



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ALÜMİNYUM BALPETEĞİ SOĞURUCU
PLAKAYA SAHİP GÜNEŞ HAVA
KOLLEKTÖRÜNÜN DENEYSEL ANALİZİ**

Sharif EYYUBLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALÜMİNYUM BALPETEĞİ SOĞURUCU PLAKAYA SAHİP GÜNEŞ HAVA KOLLEKTÖRÜNÜN DENEYSEL ANALİZİ

Sharif EYYUBLU

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mahmut Sami BÜKER

2023, 54 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Mahmut Sami BÜKER
Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN
Prof. Dr. Ahmet SAMANCI

Bu çalışmada, bir güneş hava kolektörü tasarımının deneysel testleri gerçekleştirilmiştir. Güneş hava kolektörünün verimini artırmak için balpeteği geometrisine sahip bir alüminyum soğurucu plaka kullanılmıştır. Isı transferi ve hava akış özelliklerini incelemek için kenar hava çekişli güneş hava kolektörünün, farklı ışınım ve kütle debisi altında sistemin optimum çalışma aralıkları belirlenerek deneysel testleri gerçekleştirilmiştir. Alüminyum balpeteği yapılı güneş hava kolektörünün önceden belirlenmiş hava koşullarına uygun olarak deneysel testleri gerçekleştirilmiş ve çıkan hava sıcaklık artış değerleri ve karşılık gelen termal verimlilik değerleri bulunmuştur. Deneysel testlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda kolektörün maksimum anlık verimi %70 ve ortalama verimi yaklaşık %50 olarak bulunmuştur. Bulgular sonucunda alüminyum balpetekli güneş hava kolektörünün güneş ışınımı yoğunluğunun yüksek olduğu öğlen saatlerinde 13:00-14:00 arasında 1200 W/m² ışınım altında %70 termal verimliliğe ulaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş hava kolektörü, Balpeteği soğurucu yüzey, Termal analiz, Deneysel çalışma.

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A SOLAR AIR COLLECTOR WITH ALUMINUM HONEYCOMB ABSORBENT PLATE

SHARIF EYYUBLU

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENGINEERING SYSTEMS ENERGY**

Advisor: Assoc. Prof. Mahmut Sami BÜKER

2023, 54 Pages

Jury

Assoc. Prof. Mahmut Sami BUKER

Assoc. Prof. Muhammet Huseyin CETIN

Prof. Ahmet SAMANCI

In this study, experimental study of a solar air collector design were carried out. An aluminum absorber plate with a honeycomb geometry is used to increase the efficiency of the solar air collector. In order to investigate the heat transfer and air flow characteristics, the optimum operating ranges of the system under different irradiance and mass flow rates of the edge draft solar air collector were determined and experimental tests were carried out. Experimental tests were carried out in accordance with the predetermined weather conditions of the aluminium honeycomb collector and the air temperature rise values and the corresponding thermal efficiencies were obtained. According to the results obtained from the experimental tests, the maximum instantaneous efficiency of the collector was found to be 70% and the average efficiency was found to be approximately 50%. The results have also shown that the solar air collector with aluminium honeycomb absorber plate has reached 70% thermal efficiency under 1200W / m² irradiation between 13:00-14:00 at noon when the solar radiation intensity is high.

Keywords: Solar air collector, Honeycomb cover plate, Thermal analysis, Experimental analysis.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında hazırlanmış ve Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2113MER03003 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü Necmettin Erbakan Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Bu tezi tamamlarken, araştırma süreci boyunca birçok kişi ve kuruluştan destek aldım ve onlara teşekkür etmek isterim. İlk olarak, tez danışmanım Doç. Dr. Mahmut Sami BÜKER'e özel teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Bana yol gösterici tavsiyeleri, destekleri ve değerli yönlendirmeleri için minnettarım. Sizlerin bilgeliği ve rehberliği olmadan bu çalışmayı tamamlamam mümkün olmazdı.

Bu tez çalışması kapsamında üretimi gerçekleştirilen Güneş hava kollektörünün üretimi aşamasında, desteklerinden dolayı Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER, Altıgen Uzay Havacılık Gemi İnş. Pan. San. Ltd. Şti., Solimpeks Enerji San. ve Tic. AŞ. ve İnnorma ArGe AŞ.'ye teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, babam Baba EYYUBOV başta olmak üzere aileme sonsuz desteklerinden dolayı teşekkür etmeyi kendime borç olarak bilirim.

Sharif EYYUBLU
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Hava Kollektörlerine Genel Bakış.....	2
1.2. Güneş Hava Kollektörlerinin Çalışma Prensibi.....	4
1.3. Güneş Hava Kollektörlerinin Sınıflandırılması	4
1.4. Soğurucu Plaka	7
1.5. Tezin Amacı ve İçeriği	8
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Deney düzeneği	17
3.1.2. Deney düzeneğinde kullanılan sistemler	20
3.1.3. Güneş hava kollektörü	23
3.1.4. Deneylede kullanılan veri toplama ekipmanları.....	25
3.1.4.1. Veri kayıt cihazı	25
3.1.4.2. Anemometre	26
3.1.4.3. Sıcaklık sensörü.....	27
3.1.4.4. Piranometre	28
3.1.4.5. Termal kamera.....	29
3.2. Yöntem.....	29
3.2.1 Güneş hava kollektörünün termodinamik analizi	31
3.2.1.1. Termal verimlilik analizi	31
3.2.1.2. Ekserji analizi	31
3.2.1.3. Sayısal model	32
3.2.1.4. Belirsizlik analizi.....	34
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Deneysel Araştırma Sonuçları	35
4.1.1. Sıcaklık değişimi	35
4.1.2. Kollektör yüzeyinin sıcaklık değişimi	37
4.1.3. Enerji analizi	41
4.1.4. Termal verimlilik analizi	41
4.1.5. Ekserji analizi	44

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
5.1. Sonuçlar	46
5.2. Öneriler	47
6. KAYNAKLAR	49



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
K	: Kelvin derece
I_c	: Güneş radyasyonu
η	: Kollektörün termal verimliliği
c_p	: Özgül ısı kapasitesi
m_a	: Debi
I	: Işınım miktarı
A	: Kollektörün cam yüzey alanı (m^2)
kg/s	: Kilogram/saat
L	: Uzunluk
M	: Metre
m/s	: Metre/saniye
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
mm	: Milimetre
$Q_{\text{coll.air}}$: Isı miktarı (J)
DNI	: Direkt ışınım
Q_t	: Güneş radyasyonu miktarı (J)
\dot{m}	: Kütleli debi
T	: Sıcaklık
v	: Hız
W	: Watt
W/m^2	: Watt/metrekaire
H	: Verim

P : Yoğunluk

T : Zaman

Kısaltmalar

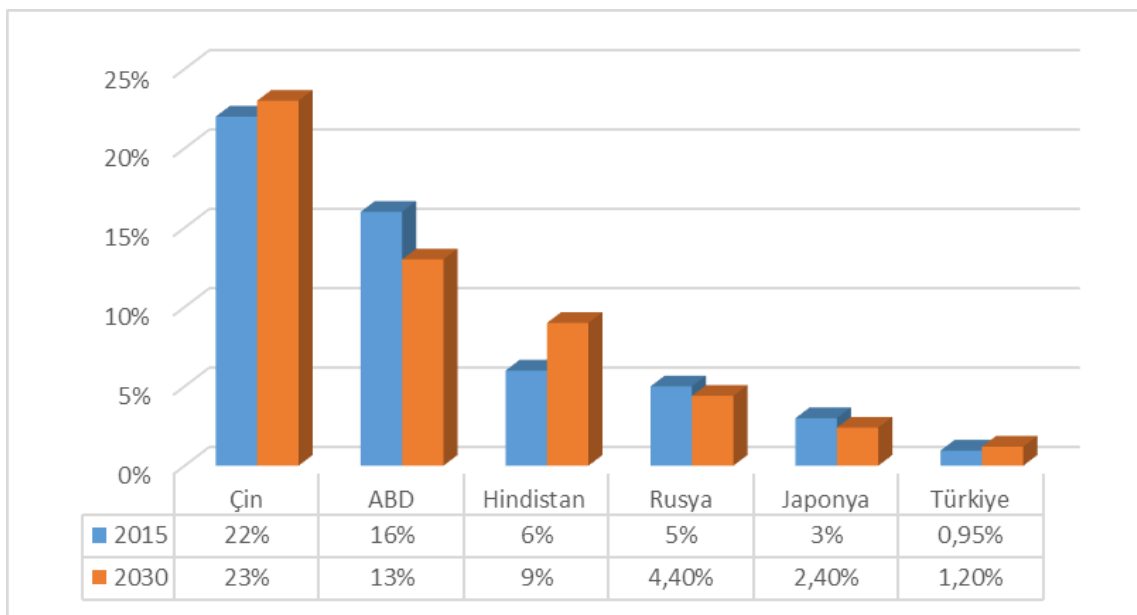
TEP : Ton eşdeğer petrol

SiO₂ : Silisyum Dioksit



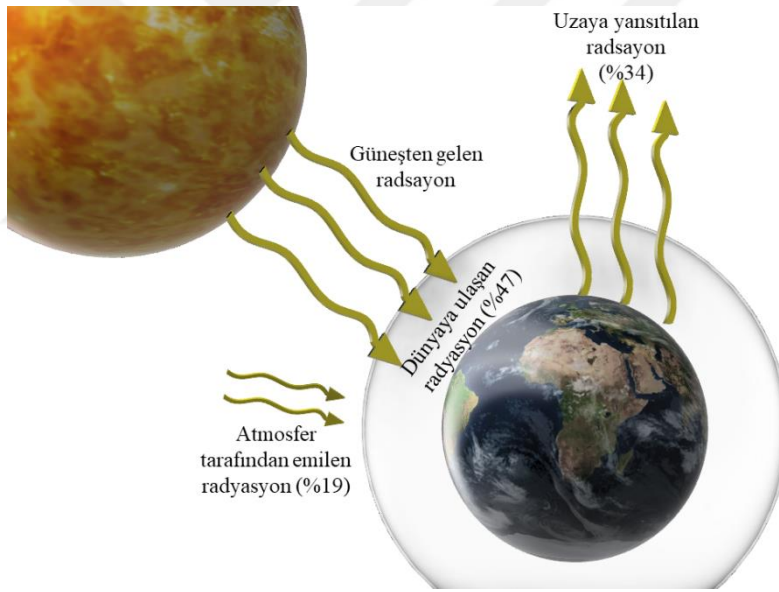
1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarına olan talep, artan nüfus oranı ile birleştiğinde çevrenin doğal unsurları üzerinde geri dönüştürülemez bir etki oluşturmuştur. Bu talep artışı sırasında en çok yararlanan temel enerji kaynakları kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtlardır. Dünyanın jeolojik geçmişinden günümüze kadar uzanan mirası temsil eden fosil yakıt miktarının sınırlı olması insanlığı geri dönüştürülebilir ve sınırsız kullanıma sahip yeşil enerji arayışına itmiştir. Dünya enerji kaynakları ile ilgili olarak rezervlerin nasıl dayanacakları tartışma konusu olarak gündemde tutmak yerine, fosil yakıtların geri dönüştürülemez olması ile birlikte, kullanımının ortaya çıkaracağı çevresel ve küresel etkenlerin tartışma konusu haline getirilmesi gereklidir. Dünya enerji tüketimlerine baktığımızda enerji talebindeki artışla, enerjinin önemli bir değer kazandığını görebiliriz. Dünyada ortalama olarak 13.27 milyar ton petrol eşdeğeri (TEP) enerjinin %33.3'ü petrol, %24.1'i doğal gaz, %28.1'i kömür, %6.9'u hidrolik, %4.4'ü nükleer, %3.2'si ise yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilmektedir. Dünya enerji kullanımında ise liderlik 2990 milyon TEP (dünyada tüketilen toplam enerjinin %22'si) ile Çin'dedir (Kaya ve Koç, 2015). Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya ve Türkiye tarafından 2015 yılında dünyada üretilen toplam enerjinin tüketim oranı Şekil 1.1'de grafik halinde gösterilmiştir. Aynı zamanda 2015 yılındaki tüketim oranı ile 2030 yılındaki tahmini tüketim oranları kıyaslanmıştır (İEA, 2023).



Şekil 1.1. Dünya enerji tüketimi (İEA, 2023).

Çevremizin ve insanlığın küresel iklim problemleri ile karşı karşıya kaldığı bir zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının yükseltilmesi, hatta bazı gelişmiş ülkelerde neredeyse tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına geçiş olumlu etkilere sahip olmuştur. Örnek olarak, Avrupa’da toplam tüketilen enerji miktarının %30’u yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir (Rodrigues vd., 2022). Su gücü, rüzgâr, jeotermal ve güneş enerji sistemleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından alınan enerji miktarı dışında, dünya için talep edilen enerjinin neredeyse tamamı güneş radyasyonundan gelmektedir. Güneş tükenmez ve temiz enerji kaynağı olarak dünya enerji talebini sonsuza kadar karşılayacak enerjiye sahiptir. Dünya üzerine gelen radyasyon miktarının %34’ü uzaya geri yansıtılır, %47’i dünya yüzeyi tarafından emilir, %19’u ise atmosferdeki buhar halindeki su, bulut ve toz partikülleri tarafından emilmektedir (Şekil 1.2.) (“The Atmospheric Environment and Climatic Change”, 1975).



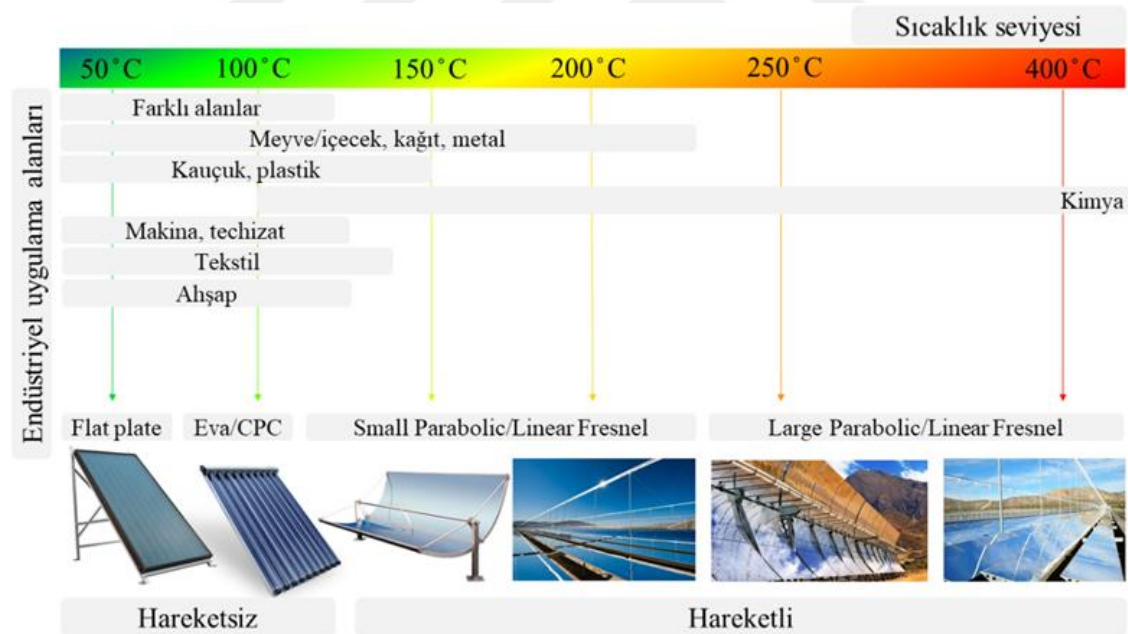
Şekil 1.2. Dünya üzerine gelen radyasyon miktarı (“The Atmospheric Environment and Climatic Change”, 1975)

1.1. Güneş Hava Kollektörlerine Genel Bakış

Güneş enerji sistemlerinin tüm teknolojiler arasında, havanın ısıtılması amacıyla kullanılan sistemlerden birisi de güneş hava kollektörleridir. Güneş hava kollektörleri, güneş radyasyonundan elde edilen faydalı ısı kazancını kullanan yoğunlaştırılmış ve yoğunlaştırılmış olmayan sistemlerdir. Konsantre sistemler tipik olarak güneşten gelen

radyasyonu yoğunlaştıran içbükey bir yansıtıcı yüzeye sahip olup, ışınımı daha küçük bir alana yönlendirir (Behar ve ark., 2020; Arani ve ark., 2021). Bu sistemler genel olarak ışınım akışını artırarak orta ve yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalar için tasarlanmıştır. Konsantre güneş hava kolektörleri genellikle şebeke seviyeli uygulama alanlarında büyük ölçekte kullanılmaktadır (Keyif ve ark., 2020). Konsantre olmayan güneş kolektörleri düz bir soğurucu yüzeye sahip olan sistemlerdir (Palacio ve ark. 2020; Sadeghi ve ark., 2019). Konsantre olmayan güneş kolektörleri genellikle orta ve küçük ölçekli uygulama alanlarında kullanılır ve bu durum binaya entegrasyonunu kolaylaştırır (Garinier ve ark., 2018; Tian ve ark.,2018). Genellikle bu sistemler soğurucu yüzeyden, kasa, yalıtım ve camdan oluşmaktadır.

Güneş hava kolektörlerinde ısı kayıplarının çalışma havası sıcaklığına bağlılığı göz önüne alındığında, en uygun kolektör teknolojisi seçimi doğrudan ısı talep sıcaklığı ile ilgilidir. Şekil 1.3'te kolektör sistemlerinin güneş entegrasyonu için farklı sektörleri ve sıcaklık seviyeleri gösterilmiştir.



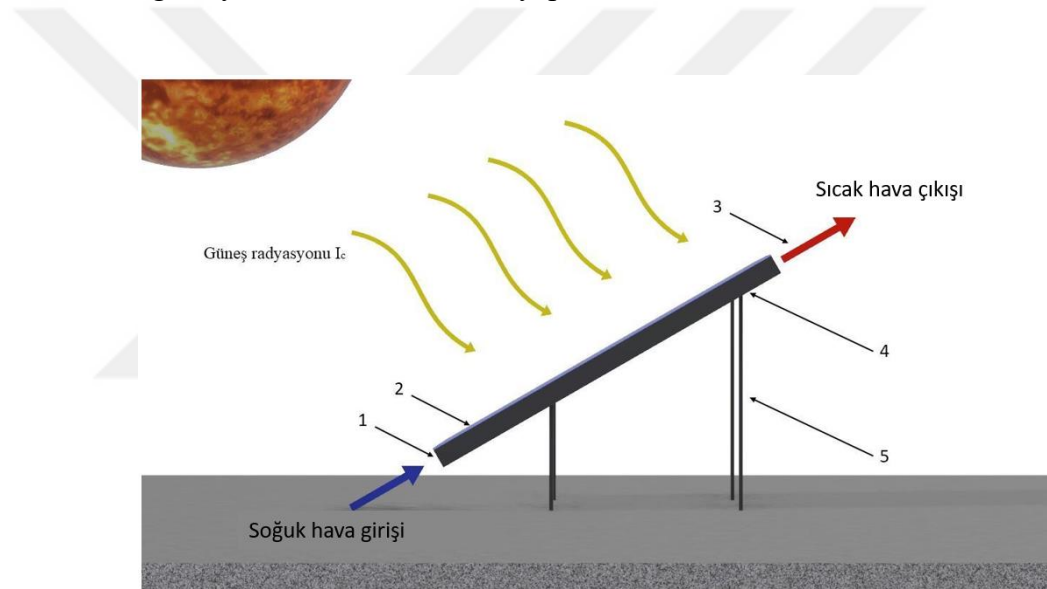
Şekil 1.3. Güneş hava kolektörleri sıcaklık ve kullanım alanları

Bununla birlikte bu tez kapsamında sunulan çalışma, yalnızca düşük sıcaklıklı güneş enerji sistemlerine odaklanmaktadır.

