

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ BİLİM DALI**

**GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLLEKTÖRÜNDE GİZLİ VE
DUYULUR ISI ENERJİSİ DEPOLAMANIN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Arif KAYAPUNAR

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mesut ABUŞKA**



MANİSA-2019

**Arif
KAYAPUNAR**

**GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLLEKTÖRÜNDE GIZLI VE DUYULUR ISI ENERJİSİ
DEPOLAMANIN DENEYSEL İNCELENMESİ**

2019

TEZ ONAYI

Arif KAYAPUNAR tarafından hazırlanan "**GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLLEKTÖRÜNDE GİZLİ VE DUYULUR ISI ENERJİSİ DEPOLAMANIN DENEYSEL İNCELENMESİ**" adlı tez çalışması .../07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr. Öğr. Üyesi Mesut ABUŞKA**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Seyfi ŞEVİK**

Hitit Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Arif KAYAPUNAR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
TABLO DİZİNİ.....	IX
TEŞEKKÜR	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XIII
1.GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER	5
2.1. Güneş Enerjisi ve Potansiyeli.....	5
2.2. Güneş Kollektörleri ve Güneş Enerjisinin Termal Kullanımı	8
2.3. Güneş Enerjili Hava Isıtma Kollektörleri (GEHIK)	14
2.3.1. Güneş Kollektörlerinde Kullanılan Yutucu Plakalar	16
2.3.2. Yutucu Yüzey Kaplamaları	19
2.3.3 Kollektörün Geçirgen Örtüsü	21
2.3.4. Kollektör Kasası ve Yalıtımı	23
2.4 Güneş Enerjisi İle Isı Depolama.....	27
2.4.1 Güneş Enerjisi Uygulamalarında Duyulur Isı Depolama	29
2.4.1.1. Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama.....	30
2.4.1.2. Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama	32
2.4.1.3. İkili Ortamda Duyulur Isı Depolama	34
2.4.2 Güneş Enerjisi Uygulamalarında Gizli Isı Depolama	35
2.4.2.1. Faz Değiştiren Maddeler	36
2.4.2.2. Faz Değiştiren Maddelerin Sınıflandırılması.....	37
3.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	43
4.TERMAL ANALİZ	59
5. MATERYAL VE METHOD.....	63
5.1 Gizli Isı Depolamalı (FDM) Doğal ve Cebri Konveksiyon Deneyleri	63
5.2 Duyulur Isı Depolamalı (Kiraz Çekirdeği) Doğal ve Cebri Konveksiyon Deneyleri...68	68
6. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	70
6.1 Gizli Isı Depolamalı (FDM) Doğal Konveksiyon Deney Sonuçları.....	70

6.2 Duyulur Isı Depolamalı (Kiraz Çekirdeği ve Kiraz Çekirdeği Tozu) Doğal Konveksiyon Deneş Sonuçları	74
6.3 Gizli Isı Depolamalı (FDM) Cebri Konveksiyon Deneş Sonuçları	78
6.4 Duyulur Isı Depolamalı (Kiraz Çekirdeği ve Kiraz Çekirdeği Tozu) Cebri Konveksiyon Deneş Sonuçları	84
6.5 DSC Test Sonuçları	95
6.6 Güneş Enerjili Hava Isıtma Kollektörünün CFD Analizi	101
7. SONUÇLAR.....	110
8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	111



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SEMBOLLER LİSTESİ

A	Alan
AR	Anti reflekte
Balptk	Balpeteği
C_p	Özgül ısı
D	Derinlik
D_h	Hidrolik çap
DIDS	Duyulur ısı depolama sistemi
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
f	Sürtünme faktörü
FDM	Faz değıştiren malzeme
GEHIK	Güneş enerjili hava ısıtma kollektörü
GEPA	Güneş enerjisi potansiyel atlası
GIDS	Gizli ısı depolama sistemleri
h	Entalpi
h	Isı taşınım katsayısı
I	Güneş ışınımı
k	Isı iletim katsayısı
L	Gizli ısı
M,m	Kütle
Nu	Nusselt sayısı
PV	Güneş pilleri
Re	Reynolds sayısı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
T	Sıcaklık
u	Toplam ısı transfer katsayısı
V	Hacim
v	Hız
Q	Isı miktarı
Q_s	Depo edilen ısı
W	İş
W	Genişlik

ρ	Yoğunluk
ΔT	Sıcaklık farkı
η	Termal verim
ε	Emissivite katsayısı
α	Absorptivite katsayısı
τ_g	Cam geçirgenliği
σ	Stefan Boltzman sabiti
Γ_t	Türbülans termal diffüzyon katsayısı
Γ	Moleküler termal diffüzyon katsayısı
μ	Dinamik viskozite
γ	FDM'nin sıvı oranı
$\alpha\tau$	Malzeme efektif geçirgenlik/yutuculuk oranı

ALT İNDİSLER

a	hava
ab	absorbe edilen
ac	depo edilen
ave	ortalama
c	kollektör
ch	şarj
cond	iletim
conv	taşınım
day	günlük
dis	deşarj
e	çevre
f	akışkan
fin	şarj bitiş
h	hidrolik
i	giriş
int	şarj başlangıç
l	sıvı
loss	kaybedilen
o	çıkış
p	yutucu plaka
rad	ışınım
s	katı
sc	kesit alanı
t	termal
u	faydalı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye'de güneş radyasyonu dağılım haritası [4].....	2
Şekil 1.2. Türkiye'de aylık ortalama güneşlenme süreleri ve güneş radyasyonu değerleri [4]	2
Şekil 1.3. Manisa güneş radyasyonu dağılım haritası [4].....	3
Şekil 1.4. Manisa aylık ortalama güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri [4].....	3
Şekil 2.1. Güneş enerjisinin termal ve fotovoltaik uygulama görselleri [5]	6
Şekil 2.2. Türkiye'de bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri (saat) [6].	7
Şekil 2.3. Güneş enerjisi kullanım alanları	7
Şekil 2.4. 2016 yılında termal kolektör tipine göre kullanım oranları [7]	8
Şekil 2.5. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması	9
Şekil 2.6. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin şematik olarak sınıflandırılması.....	10
Şekil 2.7. Düzlemsel su ısıtma kolektörünün şematik görünüşü [10]	11
Şekil 2.8. Vakumlanmış ısı borulu güneş kolektörünün görünüşü [9].	11
Şekil 2.9. Stirling motorlu çanak sistemi uygulaması [11].....	12
Şekil 2.10. Odaklanabilen parabolik kolektörün şematik görünüşü [12]	13
Şekil 2.11. Güneş enerjili hava ısıtma kolektörünün şematik görünüşü [16].	16
Şekil 2.12. Havalı kolektörlerin yutucu yüzey şekilleri [18].	17
Şekil 2.13. Basit düz yutucu plakalı kolektör şematik görünümü [10]	18
Şekil 2.14. Oluklu kolektör şematik görünümü [10].....	18
Şekil 2.15. Finli kolektör şematik görünümü [10]	18
Şekil 2.16. Yutucu yüzeylere göre kolektör verimleri [20]	20
Şekil 2.17. Cam geçirgenliği [20]	22
Şekil 2.18. Anti reflektif cam verimi [20]	23
Şekil 2.19. Kolektör şilte ve levhası ve teknik özellikleri [20].....	24
Şekil 2.20. Kolektör ısı dengesi gösterimi [20]	25
Şekil 2.21. Kolektör ısı verim gösterimleri [20]	26
Şekil 2.22. Havalı güneş kolektörü tasarım parametreleri [21].	27
Şekil 2.23. Isı depolama yöntemleri [22]	28
Şekil 2.24. İkili (karışık) ortamda duyulur ısı depolanması [24]	34
Şekil 2.25. Faz değiştiren materyallerin sınıflandırılması [35].....	38
Şekil 3.1. Alüminyum kompozit FDM'li GEHIK'ın şematik görünüşü [44]	43
Şekil 3.2. FDM'li GEHIK'ın şematik görünüşü [45].....	44
Şekil 3.3. FDM'li GEHIK'ın deney setinin resmi [45]	45
Şekil 3.4. FDM'li GEHIK'ın şematik görünüşü [46].....	45
Şekil 3.5. FDM'li GEHIK'ın deney seti resmi [46]	46
Şekil 3.6. GEHIK'lı dolgu yataklı ısı depolama sisteminin şematik görünüşü [47]	47
Şekil 3.7. Isı depolamalı GEHIK'ın şematik görünüşü [48].....	47
Şekil 3.8. Çift geçişli GEHIK'ın şematik ve ısı depolamalı GEHIK'ın kesit resmi [49]	48
Şekil 3.9. GEHIK'ın şematik görünüşü ve deney setinin resmi [50]	48
Şekil 3.10. GEHIK destekli inorganik tuz tabanlı FDM depolu ısı depolama sistemi [51]....	49
Şekil 3.11. Havalı vakum tüp kolektörlü ısı depolama sistemi [52]	50
Şekil 3.12. Isı depolama biriminin FDM'li alüminyum panelin resmi ve deney setinin şematik görünüşü [53].....	50

Şekil 3.13. Isı depolama aracı olarak çakıl dolgu yatak kullanan termal (hava ve su) güneş kollektörlü sistem [54]	51
Şekil 3.14. Sistemin şematik görünüşü [55]	51
Şekil 3.15. Parafinli bakır köpük kullanılan deney setinin şarj ve deşarj devre şeması [56] ..	52
Şekil 3.16. Deney setinin şematik ve kesit görünüşü [57]	53
Şekil 3.17. Biyolojik nano akışkan hazırlama ve test düzeneğinin şematik görünüşü [58] ...	53
Şekil 3.18. Kiraz çekirdek parçalarının farklı büyütme oranlarındaki FEG-SEM görüntüleri [59]	54
Şekil 3.19. Kiraz çekirdeği ve diğer meyve çekirdek ve kabuklarının sıcaklığa göre ısı kapasiteleri (Cp)	55
Şekil 3.20. Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırını ve şematiği [60]	56
Şekil 3.21. Vakum emdirme setinin şematik gösterimi [61]	56
Şekil 3.22. Bal petek ızgaralı sıcak su kollektörü [62]	57
Şekil 3.23. Kiraz çekirdeği kullanım örnekleri [64]	58
Şekil 5.1. RT54HC sıcaklık-entalpi değerleri [67]	64
Şekil 5.2. Kollektörlerin kesit görünüşleri (FDM)	64
Şekil 5.3. GEHIK deney seti (FDM)	65
Şekil 5.4. Balpeteği görüntüsü ve RT54HC'li balpeteği görünümü	65
Şekil 5.5. Sensör yerleşimi	67
Şekil 5.6. Gizli ısı depolamalı GEHIK'ların hazırlanışı	67
Şekil 5.7. Kollektörlerin kesit görünüşleri (kiraz çekirdeği ve tozu)	68
Şekil 5.8. GEHIK deney seti (kiraz çekirdeği ve tozu)	68
Şekil 5.9. GEHIK deney seti hazırlanışı (kiraz çekirdeği ve tozu)	69
Şekil 6.1. Güneş ışınımının zamana göre değişimi	70
Şekil 6.2. Giriş-çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi	71
Şekil 6.3. FDM sıcaklığının zamana göre değişimi	72
Şekil 6.4. Faydalı ısının zamana göre değişimi	73
Şekil 6.5. Termal verimin zamana göre değişimi	73
Şekil 6.6. Güneş ışınımının zamana göre değişimi	75
Şekil 6.7. Giriş-çıkış sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi	76
Şekil 6.8. Kiraz çekirdeği ve kiraz çekirdeği tozu sıcaklığının zamana göre değişimi	76
Şekil 6.9. Faydalı ısının zamana göre değişimi	77
Şekil 6.10. Termal verimin zamana göre değişimi	77
Şekil 6.11. Güneş radyasyonunun zamana göre değişimi	79
Şekil 6.12. Kollektörlerin giriş ve çıkış sıcaklıklarının saatlik değişimi	80
Şekil 6.13. Tip I ve Tip II için farklı debilerde FDM sıcaklığının zamana göre değişimi	81
Şekil 6.14. Farklı debilerde ısı oranlarının zamana göre değişimi	82
Şekil 6.15. Tüm debiler için termal verimin zamana göre değişimi	83
Şekil 6.16. Güneş radyasyonunun zamana göre değişimi	84
Şekil 6.17. Kollektörlerin giriş ve çıkış hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi	87
Şekil 6.18. Kollektörlerin giriş ve ısı depolama malzemesi sıcaklıklarının saatlik değişimi ..	89
Şekil 6.19. Kollektör termal verimlerinin zamana göre değişimleri	92
Şekil 6.20. Kollektörlerde Reynolds sayılarına göre sürtünme katsayısı ve Nusselt değerleri	93

Şekil 6.21. Kollektörlerde kütleli debiye göre termal verim ve hava çıkış sıcaklığı değerleri	94
Şekil 6.22. 1 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	96
Şekil 6.23. 2 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	97
Şekil 6.24. 3 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	97
Şekil 6.25. 4 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	98
Şekil 6.26. 5 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	98
Şekil 6.27. 6 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	99
Şekil 6.28. 7 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi	99
Şekil 6.29. 7 adet numuneye ait sıcaklık-ısı akışı eğrisi	100
Şekil 6.30. Sonlu elemanlar yöntemiyle ağ örgüsü (mesh yapısı)	101
Şekil 6.31. Ağ örgüsü (mesh yapısı) detay görünüşü	102
Şekil 6.32. GEHIK'in CFD analizi tanımlama şematığı	104
Şekil 6.33. Analiz çözüm ve yakınsama grafiği	105
Şekil 6.34. Genel basınç dağılımı	105
Şekil 6.35. Genel sıcaklık dağılımı	105
Şekil 6.36. Genel kinetik enerji dağılımı	106
Şekil 6.37. Genel hız dağılımı	106
Şekil 6.38. Hava kanalı yatay orta kesit basınç dağılımı	106
Şekil 6.39. Hava kanalı yatay orta kesit hız dağılımı	107
Şekil 6.40. Hava kanalı yatay orta kesit sıcaklık dağılımı	107
Şekil 6.41. Kollektör girişi hava sıcaklık dağılımı	107
Şekil 6.42. Kollektör çıkışı hava sıcaklık dağılımı	108
Şekil 6.43. Absorber sıcaklık dağılımı	108
Şekil 6.44. Cam sıcaklık dağılımı	108

