.

Güneş enerjili su ısıtıcılar



Resim 2.3. Doğrudan güneş enerjili su ısıtıcısı [5]

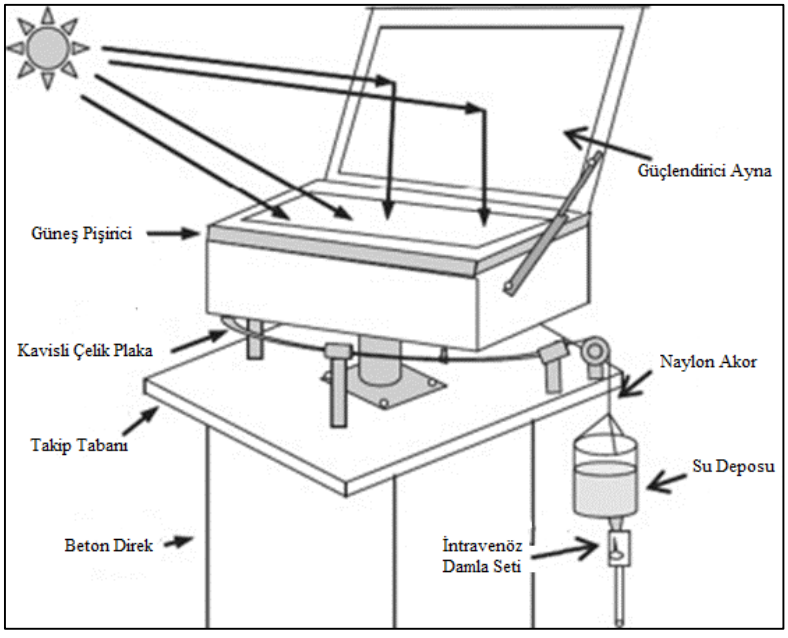
Temelde binalarda sıcak su ihtiyacını temin etmek amacıyla kullanılan su ısıtma sistemleri ülkemizde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Pratikliği ve düşük amorti süresine sahip olması ile ilgi çeken bu sistem bölgeden bölgeye değişmekle beraber en basit haliyle

ısıtılacak olan su güneş kolektörlerin içerisindeki emici boruların içerisinde dolaşır ve sıcak su tankında depolanır. Ancak sistem performansını arttırmak amacıyla daha soğuk bölgelerde dolaylı sistemler olarak adlandırılan farklı sistemler de kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde de sistem performansını arttırmak amacıyla farklı ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Resim 2.3, doğrudan güneş enerjili su ısıtıcılarını göstermektedir.

2.1.3. Güneş enerjili pişirme uygulamaları

Doğal gaz gibi yakıtların kullanımı besin ihtiyaçlarının giderilmesi noktasında büyük önem taşımaktadır. Ancak ortaya çıkan emisyon oranları gittikçe büyük problemler ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra elektriğe dayalı ocakların kullanımı da oldukça maliyetlidir. Bu noktada güneş enerjili pişiriciler gerek uygun maliyeti gerek çevre dostu olması ile ilgi çekmektedir. Temelde güneş enerjili pişiriciler güneşten gelen ışınımları pişirilecek ürüne aktararak pişirme işlemini gerçekleştirir. Bunun yanı sıra yakıt kullanımına ihtiyaç duymadığı için çevre dostudur, özellikle kırsal ve kamp alanlarında büyük önem arz etmektedir.

"Güneş enerjili pişirici, güneş ışınım enerjisini ısı enerjisine dönüştüren ısı değiştirici işlevine sahip basit bir aygıttır. Güneş enerjili pişiricilerde güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürme soğurma ve yoğunlaştırma ilkesine bağlı olarak gerçekleşir [6]."

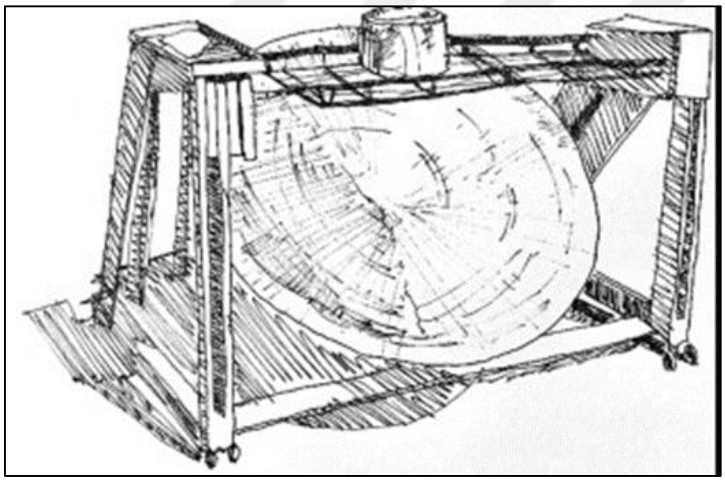


Resim 2.4. Kutu tipi güneş enerjili pişirici [7]

Güneş enerjili pişiriciler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Kutu tipi pişiriciler
- Parabolik tipi pişiriciler

Kutu tipi pişiriciler, bütün yüzeyleri ısıtılarak kullanılan sistemlerdir. Kullanılan kutunun güneş ışınları ile temas etmeyen yüzeylerinin yalıtımına dikkat edilmektedir. Bu tip pişiricilerde kullanılan yansıtıcı yüzey sayısına bağlı olarak sıcaklık değerleri 80-150℃ arasında değişmektedir. Ayrıca bu sistemlerde pişirme işlemi yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunun aksine parabolik tipi pişiriciler, isminden de anlaşılabileceği gibi çanak şeklinde bir yapıya sahiptir. Bu tip pişiriciler güneş ışınlarını odaklama mantığı ile çalıştığı için daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı pişirme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu tip pişiricilerde güneş takibi oldukça önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra yüksek sıcaklık değerleri nedeniyle kullanımında dikkatli olunması gerekmektedir.



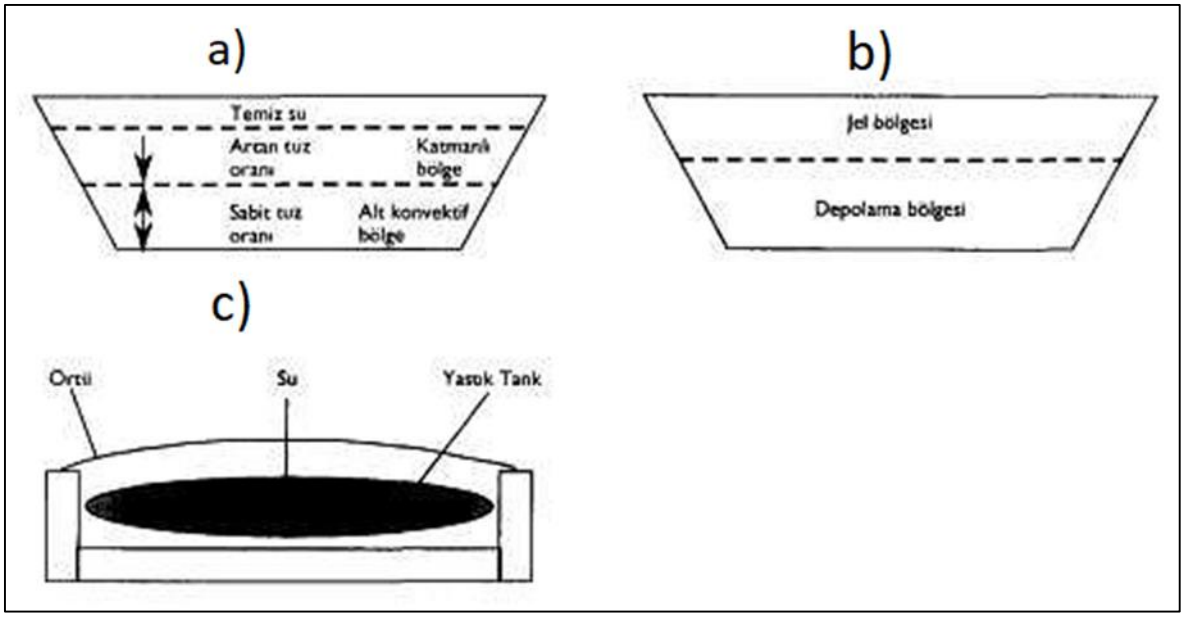
Resim 2.5. Parabolik tip güneş enerjili pişirici [7]

2.1.4. Güneş havuzları

Güneş havuzları, temelde güneş enerjinden elde edilen ısı enerjisini depolamak amacıyla kullanılan sistemlerdir. Bu tip sistemlerin çalışma prensipleri taşınımla ısı transferi mantığına dayanmaktadır. Basit yapısı ve düşük maliyeti nedeniyle kullanım açsısından büyük avantaj sağlayan sistemlerdir. Mahal ısıtma, elektriksel güç üretme ve endüstriyel anlamda kullanımda uygun bir sistem olarak görülmektedir.

“Güneş havuzları, güneş enerjisinin doğrudan toplanıp, yine aynı ortamda depolandığı basit bir güneş enerjisi uygulamasıdır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulunsa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur [8].”

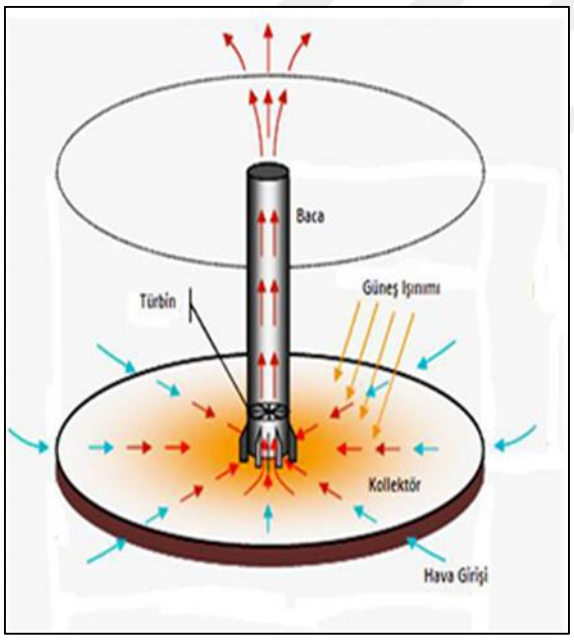
Güneş havuzları temelde üç sınıfta incelenebilir. İlk sistem tuz katmanlı sistemlerdir. Bu sistemde havuzdaki suyun içerisinde belirli oranda tuz bulundurulmaktadır. Üst yüzeydeki katmanda tuz yoğunluğu düşük iken, derinlikle aynı oranda yoğunluk artmaktadır. Buna ek olarak havuzun tabanı siyah boya ile kaplanarak su sıcaklıkları arttırılabilir. Tuz tabanlı sistemlerde yoğunluk farkından dolayı ısınan su üst bölgeye aktarılamaz. Havuzun üst bölgesinde konveksiyonun engellenmesi alt kısımlarda kaynama noktasına ulaşılmasını sağlar. Bunun yanı sıra diğer bir tip jel havuzlardır. Üst yüzeyde oluşacak konveksiyonu engellemek için jel kullanılabilir. Daha az yoğun ve güneş ışınımlarını geçirgen yapıda olan bir jel su yüzeyinde kalabilir ve suda kazanılan ısı kaybını engelleyebilir. Bu sistemler güneş havuzlarında yüksek oranda tuz ihtiyaçlarını engelleyebilir. Üçüncü sistem ise sığ güneş havuzlarıdır. Bu tip bir havuzda sıvı, plastik "yaşlıklar" içinde tutulur. Yaşlıklar kalın beton dilime yerleştirilir ve cam ile kapatılır. Isıtılacak olan su yaşlıklara gün boyunca pompalanır ve güneş tarafından ısıtılır. Gece olunca su, depoya pompalanır. Ayrıca bu sistemlerin en önemli avantajı suyun içilebilir bir durumda olmasıdır [9].



Resim 2.6. a) Tuz katmanlı güneş havuzları b) Jel tipi güneş havuzları c) Sığ güneş havuzları [9]

2.1.5. Güneş bacaları

Güneş bacaları, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin farklı yöntemlerinden biridir. Düşük sıcaklık uygulamalarından biri olan bu yöntemde dairesel bir kolektör kullanılmaktadır. Basitçe bacanın en alt yüzeyindeki hava, kullanılan kolektörler sayesinden ortam sıcaklığına göre daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Isınan bu hava da bir baca içerisinden yukarı doğru yükselmektedir. Yükselen sıcak hava bacadan dışarı atılmaktadır. Havanın baca içerisinde yerleştirilmiş olan türbinleri harekete geçirerek ısıl enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü sağlanacaktır. Elde edilen bu kinetik enerjide jeneratör yardımı ile elektrik enerjisine dönüşüm sağlar. Temelde bu sistemler sera etkisi, ısınan havanın yükselmesi ve kinetik enerjiden elektrik enerjisi elde etme ilkelerine bağlı olarak çalışmaktadır. Elde edilebilecek güç güneş radyasyonuna, baca boyuna ve hava ısıtılması için kullanılan kolektör alanına bağlıdır. Bunun yanı sıra sistemde kullanılan türbin gibi birçok parametre de oldukça önem arz etmektedir.



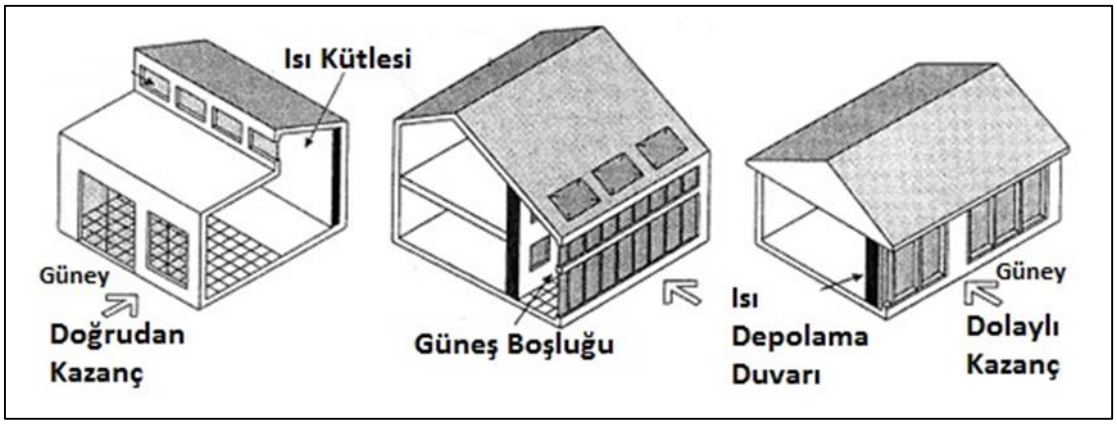
Resim 2.7. Güneş bacası [10]

Güneş bacalarında elde edilen güç, günlük güneş ışınım oranı, baca yüksekliği kolektör alanı ile ilgilidir. Aynı güç oranı elde etmek için, yüksek baca ve küçük kolektör alanı veya daha kısa baca ve daha büyük bir kolektör alanı kullanılabilir [10]

2.1.6. Güneş mimarisi

Binalarda güneş enerjisi farklı mimari tasarımlara dayanarak pasif ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi farklı işlemlerde kullanılabilmektedir. Doğrudan veya dolaylı olarak uygulanabilen bu sistemlerde binanın konumu ve mimari yapısı esastır. Doğrudan pasif ısıtma sistemleri güneş ışınlarının doğrudan binanın güneye bakan cam yüzeyine etki ederek ortam sıcaklığının yükselmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra farklı bina tasarımları ile geliştirilebilen bu sistemler, geleneksel olarak kullanılan ve bir bina yapımında oldukça önemli olan bir yöntemdir.

Dolaylı pasif ısıtma sistemlerinde ise, ısı depolama ve emiciliği arttırıcı bir sistemin binaya uygulanması ile binanın ısıtılması sağlanır. Temelde bu sistemler, binanın güneye bakan yüzeyine camla örtülü bir oda ve bu odanın bina ile birleşen kısmına siyah boya gibi seçiciliği arttıracak ve ısıyı daha fazla depolayabilecek uygulamaların yapılması esasına dayanmaktadır. Cam yüzeyden geçen güneş ışınları, cam örtülü odadaki havanın ısınmasını sağlar ve ısınan havanın gerek iletim yoluyla gerek daha farklı yöntemler ile konut içerisine aktarılabilmektedir. Bu sistemlerde kış aylarında dışarı ile yapılabilecek yalıtım oldukça önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra yaz aylarında ise sistem cam yüzeyi farklı elemanlar ile kaplanarak yüzey içerisindeki havanın ısınması engellenebilmektedir.

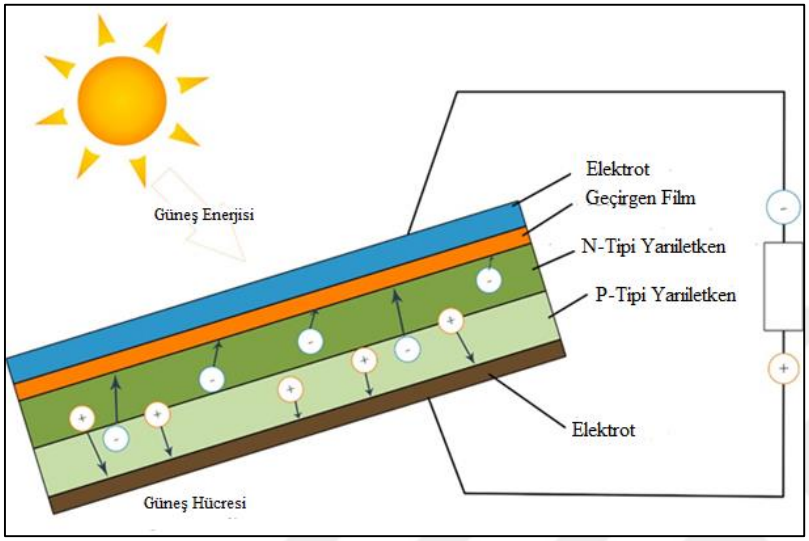


Resim 2.8. Doğrudan ve dolaylı güneş enerjisi pasif ısıtma sistemleri [11]

2.1.7. Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik sistemler (PV), en temel haliyle güneşten aldığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Son zamanlarda hm endüstriyel işletmelerde hem de konutlarda

oldukça popüler olarak kullanımı devam etmektedir. Benzer şekilde şebekeden uzak elektrik enerjisinin ulaşmadığı bölgelerde de PV büyük önem taşımaktadır. Bir fotovoltaik santralin tamamlanması için güneş pillerine (PV), bataryalara, invertere, şarj regülatörlerine ve bunun gibi çeşitli elemanlara ihtiyaç duymaktadır.



Resim 2.9. Fotovoltaik sistemlerin yapısı [12]

PV hücreleri, fotovoltaik etki prensiplerine bağlı olarak çalışmaktadır. Fotovoltaik etki en temel haliyle güneş ışınımının elektriğe dönüştürme prensibidir. Güneş ışığında yer alan fotonları silisyum gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarpıp etki oluşturarak atomlardaki elektronları serbest bırakmaları ile fotovoltaik etki ortaya çıkmaktadır. [13]

Fotovoltaik etki, bir PV hücresi tarafından güneş fotonlarından elektrik enerjisi elde etme işlemidir. Güneş fotonları, PV yapısında yer alan yarı iletken malzemelere etki ederek elektronların hareketlerini gerçekleştirmektedir. Yani en basit haliyle güneş ışınımlarındaki enerji yarı iletken malzemenin bünyesinde yer alan elektronlara aktarılır.

Fotovoltaik etki tüm maddelerde gerçekleşmesine rağmen kullanılabilir düzeyde elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamak için yarı iletken maddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyada PV üretimi için kullanılan en yaygın yarı iletken tipleri; silisyum, galyum arsenit ve kadmiyum tellürdür.

Değerlik bandı atomun tamamen elektronlar ile dolu olduğu son durumdur. Boş iletim bandı ise elektronların serbest bir şekilde hareket ettiği, yasak enerji seviyesinden sonra yer alan

ilk durumdur. Buna bağlı olarak bant genişliği ise değerlik bandından, iletim bandına bir elektron göndermek için gereken enerji seviyesini ifade etmektedir.

Bir güneş enerjisi fotonu, mor ötesi ile kızıl ötesi dalgaları ve bunların arasında yer alan farklı dalga boylarındaki ışınımlardan oluşmaktadır. Buna bağlı olarak fotovoltaik malzemeler ise bu dalga boylarındaki farka bağlı olarak kendine uygun olan tipine tepki verir. N-tipi ve p-tipi yarı iletkenlerden oluşan PV yüzeyine bu farklı dalga boylarındaki fotonlar düşmektedir. Bu fotonların bir kısmı soğrulurken diğer bir kısmı da yansımaktadır. Bu soğrulan fotonların soğrulma oranları bant genişliğine bağlıdır. Bant genişliğinden daha yüksek enerji seviyesindeki fotonlar soğrulmaktadır. Fotovoltaik hücreleri oluşturan n-tipi yarı iletken malzemenin yüzeyine soğrulan fotonlar düştüğü anda elektronlar eklemin pozitif tarafına boşluklar ise negatif tarafına hareket etmektedir. Bu etki doğrultusunda da elektrik akımı oluşmaktadır. Buna bağlı olarak resim 2.9 bir güneş hücresinin yapısını göstermektedir.