1.2. Güneş Hava Kollektörlerinin Çalışma Prensibi

Güneş hava kollektörlerinin temel çalışma prensibi genellikle çeşitli ürünlerde aynıdır. Kollektörün ana bileşenleri ve çalışma prensibi Şekil 1.4'te gösterilmiştir.

Çalışma havası fan yardımıyla kollektörün giriş kanalından girerek kollektör içerisinde dolaşır. Çalışma havası emici plaka tarafından yakalanan ısı ile ısıtılarak uygulama amacıyla çıkış kanalından çıkar. Tipik bir güneş hava kollektöründe, çalışma havasını kollektörden itmek ve çekmek için üfleyici bir fan kullanılır. Güneş radyasyonu (I_c), emici yüzey tarafından ısı enerjisi olarak emilir. Burada I_c , doğrudan, dağınık ve yansıyan olmak üzere emici plakaya çarpan toplam radyasyon miktarıdır. Emici yüzeyler farklı konfigürasyon ve malzemelerden yapılmaktadır.



Şekil 1.4. Güneş hava kollektörü. 1. Soğuk hava girişi; 2. Kollektör camı; 3. Sıcak hava çıkışı; 4. Kollektör kasası; 5. Kollektör montaj desteği.

1.3. Güneş Hava Kollektörlerinin Sınıflandırılması

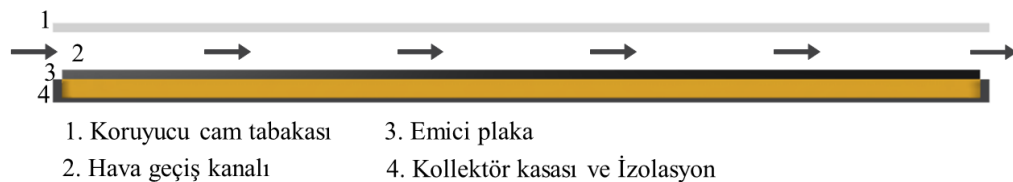
Uzun zamandır araştırma konusu haline gelen güneş hava kollektörlerinin çok sayıda konfigürasyonu olması nedeniyle sınıflandırmak zordur. Kollektörleri ana bileşenlerine göre cam tipi, soğurucu malzeme veya kaplama, soğurucu yüzeyin geometrik şekli ve hava akış kanalı sayısına göre sınıflandırılabilir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Güneş hava kollektörlerinin sınıflandırılması

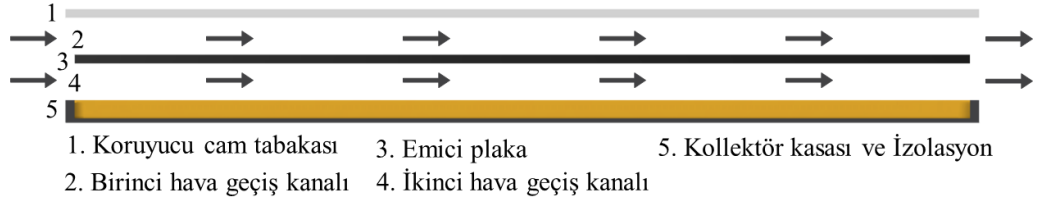
Sınıflandırma	
Cam tipi	Camsız, Tek katmanlı, Çok katmanlı
Soğurucu malzeme	Metal, Metal olmayan, Matris
Soğurucu yüzeyin şekli	Çıta, Gözenekli, Kanatlı
Hava akış kanalı	Üstten, Alttan, Alt-üst akış
Hava kanalı akış şekli	Tek akış tek geçiş, Çift akış tek geçiş, Tek akış çift geçiş, Geri dönüşümlü

Sistemin verimliliğini artırmak için kullanılan hava kanalı akış şekillerinin alt kategorileri ise tek akış tek geçiş, çift akış tek geçiş, tek akış çift geçiş ve tek akış geri dönüşümlü akış olarak çeşitlendirilir (Ghrilahre ve ark., 2021).

Tek akışlı ve tek geçişli güneş hava ısıtıcıları en yaygın olarak araştırılan ve kullanılan sistemlerdir (Şekil 1.5). Bu sistemler genellikle alt ve yan taraflardan taş yünü, cam yünü veya poliüretan ile yalıtılmış kasa içerisinde kullanılmış düz soğurucu yüzeyden oluşmaktadır. Kollektör içerisindeki hava belirli giriş ve çıkış borularından hareket etmek üzere tek kanaldan geçmektedir. Bundan dolayı bu tip güneş hava ısıtıcıları “tek akış tek geçişli” olarak sınıflandırmışlar.

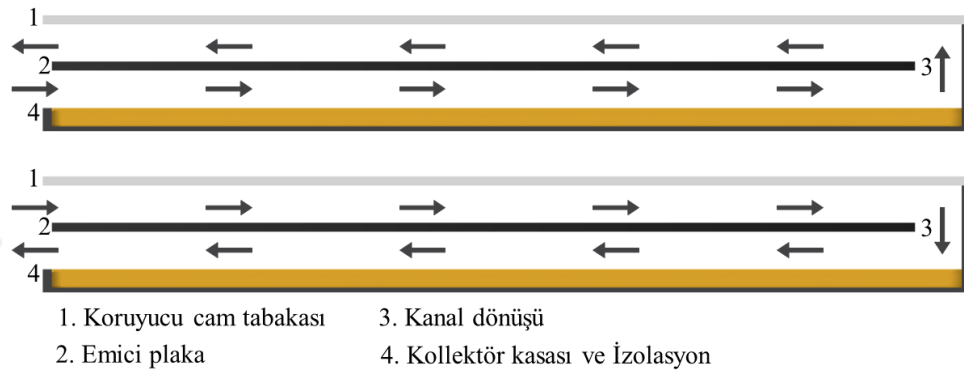
**Şekil 1.5.** Tek akış tek kanallı güneş hava ısıtıcısı

Tek akışlı çift geçişli güneş hava ısıtıcılarında tek akışta iki veya daha çok kanal yardımıyla çift geçişin olduğu kollektörlerdir (Şekil 1.6). Burada başlıca amaç kollektör içindeki soğurucu plakanın sıcaklığının hava tarafından tam şekilde soğurulmasıdır. Bu tip kollektörler üst kanal olarak cam tabakadan ve alt kanal olarak ise plaka ve yalıtımdan oluşmaktadır. Her iki kanallarda hava akışı giriş ve çıkışlar yardımıyla kanal boyunca birbirine karışmadan hareket etmektedir. Bu tip kollektörlerin kullanılmasında amaç ısı transfer alanını artırarak kollektörü verimli bir şekilde kullanmaktır.



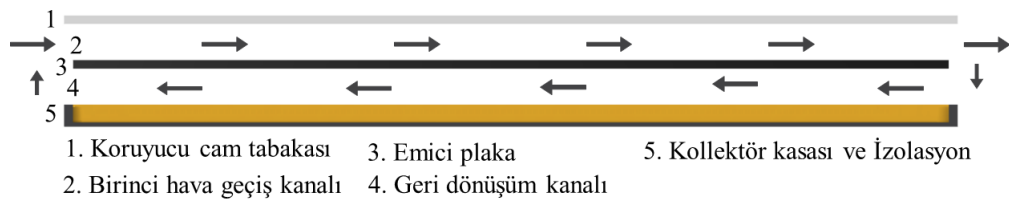
Şekil 1.6. Çift akış tek kanallı güneş hava ısıtıcısı

Tek akışlı çift geçişli güneş hava ısıtıcıları birbirinin üzerinde olan iki kanaldan oluşmaktadır. Çalışma havası üst taraftan akar ve kanalın sonunda yön değiştirerek alt kanala geçer. Bu tip kolektörlerde başlıca amaç havanın kolektör içindeki kalma süresini artırarak daha verimli sonuçlara ulaşmaktır. Şekil 1.7'de görüldüğü gibi üst üste iki kanal vardır. Bu kolektörlerin hava akış yönüne göre Şekil 1.7'de olduğu gibi 2 tipe ayrılır.



Şekil 1.7. Tek akış çift geçişli güneş hava ısıtıcısı

Şekil 1.8'de gösterilen güneş hava ısıtıcılarında performans yükseltilmesi amacıyla ısıtılmış havanın bir kısmı kolektörün çıkışında alt kanala geçerek tekrardan giriş kanalına doğru hareket eder. Geri dönen hava tekrardan giriş havası ile karışarak bu şekilde sirkülasyonu sağlamaktadır. Sistemde tek giriş ve çıkış vardır ve bu nedenle bu tip güneş enerjisi hava ısıtıcısına "Tek akışlı geri dönüştürülmüş çift geçişli güneş hava ısıtıcısı" denir.



Şekil 1.8. Tek akış geri dönüşümlü güneş hava ısıtıcısı

1.4. Soğurucu Plaka

Güneş hava kolektörlerinin ana bileşenlerinden en önemlisi soğurucu plakalardır. Soğurucu plaka malzemesinin görevi, güneş ışınımından aldığı ısı enerjisi emerek hava veya su gibi akışkana, ısı transfer ortamlarına aktarmaktır. Kolektörlerin performans göstericileri, soğurucu plakanın termo-fiziksel özelliklerine ve tipine bağlıdır. Bunun yanı sıra soğurucu plaka malzemesinin kaplaması da kolektör performansına önemli ölçüde etki etmektedir. Soğurucu plakaların kolektör verimliliği üzerine etkisinin araştırılması amacı ile farklı plaka tasarımları önerilmiştir. Kolektör içerisindeki çalışma havasının ısı transferini arttırmak amacıyla soğurucu plakada ikincil ısı transfer alanının kullanılması, akışkan hızının bozulması ve türbülanslı sınır tabakasında laminer alt tabakanın bozulması gibi üç temel yöntem kullanılmaktadır. Güneş hava kolektörünün akış yoluna türbülanslı akış dâhil edilmesi kolektör veriminde önemli ölçüde artış kaydetmektedir. Bunun sebebi daha yüksek ısı transfer katsayısı ve akışkana ısı transferini artıran ısı transfer yüzey alanıdır. Literatürde bununla ilgili çalışmalar mevcuttur (Singh ve ark., 2019; Raj ve ark., 2019; Manjunath ve ark., 2018; Singh S., 2017).

Güneş hava kolektörlerinde soğurucu plakaları, örtüşen plakalı, matris, delikli, petek ve farklı geometrik şekilli olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu soğurucu plaka tipleri çeşitli tasarımlarda ve plaka malzemesi açısından farklılıklar göstermektedir. Bunun yanı sıra plakaların daha gelişmiş karmaşık tasarımı ile imalat ve maliyet açısından çeşitli problemler ortaya çıkarabilir.

Güneş hava kolektörlerinde kullanılan soğurucu plakaların verimliliğini artırmak amacıyla plaka üzerinde farklı selektif yüzey kaplayıcı malzemeler kullanılmaktadır. Hava kolektörlerinde güneş radyasyonunu verimli bir şekilde toplamak için siyah boya kaplı soğurucu plakalar kullanılmaktadır. Kullanılan siyah boya kaplamalarının kolektör verimliliği ve dayanıklılığını sınırlandırdığından, son yıllarda endüstriyel süreçlerde ve alan ısıtma uygulamalarını genişletmek amacıyla farklı yüzey kaplamaları araştırılmıştır. Düz plakalı kolektörlerde selektif yüzey kaplamalarının soğurucu plaka üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla literatürde çalışmalar mevcuttur. El-Sebaai vd, selektif yüzey kaplamaları üzerine yaptıkları bir çalışmada nikel-kalay emicilerinin yıllık ortalama değerinin geleneksel siyah boyalı plakalara göre %30 daha yüksek olduğunu göstermiştir (El-Sebaai ve H. Al-Snani., 2010) Bir başka çalışmada ise geleneksel siyah boyaya grafen

eklenerek kolektör veriminde % 6.2 artış sağlanmıştır (Y. Zhu. ve ark., 2021). Bunun yanı sıra literatürde termokromik güneş boyası, alüminyum, grafen, SiO₂ ve CrN_xO_y kaplamalarının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Giovannetti ve ark., 2014; Müller ve ark., 2019; Föste ve ark., 2016; Fan ve ark., 2019).

1.5. Tezin Amacı ve İçeriği

Bu çalışmada güneş enerjisinin temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanımının önemli bir bileşeni olan güneş hava kolektörlerinin tasarımı, işleyişi ve performansı üzerine odaklanılmıştır. Bu tez çalışmasının amacı, alüminyum balpeteği yapısının kolektör verimliliği ve ısı transferi üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemektir. Ayrıca, güneş hava ısıtıcılarının tasarım parametrelerini belirlemek için literatür taraması yapılmış ve bu taramaya dayanarak maksimum verimlilik elde etmek için yeni bir güneş hava kolektörü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tez, güneş hava kolektörlerinin performansını yükseltmek için alüminyum balpeteği yapısının kullanım potansiyelini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır.

Tez çalışmasının 2. Bölümünde güneş hava ısıtıcıları hakkında kısa bilgiler verilmektedir. Bu bölümde güneş hava kolektörleri ile ilgili yayınlanmış güncel çalışmalar incelenmiştir. Literatür çalışmasında, güneş hava ısıtıcılarını ana amaca uygun bir şekilde tasarım ve akış konfigürasyonlarına bağlı olarak derlenmiştir. Her tasarım için genel tasarım parametreleri ve çalışma prensipleri bu bölümde açıklanmaktadır. Ayrıca, güneş hava kolektörlerinin şematik görsel şekilleri de gösterilmektedir.

Tez çalışmasının 3. Bölümü Materyal ve Yöntem başlığı altında gösterilmiştir. Tezin bu bölümünde deneysel kurulum ve deney bileşenleri hakkında bilgi ve teknik özellikler detaylı olarak açıklanmaktadır. Deneysel kurulumun bileşenleri ve ölçüm cihazları, çalışma prensipleri ile birlikte bu bölümde sunulmaktadır.

Tez çalışmasının deneysel prosedürü ve ısı transferi hesaplamalarının sonuçları gerekli görsel ve grafikler ile birlikte 4. Bölümde verilmiştir. Deneysel araştırma sonuçları ve deneylerin yöntemi bu bölümde adım adım açıklanmaktadır. Deneysel süreç boyunca bu açıklanan yöntemlerden toplanan veriler kullanılarak tüm hesaplamalar yapılmış ve gerekli grafikler çizilerek detaylı bir şekilde yorumlanmıştır.

5. Bölüm, tez çalışması süresince yapılan deneylerin sonuçlarını ve tartışmalarını içermektedir. Deneysel sonuçlarda belirtilmiş alüminyum balpeteği yapısının kolektörün verimliliği üzerine etkisi tartışılmaktadır. Ayrıca bu bölümde Sonuç ve Öneriler başlığı

altında 4. Bölümde açıklanmış hesaplamalar ve grafiklerden ortaya çıkan avantaj ve dezavantaj gibi konular tartışılmıştır. Bunun yanı sıra yapılan çalışmaların sonuçları ve değerlendirmeleri yer almaktadır.



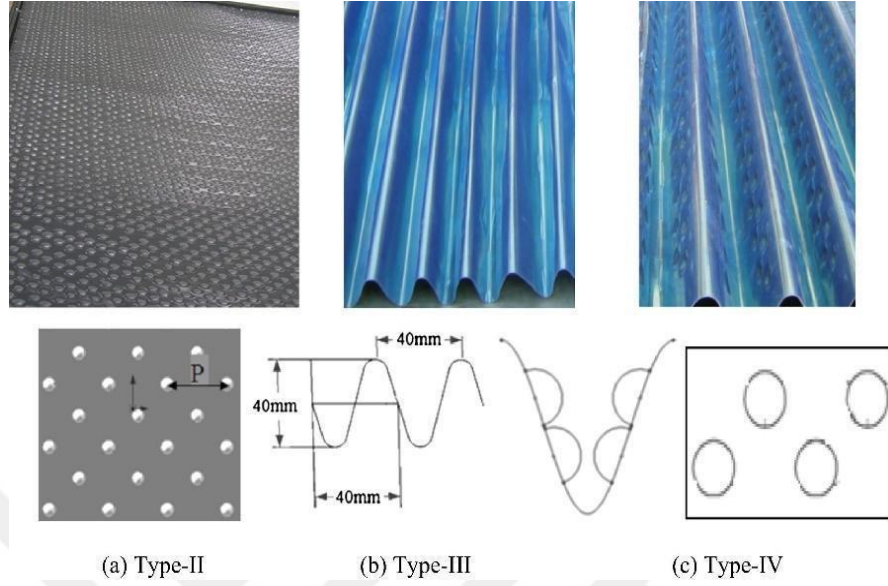
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son zamanlarda güneş hava kolektörleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların farklı plaka modifikasyonları, tel örgü veya gözenekli yapı tasarımları üzerine yapıldığı tespit edilmiştir. Kolektörün soğurucu plakasının şeklini değiştirerek termal verimde olumlu artışlara ulaşılmıştır. Kanatçık veya gözenekli yapıların soğurucu plakaya entegre edilmesi, plakadan çalışma havasına ısı transferi için yüzey alanını artırmakla kalmayarak, aynı zamanda türbülanslı akış oluşturmaktadır. Tezde yapılan çalışmalar farklı geometrik şekildeki soğurucu plakalarla ilgili olduğu için, bu bölümde soğurucu plakalar üzerine etkili bir literatür çalışması yapılmıştır.

Tingting Zhu ve ark. (Zhu ve ark., 2017), bu çalışmada bir ısı toplama, ısı transfer bölümü ve bir havalandırma ve ısı değişim bölümünden oluşan mikro ısı borusu dizinine sahip düz plakalı güneş hava kolektörü önermiştir. Önerilen sistemde geleneksel düz plakalı kolektörlerde olduğu gibi hava akışı, soğurucu plaka ile doğrudan temas halinde değildir. Böylece yeni tasarlanmış kolektör geleneksel kolektörlerdeki ısı transferinin artmasıyla birlikte ısı kaybının artması sorununu önlemiştir. Yapılan çalışmada kolektörün ısı transferi ve sürtünme faktörü özellikleri sayısal ve deneysel sonuçlar üzerine araştırılmıştır. Kolektörün yarı kararlı durum koşulları altında anlık performans değerlerinin göstermek için sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sistem veriminin, deneysel çalışmalar sonucunda 0.054 kg/s akış hızında % 69 olduğu görülmüştür .

