

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UÇAK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNDE FAZ
DEĞİŞTİREN MALZEMENİN ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Yunus Erkam ÖZSELÇUK**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İsmail ATA**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2024
KAYSERİ**

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UÇAK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNDE FAZ
DEĞİŞTİREN MALZEMENİN ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Yunus Erkam ÖZSELÇUK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İsmail ATA

Şubat 2024
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Yunus Erkam ÖZSELÇUK

İmza

“Hava Akışkanlı Güneş Kollektöründe Faz Değiştiren Malzemenin Isıl Performansının Deneysel İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Yunus Erkam ÖZSELÇUK

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ATA

İmza

Uçak ve Uzay Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. Murat AYDIN

İmza

TEŞEKKÜR

Tezimi tamamlamam için maddi manevi her nevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme, bilhassa azîz ablama ve saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi İsmail ATA'ya her şey için şükran ve hürmetlerimle.

Yunus Erkam ÖZSELÇUK

Şubat 2024, KAYSERİ

HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNDE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMENİN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Yunus Erkam ÖZSELÇUK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmail ATA

ÖZET

Günümüzün, geleceğimizin, yaşadığımız yerkürenin ve gelecekte yaşam planları kurulan uzay habitatlarının en mühim konularından olan enerjinin üretimi kadar depolanması ve kullanılmasını da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Enerji üretiminde fosil yakıtları azaltıp; yenilenebilir rüzgâr, su ve güneş gibi kaynakları etkin bir biçimde kullanmaya başladığımızdan bu yana en önemli soru, nasıl verimli bir şekilde depolayabilir, tasarruf edebiliriz olmuştur. Bu amaçla tez çalışmada, laboratuvar ortamında oluşturulan yapay güneş enerjisi altına hava akışkanlı güneş kollektörünün (HGK) ısı depolama özelliği deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma için yutucu yüzey üzerinde dikdörtgen kanatçıklar bulunan HGK imal edilmiş ve yutucu yüzeyin altına yerleştirilen depoda faz değıştiren malzeme (FDM) kullanılmasının etkileri incelenmiştir. Kızılötesi lambalar sayesinde 800 W/m^2 ve 1000 W/m^2 ışınım şiddeti ve $0,002 \text{ kg/s}$ ile $0,003 \text{ kg/s}$ akışkan debileri için kollektörlerin deposunun hem boş hem de FDM eklenmesi durumunda ısı enerji depolama kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçunda en yüksek ısı depolama miktarı $463,4 \text{ kJ}$ ile $0,002 \text{ kg/s}$ akışkan debisi, 1000 W/m^2 ışınım şiddeti için deposunda FDM olarak parafin kullanılan kollektör için elde edilmiştir. En düşük ısı depolama miktarı ise $11,7 \text{ kJ}$ ile deposunda FDM olmayan $0,003 \text{ kg/s}$ akışkan debisi ve 800 W/m^2 ışınım şiddetine sahip kollektör için elde edilmiştir. FDM olarak parafin kullanılması ile kollektörün ısı depolama miktarında önemli ölçüde artış olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: güneş enerjisi, faz değıştiren malzeme(fdm), güneş kollektörü, gizli ısı depolama, fotovoltaik panel

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF PHASE CHANGE MATERIAL IN A SOLAR AIR COLLECTOR

Yunus Erkam ÖZSELÇUK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, February 2024
Supervisor: Asst. Prof. Ismail ATA

ABSTRACT

It is essential to consider not only the production but also the storage and utilization of energy, which is one of the most crucial issues of our present, future, the planet we inhabit, and the space habitats where future life plans are being made. Since we have begun to reduce fossil fuels in energy production and effectively utilize renewable sources such as wind, water, and solar power, the most important question has been how we can efficiently store and conserve energy. For this purpose, in the thesis study, the heat storage feature of an air-flow solar collector under artificial solar energy created in a laboratory environment was experimentally investigated. An air-flow solar collector with rectangular fins on the absorber surface was manufactured for the experimental study, and the effects of using phase change material (PCM) placed under the absorber surface were examined. The thermal energy storage capacities of collectors with both empty and PCM-added tanks were compared for irradiance intensities of 800 W/m^2 and 1000 W/m^2 and flow rates of 0.002 kg/s to 0.003 kg/s using infrared lamps. As a result of the experiments, the highest heat storage amount of 463.4 kJ was obtained for the collector using paraffin as PCM in the tank, with a flow rate of 0.002 kg/s and an irradiance intensity of 1000 W/m^2 . The lowest heat storage amount of 11.7 kJ was obtained for the collector with no PCM in the tank, a flow rate of 0.003 kg/s , and an irradiance intensity of 800 W/m^2 . It was observed that the use of paraffin as PCM significantly increased the heat storage capacity of the collector.

Keywords: solar energy, phase change material (pcm), solar collectors, latent heat storage, photovoltaic panel

İÇİNDEKİLER

HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNDE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMENİN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Çalışmanın Amacı ve Literatüre Girmiş Çalışmalar.....	3
1.2. Güneş Kolektörleri ve Fotovoltaik Paneller	9
1.2.1. Güneş Kolektörleri.....	10
1.2.1.1. Düzlemsel Yüzeyle Güneş Kolektörleri	10
1.2.1.1.1. Sıvı Akışkanlı Kolektörler	11
1.2.1.1.2. Hava Akışkanlı Kolektörler	12
1.2.1.2. Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri	13
1.2.1.3. Yoğunlaştırıcı (Odaklamalı) Güneş Kolektörleri	15
1.2.1.3.1. Doğrusal Hat Odaklı Kolektörler	15
1.2.1.3.2. Noktasal Odaklı Kolektörler	16
1.2.2. Fotovoltaik Paneller	18
1.2.2.1. Monokristal Paneller	20
1.2.2.2. Polikristal Paneller	20
1.3. Faz Değiştiren Malzemeler.....	21
1.3.1. Organik FDM'ler	22
1.3.2. Ötektik FDM'ler	22

1.3.3. İnorganik FDM'ler	23
1.4. Güneş Enerjisi Depolama Metotları.....	23
1.4.1. Isıl Enerji Depolama	24
1.4.1.1. Duyulur Isı Depolama.....	24
1.4.1.2. Gizli Isı Depolama	25
1.4.2. Kimyasal Enerji Depolama	26
1.4.3. Mekanik Enerji Depolama	27
1.4.4. Elektrik Enerjisi Depolama	28

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Materyal.....	30
2.1.1. Isıl Enerji Depolama Ünitesi.....	30
2.1.2. Işınım Kaynağı ve Kontrol Birimi.....	31
2.1.3. Veri Analiz Ünitesi.....	32
2.1.4. Havanın Basınçlandırılması ve Akış Hızı Ölçer	32
2.2. Yöntem	33
2.2.1. Depolanan Enerji Miktarı.....	34
2.2.3. Deney Düzenegindeki Cihazlar İçin Belirsizlik Analizi	35

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi.....	38
3.2. Isı Geri Kazanım Süreleri	40
3.3. Depolanan Enerji Miktarı	42

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar	45
4.2. Öneriler	47
KAYNAKÇA	48
EKLER.....	53
EK 1. Deneyde Kullanılan Parafin Wax'ın Malzeme Güvenlik Bilgi Formu	53
ÖZGEÇMİŞ.....	57

KISALTMALAR

d	: Dakika
FDM	: Faz Değiştiren Malzeme
FGP	: Fotovoltaik Güneş Paneli
GES	: Güneş Enerji Santrali
HES	: Hidroelektrik Santrali
HGB	: Havalı Güneş Bacası
HGK	: Havalı Güneş Kolektörü
RES	: Rüzgâr Enerji Santrali

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Kolektör Çeşitleri Ortalama Performans ve Maliyetleri.....	21
Tablo 2. Organik ve İnorganik FDM'lerin Karşılaştırılması	23
Tablo 3. Yaygın Kullanılan Bazı Depolama Malzemelerinin Özellikleri.....	25
Tablo 4. Deneyde Kullanılan Parafine ve Bakıra Ait Özellikler	34
Tablo 5. Deneye Ait Ölçüm Cihazları İçin Belirsizlik Değerleri.....	36
Tablo 6. Deney Matrisi	37



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Güneş Kolektörleri ve Fotovoltaik Paneller	10
Şekil 2. Sıvı Akışkanlı Kolektör Parçaları	12
Şekil 3. Hava Akışkanlı Kolektör Parçaları	13
Şekil 4. Vakum Tüplü Güneş Kolektör Parçaları.....	14
Şekil 5. U Profilli Vakum Tüplü Güneş Kolektörü	14
Şekil 6. Doğrusal Hat Odaklı Kolektörlerin Parçaları	16
Şekil 7. Noktasal Odaklamalı Güneş Kolektörü	17
Şekil 8. Merkezi Alıcılı Odaklı Güneş Kolektörü.....	18
Şekil 9. Fotovoltaik Hücrenin Çalışma Prensibi	19
Şekil 10. Fotovoltaik Hücre Yapısı.....	19
Şekil 11. Sıcaklık Değişimine Bağlı Gizli Isı-Duyulur Isı Grafiği	24
Şekil 12. CAD/CAM programında tasarlanmış deney düzeneği şematik görünümü	29
Şekil 13. Deney Düzeneği.....	30
Şekil 14. Kanatçıklı Bakır Yutucu Yüzey.....	31
Şekil 15. a) GE 150 W Kızılötesi lamba, b) Kimo SL 100 Solarimetre	31
Şekil 16. a) Picolog Yazılımı ve Pico TC-08 Datalogger, b) K Tipi Termokupl	32
Şekil 17. a) Uni-t UT363 Anemometre b) 3.6 W Fırçasız Fan	33
Şekil 18. a) D-2 deneyi için, b) D-3 deneyi için zamana bağlı sıcaklık değişimi.....	39
Şekil 19. a) D-5 deneyi için, b) D-7 deneyi için zamana bağlı sıcaklık değişimi.....	40
Şekil 20. Tüm Durumlar İçin Deşarj Sıcaklık Farkı Karşılaştırması	41
Şekil 21. Parafin Deposunun Dolu Durumları İçin Süre Karşılaştırmaları.....	42
Şekil 22. Akışkan Giriş-Çıkış Sıcaklık Farkı Değişimi a) FDM yok, b) FDM var	43
Şekil 23. Bütün Deneyler İçin Depolan Enerji Miktarları a) FDM yok, b) FDM var	44

GİRİŞ

Pek çok sosyal ve teknik tanıma mazhar enerjinin, insanoğlunun sınırsız ihtiyaçlarının kadim ve vazgeçilemez kaynaklarından biri olduğunu rahatlıkla ifade edebiliriz. İnsanoğlu, çağlar boyu hayatta kalmak, yemek, barınmak, üretmek, inşa etmek gibi birçok konuda enerjiye ihtiyaç duymuştur. Endüstri çağıyla birlikte enerjinin mahiyeti farklı bir boyuta evrilmiş, önemli bir güç haline gelmiştir. Onu sadece fiziki bir güç olarak lanse etmek yetersiz kalacak, tarihin akışına da yön verecek sosyal, siyasi, ekonomik bir güç demek daha doğru olacaktır.

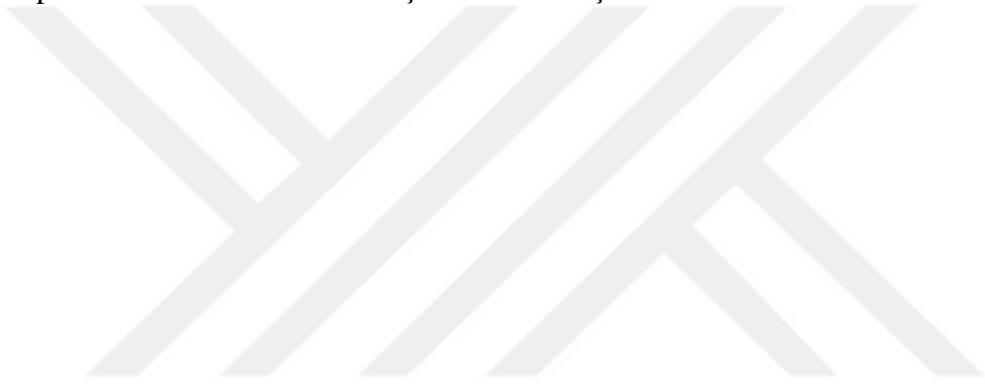
Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yaygınlaşmış olsa da hâlâ elektrikli alternatiflerini kullanamadığımız gemi, hava taşımacılığı gibi kapsamlı sektörler var ve halihazırda üretilen enerjinin büyük bölümü kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların da deniz ve okyanusların dışında, karada belli başlı ülkelerin topraklarında yoğun rezervlerde bulunması da her dönem siyaseten avantajlar/dezavantajlar meydana getirmektedir.

Tabii tek sorun enerjinin kaynak anlamında zaman zaman farklı sebeplerden dolayı elde edilememesi değil. Enerjinin verimli üretilmemesi, iletilmemesi, tüketilememesi ve en önemlisi uzun vadeli depolanamaması günümüzün başlıca sorunlarından. Yeryüzünde bir senede ürettiğimiz enerjinin yüzde yirmi yedisine yakın bir kısmını enerjiyi üretme, üretmeden önceki ve sonraki taşımalar esnasında kaybediyoruz [1]. Dünyadaki kaynaklarımızın kısıtlı, nüfusumuzun da artmakta olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu oranlardaki mükerrer kayıplar, yenilenebilir enerjinin yerinde ve azami verimde üretilmesinin, tüketilmesinin yahut depolanmasının başlıca teşvik sebebidir.

Özellikle son yıllarda hemen hemen tüm gelişmiş ve gelişmekte olan devletlerin uzay projektörlerinde dünyaya alternatif bir olası yaşanabilir ötegezegenler arayışı oluştu.

Doğal yaşam şartlarının benzer olduğu gezegenler ya da üzerine yaşanabilir bir istasyon inşa edilebilecek Mars kolonileri gibi projeler üzerine çalışılıyor. Haliyle bu yaşam

alanlarındaki suni iklimlendirme, asgari şartlardaki biyolojik yaşam, üretim ortamları üzerine de bilimsel araştırmalar yapılıyor. Bu çalışmada da hem yaşadığımız dünyadaki mevcudiyetteki iklimlendirme, güneş panellerinden elektrik üretilmesi esnasında oluşan panel sıcaklığını azaltıp termal verimi artırma, bunu yaparken de fonksiyonelliği artırarak soğutma maksadıyla kullanılan FDM'yi sistemin verimi artırmak yada başka alanlarda değerlendirmek üzere daha sonra kullanmak, endüstriyel seracılık, gıda kurutma gibi uygulamalara katkı sağlamak, hem de gelecekte yaşam alanları oluşturulması planlanan uzay yerleşimlerinin yapısal şartlarının geliştirilmesine katkı sağlamak maksadıyla hava akışkanlı güneş kolektörü aracılığıyla faz değiştiren malzemelerden parafinin, farklı parametrelerdeki ısı davranışları incelenmiştir.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Çalışmanın Amacı ve Literatüre Girmiş Çalışmalar

Herhangi bir konuda aksiyon almaya başlamadan evvel sanıyorum ki en makul hareket neden bunu yaptığımız sorusunu sormak olacaktır. Doğru tespitler bizi doğru sonuçlara götürecektir. Enerjinin üretiminden taşınımına, tüketimine dek ne denli kayıplara uğradığını biliyoruz. Yaklaşık 4,6 milyar yaşında olduğunu tahmin ettiğimiz güneşimizin, yine yaklaşık 5 milyar yıl daha enerjisini muhafaza edeceği, bu süreden sonra tükenmeye başlayacağı tahmin ediliyor [2]. Yerküremizin ise 1,75 milyar yıl daha yaşanabilir bir ortama sahip olacağı biliniyor [3]. Söz gelimi, en az 1,75 milyar yıl daha güneşten faydalanabileceğiz. Oysaki hali hazırdaki kullanılabilir petrol rezervlerinin güncel tüketim oranlarında yaklaşık 41 yıl ömrünün, doğalgazın ise 67 yıl ömrünün kaldığı öngörülmektedir [4]. Elimizdeki veriler ışığında fosil kaynakların hızla tükendiği ve yerine güneş gibi çok daha uzun ömürlü bir kaynak koymamız gerektiği, buradan elde edeceğimiz enerjiyi de azami verim de değerlendirmemiz gerektiği aşikardır. Bu sebeple çalışmanın devamında bu konu hakkında yapılan çalışmalara değindikten sonra araştırmanın ikinci ana bileşeni olan güneş panelleri ve faz değiştiren malzemeler incelenmiştir.

Güneş enerjisi bilinen tarihte ilk kez 1767'de jeolog Horace-Bénédict de Saussure tarafından su ısıtmak maksadıyla kullanılmıştır. Bundan çok daha önceleri ise farklı farklı şekillerde kullanıldığına dair tarihi emareler çoktur. 1839 yılına gelindiğinde ise Alexandre-Edmond Becquerel tarafından güneş enerjisinin fotovoltaiik etkiyle elektrik ürettiği keşfedilmiştir. Becquerel, güneş ışığı altında iki elektrotun arasında elektrik akımı oluştuğunu fark etmiştir. Bu keşfi güneş kolektörleri tarihi için bir dönüm noktası kabul edildiğinden kendisine güneş panellerinin babası denir. 19. Yüzyılın sonlarına gelindiğinde ise artık güneş kolektörleriyle sıcak su elde etme gibi ısıtma soğutma

sistemleri ve temelde elektrik üretimine dayanan enerji üretimi, iklimlendirme, uzay araştırmaları gibi pek çok endüstriyel çalışmada faal olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte panellerin termal verimlerini artırmak, güneş enerjisini gizli ısı olarak depolayıp daha sonra ihtiyaca göre tasarruf edebilmek maksadıyla bilimsel çalışmalar da artmıştır. Bunlardan literatüre geçmiş deneysel ve teorik bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Hu ve diğeri, faz değiştiren malzeme (FDM) içeren ön hava ısıtım tip yeni bir kolektör üzerine çalıştı ve ısı performansını test etti. 3 moda sahip sistemde, adına soğuk oda denilen, kolektör üstüne yerleştirdikleri bir havalandırma penceresi ile gelen güneş enerjisini, yine sisteme gelen havayı ısıtarak FDM de depoladılar. FDM deposundan çıkan sıcak hava, bu seferde sıcak oda diye anılan eşanjör görevi gören ikinci bir bölüme gidiyordu. Buradan da ya sistemin dışına ya da tekrar soğuk odaya yönlendiriliyordu. Gündüzleri ilk modda sistemde güneş enerjisi depolanırken FDM'ye de besleme yapılıyor. Geceleri ise ikinci modda ön ısıtma devreye giriyor ve FDM'den panele ısı beslemesi yapılıyor. Üçüncü mod ise sistemi bypass etmek için tasarlanmış, aktif edildiğinde herhangi bir ısı depolaması yapılmıyor. Sonuç olarak, FDM'nin gizli ısı kapasitesi ile yaz döneminde geceleri ve kış döneminde gündüzleri bu kolektörün termal veriminin artırılabilceğini gösterdiler [5].

Salari ve diğeri, geleneksel havalı güneş bacasının (HGB) termal verimini artırmak için FDM içeren bir fotovoltaik güneş paneli (FGP) tasarlamışlardır. Sistemde farklı erime noktalarına sahip FDM'ler kullandılar. Kullandıkları FDM'ler arasında en yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olanın Rubitherm markasına ait RT50 parafin wax olduğunu gördüler. Daha sonra RT50 kullanılan bu sistemi Şangay'da örnek bir konut ve ofisin iklimlendirme ve enerji üretimi performansını değerlendirmek üzere, geleneksel HGB ile FDM kullanılan FGP ile karşılaştırmalı olarak simüle ettiler. Sonuçlar, FDM içeren FGP'nin iklimlendirme ve enerji üretimi etkinliği açısından daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir [6].

Gürbüz ve diğeri, FGP panellerin yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklarda düşen termal verimlerini artırmak maksadıyla FDM içeren hazneye entegre sıvı soğutmalı kapalı döngü bir sistem tasarlamıştır. RT55 parafin wax kullandıkları FDM deposunun üzerine optik bir cam yerleştirerek ısı transfer verimini artırdılar. Hibrit FGP kullandıkları sistemde,

panelden çıkan sıcak akışkanı FDM deposuna yönlendirdiler. Araştırma sonucunda gündüzleri fotovoltaik panelin aktif soğutularak termal bozunma oranının azaldığını, geceleri ise enerji üretimi veriminin arttığını bildirmişlerdir [7].

Parker ve diğerleri, HGK'nın yüzeyindeki ısı emici geometrilerin değişimiyle verimleri arasındaki ilişkiyi incelemek için kullandıkları v oluklu altı adet kolektör ile testler yaptılar. Akışı kolektörlerin yalnızca üstünden, altından ve üstünden ve sadece altından sağlayarak verimlerini gözlemlədiler [8].

Bo ve diğerleri, geleneksel HGK'ların kış aylarındaki ısı verimini artırmak amacıyla panele FDM ve cam yüzeye termal izolasyon uygulayarak analizler yaptılar. Öncelikle standart HGK'nın yüzey ve iç ortam sıcaklığını kaydettiler. Daha sonra sisteme FDM entegre ettiler. İç ortam sıcaklığında iyileştirme gördüler ama yüzey de ısı kaybı devam ediyordu. Son olarak cam yüzeye de termal yalıtım yaptılar. Son yapılan ölçümlerde yüzeyden ısı kaçığının azaldığını ve iç ortam sıcaklığında 2,49 derece artış olduğunu raporlamışlardır [9].