Yapısına göre güneş hücreleri;

- Kristal silisyum güneş hücreleri,

- İnce film güneş hücreleri şeklinde sınıflandırılabilmektedir.

Kristal silisyum güneş hücreleri, tek kristal silisyum ve çok kristal silisyum olarak ikiye ayrılmaktadır. Üretim maliyeti açısından tek kristal silisyum tipine karşılık çok kristal silisyum güneş hücreleri tipi ortaya çıkmaktadır. Doğada en çok bulunan maddelerden biri olan silisyumun işlenmeden kullanımı uygun değildir. Bu nedenle maliyeti artmaktadır. Çok kristal tipi güneş hücrelerinin yapasındaki farklılıklardan dolayı verimi tek kristal tipine göre daha düşüktür.

İnce film güneş hücreleri, pek çok yarı iletken malzemenin bir araya gelerek katmanlar şeklinde bir hal alması sonucu ortaya çıkmaktadır. Genel olarak yapısında amorf silisyum kullanılmasına rağmen çok daha farklı tipte yarı iletken maddelerden oluşturulabilmesi mümkündür. Genelde farklı çökeltme yöntemleri ile yapılan bu tipin maliyetleri daha düşüktür. Seri üretim noktasında oldukça avantajlı olan bu sistemin verimi daha düşüktür.

Bunun yanı sıra konut tipi kullanımlarda da uygun olmaması ile silisyum güneş hücrelerine kıyasla daha düşük ömürlüdür.

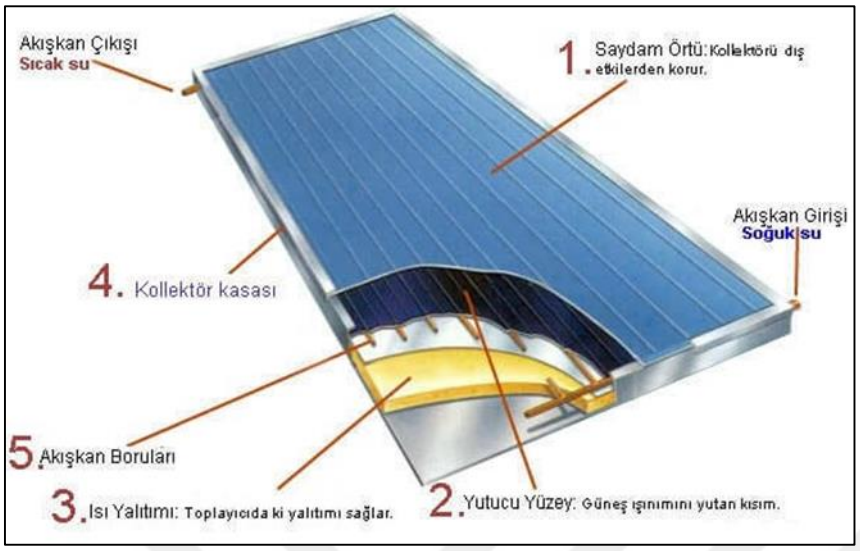
2.2. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörleri, güneş radyasyon enerjisini taşıma ortamının iç enerjisine dönüştürme yetisine sahip olan özel tip bir ısı eşanjörüdür. Herhangi bir güneş ısıl sisteminin ana bileşeni güneş kolektörüdür. Temel olarak gelen güneş ışınımını emen, daha sonra ısıya dönüştüren ve sistemde dolaşan akışkana aktaran bir cihazdır. Toplanan güneş enerjisi, kullanılan akışkandan doğrudan sıcak suya veya mahal iklimlendirme ekipmanına veya gece veya bulutlu günlerde kullanılmak amacıyla ısıl enerji depolama tankına aktarılır. Temel olarak güneş kolektörleri; odaklanabilen (yoğunlaştırıcı) ve odaklanamayan (sabit) olarak ikiye ayrılabilir. Odaklanamayan güneş kolektörleri, güneş ışınımını yakalamak ve soğurmak için aynı alanı kullanırken, odaklanabilen güneş kolektörleri ışınımı yakalayıp daha küçük bir alıcıya odaklamak için içbükey yansıtıcılar kullanırlar. Odaklanabilen kolektörler yüksek sıcaklık uygulamaları için daha uygundur. Bunun dışında ısı transfer akışkanı veya örtülü-açık durumuna göre ayırt edilebilmektedir [14].

2.2.1. Sabit güneş kolektörleri

Güneş kolektörleri, genel olarak güneş altındaki davranışlarına göre sınıflandırılmaktadır. Sabit güneş kolektörleri güneşi izlemeyen, tek doğrultuda bulunan sistemlerdir. Temel olarak düzlemsel, parabolik ve vakumlu olmak üzre üç başlık altında incelenebilmektedir.

Düz plaka güneş kolektörleri



Resim 2.10. Düz plakalı güneş kolektörleri [15]

Resim 2.10, düz plaka güneş kolektörü yapısını göstermektedir. Temel olarak saydam örtü, yutucu yüzey, ısı yalıtım noktası, kolektör kasası ve akışkan borusu olmak üzre 5 kısımdan oluşmaktadır.

1. Saydam örtü, temel olarak sistemi dış etkilere karşı korumakla görevlidir. Bunun yanı sıra ısı kaybını da engellemektedir. Ayrıca kullanılacak olan saydam örtü seçilirken güneşten gelen kısa dalga boylu ışınımı geçirme oranına dikkat edilmelidir. Ek olarak saydam örtü geçirgenlik oranı yüksek, yutma ve yansıtma oranı düşük olması beklenir.

2. Yutucu yüzey, güneşten gelen ışınımları yutan ve sistemde dolaşan akışkana aktaran bileşendir. Yutucu yüzey malzemesi için genelde ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler seçilmektedir. Bunun yanı sıra siyah boya ile kaplama gibi farklı modifikasyonlar uygulanarak yutucu yüzeyin performansı iyileştirilebilmektedir. Ayrıca yutucu yüzeyden korozyona karşı dirençli ve farklı imalat işlemlerine dayanıklı olması beklenir.

3. Yalıtım malzemesi sistemde olabilecek enerji kayıplarını minimuma indirmek için gerekli olan en temel bileşenlerdendir. Yalıtım malzemesi olarak genelde cam yünü, taş yünü, poliüretan köpük gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bunun dışında yalıtımın yutucuya bakan yüzeyi alüminyum folyo ile kaplanarak uzun dalga boylu ışınların

yutucuya geri dönüşü sağlanabilir. Kullanılan malzemenin sıcaklığa, neme, yanmaya ve yağmur gibi farklı etkilere dayanıklı, uzun ömürlü olması beklenir.

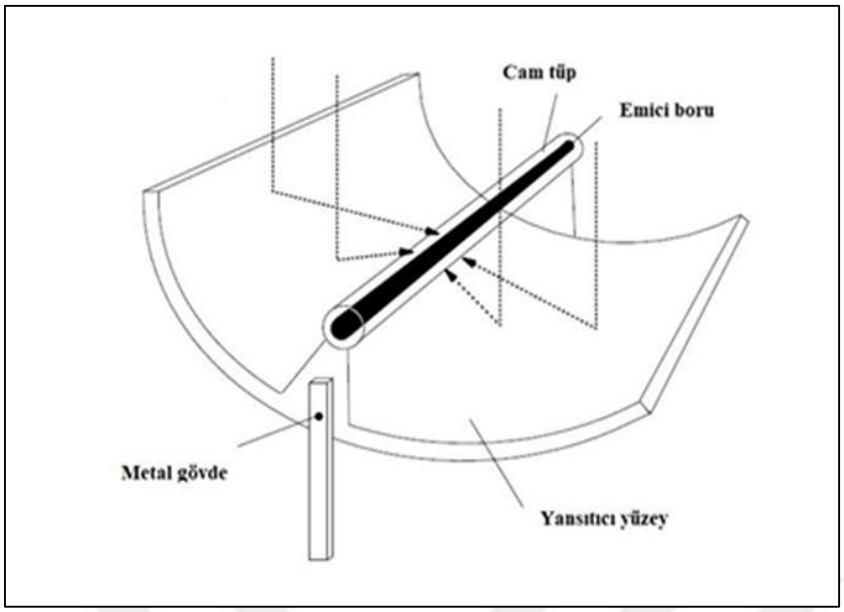
4. Toplayıcı kasası alüminyum, paslanmaz çelik gibi farklı malzemelerden yapılabilmektedir. Kasalar içerisindeki malzemeleri tahribat ve yağmur gibi çeşitli doğa olaylarına karşı koruma yetilerine sahip olmalıdır. Bunun yanı sıra sızdırmazlık kontrolü yapılmış ve şartlar sağlanmış olmalıdır. Yapımı sırasında malzemelerin ısıl genleşmeleri de dikkate alınmalıdır.

5. Yutucu yüzeye gelen enerjinin çoğunluğu akışkana borularına aktarılırken geri kalanı da toplayıcıda depolanır ya da farklı yollar ile çevreye aktarılır. Akışkan borular seçilirken ısı iletim katsayısına dikkat edilmelidir. Isı iletim katsayısı büyük malzemeler seçilmelidir. Ömrü uzun olan, paslanma gibi farklı etkilere karşı dayanıklı malzemelerden oluşmalıdır.

Sabit güneş kolektörleri, doğal taşınımlı ve zorla taşınımlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğal taşınımlı sistemler, ısınan suyun yoğunluğundaki değişime dayanarak sistem içerisinde kendiliğinden dolaşmaktadır. Zorla taşınımlı sistemlerde ise, pompa yardımı ile akışkanın dolaşımı sağlanmaktadır. Her iki sistem de açık ya da kapalı sistem şeklinde tasarlanabilmektedir. Açık sistemlerde dolaşan akışkan ile kullanılacak olan akışkan aynıdır. Bunun aksine kapalı sistemlerde ise ısıtma ile kullanılan akışkanlar farklıdır. Eşanjör yardımı ile gerçekleşen bu sistemlerde, korozyon, donma ve kireçlenme sorunlarının ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Parabolik güneş kolektörleri

Parabolik güneş kolektörleri, görüntüleme yapmayan sistemlerdir. Gelen güneş radyasyonun tamamını soğurucuya yansıtma yetisine sahiptir. Parabolün birbirine bakan iki yüzeyi sayesinde güneş doğrultusunda hareket gerekliliği azaltılabilmektedir [14].



Resim 2.11. Parabolik güneş kolektörleri [16]

Resim 2.11, parabolik güneş kolektörlerini göstermektedir. Bu sistemlerde güneş radyasyonu yansıtıcı yüzey yardımı ile odak noktada yer alan emici yüzeye aktarılır. Cam örtü ile kaplanan bu emici yüzeyin içerisinde kullanılacak olan akışkan dolaşmaktadır. Yüksek oranda yoğunlaştırılan güneş radyasyonları emici yüzeye yansıtılarak sistemde dolaşan akışkana aktarılır. Bu yansıtıcı yüzey yardımı ile çok yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmektedir.

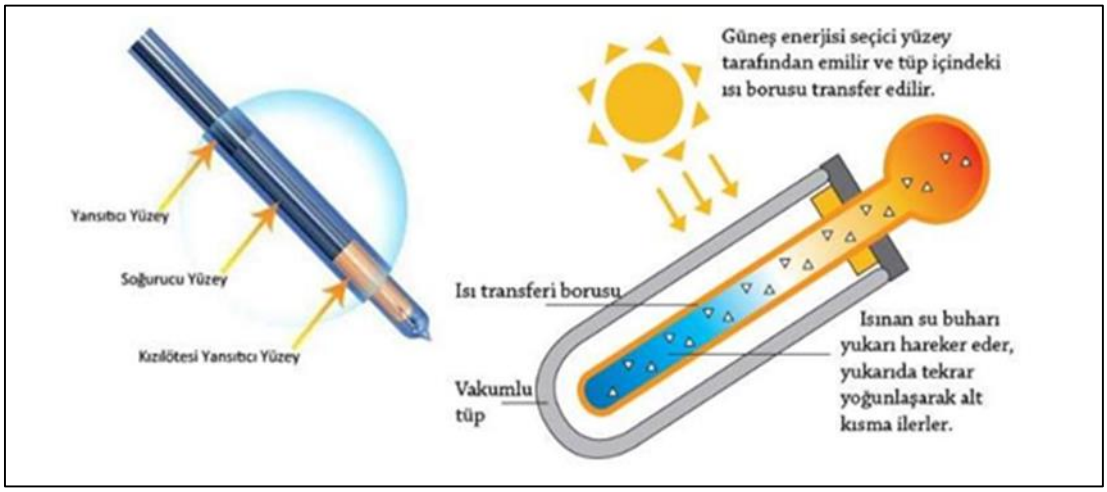
Bu sistemlerde emici boru ile cam tüp tasarımı oldukça önem arz etmektedir. Isı emici boruların boyutları sistemin performansını etkileyen en temel faktörlerdendir. Boru yüzeyinin artması ile daha fazla güneş ışınımı alacağı açıkça belirtilebilir. Fakat boru çapının artması ile yansıtıcı yüzey alanı azalacak ve yoğunlaştırma oranı da azalacaktır. Bu nedenle boru çapını belirlerken en uygun değerleri seçmek büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra cam örtü de ısı kayıplarını değerlendirme noktasında çok önemlidir. Güneş yoğunlaştıkça emici boru ısınır ve çevreye ısı transferi meydana gelir. Bu ısı transferinin en az miktarda tutulması sistem performansı açısından temel noktalardandır. Bu durumu en uygun seviyeye çekmek için uygun cam örtü belirlenmeli ve sistemde kullanılmalıdır.

Vakumlu güneş kolektörleri

Soğuk, bulutlu ve rüzgârlı zamanlarda, standart düz plakalı güneş kolektörleri yetersiz kalmaktadır. Ayrıca nem gibi etmenler de bu tip kolektörlerin bozulmasına veya verim

düşmesine neden olmaktadır. Bu noktada vakumlu güneş kolektörleri diğer tiplere kıyasla daha farklı çalışma sistemine sahiptir. Bu güneş kolektörleri vakumla kapatılmış bir tüpün içindeki ısı borusundan oluşur [14].

Resim 2.12, vakum tüplü güneş kolektörlerini göstermektedir. Bu sistemler düz plakalı sistemlerde benzer alanlarda kullanılmaktadır. Fakat yüksek sıcaklık seviyesine sahiptir. Bu özelliği onun kullanım alanını da genişletmektedir. Düz plakalı sistemlerde karşı karşıya kalınan birçok sorun bu sistemlerde giderilmiştir.



Resim 2.12. Vakum tüplü güneş kolektörleri [17]

2.2.2. Odaklanabilen güneş kolektörleri

Güneş kolektörlerinde ısı kayıpları, kayıp yaşanılan bölgenin alanının küçültülmesi ile azaltılabilir. Odaklanabilen güneş kolektörlerinde büyük miktarda güneş radyasyonu nispeten küçük bir toplama alanında yoğunlaştırılmasına rağmen, düz plaka kolektörler tarafından ulaşılanların çok üzerindeki sıcaklıklara ulaşılabilir. Bu sistemler, radyasyon kaynağı ile enerji emici yüzey arasına optik cihaz yerleştirilerek yapılır [14]. Bu sistemlerin temel avantajları şu şekildedir;

- Bu tip sistemler daha yüksek sıcaklılara ulaşmaktadır. Bu da daha yüksek bir termodinamik verim sağlamaktadır.

- Yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulan alanlarda çalışma imkânı sağlamaktadır.

- Isı kayıpları daha düşüktür.
- Daha basit bir yapıya sahiptir.
- Daha düşük ısı kayıpları olduğu için yalıtım gibi çeşitli uygulama maliyetleri daha düşüktür.

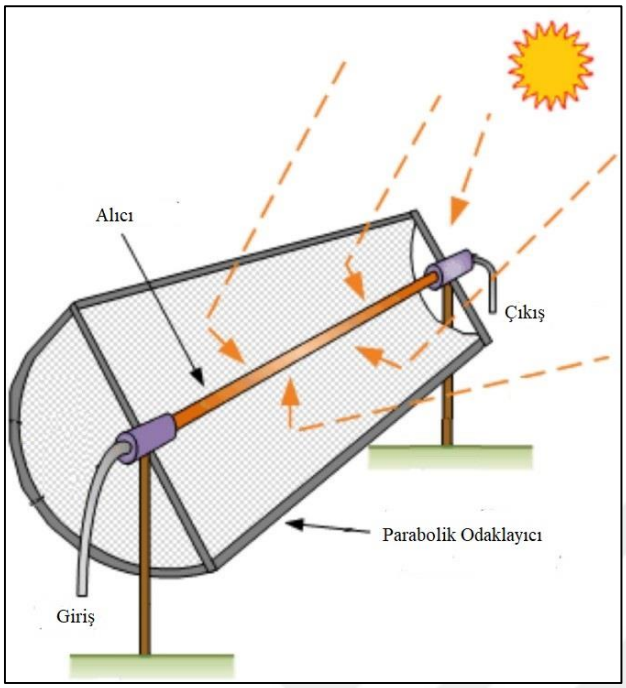
Bunun yanı sıra dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir;

- Odaklama sistemleri, odaklama oranına bağlı olarak az oranda dağınık radyasyon toplamaktadır.
- Güneş izleme sistemine ihtiyaç duymaktadır.
- Periyodik temizlik ve yenileme ihtiyaçları daha fazladır.

Odaklanabilen güneş kolektör sistemleri pek çok tasarıma sahiptir. Temel olarak,

- Parabolik oluk toplayıcı
- Doğrusal Fresnel reflektörü
- Parabolik çanak
- Merkezi alıcı tipi olarak incelenebilir [14].

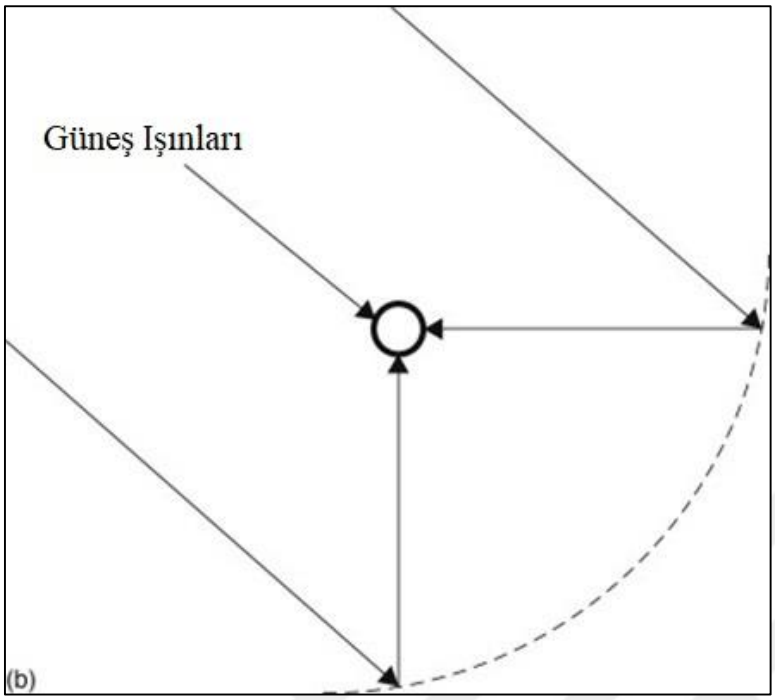
Parabolik oluk kolektörleri (PTC)



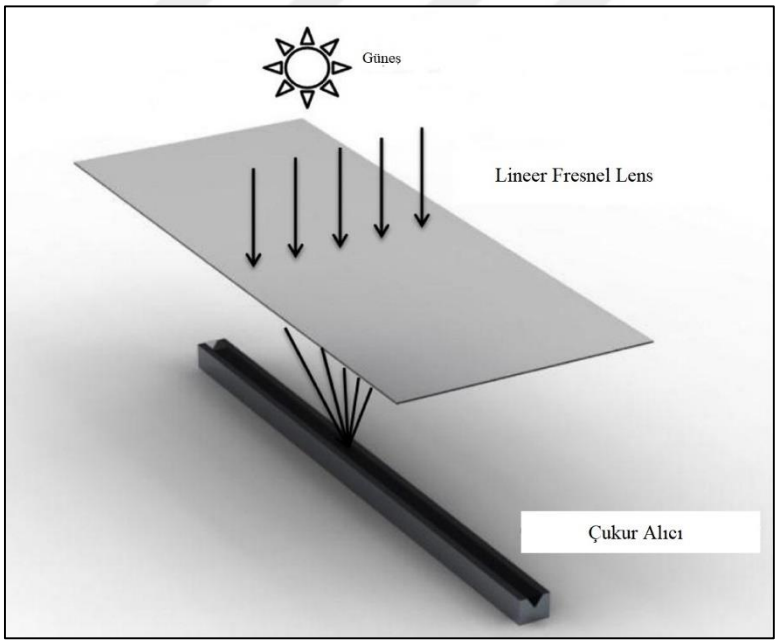
Resim 2.13. Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri [18]

Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri yüksek sıcaklıklar elde etmek amacıyla kullanılan sistemlerdir. 400 °C sıcaklıklara kadar çalışabilen bu sistemler düşük maliyeti ve basit yapısı ile yaygın kullanım sunmaktadır. Parabolik güneş kolektörleri temel olarak yansıtıcı, akışkan tüpü ve platform olmak üzere üç ana malzemeden oluşmaktadır. Yansıtıcı malzeme güneşin odaklanıp akışkan tüpüne yansıtılması görevinde kullanılmaktadır. Bu sistemlerdeki yansıtıcı yüzey parabolik bir şekle bükülmesi ile kullanılmaktadır. Bu noktada akışkan tüpü ise cam gibi ısı kaybının minimum seviyede tutulabileceği malzemelerden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra emiciliği arttırmak amacıyla siyah boya ile kaplama gibi farklı işlemler de uygulanabilmektedir. Bunun yanı sıra güneş izleme sistemi ile de doğudan batıya yada kuzeyden güneye güneşi takip ederek çok az kolektör ayarı gerektirir ve yüksek performans sağlar. Resim 2.13 parabolik oluk tipi güneş kolektörlerini göstermektedir.