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Elde edilen sıcaklık derecelerine göre güneş enerjisi uygulamaları	13
Tablo 2.2. Havalı güneş kollektörlerinin avantaj ve dezavantajları [1].....	15
Tablo 2.3. Çeşitli malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayıları (W/mK)	20
Tablo 2.4. Selektif yüzeyler ve siyah boyalı yüzeylerin teknik özellikleri.....	21
Tablo 2.5. Durasol F kollektör camının teknik özellikleri [20]	23
Tablo 2.6. Isı yalıtım malzemeleri ve özellikleri [20]	25
Tablo 2.7. Yutucu plaka tipine göre ortalama ısı verimleri [20].....	26
Tablo 2.8. Duyulur ısı depolama için sıvı materyaller [22]	31
Tablo 2.9. Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı katı maddeler [27]	33
Tablo 2.10. FDM olarak kullanılabilen bazı tuz hidratları [22]	39
Tablo 2.11. Bazı yağ asit maddelerin özellikleri [22]	40
Tablo 2.12. Bazı parafinlerin termal özellikleri [27].....	41
Tablo 5.1. Kollektörlerin teknik özellikleri	65
Tablo 5.2. Alüminyum balpeteğinin termofiziksel özellikleri (300 K sıcaklığında).....	66
Tablo 5.3. Ölçüm cihazları ve özellikleri	66
Tablo 6.1. Ölçüm verilerinin özeti (FDM doğal konveksiyon)	74
Tablo 6.2. Ölçüm verilerinin özeti (Kiraz çekirdeği doğal taşınım)	78
Tablo 6.3. Ortalama ve maksimum termal verim değerleri	83
Tablo 6.4. Günlük termal verim değerleri	83
Tablo 6.5. Tüm debiler için üç kollektörün termal verim-çıkış sıcaklığı-sıcaklık artış oranı- Nusselt-sürtünme katsayısı değerleri özet tablosu	95
Tablo 6.6. DSC testleri numune bilgileri ve karışım tablosu	96
Tablo 6.7. Test numunelerinin özet DSC test sonuçları	100
Tablo 6.8. Hava, alüminyum emici ve FDM malzemesinin termo-fiziksel özellikleri	103

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mesut ABUŞKA'ya, yüksek lisans eğitimim sırasında teknik destek veren Sayın Doç. Dr. Seyfi ŞEVİK'e, 2016-151 proje numarasıyla desteklerinden dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araőtırmalar Projeleri Koordinasyon Birimine, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Arif KAYAPUNAR
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLLEKTÖRÜNDE GİZLİ VE DUYULUR ISI ENERJİSİ DEPOLAMANIN DENEYSEL İNCELENMESİ

Arif KAYAPUNAR

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mesut ABUŞKA

Bu çalışmada güneş enerjili hava ısıtma kollektörünün (GEHIK), duyulur ve gizli ısı depolama yöntemleriyle, termal veriminin ve kullanılabilirliğinin artırılması amaçlanmıştır. Eşzamanlı karşılaştırma yapabilmek amacıyla konvansiyonel düz yutucu plakalı kollektör ve farklı malzemelere sahip iki ısı depolamalı kolektör olmak üzere üçer kolektörden oluşan iki ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. İlk deney düzeneği; düz yutucu plakalı, sadece faz değiştiren malzemeli (FDM) ve FDM+bal peteği kombinasyonu kullanılan kollektörlerden oluşturulmuştur. İkinci deney düzeneği ise; düz yutucu plakalı, kiraz çekirdeği ve öğütülmüş kiraz çekirdeği kullanılan kollektörlerden oluşturulmuştur. Her iki ısı depolama yöntemi ayrı ayrı test edilmiştir. FDM+bal peteği, FDM'lerin kronik sorunlarından biri olan düşük ısı iletim katsayısının artırmak amacıyla kombine edilmiştir. Tarımsal bir atık olan kiraz çekirdeği ise çekirdek ve toz formunda incelenmiştir. Deneyler, doğal konveksiyonda ve 0.008 ile 0.048 kg/s arası debilerde zorlanmış konveksiyon koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, gizli ısı depolamalı (FDM'li) kollektör ANSYS Fluent programıyla nümerik olarak modellenmiştir. FDM ile kiraz çekirdek tozunun beraber kullanımına ilişkin çeşitli karışım oranlarına sahip numuneler diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) testine tabi tutulmuştur.

FDM kullanılan deneylerde gün içi termal verim % 8.4 ile % 9.0, günlük termal verim ise % 2.6 ile % 22.3 arasında artırılmıştır. Alüminyum bal peteği kullanımıyla, FDM'nin şarj-deşarj süresi önemli derecede kısaltılmış aynı zamanda FDM sıcaklığında da 10°C'ye varan artış sağlanmıştır. Gizli ısı depolamalı deneylerde gün batımından sonra giriş-çıkış sıcaklığının eşitlenmesi düz yutucu

plakalı kollektör için yaklaşık 1 saat sürerken FDM'li kollektörler için 6-10 saat arasında değişmiştir. Ancak, sadece FDM ile FDM+bal peteğinin kullanıldığı kollektörlerin verimleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Kiraz çekirdeği ve tozunun kullanıldığı kollektörlerde günüçi termal verim şarj periyodunda düşük debiye bağlı olarak % -4,7'ye varan azalma olurken yüksek debilerde ise % 10,6'ya varan artış gözlemlenmiştir. Duyulur ısı depolama kullanımı ile günlük termal verim % 2,8 ile % 18,7 arasında artırılmıştır. Duyulur ısı depolamalı kollektörlerin gün batımından sonra giriş-çıkış sıcaklığının eşitlenmesi düz yutucu plakalı kollektöre göre 5-6 saat daha uzun sürmüştür. Kiraz çekirdeğinin ve tozunun kullanıldığı kollektörlerin termal verimleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. DSC sonuçlarında kiraz çekirdek tozu ile FDM'in karışım oranlarına paralel sonuçlar verdiği ve birlikte rahatlıkla kullanılabilceği tespit edilmiştir. Dahası, nümerik modelleme sonuçları da deneysel verilerle paralellik arz etmiştir.

Deneysel sonuçlar, tasarlanan GEHIK'larda gizli ısı depolama malzemesi olarak FDM ve FDM ile birlikte bal peteğinin kullanımı, duyulur ısı depolama malzemesi olarak ise kiraz çekirdeği ve tozunun kullanımı ile kollektör termal veriminin önemli ölçüde artırılabilceğini ve kolektörün gün batımından sonra da uzun bir süre kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjili hava ısıtma kollektörü, ısı depolama, duyulur ısı, gizli ısı, faz değiştiren malzeme, bal peteği, kiraz çekirdeği.

2019,119 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION of THERMAL ENERGY STORAGE with LATENT and SENSIBLE HEAT in SOLAR AIR COLLECTOR

Arif KAYAPUNAR

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mesut ABUŞKA

In this study, it is aimed to increase the thermal efficiency and usability of solar air collector (SAC) by sensible and latent heat storage methods. In order to be able to make simultaneous comparisons, two separate test setups consisting of three collectors, two heat storage collectors with different materials, were prepared with conventional flat absorber plate collector. The first experimental set-up consists of a collector with a flat plate absorber, only phase change material (PCM) and PCM+honeycomb combination. The second experimental set-up consists of a collector with flat absorber plate, cherry stone and milled cherry stone. Both heat storage methods were tested separately. PCM and honeycomb were combined in order to increase the low heat conduction coefficient, which is one of the chronic problems of PCMs. The cherry stone as an agricultural waste was examined in the form of core and powder. The experiments were carried out under natural and forced convection conditions at flow rates between 0.008 and 0.048 kg/s. In addition, latent heat storage (with PCM) collector is modeled numerically with ANSYS Fluent. The samples with various mixing ratios for the combination of PCM and cherry stone powder were subjected to differential scanning calorimetry (DSC) test.

In the experiments using PCM, the day time thermal efficiency was increased by 8.4% to 9.0% and the daily thermal efficiency was increased by 2.6% to 22.3%. With the use of aluminum honeycomb, the charge-discharge time of the PCM is significantly shortened, while the PCM temperature has increased by up to 10°C. In the latent heat storage experiments, the equalization of the inlet-outlet temperature after sunset was approximately 1 hour for the collector with flat absorber plate and

for 6-10 hours for the collectors with PCM. However, the efficiencies of the collectors using only PCM and PCM+honeycomb were very close to each other. In the collectors using the cherry stone and powder, the daytime thermal efficiency decreased up to -4.7% depending on the low flow rate during the charging period and up to 10.6% at high flow rates. With the use of sensible heat storage, the daily thermal efficiency was increased from 2.8% to 18.7%. The equalization of the inlet-outlet temperature of the sensible heat storage collectors lasted longer than 5-6 hours after the sunset compared to the collector with flat absorber plate. The thermal efficiencies of the cherry stone and powder collectors were very close to each other. In the results of differential scanning calorimeter (DSC), it was determined that cherry stone powder and PCM gave results parallel to the mixture ratios and could be used easily. Moreover, the results of numerical modeling were parallel to the experimental data.

The experimental results showed that the use of PCM and PCM+honeycomb as concealed heat storage material in designed SACs and the use of cherry stone and powder as sensible heat storage material could significantly increase the collector thermal efficiency and could be used for a long time after sunset.

Key Words: Solar air collector, heat storage, sensible heat, latent heat, phase change material, honeycomb core, cherry stone.

2019,119 page

1.GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketimi, yaşam standartları düzeyi ve ülkelerin endüstrileşme derecesiyle doğrudan ilişkili olarak görülmektedir. Dünya nüfusunun yaşam standardını arttırmak için, mevcut kişi başına düşen enerji tüketiminin önemli oranda arttırılması ve bunu yaparken de artan enerji gereksiniminin enerji koruma yöntemleri uygulanarak azaltılması gerekir [1]. Temel enerji kaynakları tükendiğinde insanlık daha verimli ve uzun ömürlü enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalacaktır. Bunların en önemli ikisi, nükleer enerji ve güneş enerjisidir. Nükleer enerji için en büyük engel, yüksek teknoloji gerektirmesi, maliyetinin yüksek olması ve çevresel kaygılardır. Güneş enerjisi ise güvenilir bir kaynak olup, yaygın kullanımında yüksek ve özel teknoloji gerektirmemektedir [2].

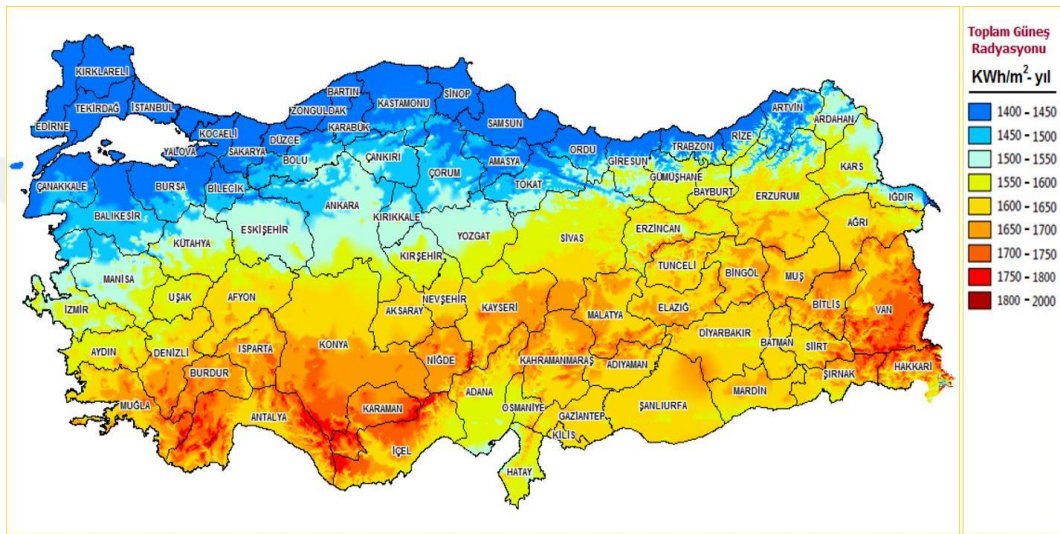
Son yıllarda enerji maliyetlerindeki artış, güneş enerjisini gittikçe cazip hale getirmekte ve güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin her geçen gün kullanımını arttırmaktadır. Güneş ışınımı asırlardan beri yeryüzüne geldiği halde, bilinçli faydalanmaya başlanması oldukça yenidir. Kaynaklara göre, ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere koyarak güneş ışığının içeri girmesini ve kuzey tarafını yüksek yaparak rüzgârın önlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Arşimed'in (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışığını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmektedir [2]. 1920 ve 1930'lu yıllarda güneş enerjili sıcak sulu sistemlerin uygulaması yapılmıştır. Benzer uygulamalar Amerika'da yapılan güneş enerjisiyle ısıtılan binalarda kullanılmıştır. Güneş enerjisiyle suyun ısıtılması ve bunun da bir evin ısıtılmasında kullanılması 1938'de Massachusetts Enstitüsü'nde inşa edilen bir evde gerçekleştirilmiştir [3].

Türkiye coğrafik konumu nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından şanslı bir bölgede yer almaktadır ve yeterli güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ancak güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 1973'ten sonra başlamış ve zamanla hızlanmıştır. 1975 yılından günümüze güneş enerjisi ile sıcak su temin eden sistemler yaygınlaşmıştır [3].