Shui Lian Li ve ark. (Lian ve ark., 2017), hava ısıtıcı kolektöründe farklı şekilli soğurucu plakalar kullanarak havanın düşük termal özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir deneysel çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalar, daha iyi ısı transfer yüzeyleri sağlamakla soğurucu plakanın kolektör üzerindeki etkisini göstermiştir. Çalışmada dört tip hava ısıtıcı kolektörün deneysel sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur: sinüzoidal oluklu plaka, çıkıntılı plaka, sinüzoidal çıkıntılı ve geleneksel düz plakalı hava kolektörü. Deneyler aynı radyasyon altında ve aynı saatlerde yapılmıştır. Deneyler Çin'in Zhengzhou şehrinde Zhengzhou Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1). Test edilen kolektörler: Tip-I düz plakalı kolektör, Tip-II çıkıntı plakalı kolektör, Tip-III sinüzoidal oluklu plakalı kolektör, Tip-VI ise Tip-II ve Tip-III kolektörlerinin birleşimi olarak sinüzoidal oluklu ve çıkıntılı plakalı kolektör olarak adlandırılmıştır. Yapılan testler sonucunda Tip-I'de (düz plakalı kolektöre) göre kolektör verimleri Tip-

II'de 1.08 kat, Tip-III'de 1.31 kat ve Tip-VI'de 1.23 kat artış gözlemlenmiştir. Sonuç olarak en yüksek verime Tip-III' te ulaşılmıştır.

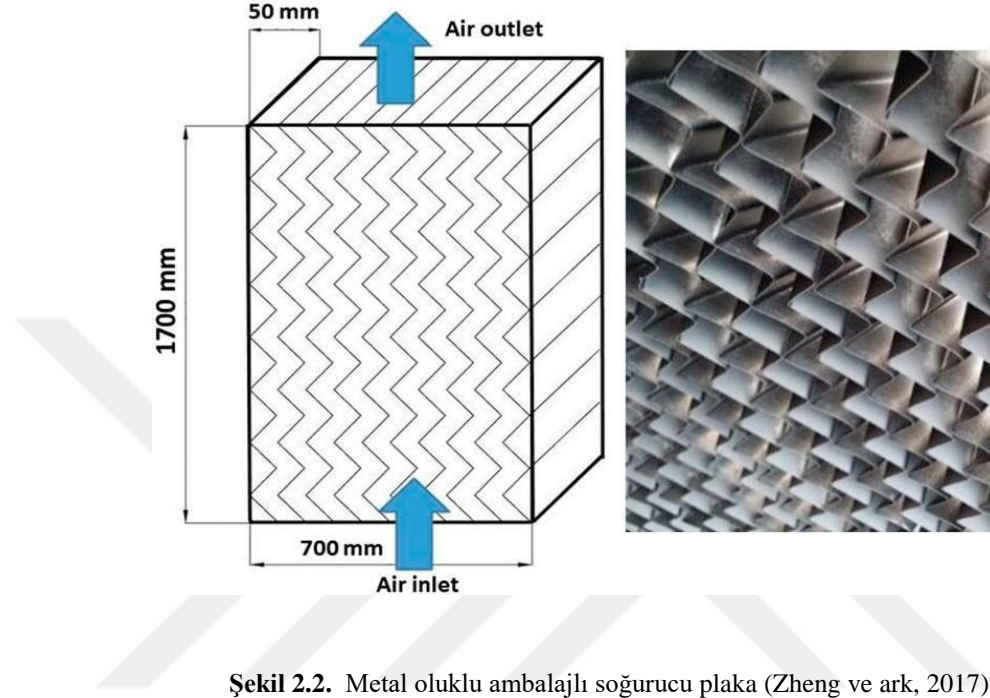


Şekil 2.1. Güneş hava kolektöründe kullanılan plakalar (Lian ve ark., 2017)

A.A. Damook ve Hashim K. (Damook ve Hashim 2017), bu çalışmada, Batı Irak iklim koşullarında test edilmek üzere, delikli düz soğurucu plakalı camsız bir güneş hava kolektörünü deneysel ve teorik olarak araştırmıştır. Kolektörün üretiminde soğurucu plaka olarak 2 mm kalınlık ve 100 x 150 cm ölçülerinde paslanmaz çelik kullanılmıştır. Soğurucu plaka 5 mm çapında ve her iki yönde merkezlerinden 5 cm uzaklıkta olan 22 x 18 düzenli 396 delikten oluşmuştur. Kullanılan soğurucu plaka güneşten gelen ışınımı tam soğurmak ve yansımayı önlemek amacıyla siyaha boyanmıştır. Yapılan test sonuçları kolektörün, kış aylarında Irak'ın Ramadi şehrinde yerel bir binada alan ısıtma uygulaması için kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bunun başlıca sebebi kolektörün çıkış sıcaklığının, güneşli ve bulutlu günlerde 17°C ile 12°C iken, maksimum çıkış sıcaklığı öğle saatlerinde 34°C ile 18°C arasında değişmesidir. Sonuç olarak bu tip kolektörlerin Irak iklim koşullarında ekonomik ve termal performansa avantaj sağlayacağı öngörülmüştür.

Wandong Zheng ve ark. (Zheng ve ark, 2017), bu çalışmada soğuk iklimli bölgelerde kullanılmak üzere metal oluklu ambalaj soğurucu plakaya sahip güneş hava kolektörü tasarlanarak sayısal ve deneysel olarak test etmiştir. Metal oluklu ambalaj, kimya endüstrisinde kullanılan, geniş ısı transfer alanı, yüksek ısı transfer katsayısı,

ekonomik performans avantajlarına sahip gözenekli malzeme türüdür (Şekil 2.2). Önerilen kollektör farklı ışınım değerleri altında test edilerek ısı performans değerleri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, kollektörün giriş ve çıkış sıcaklığı 2.95-49.87 K, ısı verimi ise % 47-66 aralıklarında olmuştur.

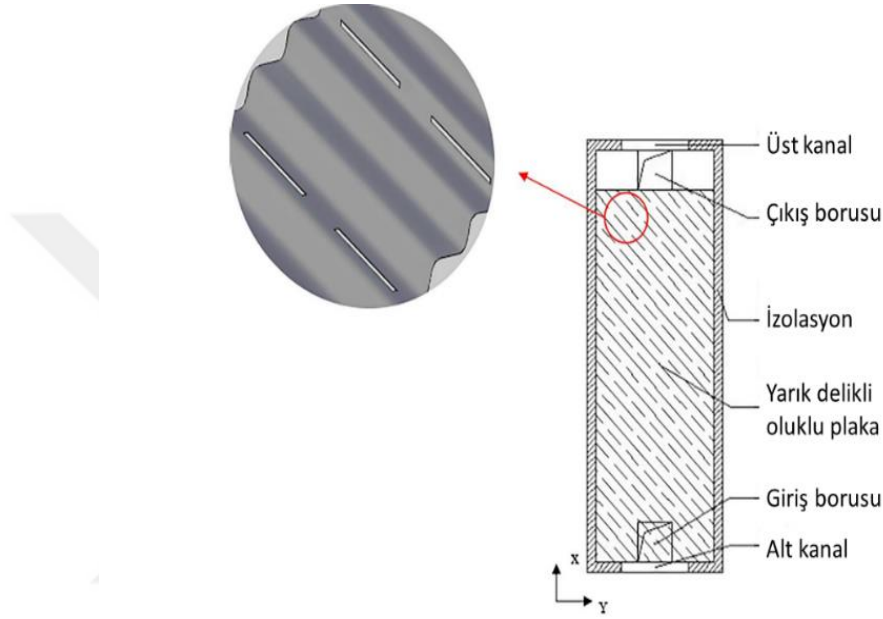


Şekil 2.2. Metal oluklu ambalajlı soğurucu plaka (Zheng ve ark, 2017)

Suman Debnath ve ark. (Debnath ve ark. 2018), bu çalışmada düz ve oluklu (dalgalı) soğurucu plakaya sahip çift ve tek camlı güneş hava kollektörlerinin performans değerlerini, Kuzey Doğu Hindistan iklim koşulları altında deneysel olarak test etmiştir. Yapılan deneysel testler, kollektör eğim açıları (30°,45°,60°) ve kütleli debilerinde (0.0039-0.0118 kg/s) gerçekleştirilmiştir. Deneysel testlerin sonucunda çift camlı kollektör üst tarafından ısı kayıplarının azalması nedeniyle, enerji ve ekserji verimliliği açısından daha iyi performans göstermiştir. Soğurucu plaka olarak oluklu levha kullanımı ile birlikte oluşmuş türbülanslı akış etkisi ve ısı transfer alanının artması enerji verimliliğini %14 artırmıştır.

Huan Zhang ve ark. (Zhang ve ark. 2018), Yarık delik oluklu güneş hava kollektörü üzerine sayısal ve deneysel çalışma yapmıştır. Yarık delikli levha yardımıyla kollektörün ısı transfer alanı genişletilmiş ve jet çarpması büyük ölçüde genişletilmiştir. Yarık delikli güneş hava kollektörü Çin'in Tianjin şehrinin iklim koşulları altında deneysel olarak test edilmiştir. Kollektörde kullanılan soğurucu levhanın boyutları 0.7 m genişlik, 2,1 m yükseklik ve 0.16 m kalınlığındadır (Şekil 2.3). Soğuruculuğu 0.96 olan

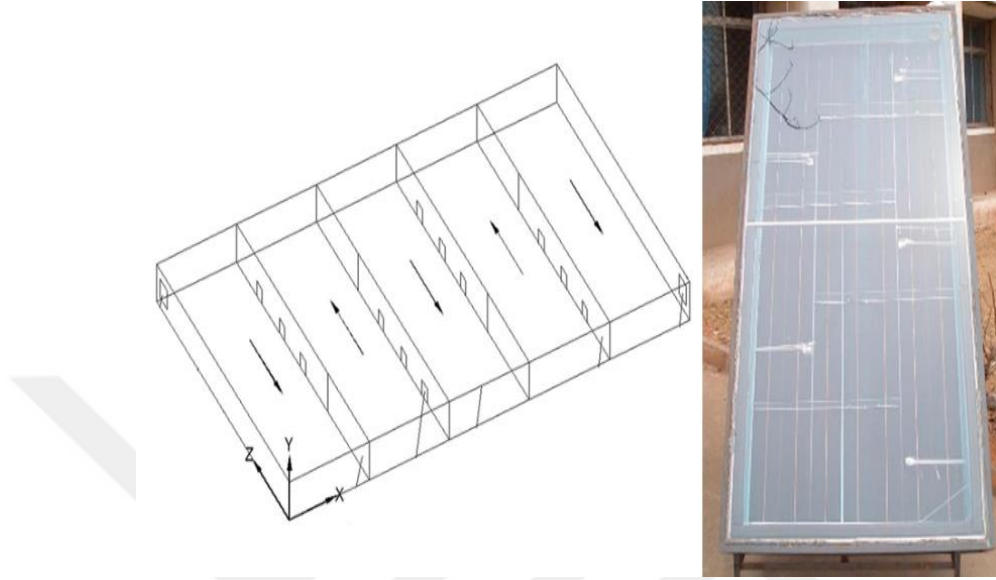
soğurucu plaka güneş ışınımı toplamak amacıyla siyaha boyanmıştır. Kollektörün sıcaklık dağılımının sayısal sonuçları % 4.8 sapma ile deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Yapılan deneysel testler sonucunda kollektördeki 1.14 m/s hava hızında termal verimliliğinin % 67.83 olduğu görülmüştür. Sonuç olarak önerilen güneş hava kollektörü tasarımı, ısıtma uygulamaları için kullanılan 43.1 kg kömür ile eşdeğer verime sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 2.3. Yarık delikli oluklu plakalı kollektör (Zhang ve ark. 2018)

Jianjun Hu ve ark. (Jianjun ve ark. 2018), bu çalışmada, bölme tipli güneş hava kollektörü üzerine simülasyon ve deneysel analizler gerçekleştirmiştir. Kollektörün çalışma şekli rüzgâr perdesi duvarları prensibine dayanmaktadır. Kollektörün termal performansının artırılması amacıyla bölmeler üzerinde delikler açılmıştır. Deliklerin, çalışma havası akarken, bölmeler üzerinde sıcak noktaların oluşmasının önüne geçerek bölme arkasında girdap oluşumunu engellediği görülmüştür. Bu delikler aynı zamanda hava akışı ile soğurucu plaka arasında ısı transferini artırabilen ve performans değerlerini yükselten türbülanslı akışı oluşturmaktadır. Sistemin sayısal analizleri için 27 farklı model tasarlanmış ve geliştirilmiş model üzerine 3B sayısal simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanmış kollektör ölçüleri 1 m x 2 m x 0.16 m boyutlarındadır. Kollektör içerisindeki boşluk 0.7 m uzunluğunda delikli plaka yardımıyla dört kanala bölünmüştür (Şekil 2.4). Kollektör içerisinde kullanılan soğurucu plaka siyah krom

kaplama ile kaplanmıştır. Yapılan deneysel testler sonucunda kollektörün verimliliğinin sırasıyla 0.0044 kg/s, 0.0088 kg/s ve 0.0132 kg/s kütle debilerinde, % 69.63, % 81.71 ve % 86.93 olduğu hesaplanmıştır.

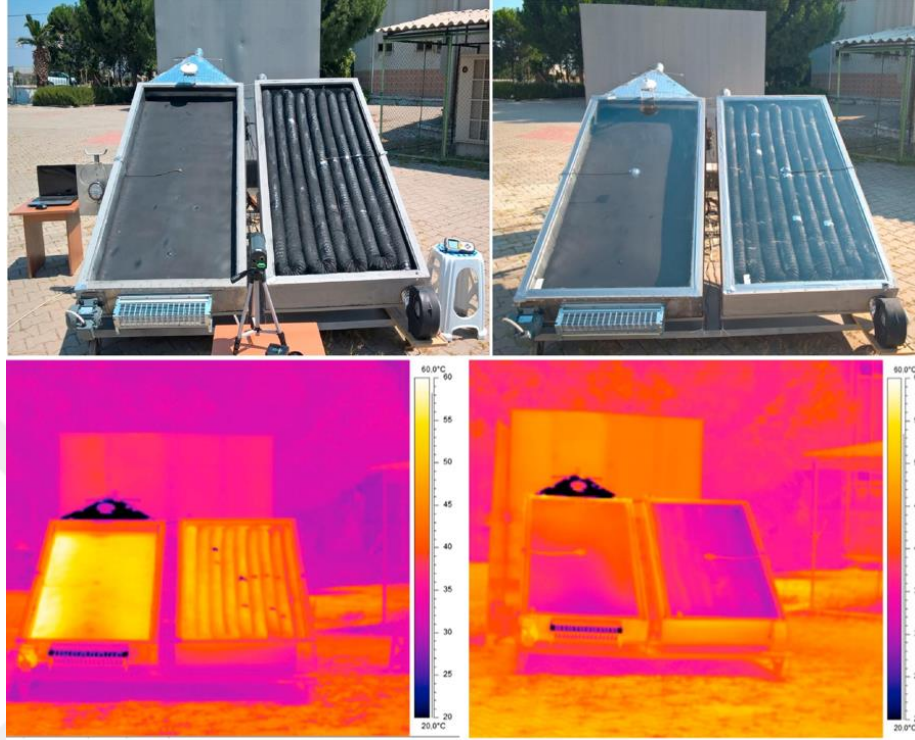


Şekil 2.4. Bölme tipli güneş hava kollektörü (Jianjun ve ark. 2018)

Jianjun Hu ve ark. (Jianjun ve ark. 2019), bu çalışmada güneş hava kollektörünün kullanım alanlarının sınırlarını azaltmak ve elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde kullanmak amacıyla yeni bir kendinden tahrikli mekanik güneş hava kollektörü önermiştir. Önerilen sistem doğal havalandırmalı bir güneş hava kollektörü ile deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 2 saat boyunca sabit çıkış sıcaklığı ve akış hızı altında sistemin termal verimliliği % 49.2'ye ulaşmıştır. Yapılan karşılaştırmalı deneysel çalışmada önerilen sistemin çalışma süresi sırasında geri akış oluşumunun sıkça meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle, araştırmacılar güneş hava kollektörlerinde kararlı bir çalışma süreci amacıyla harici enerji tüketen bir fan kullanımını önermişlerdir.

(Abuşka ve Şevik 2019), bu çalışmada esnek alüminyum folyo kanallı geleneksel düz plakalı kollektörün camlı ve camsız olarak deneysel testleri gerçekleştirmiştir (Şekil 2.5). Esnek hava kanalı, kolay montajı ile beraber herhangi bir modifikasyonu için işçilik gerektirmeyen avantajlarından yararlanılarak ısı verimi artırmak için kullanılmıştır. Önerilen esnek kanallı kollektör performans değerlerinin gösterilmesi amacıyla geleneksel düz plakalı kollektörle karşılaştırılmıştır. Uygun ortam şartlarında üç farklı kütle akış hızında (0.013 kg/s, 0.03 kg/s ve 0.044 kg/s) deneysel çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak 0.044 kg/s kütle hızında en yüksek % 81.3 termal verime ulaşılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda önerilen sistem geleneksel düz plakalı kollektöre göre termal verimde % 15.9 - 41.2 artış göstermiştir.