Frensel kolektörleri



Resim 2.14. Frensel tipi parabolik oluk güneş kolektörleri [18]



Resim 2.15. Frensel lens tipi güneş kolektörleri [19]

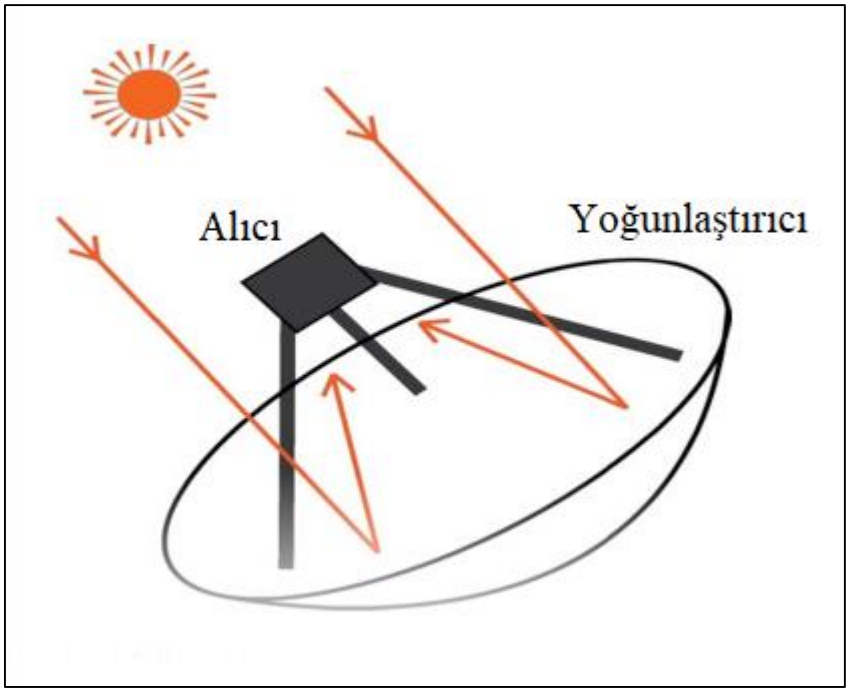
Frensel güneş kolektörleri; frensel lens kolektörler ve frensel reflektörler olarak iki tip modele ayrılmaktadır [14]. Resim 2.14, frensel lens tipi güneş kolektörlerini göstermektedir. Bu tip güneş kolektörleri, plastik malzemeden oluşmaktadır. Sistem güneş ışınlarını tek bir

nokta alıcıya odaklayacak şekilde üretilir ve konumlandırılır. Benzer şekilde resim 2.15, frensel tipi parabolik oluk güneş kolektörlerini göstermektedir. Bu sistemler parçalanmış yapıdaki parabolik oluk tipi güneş kolektörlerine oldukça benzer yapıdadır. Bu sistemlerden farklı olarak parabolik yapıların yerine farklı modeller ya da belirli bir odağa ışığı yansıtan düz bir model olarak da kullanılabilir.

Parabolik çanak kolektörleri

Parabolik çanak kolektörleri, güneşi iki eksende takip edip, sistemdeki çanak şeklindeki yansıtıcının odak noktasında yer alan alıcıya yoğunlaştıran sistemlerdir. Sistemdeki alıcı ise elde edilen güneş enerjisini içerisinde yer alan akışkana aktarmaktadır. 1500^{o}C sıcaklıkların üzerine çıkabilen bu sistemlerin avantajları;

- Emici alanı küçük olduğu için radyasyon kaybı minimumdur.
- Güneş takibi sayesinde kolektör verimi oldukça yüksektir.
- Yoğunlaştırma oranlarının yüksek olması sayesinde ısı enerjisi emme ve güç dönüşüm sistemlerinde verimleri yüksektir [20].

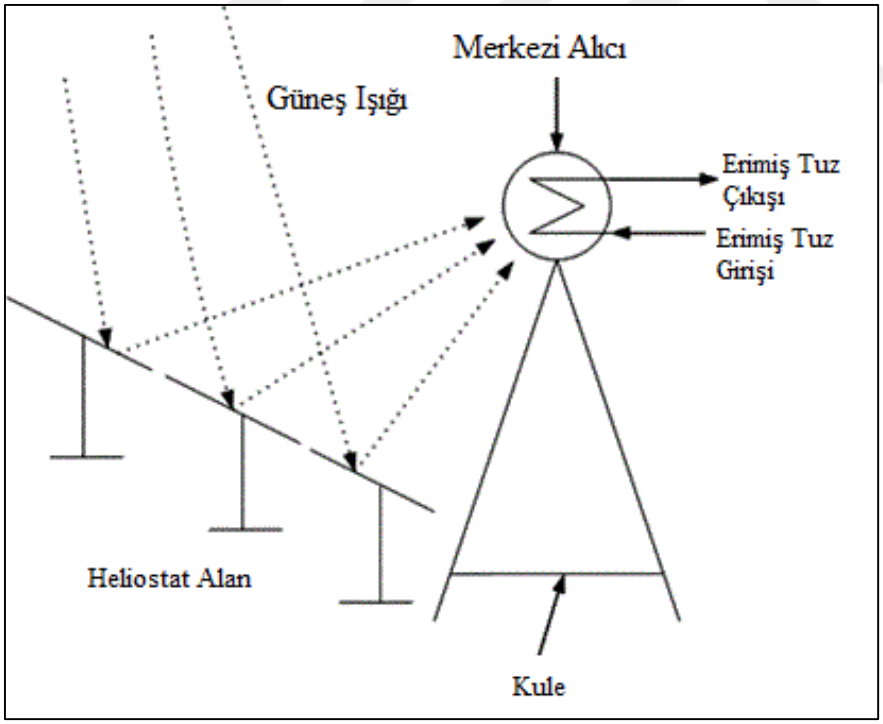


Resim 2.16. Parabolik çanak tipi güneş kolektörleri [21]

Bu tip güneş kolektörleri, temel olarak elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerden elektrik elde etmek için çanak tipi kolektöre güç dönüştürme ünitesi entegre edilir. Parabolik çanak kolektörlerden yansıtılan güneş enerjisi alıcıda toplanır. Alıcıda toplanan ısı sistem içerisinde yer alan ısı transfer akışkanına aktarılır. Elde edilen bu akışkan güç dönüştürme sistemine iletilmektedir. Resim 2.16, parabolik çanak tipi güneş kolektörünü göstermektedir.

Heliostat alan kolektörleri

Resim 2.17, heliostat alan tipi güneş kolektörlerini göstermektedir. Bu tip güneş kolektörleri yüksek enerjili sistemlerdir. Gelen güneş radyasyonlarını heliostatlar yardımı ile bir alıcıya yansıtmaktadır. Bu sistemler çok sayıda heliostat ya da ayna içermektedir. Heliostatlar da çok sayıda hafif iç bükey ayna kullanılabilmektedir. Alıcıya yansıtılan güneş ışınları bir ısı transfer akışkanına aktarılabilmektedir. Bu nedenle alıcı siyah renkli ısı transfer katsayısı yüksek malzemelerden oluşabilmektedir.



Resim 2.17. Heliostat alan tipi güneş kolektörleri [22]

Bu tip sistemlerin birçok avantajlı yönü vardır.

- Güneş enerjisini odaklayıp tek bir alıcıya aktarırlar, böylece ısıl enerji taşıma gereksinimleri azalmaktadır.

- Konsantrasyon oranları 300 ila 1500 arasındadır. Enerji toplama noktasında oldukça verimli sistemlerdir.

- Isıl enerjiyi kolay bir şekilde depolayabilir.

- Oldukça büyük çaplı sistemlerdir. Bu sayede ölçek ekonomilerinden yararlanmaktadır.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Çiftçi ve ark., yaptıkları bir çalışmada yeni bir güneş kurutucusu geliştirmişler, deneysel ve sayısal analiz yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada saç yüzeyler kullanılarak kanatlı ve kanatsız dikey kolektör durumları incelenmiştir. Elde edilen bulgular ve sayısal analizin sonucunda tasarlanmış olan dikey güneş kurutucusunun veriminde artış görüldüğü belirtilmiştir. Bu duruma ek olarak atık ekserji de kanatlı ve kanatsız durumlar için 0,47-0,58 ve 0,43-0,56 şeklinde verilmektedir [23].



Şekil 3.1. Dikey güneş enerjili kurutucu [23]

Alta ve ark., ikisi kanatlı olmak üzre üç farklı tip güneş enerjili hava ısıtıcısını karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca çalışmada kullanılan hava ısıtıcıların kanatlı olanların biri ile kanatsız yapıdaki modelde iki adet cam örtü kullanılmıştır. Bunun yanında emici yüceye 17 kanat uygulandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak kanatlı yapıdaki hava ısıtıcıların verimleri kanatsız yapıdakilere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir ayrıca daha kalın şeffaf cam örtü kullanılması ile ısı kayıpları daha aza indirilerek verim artış noktasında etkili olabileceği vurgulanmıştır [24].

Abuşka ve ark., alüminyum ve bakır yapılı düz ve V oluklu güneş hava kolektörlerinin performansı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, 0.04, 0.06, 0.08 ve 0.1 hava kütle akış hızları kullanılmış ve mat siyaha boyanmış alüminyum veya bakır bir

emici ile deneysel olarak sistem incelenmiştir. V oluklu saç yapısına sahip kolektörlerde verim %6'lık bir artış gösterdiği ve 0,1 kg/s'de, 0,04 kg/s'ye kıyasla ısıl verimlilikte %13-15'lik bir artışın elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca bu sistemlerin ortalama ekserji verimliliğini de %6-12 olduğunu bildirmişlerdir [25].

Benli, farklı emici plakalara sahip yeni bir güneş enerjili hava ısıtıcı için çalışma yapmıştır. Bu çalışmada 5 farklı tipteki emici yüzey (oluklu trapez, ters oluklu, ters trapez ve taban düz plaka) için incelemeler yapılmış ve yapılan deneyler Fırat Üniversitesi yerleşkesinde, Türkiye'nin Doğu Anadolu ili Elâzığ ilinde meteorolojik koşullar altında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak hem akışkanın kütlesel debisindeki artış hem de güneş radyasyon değerlerindeki artış sistem verimini etkilediği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra oluklu kolektörün trapez kolektörden daha verimli olduğu ve ters oluklu kolektörün ters trapez ve düz plaka kolektörlerden daha verimli olduğu gözlemlenmiştir [26].

Chaudhri ve ark., yeni bir güneş hava ısıtıcısı için incelemeler yapmıştır. Yapılan bu çalışmada enine kama biçimli nervür pürüzlü yeni bir model seçilmiş ve deneysel bir çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak sürtünmeden ve soğurucu ile hava arasındaki ısı alışverişinden kaynaklı ekserji kaybının azaldığı belirtilmiştir. Bunun yanı sıra incelenen parametreler arasında düz kanala göre pürüzlü kanalın ortalama ekserjetik verimlilik artışı %316-488 arasında olduğu bildirilmiştir [27].

Tuncer ve ark., hava kanalı modifikasyonları ile güneş enerjili hava ısıtıcılarının performanslarını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada; paralel geçişli, çift geçişli ve V oluk tipi bir güneş enerjili hava ısıtıcı kullanılmıştır. Belirlenmiş olan farklı hava akış hızlarında deneysel olarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre güneş enerjili hava ısıtıcıların ısıl verimleri sırasıyla %54–60,29, %61,86–66,95 ve %70,91–78,18 olarak paylaşılmıştır. Bunun yanında ekserji verimliliği de %14,62–18,95, %12,28–15,68 ve %6,68–9,74 şeklinde belirtilmiştir [28].



Şekil 3.2. Farklı akış modellerine sahip güneş hava ısıtıcıları [28]

El-said ve ark., girdap akışlı bir güneş enerjili hava ısıtıcı üzerinde çalışma yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada yarı silindirik soğurucu plaka kullanan boru şeklinde bir sistem kullanılmış ve girdap akış tipi tercih edilmiştir. Geliştirilen bu sistem radyal ve eksenel tip kanatçıklar ile deneysel olarak incelenmiştir. Maksimum verime ulaşılan 5 radyal kanatlı sistemde ısıl ve termohidrolik verimler 0.050 kg/s hava akış hızında sırasıyla %76.79 ve %72.40 olarak verilmiştir. Yine bu kanat tipinde maksimum ekserji verimliliği, 0.030 kg/s hava akış hızında %1,30 olarak bulunmuştur [29].

Abuşka, konik yüzeyli bir güneş enerjili hava ısıtıcı tasarlamış ve deneysel olarak incelemiştir. Yaptığı bu çalışmada 0.04, 0.08 ve 0.10kg/s üç durum için incelemeler yapılmış ve düz bir plaka ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modeldeki ısıl verim artışı düz plakaya göre belirlenen kütle akış hızlarında sırasıyla %6,0, %9,8 ve %10,6 bulunmuştur. Bu bağlamda da geliştirilen modelin ısıl verimde düz plakaya göre daha pozitif sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir [30].

Moghadasi ve ark., sekizgen geometrik şekle sahip bir güneş enerjili hava ısıtıcının performans analizini yapmışlardır. Geliştirdikleri bu geometriyi karartılmış alüminyum plakadan yapmışlardır ve emici yüzeyin üzerine ultra şeffaf cam örtü yerleştirilip deneysel ve matematiksel olarak analizlerini yapmışlardır. Elde edilen sonuçlarda ortalama ve en yüksek ısıl verim %78,73 ve %85 olarak verilmiştir. Bunun yanı sıra ortalama ve en yüksek ekserji verimliliği de %32,87 ve %49 olarak belirtilmiştir [31].

Muthukumaran ve ark., ısıl enerji depolamalı bir güneş enerjili hava ısıtıcı incelemişlerdir. Geliştirilmiş olan bu sistemde 5 beş tip konfigürasyon için deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler 30 dakika aralıklarla sabah 9'dan akşam 6'ya kadar yapılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilmiş olan ısı depolamalı model yüksek ısıl performans sağlamasına rağmen termo-ekonomik etkilerin de göz önünde bulundurulması gerektiğine vurgu yapılmış ve ısıl depolama entegreli sistemin ısı transfer performansını görselleştirmek için sayısal simülasyonu yapılacağını belirtmişlerdir [32].

Kabeel ve ark., bölmeli cam kanatlı bir güneş enerjili hava ısıtıcısı üretmişler ve deneysel olarak inceleme yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada geliştirilmiş olan güneş enerjili hava ısıtıcı ile geleneksel tipteki modeller kıyaslanmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca sisteme toplamda 19 boyuna kanatçık takılmıştır. Sonuç olarak üç farklı bölme (170, 410 ve 800) ile değerlendirilen bu sistemde performansın bölme sayısı ile doğru orantıda olduğu ve geliştirilen sistemle günlük verimlilik %29,91–51,69 oranları arasında iyileştirildiği belirtildi [33].

Abdullah ve ark., türbülatörlü bir çift geçişli güneş enerjili hava ısıtıcı üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada türbülatörlü ve türbülatörsüz olarak iki sistem karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve emici yüzeyin üst ve alt yüzeyine alüminyum kutular takılmıştır. Sonuç olarak kutuların takılması ile Nusselt sayısı %30 ila %38 oranında artmıştır. Ayrıca aynı anda kıyaslanan tek geçişli sisteme göre çift geçişli sistemin performansının daha iyi olduğu belirtilmiştir [34].



Şekil 3.3. Türbülatörlü güneş hava ısıtıcının kutulu emici yüzeyi [34]

Akhbari ve ark., güneş enerjili hava ısıtıcısı tasarlamışlar ve bu sistemin performansını incelemek amacıyla sayısal ve deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada yeni bir U-dönüşü hava akış desenine sahip üçgen kanallı bir sistem geliştirmişler ve ısıl performansını değerlendirmişlerdir. Ayrıca en iyi sonuçlar 60 tepe derecesinde elde edilmiştir. Bunun yanı sıra bu tepe derecesinde debi 0,005 kg/s'den 0,045 kg/s'ye arttırıldığında sistem ısıl performansı %45,27 arttığı ve çıkış hava sıcaklığı %33 azaldığı belirtilmiştir [35].

Gill ve ark., düşük maliyetli güneş hava ısıtıcıları için bir çalışma yapmışlardır. Performans testleri için düşük maliyetli çift ve tek camlı güneş hava ısıtıcıları tasarlamışlardır. Ayrıca oluşabilecek maliyeti minimize etmek için termokol, ultraviyole stabilize plastik levha gibi malzemeler kullanılmıştır. Geliştirdikleri bu tek ve çift camlı sitem paket yataklı sistemlerin maliyetinin %22,8'i ve %26,8'i kadar olduğu ve belirlenen debide tek cam, çift cam ve paket yataklı sistemlerin verimleri sırasıyla %30,29, %45.05 ve %71,68 olduğu belirtilmiştir [36].

Poole ve ark., hindi yetiştirmek için düşük maliyetli bir güneş enerjili hava ısıtıcının analizini yapmışlardır. Bu çalışmada uygun maliyeti nedeniyle siyah plastik levhadan yapılmış transpired güneş kolektörü değerlendirilmiş ve bu sistemin 240 hindi olan bir kümeste propan ısıtıcısını desteklediği belirtilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kullanılan sistemin

maksimum 25,4 °C sıcaklık artışı verdiği ve belirlenen şartlarda, tarımsal, ticari ve endüstriyel işlemlerde en uygun maliyetli ve boyutlandırılabilir olduğu belirtilmiştir [37].

Saxena ve ark., düşük maliyetli bir ısıl enerji depolamalı güneş enerjili hava ısıtıcı için çalışma yapmıştır. Çalışmada maliyet açısından daha düşük bir ısıl enerji depolama malzemesi içeren silindirik bakır boru ile modifiye edilmiş güneş hava ısıtıcı analiz edilmiştir. Çalışmada üç farklı düşük maliyetli ısıl enerji depolama malzemesi ve üç farklı hava ısıtıcı modeli incelenmiştir. İncelemeler sonucunda klasik sisteme kıyasla yeni geliştirilen sistemlerin daha iyi performans sergilediği belirtilmiş ve ayrıca modifiye edilen sistemin maliyeti de 67,75 $ olarak paylaşılmıştır [38].



Şekil 3.4. Silindirik bakır borulu güneş hava ısıtıcı [38]

Mgbemene ve ark., atık alüminyum soda kutularından bir güneş enerjili hava ısıtıcı geliştirmişlerdir. Çalışmada deneysel kurulumda 16 adet soda kutusundan oluşan 15 sütun oluşturuldu ve her bir soda kutusu siyah silikon boya ile boyanıp, tek geçişli ve dört geçişli iki sistem incelenmiştir. Yapılan incelemelerin sonucunda tek geçişli sistemin dört geçişliye göre daha verimli çalıştığı görülmüş ve dört geçişli sistemin 128 °C sıcaklığa ulaştığı

belirtilmiştir. Uygun maliyeti ile bu sistemin elde edilen bu sonuçlar ile evlerin ısıtılması, endüstrilerde havanın ön ısıtılması ve tarımsal kurutma amaçları için kullanılabileceği bildirilmiştir [39].

Khanlari ve ark., sera kurutma işlemi için uygun maliyetli bir güneş enerjili hava ısıtıcısı için inceleme yaptılar. Bu çalışmada sera kurutucusuna tüp tipi bir güneş hava ısıtıcı entegre ettiler ve bu hava ısıtıcıda siyah boya ile kaplanmış 1mm kalınlığında saç plaka kullandılar. Elde edilen sonuçlarda mevcut olan sisteme entegre edilmesi ile birlikte kurutma süresinde %30 azalma sağlanmış ve bu sistemin ortalama verimi a verimi 0.010, 0.013 ve 0.015 kg/s hava debilerinde sırasıyla %45.56, %53.29 ve %56.77 olarak belirtilmiştir [40].

Widyolar ve ark., ultra düşük maliyetli bir PV-T geliştirdiler ve deneysel analizlerini yaptılar. Geliştirdikleri bu PV-T'de alüminyum mini kanallar ve görüntülemesiz optikler kullanmışlardır. Yapılan analizlerin sonucunda geliştirilen bu sistem 80 derece maksimum sıcaklık ve ortam sıcaklığında %57,4 ısıl verimlilik ve %12,3 elektrik verimliliği gösterdiği belirtilmiştir [41].