Essa ve diğerleri, yaptıkları çalışmada esasen geleneksel vakumlu HGK ile helisel kanatçık yapısına sahip HGK'yı karşılaştırmışlardır. Her iki sistemde de FDM kullandılar. Deneyler sonucunda iki önemli sonuca ulaştılar, bunlardan ilki helisel kanatçık yapısına sahip HGK'ların geleneksel HGK'lara göre daha verimli olduğuydu. İkinci önemli sonuç ise, helisel kanatçık yapısına sahip HGK'nın termal potansiyeli daha yüksekken sistemin dar boğazı görevini kullandıkları parafinin olduğu görüldü. Sonuç olarak, FDM'lerin güneş enerjisi sistemlerinde kullanılmaları verimi artırıyor fakat daha yüksek potansiyelli sistemlerde ise verim düşürücü etkisi oluşmaktadır. Yani FDM'lerin ısı iletkenlik katsayılarının artırılması, hibrit, kompozit sistemler geliştirilmesi tarafında da malzeme bilimcileri tarafından araştırmalara ihtiyaç vardır [10].

Mert ve Sert, yüksek gizli ısı depolama kapasiteleri ve faz değiştirirken küçük hacim değişimine uğramaları sebebiyle çokça tercih edilen organik FDM'lerin kullanımıyla ilgili hazırladıkları derleme makalede son 20 yılda kullanılan organik FDM'li uygulamaların avantaj ve dezavantajlarını içeren sonuçlarını değerlendirmiştir. Gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılan organik FDM'ler arasında en verimli olanın parafin wax olduğu, bundan daha verimli sistemlerde ise parafine katılan nano parçacık kompozitlerinin kullanıldığı görülmüştür. Nano parçacıklar arasında da şu ana dek en

yüksek termal faaliyete grafitin sahip olduğunu bildirmişlerdir. Parafin-grafit birleşimi malzemenin saf parafinli uygulamalara göre neredeyse 30 kat yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğu görülmüştür [11].

Benli ve Durmuş, yaptıkları deneysel çalışmada, 5 farklı tip yüzey geometrisinde, FDM entegreli 10 parça HGK kullanarak bir seranın termal faaliyetindeki değişimi incelemişlerdir. Deneysel için Eylül-Kasım ayları aralığını tercih ederek, güneşli günlerin daha az olduğu ve seracılık faaliyetlerinin enerji giderlerinin fazla olduğu bir dönemde faydanın ne kadar olacağına odaklanmışlardır. Gündüzleri HGK'dan alınan ısıyı sera ortamında kullanmışlar ve FDM tankında depolamışlar. Geceleri ise depodaki gizli ısıyı fan yardımıyla tekrar sera ortamına bırakmışlar. FDM'siz ve FDM'li sistemler arasında önemli oranda verim artışı olduğu göstermişlerdir [12].

Yang ve diğerleri, FDM'li HGK'ların termal verimine etki eden sebepleri araştırmışlardır. Isı kaybının nerelerde ve ne seviyelerde olduğunu araştırmakla işe başlayan ekip, nihayetinde 3 noktada iyileştirme yapıldığında panel veriminin oldukça arttığını gözlemlemiştir. Bunlar, panelin cam yüzeyindeki ısı kaçakları, hava akışkanının kanaldaki hızında yaşanan düşüş ve sistemde kullanılan FDM'nin çeşidi. Özellikle sistemde kullanılan FDM'nin verimi çok etkilediğini vurgulamışlardır. Panel camını çift katlı cam yaparak ısı kaçaklarını azaltmışlar ve hava akışkanının tasarımında değişiklik yaparak akışkanın hızını artırmışlar, bu da termal verimi etkilemiştir. Nihayetinde yapılan iyileştirmeler panelin gece aktivitesinde önemli artışlar sağlamıştır [13].

Günerhan, son yıllarda özellikle çokça araştırılan duyulur ya da gizli ısı depolama malzemeleri üzerine yaptığı araştırmada su, çakıl taşı, karbon çeliği ya da FDM'lere alternatif malzemelerin neler olabileceğini incelemiştir. Isı kapasitesi, ısı yayılım katsayısı yüksek ve kolay bulunabilir, uygulanabilir, fiyat faydası yüksek malzemeler arasından, ülkemizde de sıkça yapı sektöründe kullanılan bazaltın kullanılabilirliğini bildirmiştir. Halihazırdaki duyulur ısı depolamalı HGK'larda çakıl taşı çokça tercih edilmektedir. Hem ekonomik hem de termal faydası yüksektir. Yeni ve iyi bir alternatif olarak bazalt, ülkemizdeki rezerv miktarları ve ısı kapasitesinin de oldukça yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda HGK'lı sistemlerde tercih edilebilir [14].

Yılmazoğlu, ısı enerjisinin depolanması ve yapılarda hacim iklimlendirmesinde kullanılmasıyla ilgili araştırma yapmıştır. Isı enerjisinin depolama şekillerini ve hacim

ısıtma da hangi şekilde kullanılacaklarını incelemiş, sonuçta kamu binaları, alışveriş merkezleri gibi sosyal kullanıma açık yapılarda, mevcut iklimlendirme sistemine besleme yapabilen entegre ısı depoları inşa edilebileceğini tavsiye etmiştir. Malzeme seçiminde kullanılacak yapıya göre ömür ve verim hesabı yapıp, yanıcı olmayan, termal verimi yüksek organik ya da inorganik malzemelerin tercih edilmesinin ve depolarında yapılara yakın ama yapıyla tümleşik olmamasının daha sıhhatli olacağını uygun görmüştür [15].

Öztürk, yaptığı araştırmada FDM'ler ile yapılan gizli ısı depolama uygulamalarında dikkat edilmesi gereken noktalara değinmiştir. Seçilecek malzemenin ısı depolama katsayısının yüksekliğinin yanında faz değişimindeki karakteristiği, özel durumlar meydana geldiğinde yüksek sıcaklıklar altında oluşturabileceği risklerin de irdelenmesi, depolama tanklarında zamanla oluşabilecek korozyonu dikkate alarak buna uygun kaplama tercih edilmesi, tercih edilen kaplamanın da zamanla kimyasal tepkimeler oluşturmamasına dikkat edilmesi gerektiğinin altını çizmiştir. Teknik şartlar netleştirildikten sonra da tasarlanan projenin kullanım hacmi göz önünde bulundurarak ekonomik fayda gözetilerek uygulanması gerektiğini de bildirmiştir [16].

Bejan ve diğerleri, tasarladıkları termal yalıtımlı duvara sahip FDM'li transpirasyonlu güneş kolektöründe ısı soğurucu yüzey geometrisinin ısı depolama süre ve miktarına olan etkisini incelemişlerdir. İki tip prototip üretmişler, birinde soğurucu transpirasyon yüzeyine dairesel delikler açmışlar diğerinde ise artı işareti şeklinde delikler açmışlardır. On dört farklı noktaya yerleştirdikleri termokupllar ile sıcaklık değişimlerini ölçmüşlerdir. Çalışma sonucunda artı şeklindeki delik geometrisine sahip panelin dairesel delikli geometriye sahip panele göre daha yüksek akış profiline sahip olduğunu, bunun da termal verimi yükselttiğini bildirmişlerdir. Geometrilere yapılabilecek iyileştirmeler ile ısı verimlerinin artacağı açıkça görülmüştür [17].

Fadhil ve diğerleri, kolektörün yüzey geometrisinin ve FDM'nin sisteme akışa engel biçimde konumlandırılmasının sonuçlarını araştırdılar. Hazırladıkları deney düzeneğinde akışı üç şekilde gerçekleştirmişlerdir. İlkinde düz bir yüzey geometrisi kullanarak FDM kullanmamışlar, ikinci düzenekte yüzey geometrisini akışın içerde daha fazla zaman geçireceği şekilde engelli tasarlamışlardır. Son düzenekte ise ikinci düzenekteki yüzeyi kullanmışlar fakat engel oluşturacak geometriye doğrudan temaslı FDM kullanmışlardır. Araştırma, HGK'larda akışkanın panel içerisindeki kütle akış hızını değiştirdiğimizde,

FDM'yi ayrı bir depoda değilde akışa doğrudan temaslı olarak kullandığımızda termal performansın ne kadar arttığını göstermiştir [18].

Fan ve diğerleri, HGK'lı sistemlerde soğurucu yüzey geometrisinin değişimiyle termal performansın ne olacağını analiz edildiği metotları araştırmıştır. Bunun için düz yüzeyli ve v oluklu iki tip deney düzeneği oluşturmuşlar, akışın dinamik termal performansını ve analizde kullanılan farklı modelleri simüle ederek sonuçlarını değerlendirmiştir [19].

Tuncer ve diğerleri, tasarladıkları paralel akışlı HGK'da geri dönüştürülmüş alüminyum blokların içerisine FDM depolayarak kollektörün termal verimi incelemiştir. Deney düzeneğini üç aşamada tasarlamışlardır. Referans kabul etmek üzere ilk model de düz bir HGK'yı analiz etmişler, ikinci model de panelin yalnızca soğurucu yüzeyine bakan bloklara FDM depolamışlardır. Üçüncü model de ise panelin paralel akışlı her iki yüzeyine bakan kısımlardaki bloklara FDM eklemiştir. Analiz sonucuna göre çift yüzeyli modelde verimin daha yüksek olduğunu ve geleneksel panellere göre çift tarafında FDM kullanılan panelin ısı geri kazanım oranının %10,69 daha fazla olduğunu bildirmişlerdir [20].

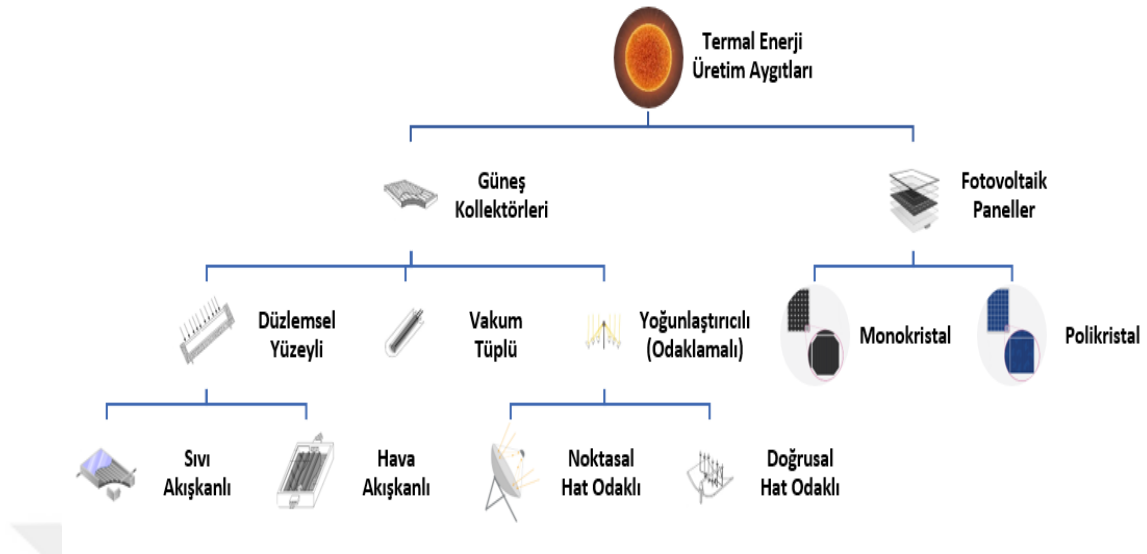
Peralta, binalardaki ısıtma yükünü azaltmak amacıyla FDM'li güneş kolektöründe kullanılan ısı depolayıcı malzemeleri değiştirerek termal sonuçların nasıl olacağını araştırmıştır. Tasarladığı sistemde çimento ile FDM karışımı kompozit bir düzenek oluşturmuştur. Akışkan olarak su kullanmış, gündüzleri panelden gelen sıcak akışkanı çimento esaslı gizli ısı deposuyla sirküle ederek ısı depolamıştır. Panel veriminin düştüğü geceleri ise haznedeki ısıyı tekrar panele yönlendirerek panelin termal verimini artırmıştır. Tasarladığı çimento esaslı sistemin sıcak ve soğuk bölgelerdeki sistem veriminin nasıl olacağını görmek içinde simülasyonda iki farklı lokasyon belirleyip buralardaki en uygun ergime sıcaklıklarının 34 °C ve 53 °C olduğunu görmüştür. Buradan hareketle HGK'larda saf FDM kullanmak yerine ısı depolama katsayısı yüksek, tedarigi ve üretimi ekonomik farklı malzemelerden kompozitler oluşturarak sistem verimlerinin artırılabilceğini bildirmiştir [21].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, FDM olarak farklı malzemeler veya karışımlar kullanıldığı ve ısı depolama miktarının artırılması için farklı yutucu yüzey geometrilerinin ısı depolama süresine ya da geri kazanım sürelerine etkilerinin incelendiği görülmektedir. Bu çalışmada, FDM olarak Parafin'in ısı depolama

kapasitesinin araştırılması amacıyla yeni bir HGK'ü tasarlanmış ve yutucu yüzey altından FDM olmayan (Tip-1, Tip-2, Tip-3 ve Tip-4) ve yutucu yüzey altında ısı depolama malzemesi olarak FDM olan (Tip-5, Tip-6, Tip-7 ve Tip-8) HGK'lerinin ısı depolama ve geri kazanım süreleri karşılaştırılmıştır. Deneyleerde güneş enerjisini simüle etmek için üç adet kızılötesi lambadan oluşan ısı kaynağı iki farklı ışınım şiddetine ($800 \text{ W/m}^2 - 1000 \text{ W/m}^2$) ayarlanmış ve iki farklı akışkan debisinde ($0,002 \text{ kg/s}$ ve $0,003 \text{ kg/s}$) deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda HGK tipleri için ısı depolama ve geri kazanım süreleri karşılaştırılmış ve depolanan enerji miktarları bulunmaya çalışılmıştır.

1.2. Güneş Kolektörleri ve Fotovoltaik Paneller

Güneş enerjisi denildiğinde çoğunlukla hem elektrik üreten hem kullanım suyunu ısıtan hem de yapı iklimlendirmesine katılan tek tip bir sistem akla gelir. Birbirlerinden tamamen alakasız olmasalar da bahse konu her işin üretim süreçleri farklı işlemektedir. Güneş kolektörlerinin dolaşım sistemindeki akışkanın sıcaklığını yeterli düzeye getirerek tasarlayacağımız entegre bir buhar türbini vasıtasıyla elektrik üretebiliriz. Ya da fotovoltaik panelden elde edeceğimiz elektrikle bir su ısıtıcısından sıcak su elde edebiliriz veyahut elektrikli bir ısıtıcıyla ortam ısıtması yapabiliriz. Bahsettiğim çözümler gayrimümkün değil, fakat tamamıyla fonksiyonel de değildir. Daha basit bir örnekle izah edilecek olursa; bir binek otomobille yük taşımacılığı yapılabilir, ya da bir kamyonla şehirler arası tatile çıkılabilir. Peki yapılan iş ne kadar ekonomik ne kadar pratik olacaktır? Eğer çok fazla kişi tatile çıkartılacaksa binek otomobil elbette işe yaramayacaktır ama kamyon yerine otobüs tercih etmek amacına uygun olacaktır. Benzer şekilde az miktarda yük taşınacaksa elbette kamyonun işletme maliyetlerini göz önünde bulundurulduğunda yine makul olmayacaktır, bunun yerine bir hafif ticari araç kullanmak akıllıca olacaktır. Her sistem çalıştırılacağı programın amaçlarına uygun olarak tasarlanmalıdır. Mühendislik projelerinde emniyet, maliyet ve fayda gözetilerek tasarım ve hesaplama yapılmalıdır. Bu sebeple öncelikle temelde güneş enerjisiyle çalışan ama farklı işleyiş ve farklı gayelere sahip olan bu güneş kolektörlerinin ve fotovoltaik panellerin çeşitlerini, çalışma prensiplerini, parçalarını ve kullanım alanlarını inceleyeceğiz. Bu bağlamda güneş kolektörleri ve fotovoltaik panellerin literatürde yer alan yaygın sınıflandırması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Güneş Kolektörleri ve Fotovoltaik Paneller

1.2.1. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörünü en basit tabirle, güneş enerjisinden faydalı ısı üretmeye yarayan aygıt olarak ifade edebiliriz. Çalışma prensibi, bir yüzey ya da noktada güneş ışınlarını en fazla düzeyde soğurup bir akışkana aktarma şeklindedir. Mevcuttaki güneş kolektörlerinin çoğu sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Üretilen sıcak su da konut ve işyeri benzeri yapılardaki günlük ihtiyaçlar için tasarruf edilmektedir. Özellikle son yıllarda panel verimlerinin artmasıyla endüstriyel kullanımı da artmıştır. Enerjiye olan talebin artması ve hali hazırdaki enerji kaynaklarına biçilen ömrün de azalması güneş kolektörlerine olan talebi artırmıştır. Sıcak su eldesinin yanında hacim ısıtmak içinde kullanımı vardır ama düşüktür. Maalesef ki güneşli günlerin çok olduğu yaz aylarında alan ısıtma ihtiyacı da olmadığı için hacim ısıtmak için kullanımı yaygın değildir. Gizli ısı depolama teknolojilerinin gelişmesiyle soğuk günlerde verimli kullanabilme potansiyeli artmıştır ama hala araştırmalar devam etmektedir. Güneş kolektörleri kullanımı dünyada en çok Güney Avrupa'da ve Asya'da yaygındır [22].

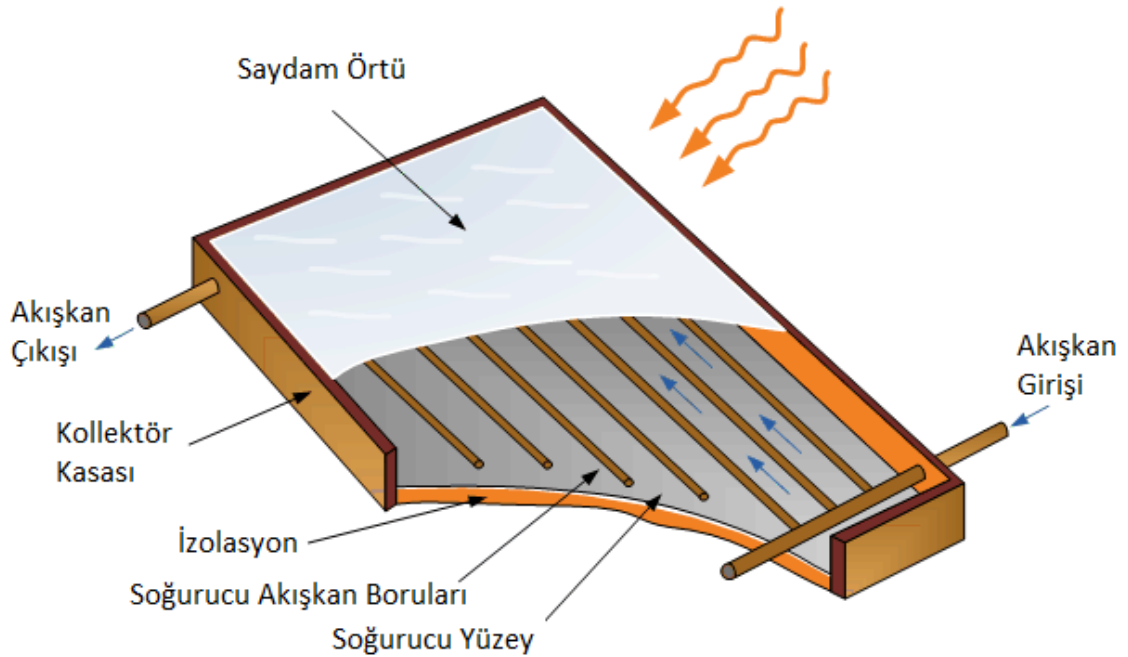
1.2.1.1. Düzlemsel Yüzeysel Güneş Kolektörleri

Güneş enerjisinin faydalı ısıya dönüştürülmesinde en çok kullanılan kolektör tipidir. Bunda hem panelin tarihçe olarak daha eski olması hem de üretim maliyeti olarak daha ekonomik olması başlıca etkindir. Bu kolektörler ışınımı soğurucu levha, genellikle hava ya da sıvı (genellikle su) akışkan boruları/kanalları, cam yününden ya da poliüretan

köpükten yalıtım malzemeleri, kapak görevinde cam örtü, cam örtü çerçevesi (genellikle alüminyum) ve kasadan oluşur. Yine kasa da genellikle alüminyumdan yapılmaktadır. Çalışma prensibi basittir, soğurucu yüzeye gelen güneş ışınları burada yoğunlaşır ve panel içerisindeki akışkan boru sistemine geçer. Sistemdeki akışkandan da bir ısı eşanjörü vasıtasıyla tüketim suyuna aktarılır. Gece ile gündüz sıcaklık değişimlerinin fazla olduğu mahallerde genellikle akışkana antifriz gibi donma noktasını artıran katkıları eklenir. Güneş kolektörleri kurulumu sabit bir eğim ve azimut açısına göre yapılır. Yahut daha yeni sistemlerdeki gibi güneş ışınlarının dik açıklığını devamlı takip edip yakalayacak şekilde otomasyon sistemleriyle konumlandırılabilirler [23]. Ülkemizde, takip sistemi olmayan güneş kolektörleri genellikle güneşe bakacak şekilde ve 30° ile 45° eğim yapacak şekilde kururlar. Sıvı akışkanlı kolektörlerin verimi hava akışkanlı kolektörlerden daha yüksektir ve tasarlanan sistem ve kullanılan malzemeye bağlı olmakla birlikte verimleri %55 ile %80 arasında değişmektedir.