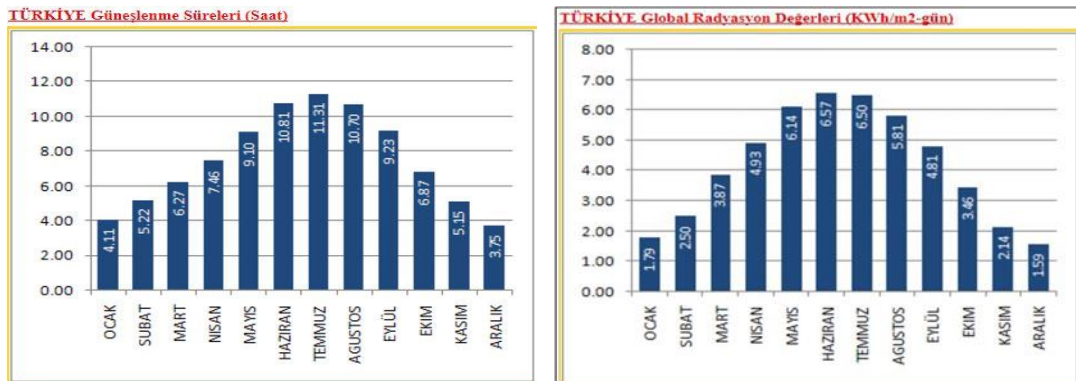
Bir yılda dünyaya gelen güneş enerjisi bilinen kömür rezervinin 50 katı ve petrol rezervinin de 800 katı kadardır. Güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması bakımından genel olarak ilk yatırım dışında herhangi bir maliyet

gerektirmeyen, özellikle konut, gıda, tekstil ve kimya gibi endüstriyel alanda, düşük sıcaklık uygulamalarında kolaylıkla kullanılacak bir doğal kaynaktır [3].

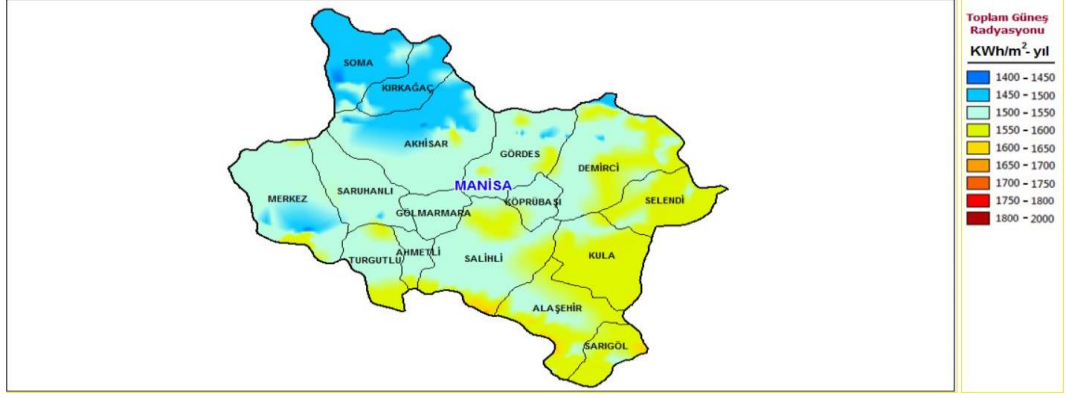
Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na (GEPA) göre Türkiye'de güneş radyasyonu dağılım haritası, güneşlenme süreleri ve radyasyon dağılımı ile ilgili veriler Şekil 1.1. ve Şekil 1.2. 'de verilmiştir. Manisa'da güneş radyasyonu dağılım haritası, güneşlenme süreleri ve radyasyon dağılımı ile ilgili veriler ise Şekil 1.3. ve Şekil 1.4. 'de gösterilmiştir.



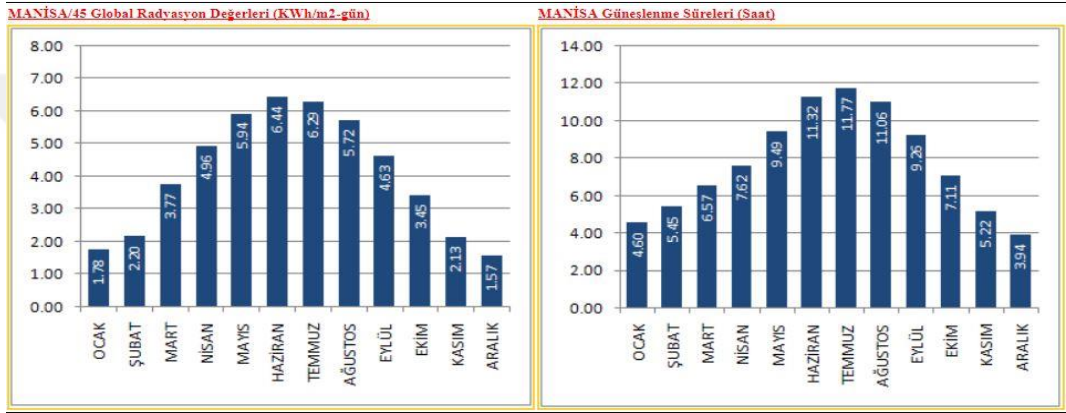
Şekil 1.1. Türkiye'de güneş radyasyonu dağılım haritası [4]



Şekil 1.2. Türkiye'de aylık ortalama güneşlenme süreleri ve güneş radyasyonu değerleri [4]



Şekil 1.3. Manisa güneş radyasyonu dağılım haritası [4]



Şekil 1.4. Manisa aylık ortalama güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu değerleri [4]

GEHIK'lar genellikle mahal ısıtmada ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılmakta olup son yıllarda gerek endüstride gerekse akademik araştırmalarda popüler olmuştur. Isı transfer akışkanı olarak havayı kullandığı ve havanın termofiziksel özelliklerinin suya göre düşük olmasından kaynaklı olarak GEHIK'ların termal verimleri düşüktür. Su ısıtma kolektörlerinde toplanan ısı, suya aktarılmakta ve termal enerji olarak depoda biriktirilerek gün boyu kullanılabilir, buna karşın hava ısıtma kolektörlerinde ısıtılan hava genel olarak direkt kullanım yerlerine sevk edilmesinden dolayı gün batımından sonra kullanımları mümkün olmamaktadır. Buna ek olarak, bulutlu havalarda da çıkış hava sıcaklıkları ışınımına paralel olarak dalgalanmakta ve çok fazla etkilenmektedir. Bu dezavantajların üstesinden gelebilmek için son yıllarda termal güneş kolektörlerinde ve özellikle hava ısıtma kolektörleri üzerinde duyulur ve gizli ısı depolama çalışmalarında önemli bir artış göze çarpmaktadır.

Bu çalışma, GEHIK’larda yeni veya kombine malzemeler kullanarak duyulur ve gizli ısı depolama yöntemleriyle termal verimin ve kullanılabilirliğin artırılmasını amaçlamaktadır. Gizli ısı depolama kapsamında Faz Değiştiren Malzeme (FDM) kullanılmıştır. FDM olarak Rubitherm RT54HC kullanılmıştır. FDM’lerin kronik sorunlarından biri olan dūřük ısı iletim katsayısını artırabilmek için ısı depolama panelinde dāhili fin konstrüksiyonu olarak alūminyum bal peteği kullanılmıştır. Duyulur ısı depolama kapsamında ise tarımsal bir atık olan kiraz çekirdeği kullanılmıştır. Kiraz ekirdeđi çekirdek ve toz formunda incelenmiştir. Gizli ısı ve duyulur ısı depolama deneyleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. GEHIK’lardaki ısı depolamanın deneysel eşzamanlı olarak karşılaştırılabilmeleri için ũ kollektörlü bir deney dūzeneđinin tasarım ve imalatı yapılarak performans testleri doğal-zorlanmış konveksiyon koşullarında icra edilmiştir. Gizli ısı depolamalı deneylerde; FDM’li kollektör, bal petekli FDM’li kollektör ve konvansiyonel dūz yutucu plakalı kollektör olmak ũzere ũ kollektör eř zamanlı olarak test edilmiştir. Benzer olarak, duyulur ısı depolamalı deneylerde; kiraz çekirdek tozlu kollektör, kiraz çekirdekli kollektör ve konvansiyonel dūz yutucu plakalı kollektör olmak ũzere ũ kollektör eř zamanlı olarak test edilmiştir. Konvansiyonel dūz yutucu plakalı kollektör karşılaştırma için kullanılmıştır. Zorlanmış konveksiyon deneyleri 0.008 ile 0.048 kg/s arasındaki debi değerlerinde yapılmıştır. Gizli ısı depolama kapsamında FDM kullanılan kollektörler ANSYS Fluent programıyla nūmerik olarak modellenmiştir. FDM ile kiraz çekirdek tozunun beraber kullanımına ilişkin çeşitli karışım oranlarına sahip numuneler Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) testine tabi tutulmuştur. Termal performans testleri doğal ve cebri konveksiyonda açık hava koşullarında eşzamanlı olarak MCBÜ Akhisar MYO yerleşkesinde 2017 yazında Ađustos ve Eylöl aylarında gerçekleştirilmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Güneş Enerjisi ve Potansiyeli

Gelişen endüstri, artan nüfus ve yüksek hayat standartları sonucu Türkiye’de ve dünyada enerji tüketimi her geçen gün daha da artmaktadır. Çeşitli enerji kaynaklarına sahip olan Türkiye’de her geçen yıl enerji tüketimi ile üretimi arasındaki fark büyümektedir. Bu aradaki farkı azaltabilmenin en iyi yolu mevcut yerli, doğal ve yenilenebilir kaynaklardan en iyi şekilde yararlanmaktır. Güneş enerjisinin termal odaklı enerji şekline dönüştürülmesi üzerine yapılacak çalışmaların yaygınlaşması giderek artan enerji açığının azaltılmasında önemli bir etken olabilir. Türkiye’de üretilen enerjinin yerli, yenilenebilir ve temiz olması çok büyük avantaj sağlayacaktır. Konut ısıtması, sebze ve meyve kurutulması ve seracılık gibi geniş uygulama alanlarında güneş enerjisi etkili bir kullanıma sahiptir. Güneş dünyaya sonsuz şekilde enerji veren ve canlılara yaşam sunan bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin bu kadar değerli ve üstün bir enerji olmasına karşın enerji üretiminde genel uygulamalarının sayısı azdır. Bunun çeşitli sebepleri bulunmaktadır. Güneşten yararlanabilmek için büyük yüzeylere ihtiyaç duyulmakta olup güneş enerjisinin depolanması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır ancak depolama imkânları kısıtlıdır. Özellikle kış aylarında ihtiyaç duyulan güneş ışınımı oldukça azalmaktadır. Güneş ışınımından tamamen yararlanabilmek için gölge yapması gibi olumsuz yönde etki eden çevresel faktörlerin bulunmaması gerekmektedir. Ayrıca güneş enerji tesislerinin ilk yatırım maliyeti fazla olabilmektedir. Güneş ışınımından yararlanma konusunda fotovoltaik ve termal olmak üzere iki çeşit uygulama bulunmaktadır. Şekil 2.1.’de güneş enerjisinin termal ve fotovoltaik kullanım resimleri verilmiştir [5]. Bu iki uygulama yönteminin kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, birbirlerinin dezavantajlarını avantaja dönüştüren termal kollektör ve fotovoltaik panelleri birlikte kullanan sistemler tasarlanmaktadır.

Güneş enerjisinin kullanım alanlarını aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

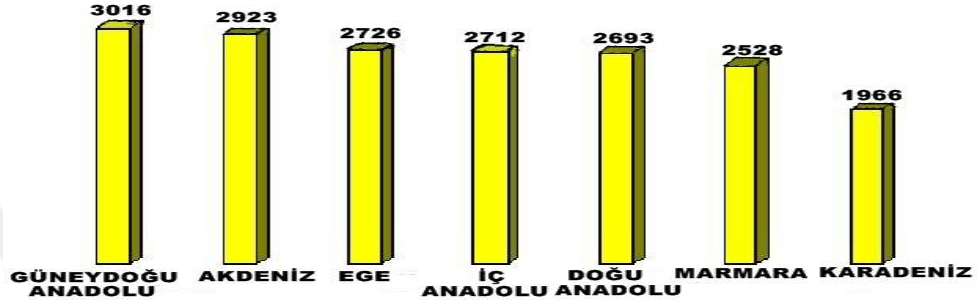
- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| - Mahal (Bina) ısıtma | - Tarım ürünleri kurutma |
| - Soğutma | - Sıcak su elde etme |
| - Güneş fırınları | - Buhar üretimi |



Şekil 2.1. Güneş enerjisinin termal ve fotovoltaik uygulama görselleri [5]

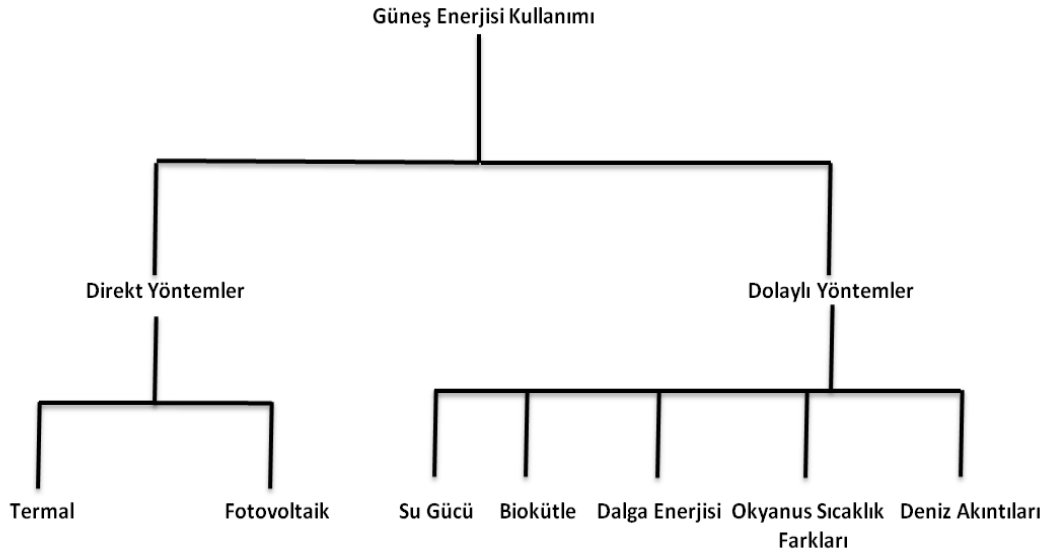
Türkiye, konumu itibariyle güneş enerjisi bolca alabilmesi nedeniyle oldukça şanslı olduğu söylenebilir. Güneş enerjisi uygulamalarında potansiyeli belirleyebilmek için güneş ışınım şiddetinin ölçülmesi önem arz etmektedir. Atmosferde bulunan tabakalar güneşten gelen ultraviyole ışınların büyük kısmını emmekte ve yeryüzüne ulaşmasını engellemektedir. Böylece güneşin yakıcı etkisini de yok etmektedir. Fizibilite çalışmaları kapsamında iklim ve güneş ışınım verileri uygulamanın geleceğini belirlemektedir. Güneş ışınım şiddeti pıranometre, solarimetre, aktinograflarla ölçülür. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri arasında güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge 3016 saat ile Güneydoğu Anadolu bölgesiyken, bunu sırasıyla Akdeniz (2923 saat), Ege (2726 saat), İç Anadolu (2712 saat), Doğu Anadolu (2693 saat), Marmara (2528 saat) bölgeleri izlemekte ve en düşük değer olan 1966 saat ile Karadeniz Bölgesi son sırada yer almaktadır. Türkiye'de güneş enerjisinden sıcak su üreten sistemler yaygın olarak daha çok Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde bulunmaktadır. Şekil 2.2.'de Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri verilmiştir [6].