Khanlari ve ark., delikli bölmelere sahip olan güneş enerjili hava ısıtıcının enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Kullanılan bu emici yüzeyi hem standart mat siyah boya ile hem de CuO nano-parçacıkları ile karıştırılmış olan mat siyah boya ile kaplamışlardır. Nano-parçacıklı sitemin ısıl verimi %58,10-76,22 ve nano-parçacık olmayan sistemin ısıl verimi %54,96-72,05 arasında bulmuşlardır. Ek olarak nano-parçacıklar ekserji verimliliğini %9,25–10,58 arasında arttırdığı belirtilmiştir [42].

Nazarri ve ark., serpantin borulu düz plakaya nano-parçacıklar uygulayarak güneş enerjili sus ısıtıcıların performansını incelemişlerdir. İnceledikleri bu sistemde CuO nano-parçacıkları ile karıştırılmış siyah boyalı bakır emici plaka, standart siyah boyalı bakır emici plaka ve bakır emici plakayı kıyaslamışlardır. Nano-parçacıklar siyah emici plakalı sistemin verimliliğini %18,8 ve düz sistemin verimliliğini %35,8 arttırmıştır. Bunun yanında sistemin geri ödeme süresini 0,6 yıl kısalttığı vurgulanmıştır [43].

Selimefendigil ve ark., üçlü geçişli sera kurutma amacı ile kullanılan bir hava kolektörü performansı arttırılması için bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada CuO nano ile kaplı ve kaplı olmayan iki tip kolektörler incelenmişlerdir. Ayrıca kullanılan sistemde hava

debisi 0,014 kg/s olarak belirlenmiş ve sera kurutma sistemine entegre edildiği belirtilmiş. Yapılan güncellemeler ile birlikte nanomalzeme kullanılmadan kurutma süresi %26,66 ve nanomalzeme mevcut olan sistemde kurutma süresi %35,71 azalmıştır. Nanomalzeme olan sistemin ısıl ve ekserji verimi de %70,39–75,11 ve %9,05–10,18 arasında olduğu vurgulanmıştır [44].



Şekil 3.5. Üçlü akışlı güneş kurutucu [44]

Kumar ve ark., üçgen yapıdaki güneş enerjili hava ısıtıcıların performansını geliştirmek için bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada kullandıkları üçgen emici plakanın bir tanesini siyah boya ile kaplamışlar ve diğer emici plakayı da %1 grafen nano malzeme ile karıştırılan siyah boya ile kaplayıp belirli aralıklar ile ölçümleri almışlardır. Elde edilen maksimum verimler siyah boya için %43,15, grafen kullanılan sistem için %48,23 olarak verilmiştir. Grafen kullanımı ile ortalama verimin arttırılabileceği vurgulanmıştır [45].

Abdelkader ve ark., düz plakalı bir güneş enerjili hava ısıtıcısının performansını geliştirmek için nanomalzemelerin kullanımı alanında çalışma yapmışlardır. Geliştirdikleri bu emici yüzey ile düşük emisyon ve yüksek verim elde etmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla siyah boyaya karbon nanotüpler ve CuO nano-parçacıkları ekleyerek emici yüzeye uygulamışlardır. Sonuç olarak, %4 CNTs (karbon nanotüpler) /CuO-siyah boya ile en yüksek verim %90.16 olarak elde edildiği belirtilmiş. Ayrıca standart siyah boyalı sisteme göre ortala bir güneşte ısıl verim artışı da %24.4 olarak bildirmişlerdir [46].

Jeong ve ark., nanomalzeme içeren emicilerin karakteristiklerini incelemek için bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada tek ve çift camlı örtüye sahip TİNOX ve CuO nanomalzemelerine sahip emici yüzeyleri hem deneysel hem de FDTD simülasyonu ile incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda geleneksel emicilerin performansı TİNOX emicinin performansının çift ve tek cam koşullarında %97 ve %95 kadarı olarak belirtmişlerdir. Ayrıca tavsiye edilen emici için ek ısıl kapsülleme sayesinde çift cam koşullarında daha iyi sonuç verdiği bildirmişlerdir [47].

Seimefendigil ve ark., siyah boya ile karıştırılmış nanomalzemenin etkisini araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada sera kurutma sisteminin kuzey duvarını grafen nano platelet gömülü bir siyah boya ile kaplayarak deneysel analizini gerçekleştirmişler. Yapılan analizlerin sonucunda nanomalzemelerin etkisi ile kurutma süresi 90 dakikaya düşürülmüş ve geleneksel kuzey duvarı olan sistemin ekserji verimi nano yüzey ile birlikte %4.6' den %5.38'e çıktığı belirtilmişlerdir [48].

Sivakumar ve ark., zorlanmış konveksiyon tipi karma modlu güneş kurutucusu performansı geliştirilmesi için çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada geleneksel tip siyah boya ile kaplanmış alüminyum emici plaka ile CuO nano-parçacıkları ile geliştirilmiş olan yeni tip emici yüzeyi deneysel olarak analiz edip kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda %0,04 CuO nano-parçacık kullanılması durumunda kolektör verimi %4 arttığı ve kurutma süresinin ise %6 azaldığı bildirilmiştir [49].

Elhady ve ark., vakum tüplü güneş ocaklarının performansında iyileştirmeler yapmak için nano-malzemeler ile bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada metalik teller ve nano grafen parçacıklar sahip bir tüple herhangi bir değişime sahip olmayan tüp deneysel olarak kıyaslamışlardır. Ayrıca çelik, alüminyum ve bakır tellerin sayısı 5, 10 ve 15 arasında değiştirilerek işlemler yapıldığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak en iyi performansın bakır telli sistemden elde edildiği ve 10 telli sistemde performans düşüşü olduğu bildirilmiştir [50].

Kabeel ve ark., yeni geliştirilmiş bir piramit tipi güneş soğurucu performansı iyileştirilmesi için nano-malzemeler ile kaplama üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu soğurucunun geliştirilmesi için yüzeyinin TiO_2 ile kaplanmış ve kaplanmamış modelleri ile deneysel bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca güneş damıtma sisteminde kullanılan bu soğurucuların değerlendirilmesi için farklı su seviyelerindeki su sıcaklıkları için ölçüm değerleri

almışlardır. Sonuçlarda mevcut kaplama ile su sıcaklıklarında 1,5-2,2 °C arasında iyileşme olduğu ve bu kaplama ile sistem verimi %6,25 iyileştiği belirtilmiştir [51].

Selimefendigil ve Şirin, PV-T'lerin performansında iyileştirmeler sağlamak amacıyla nano bazlı yeni bir sistem analiz etmişlerdir. Yaptıkları bu deneysel çalışmada konvensiyonel, parafin bazlı ısıl enerji depolama üniteli ve parafin nano-malzemesi ile kaplanmış enerji depolamalı sistem olmak üzre üç durum için incelemeler yapmışlardır. Analizlerin sonucu olarak, konvensiyonel, parafin bazlı ısıl enerji depolama üniteli ve parafin nano-malzemesi ile kaplanmış enerji depolamalı sistemlerin ekserji verimleri sırasıyla %10,52–13,59, %11,08–14,36 ve %12,52–15,44 aralıklarında olduğu belirtmişlerdir [52].

Kong ve ark., geleneksel kurutma sistemlerine kıyasla yeni bir kurutma sisteminin karakteristiklerini incelemek için bir çalışma yapmışlardır. Geliştirilen bu kurutma sisteminde bir monokristal fotovoltaik sistem içeren güneş fotovoltaik ısıl hava kolektörü içermektedir ve kurutma ürünü olarak şalgam seçilmiştir. Sonuçlarda güneş kurutucu sistemin geleneksel doğal kurutma süresinden daha kısa sürede kuruttuğu ve güneş kurutucu ile nem seviyesi 20,370'den 0,197 düşerken geleneksel doğal yöntemler ile 21,320 ila 0,250'ye düştüğü ve daha uzun zaman aldığını belirtmişlerdir. Ayrıca geleneksel yöntemle kurutma sonucunda üründe küf meydana geldiği bildirilmiştir [53].



Şekil 3.6. Monokristal ve amorf silikon PV-T kolektör görselleri [53]

Ortiz-Rodriguez ve ark., kauçuk levhaların kurutma işleminde iki farklı sistem için inceleme yaptılar. Yaptıkları bu çalışmada doğrudan ve dolaylı güneş enerjili kurutma sistemlerinin performans analizlerini yapmışlardır. Doğrudan kurutma sistemi 6 mm kalınlığında polikarbonat kaplamaya sahip parabolik şekildeki galvanizli çelik yapıdaki sera kurutucudan oluşurken, doğrudan kurutma sistemi 16 seri halinde 3 paralel kolektör şeklinde tasarlanmış toplamda 48 adet güneş hava kolektöründen oluştuğu belirtilmiştir. Sonuç olarak kurutma işlemi doğrudan sistemde 12 gün, dolaylı sistemde 9 günde gerçekleştiği belirtilmiş, ayrıca güneş hava kolektörü verimi de %33,77 olarak verilmiştir. Bunun yanı sıra küçük işlemlerde doğrudan sistem önerilirken, büyük endüstriyel çapta dolaylı kurutma sistemi önerilmişlerdir [54].

Güler ve ark., düşük maliyetli bir güneş kurutucusu tasarlamışlar, deneysel ve CFD analizlerini yapmışlar. Yaptıkları bu çalışmada çift geçişli dolaylı güneş kurutucusu ile örgü emici modifiyeli çift geçişli dolaylı güneş kurutucusunu karşılaştırmalı olarak incelemişler. Ayrıca bu çalışmada kurutma işlemi için Pepino meyvesini seçmişler. Elde edilen sonuçlarda en iyi kurutma verimini örgülü sistemden %23,08 olarak aldıklarını belirtmişler. Kalite analizleri açısından da yine örgülü sistemin daha olumlu olduğu bildirilmiştir [55].

Ahmad, plastik ambalaj filmlerinden üretmiş olduğu bir düşük maliyetli güneş hava kolektörü üzerine çalışma yapmıştır. Kurutma amaçlı yapılan bu sistemde, başlangıçta tek tabakalı silindirik bir yapı kullanılmış ve daha sonra hava kabarcıklı plastik sargı ile modifiye edilmiş. Verimli bir sonuç elde edilen bu sistemde plastik sargı ile ısı transferinin de minimuma indirilebileceği belirtilmiş ve olumlu bir yaklaşım gösterilmiş [56].

Tuncer ve ark., sera kurutucusuna yeni bir güneş hava kolektörü entegre ederek performansında iyileştirmeler yapmayı hedeflemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada sera kurutucusuna dört geçişli güneş hava kolektörü entegre etmişler ve kırmızı biber-kivi kurutulması için incelemeler yapmışlardır. 0,008 ve 0,010 kg/s Debilerde yapılan incelemeler sonucunda %71,63–80,66 arasında ısıl verim elde etmişler, 0,21-0,36 kg/kWh arasında özgül nem çekme oranı elde etmişlerdir [57].

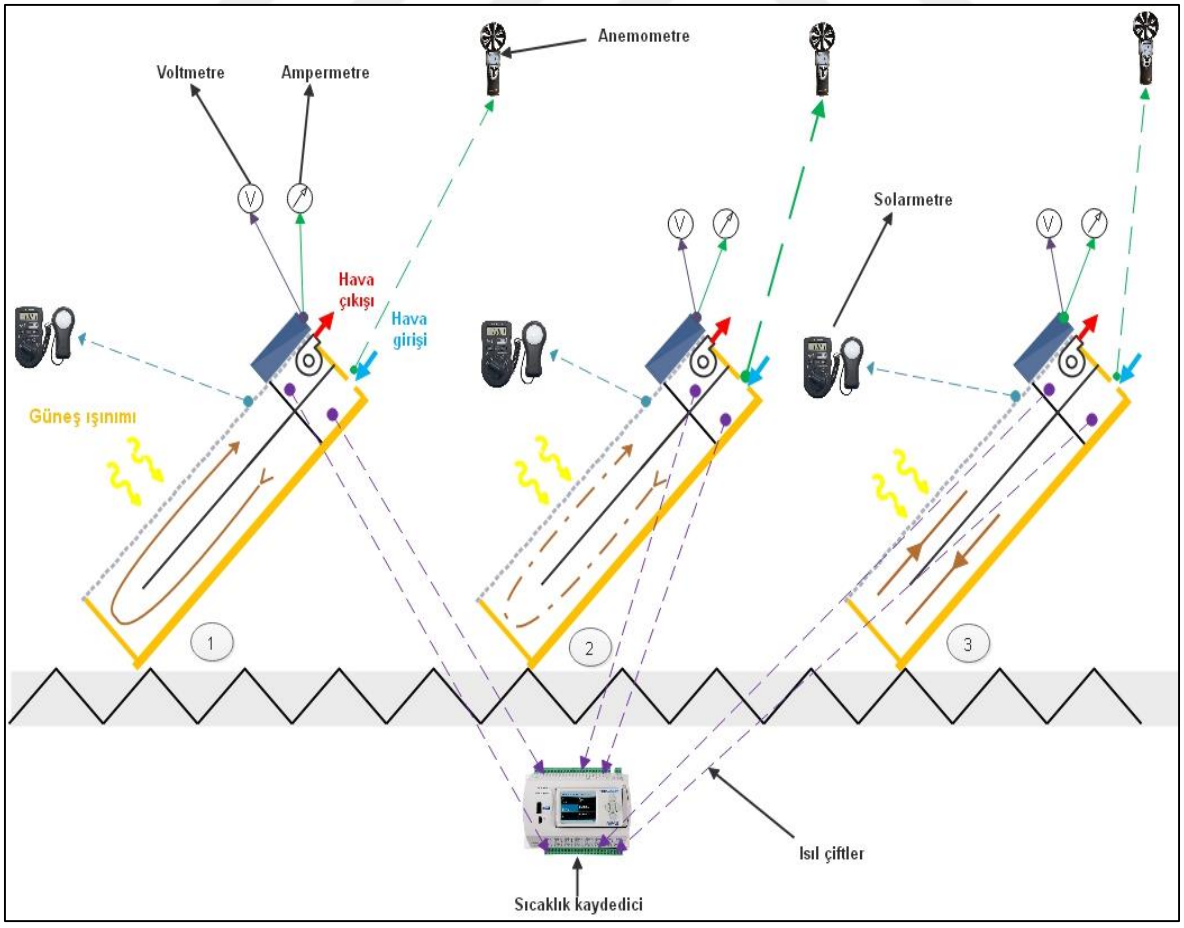
Sözen ve ark., tüp emicili dolaylı güneş kurutucusunun demir ağ modifikasyonu ile ısıl performansındaki değişimleri değerlendirmek amacıyla deneysel ve sayısal olarak bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada iki tip model incelemişlerdir; İçi boş boru tipi

ısıtıcı, aynı özelliklere sahip demir ağlar eklenmiş modele sahip ısıtıcı. Sonuç olarak demir ağ kullanımı ile ısıl verimlilik %11'e kadar arttırıldığı belirtilmiştir [58].

4. MATERYAL VE METOT

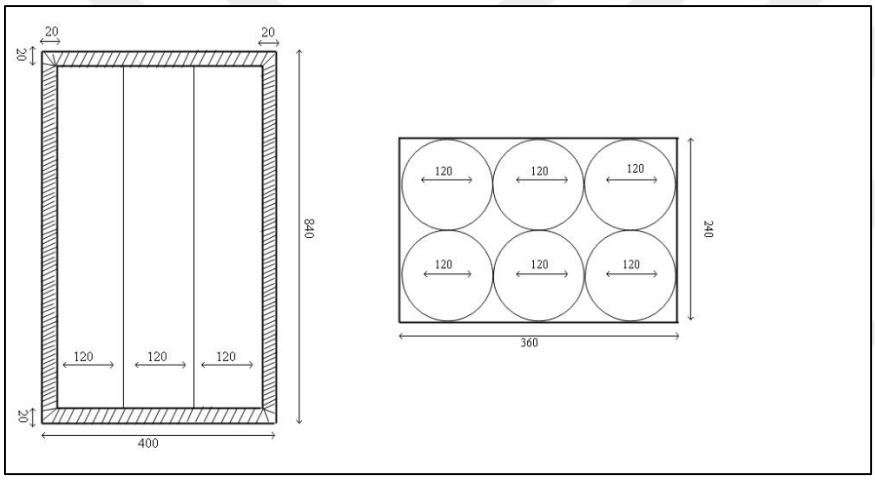
4.1. Deney Düzeneği

Yapılan bu projede fotovoltaik ısıl sistemlerin performansının arttırılması amacıyla yeni bir emici yüzey üretilmiştir. Bu emici yüzeye de farklı modifikasyonlar uygulanmış ve sistem verimi arttırılmıştır. Başlangıçta çift geçişli siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum kanallı güneş hava ısıtıcı (tip_2) üretilmiştir. Bunun yanı sıra geleneksel çift geçişli siyah mat boya ile kaplanmış düz plakalı güneş hava ısıtıcılar (tip_1) ile kıyaslanmıştır. Bunun dışında sistem verimini arttırmak amacıyla grafen nano materyal modifiyesi emici yüzeye uygulanmıştır. Elde edilen grafen nano geliştirilmiş çift geçişli esnek alüminyum kanallı güneş hava ısıtıcı (tip_2) üretilmiş ve çift geçişli siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum kanallı güneş hava ısıtıcı (tip_3) ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu deneysel incelemeler eş zamanlı olarak yapılmıştır. Resim 4.1, deney sisteminin şemasını göstermektedir.

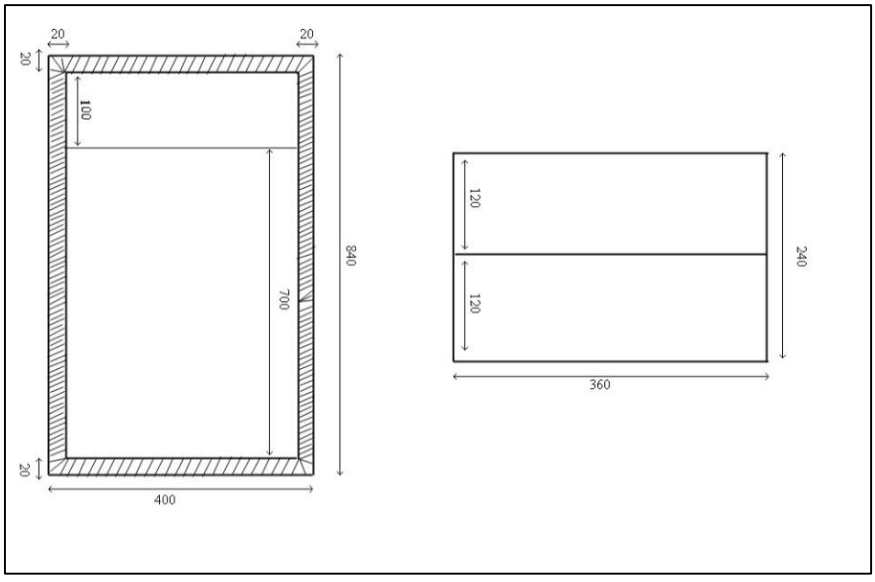


Resim 4.1. Deney şeması gösterimi [1) tip_3 2) tip_2 3) tip_1]

Geliştirilmiş olan her bir kolektör eşit boyutlardadır. Kolektör uzunluğu 840 mm alınmıştır. Bunun yanı sıra kolektör genişliği 400 mm, uzunluğu ise 280 mm olarak kullanılmıştır. Kolektör malzemesi için XPS strafor malzemesi tercih edilmiştir. Bu malzemelerin hem hafif olması hem de iyi bir ısı yalıtımı sunması önemli bir katkı sunmaktadır. Kullanılan bu materyalin kalınlığı 20 mm boyutundadır. Ek olarak kolektör kasası güneş ışınlarını yansıtması amacıyla alüminyum bant ile yalıtılmıştır. Kolektör köşelerinde ortaya çıkabilecek boşluklar da poliüretan köpük ile kapatılmıştır. Sistem sızdırmazlığı ve parçaların birbirine olan bağlantısını sağlamak için silikon kullanılmıştır. Kolektör kasasının üst yüzeyi 4 mm düz cam ile kapatılmıştır. Diğer bölümlerde olduğu gibi kenar boşlukları silikon ile doldurulmuş, ekstradan alüminyum bant ile güçlendirilmiştir.



Resim 4.2. tip_2 ve tip_3 tipi güneş kolektörü detayları



Resim 4.3. tip_1 tipi güneş kolektörü detayları

Sistemde kullanılan emici yüzeyler için saç plaka ve alüminyum esnek borular tercih edilmiştir. Başlangıçta standart yapıdaki alüminyum esnek boruların performans analizi yapılmıştır. Kullanılmış olan alüminyum esnek boruların uzunluğu 1 600 mm'dir. Ayrıca çapı 120 mm olan bu borulardan yan yana 3 adet kullanılmış ve kolektör genişliği 360 mm olarak ortaya çıkmıştır. Çift geçişli bir hava kanalı oluşturmak amacıyla alüminyum borular ortadan ikiye kıvrılmış ve iki katman şeklinde 240 mm boya sahip yapı oluşturulmuştur. Ayrıca saç levha için de eşdeğer emici yüzey alanı sağlamak amacıyla 360 mm genişlik 800 mm uzunluk tercih edilmiştir. Bu sistemin güneş radyasyonlarının emiciliğini arttırmak için borular siyah mat boya ile kaplanmıştır. Bununla beraber saç plaka da siyah mat boya ile kaplanmıştır. Ek olarak nano malzemelerin bu tip güneş hava kolektörleri üzerindeki etkisi incelenmesi için emici yüzey nano malzemeler ile geliştirilmiştir. Sistem için grafen nano materyal kullanımı uygun görülmüştür. Bu noktada siyah mat boya ile karıştırılmış olan grafen tekrardan farklı bir kolektöre uygulanmış ve siyah mat boyalı sisteme kıyasla kolektör performansları karşılaştırılmıştır.