1.2.1.1.1. Sıvı Akışkanlı Kolektörler

İşletimde olan güneş kolektörleri arasındaki en yaygın olanı sıvı akışkanlı kolektörlerdir. Ulaşılabilir ve ekonomik olduğu için çoğunlukla akışkan olarak su kullanılır. Bina ve iş merkezlerinin tüketim suyunu ısıtmak için tercih edildiği için ekonomik fayda öncelikli imal edilirler. Sıvı akışkanlı kolektörler üst başlıkta da belirtildiği üzere bir kasa, saydam örtü (çoğunlukla cam), çerçeve, siyah renkli termal yutucu yüzey, yalıtkan çeper ve ekstrüzyon ya da kaynakla birleştirilmiş akışkan borularından meydana gelir. Kolektör verimi etkileyen başlıca iki aksam vardır. Bunlardan en önemlisi yutucu yüzeydir, diğeri de boru döşemesidir. Yutucu yüzey bakır, alüminyum, paslanmaz çelik gibi ısı iletkenliği yüksek malzemelerden biri olabilir. Bu seçim tamamen fayda/maliyet analizine göre yapılır. Ayrıca malzeme seçerken korozyona dayanımda göz önünde bulundurulur. Bununla birlikte taşıma kanallarında da aynı tür malzemeler, aynı sebeplerle tercih edilir. Sistem veriminin yüksek olması için yutucu yüzey ve akışkan borularının aynı malzemeden yapılması önemlidir. Yapılan çalışmalar ve imalatçılardan alınan geri bildirimlere göre en verimli sistemlerin bakır yutucu yüzey ve panele ortalı döşenmiş yine aynı malzemeden yapılan taşıma kanallarının olduğu kolektörler olmuştur [24]. Sıvı akışkanlı kolektör ait parçalar aşağıdaki Şekil 2’de verilmiştir [25].

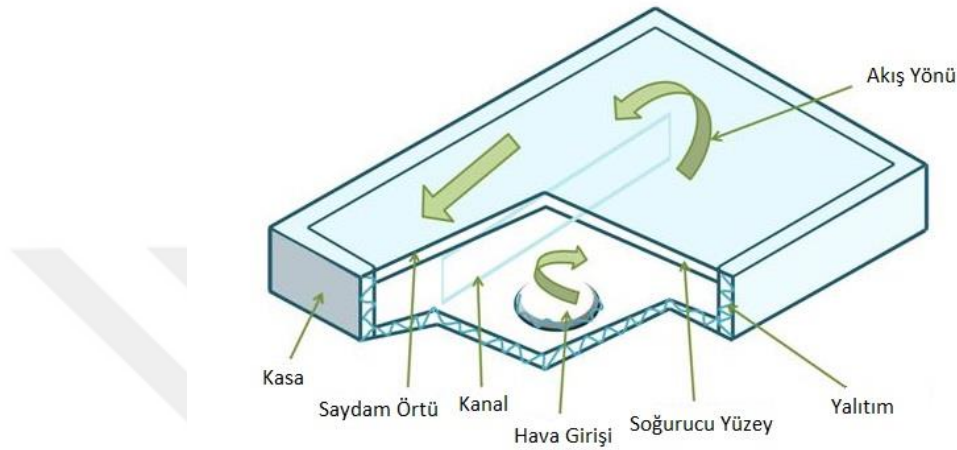


Şekil 2. Sıvı Akışkanlı Kolektör Parçaları

1.2.1.1.2. Hava Akışkanlı Kolektörler

Hava akışkanlı güneş kolektörleri sıvı akışkanlı güneş kolektörleriyle aynı prensipte çalışırlar. Tek fark, güneşten elde edilen ısı enerjisinin sıvı akışkana değil de hava akışkana aktarılmasıdır. Buna bağlı olarak da panel içerisinde uzuv değişiklikleri vardır. Sıvı akışkanlı panellerdeki dolaşım boruları burada yerini hava dolaşım kanallarına bırakır. Hava akışkanlı panellerde sıcak su elde etmek için kullanılabilir ama çoğunlukla uçak hangarları, kargo depoları, hastane ve alışveriş merkezi gibi mekânların iklimlendirmesi, sera ısıtması, meyve-sebze gibi tarımsal ürünler ile tekstil mamullerini kurutma gibi alanlar için tercih edilirler. Bunun en önemli sebebi de düşük termal verimleridir. Kolektör verimini artırmak için; soğurucu yüzeyi artırma, kolektör uzunluğunu değiştirmeden hava debisini artırma, soğurucu yüzey geometrisinin tasarımını değiştirme, yüzeye kanatçıklar ekleme, saydam örtüyü çift cam gibi hava boşluklu camlardan üretme, izolasyon malzemelerini iyileştirme, havanın düşük ısı kapasitesini artırmaya yönelik fiziki ya da kimyevi değişimler yapılabilir [23]. Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin diğer bir dezavantajı da duyulabilir gürültü yaratmalarıdır. Hava debisi azaltıldığında gürültü azalacaktır, bununla birlikte verim de azalacaktır. Öte yandan akışkanın donması gibi bir riski yoktur. Korozyon riski de yok denecek kadar

azdır. Sıvı akışkanlı kolektörlerin aksine ufak çaplı kaçaklar tolere edilebilir. Parça sayısı az olduğu için maliyetleri düşüktür, hafif de oldukları için çatıya binen yük azdır. Yapısal iyileştirmeler yapıldıktan sonra verimleri daha da yükseltilebilmektedir. Hava akışkanlı kolektöre ait parçalar Şekil 3’te yer almaktadır [26].

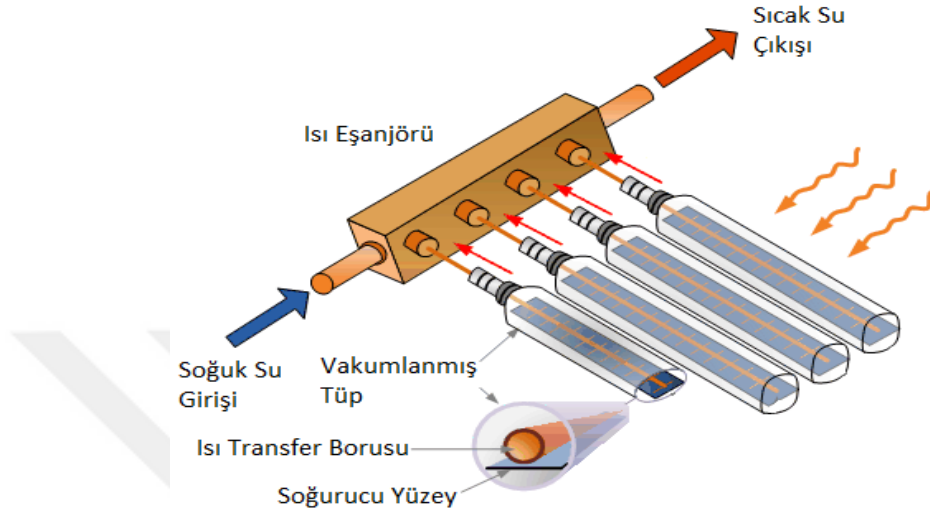


Şekil 3. Hava Akışkanlı Kolektör Parçaları

1.2.1.2. Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri

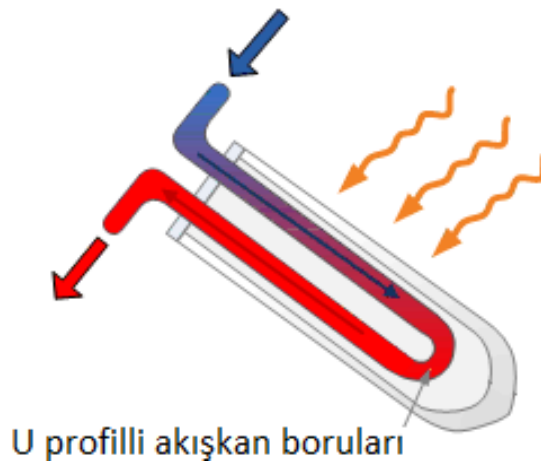
Hemen hemen dört mevsim verimle kullanılabilen vakum tüplü kolektörler, yapı itibariyle iç içe geçmiş ve aralarındaki boşluk vakumlanmış iki tüpten meydana gelirler. Dıştaki tüp genellikle saydam ya da kaplamalı borosilikat camdan, içteki tüp ise siyah renge boyanmış ya da özel bir kimyasalla kaplanmış bakır borulardan meydana gelir. Daha gelişmiş uygulamalarda iç tüpün altına ısı emilimini artıran plakalarda eklenir. İki tüp arasındaki vakumlu alan ısı muhafazasını artırır. Bu da termal verimi artırır. Dairesel yapısı sayesinde güneş ışınlarını çoğunlukla dik alabilirler. Düzlemsel güneş kolektörlerine göre en büyük artıları da budur. Bakır boruların içerisinde su ya da ısı iletkenliği yüksek bir akışkan kullanılır. Güneş enerjisini absorbe eden akışkan, enerjisini tüpün üst kısmındaki eşanjörden kullanım suyuna aktararak devir daim yapar. İlk kurulum maliyetleri düzlemsel kolektörlere göre yüksek olan bu kolektörlerin işletme maliyetleri ise düşüktür. Kırılan ya da vakumu bozulan tüpler yenileriyle değiştirilebilir. Vakumun bozulup bozulmadığının tespiti de dış tüpün alt ucuna yapılan baryum kaplama ile kolaylıkla anlaşılabilir. Vakum bozulduğunda gümüş rengindeki kaplama beyaz renge dönmektedir. Tüplerin faydalı ömürleri ortalama 15 senedir. Yapıları ve geometrileri

itibariyle sıcaklık ve rüzgâr dayanımları yüksektir. İhtiyaca binaen tüp sayısı artırılarak rahatlıkla kapasite artışı sağlanabilir [27]. Vakum tüplü kolektörlere ait bileşenler Şekil 4’te gösterilmektedir [28].



Şekil 4. Vakum Tüplü Güneş Kolektör Parçaları

Literatürde yer alan çeşitli kaynaklarda U borulu vakum tüplü güneş kolektörleri olarak bir alt başlıkta atılmaktadır. Ama çalışma prensibi açısından bir fark olmadığı için böyle bir kategorizasyona lüzum yoktur. U borulu kolektörler de akışkan boruları seri ya da paralel bağlanabilir. Yapılan deneysel çalışmalarda standart vakumlu tüplere göre daha yüksek ısı verimlerine sahip oldukları bildirilmektedir ama bunu destekleyecek düzeyde hem yeterli çalışma yoktur hem de endüstride üretimi yoktur. U profilli vakum tüplü güneş kolektörlerinin yapısı Şekil 5’te yer almaktadır [28].



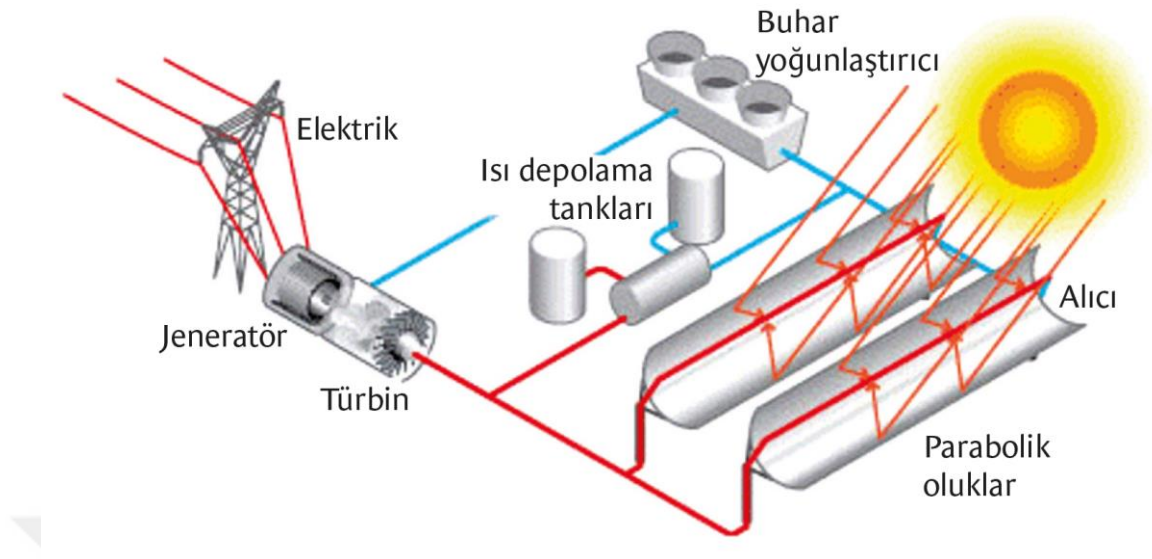
Şekil 5. U Profilli Vakum Tüplü Güneş Kolektörü

1.2.1.3. Yoğunlaştırıcı (Odaklamalı) Güneş Kolektörleri

Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri temelde merceğin odaklama prensibine benzer. Amaç güneş ışınlarını bir hatta ya da noktaya odaklamaktır. Bu sayede birim alanda yoğun bir ışık şiddeti, dolayısıyla sıcaklık elde edilmektedir. Kolektör yapısı iki parçadan oluşmaktadır. Bunlar, optik yansıtıcı sistem ve toplayıcı ya da alıcı şeklinde tabir edilen sistemdir. Odaklamalı güneş kolektörlerinin en önemli artısı daha büyük yüzeyden toplanan güneş ışınımını daha küçük bir yüzeyde soğurarak çok yüksek sıcaklıklar elde edebilmeleridir. Odaklamalı kolektörler de en mühim amaç yoğunlaştırma oranıdır. Yoğunlaştırma oranı arttığı oranda kolektörden beklenen verim de artacaktır. Yoğunlaştırma oranı ise açıklık alanının toplayıcı yüzey alanına oranlanmasıyla bulunur. Şayet bu tip kolektörlerin güneş ışınımını takip edebilecek bir otomasyon sistemi yoksa da en büyük dezavantaj gölgelenme olacaktır. Yoğunlaştırıcı tip güneş kolektörleri üzerine silindirik, içbükey, dışbükey, parçalı, sürekli gibi birçok model üretilmiş, araştırmalar yapılmıştır. Doğrusal ve noktasal hatlı toplayıcılar projenin uygulanacağı bölgeye, teknik şartlara ve bütçeye göre belirlenmektedir.

1.2.1.3.1. Doğrusal Hat Odaklı Kolektörler

Parabolik oluk kolektörler olarak da bilinen bu kolektörler güneş ışınlarını yoğunlaştırarak doğrusal bir hatta verir. Hat boyunca ısı eşanjörü görevi gören siyah renkli absorban olukta ısı, akışkana geçer. Yüksek sıcaklıklardaki akışkan, sıvı formdan buhar formuna geçerek faz değişimi esasıyla buhar türbinine aktarılır ve elektrik üretilmesini sağlar. Türbinden çıkan akışkan buhar yoğunlaştırıcılarına, oradan da tekrar kolektörlere aktarılır. Çalışma sıcaklıkları 400-500 santigrat derecelerdir. Doğrusal hat odaklı kolektörler genellikle güneşe bakacak ve güneşin doğudan batıya hareketini takip edecek şekilde konumlandırılırlar [29]. Bireysel uygulamaları olsa da günümüzde çoğunlukla ticari maksatla kurulumları yapılmaktadır. Kurulum maliyetleri diğer yoğunlaştırıcı sistemlere kıyasla yüksek değildir, işletme maliyetleri ise nispeten düşüktür. Halihazırda kurulu en büyük sistem, Kaliforniya'da bulunmaktadır ve 354 mega watt gücündedir [30]. İşletmedeki sistemler arasında fotovoltaik güneş santrallerinden sonraki en büyük hacme sahip kolektörlerdir. Doğrusal hat odaklı kolektörlerin çalışma prensibi ve parçaları Şekil 6'da sunulmuştur [30].

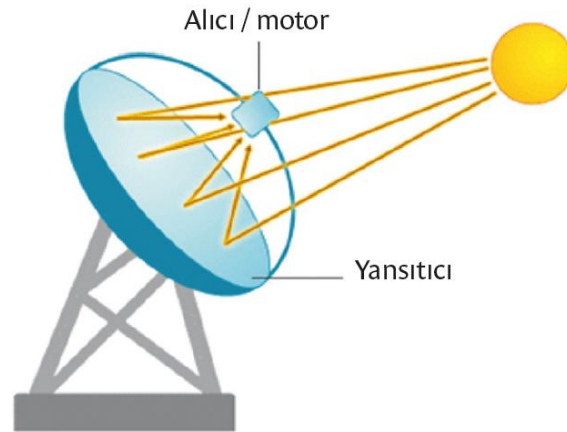


Şekil 6. Doğrusal Hat Odaklı Kolektörlerin Parçaları

1.2.1.3.2. Noktasal Odaklı Kolektörler

Çanak kolektörler olarak da bilinen bu kolektörlerde de parabolik tek parça ya da birden fazla, açılı konumlandırılmış düzlemsel yansıtıcı yüzey, güneş ışınlarını çanak üzerindeki merkezi alıcıya yoğunlaştırır. Merkezi alıcı topladığı enerjiyi iletim borularıyla elektrik üretim ünitesine aktarır. Bu ünite tipik bir gaz türbini olacağı gibi bir stirling motoru da olabilir. Sistemin gece gündüz çalışması için akışkan devir daiminde bir de depolama ünitesi bulunur. Bu depo vasıtasıyla ısı hem depolanır hem besleme yapılır. Konvansiyonel sistemlerde termal akışkan olarak su ve buhar kullanılır. Modern sistemlerde ise ısı depolama katsayısı yüksek ergimiş tuz gibi alternatif akışkanlar kullanılmaktadır.

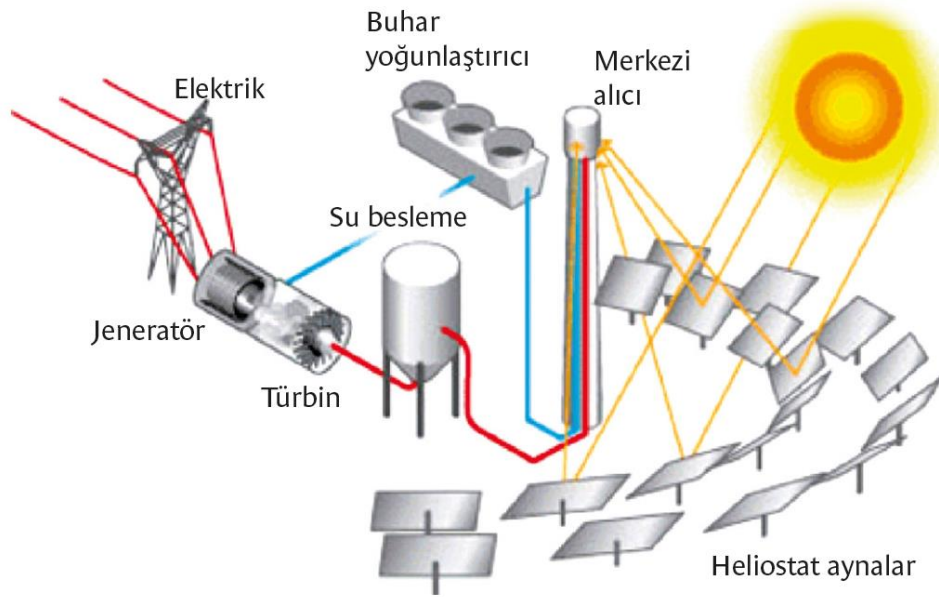
Sistem verimi yüzde otuzları çok fazla aşmamaktadır. Noktasal odaklı kolektörlerin kurulum maliyeti doğrusal hatlı olanlara göre daha yüksektir. Bu sistemler genellikle elektrik üretmek yerine sıcak akışkan elde etmek için tercih edilmektedir. Nihai bir çıktı almak için değil bir sistemi desteklemek için kullanılmaktadırlar. Noktasal odaklamalı kolektörlerin çalışma prensibi Şekil 7’de verilmiştir [30].



Şekil 7. Noktasal Odaklamalı Güneş Kolektörü

Çok yaygın olmamakla birlikte bugün endüstride uydu radar istasyonları, gözetleme kuleleri, endüstriyel buhar tesisleri, maden ocakları, petrol tesisleri gibi işletmelerde destekleyici araç olarak tercih edilmektedirler. Kırsal bölgelerde müstakil kullanımlara çok uygundur ama sistemin insan gücü kontrolü şarttır. Fotovoltaik panellerdeki gibi kurulum yapıldıktan sonra aktif edilen otonom işletme ya da merkezi kontrol sistemlerinin bu kolektörlere de uyarlanması tercih edilebilir hale getirecektir.