Dünya’da Almanya, Hollanda, Danimarka, Avusturya, İsveç gibi ülkelerde güneşlenme süresi bakımından zengin olmamalarına rağmen hükümetlerin sağlamış oldukları teşvikler sayesinde güneş enerjisinden faydalanma günümüzde iyice yaygınlaşmıştır. Almanya, Danimarka, İsveç, Hollanda gibi ülkeler, coğrafi konumları itibriyle güneş ışınımını Türkiye’nin üçte biri oranında alabilmektedirler. Buna rağmen enerji ihtiyacının bir kısmını güneşten karşılayarak güneşten etkin bir biçimde yararlanmayı başarı ile uygulamaktadırlar [6].



Şekil 2.2. Türkiye’de bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri (saat) [6].

GEHIK’lar ortam ısıtmasında, sanayide çeşitli proses ısıtması ve tarım ürünlerinin kurutulması gibi genel termal uygulamalarda kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanları ile ilgili sınıflandırma Şekil 2.3.’te gösterilmiştir.

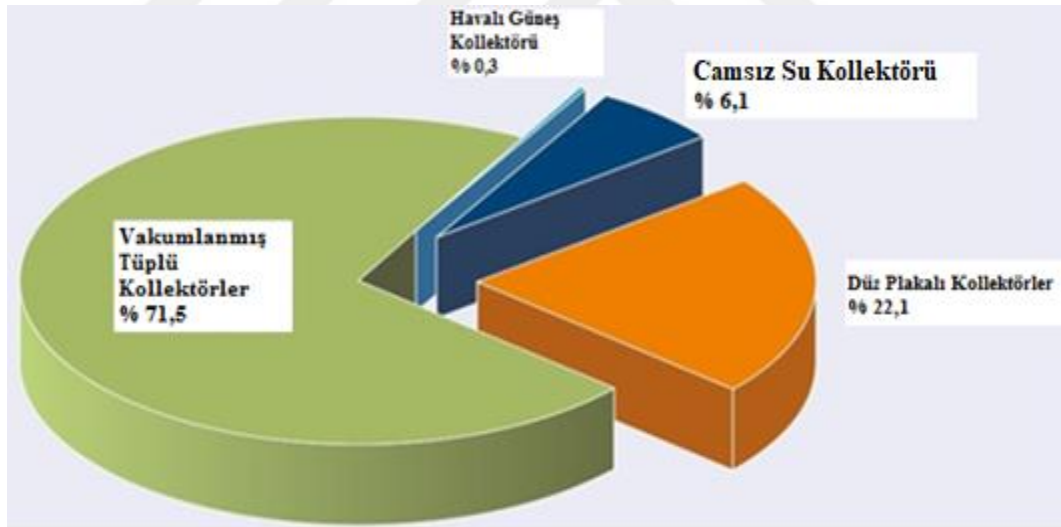


Şekil 2.3. Güneş enerjisi kullanım alanları

Avrupa birliğinin 2020 hedefleri arasında enerji kaynaklı salınan karbondioksitin neden olduğu sera gazı etkisinin azaltılması yer almaktadır. Bu bağlamda, karbondioksit salınımını %20 azaltmak, enerji verimliliğini kullanarak enerji ihtiyacını %20 azaltmak ve yenilenebilir enerjinin toplam enerji üretimindeki payını %20'ye çıkartmak amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, yenilenebilir enerjinin payının artırımında endüstriye göre düşük enerji ihtiyacı olan evlerin çatıları önemli bir katkı sağlayabilir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının verimlerinde artışa gidilirse, bu durum yenilenebilir enerjinin payını daha da arttıracaktır.

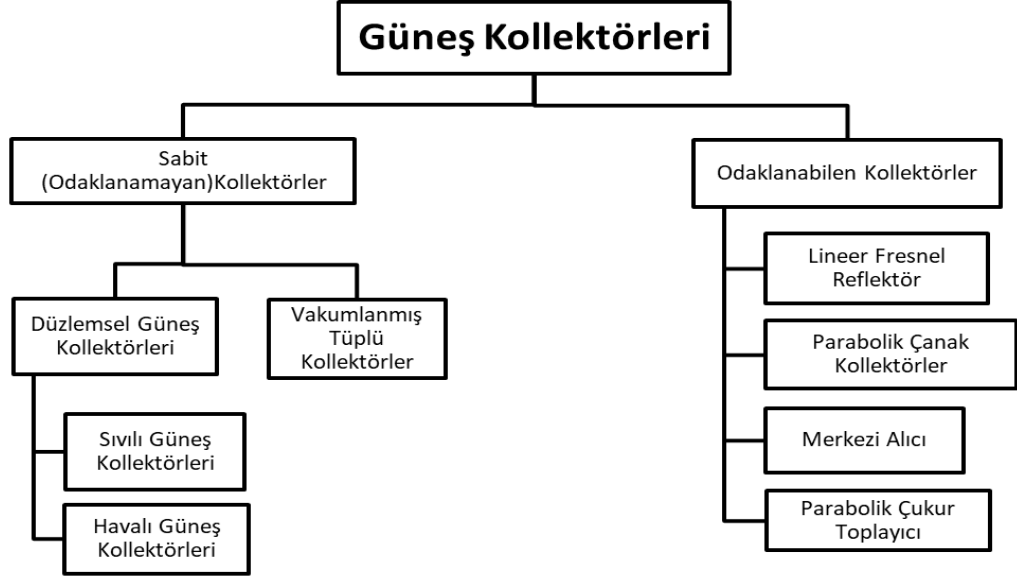
2.2. Güneş Kolektörleri ve Güneş Enerjisinin Termal Kullanımı

Güneş enerjisinden termal olarak yararlanabilmek için güneş kolektörleri kullanılmaktadır. Güneşin yansıttığı faydalı enerjiyi toplayarak, çeşitli akışkanlar vasıtasıyla taşıyan, depolayan ve ileten ısı değiştirgeçlerine güneş kolektörleri denilmektedir. Termal kolektörlerin tipine göre kullanım oranları Şekil 2.4.'de, sınıflandırması ise Şekil 2.5.'de verilmiştir [7].



Şekil 2.4. 2016 yılında termal kolektör tipine göre kullanım oranları [7]

Güneş kolektörlerinin yüzeyine gelen güneş ışınlarından bir kısmı yüzey tarafından tutulur ve kolektör içerisindeki akışkana doğru iletim ve taşınım ile ısı geçişi olurken, dış yüzeyden çevreye, yüzey sıcaklığına ve ısı taşınım katsayısına bağlı olarak taşınım ile ısı geçişi olur. Yutulan ışınım ile çevreye olan ısı kaybının farkı faydalanılan güneş enerjisidir ve ısıtılmak istenilen akışkana geçer [8].



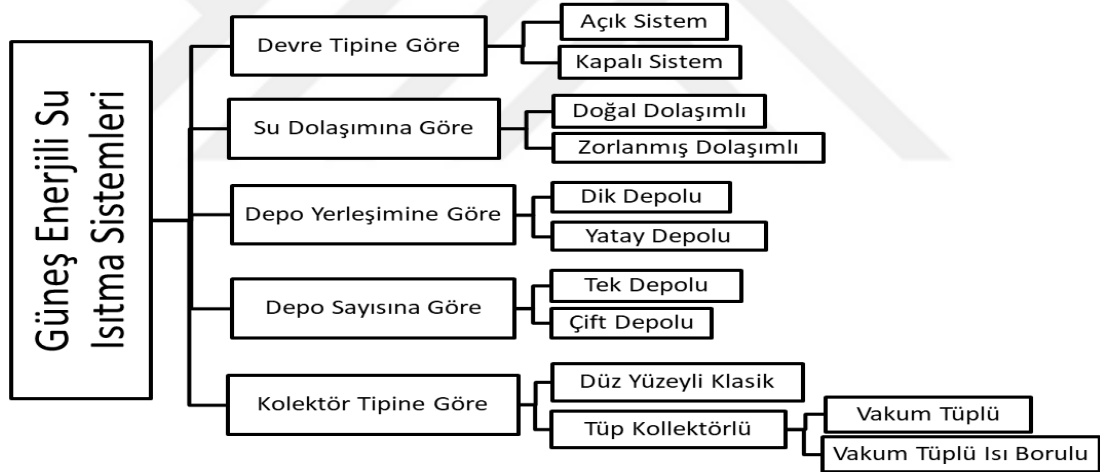
Şekil 2.5. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması

En basit anlamda güneş kolektörleri; güneş tarafından sağlanan enerjiyi toplayıp, çeşitli akışkanlar vasıtasıyla farklı bir ortama ileten ısı değiştirgeçlerinin özel bir çeşididir. Sabit ve odaklanabilen güneş kolektörleri olmak üzere temelde iki tip güneş kolektörü vardır. Bu kolektörler de kendi içerisinde sınıflara ayrılmıştır. Düz yüzeyli olan sabit güneş kolektörleri, güneş ışığını odaklamazlar. Odaklanabilen güneş kolektörleri genellikle iç bükey bir yüzeye sahiptir ve güneş ışınının merkezi, artan radyasyon değişimi sebebiyle çok küçük bir bölgede ışın radyasyonuna maruz kalır. Sadece direkt radyasyondan faydalanırlar ve yüksek sıcaklık temin edebilirler. Çalışabilmeleri için güneşi görmek zorundadırlar, bu nedenle odaklı kolektörler, güneşlenme yönünden zengin yörelerde, daha verimli olarak kullanılırlar [9].

Kollektör verimine etki eden faktörler:

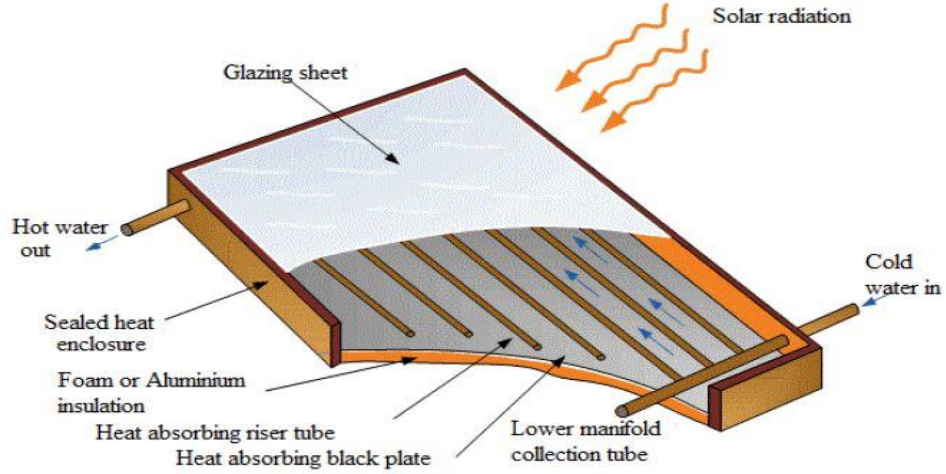
- Güneş Işınımı Şiddeti
- Çevre Sıcaklığı
- Rüzgâr Hızı
- Kollektörün Konstrüksiyonu
- Saydam Örtü (Cam) Özellikleri
- Yutucu Yüzeyin Kalınlığı ve Isı İletkenliği
- Yutucu Yüzeyin Işınım Yutma ve Yayma Değerleri
- Yalıtım Malzemesinin Cinsi, Kalınlığı ve Isı İletkenliği

Güneş kolektörlerinin en önemli kısmı absorber olarak adlandırılan yutucu plakadır. Kollektör içerisindeki yutucu plaka, topladığı ısı enerjisini temas ettiği akışkana vererek akışkanın sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı olan akışkan ise gerekli yerlerde kullanılır. Sabit (odaklanamayan) kolektörlerde, düzlemsel güneş kolektörleri genellikle sabit pozisyonadadır ve güneşi izlemezler. Bunlar ekvatora doğru direkt olarak, kuzey yarımkürede güneye doğru, güneyde kuzeye doğru yönlendirilirler. Düzlemsel güneş kolektörleri Şekil 2.5.'te görüldüğü gibi sıvılı ve havalı güneş kolektörleri olmak üzere kendi içinde iki tipe ayrılırlar. Türkiye’de termal kullanımın en yaygın şekli olan sıvılı güneş kolektörleri ile genel olarak sıcak su hazırlama sistemleri bulunmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri; ısı transferini sağlayan akışkan, kolektör, akışkan deposu, bağlantı ekipmanları ve diğer yardımcı elemanlardan oluşur. Sürekli gelişen teknoloji ışığında her geçen gün yeni sistem uygulamaları ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması Şekil 2.6.’da verilmiştir.



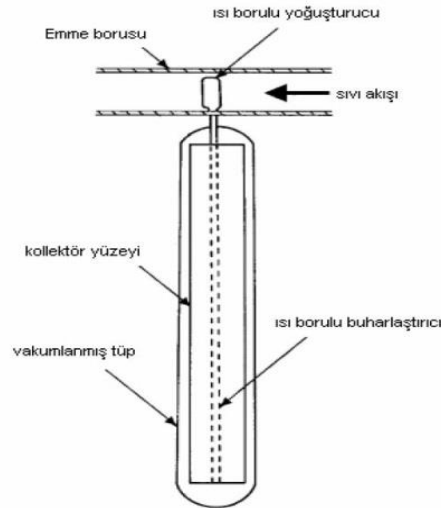
Şekil 2.6. Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin şematik olarak sınıflandırılması

Su ısıtma kolektörleri ticari olarak en yaygın kullanıma sahiptir. Çünkü suyun kolaylıkla bulunabilmesi ve ucuz olması tercih sebebidir. Dezavantaj olarak donma noktasının düşük olmasıdır. Ancak bu durum antifriz kullanımı ile engellenebilmektedir. Düzlemsel su ısıtma kolektörünün şematik resmi Şekil 2.7.’de verilmiştir [10].