Şekil 2.5. Düz plakalı ve esnek kanallı güneş hava kollektörü (Abuşka ve Şevik 2019)

Alejandro L. ve ark. (Alejandro ve ark. 2019), bu çalışmada geleneksel düz plakalı kollektörün soğurucu plakasına entegre edilmiş gözenekli metalik yapı üzerine deneysel araştırmalar gerçekleştirmiştir. Gözenekli metalik yapı iplik şeklinde modellenerek sisteme entegre edilmiştir. Sisteme entegre edilmiş gözenekli metalik yapı ile ısı transferi için kesit alanı, konveksiyon ve radyasyonla ısı transferi için ise etkili yanal alan olarak belirlenmiştir. Gözenekli metalik yapı, rastgele iç-içe geçen farklı uzunluk ve kalınlıklardaki tellerden oluşan önceden tanımlı bir model değildir (Şekil 2.6). Gözenekli yapının kullanımı kollektörün hava akış kanalındaki laminar alt tabakayı bozarak türbülanslı akışa çevirmesi sistem performansının olumlu etkilemektedir. Deneysel testler sonucunda, gözenekli metalik yapı kollektörün düz plakalı geleneksel kollektöre göre günlük % 9 daha fazla faydalı enerji kazancı üretmesi görülmüştür. Sonuç olarak 0.06 kg/s hava kütle akışında % 97 gözenekli yapı kollektörün termal verimliliği % 63 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.6. Gözenekli metalik yapının görünümü (Alejandro ve ark. 2019)

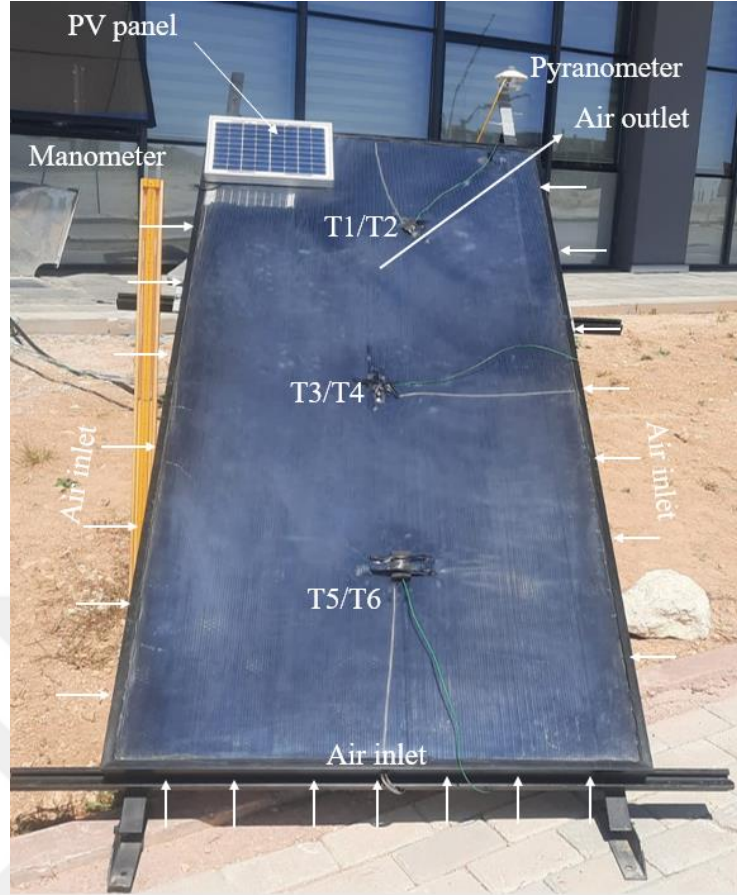
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

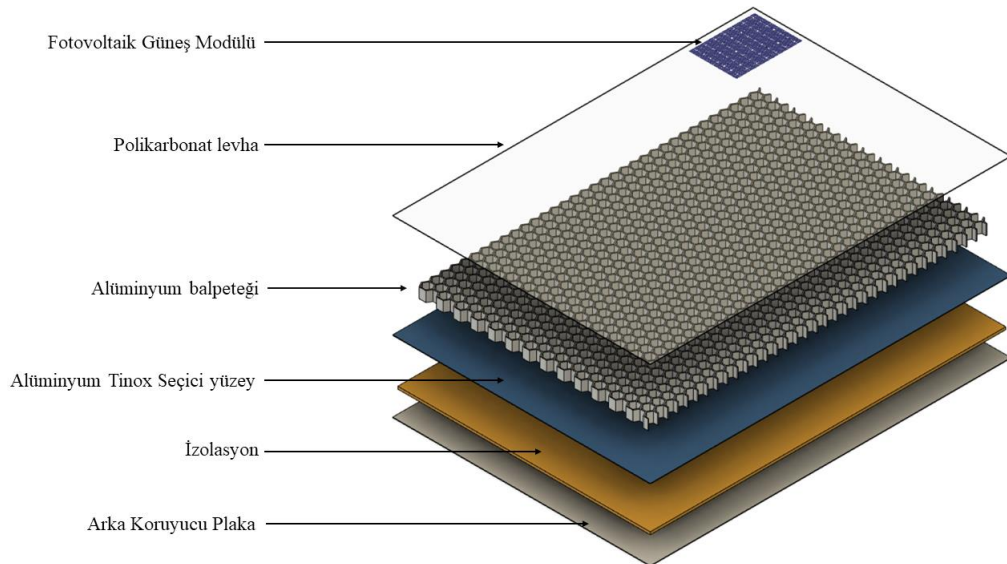
Alüminyum balpeteğinin kollektör üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (BITAM) Enerji ve Yarı İletkenler Laboratuvarında kurulmuş ve test edilmiştir.

3.1.1. Deney düzeneği

Bu çalışmada tasarlanmış olan alüminyum balpetekli güneş hava kollektörü deneysel olarak test edilmiştir. İncelenmesi yapılan güneş hava kollektörü alüminyum balpeteği yapılı soğurucu plakadan oluşmaktadır. Güneş hava kollektörünün deneysel kurulumu ve montaj sıralaması Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Deneysel testleri gerçekleştirilmiş güneş hava kollektöründe çalışma havasına maksimum ısı aktarımı amacıyla alüminyum balpeteği yapısı kullanılmıştır. Çalışma havasının kollektörünün içerisinde homojen bir biçimde yayılması için çalışma havası kollektöre sağ, sol ve alt taraftan 5mm'lik delikler yardımıyla aktarılmıştır (Şekil 3.3 ve 3.4). Kollektörün koruyucu dış yüzeyi için geleneksel cam yüzey yerine polikarbonat levha kullanılmıştır. Burada başlıca amaç güneş ışınlarından maksimum verim almaktır. Testler gerçekleştirilirken, kollektör güney yönüne bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu şekilde kollektör üzerine düşen güneş ışınlarından verimli bir şekilde yararlanılmıştır. Kollektör içerisinde ısı kayıplarını önlemek amacıyla kollektörün arka tarafı 50 mm kalınlığında yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır.



Şekil 3.1. Güneş hava kolektörünün deneysel kurulumu ve sıcaklık ölçüm noktaları



Şekil 3.2. Güneş hava kolektörünün montaj malzemeleri



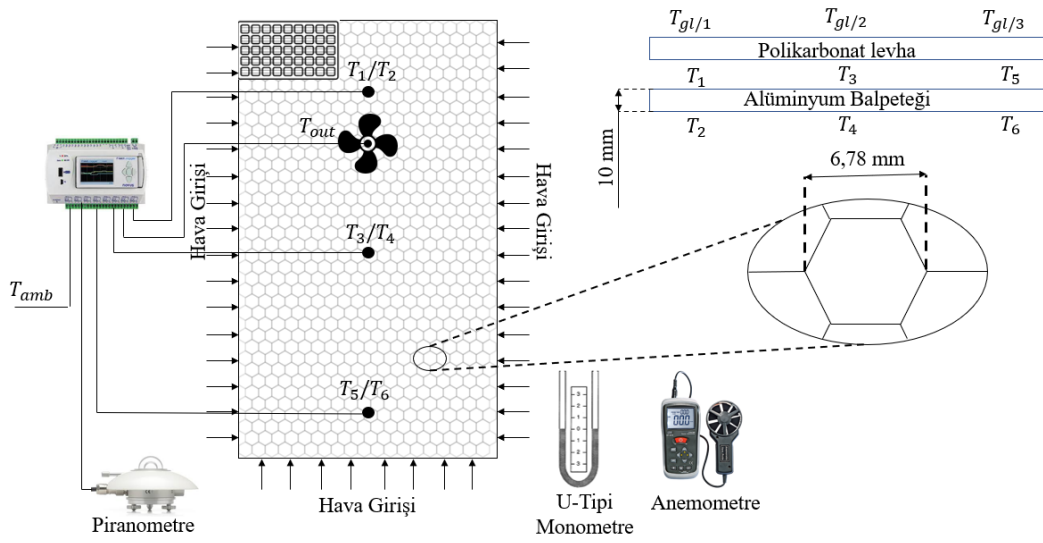
Şekil 3.3. Güneş hava kolektörünün alt hava giriş delikleri



Şekil 3.4. Güneş hava kolektörünün yan hava giriş delikleri

3.1.2. Deney düzeneğinde kullanılan sistemler

Bu deneysel test çalışmasının ana amacı alüminyum balpetekli güneş hava kollektörünün termal performansını incelemektir. Geleneksel hava ısıtıcı kollektörlerinin ana bileşenleri koruyucu cam tabaka, emici plaka, yalıtım malzemesi ve fanndan oluşmaktadır. Tüm bu ana bileşenler alüminyum profilden yapılmış koruyucu kasa içine yerleştirilmiştir. Sıcaklık kaybını düşürmek amacıyla kollektörün üst kısmında çift katlı polikarbonat levha, arka kısmında ise yalıtım malzemesiyle birlikte taban plakası yerleştirilmiştir. Kollektörün termal performansının yükseltilmesi amacıyla geleneksel kollektörlerde kullanılan düz plaka yerine alüminyum balpeteği yerleştirilmiştir. Kollektör fanının şebekeden bağımsız çalışması için kollektörün üst kenar köşesine bir adet güneş pili yerleştirilmiştir (Tablo 3.1). Deneysel kurulum zamanı kollektör içerisindeki alüminyum balpeteği plakasının ön ve arka taraflarına üç noktada PT1000 sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir. Bunun yanı sıra üst koruyucu polikarbonat levha üzerine üç adet PT1000 sıcaklık sensörü yerleştirilerek sıcaklık değerleri incelenmiştir. Kollektör üzerine gelen radyasyon miktarının belirlenmesi için Kipp&Zonen CMP3 piranometre kullanılmıştır. Rüzgâr sebebinden kollektörden taşınım yardımıyla oluşan ısı kayıplarının incelenmesi amacıyla 30 dakikalık aralıklarla anemometre yardımıyla rüzgâr hızı ölçülmüştür. Kullanılan ölçü sensörlerinin verileri 10 saniyelik aralıklarla Novus Fieldlogger markalı veri kaydedici ile toplanmıştır. Kollektör içerisindeki sıcaklık dağılımının anlık olarak görüntülenmesi amacıyla Flir T420 marka termal kamera kullanılmıştır. Kollektörün hava yolu boyunca oluşan basınç kayıpları U-tipi manometre yardımıyla belirlenmiştir. Sunulan çalışmada 3 Eylül 2022 tarihinde 08:00-17:00 saatleri arasında deneysel testler gerçekleştirilmiştir. Kollektör bileşenlerinin ve kullanılan test ekipmanlarının çeşitli özellikleri Tablo 3.2 ve 3.3’de gösterilmiştir. Kollektörün deney düzeneğinin şematik görseli Şekil 3.5’de gösterilmiştir.









Şekil 3.5. Güneş hava kolektörünün deney düzeneğinin şeması.

Tablo 3.1. Fotovoltaik güneş modülü özellikleri

Fotovoltaik Güneş Modülü Özellikleri 15W	
Açık Devre Gerilimi (Voc)	21.7V
Optimum Devre Gerilimi (Vmp)	17.5V
Kısa Devre Akımı (Isc)	0.95A
Optimum Devre Akımı (Imp)	0.87A
STC'de Maksimum Güç (Pmax)	15W
Modül Verimliliği	10.42%
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile +85°C

Tablo 3.2. Güneş hava kolektörünün deneysel kurulumunda kullanılan ekipmanlar

Kullanılan ekipmanlar	Görsel	Ölçü aralığı	Ölçme hatası	
Termokupl PT1000		-200 to +850 °C	±0.3 °C	Hava giriş, çıkış ve yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi
Data kayıt Cihazı Novus Fieldlogger		—	—	Data kayıt
Termal kamera Flir T		—	—	Termal görsellerin toplanması
Anemometre CEM DT 620		0.40 to 30.00 m/s	±3% ±0.20m/s	Hava akış hızlarının ölçülmesi
Piranometre Kipp/Zonen		0 to 2000 W/m ²	< 4 %	Güneş ışınlarının Yoğunluğunun ölçülmesi
Manometre U-Tipi		—	—	Basıç farkının ölçülmesi

Tablo 3.3. Veri toplama ekipmanlarına ait teknik özellikler

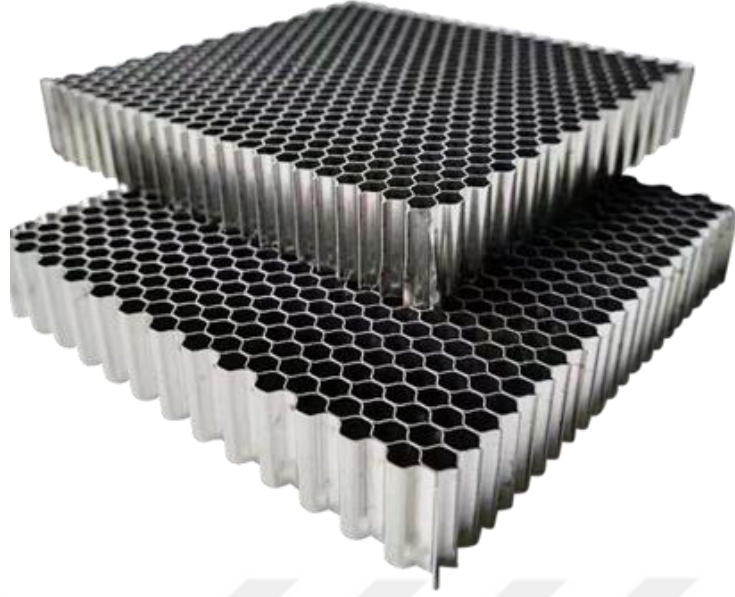
Veri kayıt cihazı (NOVUS)	Kanal	8 evrensel analog giriş kanalı
	Analog giriş türleri	Termokupllar, V, mV, mA, Pt100 ve Pt1000
	Okuma	1000/saniye kadar okuma ve kayıt hızı
	Çözünürlük	24 bit A/D dönüştürme çözünürlüğü
PT1000 sıcaklık sensörü	Ölçüm aralığı	-50-205°C
	Çalışma sıcaklığı	-50-205°C
	Koruma sınıfı	IP 65
	Maksimum kablo uzunluğu	>99.99m
	Sensör ölçüleri	Ø5.8 mm x 60 mm
Anemometre (CEM DT620)	Ölçüm aralığı	0.40-30 m/s
	Hassaiyet	±3%, ±0.20 m/s
Piranometre (Kipp&Zonen)	Spektral aralığı	285-2800 nm
	Hassassiyet	7-14 $\mu V/Wm^2$
	Tepki süresi	5 saniye
	Çalışma sıcaklığı	-40-80°C
	Maksimum ölçüm	4000 W/m^2
	Görüş alanı	180°
Termal Kamera (Flir T)	Ölçüm aralığı	-20°C-650°C
	Kamera yoğunlaşması	4X
	Spektral aralığı	7.5-13 μm

3.1.3. Güneş hava kolektörü

Güneş kolektörü, 2000 x 1000 x 100 mm boyutlarında yapılmıştır. Üretilen güneş hava kolektörü bir laboratuvar simülasyon modeline uygun olarak tasarlanmıştır (Tablo 3.4). Güneş hava kolektörünün üst koruyucu yüzeyi geleneksel kolektörlerdeki cam levha yerine çift katmanlı polikarbon lehvadan yapılmıştır. Temel olarak, kolektör hava akışıyla birlikte ısınan bir dikdörtgen kanal olarak görülebilir. Kolektör içerisinde ısı transfer oranını yükseltmek amacıyla kolektörün iç ölçülerine uygun şekilde 6.78 mm petek çapı ve 10 mm yüksekliğinde alüminyum balpeteği yapısı kullanılmıştır (Şekil 3.7). Literatürde farklı malzemelerden yapılmış birçok güneş hava kolektörü mevcuttur. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan 50 mm cam yünü kolektör arka koruyucu plakasının üzerine plakasını sabitlenmiştir. Aynı zamanda sistemin çalışma gücünü sağlaması için, polikarbon levha üzerine 15 W gücünde fotovoltaik güneş modülü sabitlenmiştir. Kullanılan bu güneş modülü kolektör içerisindeki hava sirkülasyonunu sağlayan fanı beslemektedir. Deneyler sırasında hava sıcaklığı kolektör uzunluğu ve genişliği boyunca ölçülmüştür (Şekil 3.6). Güneş hava kolektöründe kullanılan sistem bileşenlerinin termal özellikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Güneş hava kolektörünün deney düzeneği.



Şekil 3.7. Güneş hava kolektöründe kullanılan alüminyum balpeteği yapısı (Huarui, 2023).

Tablo 3.4. Güneş hava kolektörünün teknik özellikleri

Ekipman	Teknik özellikler
Emici yüzey	Alüminyum balpeteği
Ölçüleri	1 x 2 m
Koruyucu yüzey	Polikarbonat cam
İzolasyon malzemesi	Cam yünü
İzolasyon	0.005 m
Kolektör eğim açısı	38 °
Fan	4.8 W DC/12, 13 m ³ /h
Güneş pili	12 W

Tablo 3.5. Kullanılan ekipmanların termal özellikleri

Ekipman	Termal özellikler	
Alüminyum balpeteği	Soğurma (α_{al})	0.702
	Etkin radyasyon alanı	2 m ²
Polikarbonat levha	Termal iletkenlik (λ)	0.21 W/mK
	Işık geçirgenliği	%88
	Kırılma indis	1.586
İzolasyon (Cam yünü)	Termal iletkenlik (λ)	0,0041 W/mK
	Kullanım sıcaklığı	-50/+250°C

3.1.4. Deneyleerde kullanılan veri toplama ekipmanları

Bu tez çalışmasında yapılmış deneyleer doğrultusunda, çeşitli veri toplama ekipmanları kullanılmıştır. Veri toplama ekipmanları, bir deney veya çalışma sırasında verilerin toplanması için kullanılan araçlar ve cihazlardır. Bu ekipmanlar, ölçüm, kayıt ve analiz amacıyla kullanılır. Veri toplama ekipmanları genellikle ölçüm cihazları, sensörler, veri kaydediciler, bilgisayarlar ve yazılımlar gibi bileşenleri içerir. İşlevlerine ve deneyin gerekliliklerine bağlı olarak farklı türde veri toplama ekipmanları kullanılabilir. Veri toplama ekipmanları, bilimsel çalışmalarda, endüstriyel deneyleerde, kalite kontrol süreçlerinde ve birçok farklı uygulama alanında veri elde etmek ve analiz etmek için önemli araçlardır. Bu çalışmada kullanılan gerekli ekipmanlar bu başlık altında değerlendirilmiştir.