Yine noktasal odaklı güneş kolektörlerinden sayılan merkezi alıcılı odaklı kolektörler de prensipte diğer yoğunlaştırıcı tip kolektörlerle aynı çalışır. Sistemin en önemli bileşenlerinden heliostatlar, yansıtıcı yüzeyleri güneş ışınlarının geliş açısına göre konumlandırılarak, ışınların merkezi alıcı olarak ifade ettiğimiz kuledeki ısı eşanjöründe toplanmasını sağlarlar. Kuledeki boru demetinden enerji türbine gönderilir yahut doğrudan kuledeki stirling motoru vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanır [31]. Merkezi alıcılı kolektörlerde akışkan olarak su, hava, sıvılaştırılmış tuz, endüstriyel yağlar gibi birçok malzeme kullanılabilir. Kızgın buharın oluşturacağı basınca göre tasarlanan bu gibi sistemlerde sıcaklık 800 santigrat derecelere ulaşmaktadır. Elektrik üretiminde kızgın buhar kullanılan uygulamalarda çalışma prensibi rankin çevrimine göreler. Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi tesislerinin büyük bir kısmı bugün hâlâ ABD toprakları içerisinde Kaliforniya eyaletinde yer almaktadır. Merkezi alıcılı odaklı güneş kolektörleri çalışma prensibi Şekil 8’de şematik olarak gösterilmiştir [30].



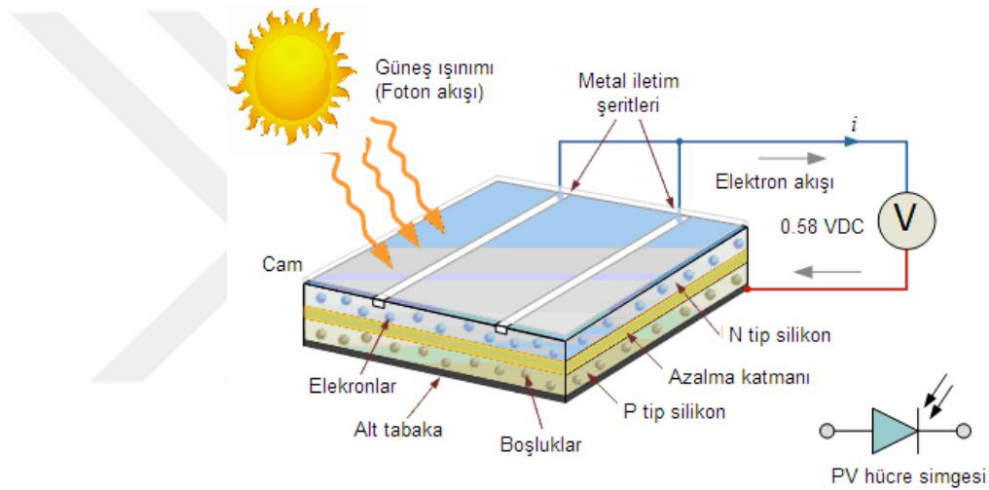
Şekil 8. Merkezi Alıcılı Odaklı Güneş Kolektörü

Noktasal odaklı kolektörler her ne kadar eskimiş gibi görünse de potansiyeli yüksek sistemlerdir. Günümüzde fotovoltaik kolektörlerden elektrik üretiminin başı çektiğini biliyoruz lakin üretim maliyetlerinin yüksek, faydalı ömürlerinin alternatif sistemlere oranla yetersiz olması ve hammadde rezervlerinin Çin gibi totaliter ülkelerde yoğun bulunması sürdürülebilirliğini tartışmaya açık hale getirmiştir. Bunun yerine geleneksel, akışkan bazlı bu kolektörler hemen her yerde kolaylıkla üretilebilmektedir. İşletme maliyetlerinin, süreç içerisinde çıkan farklı arızalar sebebiyle yüksek olması en büyük handikabıdır ama fotovoltaik panellere nazaran çok daha eski olan tarihinin getirdiği bir know-how vardır. Bilinen sorunları giderildiği, sistemde yapısal iyileştirmeler yapıldığı takdirde tekrar yaygınlaşmaları alternatif enerjinin geleceği için kesinlikle daha iyi olacaktır. Son yıllarda özellikle bu tip kolektörlerin termal verimlerini artırmak, maliyetlerini düşürmek amacıyla araştırmalar tekrar yoğunlaşmaya başlamıştır.

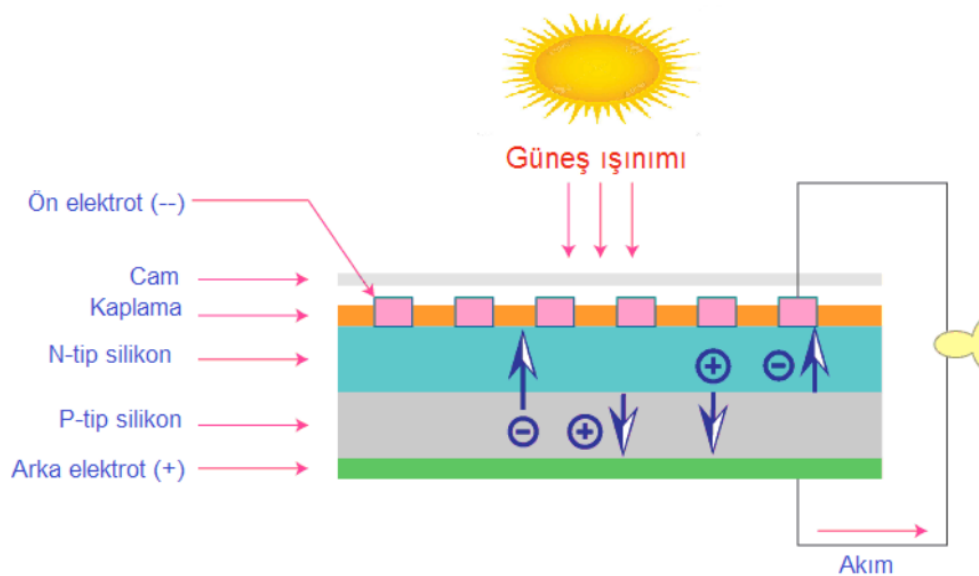
1.2.2. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik panellerin çalışma prensibi fotovoltaik etki diye tabir ettiğimiz fiziki bir prensibe dayanır. Fotovoltaik etki dediğimiz kavram ise elektromanyetik ışınımın elektriğe dönüştürülmesidir. Bir fotovoltaik panel, çok sayıda güneş hücresinden meydana gelir. Güneş hücresi ise p ve n tipi iki yarıiletken oluşur. Fotovoltaik

panellerin ama hammaddesi silikon yarı iletkenidir. Silikonla fosfor elementinin birleşiminden n tipi yarıiletkeni elde ederken, silikonla bor birleşiminden p tipi yarı iletkeni elde ederiz. Yarıiletken oluşumunda Arsenit, Kadmiyum Tellurid, Galyum ya da Bakır İndiyum Diselenid gibi elementlerde kullanılır. Bu iki tip yarıiletkenin birleşim alanında bir akım yoğunluğu meydana gelir. Güneş ışınlarındaki elektromanyetik dalgalar bu hücreye ulaştığında, yarıiletken atomlarının son yörüngesindeki elektronların serbest kalarak bir yarı iletkenen diğer yarı iletkene hareket ederek akım oluşturmasını sağlar. Bu vesileyle de hücreden elektrik elde edilir, çalışma prensibi ve hücre yapısı Şekil 9-10'da yer almaktadır [32].



Şekil 9. Fotovoltaik Hücrenin Çalışma Prensibi



Şekil 10. Fotovoltaik Hücre Yapısı

Fotovoltaik paneller hücre yapısına göre monokristal ve polikristal olarak ikiye ayrılır. Farklı bir teknolojiyle üretilen, verimi oldukça düşük olan ince film panelleri de üçüncü bir seçenek olarak gören görüş de vardır. Ancak çoğunlukla fotovoltaik panel denilince iki tip düşünülür. Çalışma prensibine göre ikiye ayrımı da vardır literatürde. Bu şekilde de on grid ve off grid olarak adlandırılır. On grid sistemler şebekeye bağlı sistemlerdir. Panelin ürettiği elektrik yerel elektrik dağıtım şebekesine doğrudan verilir. Off grid sistemler ise şebekeden bağımsız kapalı sistemlerdir. Panelin ürettiği enerji doğrudan bataryalara aktarılır ve kullanılır.

1.2.2.1. Monokristal Paneller

Monokristal panellerin en belirgin özelliği yüksek saflıkta silikondan, tek bir sürekli kristal yapısına sahip üretilmeleridir. Özü diye tabir edebileceğim silikon kristalinin, ergimiş silikon içerisine yerleştirilmesi prensibine dayalı Czochralski yöntemiyle üretilirler. Devam eden süreçte kalıptan çıkarılan külçe kristal özü adeta bir gofret gibi tekrar silikonla bezenir [33]. Fotovoltaik paneller arasından en eski tarihe ve en çok kullanım geçmişine sahiptirler. Polikristal panellerden bir miktar daha maliyetlidirler. Laboratuvar ortamında yapılan ölçümlerde panel verimleri %24'lere kadar ulaşmaktadır. Polikristal panellerden en kolay ayırdı rengiyle olur. Monokristal paneller siyah ya da bu tona yakın koyu renkli soğurucu tabakayla kaplanırlar. Ortalama panel ömürleri 25 senedir.

1.2.2.2. Polikristal Paneller

Polikristal paneller, monokristal paneller aksine çok daha yeni bir teknolojiye sahiptir. Monokristal hücre üretiminde kullanılan Czochralski yönteminin kalıptan çıkarma evresine kadar benzer bir üretim sürecini geçirir ama daha basit ve farklıdır. Polikristal hücre üretiminde ise bu evreden sonra silikon kristal kendi haline donmaya bırakılır. Bu serbest soğuma işlemi sonucunda da kristal özünün kendine has bir kenar, tane geometrisi olur. Monokristal hücredeki gibi birbirinin aynısı yapılar olmaz. Bu tip panellerin görsel olarak ayırdı da çok kolaydır. Monokristal panellerdeki siyaha yakın koyu tonun aksine polikristal panellerde parlak, açık renkli bir mavi soğurucu yüzey görürüz. Polikristal hücrenin üretim safhasının daha basit olması maliyetini de düşürdüğü için verimi daha düşük bile olsa kullanımları yaygındır. Monokristal paneller daha ziyade elektrik üretimi için inşa edilen santrallerde kullanılırken, polikristal paneller son tüketicinin konutlarda,

bağ, bahçe gibi hobi alanlarında tercihi olmuştur. Hulâsa, fiyatlarının monokristal panellere nispeten düşük olması, ayrıca son yıllarda veriminin yükseltilmesine dönük çalışmalarında artması panel geleceği açısından umut vericidir.

Güneş kolektörleri ve fotovoltaik panellerin literatürdeki verilere göre sistem verimi ve kurulum maliyetlerine göre mukayesesi Tablo 1’de yer verilmiştir. [34].

Tablo 1. Kolektör Çeşitleri Ortalama Performans ve Maliyetleri

Kolektör Çeşidi	Sistem Verimi (%)		Maksimum Çıkış Sıcaklığı (°C)	İlk Yatırım Maliyeti (Birim Enerji)
	Elektrik	Isıl		
Düzlemsel	-	35-75	80	Çok Düşük
Vakum Tüplü	-	70-90	240	Düşük
Doğrusal Hat Odaklı	14	46	500	Orta
Noktasal Odaklı	24	79	800	Çok Yüksek
Merkezi Alıcılı	15	46	800	Yüksek
Monokristal Fotovoltaik	22	-	-	Orta
Polikristal Fotovoltaik	16	-	-	Orta

1.3. Faz Değiştiren Malzemeler

Maddenin tüm fiziksel niteliklerinin her noktasında homojen olduğu alanı ya da evreyi faz olarak tanımlarız. Maddenin katı, sıvı, gaz ve plazma olmak üzere dört fazı vardır. Faz değişimlerinde madde, dışardan enerji alır ya da dışarıya enerji verir. Maddenin katıdan plazmaya geçtiği süreçte sistem entalpisi yükselir. Bu termodinamiğin temel prensiplerindedir. FDM’leri ise kısaca, dışardan ısı enerjisi olarak fiziksel hal değiştiren ve ısı depolama kapasitesiyle bu enerjiyi gizli ısı olarak depolayabilen malzemeler olarak tanımlarız. FDM’ler ergime sıcaklığına gelene değin enerjiyi absorbe ederler. Ergime sıcaklığına ulaşıldığında depoladığı enerji vasıtasıyla faz değişimi gerçekleşir ve değişim süresince sıcaklık sabitlenir. FDM’ler günümüzde yapı sektöründe hacim iklimlendirmelerinde izolasyon malzemesi olarak, gıda sektöründe hazır gıdaların ambalajlanmasında, bilişim sektöründe aktif soğutma sistemlerinde ve kompozit

çözümlerde matris malzemesi olarak, tekstil sektöründe akıllı giyim mamulleri kapsamında kapsüllenmiş formda, medikal, kimyevi gibi birçok endüstriyel sistemde kullanılmaktadır. FDM'lerin termal enerji depolamada tercih edilmesinde ısı iletkenlik katsayılarının yüksek olması, faz değişiminde hacimsel değişimlerinin düşük olması, kararlı faz değişim davranışı göstermeleri, ekonomik olmaları, kimyasal ömrünün uzun olması, tedarikinin kolay olması, parlayıcı, yanıcı, zehirleyici gibi tehlikeli vasıflara haiz olmaması gibi özelliklere bakılır.

1.3.1. Organik FDM'ler

Organik FDM'ler iki gruba ayrılırlar. Bunlar parafinler ve parafin olmayanlardır. Parafinler renksiz, kokusuz, yanıcı, zehirli olmayan, tepkimelerden etkilenmeyen, suda çözünmeyen, lineer zincir yapıda alkan serisi hidrokarbonlardan oluşan malzemelerdir. Isıl iletkenlikleri ve faz değişiminde hacim değişiklikleri düşük, ısı depolama kapasiteleri yeterli ve ısı kararlılıkları yüksektir. Parafinler yaygın ve geleneksel yapı malzemelerinin çoğuyla uyumlu çalışabilirler. Çalışma sıcaklık aralığının geniş olması da birçok farklı prosese entegre edilebilmesi imkânı sağlar. Ekonomiktirler ve endüstride çoğunlukla kapsüllenerek kullanılırlar. Parafinlerin standart kimyasal formülü C_nH_{2n+2} şeklindedir ve günümüzde çoğunlukla petrolün rafine edilmesi süreciyle elde edilirler [35]. Piyasa da yaygın kullanılan parafinlerin molekül ağırlıkları (750-950) kg/m^3 aralığında değişmektedir. Parafin olmayan organik FDM'ler ise parafinlerin aksine yanıcı değildir ve donma-ergime kararlılıkları daha iyidir. Yine parafinde olduğu gibi ısı iletkenlikleri düşüktür. Parafin olmayan organikler gizli ısı depolamada parafine göre daha uygundur ama parafine göre daha pahalıdır. Yağ asitleri, esterler, alkoller, glikoller gibi malzemeler parafin olmayan organik FDM'ler sınıfına girer. Parafinler ile aralarındaki en bariz özellik farkı ise faz değişimindeki kararlılıklarıdır [36].

1.3.2. Ötektik FDM'ler

Ötektik FDM'ler genellikle karışım halinde, birden fazla düşük ergime noktasına sahip bileşenden meydana gelmiş vaziyette bulunurlar. Faz dönüşümlerinde ayırım yoktur. Eş zamanlı erime, donma gösterirler. Isıl depolama kapasiteleri birim hacimde yüksektir ama bu malzemelerle ilgili araştırma ve çalışmalar az olduğu için termofiziksel özellikleri gibi birçok teknik konuda bilgi yeterli değildir. Organik- organik, organik-inorganik ve

inorganik-inorganik olmak üzere üç grupta tasnif edilirler [36]. Kimi kaynaklarda ötektik FDM'ler de organik FDM'ler kapsamında değerlendirilmektedir.

1.3.3. İnorganik FDM'ler

Tuzlar, tuz hidratları, alaşımlar inorganik FDM'ler sınıfına girer ama literatürde en çok tuz hidratları kullanılır. Yoğun olmaları hasebiyle ısı yük taşıma kapasiteleri de yüksektir. Odaklayıcı güneş kolektörleri gibi işletmelerde sıvılaştırılmış tuz hidratlarının akışkan olarak tercih edilmesi bu sebeptir. Lakin korozyona mahal vermeleri en büyük dezavantajlarıdır. Ekonomik olma, hızlı tedarik edilebilme, yüksek ısı performans, yanmama, parlamama, toksik olmama gibi birçok özellik anlamında parafinden üstündür. Yine diğer yandan, uzun süre kullanımlarında bozunma ihtimalleri yüksektir. Malzemenin ıslah edilmesi ya da yenilenmesi gerekir. Organik ve inorganik FDM'lerle ilgili literatür verilerine göre özellik karşılaştırmasına Tablo 2'de yer verilmiştir.

Tablo 2. Organik ve İnorganik FDM'lerin Karşılaştırılması

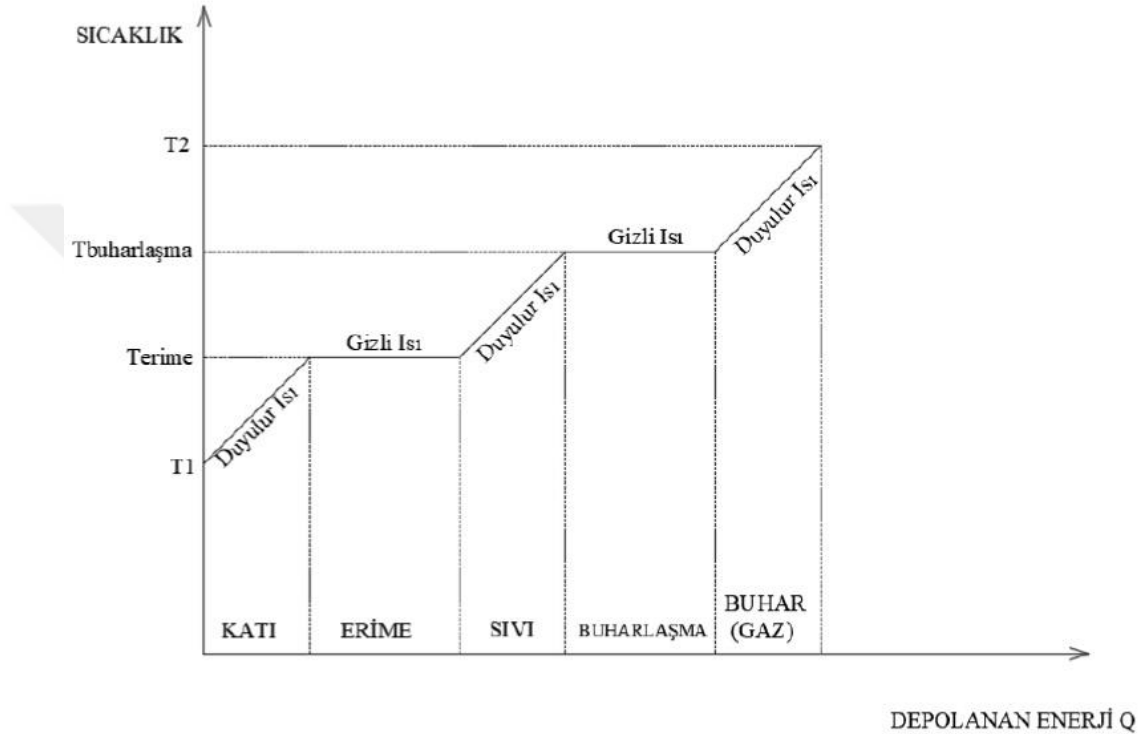
	Organik FDM'ler	İnorganik FDM'ler
Avantajları	Korozyon yapmaz	Toksik değildir
	Faz dönüşümleri kararlı	Yanıcı ya da parlayıcı değildir
	Aşırı soğuma az görülür	Daha ekonomiktir
	Tepkimeye girmez	Isı iletim verimi yüksek
Dezavantajları	Yanıcıdır	Korozyon yapar
	Isı iletim verimi düşük	Faz dönüşümleri kararsız
		Aşırı soğuma çok meydana gelir

1.4. Güneş Enerjisi Depolama Metotları

Günümüzde güneş enerjisi birçok farklı varyasyonda depolanabilmektedir. Bunlar; ısı enerji depolama, kimyasal enerji depolama, mekanik enerji depolama ve elektrik enerjisi olarak depolamadır. Güneş enerjisinin depolanması üretimdeki arz-talep değişkenliğinin fazla olması, kaynakların verimli kullanılabilmesi, enerji üretim sisteminin dengeli ve güvenli sürdürülebilmesi için elzemdir.

1.4.1. Isıl Enerji Depolama

Isıl enerjiyi depolayabilmek için enerjinin türünü değiştirmemize gerek yoktur. Isıl enerji, doğrudan maddenin atomlarının kinetik ve potansiyel enerji depolama kapasitesine tekabül eder. Maddede ısı enerji duyulur ve gizli olmak üzere iki şekilde depolanabilir. Sıcaklık değişimine bağlı maddenin gizli ve duyulur ısı değişimi Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Sıcaklık Değişimine Bağlı Gizli Isı-Duyulur Isı Grafiği

Isıl enerji depolama kaybın en az olduğu enerji depolama türüdür. Diğer tüm depolama yöntemlerinde enerji biçim değiştirirken ısı enerji depolamada böyle bir durum söz konusu değildir. Enerjinin biçim değiştirmesi esnasında yaşanan kayıplar da doğal olarak ısı enerji depolama da yoktur. Isıl enerjiyi bugün en çok hacim ısıtması için kullanıyoruz. Enerjiyi ısı olarak depolamanın gelecekte uygulanması planlanan uzay yaşam üsleri için büyük önemi vardır.