Şekil 2.7. Düzlemsel su ısıtma kollektörünün şematik görünüşü [10]

Vakum tüplü termal güneş kollektörleri diğerlerinden farklıdır. Vakum tüplü kollektörler suyun tüplerin içinden dolaştığı ve tüpün içinde ısı borusunun yer aldığı olmak üzere iki tiptedir. Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörü Şekil 2.8.'de gösterildiği gibi vakumlanmış tüp içindeki bir ısı borusundan oluşmaktadır [9]. Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorber yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Çıkış sıcaklıkları daha yüksek olması sebebiyle kullanım alanları düzlemsel kollektörlerden daha fazladır.



Şekil 2.8. Vakumlanmış ısı borulu güneş kollektörünün görünüşü [9].

Odaklanabilen güneş kollektörleri, geniş bir alana gelen güneş radyasyonunu merkezleştirerek çok küçük bir bölge üzerine yoğunlaştırmak suretiyle sıcaklık

artıran cihazlardır. Stirling motorlu çanak tip kollektör resmi Şekil 2.9.'da, parabolik tip kollektör şematiği ise Şekil 2.10.'da verilmiştir [11,12].



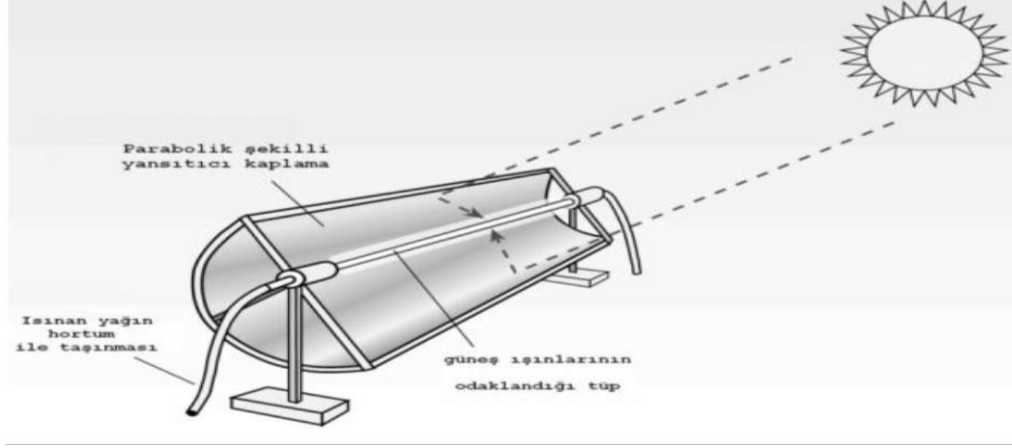
Şekil 2.9. Stirling motorlu çanak sistemi uygulaması [11]

Odaklı güneş kollektörlerinin avantajlarından bazıları [13];

- Çalışma akışkanı, düz plakalı sistemlerle karşılaştırıldığında, odaklayıcı sistemlerde daha yüksek sıcaklıklara sahiptir. Böylece daha yüksek termodinamik verim elde edilebilir.
- Toplayıcı bölgedeki küçük ısı kayıplarından dolayı ısı verim çok büyüktür.
- Yansıtıcı yüzeyler daha az malzemeye ihtiyaç duyarlar ve yapısal olarak düzlemsel kollektörlerden daha basittirler. Bir odaklayıcı kollektör için, güneş toplama yüzeyinin birim alan başına düşen maliyeti düzlemsel kollektörlere oranla çok daha azdır.
- Toplam birim güneş enerjisinin küçük alanlı toplayıcılarda toplaması, seçici yüzey davranışı, vakum yalıtımı ile ısı kayıplarının azaltılması ve kollektör etkinliğini artırması nedeniyle ekonomik olarak uygundur.

Odaklı güneş kollektörlerinin dezavantajları [9];

- İzleme sistemlerinin güneşi takip eden kollektörlere imkan tanınması gerekir.
- Güneş yansıtıcı yüzeyler zamanla yansıtıcılıklarını kaybedebilirler ve periyodik temizliğe ve bakıma ihtiyaç duyarlar.



Şekil 2.10. Odaklanabilen parabolik kolektörün şematik görünüşü [12]

Elde edilen sıcaklık derecelerine göre güneş enerjisi uygulamaları farklılık göstermektedir. İhtiyaca göre düşük, orta ve yüksek sıcaklık seviyesine uygun kullanımlar tercih edilebilir. Elde edilen sıcaklık derecelerine göre güneş enerjisi uygulamaları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Elde edilen sıcaklık derecelerine göre güneş enerjisi uygulamaları

Düşük Sıcaklık Uygulamaları (20-100 °C)	Orta Sıcaklık Uygulamaları (100-300 °C)	Yüksek Sıcaklık Uygulamaları (>300 °C)
Kullanım suyu elde edilmesinde (düzlemsel güneş kolektörleri), tarım ürünleri kurutulması, deniz suyunun arıtılması, tuz üretimi, güneş ocaklarında ve güneş havuzlarında kullanılır.	Genellikle vakumlu güneş kolektörü uygulamaları için geçerlidir.	Yüksek ısı gerektiren yerlerde, buhar ve elektrik üreten santrallerde, yoğunlaştırıcı sistemler ile üretilebilir.

Düşük Sıcaklık Uygulamaları;

- Kullanım sıcak suyu eldesi
- Bina ısıtılması-soğutulması
- Sera ısıtılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Yüzme havuzu ısıtılması
- Güneş ocakları ve fırınları
- Deniz suyundan tatlı su eldesi
- Tuz üretimi

- Sulama
- Toprak solarizasyonu
- Güneş pilleri (PV) sistemler

Orta Sıcaklık Uygulamaları

- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi ve elektrik üretimi
- Büyük ısıtma-soğutma sistemleri

Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

- Parabolik, çanak, fresnel ve merkezi alıcılarla elektrik üretimi

2.3. Güneş Enerjili Hava Isıtma Kollektörleri (GEHIK)

Havalı güneş kolektörlerinde; güneş ışınimleri yutucu plakada toplanarak, ısı transfer akışkanı olarak kullanılan havaya aktarılmasıyla ısı enerjisine dönüştürülür. Havalı kolektörlerde istenilen sıcaklığa ısıtılan hava doğrudan kullanılabilir veya güneşten yararlanılamayan zamanlarda enerji gereksinimini karşılamak üzere ısı enerjisi şeklinde depolanabilir [1]. Genellikle bir hava ısıtma sistemi, cam malzemedeki oluşan geçirgen tabaka, çeşitli geometrilerden oluşan yutucu plaka (absorber), yalıtımlı kasa ve termal depolama yapılacaksa depolama malzemesinin yerleştirileceği haznedeki oluşur. Isıyı, çalışma akışkanı olan havaya aktaran yutucu plaka sistemin en önemli kısmını oluşturur. Yutucu plaka absorbe ettiği ısıyı taşınımıyla ısı transferi yoluyla hava akışkanına aktarır. GEHIK'lar, sıvılı güneş kolektörlerindeki borulu absorber veya vakum tüplerin yerine hava kanalı bileşenlerine sahiptir. Düz plakalı GEHIK'lar, tasarım ile üretimdeki sadelik ve düşük maliyet sebebiyle en yaygın olarak kullanılan tiptir. Bunlar, mahal ısıtma ve tarımsal ürün kurutmasında uygulama alanları bulmaktadır. Hava, suya göre iyi bir ısı transfer akışkanı olmadığından havalı kolektörlerin verimi sıvılı kolektörlere oranla daha düşüktür. Kullanılan bu iki tip akışkanın termo fiziksel özelliklerinin farklılığından dolayı kolektörlerde avantaj ve dezavantajlar oluşmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.2' de verilmiştir.

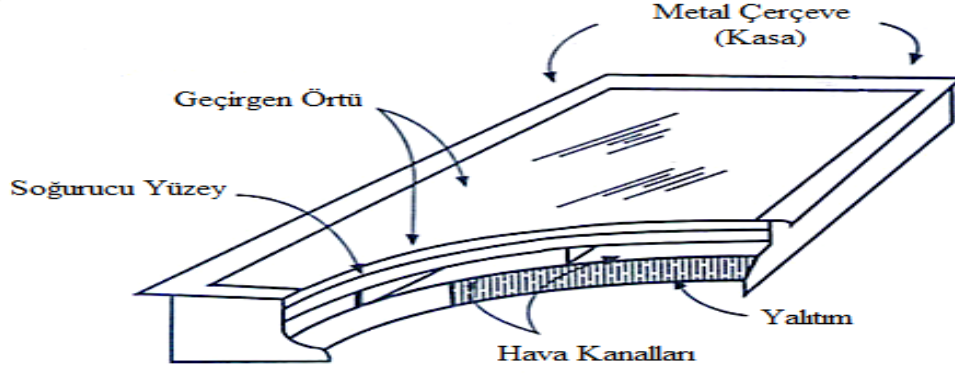
Tablo 2.2. Havalı güneş kolektörlerinin avantaj ve dezavantajları [1].

HAVALI KOLLEKTÖRLER	
AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none">• Donma problemi yoktur.• Basit ve güvenilirdir.• Kuru havada iç korozyon problemi yoktur.• Kaynama ve basınç problemi yoktur.• Hava sızıntılarının su sızıntıları gibi zararlı etkisi yoktur.	<ul style="list-style-type: none">• Hava iyi bir ısı transfer akışkanı değildir.• Hava debisinin artırılması için hava kanallarının boyutlarını artırmak gerekir.• Kanallar için geniş alana ihtiyaç vardır.• Sadece konut ısıtma ve kurutma sistemlerinde kullanılırlar.• Havalı kolektörlerin verimi, sıvılı kolektörlere oranla daha düşüktür.

En basit formda bir düzlemsel havalı güneş kolektörü, ısıyı soğurmak amacı ile siyah cisim gibi davranan düzlemsel bir plaka ve bu plaka üzerine yerleştirilen bir veya birkaç kat cam veya geçirgen örtüden meydana gelen yapıdır. Geçirgen örtü haricindeki tüm kolektör kısımları, enerji kayıplarını mümkün olduğu kadar azaltmak için, ısıl olarak iyi yalıtılmış olmalıdır. Kullanılan geçirgen örtü, atmosfere olan taşınım ve ışınım kayıplarını azaltırken, güneş ışınlarının içinden geçerek düzlemsel plaka ve geçirgen örtü arasında kalan hacimde tutulmasını veya siyah cisim tarafından soğurulmasını sağlar. Elde edilen ısı daha sonra, soğurucu yüzey ile geçirgen örtü arasına yerleştirilen bir kanal içerisinden geçmekte olan havaya aktarılır [15]. Şekil 2.11.'de Güneş enerjili hava ısıtma kolektörünün şematik görünüşü verilmiştir [16].

Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi hava ısıtmalı güneş kolektörleri genel anlamda dört ana kısımdan oluşur. Güneş enerjili hava ısıtma kolektörü kısımları;

- Kolektör geçirgen örtüsü,
- Yutucu plaka,
- Yutucu yüzey kaplamaları,
- Kolektör kasası ve yalıtımı.

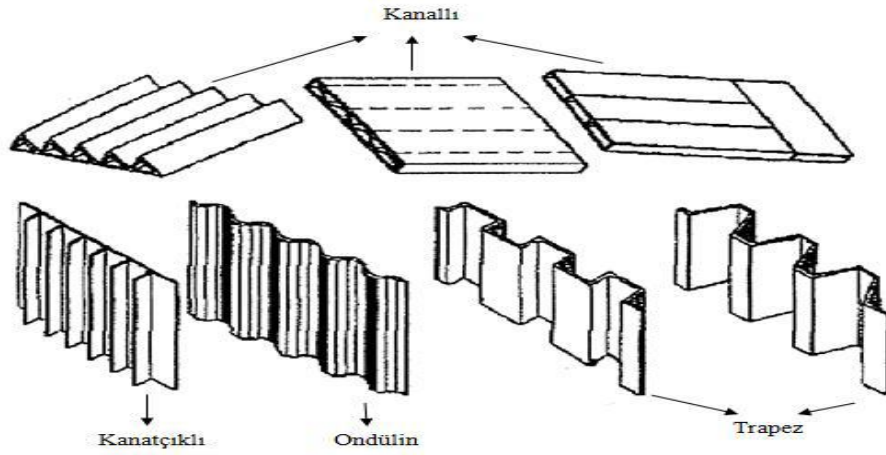


Şekil 2.11. Güneş enerjili hava ısıtma kollektörünün şematik görünüşü [16].

Ayrıca bu dört madde kollektör verimini de etkileyen en önemli faktörlerdir. Bunun yanında havalı kollektörlerde yutucu yüzey kanat geometrisi, kollektöre giren ve çıkan hava debisi, akış yolu, havanın giriş ve çıkış yeri, sıcaklığı ve şekli havalı kollektörlerin verimlerini etkileyen diğer faktörlerdir.

2.3.1. Güneş Kollektörlerinde Kullanılan Yutucu Plakalar

Yutucu plakalar, kollektöre gelen güneş ışınlarını emer. Bakır, alüminyum, paslanmaz çelik vb. ısı iletkenliği uygun herhangi bir malzemedен imal edilebilir. Yutucu plaka, güneş ışınlarını yutması için genel olarak siyah mat renge boyanır. Yutucu yüzeyin, her şeyden önce güneş ışınımını yutma oranının yüksek ve uzun dalga ışınım yayma oranının düşük olması gerekir. Işınımı absorbe ederek absorberin, ısıyı temas halindeki akışkana iyi bir şekilde iletmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler seçilir ve ısı geçişinin çabuk ve iyi olması için levhalar ince yapılır. Bunların yanında, imalat kolaylığı, elde edilebilme imkânları, kolay işlenebilirliği ve fiyatı da göz önüne alınmalıdır [17]. Hava ısıtmalı güneş kollektörlerine ait yutucu yüzey şekillerinden bazıları Şekil 2.12.'de verilmiştir.