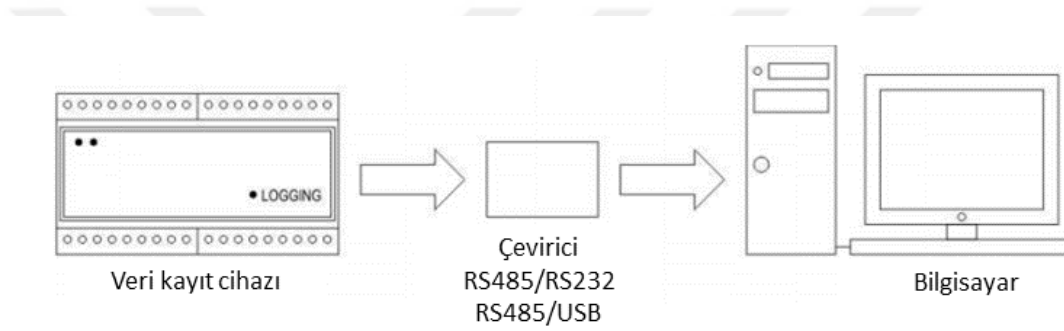
3.1.4.1. Veri kayıt cihazı

Veri toplama cihazı, deney ve çalışma sürecinde gerekli ekipmanlardaki verilerin kaydedilmesi ve analizi için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında Novus markalı FieldLogger veri kayıt cihazı tercih edilmiştir (Şekil 3.8). FieldLogger, analog ve dijital sinyaller için yüksek çözünürlüklü ve hızlı veri toplama ve kaydetme özelliklerine sahip bir cihazdır. Bu marka cihazın kullanımında temel amaç, yüksek performans, geniş bağlantı seçenekleri ve kullanım kolaylığıdır. Bu tür cihazlar, endüstriyel ve deneysel çalışmalarda esneklik ve işlevsellik sağlayan çözüm ekipmanlarıdır. Veri kayıt cihazının analog giriş kanalları, voltaj, akım, termokupl, PT100 ve PT1000 sinyallerini okumak için yapılandırılabilir haldedir. Bu girişler, yüksek örnekleme hızına sahip 24 bitlik bir dönüştürücü hassasiyetine sahiptir ve saniyede 1000 örneğe kadar ulaşabilmektedir (Novus FieldLogger, 2023).

Veri kaydına başlamadan önce veri kayıt cihazının yapılandırılması gerekmektedir. Çalışma modunu belirlemek için bir dizi parametreye değer atamak gerekmektedir. Bu, cihazın nasıl çalışacağını belirleyen parametreleri sağlamaktadır. Herhangi bir bilgisayara bağlantı amacıyla, bir RS232/RS485 veya USB/RS485 dönüştürücüsünü ve uygun kablolar kullanılmaktadır (Şekil 3.9) (Novus Register FL., 2023).



Şekil 3.8. Veri kayıt cihazı



Şekil 3.9. Veri kayıt cihazı bağlantı şeması (Novus Register FL., 2023)

3.1.4.2. Anemometre

Anemometre, rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Rüzgârın hızı, bir bölgedeki hava hareketinin önemli bir ölçüsüdür ve birçok uygulamada önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Anemometreler, meteoroloji istasyonları, havacılık, denizcilik, enerji üretimi, çevre izleme ve yapısal analiz gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel anemometrelerde döner kanatlı bir sistem kullanılmaktadır. Rüzgârın etkisiyle dönen kanatlar, hava hızının bir göstergesini sağlamaktadır. Modern anemometrelerde ise ultrasonik veya termal sensörler gibi farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Bu sensörler, rüzgârın hızını doğrudan ölçerek daha hassas sonuçlar elde etmeyi sağlar.

Güneş hava kollektörünün giriş ve çıkış ölçüm noktalarında hava hızlarının belirlenmesi amacıyla CEM DT-620 Anemometre cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.10). Kullanılan ölçüm cihazının ölçüm aralığı 0.40-30 m/s, ölçüm hassasiyeti ise ± 0.20 m/s aralığındadır (Özdisan, 2023).



Şekil 3.10. CEM DT-620 Anemometre (Özdisan, 2023)

3.1.4.3. Sıcaklık sensörü

Güneş hava kollektörünün giriş, çıkış, alüminyum balpeteği ve cam levhanın 3 farklı noktasına yüzey sıcaklığının ölçülmesi amacıyla PT1000 sıcaklık sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.11). Kullanılan sıcaklık ölçüm sensörünün çalışma aralığı -50 °C ile 205 °C arasında değişmektedir. Ölçüleri $\varnothing 5.8$ mm x 60 mm olan sıcaklık sensörü ile 99.99 m kablo uzunluğu ile sıcak değeri ölçümüne imkan sağlamaktadır (Baumer 2023).



Şekil 3.11. PT1000 sıcaklık sensörü (Baumer 2023)

3.1.4.4 Piranometre

Güneş hava kollektörünün yüzeyine gelen ışınım miktarının belirlenmesi amacı ile deney düzeneğinde Kipp&Zonen marka CMP3 piranometre cihazı kullanılmıştır. Kullanılan piranometre cihazı kollektörün üst tarafında yatay şekilde sabitlenmiştir (Şekil 3.12). 180° görüş alanına sahip cihaz 300-2800 nm spektral aralığındaki ışınları, 10-32 $\mu\text{V}/\text{Wm}^2$ hassasiyetle ölçme özelliklerine sahiptir (Kipp&Zonen 2023).



Şekil 3.12. Kipp&Zonen CMP3 Piranometre

3.1.4.5. Termal kamera

Güneş hava kolektörü içerisinde sıcaklık dağılımının görüntülenmesi için Flir T420 marka termal kamera kullanılmıştır (Şekil 3.13). Kullanılan termal kamera aşağıdaki özelliklere sahiptir (Flir T, 2023):

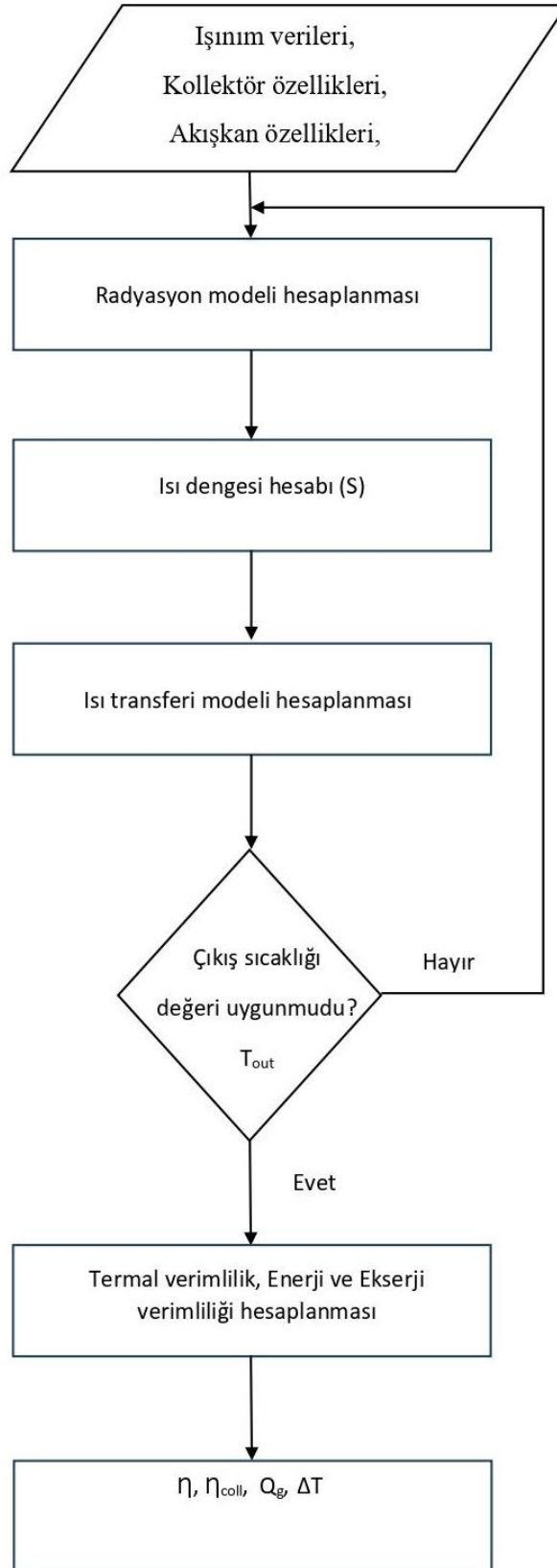
- 640 x 480 doğal çözünürlük;
- UltraMax kamera ile 1.2 MP termal çözünürlük - %400'lük yaklaşma oranı;
- Canlı video, görüntü kaydetme;
- Yüksek görüntü kalitesi ile <0.02 °C'ye kadar hassasiyet oranı;
- -20°C - 650°C sıcaklık ölçüm aralığı.



Şekil 3.13. Termal kamera (Flir T, 2023)

3.2. Yöntem

Tez çalışmasının bu kısmı, araştırmanın nasıl yürütüldüğünü ve verilerin nasıl toplandığını açıklayan bir bölümdür. Bu bölümde, tez çalışmasının temel aşamaları, kullanılan araştırma yöntemleri ve deneylerin nasıl yapıldığı detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca, verilerin analizi ve yorumlanması için kullanılan istatistiksel yöntemler ve diğer araçlar da bu bölümde belirtilmiştir. Bu süreçlerdeki hesaplama metotları şeması Şekil 3.14.'te sunulmuştur.



Şekil 3.14. Deneysel modelleme programının akış şeması

3.2.1 Güneş hava kolektörünün termodinamik analizi

3.2.1.1 Termal verimlilik analizi

Bir güneş hava kolektörünü değerlendiren faktörlerden en önemlisi termal verimlilik parametresidir. Bu deneysel çalışmada termal verimlilik, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Zhao ve ark., 2020).

$$\eta = \frac{m_a c_p (T_{out} - T_{in})}{IA}$$

Burada c_p çalışma havasının özgül ısı kapasitesi, (J/kgK); m_a çalışma havasının çıkış debisi, (kg/s); I kolektörün ön yüzeyine gelen ışınım miktarı, (W/m²); A kolektörün cam yüzey alanıdır, (m²).

Deneysel verilerin analizi sonucunda kolektörün yaklaşık bir saat sürede termal dengeye ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle kolektörün termal verimliliği 30 dakikalık verilere uygun şekilde hesaplanmıştır. Kolektör verimliliği gün içinde değişen radyasyon seviyelerine göre orantılı şekilde değişmektedir. Deneysel analiz sonucunda kolektör verimliliği % 30 ile % 70 seviyeleri aralığında değiştiği görülmüştür. Günün öğle saatlerinde kolektör verimliliği maksimum seviyelere ulaşarak, akşam saatlerine doğru kademeli şekilde azalmıştır.

3.2.1.2 Ekserji analizi

Güneş hava kolektörünün ekserji verimliliği, çalışma havasına aktarılan ısının, kolektörün polikarbon cam levhası yüzeyine gelen ışınım miktarına oranı ile belirlenir. Ekserji verimliliği, Termodinamiğin 1. yasasına göre ekserji denklemi ile hesaplanmıştır (Ural, 2019);

$$\eta_{coll} = \frac{Q_{coll,air}}{Q_I}$$

Burada $Q_{coll,air}$ kollektör yüzeyinden çalışma havasına aktarılan toplam ısı miktarını, (J), Q_I kollektör alanındaki güneş radyasyonu miktarını göstermektedir.

Burada $Q_{coll,air}$ (Ural, 2019);

$$Q_{coll,air} = m_{air} C_{P,air} (T_{out} - T_{in})$$

Güneş hava kollektörüne gelen ısı miktarı (Ural, 2019);

$$Q_I = I(\tau\alpha)A_{coll}$$

3.2.1.3 Sayısal model

Güneş hava kollektörünün çalışma şekli ve uygulama alanlarını detaylı bir şekilde anlamak için sayısal modelin oluşturulması en büyük etkenlerden biridir. Yan Zhaou ve arkadaşları tarafından önerilen benzer çalışmada taşınım ve radyasyon ile birlikte ısı transferinin temeli oluşturulmuştur. Sistemin tam çalışır hale gelmesi için bütün sistem bileşenlerinin entegrasyonlu şekilde çalışması çok önemli bir etkidir. Gerçekleştirilmiş matematiksel modelde her bir sistem bileşeni için ısı dengesi formülü oluşturulmuştur. Oluşturulmuş denklemlerin çözülebilmesi için kollektörün sınır ve başlangıç koşulları girilmiştir. Sistemin sayısal modelinin oluşturulması sırasında bir takım varsayımlar kabul edilmiştir. İlk olarak sıcaklık dağılımı ve hava akış hızı tüm yüzeylerde homojen olarak kabul edilmiştir. Bunun yanı sıra çalışma havası sıkıştırılmaz olarak kabul edilerek, petek plakasından geçen hava akışı tek tip olarak kabul edilmiştir.

Kollektör bileşenlerinin her bir termal parçası için ısı dengesi denklemi aşağıdaki şekilde verilmiştir (Zhao ve ark., 2020):

Cam kapakta gerçekleşen ısı dengesi için:

$$S_g + h_{g-a}(T_g - T_a) + h_{g-f}(T_g - T_f) + h_{g-al}(T_g - T_{al}) + h_{g-b}(T_g - T_b) = 0$$

Yan Zhaou ve arkadaşlarına göre yukarıdaki denklemin parametrelerinin açılışı aşağıdaki şekildedir (Zhao ve ark., 2020):

$$S_g = I\alpha_g$$

$$h_{g-pv} = \frac{k_g}{\delta_g}$$

$$h_{g-al} = h_r + h_w = \sigma \varepsilon_g (T_g^2 + T_{al}^2)(T_g + T_g) + v_w$$

$$h_{g-al} = \frac{\sigma(T_g+T_g)(T_g^2+T_{al}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_{al}} - 1}$$

$$h_{g-al} = \frac{\sigma(T_g+T_g)(T_g^2+T_b^2)}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_b} - 1}$$

$$h_{g-f} = \frac{Nu \cdot A \cdot K_{air}}{D_h}$$

Burada α_g cam kapağın radyasyon emilimi; k_g cam kapağın termal iletkenliği, W/(mA·K); h_r cam kapağın çevreye olan radyasyon ısı transfer katsayısı, h_w cam kapağın çevreye olan taşınım ile ısı transfer katsayısı, v_w ortam havasının rüzgâr hızı, m/s; ε_g cam kapağın ısı yayılımı; ε_b arka panelin ısı yayılımı; ε_{al} petek çekirdeğinin ısı yayılımı; K_{air} havanın termal iletkenliği, W/(mA·K); D_h hava kanalı genişliği, m; σ Stephen-Boltzmann sabitidir.

Petek çekirdeği için (Zhao ve ark., 2020):

$$S_{al} + h_{g-al}(T_g - T_{al}) + h_{pv-al}(T_{pv} - T_{al}) + h_{b-al}(T_b - T_{al}) + h_{al-f}(T_{al} - T_f) = 0$$

Denklemin parametrelerinin açılışı (Zhao ve ark., 2020):

$$S_{al} = I\tau\alpha_{al}$$

$$h_{b-al} = \frac{\sigma(T_b+T_{al})(T_b^2+T_{al}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_{al}} - 1}$$

$$h_{g-f} = \frac{K_{air}}{D_h} A \cdot Nu_f$$

Arka kapak için (Zhao ve ark., 2020):

$$S_b + h_{g-b}(T_g - T_b) + h_{pv-b}(T_{pv} - T_b) + h_{b-al}(T_b - T_{al}) + \\ + h_{al-f}(T_{al} - T_f) + h_{al-f}(T_b - T_a) = 0$$

$$S_b = I\tau\alpha_b$$

$$h_{b-a} = \frac{K_b}{L} + h_a$$

$$h_{b-f} = \frac{Nu \cdot A \cdot K_{air}}{D_h}$$

Burada α_b arkalığın efektif radyasyon absorpsiyonu; L, yalıtım tabakasının kalınlığıdır.

Hava kanalı için (Zhao ve ark., 2020):

$$m_a C_a \frac{dT_f}{dxW} + h_{g-f}(T_g - T_f) + h_{pv-f}(T_{pv} - T_f) + h_{al-f}(T_{al} - T_f) + \\ + h_{b-f}(T_b - T_f) = 0$$

Burada T_f kanaldaki havanın sıcaklığı olarak, mesafenin bir fonksiyonu olarak bilinmektedir.

3.2.1.4 Belirsizlik analizi

Alüminyum balpetekli güneş hava kolektörünün deney düzeneğinin güvenilirliğini değerlendirmek için belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Doğrudan hava giriş hızı, sıcaklık ve radyasyon parametreleri ölçülerek, parametrelerin ölçüldüğü ölçüm cihazlarının belirsizlik değerleri belirsizlik denklemine uygun olarak hesaplanmıştır. Enerji verimliliği için belirsizlik analizi hesaplaması aşağıdaki gibidir (Parlamış ve ark., 2021):

$$\sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial q_v}\right)^2 (\delta q_v)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial T_{out}}\right)^2 (\delta T_{out})^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial T_{in}}\right)^2 (\delta T_{in})^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial DNI}\right)^2 + (\delta DNI)^2}$$

Yapılan hesaplamalara sonucunda sistemin enerji verimliliği belirsizliği % 5.01 olarak belirlenmiştir.