Resim 4.4. Güneş hava kolektörü kasası



Resim 4.5. Güneş hava kolektörüne ait emici yüzeyler

Ek olarak hava emişini sağlamak için 70x70 boyutlarında 40W gücündeki fanlar hava giriş bölmesine konumlandırılmıştır. Kullanılan fanların ihtiyaç duyduğu elektrik gücünü, sisteme entegre edilen akülerden sağlanmıştır. Bu akülere de benzer şekilde güneş hava kolektörlerine entegre edilen fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi akışı sağlanmaktadır. Sistemde kullanılmış olan fotovoltaik panellerin detaylı özellikleri çizelge 4.1'de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.1. Fotovoltaik panel özellikleri

Parametre	Özellik
Model	Solarinka Solar Panel
Maksimum Güç (P_{max})	12 W
Maksimum Gerilim (V_{max})	23,25 V
Maksimum Akım (I_{max})	0,52 A
Açık devre gerilimi (V_{oc})	23,45 V
Kısa devre akımı (I_{sc})	0,58 A
Boyut	355x255x20 mm

Hava giriş çıkışları 70 mm çapında hava kanalları ile gerçekleşmektedir. Hava çıkış noktasında 70x70 mm olan fan modülü monte edilmiş, benzer şekilde hava giriş noktasında ise 70 mm çapındaki PVC borulardan oluşan hava kanalı kolektör kasasına monte edilmiştir. Böylece ölçümlerin daha sağlıklı bir şekilde alınabilmesi sağlanacaktır.

Çizelge 4.2. tip_1 deney sisteminin özellikleri

Kullanım Araçları	Özellikler
Kolektör kasası	Malzeme Tipi: XPS strafor yalıtım malzemesi
	Kasa Boyutları: 840x400x280 mm
Örtü Malzemesi	4mm cam
Fan Tipi	40W, 70x70 mm
Emici yüzey	Emici yüzey tipi: Sac düz plaka
	Kaplama malzemesi: Siyah mat boya
	Boyutları: 700 mm uzunluk, 360 mm genişlik

Çizelge 4.3. tip_2 deney sisteminin özellikleri

Kullanım Araçları	Özellikler
Kolektör kasası	Malzeme Tipi: XPS strafor yalıtım malzemesi
	Kasa Boyutları: 840x400x280 mm
Örtü Malzemesi	4mm cam
Fan Tipi	40W, 70x70 mm
Emici yüzey	Emici yüzey tipi: Esnek alüminyum borular
	Kaplama malzemesi: Siyah mat boya
	Boyutları: 120 mm çap, 1 600 mm uzunluk (3 sıra)

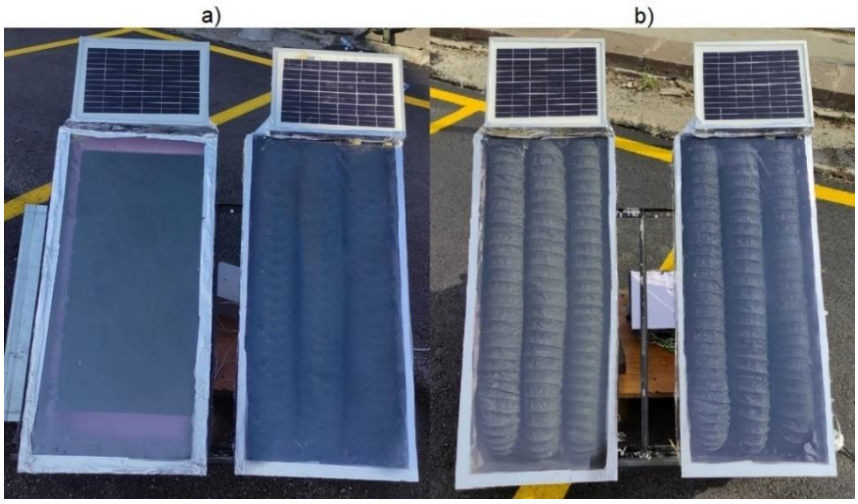
Çizelge 4.4. tip_3 deney sisteminin özellikleri

Kullanım Araçları	Özellikler
Kolektör kasası	Malzeme Tipi: XPS strafor yalıtım malzemesi
	Kasa Boyutları: 840x400x280 mm
Örtü Malzemesi	4mm cam
Fan Tipi	40W, 70x70 mm
Emici yüzey	Emici yüzey tipi: Esnek alüminyum borular
	Kaplama malzemesi: Siyah mat boya ile grafen nano malzeme karışımı
	Boyutları: 120 mm çap, 1 600 mm uzunluk (3 sıra)

Tasarlanan ve üretilen bu deney sistemlerinin performansını belirlemek için belirlenmiş periyotlar ile kaydedilmek üzere çeşitli ölçüm araçları kullanılmıştır. Bu amaçla temel ölçüm parametreleri; hava giriş-çıkış sıcaklıkları, güneş ışınım şiddeti, üretilen ve tüketilen elektrik gücü, hava debisi ve ortam sıcaklıklarıdır. Buna bağlı olarak kullanılan ölçüm cihazları termokupl, anemometre, solarmetre, multimetre ve veri kaydedici (data-logger)'dir.

4.2. Deneysel Prosedür

Gerçekleştirilmiş olan bu deneysel çalışma 2022 Ekim ayı içerisinde yapılmıştır. Mevcut deneyler Ankara ili içerisinde yer alan Gazi Üniversitesi yerleşkesinde Enerji Sistemleri Laboratuvarı binasının giriş bahçesinde gerçekleştirilmiştir. Her deney saat 10:00 da başlamış olup 16:30 saatine kadar yapılmıştır. Bunun yanı sıra ölçümler 30 dakikalık periyotlar halinde alınmış ve kaydedilmiştir.



Resim 4.6. Deney sisteminin önden görünümü, a) tip_1 ve tip_2 b) tip_2 ve tip_3



Resim 4.7. Deney sisteminin yandan görünümü

Bu çalışmada, 3 farklı tip güneş hava kolektörü geliştirilmiş ve performansı ele alınmıştır. Bu sistemler; tip_1 (düz sac plakalı güneş hava kolektörü), tip_2 (esnek alüminyum hava kanallı güneş hava kolektörü) ve tip_3 (nano geliştirilmiş esnek alüminyum hava kanallı güneş hava kolektörü) olarak tanımlanmaktadır. Üretilmiş olan güneş hava kolektörleri 40º eğime sahip olan bir platform üzerine konumlandırılmıştır. Ayrıca kolektörler güney yönünde konumlandırılmış ve sistemin performansı 30 dakikalık aralıklar ile kaydedilmiştir. Yapılan deney sırasında hava debisi, hava giriş sıcaklığı, hava çıkış sıcaklığı, ortam sıcaklığı, güneş radyasyon değerleri, PV modülün üretmiş olduğu gerilim-akım değerleri ve emici fanın tüketmiş olduğu gerilim akım değerleri ölçülmüştür. Resim 4.6 ve 4.7, deney sistemini önden ve yandan görsellerini belirtmektedir.

Bunun yanı sıra üretilmiş olan güneş hava kolektörlerinin deneysel işlemleri iki grup halinde aynı gün içerisinde gerçekleşmiştir. Bu daha sağlıklı bir performans analizi sunmaktadır. Başlangıçta tip_1 ile tip_2 eş zaman çerçevesinde incelenmiş ve performans analizi yapılmıştır. Daha sonra tip_1 ile tip_3 aynı şekilde incelenmiş ve gerekli analizleri gerçekleşmiştir. Bu bağlamda 3 farklı sistem içeren, 2 deney gerçekleşmiş ve sonuçlandırılmıştır. Elde edilen verilere bağlı olarak deney sistemlerinin performansı değerlendirilmiştir.

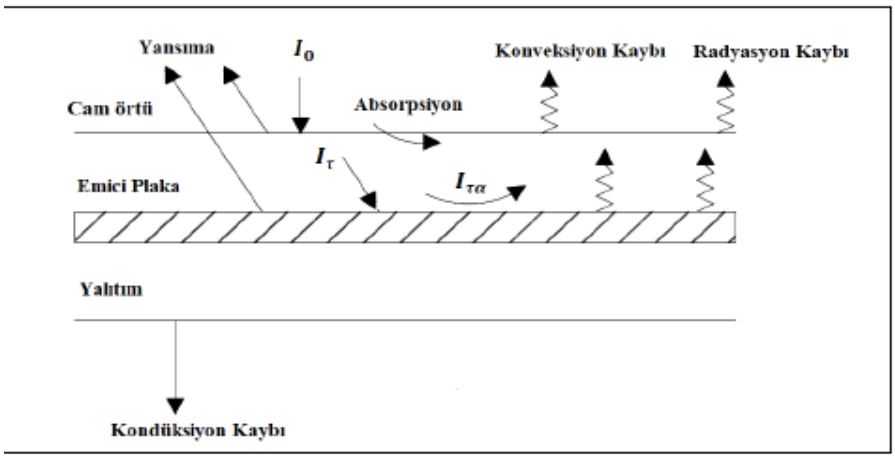
5. TEORİK ANALİZ

Güneş hava kolektörleri, temel olarak kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonlarının emici yüzey vasıtası ile kolektör içerisinde dolaşan havaya aktarılması ile çalışmaktadır. Güneş kolektörlerinin cam yüzeyinin cinsine bağlı olarak düşen ışınımların bir kısmı emici yüzeye geçerken diğer bir kısmı da yansımaktadır. Bu işlemler sırasında elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı faydalı enerjiye dönüşmekte diğer bir kısmı da farklı yollarla ortama geçmekte, yani kayıplar ortaya çıkmaktadır.

Güneş kolektörlerinde oluşan ısı kaybı güneş ışınımı, rüzgar hızı, ortam sıcaklığı, saydam örtü özellikleri, kolektör yapısı, emici yüzeyin güneş ışınımına karşı tepkisi, emici yüzey ısı iletim katsayısı, ısı yalıtım malzemesi cinsi ve özelliklerine bağlıdır. Kolektörün ısıl analizleri yapılırken bu parametreler göz önüne alınmalıdır [60].

Temel olarak bir güneş hava kolektöründe;

- Konveksiyon kayıpları,
- Radyasyon kayıpları,
- Kondüksiyon kayıpları meydana gelmektedir. Resim 5.1 güneş hava kolektöründe meydana gelen ısıl kayıpları göstermektedir.



Resim 5.1. Bir güneş hava kolektöründeki ısıl kayıplar [I_0: Kolektör yüzeyine düşen güneş ışınımı (W/m^2), Iτ: Cam yüzeyden geçen ışınım (W/m^2), I$\tau\alpha$: Emici yüzeyin yuttuğu enerji (W/m^2)] [60]

5.1. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Isıl Verimi

Güneş enerjili hava ısıtıcıların performans analizinde incelenmesi gereken en temel parametre, kolektörlerin ısıl verim oranlarıdır. Çünkü elde edilen ısı enerjisi ve güneşten gelen radyasyon miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bu anlamda ısıl verim eşitlik 5.1 ile hesaplanabilmektedir [23]:

$$\eta_t = \frac{E_{f_{kol}}}{E_{g_{kol}}} \tag{5.1}$$

Burada yer alan $E_{f_{kol}}$ güneş hava kolektöründen elde edilen faydalı ısı enerjisini ifade etmektedir. $E_{g_{kol}}$ ise kolektöre giren enerjiyi belirtmektedir. Bu anlamda güneş enerjisi ısıl sistemlerde ısıl kayıpları en aza indirmek büyük önem arz etmektedir. Bir güneş hava kolektörü enerji denkliği eşitlik 5.2 ile belirtilebilir:

$$E_{g_{kol}} = E_{ç_{kol}} \tag{5.2}$$

Burada yer alan her iki ifadeyi de detaylı olarak incelersek eşitlik 5.3 elde edilmektedir [23]:

$$E_{g_{kol}} = E_{f_{kol}} + E_{k_{kol}} \tag{5.3}$$

$\dot{E}_{k_{kol}}$ Kolektörde meydana gelen ısıl kayıpları ifade etmektedir. Bu denkliğe bağlı olarak her bir ifade şu şekilde açılabilmektedir:

$$E_{g_{kol}} = E_{güneş} = \tau\alpha G A_{kol} \tag{5.4}$$

$$E_{f_{kol}} = \dot{m}_{hava} c_p (T_2 - T_1) \tag{5.5}$$

Eşitlik 5.4 [23] kolektöre giren enerjiyi hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu eşitlikte yer alan τ kolektör kasasının üst yüzeyinde kullanılan cam kapağın güneş radyasyonu geçirgenlik oranını ifade etmektedir. Bu anlamda kullanılan cam örtü kolektör ısıl verim noktasında büyük önem arz etmektedir. Benzer şekilde G güneş radyasyon oranını, A_{kol} ise kolektör yüzey alanını ifade etmektedir.

Bunun yanı sıra denklemde yer alan α emici yüzeyin emicilik katsayısını belirtmektedir. Bu çalışmada emici yüzeyin performansını arttırmak amacıyla siyah mat boya kaplaması kullanılmıştır. Ek olarak çizelge 5.1'de farklı emici yüzeylerin emme ve yayma oranlarını göstermektedir. Ayrıca eşitlik 5.5 [23], meydana gelen kayıpların dışında kullanılabilir ısı enerjisi oranını belirtmektedir. Bu anlamda bir güneş hava kolektörünün veriminin hesaplanabilmesi için hava debisi ve meydana gelen sıcaklık farkına doğrudan ihtiyaç duyulmaktadır. Denklemde yer alan T_2 kolektördeki havanın çıkış sıcaklığını belirtirken T_1 ise hava giriş sıcaklıklarını göstermektedir.

Çizelge 5.1. Farklı emici yüzeylerin emme ve yayma oranları [60].

Kaplama Malzemesi	Alt Tabaka Malzemesi	Emme Oranı (%)	Yayma Oranı (%)
Nikel	Galvanizli çelik	0,93	0,08
Kobalt		0,91	0,12
Krom	Çelik	0,95	0,16
Demir oksit		0,83	0,06
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13
Bakır oksit		0,93	0,11
Kurşun sülfat		0,89	0,20
Nikel	Çinko kaplı alüminyum	0,94	0,10
Krom	Çinko	0,91	0,08
Çinko sülfat		0,95	0,08
Krom	Bakır	0,92	0,08
Kobalt oksit	Nikel	0,87	0,07
Bakır oksit	Bakır	0,76	0,20
Nikel sülfit		0,70	0,15

5.2. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Ekserji Verimi

Ekserji analizi enerji dönüşüm sistemlerinin verim hesaplamasında oldukça önemli bir tekniktir. Ekserji, enerjinin kullanılabilirliğini gösteren bir güneş enerjili hava ısıtıcının maksimum faydalı işi olarak ifade edilebilmektedir. Giren enerji kaynağı olarak belirtilen güneş enerjisinin ekserjisi optik kayıplardan, soğurucu yüzeyin soğuruculuğundan , ortama verilen ısıl kayıplardan, çalışma sıvısına olan ısı transfer hızından etkilenmektedir [28].

Temel olarak bir güneş hava kolektörünün ekserji denkliği eşitlik 5.6 ile ifade edilebilir [23]:

$$X_{g_{kol}} = X_{k_{kol}} + X_{ç_{kol}} \tag{5.6}$$

Eşitlik 5.6 güneş hava kolektörlerinin faydalı enerji dönüşüm oranlarını belirleme noktasında büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda $X_{g_{kol}}$ ekserji girişini, $X_{k_{kol}}$ ekserji kaybını ve $X_{ç_{kol}}$ ekserji çıkışını göstermektedir. Bir güneş hava kolektöründe ekserji girişi eşitlik 5.7 ile hesaplanabilmektedir [23]:

$$X_{g_{kol}} = X_{güneş} = (1 - \frac{T_0}{T_{güneş}})G \tag{5.7}$$

Güneş hava kolektörlerinde ekserji girişi eşitlik 5.7 ile ifade edilmektedir. Bu eşitlikte yer alan T_0 dışarıdaki hava sıcaklığını ifade etmektedir. Ayrıca $T_{güneş}$ güneş yüzeyinin sıcaklığını belirtmektedir. Bu noktada ekserji çıkışını hesaplamak için eşitlik 5.8 türetilebilmektedir [23]:

$$X_{ç_{kol}} = \dot{m}_{hava} c_p [(T_2 - T_1) - T_0 \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)] \tag{5.8}$$

Eşitlik 4.8 ekserji veriminin hesaplanması için temel parametrelerden biridir. Bu eşitlikte de görüldüğü üzere ekserji çıkışı kolektördeki hava sıcaklık farkı ve ortam sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca kolektör içerisindeki havanın debisi de sistem performansı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Son olarak meydana gelen ekserji kaybı eşitlik 5.9 yardımı ile hesaplanmaktadır:

$$X_{l_{kol}} = \left[\left(1 - \frac{T_0}{T_{güneş}}\right) G\right] - \dot{m}_{air} c_p [(T_2 - T_1) - T_0 \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)] \tag{5.9}$$

Ekserji kaybı en temel haliyle ekserji çıkışı ile ekserji girişinin farkı olarak ifade edilebilir. Benzer şekilde ekserji verimi de ekserji çıkışı ile ekserji girişinin oranı ile elde edilebilir. Eşitlik 5.10 ekserji verimini ifade etmektedir [23]:

$$\eta_X = \frac{X_{ç_{kol}}}{X_{g_{kol}}} \tag{5.10}$$

5.3. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Atık Ekserjisi ve Sürdürebilirlik İndeksi

Bu parametrelerin dışında atık ekserji oranı (WER) ve sürdürülebilirlik indeksi (SI) gibi önemli performans kriterleri de bulunmaktadır. Bu parametreler ekserji oranı ile doğrudan

ilişkilidir. WER oranının artması, ekserji çıkışının azaldığını gösterir. Bu nedenle WER değerlerinin oldukça az olması istenmektedir. Ekserji kaybının artması halinde WER değerinde artış olabileceği söylenebilir. Bunun dışında SI mevcut sistemin ömrünü ifade etmektedir. Ekserji ile doğru orantılı bir parametredir. Bu anlamda ekserji çıkışının artması ile SI değerinde de artış gözlemlenebilmektedir. Ayrıca SI ve WER değerleri ters orantılı ifadelerdir. SI değerinin artması halinde WER değerinde azalma gözlemlenebilmektedir. Eşitlik 5.11 ve 5.12 SI ve WER oranlarını ifade etmektedir [23]:

$$SI = 1/(1 - \eta_X) \tag{5.11}$$

$$WER = X_k/X_g \tag{5.12}$$

5.4. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Etkinlik Katsayısı

Etkinlik katsayısı (COP), elde edilen enerjinin üretilen sistemde kullanılan enerjiye oranı ile elde edilen bir parametredir. Etkinlik katsayısının artışı sistemin performansının da artış halinde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle etkinlik katsayısının mümkün olduğunca yüksek olması istenmektedir. Eşitlik 5.13 etkinlik katsayısını ifade etmektedir [42]:

$$COP = \frac{E_{f_{kol}}}{W_f} \tag{5.13}$$

5.5. Fotovoltaik Isıl Kolektörün Elektriksel Parametreleri

Bir fotovoltaik ısıl sistem, kolektöre entegre edilmiş fotovoltaik hücreler içermektedir. Bu durum elektrik enerjisi üretimini ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle sistem performansı değerlendirilirken elektriksel parametrelerin hesaplanması büyük önem arz etmektedir. Bir fotovoltaik ısıl kolektörün elektriksel verimi hesaplanırken eşitlik 5.14 kullanılmaktadır [23]:

$$\eta_{elk} = \frac{E_{f_{PV}}}{E_{güneş}} \tag{5.14}$$

Bu eşitlikte yer alan $E_{f_{PV}}$, fotovoltaik hücreler tarafından üretilen elektrik enerjisini ifade etmektedir. Bu noktada fotovoltaik hücreler tarafından üretilen elektrik enerjisi eşitlik 5.15 ile hesaplanabilir:

$$E_{f_{PV}} = V_{oc} I_{sc} FF \tag{5.15}$$

$$FF = \frac{I_{maks}\, x\, V_{maks}}{I_{sc}\, x\, V_{oc}} \tag{5.16}$$

Eşitlik 5.16 fotovoltaik hücrelerin ürettiği elektriksel gücü bulmak için ihtiyaç duyulan doldurma faktörünü ifade etmektedir. Bu eşitlikte yer alan I_{maks} maksimum akımı, V_{maks} maksimum gerilimi ifade etmektedir. Bunun yanı sıra I_{sc} kısa devre akımını, V_{oc} açık devre gerilimini göstermektedir. Bu parametrelerin dışında eşitlik 5.17 elektriksel ekserji verimini belirtmektedir [23]:

$$\eta_{X_{elk}} = \frac{X_{elk}}{X_{g_{PV}}} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{(1-\frac{T_0}{T_{sun}})G} \tag{5.17}$$

Bu eşitlikte yer alan X_{elk} elektriksel ekserjiyi, $X_{g_{PV}}$ ise fotovoltaik hücrelere ekserji girişini belirtmektedir.