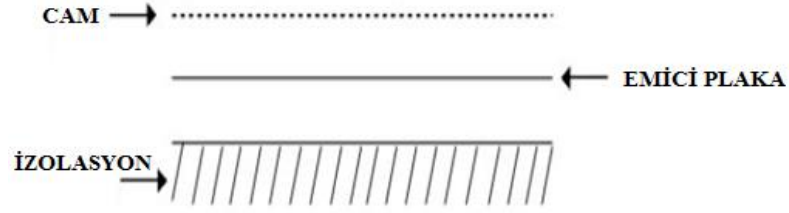


Şekil 2.12. Havalı kollektörlerin yutucu yüzey şekilleri [18].

İdeal bir yutucu yüzeyin şu özelliklere sahip olması beklenir.

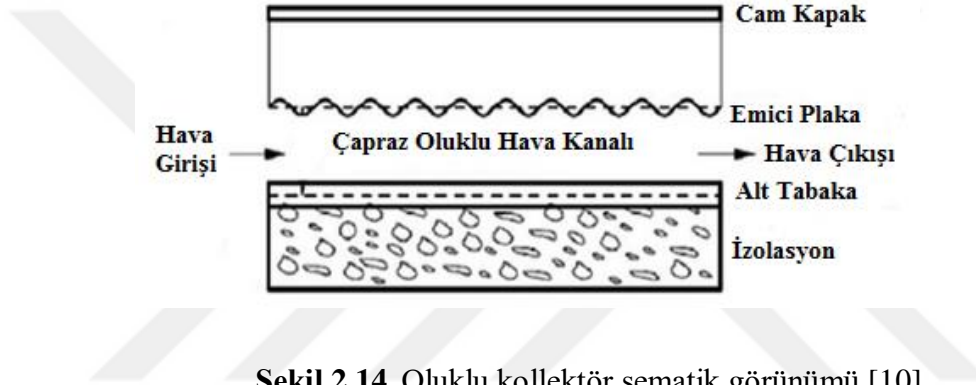
- Yutucu yüzeye gelen görünür ışınları (kısa dalga boyundaki ışınlar) yutma oranı yüksek, fakat yansıtma oranı çok düşük olmalıdır,
- Sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır,
- Dış ortama karşı uzun zaman sonra bile rengini korumalı veya soyulmamalıdır,
- İstenildiğinde kolay bir şekilde temizlenebilmelidir.

Havalı kollektörlerde, yutucu yüzey ile kollektörde kullanılan akışkan arasında taşınım ile ısı transferi düşük olduğundan kullanılan yutucu yüzey malzemesinin ısı transfer alanı büyük tutulmalıdır. Bu özellik sebebiyle yutulan ışınım miktarı artar [19]. Hava ve yutucu plaka arasındaki ısı transfer katsayısının düşük değeri, GEHIK'lar için düşük termal verimliliğe sebep olmaktadır. Çok sayıda araştırmacı, yutucu plaka ile hava arasındaki ısı transfer katsayısını arttırmak için kollektör tiplerinde farklı tasarımlar geliştirmişlerdir. Bu tasarımlar arasında yutucu plakada oluklu yüzey veya suni pürüzlülük kullanımı veya çeşitli geometrideki engellere sahip yüzeyler bulunmaktadır. Isı kayıplarını azaltmak amacıyla, birden fazla cam, petek konstrüksiyonu, çok geçişli hava akımı geçitleri ve seçici yüzeyli yutucu plaka kullanımı önerilmektedir. Basit düz kollektör, en basit ve en yaygın kullanılan kollektör türüdür. En basit haliyle, yalıtımla desteklenen düz bir plaka üzerinde bir, iki veya üç camdan oluşur. Hava akışının yolu, emici plakanın üstünde veya altında veya hem üstünde hem de altında olabilir. Şekil 2.13, 2.14 ve 2.15'de basit düz yutucu plakalı, oluklu ve finli kollektör şematik görünümü verilmiştir [13].



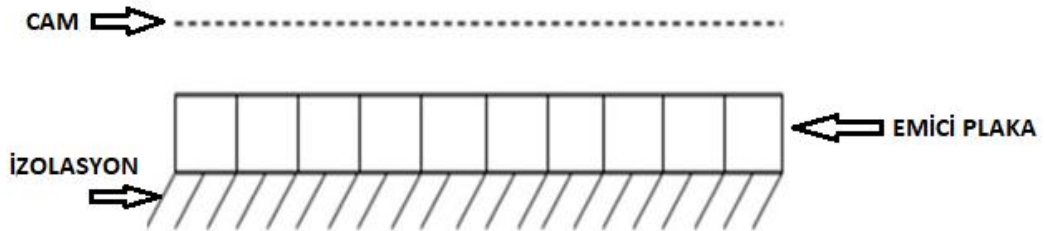
Şekil 2.13. Basit düz yutucu plakalı kollektör şematik görünümü [10]

Oluklu kollektör, basit düz plaka toplayıcı tasarımının bir başka çeşididir. Plaka üzerinde yuvarlak veya V şeklinde oluklar bulunmaktadır. Bu şekilde ısı transfer alanı artırılır ve emici yüzey hava yönlendirici olarak da kullanılabilir.



Şekil 2.14. Oluklu kollektör şematik görünümü [10]

Finli (kanatçıklı) kollektör, ısı transferinin yapıldığı basit düz plaka toplayıcısının bir başka çeşididir. Düz plakadaki emici yüzey üzerinde finler kullanılarak ısı transfer katsayı artırılır. Finler genellikle hava akış kanalında bulunurlar.



Şekil 2.15. Finli kollektör şematik görünümü [10]

2.3.2. Yutucu Yüzey Kaplamaları

Kollektörlerde kullanılan yüzeyler dört çeşittir. Bunlar;

- Siyah renkli yüzeyler,
- Seçici siyah kaplama,
- Yarı seçici siyah film ya da örtü,
- Siyah renkli plastik esaslı malzemelerdir.

Kollektör yüzeylerinde genellikle boya ya da kaplama şeklinde uygulamalar mevcuttur. Boya ile renklendirilen yüzeylerdeki boya kalınlığı ışınım yutma ve yayma oranları üzerinde oldukça etkilidir. Boya kalınlığı ortalama 20-30 mikrometre ölçüsündedir. Selektif yüzeyler; Işınım yutma/ışınım yayma oranının 4'ten büyük olduğu yüzeylerdir.

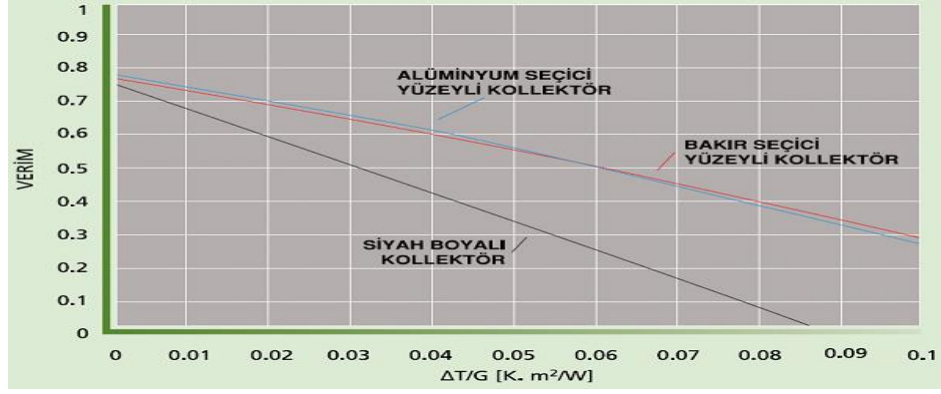
Yutucu plakalar bakır, alüminyum ve çelik malzemelerinden üretilmektedir. Bu malzemelerin üzerine siyah mat boya uygulanır ve bu şekilde film tabakası oluşur. Oluşan film tabakasının ideal kalınlık ölçü aralığı 1,2-2,5 mikron arasındadır. Bu değer ısı veriminin oluşmasında oldukça etkilidir. Siyah renkli mat yüzeylerin ışınım yutma ve ışınım geri yayma değerleri oldukça yüksektir. Çalışma sıcaklığı düşük olacak uygulamalarda seçici olmayan, fakat yüksek sıcaklık uygulamalarında seçici yüzeylerin verimleri daha yüksektir.

Seçici yüzey, kısa dalga boylu (0,2–2,5 μm) ışınımın tamamına yakını tutan, uzun dalga boylu (2,5–50 μm) ışınımın geri yayılımını en aza indiren yüzeydir. Böylece, emici plakanın sıcaklığı daha fazla arttırılarak, akışkana daha fazla ısı iletimi sağlanmış olur. Seçici yüzeyler sıcaklık yükselmesinde daha az ışınım geri yayarlar, dolayısıyla kollektör verimi daha yüksek olur. Şekil 2.16'da yutucu yüzeylere göre kollektör verimleri verilmiştir [20]. Yutma (α) ve geri yayma (ϵ) değerlerine göre emici yüzeyler şu şekilde sınıflandırılır:

Seçici olmayan yüzey: [$\alpha > 0,90$ ve $0,50 \leq \epsilon \leq 1,00$]

Yarı seçici yüzey: [$\alpha > 0,90$ ve $0,20 \leq \epsilon \leq 0,50$]

Seçici yüzey: [$\alpha > 0,90$ ve $0,00 \leq \epsilon \leq 0,20$]



Şekil 2.16. Yutucu yüzeylere göre kollektör verimleri [20]

Piyasada kollektörler yutucu plaka özelliğine göre isimlendirilirler. Bunlar; Galvaniz, Alüminyum, Bakır ve Selektif yüzeyli kolektörlerdir. Çeşitli malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayıları Tablo 2.3.'de, selektif yüzeyler ve siyah boyalı yüzeylerin teknik özellikleri Tablo 2.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Çeşitli malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletim katsayıları (W/mK)

Malzeme	Özelliği	Yoğunluk kg/m ³	Sıcaklık °C			
			20	100	200	400
Bakır	Ticari	8300	372			
Alüminyum	Saf	2702	237	302	237	240
Alüminyum	Alaşım 2024	2770	177	165	163	186
Çelik	Sade karbonlu	7854	60,5	58	56,7	48
Paslanmaz Çelik	302 kalite	8055	15,1	16	17,3	20
Paslanmaz Çelik	304 kalite	7900	14,9	12,6	16,6	19,8
Paslanmaz Çelik	316 kalite	8238	13,4	15,2	18,3	21,3

Tablo 2.4. Selektif yüzeyler ve siyah boyalı yüzeylerin teknik özellikleri

Kaplama	Alt tabaka	Işınım yutma oranı, α , %	Işınımı geri yama, ϵ , %	Çalışma sıcaklığı, °C	Neme karşı direnci
Siyah krom	Bakır	0,95-0,97	0,08-0,14	316	İyi
	Çelik	0,91-0,97	0,07-0,16	427	Zayıf
Nikel üzerine siyah krom	Bakır	0,90-0,95	0,09-0,15	427	Çok iyi
	Çelik	0,90-0,95	0,09-0,15	427	Çok iyi
	Alü	0,95	0,5	427	-
Siyah Nikel	Çelik	0,89-0,96	0,07-0,17		Değişken
Siyah bakır	Bakır	0,85-0,95	0,1-0,15	200	Zayıf
	Alü	0,81-0,93	0,11-0,17	200	-
	Nikel	0,81-0,93	0,11-0,17	200	-
Alü-oksit	-	0,85-0,95	0,11-0,34	900	Bilinmiyor
Demir oksit	Çelik	0,85	0,08	427	İyi
Mat siyah boya	Bakır	0,90-0,98	0,85-0,92	120-130	Zayıf
	Çelik	0,90-0,98	0,85-0,92	120-130	Zayıf
	Alü	0,90-0,98	0,85-0,92	120-130	Zayıf

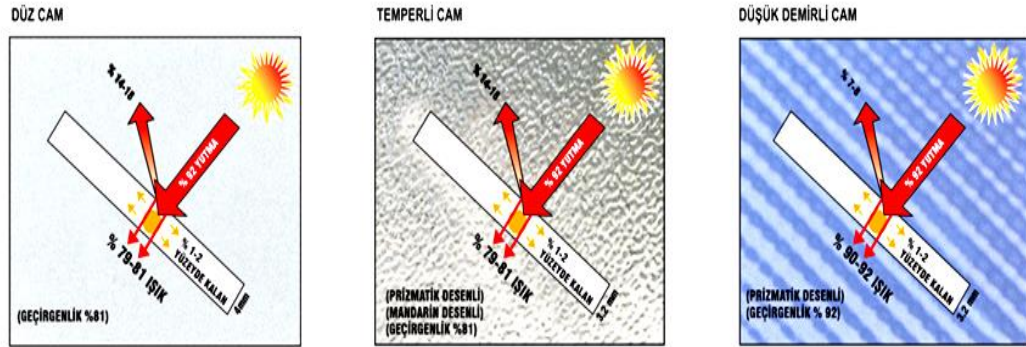
2.3.3 Kollektörün Geçirgen Örtüsü

Kollektörlerde kullanılan geçirgen örtüler, ısı kaybını engelleyen ve güneş ışınlarını en iyi şekilde geçiren malzemelerden imal edilmelidir. Geçirgen örtülerin kullanım amacı, çevre faktörü olan rüzgârın yutucu yüzey ile ortam arasındaki taşınım katsayısını olumsuz etkisini engellemektir. Aynı zamanda ısı kaybının da önlenmesi amaçlanmaktadır. Güneş ışınlarını geçirmesi ve yutucu plakadan yayılan ışınların geri yansıtılması konusunda cam oldukça uygun bir malzemedir. Pencere camının geçirme katsayısı 0,88'dir. Son zamanlarda özel olarak üretilen düşük demir oksitli camlarda bu değer 0,95 seviyesine ulaşmıştır. Bu tür cam kullanılması verimi artırmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerindeki en üst tabaka camdır. Enerji sisteminin verimliliğini camın özellikleri doğrudan etkilemektedir. Kullanılacağı coğrafi bölgeye göre cam seçimi yapılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde yüksek verim alabilmek için performansı yüksek olan camların kullanılması gerekmektedir. Temperli camlar bu sistemler için dış etkenlere karşı dayanıklı ve termal gerilimlere karşı dirençli camlardır. Güneş enerjisi sistemleri camları TS EN 12150-1/T1 no'lu cam yapılarda kullanılan ısıl olarak temperlenmiş soda kireç silikat emniyet camı standardına göre üretilmektedir. Güneş kollektörlerinde yağmur, kar gibi sebeplerden dolayı kollektör içine su girmesini önlemek için cam tutucu conta olarak UV

dayanımlı Epdm (Etilen Propilen Dien Monomer) kullanılmaktadır. Kollektörün köşe kısımlarında sızdırmazlığı önleyebilmek için cam contası kullanılmaktadır. Güneş kollektörlerinde ürün tipine bağlı olarak dört tip cam kullanılmaktadır. Bunlar;

- Düz pencere camı
- Temperli cam
- Düşük demir oksitli temperli cam
- Antirekaktif cam

Düz pencere camları %10 demir oksit içermektedir. Demir oksit cama mukavemet kazandırmakla birlikte camın güneş ışığını geçirme oranını düşürmektedir. Düşük demirli (su beyazı) camlarda demir oksit yerine, cama farklı maddeler ilave edilerek gerekli mukavemeti sağlamanın yanı sıra güneş ışığı geçirgenliği % 92'ye çıkmaktadır. Su beyazı-düşük demirli camda demir oranı % 0,15 civarındadır. Normal pencere camları, standart imalat işlemlerinin dışında ekstra olarak temperleme işlemine tabi tutulduğunda, mukavemeti artmakta ve kırılgenliği azalmaktadır. Temperli camların ışık geçirgenlik oranı, normal pencere camları ile aynıdır. Şekil 2.17.'de cam geçirgenliği şematikleri verilmiştir [20].