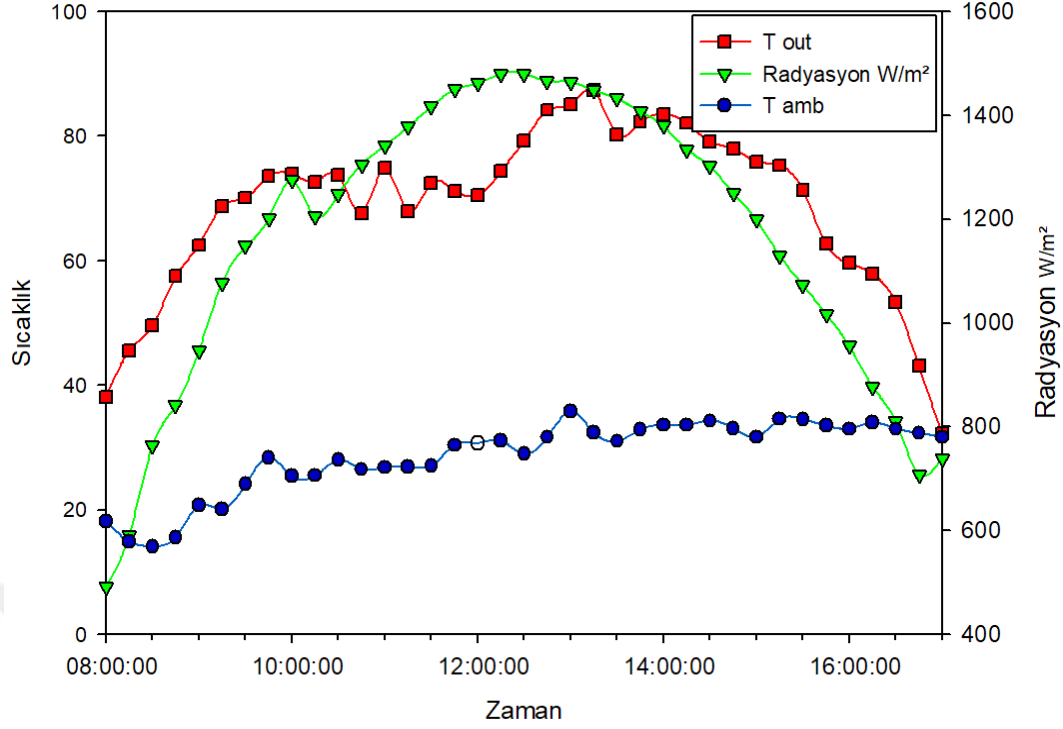
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel Araştırma Sonuçları

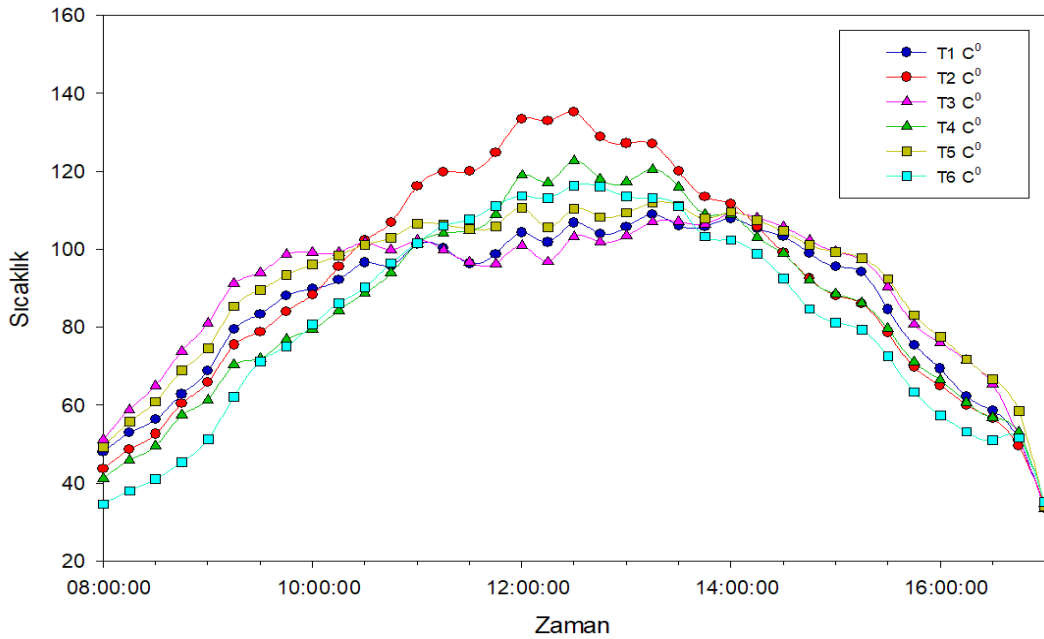
Alüminyum balpeteği soğurucu yüzeye sahip güneş hava kolektörünün sıcaklık artışına bağlı olarak termal verimlilik ve soğurucu yüzeyin sıcaklık değişim sonuçları bu kısımda açıklanmıştır.

4.1.1. Sıcaklık değişimi

Deneysel sonuçlar, güneş hava kolektörünün sıcaklık artışı, radyasyon miktarı, faydalı ısı alımı ve zamanın bir fonksiyonu olan kolektör verimini açıklayan grafikler yardımıyla gösterilmiştir. Güneş kolektörünün termal performansını değerlendirmek amacıyla, gün boyunca ölçülen verilerin toplanması için 3 Eylül 2022 tarihi seçilmiştir. Şekil 4.1, hava koşullarını ve güneş hava kolektörünün sıcaklık artışını göstermektedir. 3 Eylül 2022 tarihinde gökyüzü koşullarının açık ve güneşli, ortam sıcaklığının ise 20-35°C aralığında olduğu görülmüştür. En yüksek sıcaklık artışının saat 13:00-14:00 arasında olduğu görülmüştür. Kolektör petek plakasının üst ve taban kısımlarına yerleştirilmiş sensörler yardımıyla sıcaklık dağılımının incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değişim grafiğinde görüldüğü üzere, kolektörün giriş kısımlarından çıkışa doğru hava sıcaklığında orantılı olarak artış görülmüştür. Deneyin başlangıç saatlerinde $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ noktalarında, 500 W/m^2 ışınımında sırasıyla 47°C, 43°C, 51°C, 41°C, 49°C, 34°C sıcaklık değerlerine ulaşmıştır. Güneşlenmenin en pik olduğu 12:00-14:00 saatleri arasında 1400 W/m^2 ışınım altında bu değerlerin zirveye ulaştığı görülmektedir. Öğlen saatlerinde $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ noktalarındaki alüminyum balpeteği plakasının sıcaklığı her bir nokta için sırasıyla 106°C, 135°C, 103°C, 122°C, 110°C, 116°C zirve değerlerine ulaşmıştır. Petek plakasının üst kısımlarında görüldüğü üzere sıcaklık değerleri alt kısımlara göre daha yüksektir. Bunun nedeni, emici plakanın üst kısımlarının güneş ışınlarından dolayı daha çok ısınmasıdır. Deney sonlarına doğru 650 W/m^2 ışınımında sıcaklık değerleri sırasıyla 33°C, 35°C, 33°C, 34°C, 33°C, 35°C sıcaklığa kadar düşmüştür. Kolektörün emici plakasının sıcaklığının T_2 noktasında, alüminyum balpeteği plakasının alt tarafında 135°C olduğu görülmüştür. Sonuç olarak sabah ve akşam saatlerinde petek plakasının sıcaklık değerinin beklendiği üzere en düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4.2).



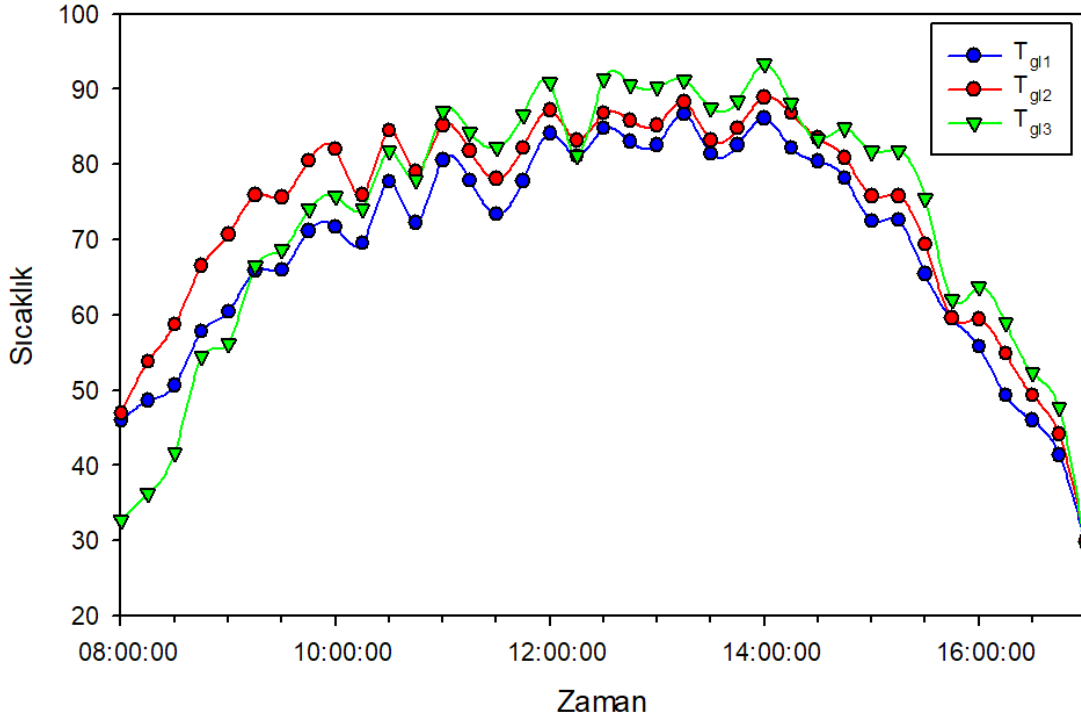
Şekil 4.1. 3 Eylül 2022'de güneş hava kolektörlerinde hava koşulları ve sıcaklık artışı.



Şekil 4.2. Güneş hava kolektörlerinde petek plakasının sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.3, kolektörün polikarbonat levhası üzerinde Şekil 3.4'te gösterildiği üzere üç noktada yerleştirilmiş sıcaklık değerlerinin ışınlam değerleri altında zamana göre değişimini göstermektedir. Grafiğe bakıldığında saydam levhanın üç noktasında da

sıcaklık değerleri deney başlangıcından öğlene doğru artmakta, akşama doğru ise giderek azalmaktadır. Polikarbonat levhanın sıcaklık değeri sabah saatlerinde sırasıyla T_{gl1} , T_{gl2} , T_{gl3} noktalarında 500 W/m^2 ışınım değeri altında 46°C , 46°C , 32°C sıcaklığa ulaşmıştır. Bu değerler sırasıyla öğlen 13:00-13:30 saatleri arasında 1400 W/m^2 ışınım değeri altında maksimum 84°C , 86°C , 91°C sıcaklık değerlerine ulaşmıştır. Gün sonunda (17:00) ise polikarbonat levhanın yüzey sıcaklıkları sırasıyla 29°C , 30°C , 29°C sıcaklıklarında olmuştur. Bunun yanı sıra kollektörün polikarbonat levhası üzerindeki en yüksek sıcaklık değeri T_{gl3} noktasında, en düşük sıcaklık değeri ise T_{gl1} noktasında görülmüştür. Buna sebep T_{gl1} noktasının kollektör fanının olduğu, soğurucu plaka da sıcaklığın hava tarafından daha çok soğurulduğu yerde olmasıdır (Şekil 4.3).



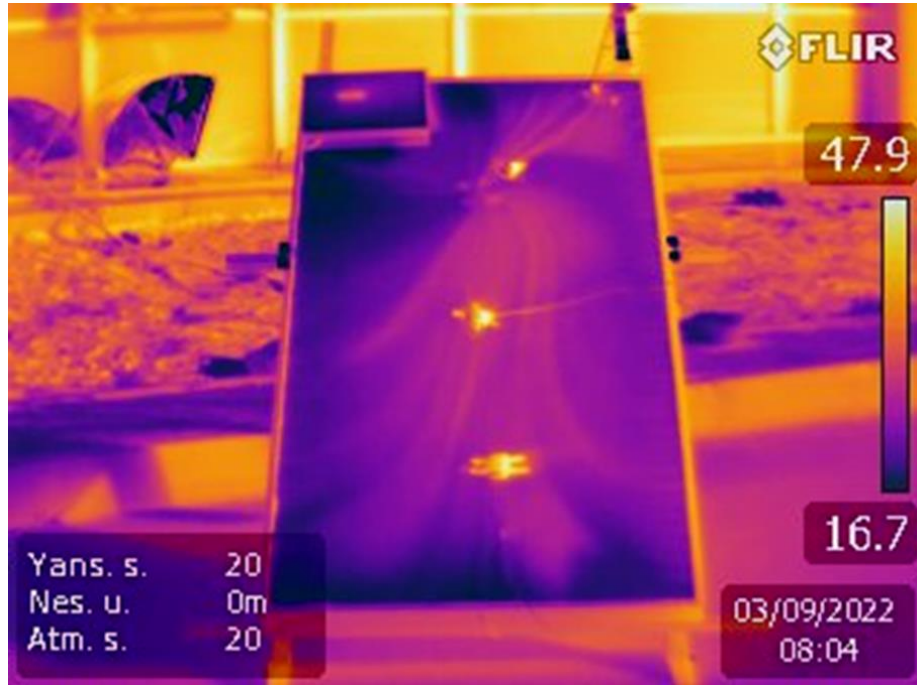
Şekil 4.3. Güneş hava kollektörünün cam levhasının sıcaklık dağılımı.

4.1.2. Kollektör yüzeyinin sıcaklık değişimi

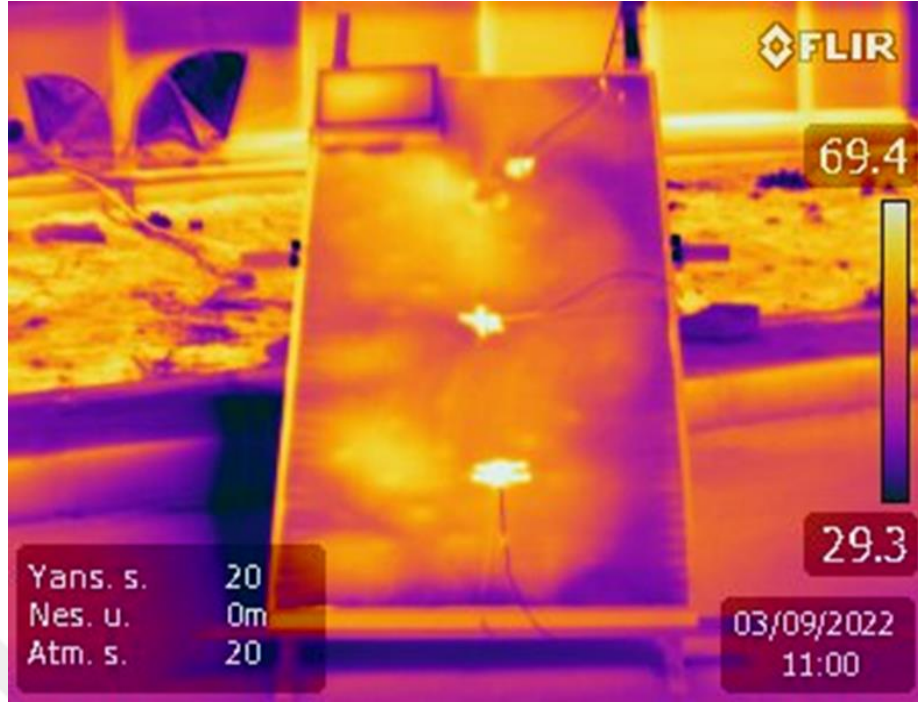
Güneş hava kollektörlerinde termal kamera, termal görüntüleme teknolojisi ile sıcaklık dağılımının görselleştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu tip cihazlar, güneş hava kollektörünün performansını değerlendirmek ve ortaya çıkabilecek sorunları

tespit etmek için kullanılan önemli bir cihazdır. Aşağıda, alüminyum balpetekli plakaya sahip güneş hava kolektörünün termal kamera görüntüleri verilmiştir. Güneş hava kolektörünün yüzey sıcaklıkları değişiminin detaylı analizi için, deney süresi boyunca ortalama 2-3 saatlik aralıklarla termal kamera görüntüleri alınmıştır. İncelenen termal görüntülerde, sıcaklık dağılımının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. İdeal olarak, güneş hava kolektörünün yüzeyinde homojen bir sıcaklık dağılımı görülmesi önemlidir.

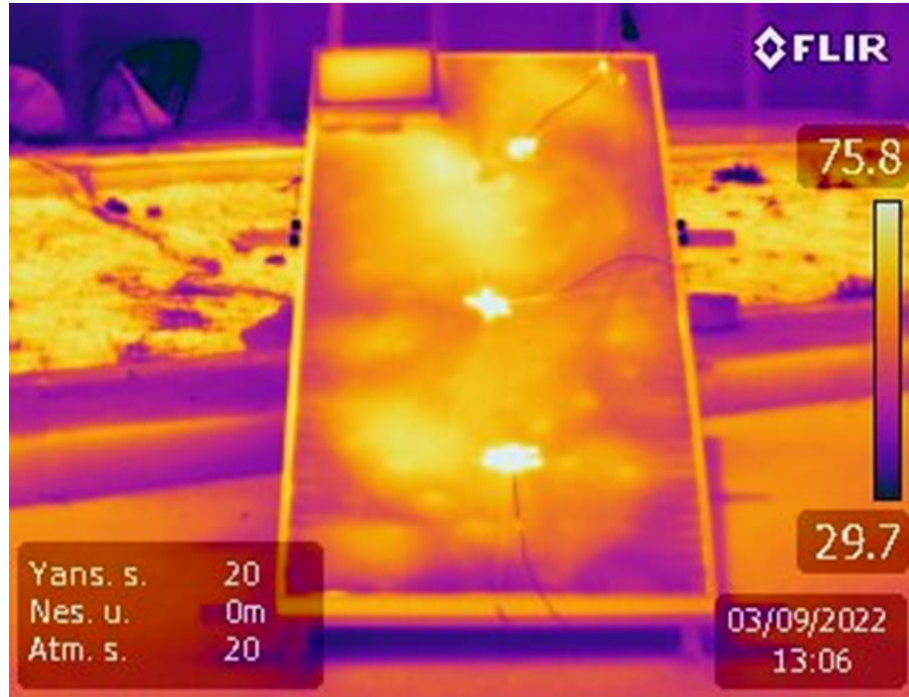
Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, güneş hava kolektöründe sıcaklık dağılımını göstermektedir. Termal kamera görüntülerinden görüldüğü üzere, kolektör içerisindeki alüminyum plakanın sıcaklık değişimi sabah ve akşam saatlerinde düşük olmuştur. Öğlen güneş ışınım yoğunluğunun yüksek olduğu saatlerde petek plakasının sıcaklık değişimi kenarlardan merkeze doğru olacak şekilde yükselmiştir. Buna sebep kolektörün kenar kısımlarından giren düşük sıcaklıklardaki havanın petek plakasındaki sıcaklığı tam şekilde soğurmasıdır. Görüntülerden görüldüğü üzere öğlen (13:06) saatlerinde petek plakasındaki maksimum sıcaklık değerinin 75- 80°C arasında olduğu görülmüştür (Şekil 4.6).