1.4.1.1. Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısının gizli ısıdan en büyük farkı ısı enerji depolanması için faz değişimine gerek olmamasıdır. Malzemenin katı ya da sıvı hangi faz olduğu önemli değildir. Malzemenin sıcaklığının artması esnasında enerji depolamasına duyulur ısı depolama denir. Özgül ısı

değişiminin farkında faydalanılır. Duyulur ısı depolamada, enerjinin depolanacağı hacmin ısı kapasitesi, depolama malzemesinin miktarı, depolanacak enerji kapasitesini etkileyen bağıl değişkenlerdir. Kaya, çakıl taşı, beton, kum, metaller, alaşımlar, tuzlar, mineral yağlar, su vb. birçok malzeme duyulur ısı depolamada kullanılabilir. Aralarında en yaygın olanı maliyeti, ısı depolama kapasitesi ve fonksiyonel kullanımı sebebiyle sudur. Yaygın kullanılan bazı depolama malzemelerinin özellikleri Tablo 3'te yer almaktadır [14].

Tablo 3. Yaygın Kullanılan Bazı Depolama Malzemelerinin Özellikleri

Malzeme	Yoğunluk	Isı İletim Katsayısı	Özgül Isı	Isı Kapasitesi
Su	996	0.615	4178	4.16
Beton	1600	0.790	840	1.34
Saf Demir	7870	80.200	447	3.52
Çakıl Taşı	2050	1.730	1840	3.77
Alüminyum	2702	237.000	903	2.44

1.4.1.2. Gizli Isı Depolama

Malzemelerin faz değiştirecek kadar yeterli enerjiyi aldıktan sonra sabit sıcaklıkta ısı depolamalarına gizli ısı depolama denir. Malzemeye verilen enerji alındığında tekrar faz değiştirerek eski haline döner. Bir malzemenin gizli ısı depolama anlamında en verimli faz dönüşümü katı-sıvı dönüşümüdür. Malzemenin atomik düzensizliği arttıkça ısı depolama kabiliyeti de artmaktadır. Yani katı-sıvı faz dönüşümünde elde edilecek ısı depolama kapasitesi ile sıvı-buhar dönüşümünde elde edilecek ısı depolama kapasitesi aynı olmayacaktır. Malzemenin buhar formunda depolamak istediğimiz enerji için basınç dayanımı gibi çok daha maliyetli işlemler yapmak gerekecektir. Hacimsel artışı baz alarak değerlendirdiğimizde en iyi verim katı-sıvı dönüşümlerinde elde edilir. Gizli ısı depolama ile duyulur ısı depolamayı kıyasladığımızda, gizli ısı depolamanın ısıl veriminin daha yüksek olduğunu görürüz. Bu birim hacimde duyulur ısı depolamanın daha düşük depolama kabiliyetine sahip olmasındandır. Gizli ısı depolamada en yüksek verimi elde etmek için seçilecek faz değiştiren malzemedeki özellikleri önemle aramak gereklidir. Bunlar [37]:

- Özgül ısı yüksek olmalıdır.
- Yoğunluk yüksek olmalıdır.
- Faz değişim sıcaklığı kararlı olmalıdır.
- Faz değişimlerinde kimyasal niteliklerini kaybetmemelidir.
- Isıl iletkenliği yüksek olmalıdır.
- Depolanacağı kabın malzemesinde korozyon oluşturmamalı, herhangi bir şekilde tepkimeye girmemelidir.
- Yanıcı, parlayıcı, toksik olmamalıdır.
- Ergime noktası mümkün mertebe düşük olmalıdır.
- Faz değişimlerinde hacimsel artışı düşük olmalıdır.
- Dönüşümlerinde faz ayrışması olmamalıdır.
- Tedariği kolay ve maliyeti düşük olmalıdır.

Günümüzde gizli ısı depolamada yaygın olarak tuz hidratları ve parafinler kullanılmaktadır. Her iki grup malzemenin de avantajları ve dezavantajları vardır. Sistemde tercih edilecek malzemeyi, sistemin faydalı ömrü, maliyeti, verimi, işletme ortamı ve sıcaklıkları, depolama ortamı ve sirkülasyon süreci, bakım şekli ve periyotları gibi şartlara bakarak tercih etmek gerekmektedir. Son zamanlarda üzerinde yapılan araştırmaların ve iyileştirmelerin artmasıyla parafinler gizli ısı depolama da daha çok tercih edilmeye başlamıştır.

1.4.2. Kimyasal Enerji Depolama

Kimyasal enerji depolamayı en basit şekliyle günlük hayatta sıkça kullandığımız piller ve akümülatörler gibi batarya çözümleri üzerinden anlayabiliriz. Tepkimeye girmeleri halinde atomik düzeyde sahip oldukları kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren pil, akü gibi malzemeler kimyasal enerji depolamaya örnektir. Tipik bir pilde ya da aküde pozitif ve negatif olmak üzere iki kutup bulunur. Örneğin sülfirik asit çözeltisi havuzu

içerisinde pozitif kutupta kurşun dioksit kullanılırken negatif kutupta kurşun kullanılır. Kutuplar arasındaki iyon geçişiyle, yani kimyasal tepkimeyle elektrik akımı elde edilir. Kimyasal enerji depolama tarihi çok eski kaynaklarda dahi geçse de modern anlamda 1800'lü yılların ortalarından itibaren gelişmeye başlamıştır. Günümüzde primer (tek kullanımlık) ve sekonder (şarj edilebilir) olarak iki gruba ayrılan bataryaların kurşun-asit, nikel-kadmiyum, sodyum-sülfür, lityum-iyon gibi çeşitleri vardır [38].

1.4.3. Mekanik Enerji Depolama

Mekanik enerji, mekanik bir sistemin bünyesinde ihtiva ettiği potansiyel ve kinetik enerjinin toplamıdır. Kısaca mekanik enerji, tamamen cismin hareketi ve konumu ile ilgilidir. Yay sıkıştırılması ile, sıkıştırılmış hava ile, volanlar ile, pompaj hidroelektrik santraller ile, katı kütle yerçekimi ile, hidrolik akümülatörler ile depolama, mekanik enerji depolamanın çeşitleri arasındadır [39]. Hali hazırda volanlar, pompaj HES'ler ve sıkıştırılmış hava ile depolama yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Volanlar kinetik enerjiyi kütleleri vasıtasıyla bir ekseninde dönerek mekanik enerji formunda depolayabilirler. Volanın dönmesi için ilk enerji verilmelidir. Volan malzemesi çelik ya kompozit malzeme olabilir. Yüksek devirlerde dönerken ki sürtünme kayıplarını azaltmak için rotor alanı vakumlanır ve hareket manyetik alanda gerçekleşir [40]. Çoğunlukla ulaşım, uzay, nükleer gibi alanlarda uygulamaları vardır. Pompaj HES'ler ise genellikle bir bölgedeki GES'lerin ya da RES'lerin yakınına kurulan mekanik enerji depolama üniteleridir. Bilindiği üzere enerji üretimi arz ve talep dengesi anlamında çok hassas davranılması gereken bir alandır. Talepten fazla üretilen enerji gibi, talebe yetişmeyen enerjide sıkıntı oluşturmaktadır. GES ve RES gibi yenilenebilir enerji tesisleri her ne kadar optimum şartlara göre tasarlanırsa da güneşin ya da rüzgârın beklenilenden fazla yahut az olması durumlarında darboğaz oluşmaması için sistemin sürdürülebilirliği kısmına da yatırım yapılmalıdır. Bu noktada da pompaj HES'ler üretilen fazla enerjiyi mekanik olarak depolamak için kullanılmaktadır. Pompaj HES'lerin uygulanabilmesi için coğrafi şartlar esastır. Aralarında yükselti farkı bulunan iki adet su rezervuarının arasına yerleştirilen pompa-türbin düzeneği ile enerji üretiminin fazla olduğu durumlarda pompa ile alt rezervuardaki suyu üst rezervuara basarak suyun potansiyel enerjisi artırılmakta ve elektrik enerjisi mekanik enerji olarak bir miktar kayıpla depolanmaktadır. Enerji üretiminin yetersiz olması durumunda da üst rezervuardan su bırakılarak türbin vasıtasıyla suyun potansiyel enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve tekrar sisteme

kazandırılmaktadır. Pompaj HES'ler ilk yatırımı pahalı tesislerdir. Böyle bir sisteme yatırım yaparken en fazla verimi göz önünde bulundurarak rezervuar doğal kapasitelerinin yüksek olmasına, yükselti farkının yeterli olmasına dikkat edilmelidir. Sıkıştırılmış hava ile mekanik enerji depolanmasında ise yine pompaj HES'ler de olduğu gibi enerji üretim tesislerinde arz-talep dengesinin bozulması durumunda enerjiyi depolamak için su yerine hava kullanılmaktadır. Sistemde enerji fazlalığı olduğunda bu enerji ile bir kompresör yardımıyla hava, depolarda sıkıştırılmakta ve basıncı ile sıcaklığı artırılmış vaziyette saklanmaktadır. Aksi durumda da basınçlı ve sıcak hava bir türbinden geçirilerek elektrik üretilmekte ve talep açığı karşılanmaktadır. Pompaj HES'ler gibi sıkıştırılmış hava tesislerinin de yatırım maliyeti yüksektir.

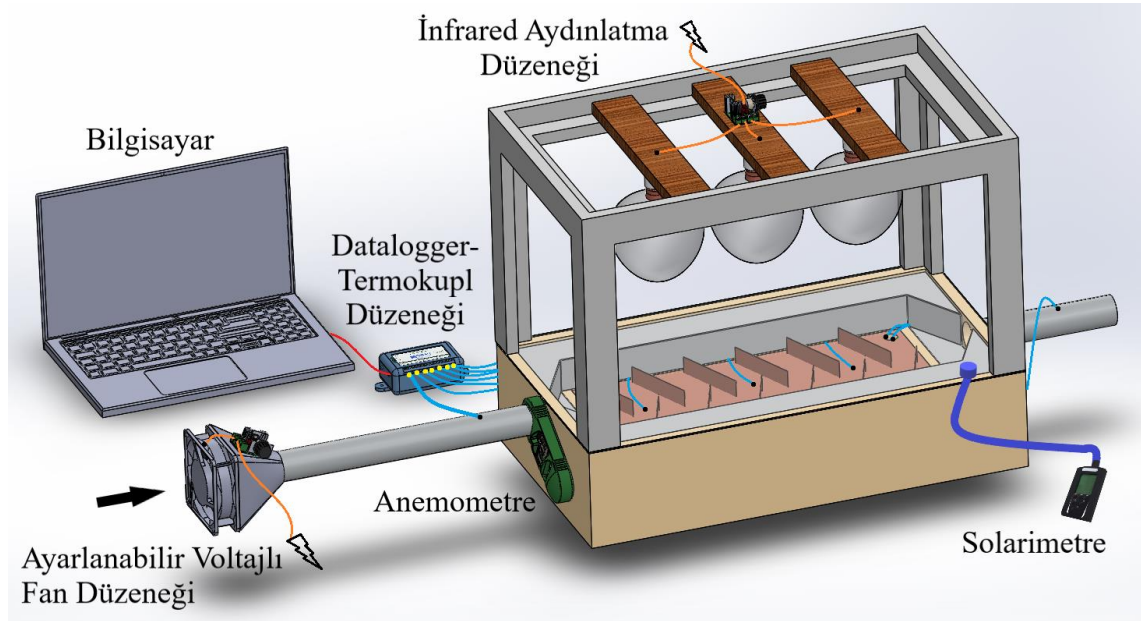
1.4.4. Elektrik Enerjisi Depolama

Güneş enerjisinin elektrik enerjisi olarak depolanması indüktörlerin içerisindeki manyetik alanlarda ya da kapasitörlerin içerisindeki elektriksel alanda depolanması şeklindedir. Bir çeşit silindir düzeneğin etrafına sarılan bakır, alüminyum gibi iletken malzemenin üzerinden akım geçtiğinde manyetik alan meydana gelir. Elektrik enerjisi de bu manyetik alan içerisinde muhafaza edilebilir. Hakeza kapasitör ya da diğer adıyla kondansatörler de bir çeşit pil mantığıyla enerji depolarlar. Kondansatör içerisindeki plakaların arasında yer alan yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısına bağlı olarak enerji, meydana gelen elektrik alanda depolanabilir. Literatürde manyetik enerji depolama olarak da geçmektedir. Her iki sistemde düşük kapasiteli ve geçici süreli depolamalarda kullanılmaktadır.

2. BÖLÜM

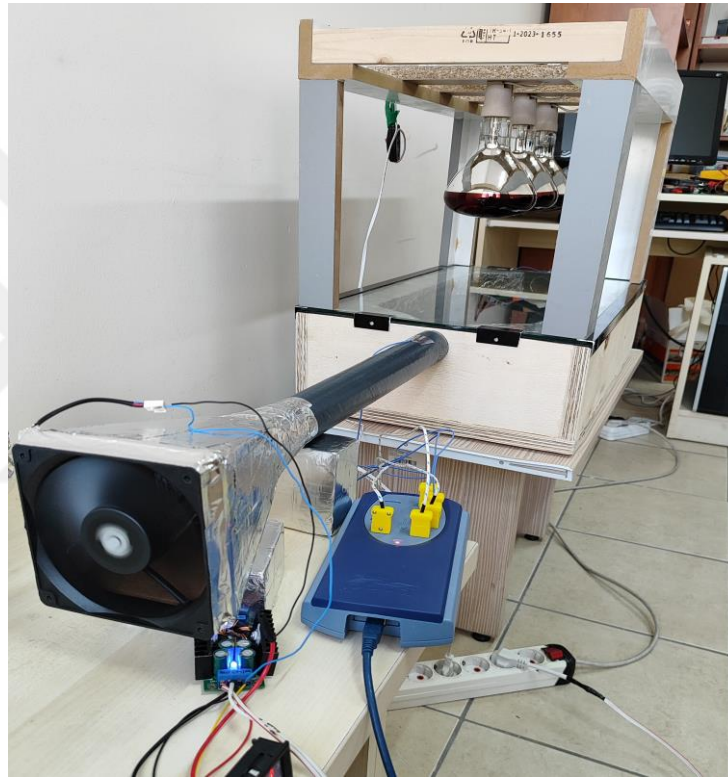
MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmamda güneş enerjisini FDM kullanarak depolamak amacıyla yeni bir tip hava akışkanlı güneş kollektörü tasarlanmıştır. Güneş enerjisini simüle eden kızılötesi lambalardan gelen ışınım şiddetini absorbe etmek için 0.5 mm kalınlığında bakır levha kullanılmış ve yüzey alanının arttırmak amacıyla yüzeyin altına ve üstüne akış doğrultusuna $22,5^\circ$ açıyla konumlandırılmış kanatçıklar eklenmiştir. Yutucu yüzey için 500 mm uzunluğa ve 220 mm genişliğe sahip düz bakır levha kullanılmış ve yüzeyin yutuculuğunu arttırmak için mat siyah renge boyanmıştır. Yüzeyin altında FDM deposu oluşturulmuştur. FDM deposunun yan yüzeyleri ve alt tarafından ısı kayıplarını önlemek amacıyla 50 mm kalınlığında yaygın kullanılan poliüretan yalıtkan malzeme kullanılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. CAD/CAM programında tasarlanmış deney düzeneği şematik görünümü

Güneş kolektörünün kasesi için 18 mm kalınlığında çam kontrplak kullanılmış ve kasa yüzeyi 2 mm kalınlığında standart düz cam ile kapatılarak sızdırmaz hale getirilmiştir. Akışkanın sisteme giriş kanalının çapı 40 mm, uzunluğunu ise 400 mm, çıkış kanalı uzunluğu 200 mm olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Şekil 12’de sunulan deney sisteminin resmi Şekil 13’te verilmiştir. Deney düzeneği dört ana üiteden oluşmaktadır, bunlar; ısı depolama ünitesi, ısı kaynağı ve kontrol birimi, veri analiz ünitesi, akış ünitesidir.



Şekil 13. Deney Düzeneği

2.1. Materyal

2.1.1. Isıl Enerji Depolama Ünitesi

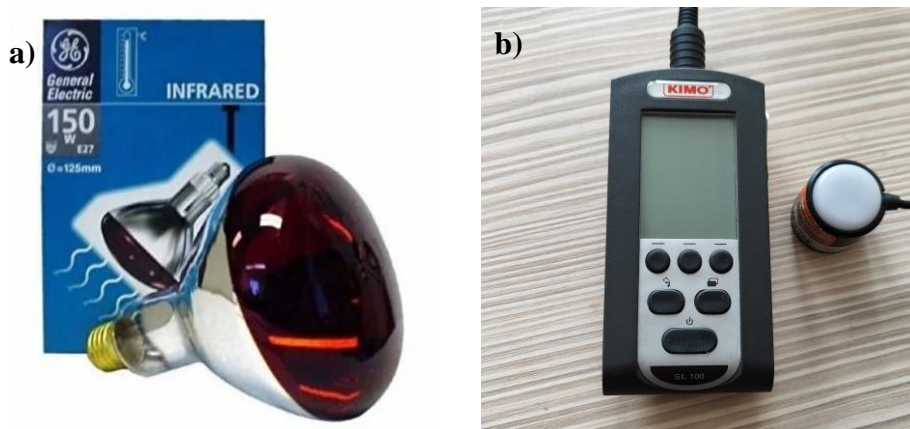
Parafin depolama ünitesinin ebatları 20 mm genişliğe, 480 mm uzunluğa ve 25 mm yüksekliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Deponun toplam hacmi $0,0024 \text{ m}^3$ 'tür. Deneyde kullanılan bakır yutucu yüzeyin uzunluğu 500 mm, genişliği 220 mm ve kalınlığı ise 0.5 mm'dir. Yutucu yüzeyin toplam yüzey alanı $0,11 \text{ m}^2$ 'dir. Bakır yutucu yüzey ve kanatçıklarının ağırlığı 0,78 kg ve depolanan parafinin ağırlığı ise 2 kilogramdır. Yutucu yüzey ve ısı deposu Şekil 14'te sunulmuştur.



Şekil 14. Kanatçıklı Bakır Yutucu Yüzey

2.1.2. Işınım Kaynağı ve Kontrol Birimi

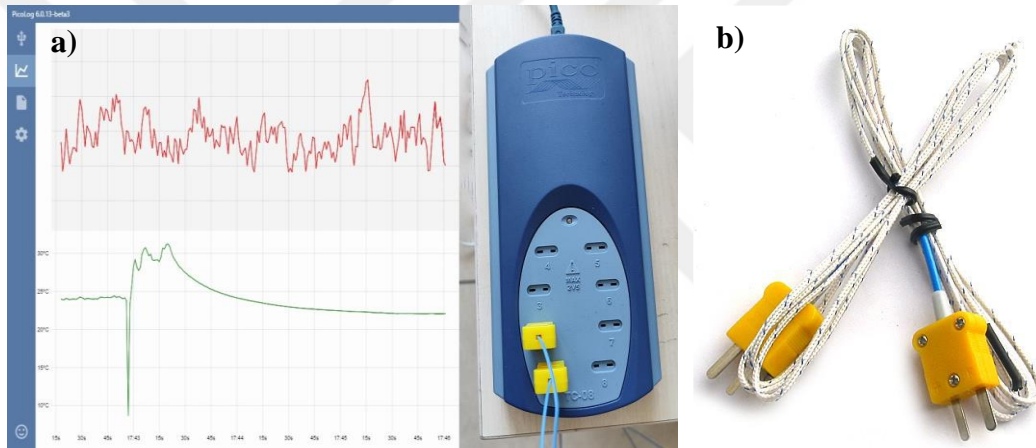
Güneş enerjisini laboratuvar ortamında deneysel olarak inceleyebilmek için üç adet General Electric 91372 marka 150 W 240 V kızılötesi lamba kullanılmıştır. Lambaların yaydığı ışınım şiddetini ölçmek amacıyla Kimo SL100 marka solarimetre kullanılmıştır. Solarimetre, maksimum 1300 W/m^2 ölçüm kapasitesine ve 1 W/m^2 hassasiyete sahiptir. Ayrıca lambaların gücünü ayarlayabilmek için üniteye bir potansiyometre yerleştirilmiş bu sayede ışınım şiddeti istenilen değerlere ayarlanabilmektedir. Deneyselerde kullanılan kızılötesi lamba ve solarimetreye ait resimler Şekil 15’te verilmiştir.