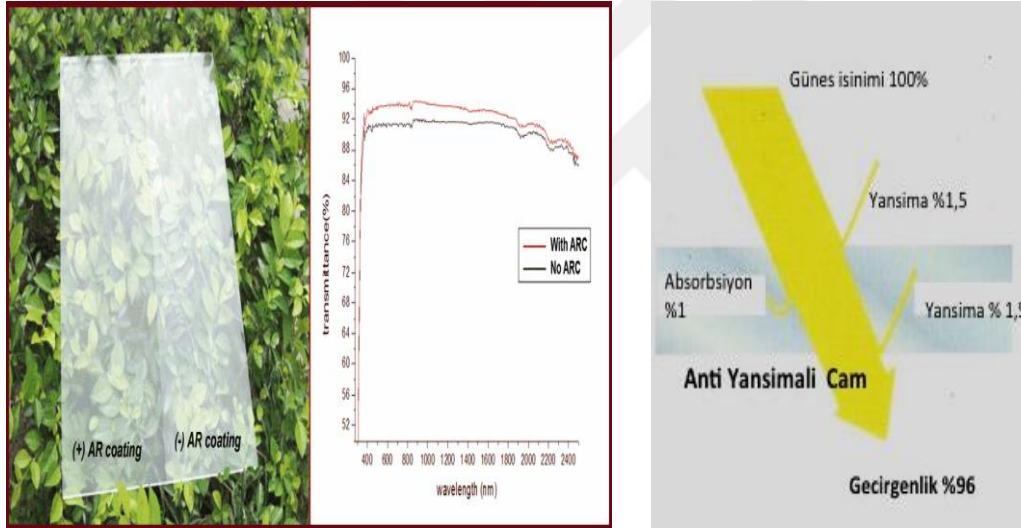
Şekil 2.17. Cam geçirgenliği [20]

Güneş ışığı ve ısı geçirgenlik oranları düşük demirli, yüksek performanslı cama kıyasla daha düşük olmasına rağmen hava koşullarının elverişli olduğu bazı pazarlarda normal demirli temperli düz cam tercih edilmektedir. Tablo 2.5.'de örnek olarak Durasol F kollektör camının teknik özellikleri verilmiştir [20].

Tablo 2.5. Durasol F kollektör camının teknik özellikleri [20]

Performans ve Özellikler	Açıklama
Kalınlık	3,2 mm & 4 mm
Kalınlık Toleransı	$\pm 0,2$ mm
Yoğunluk	2,5 gr/cm ³
Yüzey İşleme	Desenli
Kenar İşleme	Rodaj/Çapak
Temper Bilgisi	Temperli/Tempersiz
Isı Dayanımı	250 °C

Anti reflekte (AR) kaplama, cam yüzeyinden ışık yansıtıcılığını azaltan özel bir kaplamadır. AR kaplama cam yüzeyinin yansıtıcılığını azaltır. Bu uygulama camın güneş geçirgenliğini artırarak PV modül ve güneş kollektörlerinde performans artışı sağlar. Şekil 2.18.'de AR cam resmi ve geçirgenliği verilmiştir [20].



Şekil 2.18. Anti reflektif cam verimi [20]

2.3.4. Kollektör Kasası ve Yalıtımı

Kollektörlerinde ısı yalıtımı, kollektör verimini önemli ölçüde etkileyebilir. Isı kayıplarını minimum seviyeye getirip verimi artırmak için yutucu yüzey ile kollektör kasası arasının yalıtılması gerekmektedir. Benzer şekilde kasanın yan yüzeyleri de yalıtılmalıdır. Absorber plakanın 150 °C'ye kadar ısınması nedeniyle yalıtım malzemesinin ısıya dayanıklı olması gerekmektedir. Isı iletim katsayıları düşük ve soğuk yalıtım malzemesi olarak bilinen poliüretan kökenli yalıtım malzemeleri tek başına kullanılmamalıdır. Bu tür yalıtım malzemeleri, absorber plakaya bakan tarafı

sıcak yalıtım malzemesi ile takviye edilerek kullanılmalıdır. Kollektör izolasyonunda genellikle camyünü, taşıyünü ve poliüretan izolasyon kullanılmaktadır.

Güneş kollektörlerinin ısı yalıtım uygulamalarında kollektör şilte ve levhaları birlikte kullanılmaktadır. Yutucu yüzeyden gövde içine doğru ışımaya ile meydana gelen ısı kayıplarını önlemek ve seçici yüzeye geri yansıtma amacı ile alüminyum folyo kaplı camyünü levhaları kullanmak da mümkündür. Uygulamada kasa yüksekliğinin izin vermesi durumunda soğurucu yüzey ile alt yüzey yalıtımı arasında 10-20 mm boşluk bırakılmalıdır. Havalandırma amacıyla kollektörün yağmur girmeyecek bölgelerine 2-3 mm çapında delikler açılmalıdır. Bu delikler sayesinde su buharının geceleri camda yoğuşması önlenecek ve kollektörün verimsiz çalışması engellenecektir. Şekil 2.19.'da kollektör şilte ve levhası ve özellikleri, Tablo 2.6'da ise ısı yalıtımında kullanılan malzemeler ve özellikleri verilmiştir [20].

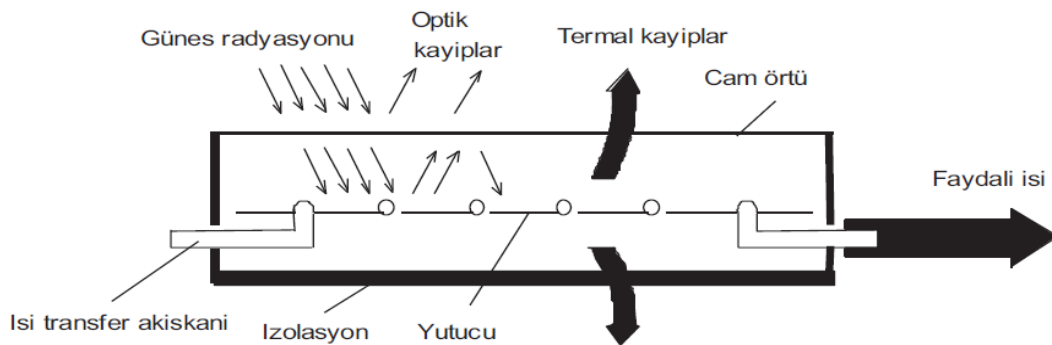


Şekil 2.19. Kollektör şilte ve levhası ve teknik özellikleri [20]

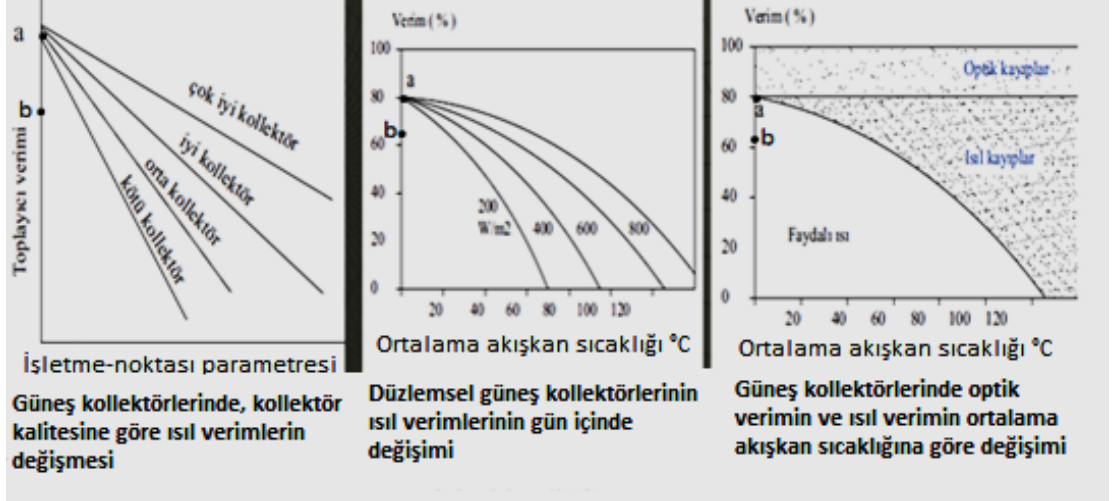
Tablo 2.6. Isı yalıtım malzemeleri ve özellikleri [20]

Yalıtım malzemesi	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Maksimum çalışma sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)
Cam yünü	0,034	250	15-120
Taş yünü	0,036	650-1050	
Polistren köpük	0,029	70-80	20
Poliüretan köpük	0,023	104	35-45
PVC	0,035	100-130	40-80
Kalsiyum silikat	0,055	650	
Perlit	0,048	820	
Isocyanurate	0,025	121	
Fenolik köpük	0,033	135	
Gözenekli plastik	0,040	100	

Geleneksel bir güneş kolektörünün ısı dengesi dikkate alındığında gelen ışınımına karşın akışkana aktarılan enerji yani faydalı ısı ve optik-termal kayıplar söz konusudur. Şekil 2.20.'de kolektör ısı dengesinin şematığı verilmiştir [20]. Düzlemsel güneş kolektörlerinin yapıldığı malzeme ve kalitesi ne olursa olsun, Şekil 2.21.'de görüldüğü gibi "a" noktası olarak isimlendirilen ve güneş kolektörlerin çalışması esnasında sadece sabah saatlerinde kısa bir süre için ulaşılabilen "Optik Verimleri" hemen hemen aynıdır. Kalitesiz kolektörlerde, kolektördeki akışkanın ısınması ile ısı veriminin büyük oranda azaldığı görülmektedir. Kaliteli kolektörlerdeki ısı veriminin azalması, kalitesizlere göre çok az olmaktadır. Kolektör verimlerinin düşmesinin en önemli sebebi; kolektörlerde kullanılan camların düşük ışınım geçirgenliğidir. Kaliteli kolektörlerde ışınım geçirgenliği % 90–92 civarında ve kalitesiz camlarda ise % 75–80 civarındadır. Camlardan kaynaklanan bu kayıplar optik kayıplar olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.20. Kolektör ısı dengesi gösterimi [20]

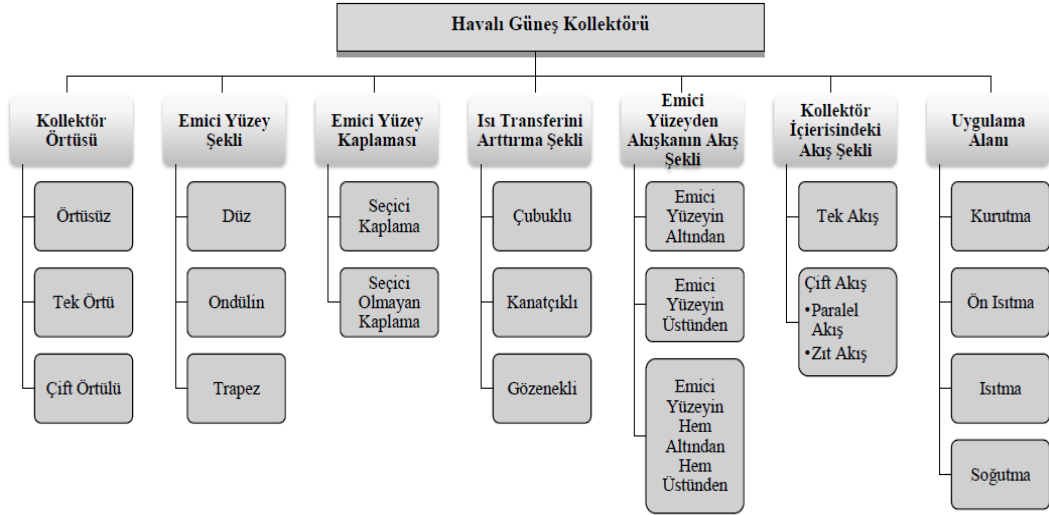


Şekil 2.21. Kolektör ısı verim gösterimleri [20]

Kolektör sayısının hesabında, kolektör verimi olarak optik verim yerine, Şekil 2.21.'de "b" noktası olarak adlandırılan günlük ortalama verim değerinin dikkate alınması gereklidir. Şekilde optik verim ("a") ve günlük ortalama ısı verim ("b") noktaları görülmektedir. Günlük ortalama verimin, optik verimden oldukça düşük olduğu diyagramdan da anlaşılmaktadır. Yutucu plakanın imal edildiği malzemeye göre ısı verim karşılaştırması Tablo 2.7.'de, hava kolektörü seçim parametreleri Şekil 2.22.'de verilmiştir [20, 21].