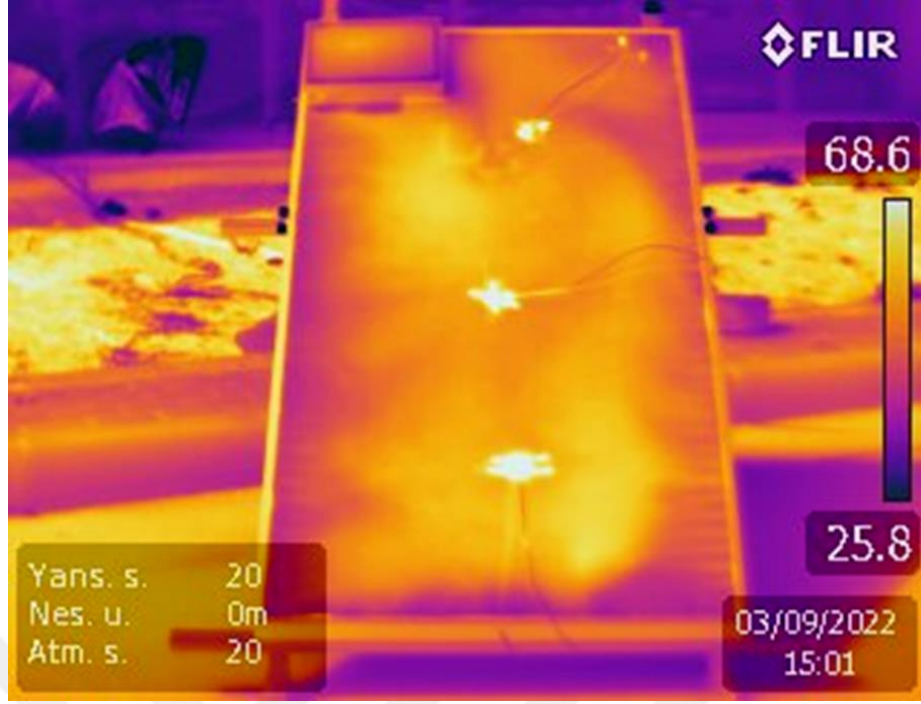
Şekil 4.4. Güneş hava kolektörünün termal kamera görüntüsü (saat 08:04)



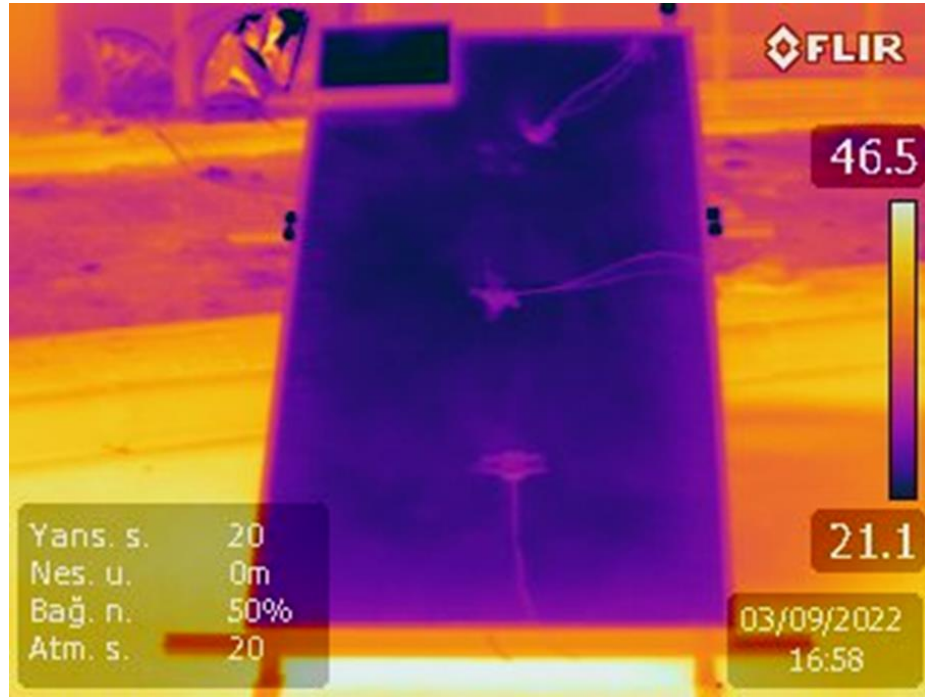
Şekil 4.5. Güneş hava kolektörünün termal kamera görüntüsü (saat 11:00)



Şekil 4.6. Güneş hava kolektörünün termal kamera görüntüsü (saat 13:06)



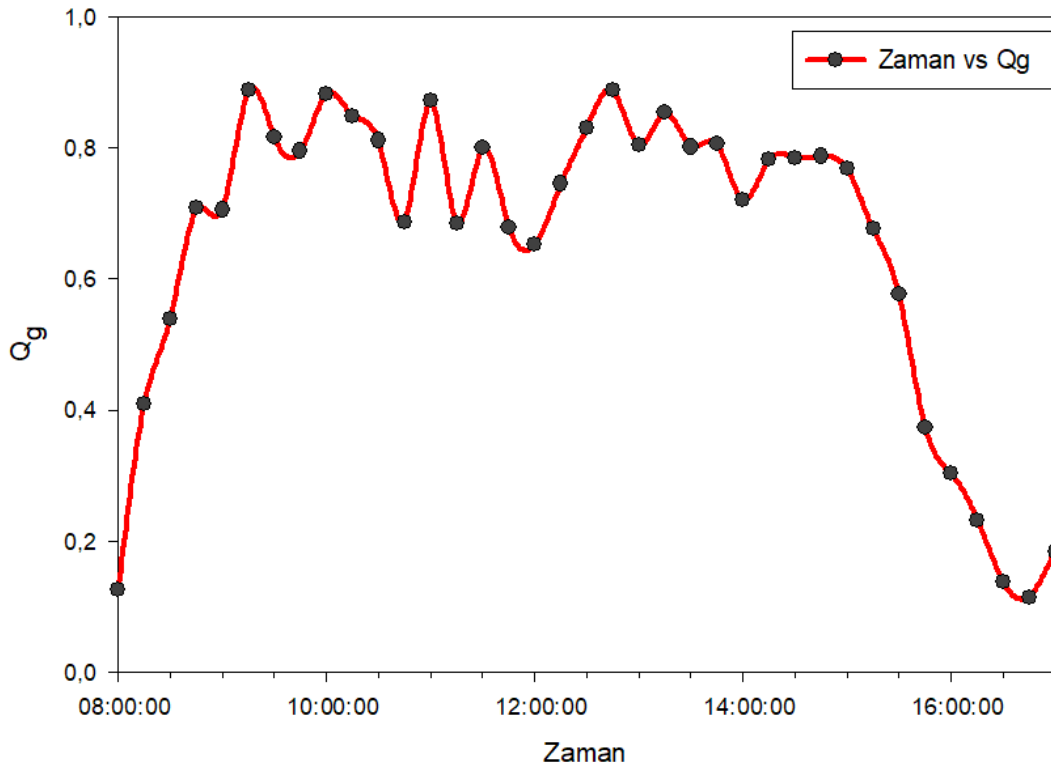
Şekil 4.7. Güneş hava kollektörünün termal kamera görüntüsü (saat 15:01)



Şekil 4.8. Güneş hava kollektörünün termal kamera görüntüsü (saat 16:58)

4.1.3. Enerji analizi

Güneş hava kolektörünün zamana göre faydalı ısı oranı Şekil 4.9'de gösterilmektedir. Faydalı ısı oranı günün her saatinde değiştiği için öğlen güneşlenmenin maksimum olduğu saatlerde yaklaşık olarak 0.9 değere ulaştığı görülmüştür. Genel olarak faydalı ısı oranının yüksek olduğu kolektörlerde verimliliğin daha yüksek olduğu görülmektedir.

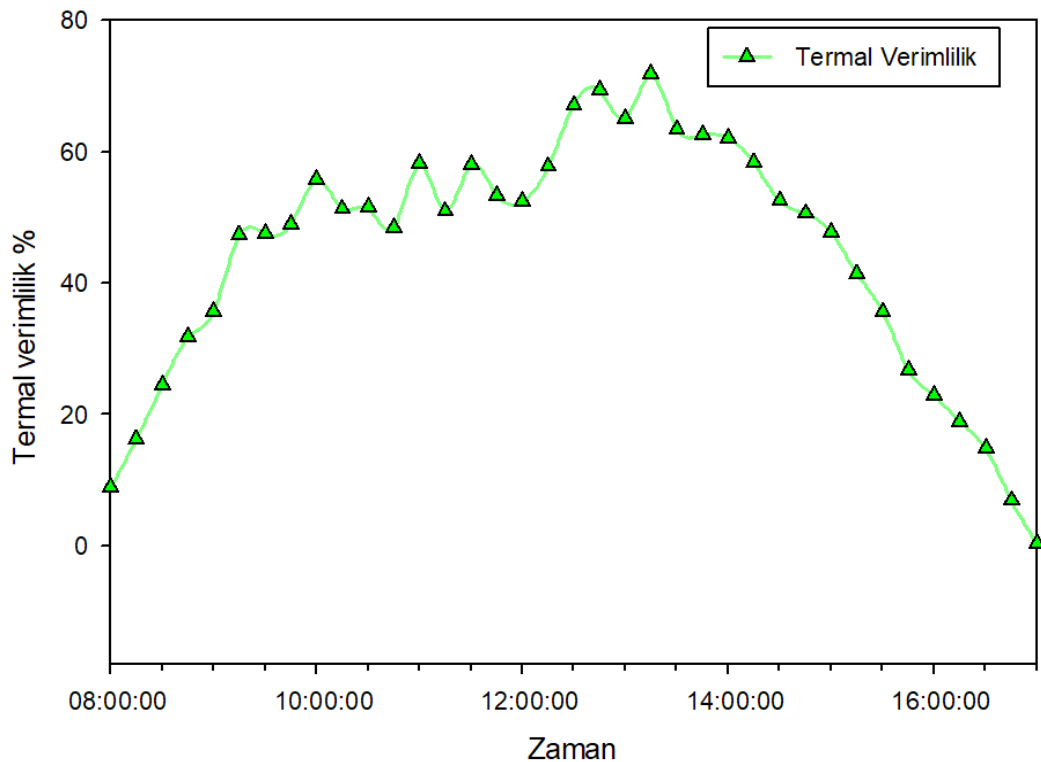


Şekil 4.9. Güneş saatine göre faydalı ısı oranı.

4.1.4. Termal verimlilik analizi

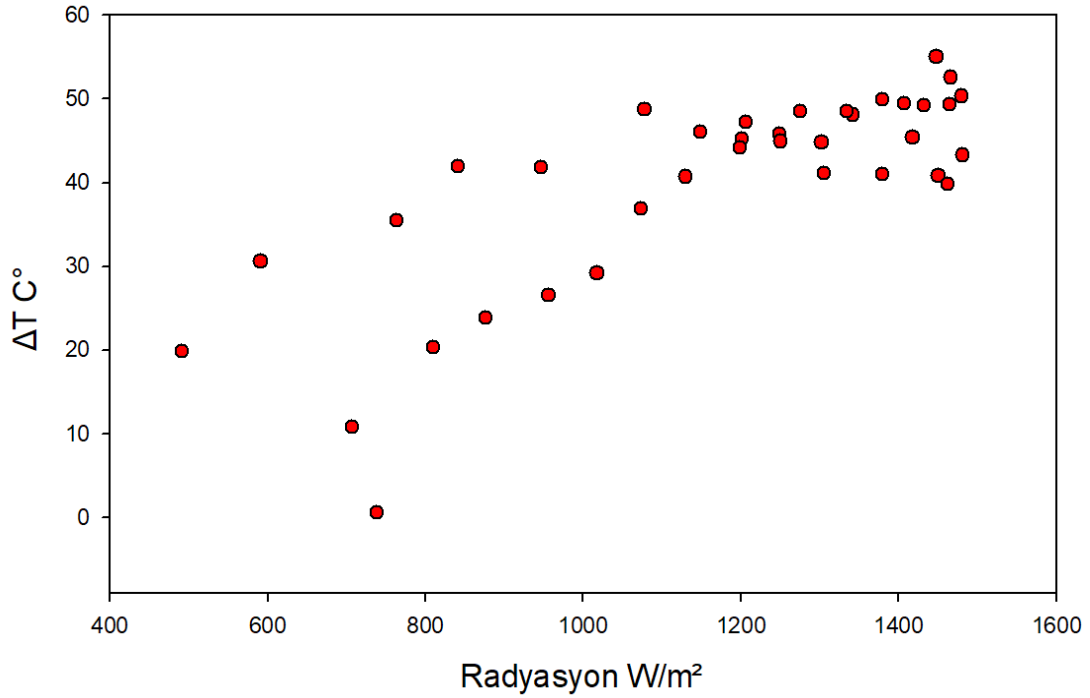
Deneysel verilerin analizi sonucunda kolektörün yaklaşık bir saat sürede termal dengeye ulaştığı görülmüştür. Bu nedenle kolektörün termal verimliliği 30 dakikalık veriler alınarak hesaplanmıştır. Güneş sıcaklığı yoğunluğundan dolayı deney tarihi önceden belirlenerek, 3 Ekim 2022 tarihinde, 08:00-17:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Eylül ayı için kolektör verimliliğinin günün farklı kesimlerindeki radyasyon seviyelerine göre orantılı şekilde değiştiği görülmüştür. Deneysel analiz sonucunda kolektör verimliliğinin %30 ile %70 seviyeleri aralığında değiştiği

görülmüştür. Günün öğlen saatlerinde kollektör verimliliği maksimum seviyelere ulaşarak, akşam saatlerine doğru kademeli şekilde azalmıştır. Geleneksel düz plakalı kollektörlere göre balpetekli güneş hava kollektörünün giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark $19-55^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir. Bundan dolayı kollektörün plaka yapısında farklı bir geometrik şekil olarak balpeteği kullanımının çıkış hava sıcaklığını büyük ölçekte arttırdığı görülmüştür (Şekil 4.10).



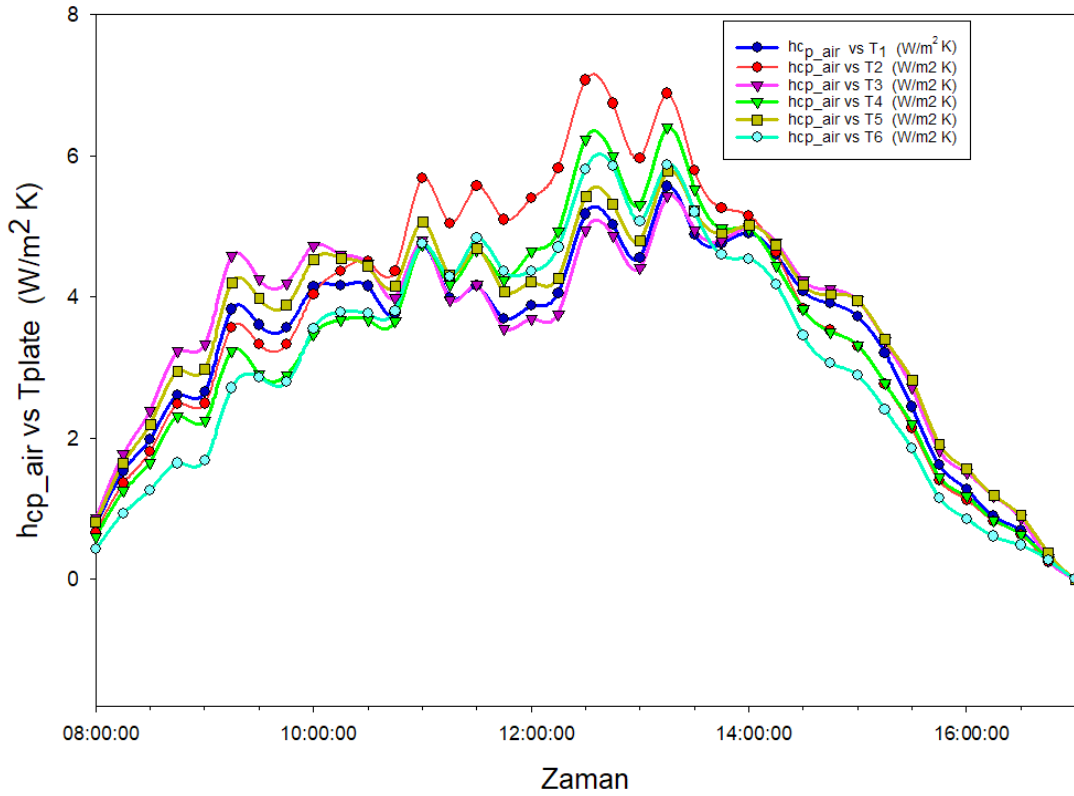
Şekil 4.10. Güneş hava kollektörünün termal verimliliğinin zamana göre değişimi.

Özellikle güneş hava kollektörlerinin tasarımı yapılırken, güneşlenme ile havanın sıcaklık artışının incelenmesi önemli konulardan biridir. Çalışma havasının giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki fark fazla değilse bu artış lineer bir artış olacaktır. Şekil 4.11, kollektör yüzeyine gelen güneş radyasyonu ile çalışma havasının giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farka bakıldığında, bu farkın 08:00-09:00 saatleri arasında 500 W/m^2 ışınım değerinde 19°C , 12:30-13:00 arasında ise 1400 W/m^2 ışınım değerinde 52°C 'e kadar ulaştığı görülmektedir. Bu grafik güneşlenme saatlerine göre sıcaklık artışının hangi saatlerde daha verimli olduğunu göstermeye yardımcı olur.



Şekil 4.11. Güneş hava kollektörüne gelen radyasyonla sıcaklık farkının değişimi

Eylül ayı için 0.0115 kg/s kütle debisinde cebri konveksiyona bağlı havanın ısı transfer katsayısı Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Deneyin başlangıcından başlayarak ısı transfer katsayısı dalgalanmalarla birlikte yükselirken öğlen 12:00-13:00 arasında maksimum değerine ulaşmıştır. Deney sonlarına doğru ise lineer olarak azalma devam etmiştir. Bu azalma, yüksek hava hızlarında çalışma havasının kollektörün içerisinde balpeteği geometrik şeklinden dolayı daha uzun süre kaldığından oluşmuştur. Bunun yanı sıra, radyasyon ve konveksiyon nedeniyle polikarbon cam levha ile alüminyum balpeteği arasındaki ısı transfer katsayısı rüzgârdan dolayı azalmıştır. Polikarbonat levhanın geleneksel cama göre birçok üstünlükleri olsa da konveksiyon nedeniyle daha çok ısı kaybına sebep olduğu görülmüştür.

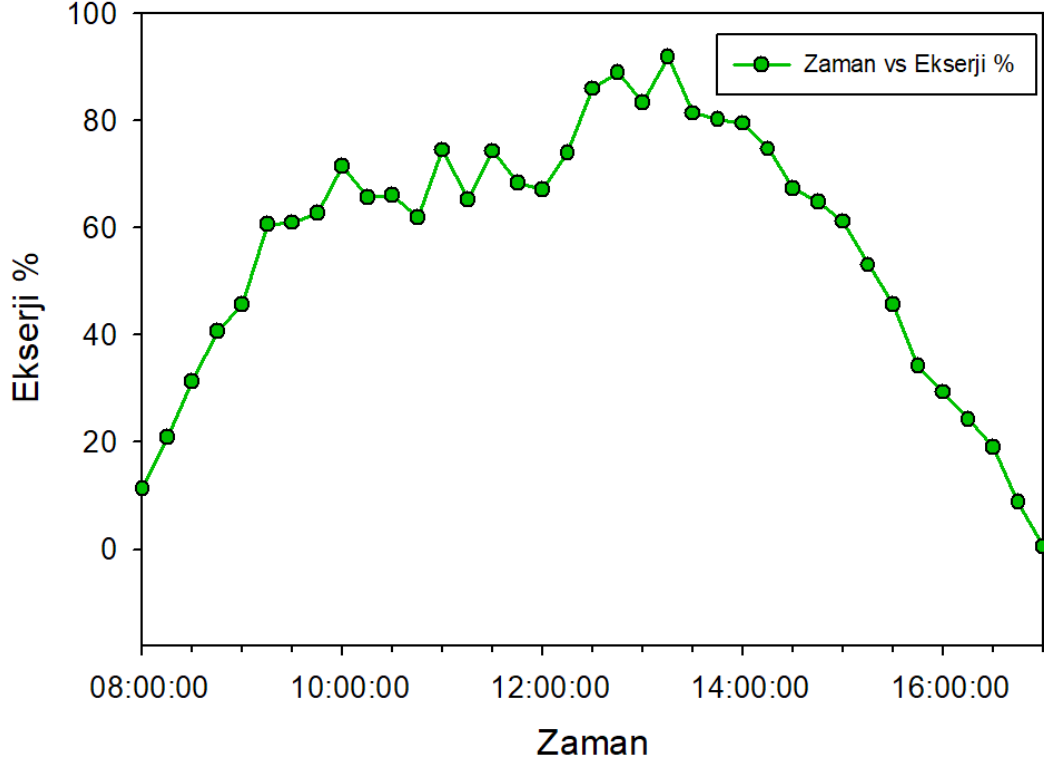


Şekil 4.12. Havanın taşınım ile ısı transfer katsayısının zamana göre değişimi.