Şekil 15. a) GE 150 W Kızılötesi lamba, b) Kimo SL 100 Solarimetre

2.1.3. Veri Analiz Ünitesi

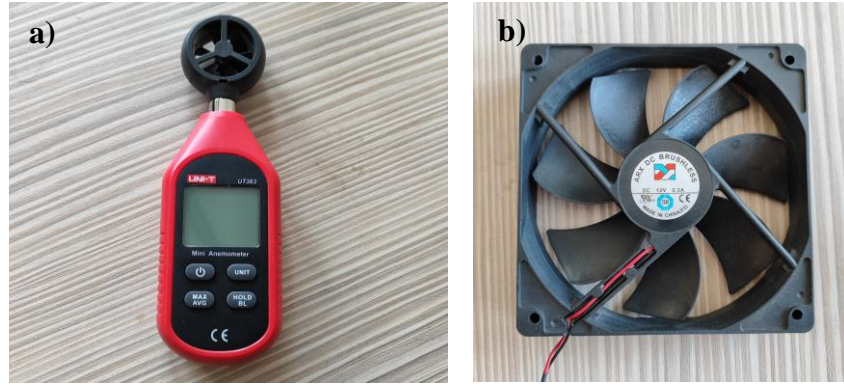
Hava akışkanlı güneş kolektörü hava giriş kısmında, havanın çıkış kısmında, parafin deposunun alt yüzeye en yakın kısmında, parafin deposunun emici yüzeye en yakın kısmında ve emici yüzeyin üzerinde üç farklı yerde konumlandırılan toplam yedi adet 0,5 mm kalınlığında Nikelkrom-Nikel (NiCr-Ni) alaşımli K tipi termokupllar ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Termokuplların ölçüm hassasiyeti 0,01 °C ve ölçüm aralığı (-200 ÷ 1200) °C dir. Emici yüzey üzerine yerleştirilen termokupllardan elden edilen sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Veriler Pico TC-08 marka datalogger ve bilgisayarda kurulu olan Picolog yazılımı üzerinden bir dakika arayla kaydedilmiştir. Pico TC-08 datalogger ve K tipi termokupllara ait görseller Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. a) Picolog Yazılımı ve Pico TC-08 Datalogger, b) K Tipi Termokupl

2.1.4. Havanın Basınçlandırılması ve Akış Hızı Ölçer

Havanın basınçlandırılması için 3.6 W gücünde 12 V 0.3 A'lık bir fan kullanılmıştır. Hava debisini ayarlayabilmek için de kullanılan fan üzerine potansiyometre entegre edilmiştir. Akışın girişine ve çıkışına sıcaklıkları ölçmek amacıyla birer termokupl yerleştirilmiştir. Hava debisini ölçmek için ise Uni-t UT363 marka anemometre kullanılmıştır. Anemometre 0,1 m/s ölçüm çözünürlüğünde ve 0 m/s ile 30 m/s arasında ölçüm yapabilmektedir. Anemometre ve fırçasız fana ait görünümler Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. a) Uni-t UT363 Anemometre b) 3.6 W Fırçasız Fan

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, hava akışkanlı, yutucu yüzey üzerinde dikdörtgen şekilli kanatçık yapısına sahip güneş kolektöründe faz değiştiren malzeme olarak parafin kullanılmasının kolektörün ısı depoma performansına olan etkisi laboratuvar koşullarında deneysel olarak incelenmiştir. Çeşitli araştırmacıların geçmişte yaptığı çalışmalarda parafinin düşük ısı iletkenliği net olarak saptanmış ve buna çözüm aranmıştır. Bu çalışmada da termal iletkenliği iyileştirmek adına yutucu yüzeyin üstünden başlayıp, tek parça halinde depolama alanının tabanına kadar uzanan kanatçıklar eklenmiştir. Kanatçıkların her biri yüzeyin altında ve üstünde olarak şekilde 25 mm x 110 mm ebatlarındadır. Çalışma akışkanı olarak kullanılan havanın daha fazla yüzeye temas etmesi amacıyla akış doğrultusuna 22,5° açı ile konumlandırılmışlardır. Ayrıca akışı darboğaza sokmadan kontrollü bir şekilde devam ettirebilmek için her iki taraftaki kanatçıkların bitim noktalarında, yanlardan 50 mm'lik boşluk bırakılmıştır. Yutucu yüzey mat siyaha boyanarak termal emiciliği artırılmıştır. Sistemdeki ısı kayıplarını azaltıp, verimi artırmak için parafin deposu yalıtılmıştır.

Deneysel olarak güneş enerjisini değişiminin ısı depolamaya etkisini incelemek için 800 W/m^2 ve 1000 W/m^2 olmak üzere iki farklı ışınım şiddeti kullanılmıştır. Işınım şiddetlerini ayarlayabilmek için solarimetre yüzeye sabitlenip aktif edildikten sonra kızılötesi lambalar potansiyometre aracılığıyla kontrollü olarak açılmış istenilen değere gelindiğinde potansiyometre sabitlenmiştir. Işınım şiddeti ayarlamasında olduğu gibi akışkan debisi için de iki farklı hız belirlenmiştir. Bu hızları elde etmek içinde ışınım şiddetinde olduğu gibi anemometre aktif edildikten sonra fan, potansiyometre aracılığıyla

kontrollü olarak açılmış 0,002 k/s ve 0,003 kg/s debiler elde edilmiştir. Son olarak parafin haznesi boş ve dolu olarak iki parametrede deneyde değerlendirilmiştir. Deney düzeneğinde ısı performansını değerlendirmek üzere depolanan enerji miktarı dikkate alınmıştır. Deneylerden kullanılan parafine ait özellikler ile bakır levhanın özellikleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Deneyde Kullanılan Parafine ve Bakıra Ait Özellikler

	Parafin	Bakır
Yoğunluk (kg/m ³)	850	8954
Isıl İletkenlik Katsayısı	0,2	400
Özgül Isı (kJ/kgK)	2	0,383
Renk	Kırık Beyaz	-
pH	Nötr	-
Erime Derecesi (°C)	52-68	-
Yanma Derecesi (°C)	> 200	-
Ergime Gizli Isı Değeri*	142	-

*Literatürden alınmıştır [41].

2.2.1. Depolanan Enerji Miktarı

Deneyde kullanılan parafinin ergime derecesi (52-68) °C aralığında olmakla birlikte ergime sıcaklığı, aralığın aritmetik ortalaması 60 °C kabul edilerek yapılmıştır. Bu sıcaklıkta parafinin tamamen ergidiği de ayrıca gözlemlenmiştir. Güneş ışınımını temsilen kullanılan kızılötesi lambaların kolektöre sağladığı enerjiyi tespit etmek amacıyla parafinin depolayacağı duyulur ve gizli ısıya, ayrıca bakır yutucu yüzeyin depolayacağı duyulur ısıya bakmak gereklidir [41]. Buna göre toplam depolanan enerji aşağıdaki gibi olacaktır. Burada yutucu yüzeyin son sıcaklığı T_s ve ilk sıcaklığı T_i , Eş. 3’de ki gibi yutucu yüzey üzerine yerleştirilen T_3, T_4, T_5 termokupllarından okunan sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamasıyla hesaplanmıştır. Benzer şekilde, parafin deposunun son sıcaklığı T_{ps} ve ilk sıcaklığı T_{pi} , parafin deposuna yerleştirilen T_6, T_7 termokupllarından okunan sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Kolektörde depolanan toplam enerji miktarı Eş. 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{toplam} = E_{yutucu\ yüzey} + E_{parafin} \quad (1)$$

Yutucu yüzeyde sadece kızılötesi lambadan gelen ışınım şiddeti duyulur ısı olarak depolanmakta ve yüzeyin başlangıç-bitiş sıcaklıklarının farkı kullanılarak Eş. 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{yutucu\ yüzey} = m_{yy} \cdot c_{p_{yy}} \cdot (T_s - T_i) \quad (2)$$

$$T_s; T_i = \frac{T_3 + T_4 + T_5}{3} \quad (3)$$

Parafinde depolanan enerji ise sıcaklık farkı ile hem duyulur hem de faz değişimi nedeniyle gizli ısı olarak gerçekleşmektedir. Parafinde depolan toplam enerji miktarı ise Eş. 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Parafinde depolanan duyulur ısı miktarı için Eş. 5 ve gizli ısı miktarı için Eş. 7 kullanılmıştır. Eş. 5’de yer alan parafinin son sıcaklığı T_{ps} ve ilk sıcaklığı T_{pi} ‘nin eldesinde Eş. 6 kullanılmıştır.

$$E_{parafin} = E_{p_{duyulur}} + E_{p_{gizli}} \quad (4)$$

$$E_{p_{duyulur}} = m_p \cdot c_{p_p} \cdot (T_{ps} - T_{pi}) \quad (5)$$

$$T_{ps}; T_{pi} = \frac{T_6 + T_7}{2} \quad (6)$$

$$E_{p_{gizli}} = m_p \cdot \sigma_m \cdot \Delta h_m \quad (7)$$

Burada m_p , haznedeki parafinin kilogram biriminden kütesidir. $c_{p_{yy}}$, parafinin özgül ısı değeridir. σ_m , eriyen parafin oranıdır ve parafin tamamen eriyeceği için 1 kabul edilerek işlem yapılmıştır. Δh_m ise, kJ/kg cinsinden parafin erime gizli ısı değeridir.

2.2.3. Deney Düzenindeki Cihazlar İçin Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalar da cihazlar ya da insan kaynaklı her nevi kayıp-hata oluşabilmektedir. Sonuçların doğruluğuna etkiyen bu kayıp ve hataların deney sonuçlarına etkime oranı da belirlenmelidir. Tüm bu ve benzeri sonuçlar göz önünde bulundurularak, deneyde kullanılan ölçüm cihazları için Kline ve McClintock’un tasarladığı belirsizlik analizi yönteminden faydalanılarak belirsizlik değerleri hesaplanmıştır [42].

Bir ölçüm sonucuna etki eden n sayıdaki $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ adet bağımsız değişkene bağlı ölçülen R boyutundaki bir büyüklük Eş. 8’de ki gibi ifade edilebilir.

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (8)$$

Her bir bağımsız değişkene ait belirsizlik değerleri $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ olarak ifade edildiğinde R büyüklüğünün toplam bağıl belirsizliği $\%w_R$,

$$\frac{w_R}{R} = \left[\left(\frac{w_{x_1}}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_2}}{x_2} \right)^2 + \left(\frac{w_{x_3}}{x_3} \right)^2 + \dots + \left(\frac{w_{x_n}}{x_n} \right)^2 \right] \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eş. 9 kullanılarak deneylerde kullanılan ölçüm cihazları için ölçüm belirsizliği değerleri hesaplanmış ve her bir ölçüm parametresi için elde edilen değerler Tablo 5’te ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 5. Deneye Ait Ölçüm Cihazları İçin Belirsizlik Değerleri

Ölçüm Parametresi	Birim	Ölçüm Belirsizliği
Kolektör giriş sıcaklığı	°C	± 0.15
Kolektör çıkış sıcaklığı	°C	± 0.15
Yutucu yüzey sıcaklığı	°C	± 0.15
Çevre sıcaklığı	°C	± 0.15
Hava akış hızı	m/s	± 0.15
Güneş ışınım miktarı	W/m ²	± 1.30

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu çalışmada üzerinde yutucu yüzey üzerinde kanatçıklar bulunan bir hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı depolama amacıyla faz değiştiren malzeme olarak parafin kullanılmasının faydaları deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler 800 W/m^2 ve 1000 W/m^2 olmak üzere iki farklı ışınım şiddetinde, kolektörün FDM deposu boşken ve parafinle dolu olduğu durum için iki farklı akışkan debisinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları her bir durum için zamana bağlı sıcaklık değişimi, ısı geri kazanım süreleri ve ısı depolama performansları açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlarını analizde kolaylık olması açısından her bir deney durumu ve parametre değişimi numaralandırılarak deney matrisi oluşturulmuş ve Tablo 6’da sunulmuştur. İçerisinde FDM olmayan deneyler D-1 ile D-4 arası numaralandırılırken FDM olan deneyler D-5 ile D-8 arasında numaralandırılmıştır. Elde edilen veriler birbiri ile karşılaştırılarak en iyi deney durumu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 6. Deney Matrisi

Parafin Deposu	Işınım Şiddeti (W/m^2)	Akışkan Debisi (kg/s)	Deney No
Boş	800	0,002	D-1
		0,003	D-2
	1000	0,002	D-3
		0,003	D-4
Dolu	800	0,002	D-5
		0,003	D-6
	1000	0,002	D-7
		0,003	D-8

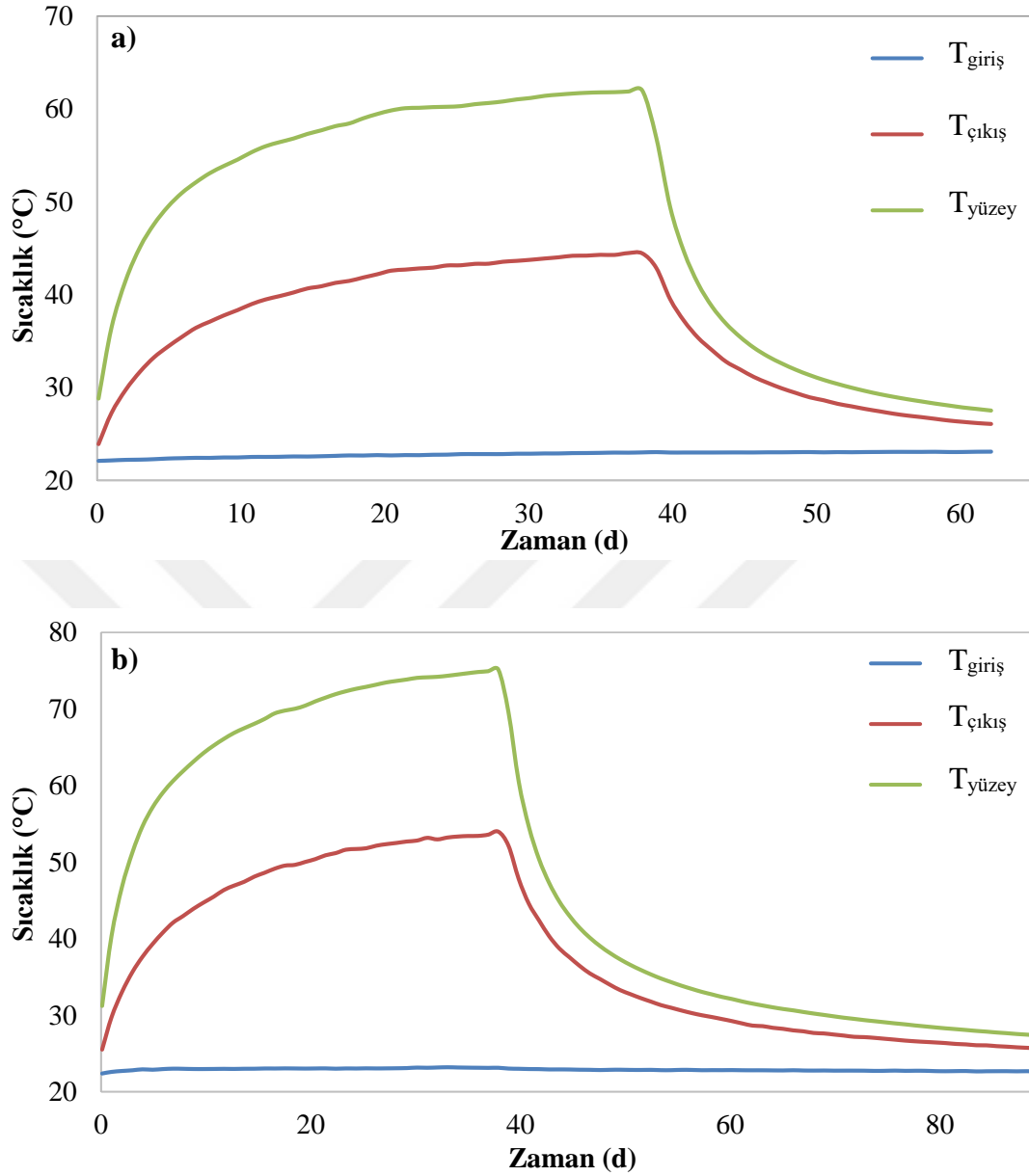
Parafin deposunun boş olduğu durumlar için zamana bağlı sıcaklık değerlendirmeleri yapılırken süre olarak 40 dakikalık bir periyot belirlenmiş ve bu durum için deneyler 40 dakika boyunca kızılötesi lamba açık bırakılarak yüzey sıcaklıklarının parafinin ergime sıcaklığının üzerine çıkması beklenerek ısı depolama süreci yürütülmüştür. Daha sonra ise kızılötesi lambalar kapatılarak ısı geri kazanım sürecine geçilmiş ve kollektörün giriş-çıkış sıcaklık farkı 3 °C değerine geldiğinde deneyler sonlandırılmıştır.

Parafin deposunun dolu olduğu durumlar için ise, deponun alt kısmına yerleştirilmiş olan termokupldan elde edilen sıcaklık değeri parafinin ergime sıcaklığının aritmetik ortalaması olan 60 °C değerine ulaşana kadar kızılötesi lambalar açık bırakılarak ısı depolama süresi, sıcaklık değerli ve depolanan enerji miktarı hesaplanmıştır. Parafin sıcaklığı ergime sıcaklık değerine ulaştığında ise kızılötesi lambalar kapatılmış ve ısı geri kazanım süreci başlatılmıştır. Boş durum için gerçekleştirilen akışkan giriş-çıkış sıcaklık farkı FDM kullanılması durumu içinde gerçekleştirilmiş ve sıcaklık farkı 3 °C değerine ulaştığında deneyler sonlandırılmıştır.

3.1. Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimi

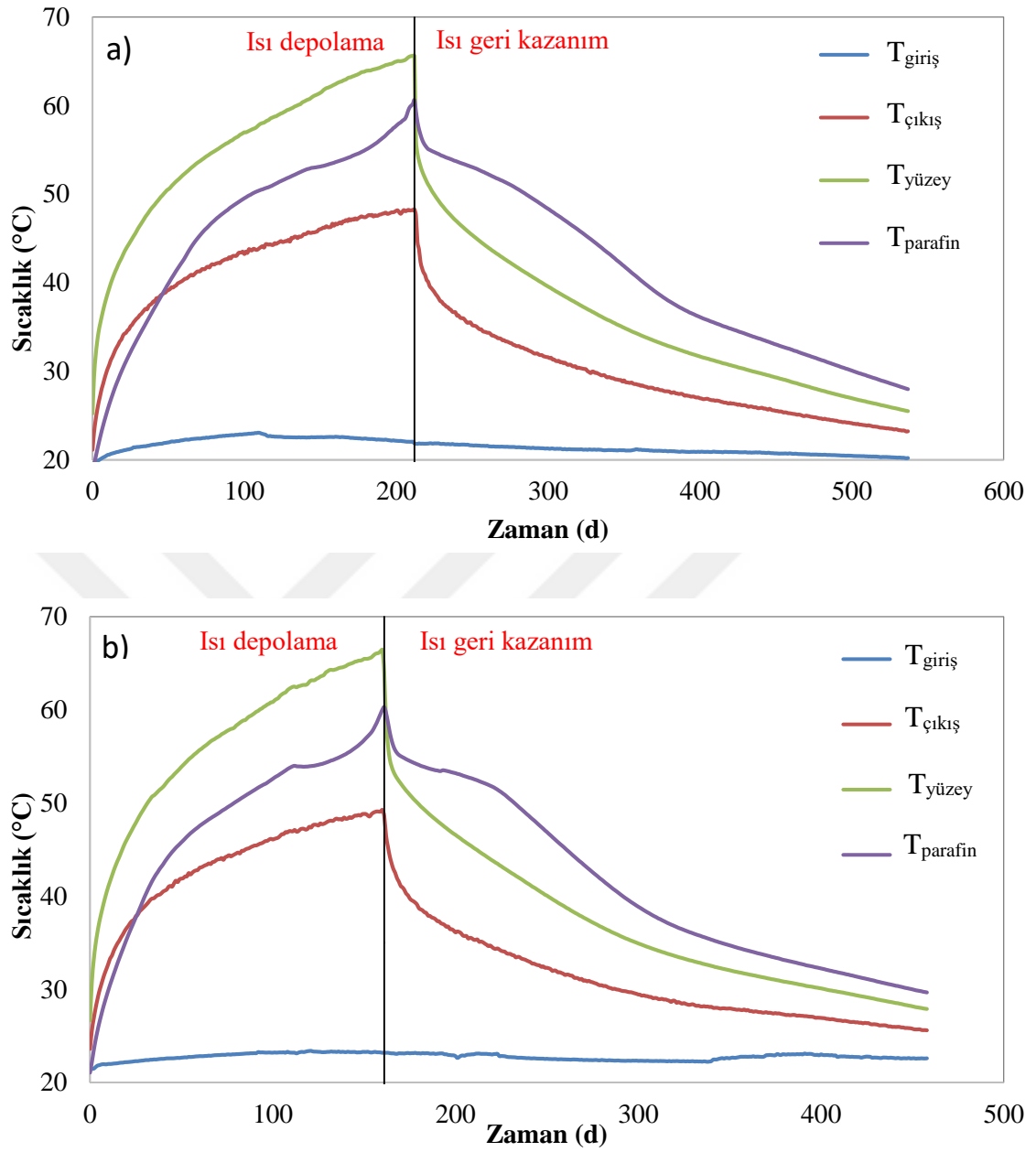
Parafin deposunun boş olduğu D-1, D-2, D-3 ve D-4 için en yüksek yüzey sıcaklığı değeri sırasıyla 68 °C, 62 °C, 75,2 °C ve 69,1 °C olarak bulunmuştur. En yüksek yüzey sıcaklık değeri ışıınım şiddetinin en yüksek olduğu 1000 W/m² değeri ve en düşük akışkan debisi olan 0,002 kg/s için D-3 numaralı deneyden 75,2 °C olarak elde edilmiştir. En düşük yüzey sıcaklık değeri ise 62 °C ile 800 W/m² ışıınım şiddeti ve 0,003 kg/s akışkan debisi için D-2 numaralı deneyden elde edilmiştir. D-2 ve D-3 deneyler için zamana bağlı sıcaklık değişim değerleri Şekil 18’de sunulmuştur.