5.6. Belirsizlik Analizi

Deneysel enstrümantasyonların belirsizlikleri, Holman [61] tarafından sağlanan yaklaşım kullanılarak aşağıdaki matematiksel formülle hesaplanmıştır:

$$U_F = \left[(\frac{\partial F}{\partial x_1} u_1)^2 + (\frac{\partial F}{\partial x_2} u_2)^2 + (\frac{\partial F}{\partial x_3} u_3)^2 + \cdots + (\frac{\partial F}{\partial x_n} u_n)^2\right]^{1/2} \tag{5.18}$$

Eşitlik 4.18 belirsizlik analizini ifade etmektedir. F, x ve u sırasıyla deneysel bulguyu, bağımsız değişkeni ve bağımsız değişkenin belirsizliğini göstermektedir. Eşitlik 5.18'e bağlı olarak hem cihazlardan hem de bağlantı noktalarından gelen okuma verilerinden kaynaklanan hataları göz önünde bulundurarak, bu deneysel çalışmadaki belirsizlik ±%1 civarında dalgalanmıştır. Çizelge 5.2 belirsizlik analizi sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 5.2. Belirsizlik analizinin sonuçları

Cihaz	Teknik Özellikler	Hata Payı	Hesaplanan Belirsizlik
Datalogger	- 40 +1760 °C	±0,5%	±0,6728%
Termokupl	-200 +1200°C	±0,5%	±1,1180%
Solar metre	0-1300 W/m^2	±0,5% W/m^2	±1,1456%
Anemometre	1,00- 30,00m/s	±3% m/s	±1,1192%

6. TARTIŞMA

Fotovoltaik ısıl sistemlerin performansını etkileyen en temel parametrelerden birisi emici yüzey tipidir. Farklı emici yüzey geometrileri veya emici yüzey üzerine uygulanan farklı modifiyeler fotovoltaik ısıl sistemin performansında artış sağlamaktadır. Bu anlamda bu çalışmada yeni bir emici yüzeye sahip çift akışlı fotovoltaik ısıl kolektör geliştirilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu sistemler tip_2 olarak tanımlanmış, geleneksel çift akışlı düz plakalı emici yüzeye sahip tip_1 olarak tanımlanan fotovoltaik ısıl kolektör ile karşılaştırılmıştır.

Bunun dışında alüminyum hava kanallı fotovoltaik ısıl kolektörün performansında yeni geliştirmeler elde etmek amacı ile nano materyal ile kaplama uygulaması yapılmıştır. Üretilmiş olan emici yüzeye siyah mat boya ile karıştırılmış olan grafen kaplaması yapılmış çift akışlı fotovoltaik ısıl kolektör tip_3 olarak tanımlanmıştır. Tip_1/tip_2 ve tip_2/tip_3 olmak üzere iki farklı deney yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

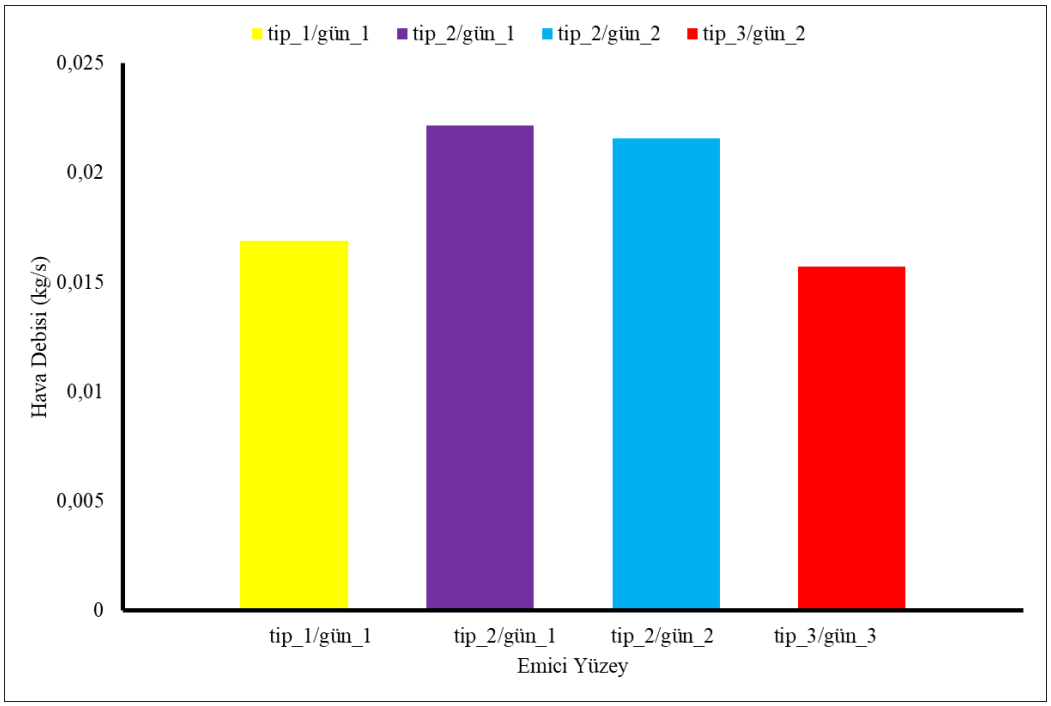
Mevcut çalışma için yapılan deneyler Ankara'da bulunan Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Laboratuvarı önündeki bahçede yapılmıştır. Ekim 2022 tarihinde gerçekleştirilen bu deneylerde eşdeğer fanlar kullanılmış ve karşılaştırılmış olan sistemler aynı gün içerisinde eşdeğer şartlar altında incelenmiştir. 30 Dakikalık periyotlarda alınan ölçümlere bağlı olarak incelenen bu veriler saat 10:00 ila 16:30 arasında elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada deneysel olarak analiz edilen tip_1, tip_2 ve tip_3 modelindeki fotovoltaik ısıl sistemlerin sonuçları bu bölümde incelenmiş ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak paylaşılmıştır.

6.1. Hava Debisinin Etkisi

Bu çalışmada hava akışını sağlamak için 70x70 mm boyutlarına sahip olan bir emici fan kullanılmıştır. Bu fan her tip kolektöre entegre edilmiş olup hava çıkış noktasında konumlandırılmıştır. Bu bağlamda tip_1/gün_1 sistemde hava debisi 0,0147 kg/s ile 0,0178 kg/s arasında elde edilmiştir. Tip_2/gün_1 deney sisteminde hava debisi 0,0196 kg/s ile 0,0238 kg/s arasında ölçülmüştür. Bunun yanı sıra tip_2/gün_2 deney sistemindeki hava debisi 0,0183 kg/s ile 0,0235 kg/s arasında ölçülmüş iken tip_3/gün_2 deney sisteminde bu

değer 0,0127 kg/s ile 0,0172 kg/s arasında elde edilmiştir. Ek olarak ortalama hava akış hızları da tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için sırasıyla 0.016 kg/s, 0.022 kg/s, 0.021 kg/s ve 0.15 kg/s olarak hesaplanmıştır. Bu verilerden de görülebileceği gibi hava debileri arasında bir fark meydana gelmektedir. Hava debilerinde meydana gelen değişimin hava sıcaklıkları ve emici yüzey tipi gibi parametrelere bağlı olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Ayrıca emici fanların harcamış olduğu elektrik gücü de hava akış hızında doğrudan bir etkiye sahiptir. Üretilmiş olan deney sistemlerinde ortaya çıkan ortalama hava akış hızları şekil 6.1'de paylaşılmıştır.



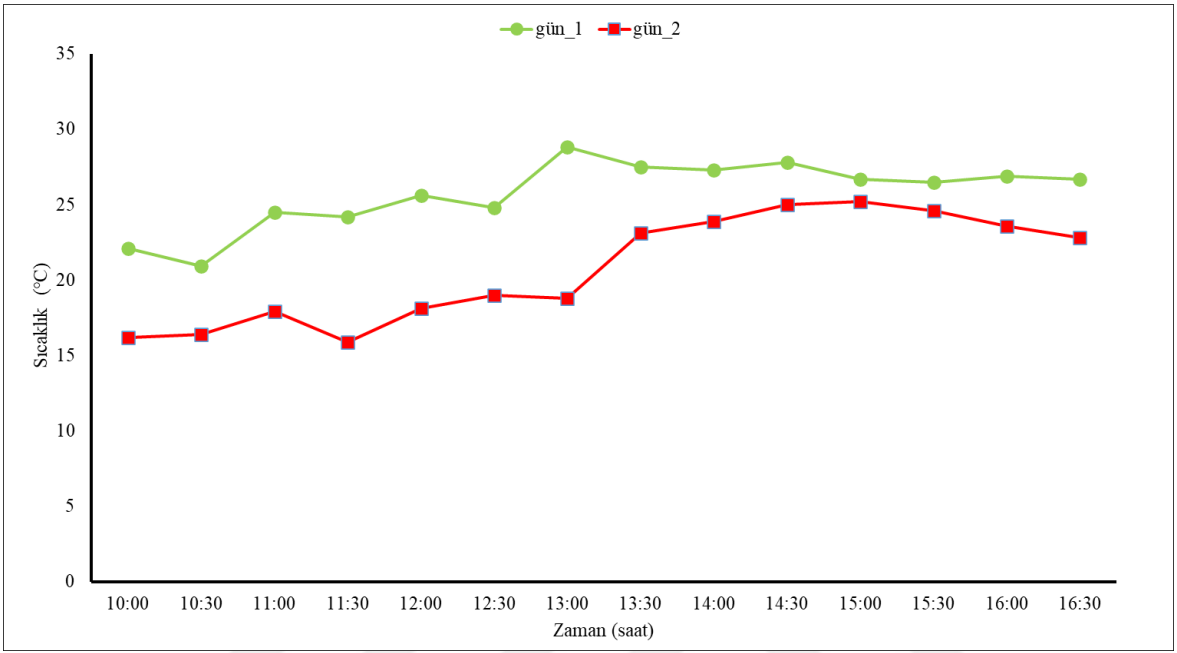
Şekil 6.1. Deneylerde meydana gelen ortalama hava akış hızı

6.2. Ortam Havası Sıcaklığı ve Güneş Radyasyonunun Etkisi

Mevcut çalışmada ortam sıcaklığı gerekli parametrelerin hesaplanması için belirlenen periyotlarda ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra güneş radyasyonu da enerji girişinin hesaplanması için en temel parametredir. Benzer şekilde her bir periyotta güneş radyasyonu da ölçülerek veriler kaydedilmiştir.

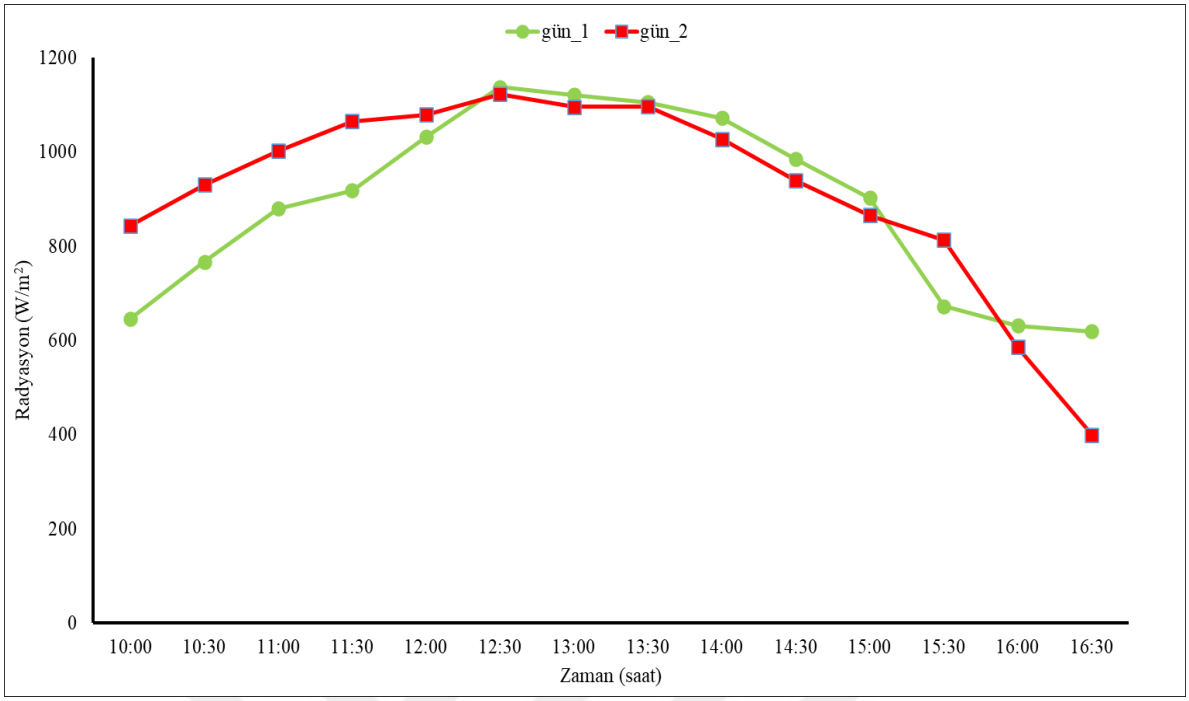
Yapılan bu çalışmada ortam sıcaklıkları gün_1 için 20,9 °C ile 28,8 °C arasında ölçülmüştür. Gün_2 de ise bu değerler 15,9 °C ile 25,2 °C arasında ölçülmüştür. Benzer şekilde gün_1 ve gün_2 için ortalama sıcaklıklar ise sırasıyla 25,73 °C ve 20,75 °C olarak hesaplanmıştır. 1.

Gün yapılmış olan deneyde ortam havası sıcaklığı daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bağlamda deney 1'de elde edilen hava çıkış sıcaklığı daha yüksek olması beklenmektedir. Şekil 6.2 mevcut deneyler sırasında ortam sıcaklığını göstermektedir.



Şekil 6.2. Deney ortamı hava sıcaklığı

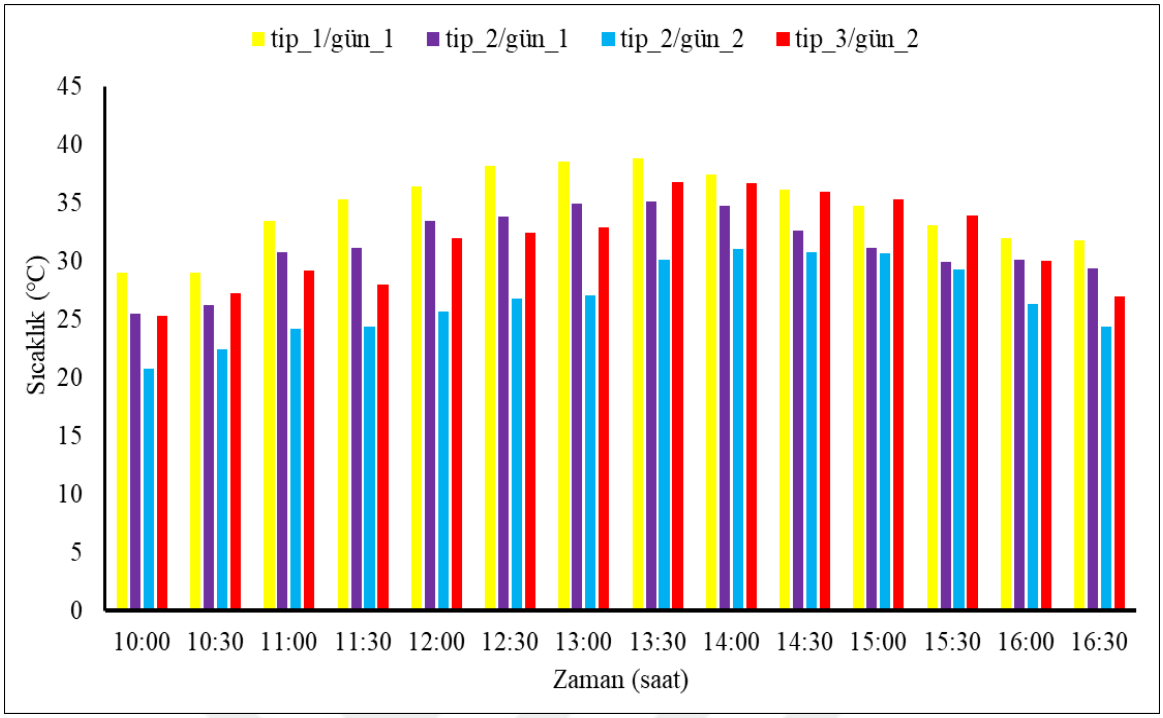
Yapılan bu deneylerde gün_1 durumunda radyasyon değerleri 620 W/m^2 ile 1 138 W/m^2 arasında elde edilirken gün_2 durumunda 400 W/m^2 ile 1 123 W/m^2 arasında ölçülmüştür. Bunun yanı sıra gün_1 ve gün_2 için ortalama radyasyon değerleri sırasıyla 892,64 W/m^2 ve 919,57 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına dayanarak deney 1'de daha yüksek radyasyon değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Ancak ortalama radyasyon değerleri için bu durumun aksi ortaya çıkmaktadır. 2. Gün içerisinde yapılan deney 2'de ortalama radyasyon daha yüksektir. Bu durumun nedeni gün_1 durumunda sabah saatlerinde ortaya çıkan bulutlu hava ortalama radyasyon üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca akşam saatlerinde de deney 2'de daha düşük radyasyon seviyelerinde ölçümler ortaya çıkmıştır. Şekil 6.3 gün_1 ve gün_2 koşullarında ortaya çıkan güneş radyasyon değerlerini göstermektedir.



Şekil 6.3. Deney ortamı güneş radyasyonu

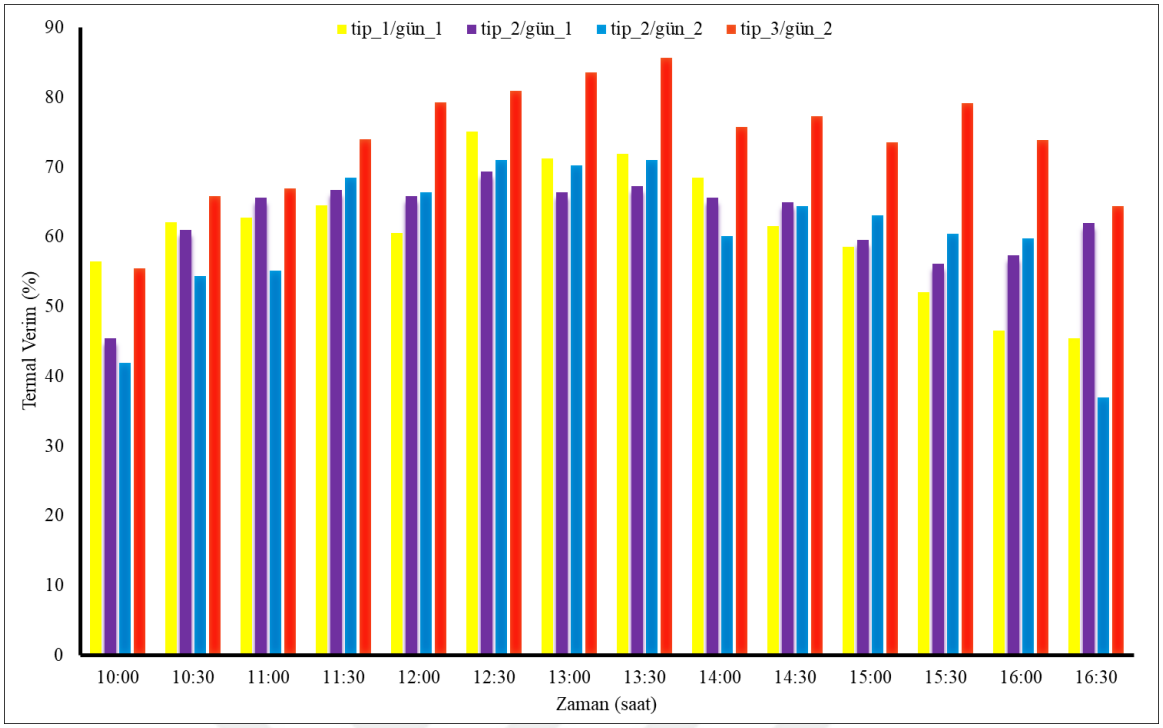
6.3. Hava Çıkış Sıcaklığında ve Isıl Verimdeki Değişim

Deney sisteminde emici fanlar ile çekilen hava, çift geçişli güneş kolektöründen geçerek hava çıkış noktasında ulaşmaktadır. Hava çıkış noktasına dolaşımı sağlanan havanın sıcaklıkları her ölçüm periyodunda ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Buna bağlı olarak tip_1/gün_1 sistemindeki havanın çıkış sıcaklıkları 29 °C ile 38,8 °C arasında ölçülmüştür. Tip_2/gün_1 için kolektördeki havanın çıkış sıcaklığı 25,5 °C ile 35,1 °C arasında ölçülmüştür. Benzer şekilde 2. deneydeki tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 deney sistemleri için sırasıyla hava çıkış sıcaklığı 20,8 °C ile 31 °C ve 25,3 °C ile 36,8 °C arasında ölçülmüştür. Bunun yanı sıra tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için ortalama çıkış sıcaklıkları sırasıyla 34,55 °C, 31,32, 26,71 ve 31,61 olarak hesaplanmıştır. Gerek ortam havası sıcaklığı gerekse de radyasyon şiddeti dikkate alındığında deney 1'de daha yüksek kolektör çıkış sıcaklıklarına ulaşılmıştır. Ancak sıcaklık farkları nano geliştirilmiş esnek alüminyum hava kanallı emici yüzeye sahip olan sistemde daha yüksektir. Bu nano materyaller ile ısıl iletkenliğin arttırıldığını doğrulamakta ve daha yüksek kolektör çıkış sıcaklığına ulaşılmasına olanak sağladığını kanıtlamaktadır. Ayrıca aynı tip güneş kolektör olan tip_2 fotovoltaik ısıl kolektörlerinin radyasyon şiddetine bağlı olarak hava çıkış sıcaklıklarında değişim yaşandığı da söylenebilmektedir. Şekil 6.4 geliştirilmiş olan 4 tip fotovoltaik ısıl kolektörlerin hava çıkış sıcaklıklarını göstermektedir.