4.1.5. Ekserji analizi

Şekil 4.13, güneş hava kolektörünün ekserji verimliliğinin zamana göre değişim grafiğini göstermektedir. Kolektörün ekserji verimliliği maksimum değere 12:30-13:30 saatleri arasında $1200-1400 \text{ W/m}^2$ ışınlam değerleri altında anlık olarak %90 değine ulaşmıştır. Deneyin ilk iki saatinde ekserji verimliliği lineer olarak artarak, sonraki üç saat boyunca dalgalı artış göstererek maksimum değerine ulaşmıştır. Deney süresi boyunca grafikteki dalgalı artış, rüzgâr (kolektör konumun yerleştiği bölgenin rüzgârlı olmasından dolayı) gibi çevresel faktörden dolayı oluşmaktadır. Deneyin 13:30'dan sonraki süreci boyunca ekserji verimliliği güneş ışınlarındaki düşüş sebebinden dolayı lineer olarak azalmıştır. Bu azalma, grafik üzerinden görüldüğü üzere, deney sonuna kadar orantılı bir azalma olmuştur. Sonuç olarak kolektörün ekserji verimliliği sabah kademeli olarak artmış, öğlen saatlerinde güneşlenmenin en pik olduğu zaman zirveye ulaşmış ve öğleden sonra akşama doğru

ise kademeli olarak azalmıştır. Ekserji verimliliğindeki ilk artış, artan radyasyon ve konveksiyon ile ısı transferinden, artan ortam sıcaklığı ile azalan termal kayıplarından dolayı olmuştur. Ekserji verimliliğinin en düşük değerleri deney başlangıcında ve sonunda 500 ile 700 W/m^2 ışınım altında olmuştur. En yüksek değerine ise öğlen saatlerinde güneşlenmenin en pik olduğu zaman ulaşmıştır.



Şekil 4.13. Güneş hava kolektörünün ekserji değerinin zamana göre değişimi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, bir güneş hava kolektörü sisteminin dış ortam şartları altında deneysel testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel testler doğrultusunda sistem bileşenlerinden elde edilen verilerle performans değerleri araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel test çalışması, Necmettin Erbakan Üniversitesi'ne bağlı Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (BİTAM) yapılmıştır. Çıkış hava sıcaklığı ve ışınlam, genel termal verimi etkileyen iki ana faktör olarak belirlenerek deneysel olarak incelenmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel testler sonucunda toplanmış olan verilerin performans analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

- Bu çalışmanın termal analizinden elde edilen sonuçlar, soğurucu plaka olarak alüminyum balpeteği yapısının kullanılması, kanal boyunca akan havanın kolektörde kalış süresinin uzatılması ile, güneş hava kolektörünün daha yüksek termal enerji sağlayabileceği anlamına gelmektedir. Testlerde elde edilen optimum termal verimlilik güneş radyasyonu yoğunluğuna bağlı olarak % 70 seviyelerine kadar yükselmiştir. Tez çalışmasının literatür taraması kısmında araştırılmış olan, mikro ısı borulu plakalı kolektörde % 69, metal oluklu plakalı kolektörde % 66, yarık delik oluklu plakalı kolektörde % 67, gözenekli matris plakalı kolektörde % 63 termal verimlilik değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar önerilen sistem ile kıyaslandığında, alüminyum balpetekli soğurucu plaka kullanımı ile güneş hava kolektörünün termal verimlilik değerinin yükseldiği görülmüştür.
- T1, T2, T3, T4, T5 ve T6 noktalarındaki sıcaklık değerleri, plakanın 3 farklı alt ve üst bölgelerindeki sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü noktalar olarak belirlenmiştir. Deney sürecinin başlangıç saatlerinde, sıcaklık değerlerinin arttığı görülmüştür. Öğlen saatlerinde, güneşlenmenin zirveye ulaştığı zaman, plaka en yüksek sıcaklık değerine ulaşmıştır. Bu noktalarda oluşan yüksek sıcaklık değerleri, plakanın güneş enerjisini emme ve ısıyı tutma oranının yükseldiğini göstermektedir. Deney sonlarına doğru, güneş ışınlarının azaldığı ve plakadan uzaklaştığı için, sıcaklık değerleri giderek azalmıştır. Bu, plakanın enerji emme

yeteneğinin azaldığını ve sıcaklık değerlerinin düştüğünü göstermektedir. Sonuç olarak, testlerdeki sıcaklık değerleri, güneş enerjisinin plaka üzerindeki dağılımını ve plakanın güneş enerjisini emme ve ısıyı tutma yeteneğini göstermektedir. Bu analiz, deneyin termodinamik açıdan anlaşılmasına ve güneş enerjisi kullanımının değerlendirilmesi için gerçekleştirilmiştir.

- Deneyin başlangıcından başlayarak 0.0115 kg/s kütle debisine bağlı olarak ısı transfer katsayısı öğlen 12:00-13:00 arasında 700 W/m^2 ışıınım altında maksimum değerine ulaşmıştır. Termal analiz bağlamında, bu durumun değerlendirilmesi önemlidir. Dolayısıyla, belirli bir ışıınım şiddeti altında, ısı transfer katsayısının maksimum değere ulaşması, daha yüksek bir sıcaklık farkı ile sonuçlanır.
- Sistemde basınç düşüşünün 0.1-1.2 Pa aralığında olduğu ve deneylerle doğru bir şekilde ölçülebilmesi için çok düşük bir değer olduğu öngörülmüştür. Basınç düşüşünün düşük olmasına sebep, mevcut çalışmada dikkate alınan hava kütlesi akış hızının nispeten düşük olmasıdır.

5.2. Öneriler

Tez çalışmasının bu bölümünde, deneysel olarak test çalışması gerçekleştirilmiş alüminyum balpetekli güneş hava kolektörü sisteminin performans seviyelerinin yükseltilmesi için bazı gerekli önerilerde bulunulmuştur. Çalışmadan elde edilen bulgular sonucunda sunulan bu öneriler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;

- Önerilen güneş hava kolektöründe kullanılan malzeme özellikleri ve geometrik ölçülerinde iyileştirmeler yapılabilir. Güneş hava kolektörlerinde kullanılan malzemenin termal iletkenliği yüksek olmalıdır, böylece güneşten alınan enerji hızlı ve verimli bir şekilde taşınabilir. Ayrıca, malzemenin ısı kaybını minimize etmek için yüksek termal direnç göstermesi önemli konulardandır. Güneş ışığını mümkün olduğunca etkin bir şekilde emerek ısı enerjisine dönüştürmek için malzemenin yüksek güneş enerjisi emisyonu ve düşük yansıtma katsayısı olması önemlidir. Bu, kolektör verimliliğini artırır. Aynı zamanda, malzemenin ısı radyasyonunu da iyi bir şekilde emmesi ve yansıtması gerekmektedir. Sonuç olarak kolektör çıkış sıcaklığı ve verimliliği üzerinde

olumlu etkiler oluşturulabilir.

- Güneş hava kollektöründe alüminyum balpeteğinin panel içinde farklı yerleşimleri veya düzenlemeleri önerilebilir. Balpeteğinin hücre boyutları, şekilleri veya bağlantıları gibi geometrik özelliklerinde iyileştirmeler yapılarak, güneş ışığına daha fazla maruz kalma veya ısı transferini optimize ederek verimlilik değerleri yükseltilebilir.
- Önerilen güneş hava kollektörünün ön koruyucu yüzeyi olarak kullanılan polikarbonat levha yerine geçirgenlik katsayısı yüksek olan cam malzemeler kullanılabilir. Cam malzemeler genellikle daha dayanıklıdır ve polikarbonata göre daha az çizilme eğilimindedir. Bu, kollektör ön koruyucu yüzeyinin uzun süre boyunca kalitesini korumasına yardımcı olur. Ayrıca cam, polikarbonata göre daha yüksek ısı iletim katsayısına sahiptir. Bu, güneş hava kollektöründe ısı enerjisinin daha verimli bir şekilde transfer edilmesini sağlayabilir. Ancak, camın yüksek iletkenliği aynı zamanda daha fazla ısı kaybına yol açabilir. Bu nedenle, cam kullanılması durumunda, panelin tasarımında uygun yalıtım önlemlerinin alınması önemlidir. Belirli bir durumda cam malzeme kullanılmasıyla ilgili sonuçlar, kullanılan cam türüne, panelin tasarımına ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, cam kullanımının spesifik performans iyileştirmeleri üzerinde net bir etkisi olup olmadığı da araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- A. Al-damook, W.H. Khalil, Experimental evaluation of an unglazed solar air collector for building space heating in Iraq, *Renewable Energy*. 112 (2017) 498–509. doi:10.1016/j.renene.2017.05.051.
- A.A. Abbasian Arani, F. Monfaredi, Energy and exergy analyses of nanofluid-filled parabolic trough solar collector with acentric absorber tube and insulator roof, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 145 (2021) 787–816. doi:10.1007/s10973-020-10267-z.
- A.A. El-Sebaei, H. Al-Snani, Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters, *Energy*. 35 (2010) 1820–1828. doi:10.1016/j.energy.2009.12.037.
- A.K. Raj, G. Kunal, M. Srinivas, S. Jayaraj, Performance analysis of a double-pass solar air heater system with asymmetric channel flow passages, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 136 (2019) 21–38. doi:10.1007/s10973-018-7762-1.
- A.L. Hernández, J.E. Quiñonez, F.H. López, Transient numerical study of thermo-energetic performance of solar air heating collectors with metallic porous matrix, *Solar Energy*. 178 (2019) 181–192. doi:10.1016/j.solener.2018.12.035.
- Baumer, 2023. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1491698/IVO/PT1000.html> , Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023
- C. Garnier, T. Muneer, J. Currie, Numerical and empirical evaluation of a novel building integrated collector storage solar water heater, *Renewable Energy*. 126 (2018) 281–295. doi:10.1016/j.renene.2018.03.041.
- E. Keyif, M. Hornung, W. Zhu, Optimal configurations and operations of concentrating solar power plants under new market trends, *Applied Energy*. 270 (2020) 115080. doi:10.1016/j.apenergy.2020.115080.
- F. Giovannetti, S. Föste, N. Ehrmann, G. Rockendorf, High transmittance, low emissivity

glass covers for flat plate collectors: Applications and performance, *Solar Energy*. 104 (2014) 52–59. doi:10.1016/j.solener.2013.10.006.

Flir T, 2023.

https://www.itm.com/pdfs/cache/www.itm.com/flir_systems/thermal_imager/t420/datasheet/flir_systems_t420_thermal_imager_datasheet.pdf, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023

G. Sadeghi, M. Najafzadeh, M. Ameri, Thermal characteristics of evacuated tube solar collectors with coil inside: An experimental study and evolutionary algorithms, *Renewable Energy*. 151 (2020) 575–588. doi:10.1016/j.renene.2019.11.050.

H. Zhang, X. Ma, S. You, Y. Wang, X. Zheng, T. Ye, W. Zheng, S. Wei, Mathematical modeling and performance analysis of a solar air collector with slit-perforated corrugated plate, *Solar Energy*. 167 (2018) 147–157. doi:10.1016/j.solener.2018.04.003.

H.K. Ghritlahre, P. Chandrakar, A. Ahmad, A Comprehensive Review on Performance Prediction of Solar Air Heaters Using Artificial Neural Network, *Springer Berlin Heidelberg*, 2021. doi:10.1007/s40745-019-00236-1.

Huarui, 2023. <https://www.honeycombchina.com/aluminum-honeycomb/aluminum-honeycomb-core.html>, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023

İEA, 2022 <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>, Erişim tarihi: 20 Ocak 2023

J. Hu, G. Zhang, Q. Zhu, M. Guo, L. Chen, A self-driven mechanical ventilated solar air collector: Design and experimental study, *Energy*. 189 (2019) 116287. doi:10.1016/j.energy.2019.116287.

J. Hu, K. Liu, L. Ma, X. Sun, Parameter optimization of solar air collectors with holes on baffle and analysis of flow and heat transfer characteristics, *Solar Energy*. 174 (2018) 878–887. doi:10.1016/j.solener.2018.09.075.

Kaya, L., Koç, E. 2015. Enerji kaynakları-Yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makine*, 56(668), 36-47

Kipp&Zonen, 2023. <https://www.kippzonen.com/Product/11/CMP3-Pyranometer#.YsdROWDP2Un>, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023

Kumar, A., & Layek, A. (2019). Energetic and exergetic performance evaluation of solar air heater with twisted rib roughness on absorber plate. *Journal of Cleaner Production*, 232, 617-628.

M. Fan, S. You, X. Gao, H. Zhang, B. Li, W. Zheng, L. Sun, T. Zhou, A comparative study on the performance of liquid flat-plate solar collector with a new V-corrugated absorber, *Energy Conversion and Management*. 184 (2019) 235–248. doi:10.1016/j.enconman.2019.01.044.

M. Palacio, A. Rincón, M. Carmona, Experimental comparative analysis of a flat plate solar collector with and without PCM, *Solar Energy*. 206 (2020) 708–721. doi:10.1016/j.solener.2020.06.047.

M.S. Manjunath, K.V. Karanth, N.Y. Sharma, Numerical investigation on heat transfer enhancement of solar air heater using sinusoidal corrugations on absorber plate, *International Journal of Mechanical Sciences*. 138–139 (2018) 219–228. doi:10.1016/j.ijmecsci.2018.01.037.

Novus FieldLogger Datasheet, 2023. https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Idioma=1&TroncoID=608027&SecaoID=549361&SubsecID=705280&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=506190, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023

Novus FieldLogger Register, 2023. https://www.novusautomation.com/en/website/manuals?_gl=1*_zp3xi4*_gcl_au*MTAxOTE0NDI2Ny4xNjg0ODQ0Nzc4*_ga*NTIzMTA3NTY4LjE2ODQ4NDQ3Nzk.*_ga_EY2HXHPSJ2*MTY4NTEzMzQzMy4yLjEuMTY4NTEzMzY3My42MC4wLjA.&_ga=2.175872290.1259598437.1685113433-523107568.1684844779, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023

- O. Behar, D. Sbarbaro, L. Morán, A practical methodology for the design and cost estimation of solar tower power plants, *Sustainability (Switzerland)*. 12 (2020) 1–16. doi:10.3390/su12208708.
- Özdisan, 2023. <https://ozdisan.com/industrial-products/test-and-measurement-devices/measurement-devices/TERMO-ANEMOMETRE>, Erişim tarihi: 20 Mayıs 2023
- Parlamış, H., Özden, E., & Bükler, M. S. (2021). Experimental performance analysis of a parabolic trough solar air collector with helical-screw tape insert: A comparative study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101562.
- Rodrigues A.V., R. de Souza D.A., Garcia F.D.R., S.J.L. Ribeiro, Renewable energy for a green future: Electricity produced from efficient luminescent solar concentrators, *Solar Energy Advances*. 2 (2022) 100013. doi:10.1016/j.seja.2022.100013.
- S. Debnath, B. Das, P.R. Randive, K.M. Pandey, Performance analysis of solar air collector in the climatic condition of North Eastern India, *Energy*. 165 (2018) 281–298. doi:10.1016/j.energy.2018.09.038.
- S. Föste, A. Pazidis, R. Reineke-Koch, B. Hafner, D. Mercks, C. Delord, Flat Plate Collectors with Thermochromic Absorber Coatings to Reduce Loads during Stagnation, *Energy Procedia*. 91 (2016) 42–48. doi:10.1016/j.egypro.2016.06.169.
- S. Li, H. Wang, X. Meng, X. Wei, Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes, *Applied Thermal Engineering*. 114 (2017) 639–644. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.12.026.
- S. Müller, F. Giovannetti, R. Reineke-Koch, O. Kastner, B. Hafner, Simulation study on the efficiency of thermochromic absorber coatings for solar thermal flat-plate collectors, *Solar Energy*. 188 (2019) 865–874. doi:10.1016/j.solener.2019.06.064.
- S. Singh, A. Singh, S. Chander, Thermal performance of a fully developed serpentine

wavy channel solar air heater, *Journal of Energy Storage*. 25 (2019) 100896. doi:10.1016/j.est.2019.100896.

- S. Singh, Performance evaluation of a novel solar air heater with arched absorber plate, *Renewable Energy*. 114 (2017) 879–886. doi:10.1016/j.renene.2017.07.109.
- S. Şevik, M. Abuşka, Thermal performance of flexible air duct using a new absorber construction in a solar air collector, *Applied Thermal Engineering*. 146 (2019) 123–134. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.09.100.
- T. Zhu, Y. Diao, Y. Zhao, C. Ma, Performance evaluation of a novel flat-plate solar air collector with micro-heat pipe arrays (MHPA), *Applied Thermal Engineering*. 118 (2017) 1–16. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.02.076.
- The Atmospheric Environment and Climatic Change. (1975). *Solar Energy*, 73–96. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-019817-0.50011-2>
- Ural, T. (2019). Experimental performance assessment of a new flat-plate solar air collector having textile fabric as absorber using energy and exergy analyses. *Energy*, 188, 116116.
- W. Zheng, H. Zhang, S. You, Y. Fu, X. Zheng, Thermal performance analysis of a metal corrugated packing solar air collector in cold regions, *Applied Energy*. 203 (2017) 938–947. doi:10.1016/j.apenergy.2017.06.016.
- Y. Zhu, C. Shen, J. Li, L. Zhong, X. Xu, X. Xiao, G. Xu, jifu Shi, Superhydrophobic polytetrafluoroethylene film deposited on solar selective absorber by electron beam evaporation, *Materials Chemistry and Physics*. 257 (2021) 123828. doi:10.1016/j.matchemphys.2020.123828.
- Z. Tian, B. Perers, S. Furbo, J. Fan, Thermo-economic optimization of a hybrid solar district heating plant with flat plate collectors and parabolic trough collectors in series, *Energy Conversion and Management*. 165 (2018) 92–101. doi:10.1016/j.enconman.2018.03.034.

Zhao, Y., Meng, T., Jing, C., Hu, J., & Qian, S. (2020). Experimental and numerical investigation on thermal performance of PV-driven aluminium honeycomb solar air collector. *Solar Energy*, 204, 294-306.