1000 W/m² ışıınım şiddeti için değerlendirme yapacak olur isek akışkan debisinin 0,002 kg/s’den 0,003 kg/s değerine çıkartılmasıyla yüzey sıcaklık değerinde %8,8 azalma olmuştur. Akışkan hızının artması ile yutucu yüzeyden akan akış miktarı artmış ve yüzey sıcaklığında düşüş meydana gelmiştir. 0,002 kg/s akışkan debisi için değerlendirildiğinde, ışıınım şiddetinin 800 W/m² değerinden 1000 W/m² değerine arttırılması ile yüzey sıcaklık değerinde %10,6 artış meydana gelmiştir. Yüzeye gelen ışıınım şiddetinin artması ile yutucu yüzey sıcaklık değerinde de bariz bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 18. a) D-2 deneyi için, b) D-3 deneyi için zamana bağlı sıcaklık değişimi

Parafin deposunun dolu olduğu D-5, D-6, D-7 ve D-8 için en yüksek yüzey sıcaklığı değeri sırasıyla 65,6 °C, 63,7 °C, 64,0 °C ve 64,6 °C olarak bulunmuştur. Yüzey sıcaklıklarına bakıldığında ortalama olarak yakın değerler aldığı ve ışınım şiddeti ve akışkan debisinin yüzey sıcaklık değerlerini çok etkilemediği görülmektedir. Yutucu yüzeyin altındaki depoda FDM olarak parafin kullanılması ile yüzeydeki ısı parafinin faz değiştirmesi için kullanılmakta ve sıcaklıklar yaklaşık olarak ergime sıcaklığında kalmaktadır. FDM dolu D-5 ve D-7 deneyler için zamana bağlı sıcaklık değişim değerleri Şekil 19’da sunulmuştur.

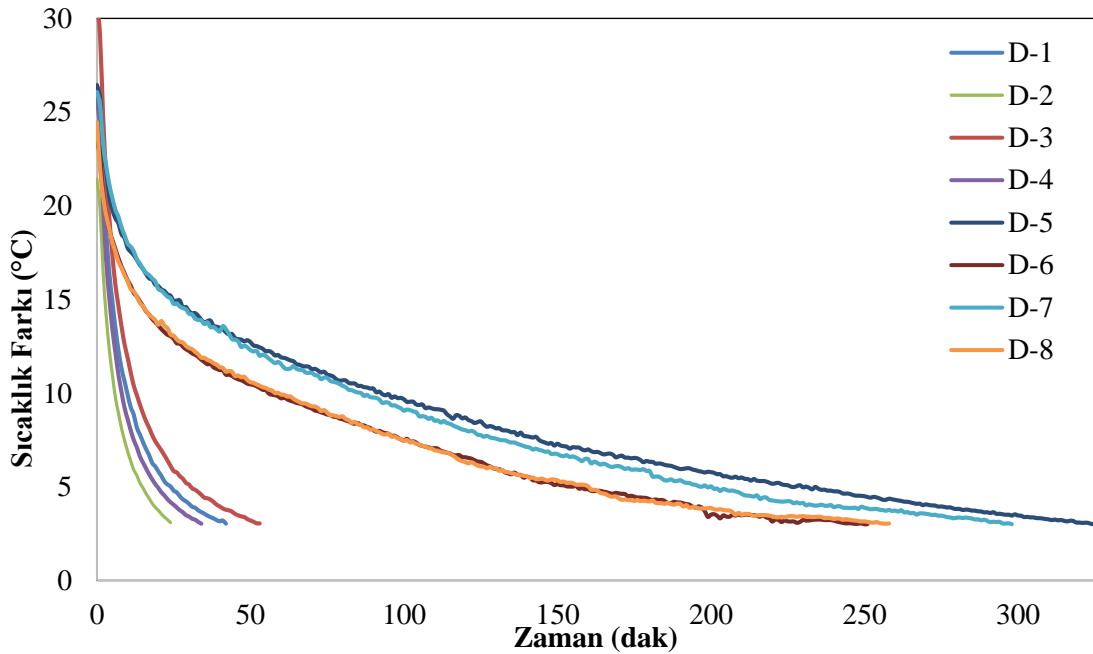


Şekil 19. a) D-5 deneyi için, b) D-7 deneyi için zamana bağlı sıcaklık değişimi

3.2. Isı Geri Kazanım Süreleri

Parafinin ergime sıcaklığına ulaştığı zamandan akışkanın giriş-çıkış sıcaklık değerinin 3 °C değerine geldiği süreye kadar olan ısı geri kazanım sürecinin zamana göre değişimi Şekil 20’de verilmiştir. Şekil 20 incelendiğinde içerisinde FDM olmayan tipler için ısı geri kazanım süreleri sırasıyla 42 d, 24 d, 53 d ve 33 d olarak tespit edilirken FDM olarak parafin kullanılmasıyla aynı durumlar için bu süreler sırasıyla 325 d, 251 d, 298 d ve 258 d olarak bulunmuştur. 1000 W/m² ışınım şiddeti ve 0,002 kg/s akışkan debisi için geri

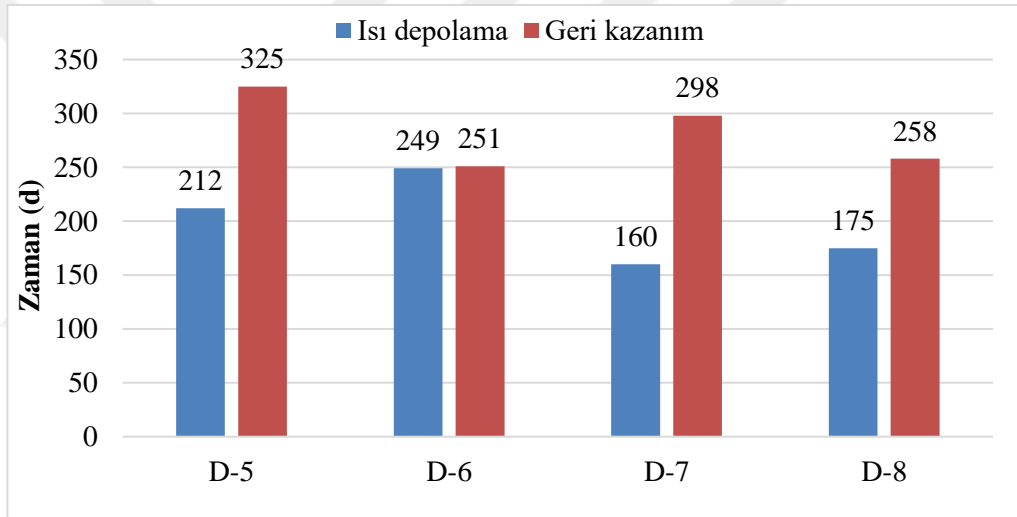
kazanım süreleri incelendiğinde, D-1 için bu sürenin 42 dakika sürdüğü, D-5 için ise 325 dakikada sürdüğü görülmektedir. Depoda FDM kullanılması ile ısı geri kazanım süresinde 7,74 kat artış sağlanmıştır. 800 W/m² ışınlım şiddeti, 0,003 kg/s debi için incelendiğinde ise FDM kullanılması ile geri kazanım süresindeki artışın 10,5 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni ise boş kolektörde sadece yutucu yüzeyde duyulur ısı depolanırken dolu kolektörde duyulur ısı ile FDM ile gizli ısı da depolanmakta bu sayede geri kazanım sürelerinde artış meydana gelmektedir. Bu sayede kolektör güneş enerjisine maruz kalmasa dahi halen daha deposunda bulunan FDM'den enerji sağlamaktadır.



Şekil 20. Tüm Durumlar İçin Deşarj Sıcaklık Farkı Karşılaştırması

Deposunda FDM olan tipler için ısı depolama ve geri kazanım sürelerinin karşılaştırılması Şekil 21'de verilmiştir. Isı depolama süresi bakımından değerlendirildiğinde en kısa süre olarak 160 d ile D-7 (1000 W/m² ve 0,002 kg/s) deneyinden elde edilirken en uzun depolama süresi ise 249 d ile D-6 (800 W/m² ve 0,003 kg/s) deneyinden elde edilmektedir. Bunun sebebi ise, D-7 deneyinde ışınlım şiddeti en yüksek değerinde ve akışkan debisi ise minimum değerinde olduğu için yutucu yüzey daha çabuk ısınmakta ve ısınısını FDM'ye daha hızlı aktarabilmektedir. D-6 deneyinde ise ışınlım şiddetinin düşük olması ile hem yutucu yüzeyin ısınması uzamakta hem de akışkan debisinin yüksek olması ile akışkanın yüzeydeki ısıyı uzaklaştırması fazla olmaktadır.

Geri kazanım süreleri açısından değerlendirildiğinde en uzun sürenin 325 d ile en düşük akışkan debisi olan 0,002 kg/s için gerçekleşirken en kısa sürenin ise 251 d ile 0,003 kg/s akışkan debisinde gerçekleştiği görülmektedir. Aynı akışkan debileri için geri kazanım sürelerine bakıldığında 0,002 kg/s için 800 W/m² ışınlım şiddetinde ortalama 288 d sürerken 1000 W/m² ışınlım şiddeti için ortalama 278 d sürdüğü görülmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere ışınlım şiddetinin geri kazanım süresinde etkisi çok fazla olamamıştır. Her iki ışınlım şiddeti için akışkan debisinin değişimi açısından bakıldığında ise 0,002 kg/s debi için ortalama geri kazanım süresi 312 d iken 0,003 kg/s debi için bu değer 255 d olarak bulunmuştur. Akışkan debisinin artışı ile geri kazanım süresinde %22,4 azalış meydana gelmiştir.

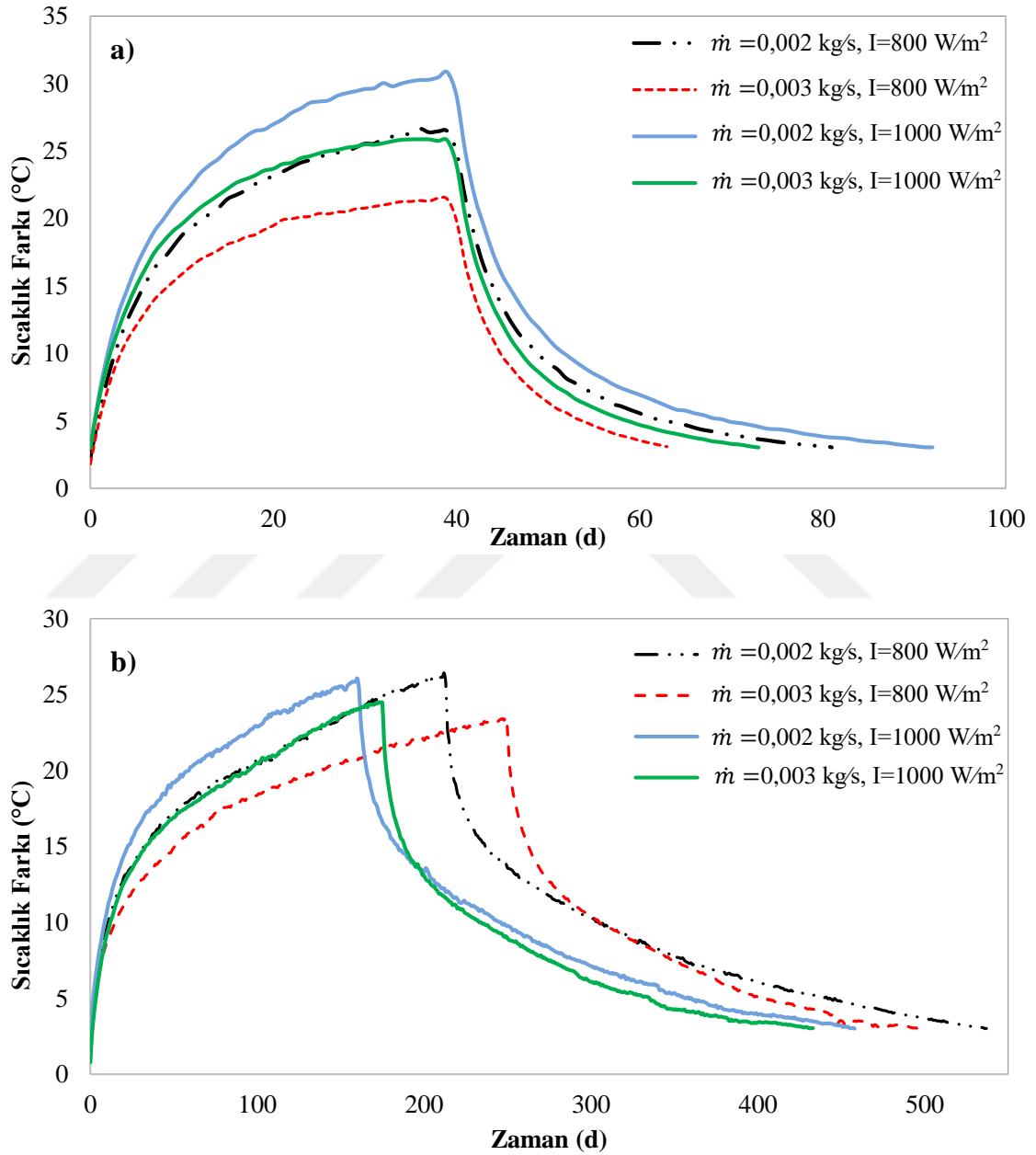


Şekil 21. Parafin Deposunun Dolu Durumları İçin Süre Karşılaştırmaları

3.3. Depolanan Enerji Miktarı

Kollektörlerdeki depolanan duyulur ve gizli ısı miktarını hesaplayabilmek için akışkanın maksimum giriş-çıkış sıcaklık farkı ve parafinin ilk-son sıcaklıkları kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bütün deneyler için zamana bağlı akışkan giriş-çıkış sıcaklık farkını değişimi Şekil 22’de sunulmuştur. En yüksek sıcaklık farkı D-3 deneyi için 30,8 °C olarak elde edilirken en düşük sıcaklık farkı ise 21,4 °C ile D-2 deneyinden elde edilmiştir. FDM olmayan durumlar için maksimum sıcaklık farkının ortalaması 26,1 °C olurken FDM olması durumunda maksimum sıcaklık farkının ortalaması 25,1 °C olmuştur. Sıcaklık farkları incelendiğinde FDM olmayan deneylerde akışkan debisinin 0,002 kg/s’den 0,003 kg/s değerine yükseltilmesiyle %21,6 azaldığı gözlenirken FDM

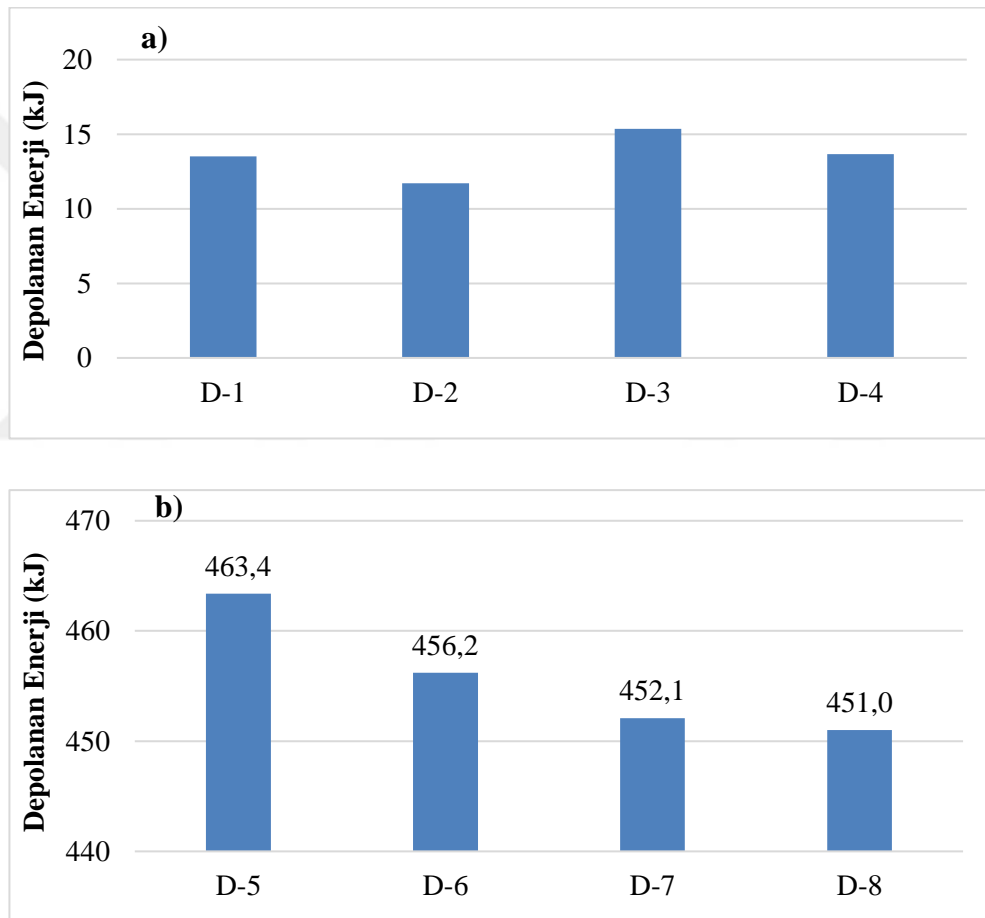
olan deneylerde aynı durum için maksimum sıcaklık farkı %9,17 azalmıştır. Isı deposunda FDM olarak parafin kullanılması ile yutucu yüzey sıcaklığı daha stabil bir değerde tutulduğu için akışkanın maksimum sıcaklık farkları birbirine daha yakın değerler almıştır.



Şekil 22. Akışkan Giriş-Çıkış Sıcaklık Farkı Değişimi a) FDM yok, b) FDM var

Bütün deneyler için Eş. 2, Eş. 4 ve Eş. 7 kullanılarak hesaplanan enerji depolama miktarlarının değişimi Şekil 23'te verilmiştir. Isı deposunda FDM olmayan deneyler için depolanan enerji miktarları 11,7 kJ ile 15,4 kJ arasında değişirken yutucu yüzey altında

FDM kullanılması ile bu değerler 451 kJ ile 463,4 kJ arasında değişmiştir. FDM malzeme kullanılmayan deneylerde enerji sadece yutucu yüzeyde duyulur ısı olarak depolanırken FDM olarak parafin kullanılan deneylerde hem duyulur ısı hem de parafinin faz değiştirmesi ile gizli ısı olarak depolanmıştır. Bu sayede ısı depolama miktarlarında önemli ölçüde artış meydana gelmiştir. En yüksek enerji depolama değeri 463,4 kJ ile 0,002 kg/s akışkan debisi ve 800 W/m² ışınlam şiddetinde D-5 deneyi için elde edilmiştir. Aynı akışkan debisi ve ışınlam şiddeti için kıyaslama yapıldığında depolanan enerji miktarının D-1'e göre yaklaşık 34 kat artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 23. Bütün Deneyler İçin Depolan Enerji Miktarları a) FDM yok, b) FDM var

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada FDM malzeme olarak parafin kullanılarak oluşturulan ısı depolu bir hava akışkanlı güneş kolektörünün sıcaklık değerleri, boş ve dolu halinden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

- Deneysel düzeneği, ışıma şiddetleri sabit kabul edildiğinde debi değişimlerini ve parafin etkisini karşılaştırma, debiler sabit kabul edildiğinde ışıma şiddeti değişimlerini ve parafin etkisini karşılaştırma, parafin etkisi sabit kabul edildiğinde ise debi değişimlerini ve ışıma şiddeti değişimlerini karşılaştırma imkânı sağlamıştır.

- 800 W/m² ışıma şiddeti sabit kabul edildiğinde:

Deponun boş hali olan D-1 ve D-2 durumunda debinin artışı yüzey sıcaklığını 68°C'den 62°C'ye düşürerek yaklaşık %9 kayba sebebiyet vermiştir. Isı kazanım süresini de 42 dakikadan 24 dakikaya düşürerek yine yaklaşık %43 kayba sebebiyet vermiştir.

Aynı ışıma şiddetinde deponun dolu halinde ise, debinin artışı yüzey sıcaklığını 65,6°C'den 63,7°C'ye düşürerek yaklaşık %3 kayba sebebiyet vermiştir. Isı geri kazanım süresinde ise 325 dakikadan 251 dakikaya düşürerek yaklaşık %23 kayba sebebiyet vermiştir. Bu değerler bize debi artışının düşük ışıma şiddetlerinde verim düşürücü etkiye sahip olduğu anlamlı sonucunu göstermektedir. D-1 ve D-5 örneğinde olduğu gibi aynı ışıma şiddetinde ve aynı debide ise sisteme parafin dahil edilmesi, ısı geri kazanım süresini 42 dakikadan 325 dakikaya çıkararak, verimi yaklaşık 7,7 kat artırdığını göstermektedir. Işıma şiddeti 1000 W/m²

değeri sabit kabul edildiğinde ise debi değişimleri geri kazanım sürelerinde benzer sonuçlar verirken, yüzey sıcaklıklarında muhakeme edebilme anlamında yeterli sonuçlar vermemektedir. Bu sonuçta, ışıınım şiddetinin bir değerden sonrası için yüzey sıcaklığında ve ısı veriminde nasıl bir değişiklik verdiğini anlamak için daha yüksek başka bir ışıınım şiddetinde başka bir deney daha yapmadan anlaşılamayacağını göstermektedir.

- 0,002 kg/m² akış debisi sabit kabul edildiğinde:

Deponun boş hali olan D-1 ve D-3 durumunda ışıınım şiddeti artırıldığında yüzey sıcaklığının 68°C'den 75,2°C'ye yükselmesiyle yaklaşık %11 kazanç sağlanmıştır.