Şekil 6.4. Farklı tip PV-T'lerin hava çıkış sıcaklıkları

Verilen parametrelerin yanı sıra kolektör ısıl verimi en temel performans ölçütlerinden biridir. Üretilen sistemlerin ortalama ısıl verimleri tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için sırasıyla %61,203, %62,347, %60,209 ve %73,944 olarak hesaplanmıştır. Kolektörlerin giriş ve çıkış noktaları arasındaki fark ısıl verim için en önemli değişkenlerden biridir. Sıcaklıklar arasındaki fark ortaya çıkan kayıplar ile ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Bunun yanı sıra emici yüzey de güneşten gelen radyasyonun emilip akış halindeki havaya aktarılmasında en temel bölümdür. Tip_1 ve tip_2 olarak adlandırılan kolektörler arasında büyük ısıl verim farkları ortaya çıkmamış ancak tip_3 ile bu kolektörler arasında önemli ısıl verim değişimi olmaktadır. Nano materyallerin bu verilere dayanarak kolektör performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 6.5. Farklı tip PV-T'lerin kolektör ısıl verimleri

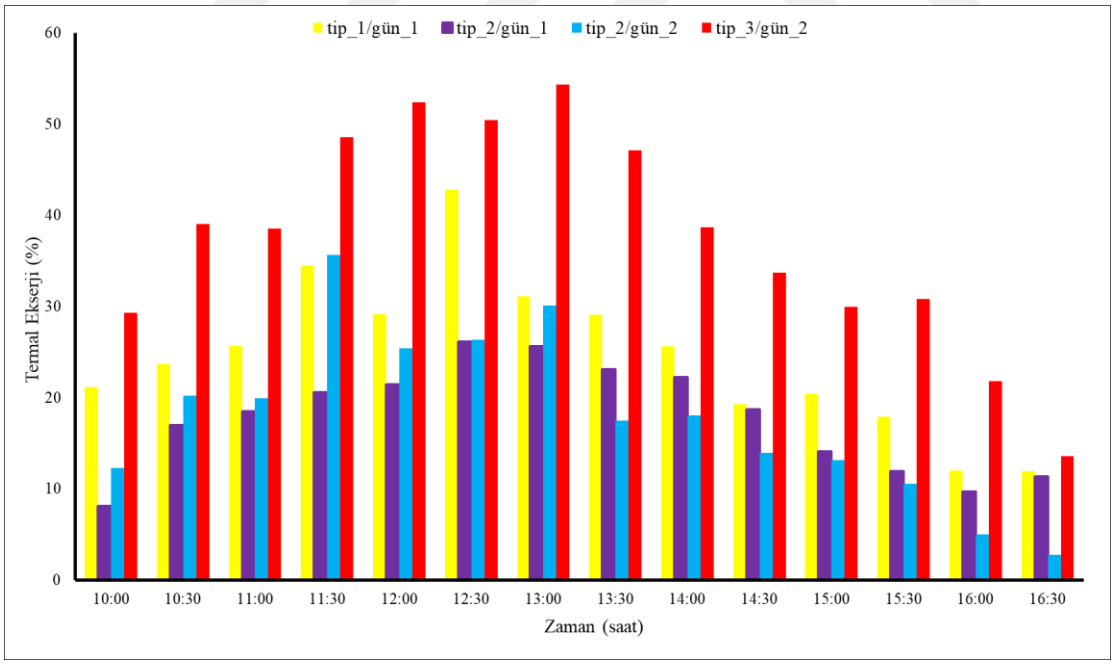
Şekil 6.5 tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 sistemlerinin kolektör ısıl verimlerini göstermektedir. Grafikte de görülebileceği gibi en yüksek ısıl verim tip_3/gün_2'de elde edilmiştir. Bunun yanı sıra maksimum verim saat 13:00 ile 13:30 arasında elde edilmiştir. Ayrıca deney başlangıç ve bitiş zamanlarında da gün batımı nedeniyle güneş radyasyonunda azalma meydana gelmiş bu durumun sonucunda kolektör verimlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Gün içerisinde anlık bulutlanma da aralıklı olarak kolektör veriminde etkileri olmuştur. Gün_1 bölümünde meydana gelen bulutlanma sonucu saat 11:30 ile 12:00 aralığında kolektör veriminde azalma gözlemlenmekte ve ardından artış meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra gün_2 bölümünde de saat 14:00 ve 15:00 aralıklarında hava da meydana gelen olumsuz durumların sonucunda kolektör verimi önemli ölçüde etkilenmiştir.

Sonuç olarak 30 dakikalık periyotlarda ölçüm alınan bu deney sistemlerin başlangıç saatlerinden öğle saatlerine kadar artış gözlemlenmiştir. Hava şartlarına bağlı olarak değişim yaşandığı belirlenmiş ve güneş radyasyon şiddeti ile doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Bunun yanı sıra hava giriş sıcaklığı da kolektör verimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ayrıca nano materyaller ile geliştirilmiş olan emici yüzeye sahip güneş kolektörü

en yüksek ısıl verime sahip olan sistem olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra diğer sistemler birbirlerine oldukça yakın performanslar göstermiştir.

6.4. Ekserji Veriminde, Atık Ekserji Oranında ve Sürdürebilirlik İndeksindeki Değişim

Isıl ekserji verimi en basit haliyle enerjinin kullanılabilirlik oranını ifade etmektedir. Bu bakımdan performans analizlerinde oldukça önemli bir parametredir. Üretilmiş olan tip_1/gün_1 sisteminin ekserji verimi %11,95 ile %42,77 arasında hesaplanmıştır. Benzer şekilde tip_2/gün_1 sisteminin ise bu değer %8,12 ile 26,12 arasında elde edilmiştir. Tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 olarak adlandırılan sistemlerin ise bu değerler sırasıyla %2,77-%35,65 ve %13,56-%54,32 arasında hesaplanmıştır. Bu verilere dayanarak ekserji veriminin ısıl verim ile benzer bir eğilim gösterdiği söylenebilir. Ayrıca ısıl verimde olduğu gibi nano-geliştirmenin fotovoltaik ısıl sistemler üzerindeki pozitif etkisi ekserji veriminde de açıkça görülmektedir. Tip_3/gün_2 olarak adlandırılan nano kaplanmış bu sistemde maksimum ekserji verimi elde edilmiştir.



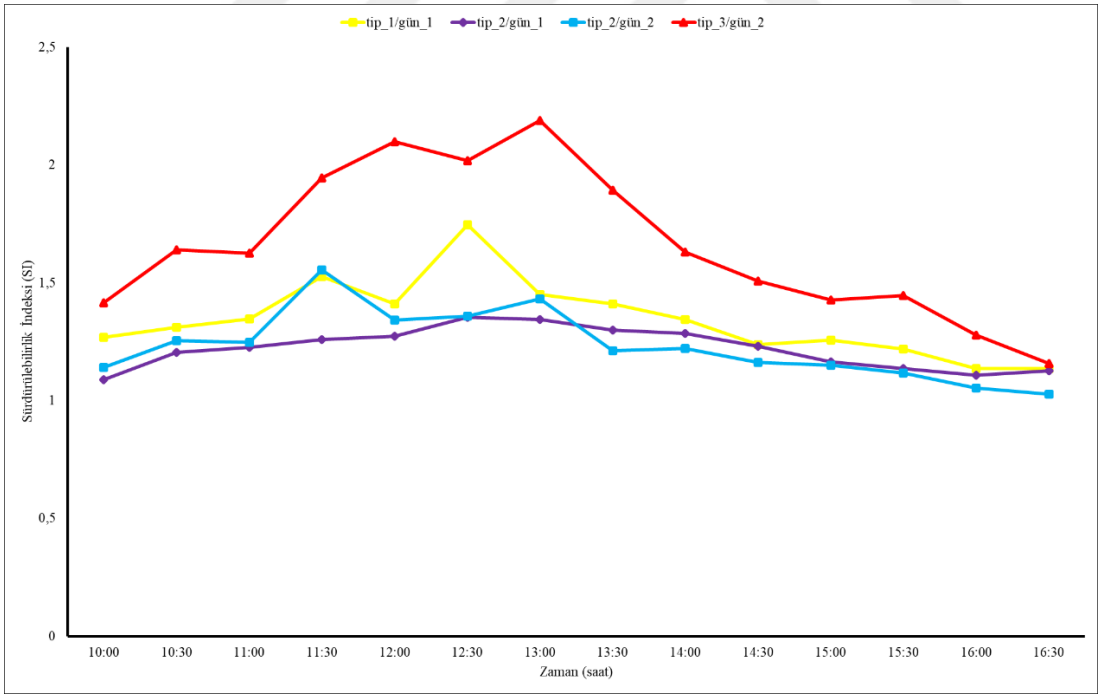
Şekil 6.6. Farklı tip PV-T'lerin ekserji verimleri

Şekil 6.6 tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 modellerinin ekserji verimlerini göstermektedir. Buna bağlı olarak tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 içi ortalama ekserji verimleri sırasıyla %24,60, %17,75, %17,93 ve %37,73

olarak hesaplanmıştır. Ayrıca maksimum ekserji verimi deney 1'de saat 12:30'da deney 2'de saat 13:00'da elde edilmiştir. Bunun yanı sıra ortam hava sıcaklığının da ekserji üzerinde etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Hava sıcaklıklarının zamanla azalmasından dolayı ekserji verimliliğinde düşüş gözlemlenmiştir. Örneğin minimum ekserji verimi tip_2/gün_2 deney sisteminde %2,77 olarak bulunmuştur. Ek olarak güneş radyasyonundaki değişim de ekserji verimini etkilemektedir. Güneş radyasyon şiddetindeki azalma ile saat 13:30'dan itibaren ekserji veriminde ortaya çıkan azalma bu durumu doğrulamaktadır.

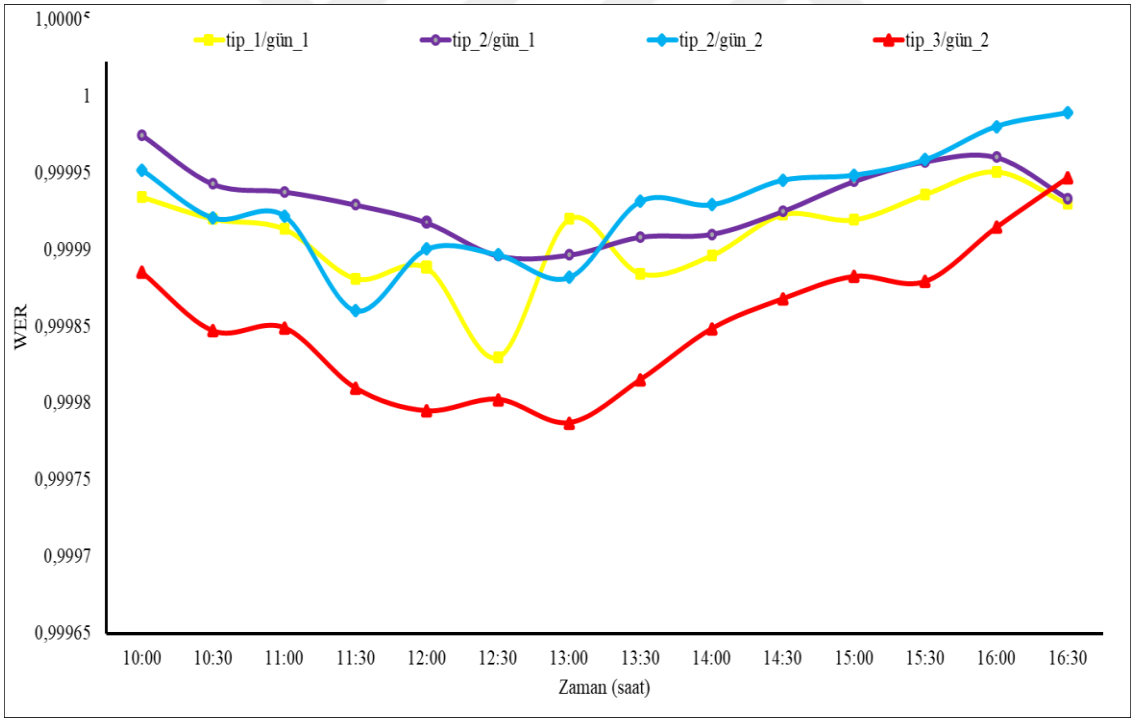
Sonuç olarak elde edilen verilere göre nano kaplamalı sistemin maksimum ekserji verimine sahip olduğu söylenebilir. Tip_1 kolektörün tip_2 kolektöre göre daha iyi ekserji verimine sahip olduğu ama çok yakın verilere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Hava sıcaklığı ve güneş radyasyon şiddeti ekserji verimi üzerinde doğrudan etki ettiği şekil 6.6'te görülmektedir.



Şekil 6.7. Farklı tip PV-T'lerin sürdürülebilirlik indeksi

Sürdürülebilirlik indeksi üretilmiş olan sistemin ömrü hakkında bilgi veren başlıca parametrelerden biridir. Temel olarak ekserji değişimine bağlı olan bu parametre belirli periyotlardaki değişimi incelenmiştir. Şekil 6.7 üretilmiş olan PV-T'lerin sürdürülebilirlik

indekslerini göstermektedir. Üretilmiş olan tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 sistemlerinin ortalama sürdürülebilirlik indeksleri sırasıyla %1,34, %1,22, %1,23, ve %1,66 olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda en uygun modelin tip_3/gün_2 olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra ekserji ile doğru orantılı olan bu parametre ekserji verimliliği ile benzer bir eğilim göstermesi beklenmektedir. Bu anlamda tip_2 modelinin sürdürülebilirlik indeksi tip_1'e göre daha düşük çıkmış ve bu fikri doğrulamıştır. Ayrıca ekserji verimliliğinin azalmasında dolayı saat 14:00'dan itibaren azalmaktadır. Gün içindeki hava şartlarında meydana gelen değişimlerden dolayı ekserji verimi dalgalanmakta ve bu durumun nihayetinde sürdürülebilirlik indeksinde de dalgalanmalar ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak üretilmiş olan birim enerjini harcanan enerjiye oranı olarak bilinen bu parametrenin nano kaplamalı sistem için oldukça pozitif sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca plakalı ve alüminyum hava kanallı sistemlerinde birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği belirtilebilir.

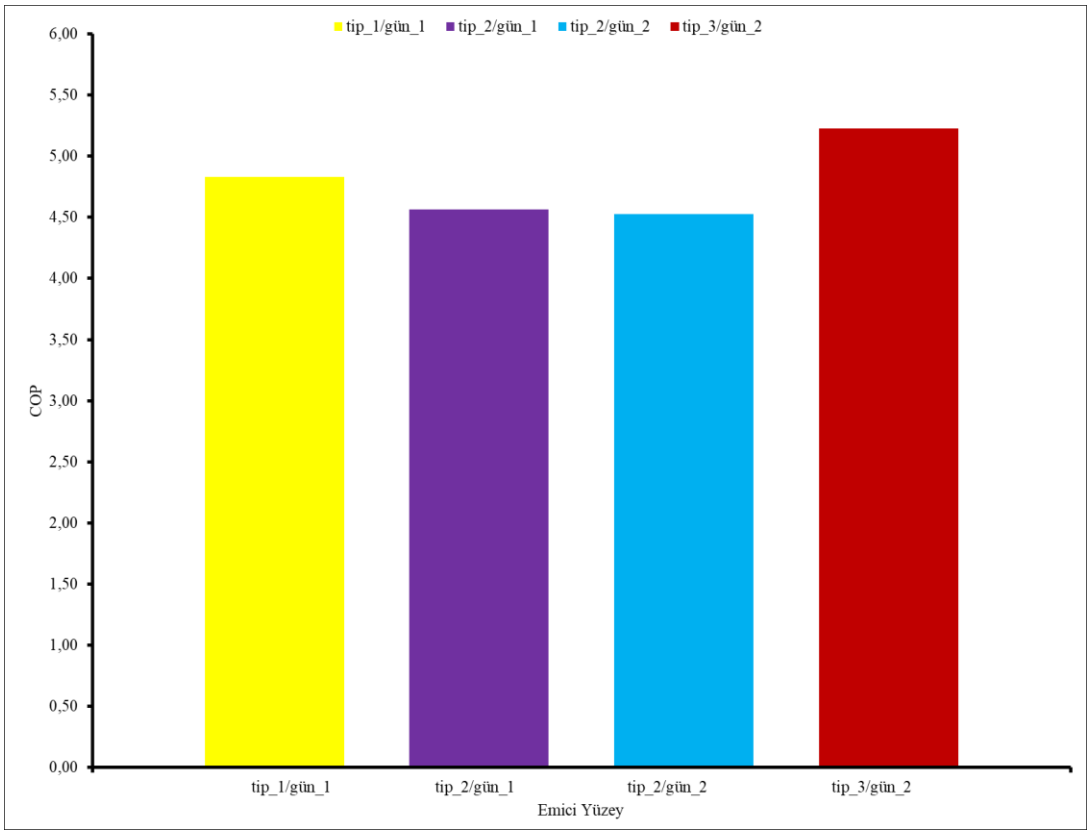


Şekil 6.8. Farklı tip PV-T'lerin atık ekserji değerleri

Atık ekserji değeri, birim ekserji akışında meydana gelen ekserji kaybını ifade eder. Bu kayıplar doğrudan güneş kolektöründeki sıcaklık farklılıklarıyla ve ekserji oranlarıyla ilgilidir. Şekil 6.8, üretilen keselerin atık ekserji değerlerinin zamana bağlı varyasyonlarını göstermektedir. Tip_3/gün_2, daha yüksek ısıl verim, daha yüksek ekserji verimi ve daha

yüksek sürdürülebilirlik indeksine dayalı olarak daha düşük bir atık ekserji değerine sahiptir. Bu açıdan WER değerleri, ekserji verimi ve sürdürülebilirlik indeksi ile ters orantılı olduğu söylenebilir. Mevcut hava koşullarından kaynaklanan hava sıcaklıklarındaki değişiklik de WER değerlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Yukarıda belirtildiği gibi, sonuçlar ekserji kaybının nano-kaplamalı sistemde minimum olduğunu doğrulamaktadır.

6.5. Etkinlik Katsayısındaki (COP) Farklar

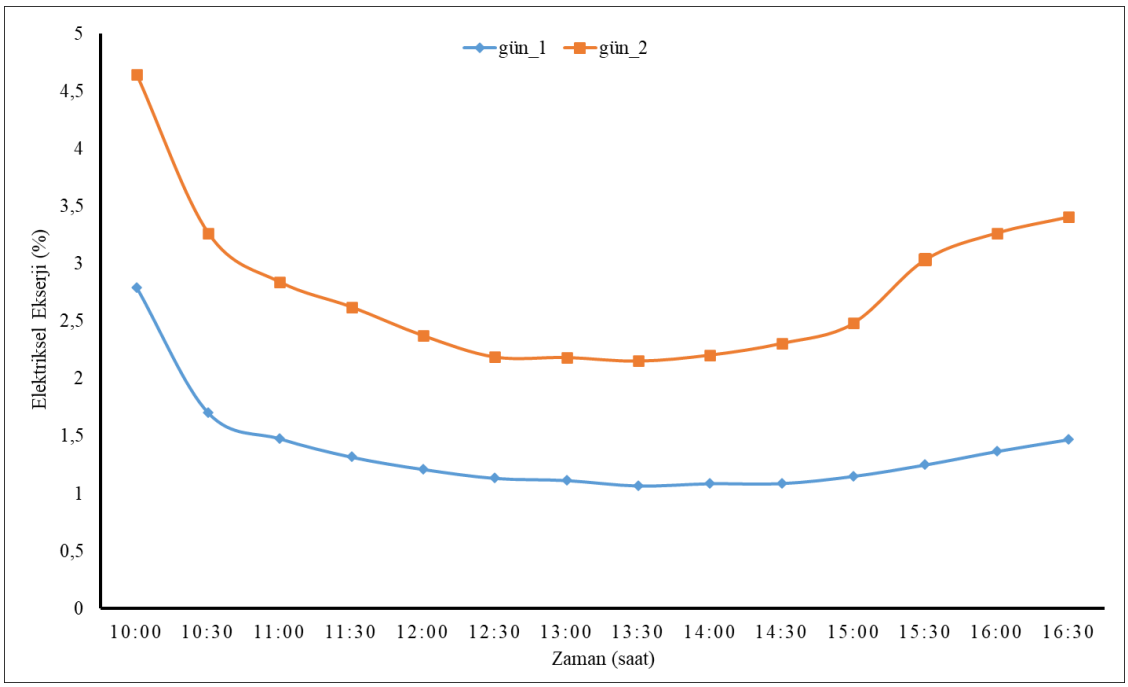


Şekil 6.9. Farklı tip PV-T'lerin etkinlik katsayıları

Şekil 6.9, deneylerde kullanılan sistemlerin ortalama etkinlik katsayısı (COP) değerlerini göstermektedir. Emici yüzey tiplerine göre ortalama COP değerleri tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için sırasıyla 4,82, 4,52, 4,56 ve 5,22 olarak bulunmuştur. Eşdeğer fanlar kullanıldığında COP değeri, giren ve çıkan sıcaklık değerlerindeki farka bağlı olarak değişir. Bu bağlamda, ısıl verimlilik ile benzer bir özellik göstermesi beklenmektedir. Nitekim, Şekil 6.9'deki veriler bu tezi doğrulamıştır. Maksimum COP değeri, ısıl verimliliğe benzer şekilde nano-geliştirilmiş olan esnek alüminyum hava kanalı emici yüzey ile sistemden elde edilmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda nano kaplamanın güneş hava kolektörlerinin performansı üzerindeki etkisini de vurgulamaktadır. Standart

siyah boya ile kaplanmış bir plakaya sahip sistem, siyah boya ile kaplanmış esnek alüminyum hava kanalı sisteminden daha yüksek bir performans faktörüne sahiptir. Sonuç olarak, nano kaplamalı emici yüzey, daha yüksek çıkış sıcaklığı değerleri sağlayarak COP değerleri noktasında daha yüksek veri elde etmiştir.