Deponun dolu halinde ise Tip-5 ve Tip-7 durumlarında, 65,6°C'den 64°C'ye yükselmesiyle yaklaşık %2,5 kayba sebep olmuştur. Isı geri kazanım sürelerinde de deponun boş hali için verim artışı gözlemlenirken, deponun dolu hali için benzer şekilde kayıp gözlemlenmiştir. Bu verilerde göstermektedir ki, ışıınım şiddetinin artması bir eşikten sonra tek başına negatif etki göstermektedir. Daha anlamlı bir sonuç elde etmek için, daha yüksek farklı bir ışıınım şiddetinde daha deney yapılarak muhakeme edilebilecek değerler bulunacaktır.

- Bu veriler ışığında kolektörde ısı toplama malzemesi olarak parafin kullanılması ile ısı geri kazanım sürelerinde belirgin artış olduğu görülmüştür.
- Güneş kolektörlerinin farklı ışıınım şiddetlerindeki termal davranışları görülmüş ve kıyaslanmıştır.
- Farklı akışkan debilerinin ısı kazanım sürelerine etkisi görülmüş ve kıyaslanmıştır.
- Parafin malzemesinde gizli ısı formunda ısı enerjisi depolanabileceği ve farklı özelliklerdeki parafinlerle sistemin geliştirilebileceği görülmüştür.
- Literatürde yer alan daha önce yapılmış düz kanatçıklı, FDM depolamalı deneysel çalışmalarda parafinin düşük ısı iletkenliğinin kanatçık kullanılarak artırıldığı görülmüştür. Bu çalışma da alttan ve üstten devam eden açılı konumlandırılmış kanatçıklarla ısı iletkenliği iyileştirilmiş ve kıyaslanabilirlik açısından, bu tip kanatçıklar kullanıldığında ortaya çıkan sonuçlar literatüre kazandırılmıştır.

4.2. Öneriler

Konuyla ilgili literatürün geliştirilmesi için aşağıdaki metotlardaki gibi çalışmalar devam ettirilebilir.

- Deney, aynı şartlarda, daha yüksek bir üçüncü ışınım şiddetinde tekrarlandığında ışınım şiddetinin verime etkisinin muhakemesinde daha net sonuçlar verecektir.
- Yapılan çalışmadaki geliştirmenin kazanımının daha iyi anlaşılabilmesi için aynı ebatlarda ve aynı malzemedden üretilmiş, kanatçıkları olmayan bir yutucu yüzey kullanılabilir.
- Kanatların üzerine dönecek havalı kollektörler ya da fotovoltaik paneller ile FDM'de ısı enerjisi depolayıp, belli bir çevrim de tekrar motora besleme yapılarak yanma veriminin artırılıp artırılmayacağı ya da yakıt sarfiyatına etkisi incelenip, havacılık alanında kullanıp kullanılmayacağı araştırılabilir.
- Sistem uzay şartlarında simüle edilerek performansı araştırılabilir. Buna göre uzay şartlarında uygulanabilirliğine bakılabilir.
- Aynı sistemde başkaca endüstriyel parafinler kullanıldığında, depolama malzemesi değişimine bağlı ortaya çıkacak ısı verimleri araştırılabilir.
- Tasarım, yaygın kullanılan kollektör ebatlarında üretilerek, dış ortamda, doğal hava şartlarında incelenip daha somut sonuçlar elde edilebilir.
- Tasarlanan sistem sıvı akışkanlı forma dönüştürülerek, akışkan cinsinin değişmesinin ısı verime etkisi de araştırılabilir.

KAYNAKÇA

1. Wikipedia, 2010. Dünya enerji tüketimi (sektöre göre). (Web sayfası: https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya_enerji_t%C3%BCketimi), (Erişim tarihi: Kasım 2023)
2. Bakır, Ç.M., 2014. Güneşimizin yaşı: güneş kaç yaşında? (Web sayfası: <https://evrimagaci.org/gunesimizin-yasi-gunes-kac-yasinda-2813>), (Erişim tarihi: Kasım 2023)
3. Ocak, M.E., 2014. Dünya'daki yaşamın 1,75 milyar yıl ömrü kaldı. (<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/dunyadaki-yasamin-175-milyar-yil-omru-kaldi>), (Erişim tarihi: Kasım 2023)
4. Sevim, C., 2010. Petrol rezervlerinin zirve noktasının enerji güvenliği açısından büyük enerji pazarları (abd, ab, çin ve hindistan) üzerindeki etkileri. **Güvenlik Stratejileri Dergisi, Cilt 6(11), 53-72**
5. Hu, Y., Heiselberg, P.K., Johra, H., Guo, R., 2020. Experimental and numerical study of a PCM solar air heat exchanger and its ventilation preheating effectiveness. **Renewable Energy, Cilt 145, 106-115**
6. Salari, A., Ashouri, M., Hakkaki-Fard, A., 2020. On the performance of inclined rooftop solar chimney integrated with photovoltaic module and phase change material: A numerical study. **Solar Energy, Cilt 211, 1159-1169**
7. Gürbüz, H., Demirtürk, S., Akçay, H., Topalcı, Ü., 2023. Experimental investigation on electrical power and thermal energy storage performance of a solar hybrid PV/T-PCM energy conversion system. **Journal of Building Engineering, Cilt 69, 106271**
8. Parker, B.F., Lindley, M.R., Colliver, D.G. and Murphy, W.E. (1993). Thermal performance of three solar air heaters. **Solar Energy, Cilt 51(6), 467-479**

9. Bo, R., Hu, C., Fu, W., Meng, X., 2023. Influence of nocturnal thermal insulation on thermal performance improvement of solar air collector with phase-change material. **Case Studies in Thermal Engineering, Cilt 47, 103092**
10. Essa, M.A., Rofaiel, I.Y., Ahmed, M.A., 2020. Experimental and Theoretical Analysis for the Performance of Evacuated Tube Collector Integrated with Helical Finned Heat Pipes using PCM Energy Storage. **Energy, Cilt 206, 118166**
11. Mert, M.S., Sert, M., Mert, H.H., 2018. Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme. **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Cilt 6(1), 161-174**
12. Benli, H., Durmuş, A., 2007. Havalı güneş kolektörleri ve gizli ısı depolama yöntemi kullanılarak sera ısıtılması. **Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 48(569), 16-25**
13. Yang, L., Zhang, N., 2023. A double-glazed solar air-phase change material collector for nocturnal heating: Model development and sensitivity analysis. **Energy and Buildings, Cilt 289, 113070**
14. Günerhan, H., 2004. Duyulur ısı depolama ve bazalt taşı. **Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 45(530), 12-17**
15. Yılmazoğlu, M.Z., 2010. Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. **Politeknik Dergisi, Cilt 13(1), 33-42**
16. Öztürk, H., 2007. Güneş enerjisinin gizli ısı tekniği ile depolanması. **Tesisat Mühendisliği Dergisi, Cilt 100, 16-31**
17. Bejan, A.S., Croitoru, C., Bode, F., 2022. Experimental investigation of an enhanced transpired air solar collector with embodied phase changing materials. **Journal of Cleaner Production, Cilt 336, 130398**
18. Fadhil, A.M., Jalil, J.M., Bilal, G. A., 2023. Experimental and numerical investigation of solar air collector with phase change material in column obstruction. **Journal of Energy Storage, Cilt 79, 110066**

19. Fan, M., Zheng, W., You, S., Zhang, H., 2020. Comparison of different dynamic thermal performance prediction models for the flat-plate solar collector with a new V-corrugated absorber. **Solar Energy, Cilt 204, 406-418**
20. Tuncer A.D., Amini, A., Khanlari, A., 2023. Experimental and transient CFD analysis of parallel-flow solar air collectors with paraffin-filled recyclable aluminum cans as latent heat energy storage unit. **Journal of Energy Storage, Cilt 70, 108009**
21. Peralta, I., Fachinotti, V.D., Koenders, E.A.B., Caggiano, A., 2022. Computational design of a Massive Solar-Thermal Collector enhanced with Phase Change Materials. **Energy and Buildings, Cilt 274, 112437**
22. Çengel, Y.A., Kanoğlu, M., Cımbala, J.M., 2022. Yenilenebilir Enerji-Temelleri ve Uygulamaları. Palme Yayınları 1. Baskı, 384.
23. Değirmencioğlu, C., İlken, Z. Havalı Güneş Kollektörleri Üzerine Bir Literatür Araştırması ve Temel İlkeler. (<https://file.ttmd.org.tr/makale/27-4.PDF>), (Erişim Tarihi: Aralık 2023)
24. Tırıs, Ç., Tırıs, M., 1996. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Verimini Arttıran Parametreler. (https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/90e982518a50e28_ek.pdf), (Erişim Tarihi: Aralık 2023)
25. Alternative energy tutorials. Typical Flat Plate Collector. (<https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/flat-plate-collector.html>), (Erişim Tarihi: Aralık 2023)
26. Solar365. What Are Air-Based Solar Collectors? (<https://www.solar365.com/solar/thermal/what-are-air-based-solar-collectors>), (Erişim Tarihi: Aralık 2023)
27. Tesisat.org, 2015. Vakum Tüplü Güneş Enerjisi Kollektörleri. (<https://www.tesisat.org/vakum-tuplu-gunes-enerjisi-kollektorleri.html>), (Erişim Tarihi: Aralık 2023)

28. Alternative energy tutorials. Evacuated Tube Collector. (<https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>), (Erişim Tarihi: Aralık 2023)
29. Gesenerji. Parabolik Güneş Enerji Sistemleri. (<https://gesenerji.com/hizmetdetay/parabolik-gunes-kollektor-sistemleri>), (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
30. Soydugan, F., 2023. Güneş, enerjisi ve teknolojik enerji hasadı. **Bilim ve Teknik, Cilt 663, 44-59**
31. İşler, G., 2018. Parabolik Oluk Kollektörleri ve Merkezi Alıcılı Güneş Kuleleri ile Enerji Üretim Analizi ve Uygulaması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik, 85.
32. Öztürk, H.H., 2017. Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler, 1-14. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, 18-21 Ekim 2017, İzmir, TMMOB EMO.
33. Gezegensolar, Monokristal ve Polikristal güneş panellerinin Artıları ve Eksileri (Farkları) Nedir? (<https://www.gezegensolar.com/blog/icerik/monokristal-ve-polikristal-gunes-panellerinin-artilari-ve-eksileri-farklari-nedir>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
34. Günaslan, Y., Güneş Enerjisi Teknolojileri ve Özellikleri. (<https://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=653>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
35. Gözalan, M., 2016. Yonga Levhalarda Parafin Kullanım Miktarının Optimizasyonu Üzerine Araştırmalar. Bartın Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın, 135.
36. Kurtoğlu, M., 2023. Güneş Kollektörlerinde Enerji Verimliliğini Artırmak İçin Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanımının Araştırılması. Gümüşhane Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane, 140.

37. Özdoğan, M., 2019. Gizli Isı Depolama Yöntemleri. (<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muhammet.ozdogan/111403/IDY%204%20-%20Gizli%20Is%C4%B1%20Depolama.pdf>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
38. Özdoğan, M., 2019. Enerji Depolama Yöntemleri. (<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/muhammet.ozdogan/111403/IDY%202%20-%20Enerji%20Depolama%20Y%C3%B6ntemleri.pdf>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
39. Leblebicioğlu, E., 2020. Enerji Depolama Nedir? Enerji Depolama Yöntemleri Nelerdir? (<https://muhendistan.com/enerji-depolama-nedir/>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
40. Gündem, S., 2020. Elektrik Enerjisi Depolama Sistemleri – 2. (<https://www.mmo.org.tr/istanbul/haber/elektrik-enerjisi-depolama-sistemleri-ii>) (Erişim Tarihi: Ocak 2024)
41. Canlı, M., E., 2017. Güneş Işınımı Altında Faz Değiştiren Malzemenin Isı Depolama Davranışının Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 119.
42. Kline, S. J., McClintock, F. A., 1953. Describing uncertainties in single-sample experiments. **Mechanical Engineering**, Cilt 75(1), 3-8.

EKLER

EK 1. Deneyde Kullanılan Parafin Wax'ın Malzeme Güvenlik Bilgi Formu



Material Safety Data Sheet

1 IDENTIFICATION OF SUBSTANCE

1.1 Product Identifier:

Identification on the label/ Trade name: Paraffin Wax

1.2 Relevant Identified uses of the substance and uses advised against:

1.2.1 Identified uses:

Processing aid.

1.2.2 Uses advised against:

Not available.

1.3 Details of the Supplier of the material safety data sheet:

BHD DIŞTİCARET A.Ş.

Email: info@bhdtrade.com

HALKALI MERKEZ MAH.1 İKİTELLİ CAD.A BLOK NO:2/20
KÜÇÜKÇEKMECE / İSTANBUL

Tel: +90 543 943 24 03

2 HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture:

2.1.1 Classification:

Does not contain any components which are hazardous according to the Dangerous Substance Directive (67/548/EC) or CLP Regulation 1272/2008/EC

2.1.2 The most important adverse effects:

2.1.2.1 The most important adverse physiochemical effects:

Not applicable.

2.1.2.2 The most important adverse human health effects:

Unlikely to cause eye irritation. Unlikely to cause skin irritation. Not volatile. It is not likely to be an inhalation hazard at normal ambient temperatures. If overheated, fumes and vapours are irritating to the breathing passages and lungs.

2.1.2.3 The most important adverse environmental effects:

Although no specific ecological hazards are expected and bioaccumulation is unlikely, spillage into the environment should always be avoided.

2.2 Label Elements:

Does not require a hazard warning label in accordance with Dangerous Substance Directive (67/548/EC) or CLP Regulation 1272/2008/EC.

Hazard Pictograms:

None.

Signal Word(s):

Not applicable.

Hazard Statement:

Not applicable.

Precautionary statement:

Not applicable.

2.3 Other hazards

Not available.

3 COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Substance/Mixture:

Substance Name	CAS#	% by weight	REACH No.	Classification
Paraffin Wax	8002-74-2	100	N/A	N/A

There are no additional ingredients present which, within the current knowledge of the supplier, are classified and contribute to the classification of the substance and hence require reporting in this section.



4 FIRST-AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures:

- 4.1.1 In case of inhalation:
Remove the affected person to fresh air. If recovery is not rapid, obtain medical attention.
- 4.1.2 In case of skin contact:
Wash the affected parts of the body with soap and water. No emergency measure are necessary but if adverse skin effects follow, refer for medical attention.
- 4.1.3 In case of eyes contact:
Flush eyes immediately with fresh water for at least 15 minutes while holding eyelids open. No emergency measure are necessary but if adverse eye effects follow, refer for medical attention.
- 4.1.4 In case of ingestion:
Do not induce vomiting. No emergency measures are needed but if adverse health effects follow, refer for medical attention.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

- 4.2.1 Potential acute health effects:
Inhalation - over-heated wax can produce fumes which may be irritant when breathed in.
Skin Contact - may cause slight irritation to skin.
Ingestion - no known significant effects or critical hazards
Eye Contact - may cause slight irritation to eyes

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

- In contact with or splashed by hot molten liquid:
Skin Contact - cool the skin immediately with cool water. Treat burns according to their severity. To avoid damage to the skin no attempt should be made to remove paraffin wax firmly adhering to the skin. In case of circumferential burns splitting of paraffin wax ring may be considered to prevent tourniquet effect. Obtain medical attention. Never try to remove the material with solvents.
Contact with eyes - cool the area immediately with cold water. Seek advice of an ophthalmologist.

5 FIRE-FIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing Media:

- 5.1.1 Suitable extinguishing media:
Foam, dry chemical carbon dioxide, water mist.
- 5.1.2 Unsuitable extinguishing media:
Not available.

5.2 Specific Hazards arising from the substance or mixture:

During a fire, toxic gases (carbon monoxide, nitrous gases) may be generated by thermal decomposition or combustion.

5.3 Advice for fire-fighters:

Only suitably trained personnel should attempt to tackle fires. Do not stay in the danger zone without respiratory protective equipment and protective clothing.

6 ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures:

- 6.1.1 For non-emergency personnel:
Surfaces may become slippery after spillage.
- 6.1.2 For emergency responders:
Surfaces may become slippery after spillage.

6.2 Environmental precautions:

Water may be used to flush spills away from sources of ignition. Do not allow the product to enter public drainage system or open water sources.

6.3 Methods of containment and cleaning up:

Absorb and scrape up. Absorbent materials: sand or active clay.

6.4 Reference to other sections:

See Section 7 for information on safe handling.
See Section 8 for information on personal protection equipment.
See Section 13 for information on disposal.

7 HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling:

- 7.1.1 Protective measures:
Avoid skin contact. Avoid inhalation of vapour, mist or fumes. Do not wear contaminated clothing. Recommended temperature for handling is 60-80 °C.
- 7.1.2 Advice on general occupational hygiene:
N/A



7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities:

Keep containers tightly closed.
Storage class: N/A

7.3 Specific end use(s):

N/A

8 EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters:

TWA TLV (ACGIH): 2 mg/m³ (paraffin wax fumes). However in all circumstances exposure should be kept as low as reasonably possible by good ventilation and safe working practices.

8.2 Exposure controls:

8.2.1 Appropriate engineering controls:

No special controls needed.

8.2.2 Individual protection measures:

Eye/face protection:

No special precautions are needed beyond clean working conditions and safe handling practices.

Hand protection:

No special precautions are needed beyond clean working conditions and safe handling practices. PVC or nitrile gloves may be suitable.

Body protection:

No special precautions are needed beyond clean working conditions and safe handling practices.

Respiratory protection:

Inhalation of the vapour, fumes or mists should be avoided by safe working practices and good ventilation.

8.2.3 Environmental exposure controls:

N/A

9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties:

Appearance:	Off White to Light tan/weak
Physical state: (temperature)	Liquid (at elevated Solid (at ambient Temperature) Typical Neutral 52-68 Initial boiling point > 300 >150, (ASTM D92, COC) Not known Negligible 0.83-0.86 <1 mg/l in water Soluble in Petroleum Ether, Ethyl Acetate >200 4.0
Odour:	
pH:	
Melting point/range (°C):	
Boiling point/range (°C):	
Flash point (°C):	
Upper/lower flammability/explosive limits:	
Vapour pressure, kPa:	
Relative Density (g cm ⁻³):	@ 15°C
Solubility:	
Auto-ignition temperature (°C):	
Viscosity (mm ² s ⁻¹ , cSt):	@ 100°C

10 STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity:

This product is not reactive under normal storage and handling conditions (see section 7).

10.2 Chemical stability:

Under normal storage and handling conditions, this product is stable.

May react with strong oxidising agents, especially at high temperatures.

10.3 Possibility of hazardous reactions:

No specific hazardous reactions are expected to occur

10.4 Conditions to avoid:

The product is combustible when heated > 300°C.

10.5 Incompatible materials:

May react with strong oxidants.

10.6 Hazardous decomposition products:

Thermal decomposition or incomplete combustion may produce carbon monoxide, nitrous gases and irritating fumes.

11 TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects:

Acute toxicity:

Petroleum waxes are generally regarded as non-toxic, relatively harmless and not irritating under normal usage. Studies on related substances, i.e base oils and waxes, indicate:

LD50 (Oral): > 2g / kg

LD50 (Dermal): > 2 g/ kg

Skin corrosion/irritation:

Unlikely to cause skin irritation.



Serious eye damage/irritation:
Unlikely to cause eye irritation.

Ingestion:
Ingestion is unlikely to cause adverse systematic health effects.

Inhalation:
Not volatile. It is not likely to be an inhalation hazard at normal ambient temperatures. If overheated, fumes and vapours are irritating to the breathing passages and lungs.

12 ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity:
No known significant effects or critical hazards

12.2 Persistence and degradability:
This product is not readily biodegradable

12.3 Bioaccumulative potential:
Data not available

12.4 Mobility in soil:
Data not available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment:
This substance does not fulfill the criteria for being classed as a PBT or vPvB substance.

12.6 Other adverse effects:
No other adverse effects are observed.

13 DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods:
Transport to authorised waste location, or incinerate under controlled conditions (EU Directives 2000/76/EC and 1999/31EC apply).
European Waste Catalogue No. 050199/130899.

14 TRANSPORT INFORMATION

14.1 General:
None

14.2 UN-no:
Not classified.

14.3 Transport hazard class(es)

14.3.1 RID/ADR:
Not classified

14.3.2 IMO:
Not classified

14.3.3 IATA/CAO:
Not classified

15 REGULATORY INFORMATION

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture:
Regulations No. 2037/2000 (Ozone depleters), No. 850/2004 (POPs) and No. 689/2008 (Export/import of dangerous chemicals) not applicable for this substance.

15.2 Chemical safety assessment:

Chemical safety assessments for substance were not carried out.

16 OTHER INFORMATION

References: Not available.

Other Special Considerations: Not available.

Created: 10/10/2005 12:15 AM

Last Updated: 07/05/2022 12:00 PM

The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall BHD DIŞTİCARET A.Ş. be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if BHD DIŞTİCARET A.Ş. has been advised of the possibility of such damages.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Yunus Erkam ÖZSELÇUK
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri:
e-mail:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Anadolu Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik	Devam ediyor.
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2019
Lise	Fatma Kemal Timuçin Anadolu Lisesi, Kayseri	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2020-2023	Muhayyel Ahşap	Üretim Mühendisi
2023-2023	Göktuğ Teknik Yapı Mühendislik Mimarlık Ltd.	Makine Mühendisi
2024-	Okandan Cam Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Üretim Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Özselçuk, Y. E., Ata, İ. (2024). Experimental Investigation of the Thermal Performance of Phase Changematerial In A Solar Air Collector, *5th International Azerbaijan Congresses on Life, Engineering, Mathematical, and Applied Sciences, January 24-26,2024, Baku*, ss 169-175.