6.6. Elektriksel Ekserjideki Değişim



Şekil 6.10. Farklı tip PV-T'lerin elektriksel ekserjileri

Daha önce de belirtildiği gibi, sistem elektrik gereksinimlerini karşılamak için PV tarafından desteklenmiştir. Sistemde kullanılan PV'nin dolum faktörü 0,8822 olarak hesaplanmıştır. Bu parametreye bağlı olarak, sistemin elektriksel ekserjisi de %1 ile %5 arasında değişir.

Şekil 6.10, sistemde kullanılan PV'nin elektriksel ekserji verimliliğini göstermektedir. Sistemde kullanılan hava emici fanların gücünü sağlamak için küçük ölçekli destekleyici PV'nin kullanılabileceğini vurgulamak önemlidir. Yukarıda belirtilen duruma göre kullanılan PV'nin verimliliğinin de çok düşük olduğu açıkça görülebilir.

Sistemde eşdeğer fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Bu nedenle gün içerisindeki deney esnasında her fotovoltaik hücreye eşit miktarda güneş radyasyonu düştüğü için gün başına yapılmış olan deney sistemlerindeki fotovoltaik panellerin elektriksel ekserjisi eşittir. Yani

1. deneyde yer alan gün_1 içerisindeki deney modelleri için elektriksel ekserji eşittir. Benzer şekilde gün_2 içerisindeki deney modelleri için elektriksel ekserji de eşittir.

6.7. Elde Edilen Sonuçların Benzer Çalışmalar İle Karşılaştırılması

Çizelge 6.1. Mevcut çalışmanın farklı çalışmalar ile kıyaslanması

Çalışma Adı	Kolektör Tipi	Isıl Verimlilik	Ekserji Verimliliği
Çiftçi ve ark. (2021)	Saç levha tipi dikey güneş kolektörü	%58,10 - %76,22 (Nano geliştirilmiş tip)	%9,25 - %10,58 (Nano geliştirilmiş tip)
Tuncer ve ark. (2020)	Paralel geçişli, çift geçişli ve V-oluk tipi güneş kolektörü	%54 – %60,29 (paralel geçişli), %61,86 – %66,95 (çift geçişli), %70,91 – %78,18 (V-oluk tipi)	%14,62 – %18,95 (paralel geçişli), %12,28 – %15,68 (çift geçişli), %6,68 – %9,74 (V-oluk tipi)
El-said ve ark. (2022)	Vorteks akışlı güneş kolektörü	%76,79 (0,050 kg/s, maks.)	%1,30 (0,030 kg/s, maks.)
Abuşka (2018)	Düz ve konik yüzeyli güneş kolektörü	%74,6 (konik, 0,1 kg/s), %64 (düz, 0,1 kg/s)	%19,3 (konik, 0,04 kg/s), %16,1 (düz, 0,04 kg/s)
Moghadasi ve ark. (2022)	Sekizgen şeklindeki emici yüzeyli güneş kolektörü	%78,73	%32,87
Muthukumaran ve Senthil (2022)	Isıl enerji depolamalı güneş kolektörü	%29,86 (0,0076 kg/s)	%1,11 (0,0076 kg/s)
Khanlari ve ark. (2022)	Delikli bölmelere sahip güneş kolektörü	%58,10 - %76,22 (Nano geliştirilmiş)	%13,10 - %14,46 (Nano geliştirilmiş)
Selimefendigil ve ark. (2022)	3 geçişli güneş kolektörü	%70,39 - %75,11 (Nano geliştirilmiş)	%9,05 - %10,18 (Nano geliştirilmiş)
Abdelkader ve ark. (2020)	Düz plakalı güneş kolektörü	%50,65 (%4CNTs/CuO ile kaplı), %40,71 (siyah boya ile kaplı)	%2,335 (%4CNTs/CuO ile kaplı), %2,132 (siyah boya ile kaplı)
Selimefendigil ve Şirin (2022)	Isıl enerji depolamalı güneş kolektörü	%75,02 – %50,13 (Geleneksel tip), %52,43 – %78,08 (Parafin bazlı ısıl enerji depolamalı), %57,73 – %82,19 (Nano geliştirilmiş ısıl enerji depolamalı)	%10,52 – %13,59 (Geleneksel tip), %11,08 – %14,36 (Parafin bazlı ısıl enerji depolamalı), %12,52 – %15,44 (Nano geliştirilmiş ısıl enerji depolamalı)
Avargani ve ark. (2022)	Dikey konik kanatçıklı güneş kolektörü	%69,16	%5.3
Mevcut Çalışma	Esnek alüminyum hava kanallı güneş kolektörü	%62,34 (Tip_1), %61,20 (Tip_2), %73,94 (Tip_3)	%24,60 (Tip_1), %17,75 (Tip_2), %37,73 (Tip_3)

7. SONUÇ

Bu çalışmada, yeni tip emici yüzeye sahip çift geçişli fotovoltaik güneş hava kolektörleri geliştirilmiş ve enerji-ekserji analizleri yapılmıştır. Başlangıçta, siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum hava kanallarına sahip sistem ve siyah mat boya ile kaplanmış düz plakalı fotovoltaik ısıl sistem karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Daha sonra siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum hava kanallarına sahip sistem ile grafen nano katkılı siyah mat boya ile kaplanmış esnek alüminyum hava kanallarına sahip sistem karşılaştırılmıştır. Yapılan bütün deney çiftleri eşdeğer zamanlarda yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları aşağıda listelenebilir:

• Maksimum çıkış sıcaklığı değerleri tip_1'den elde edilmiştir. Bu nedenle günlük güneş radyasyonu değerlerinin etkileri büyüktür.

• Elde edilen sonuçlara dayanarak, sistem ısıl verimliliği hesaplandığında tip_3/gün_2'nin en yüksek ısıl çıkışa sahip olduğu bulunmuştur. Buna göre, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 arasında ortalama ısıl enerjide % 13,73'lik bir fark vardır. Ayrıca tip_1/gün_1, tip_2/gün_1 arasındaki ısıl enerji oranında %1,14'lik bir fark vardır. Bu oranlar, tip_1/gün_1 olarak adlandırılan sistemin tip_2/gün_1 olarak adlandırılan sisteme kıyasla daha yüksek ısıl çıkışa sahip olduğunu doğrulamıştır.

• Isıl verimlilik oranlarına benzer şekilde, tip_3/gün_2 en yüksek ekserji oranına sahiptir. Bu bağlamda, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 arasındaki ortalama ekserji oranı farkı %19,79 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tip_1/gün_1, tip_2/gün_1 arasındaki bu fark %6,85 olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda ısıl enerji verimliliği ile benzer bir eğilime sahiptir. Bu oranlar, nano kaplamanın güneş hava kolektörleri için ne kadar önemli olduğunu doğrulamaktadır.

• Nano kaplı sistemin performans katsayısı beklendiği gibi elde edilmiştir. Tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için ortalama performans katsayısı sırasıyla 4,82, 4,52, 4,56 ve 5,22'dir.

• Ekserji değerlerine dayalı ortalama sürdürülebilirlik endeksi hesaplamaları tip_1/gün_1, tip_2/gün_1, tip_2/gün_2 ve tip_3/gün_2 için 1,34, 1,22, 1,23 ve 1,66 olarak bulunmuştur.

Elde edilen verilere dayanarak, hesaplanan bu değerler, geliştirilen fotovoltaik ısıl kolektör modellerinin performansını ve nano malzemelerle kaplamaların önemini vurgulamaktadır. Bu sonuçlar, geliştirilen modellerin başarıyla uygulandığını göstermektedir. Buna ek olarak, mevcut modellerin, sistem verimliliğinin iyileştirilmesi amacıyla daha ileri değişikliklerle geliştirme yapılabileceği açıkça vurgulanabilir.

KAYNAKLAR

1. Sharma, A., Chen, C. R. and Lan, N. V. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 13(6-7), 1185-1210.

2. Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A. and Jain, A. (2016). Thermal energy storage based solar drying systems: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies,* 34, 86-99.

3. Arunkumar, H. S., Karanth, K. V. and Kumar, S. (2020). Review on the design modifications of a solar air heater for improvement in the thermal performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* 39, 100685.

4. Chabane, F., Moummi, N. and Benramache, S. (2014). Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater. *Journal of Advanced Research,* 5(2), 183-192.

5. Patel, R., Kulkarni, K. G., Havaldar, S. N. and Deshmukh, V. N. (2022). A review on the factors that decrease the performance of a solar water heater. *Materials Today: Proceedings.*

6. Öztürk, H. H. (2008). *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri* (Birinci Baskı). Türkiye: Birsen Yayınevi, 61-62.

7. Yettou, F., Azoui, B., Malek, A., Gama, A. and Panwar, N. L. (2014). Solar cooker realizations in actual use: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 37, 288-306.

8. Mantar, S. ve Karakılçık, M. (2009). Güneş ışığının güneş havuzunda depolanmasının teorik olarak incelenmesi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 10(2), 159-163.

9. Sökmen, H. M. ve Erdallı, Y. (1996). Güneş havuzları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi,* 27.

10. Yasin, İ. Ç. E. L., Mamiş, M. S. ve Buğutekin, A. (2016). Güneş bacası sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi. *EMO Bilimsel Dergi,* 5(10), 20-23.

11. Öztürk, H. H. (2008). *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri* (Birinci Baskı). Türkiye: Birsen Yayınevi, 70-71.

12. Husain, A. A., Hasan, W. Z. W., Shafie, S., Hamidon, M. N. and Pandey, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 94, 779-791.

13. Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri,* 1, 1-14.

14. Kalogirou, S. A. (2009). Chapter three-Solar Energy Collectors. *Solar Energy Engineering,* 121-217.

15. İnternet: Düz Yüzeyli Güneş Enerjisi Kolektörleri. URL: https://www.tesisat.org/duz-yuzeyli-gunes-enerjisi-kollektorleri.html, Son Erişim Tarihi: 05.03.2023

16. Çağlar, A. ve Talay, İ. B. (2019). Tasarım parametrelerinin parabolik oluk tipi bir güneş kolektörünün performansına etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi,* 24(2), 15-24.

17. Yavuz, A. H. (2020). Isı borulu vakum tüplü termoelektrik güneş jeneratörü tasarımı ve uygulaması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 9(1), 180-185.

18. Ghasemi, S. E. and Ranjbar, A. A. (2016). Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid as working fluid: a CFD modelling study. *Journal of Molecular Liquids,* 222, 159-166.

19. Lin, M., Sumathy, K., Dai, Y. J. and Zhao, X. K. (2014). Performance investigation on a linear Fresnel lens solar collector using cavity receiver. *Solar Energy,* 107, 50-62.

20. Hatipoğlu, M. (2019). *Parabolik çanak toplayıcılar ile sıcak su elde edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.

21. Joardder, M. U. H., Halder, P. K., Rahim, M. A. and Masud, M. H. (2017). Solar pyrolysis: converting waste into asset using solar energy. *In Clean Energy for Sustainable Development Academic Press,* 213-235.

22. Dinçer, I. and Ratlamwala, T.A.H. (2013). Solar thermal power systems. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.*

23. Çiftçi, E., Khanlari, A., Sözen, A., Aytaç, İ. and Tuncer, A. D. (2021). Energy and exergy analysis of a photovoltaic thermal (PV-T) system used in solar dryer: A numerical and experimental investigation. *Renewable Energy,* 180, 410-423.

24. Alta, D., Bilgili, E., Ertekin, C. and Yaldiz, O. (2010). Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and exergy analyses. *Applied Energy*, 87(10), 2953-2973.

25. Abuşka, M. and Şevik, S. (2017). Energy, exergy, economic and environmental (4E) analyses of flat-plate and V-groove solar air collectors based on aluminium and copper. *Solar Energy,* 158, 259-277.

26. Benli, H. (2013). Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes. *Renewable Energy,* 50, 58-67.

27. Chaudhri, K., Bhagoria, J. L. and Kumar, V. (2022). Transverse wedge-shaped rib roughened solar air heater (SAH)-Exergy based experimental investigation. *Renewable Energy,* 184, 1150-1164.

28. Tuncer, A. D., Khanlari, A., Sözen, A., Gürbüz, E. Y., Şirin, C. and Gungor, A. (2020). Energy-exergy and enviro-economic survey of solar air heaters with various air channel modifications. *Renewable Energy,* 160, 67-85.

29. El-Said, E. M., Abou Al-Sood, M. M., Elsharkawy, E. A. and Abdelaziz, G. B. (2022). Tubular solar air heater using finned semi-cylindrical absorber plate with swirl flow: Experimental investigation. *Solar Energy*, 236, 879-897.

30. Abuşka, M. (2018). Energy and exergy analysis of solar air heater having new design absorber plate with conical surface. *Applied Thermal Engineering,* 131, 115-124.

31. Moghadasi, M., Ghadamian, H., Khodsiani, M. and Pourbafrani, M. (2022). A comprehensive experimental investigation and dynamic energy modeling of a highly efficient solar air heater with octagonal geometry. *Solar Energy,* 242, 298-311.

32. Muthukumaran, J. and Senthil, R. (2022). Experimental performance of a solar air heater using straight and spiral absorber tubes with thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, 45, 103796.

33. Kabeel, A. E., Hamed, M. H., Omara, Z. M. and Kandel, A. W. (2018). On the performance of a baffled glazed-bladed entrance solar air heater. *Applied Thermal Engineering,* 139, 367-375,

34. Abdullah, A. S., Abou Al-sood, M. M., Omara, Z. M., Bek, M. A. and Kabeel, A. E. (2018). Performance evaluation of a new counter flow double pass solar air heater with turbulators. *Solar Energy,* 173, 398-406.

35. Akhbari, M., Rahimi, A. and Hatamipour, M. S. (2020). Modeling and experimental study of a triangular channel solar air heater. *Applied Thermal Engineering,* 170, 114902.

36. Gill, R. S., Singh, S. and Singh, P. P. (2012). Low cost solar air heater. *Energy Conversion and Management,* 57, 131-142.

37. Poole, M. R., Shah, S. B., Grimes, J. L., Boyette, M. D. and Stikeleather, L. F. (2018). Evaluation of a novel, low-cost plastic solar air heater for turkey brooding. *Energy for Sustainable Development*, 45, 1-10.

38. Saxena, A., Verma, P., Srivastava, G. and Kishore, N. (2020). Design and thermal performance evaluation of an air heater with low cost thermal energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 167, 114768.

39. Mgbemene, C., Jacobs, I., Okoani, A. and Ononiwu, N. (2022). Experimental investigation on the performance of aluminium soda can solar air heater. *Renewable Energy*, 195, 182-193.

40. Khanlari, A., Sözen, A., Şirin, C., Tuncer, A. D. and Gungor, A. (2020). Performance enhancement of a greenhouse dryer: Analysis of a cost-effective alternative solar air heater. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119672.

41. Widyolar, B., Jiang, L., Brinkley, J., Hota, S. K., Ferry, J., Diaz, G. and Winston, R. (2020). Experimental performance of an ultra-low-cost solar photovoltaic-thermal (PV-T) collector using aluminum minichannels and nonimaging optics. *Applied energy,* 268, 114894.

42. Khanlari, A., Tuncer, A. D., Sözen, A., Aytaç, İ., Çiftçi, E. and Variyenli, H. İ. (2022). Energy and exergy analysis of a vertical solar air heater with nano-enhanced absorber coating and perforated baffles. *Renewable Energy,* 187, 586-602.

43. Nazari, M., Jafarmadar, S. and Khalilarya, S. (2022). Exergy and thermoeconomic analyses of serpentine tube flat-plate solar water heaters coated with CuO nanostructures. *Case Studies in Thermal Engineering,* 35, 102072.

44. Selimefendigil, F., Şirin, C., Ghachem, K., Kolsi, L., Alqahtani, T., and Algarni, S. (2022). 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.

45. Kumar, R., Verma, S. K. and Sharma, V. K. (2020). Performance enhancement analysis of triangular solar air heater coated with nanomaterial embedded in black paint. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2528-2532.

46. Abdelkader, T. K., Zhang, Y., Gaballah, E. S., Wang, S., Wan, Q. and Fan, Q. (2020). Energy and exergy analysis of a flat-plate solar air heater coated with carbon nanotubes and cupric oxide nanoparticles embedded in black paint. *Journal of Cleaner Production,* 250, 119501.

47. Jeong, D., Lee, J., Hong, H., Choi, D., Cho, J. W., Kim, S. K. and Nam, Y. (2017). Absorption mechanism and performance characterization of CuO nanostructured absorbers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 169, 270-279.

48. Selimefendigil, F., Şirin, C. and Öztop, H. F. (2022). 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.

49. Sivakumar, S., Velmurugan, C., Dhas, D. E. J., Solomon, A. B. and Wins, K. L. D. (2020). Effect of nano cupric oxide coating on the forced convection performance of a mixed-mode flat plate solar dryer. *Renewable Energy,* 155, 1165-1172.

50. Abd-Elhady, M. S., Abd-Elkerim, A. N. A., Ahmed, S. A., Halim, M. A. and Abu-Oqual, A. (2020). Study the thermal performance of solar cookers by using metallic wires and nanographene. *Renewable Energy, 153*, 108-116.

51. Kabeel, A. E., Sathyamurthy, R., Sharshir, S. W., Muthumanokar, A., Panchal, H., Prakash, N. and El Kady, M. S. (2019). Effect of water depth on a novel absorber plate of pyramid solar still coated with TiO2 nano black paint. *Journal of Cleaner Production,* 213, 185-191.

52. Selimefendigil, F. and Şirin, C. (2022). Energy and exergy analysis of a hybrid photovoltaic/thermal-air collector modified with nano-enhanced latent heat thermal energy storage unit. *Journal of Energy Storage,* 45, 103467.

53. Kong, D., Wang, Y., Li, M., Liu, X., Huang, M. and Li, X. (2021). Analysis of drying kinetics, energy and microstructural properties of turnips using a solar drying system. *Solar Energy,* 230, 721-731.

54. Ortiz-Rodríguez, N. M., Marín-Camacho, J. F., Llamas-González, A. and García-Valladares, O. (2021). Drying kinetics of natural rubber sheets under two solar thermal drying systems. *Renewable Energy,* 165, 438-454.

55. Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Ergün, A., Ceylan, İ., Sözen, A., Tuncer, A. D. and Khanlari, A. (2022). A detailed investigation of the temperature-controlled fluidized bed solar dryer: a numerical, experimental, and modeling study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* 49, 101703.

56. Ahmad, N. T. (2001). Agricultural solar air collector made from low-cost plastic packing film. *Renewable Energy,* 23(3-4), 663-671.

57. Tuncer, A. D., Sözen, A., Khanlari, A., Amini, A. and Şirin, C. (2020). Thermal performance analysis of a quadruple-pass solar air collector assisted pilot-scale greenhouse dryer. *Solar Energy,* 203, 304-316.

58. Sözen, A., Şirin, C., Khanlari, A., Tuncer, A. D. and Gürbüz, E. Y. (2020). Thermal performance enhancement of tube-type alternative indirect solar dryer with iron mesh modification. *Solar Energy,* 207, 1269-1281.

59. Avargani, V. M., Zendehboudi, S., Rahimi, A. and Soltani, S. (2022). Comprehensive energy, exergy, enviro-exergy, and thermo-hydraulic performance assessment of a flat plate solar air heater with different obstacles. *Applied Thermal Engineering,* 203, 117907.

60. Tuncer, A. D. (2018). *Yeni tip havalı bir güneş kolektörünün tasarımı imalatı ve performans analizi,* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

61. Holman, J. (2001). *Experimental Methods for Engineers* (Yedinci Baskı). New York: McGraw-Hill.



Gazili olmak ayrıcalıktır