Tablo 2.7. Yutucu plaka tipine göre ortalama ısı verimleri [20]

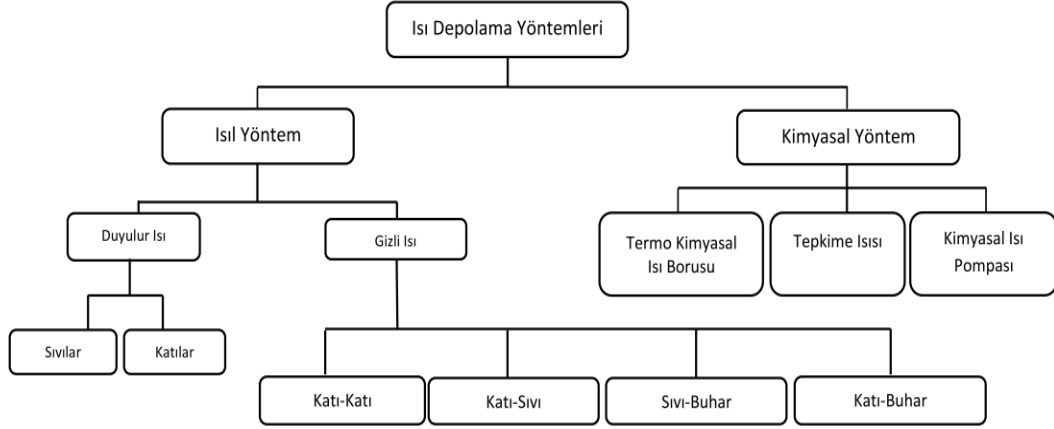
Panel tipi	Ort. Isıl verim %
Bakır levha üzerine siyah krom kaplama	70 - 74
Alüminyum levha üzerine siyah krom kaplama	63 - 65
Bakır levha üzerine siyah boyalı	63 - 65
Alüminyum üzerine siyah boyalı	50 - 54
Galvaniz sac levha üzerine siyah boyalı	35 - 45



Şekil 2.22. Havalı güneş kollektörü tasarım parametreleri [21].

2.4 Güneş Enerjisi İle Isı Depolama

Alternatif enerji kaynakları ve çeşitli ısı yalıtım uygulamaları gibi enerji odaklı çalışmaların yanında, elde edilen enerjinin depolanması da enerji başlığının önemli konularından bir tanesidir. Güneş enerjisinin sağladığı ısıdan sürekli olarak yararlanabilmek için çeşitli ısı depolama yöntemleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Güneş enerjisi sürekli yararlanabilen bir enerji türü değildir bu sebeple güneş enerjisinin en verimli olduğu zaman dilimlerinde maksimum şekilde depolanması gerekmektedir. Bu ısı depolama yöntemleri malzeme özellikleri ve farklı uygulamaları açısından çeşitlilik gösterebilir. Depolanan enerjinin deşarj işlemi kullanıcının belirlemesine bağlı olarak ya direk ya da yardımcı bir ısı kaynağı olarak sisteme aktarılabilir. Şekil 2.23.'de ısı depolama yöntemleri verilmiştir [22]. Isı depolama sistemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunabilir.



Şekil 2.23. Isı depolama yöntemleri [22]

Isı enerjisinin depolama işlemi genellikle gizli, duyulur ve termokimyasal ısı depolama şeklinde üç yöntem ile yapılmaktadır. Bu yöntemler hacimsel olarak depolayabildikleri enerji miktarı bakımından bu şekilde sınıflandırılmıştır. Depo malzemesinin iç enerjisinin değişimi sonucunda duyulur, gizli veya bunların birleşimi şeklinde sınıflandırma yapılır. Genelde, birim hacimdeki iç enerji değişimi fazla olan malzemenin kullanılması, gereken ısı miktarını depolama hacmini küçülteceğinden dolayı tercih edilmektedir.

Isı depolama sistemlerinin avantajları şu şekilde açıklanabilir:

- Enerji üretim miktarını artırır; enerji verimliliğini de artırarak ve şebekeyi destekleyebilir.
- Kojenerasyon santrallerin performanslarını arttırmada kullanılır.
- Sistemin istikrarlı bir şekilde çalışmasını sağlar.
- Var olan sistemlere eklenebilir, atılan ısının geri kullanılmasına olanak sağlar.
- Yenilenebilir enerjiden faydalanılmasını sağlar [22].

Enerjinin depolanması, fosil enerji kaynaklarının azalmaya başladığı günümüzde daha da önemli bir hale gelmiştir. Enerji ile ilgili yapılan araştırmaların çoğu, elde edilecek enerjinin daha verimli kullanımı ve uygun muhafazası üzerine yoğunlaşmıştır. Güneş enerjisi uygulamalarında ısı depolaması, gizli ve duyulur ısı depolama olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

2.4.1 Güneş Enerjisi Uygulamalarında Duyulur Isı Depolama

Faz değişiminin olmadığı, maddenin sıcaklığının artması ve azalmasıyla ortaya çıkan enerjiye duyulur ısı denir. Depolama malzemesinin sıcaklığının artmasıyla gerçekleşen enerji depolama yöntemine duyulur ısı depolama denir.

Çeşitli fazlarda duyulur ısı depolama gerçekleştirilmektedir. Ancak gaz fazında ısı depolama, gazın yüksek basınç artışı nedeniyle tercih edilmemektedir. Birim kütledeki duyulur ısı miktarı ile gizli ısı miktarı birbirinden farklılık göstermektedir. Duyulur ısıda maddenin özgül ısısı, gizli ısıda ise erime veya buharlaşma ısısı etkilidir. Duyulur ısı depolama malzemelerinin (su, hava, yağ, tuğla, taş, toprak vb.) birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

Duyulur ısı depolama yönteminde, depolanan ısının hesaplanabilmesi için kullanılan denklemler aşağıda ifade edilmiştir.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (\Delta T) \quad 2.1$$

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot (\Delta T) \quad 2.2$$

Burada c_p malzemenin özgül ısısı, ΔT sıcaklık farkı, V tankın hacmi, ρ malzemenin yoğunluğudur.

Isının şarjı ve deşarjı sırasında sıcaklık değişiminin ve depo boyutunun büyük olması duyulur ısı depolama sistemlerinin iki temel dezavantajıdır. Yüksek sıcaklık değişimine izin veriliyorsa aynı oranda, depo boyutu küçültülmelidir. Bu ısı depolama şekli diğer sistemler ile kıyaslandığında depo boyutu oldukça büyüktür. Hem yüksek ısı kapasiteye hem de yüksek ısı yayılımına sahip malzeme kullanıldığında, depo boyutu küçültülebilir [23].

Isı depolama malzemesi olarak, sıcaklığı arttırıldığında duyulur ısı şeklinde ısı depolayan sıvı ve katı malzemeler kullanılır. Duyulur ısı depolama materyallerin birçoğunun fiyatı düşüktür ve piyasada bol miktarda bulunur. Bu yöntemde, ısının depo edilmesi ve geri kazanımı durumlarında, kullanılan malzemenin sıcaklığı değişir. Yaygın olarak ısı depolama ve geri kazanma çevriminin

gerçekleştirilebilmesi, duyulur ısı depolama yönteminin en çekici özelliklerinde birisidir [24].

Duyulur ısı depolamada, şarj ya da deşarj esnasında ortamın sıcaklığı değişir. Duyulur ısı depolanmasında, hacimsel özgül ısının büyük olması yanında, yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddenin uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini koruması, zehirli ve aşındırıcı olmaması istenir. Diğer yandan maddenin kolay bulunabilir ve pahalı olmaması gerekir. Pratikte temin edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle, daha çok su veya çakıl taşı tercih edilmektedir [1, 22].

Duyulur ısı depolama sistemlerinin en cazip özelliklerinden biri şarj ve deşarj işlemlerinin tersinir olmasıdır. Yani sistemin ekonomik ömrü boyunca bu maddelerin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri devam eder. Duyulur ısı depolama sistemlerinin kullanım sırasındaki genel problemlerinin önemli olanları aşağıda özetlenmiştir [22]:

- Isı depolama esnasında depolama sıcaklığı sürekli olarak arttığından sistemdeki ısı kayıpları fazladır.
- Sistemden ısı çekerken depolama sıcaklığı sürekli olarak düştüğünden ısı akış dağılımı oldukça küçüktür.
- Isı depolama işlemi, çevre sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda olmaktadır.

Bu ve benzeri sebeplerden dolayı sistemde iyi bir izolasyon gereklidir. Fakat bu da sistemin maliyetini artırmaktadır. Duyulur ısı depolama yöntemi, depolamanın yapıldığı ortama göre sınıflandırılmaktadır. Sıvı, katı ve ikili (karışık) ortamda depolama şeklinde sınıflandırılabilir.

2.4.1.1. Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama

Duyulur ısı depolama sistemlerinde ısı depolama materyali olarak kullanılan değişik sıvıların termo-fiziksel özellikleri Tablo 2.8'de verilmiştir [22]. Sıvı materyaller günümüz dünyasında bolca bulunduğundan temini kolay ve ekonomik olmaktadır.

Sıvı materyal olarak su, güneş enerjisinin duyulur ısı olarak depolanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [25]. Bunun nedeni ucuz ve bol olmasındandır.

Tablo 2.8. Duyulur ısı depolama için sıvı materyaller [22]

Sıvı Materyaller	Sıcaklık Aralığı	Yoğunluk kg/m ³	Isı Kapasitesi (J/kg°C)	Isıl İletkenlik W/m °C
Su	0-100	1000	4190	0,63 (38 °C)
Su-Etilen Glikol (%50)	-	1050	3479	-
Caloria HT 43	(-10) - 315	-	2300	-
Dowterms A	12 - 260	867	2200	0,112 (260°C)
Therminol 55	(-18) - 315	-	2400	-
Therminol 66	(-9) - 343	750	2100	0,106
Etilen Glikol	-	1116	2382	0,249
Hitec	141 - 540	1680	1560	0,61
Draw	220 - 540	1733	1550	-
Lityum	180 - 1300	510	4190	0,57
Sodyum	100 - 760	960	1300	38,1
Etanol	78	790	2400	67,5
Propil Asit	97	800	2500	-
Bütanol	118	809	2400	-
Izobütanol	100	808	3000	-
Izopentanol	148	831	2200	-
Oktan	126	704	2400	-

Depolama materyali olarak su kullanmanın bazı avantajları aşağıda verilmiştir [22].

- Su ucuz ve kolay temin edilebilme özelliğine sahiptir,
- Zehirlenme ve alevlenme özelliği yoktur,
- Suyun fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri iyi bilinmektedir,
- Isı kapasitesi diğer sıvılardan yüksektir.
- Isıtma ve soğutma sistemleri için gerekli sıcaklık aralığında kararlı bir sıvı-buhar dengesine sahiptir.
- Isı geçişi ve akışkan dinamiği iyi bilinmektedir.
- Korozyon etkisini azaltan inhibitör teknolojisi gelişmiştir.
- Kullanırken kontrolü, ölçümü ve ayarlanması kolaydır.

Isı depolayıcı madde olarak su kullanmanın dezavantajları [22, 26]:

- Donduğu zaman genişlediğinden tedbir alınmalıdır. Kollektör döngüsünde bir ısı değiştirici ile birlikte bir antifriz maddesine gereksinim vardır.
- Korozyon yapıcı özelliğinden dolayı depo içerisine inhibitör ilave edilmelidir.
- Suda yüksek sıcaklıklarda enerji depolaması yapmak zordur.

Depolama tanklarında meydana gelen ısıl tabakalaşmanın üç avantajı vardır:

- Depolama tankının üst tarafından, ortalama depo sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta su alınabileceğinden kullanılabilirlik artar.
- Toplayıcı giriş suyunun sıcaklığı ortalama depo sıcaklığından daha düşük olduğundan toplama verimi daha iyidir.
- Tabakalaşmalı depolama tankının sıcaklığı ısı yükünün sıcaklığına göre daha düşük bir ortalama sıcaklık değerinde olacağından depodan çevreye olan ısı kayıpları azalacaktır.

2.4.1.2. Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama

Katı bir ortamda duyulur ısı depolama sistemi, ısı depolayıcı katı malzemenin tutulduğu büyük bir depo ve ısı transfer akışkanının (su, yağ, hava vb.) giriş ve çıkış kontrolünü sağlayan cihazlarından oluşmaktadır. Depoda, zamana bağlı bir sıcaklık değişiminin olması istenir. Duyulur ısı depolama maddeleri, depolama süresince faz değişimine uğramazlar ve belirli bir sıcaklık aralığında çalışırlar. Isı depolama malzemesinin, makul bir ısı depolama kabiliyetinin olması için, (ρc_p)'nin istenilen düzeyde olması gerekir. Suyun, yüksek ρc_p değeri vardır ve ucuzdur; fakat sıvı olduğu için katı depolayıcılara göre daha yüksek kalitedeki depolarda saklanmalıdır. Bazı yaygın ısı depolama materyalleri ve onların özellikleri Tablo 2.9'da gösterilmiştir [27].

Isı depolama uygulamalarının yararlı olması için, depolama malzemesi ucuz olmalı ve iyi bir ısıl kapasiteye sahip olmalıdır. Duyulur ısı depolamada başka bir önemli parametre ısının alınıp verilme oranıdır. Bu karakteristikler ısı geçişinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle, demir çoğu katı malzemelere göre daha iyi bir ısı depolama malzemesidir. Aynı zamanda demir yüksek ısı kapasitesi ve ısıl iletkenliğine sahiptir.

Kaya, maliyet açısından iyi bir termal depolama malzemesidir. Bazen de beton, düşük maliyet, kolay ve istenilen şekilde düzenlenmesinden dolayı seçilir. Fakat onun hacimsel termal kapasitesi suyunkinin sadece yarısıdır. Fakat kaya ile termal depolamanın, suya göre en önemli avantajı 100°C 'nin üzerinde ısı depolanması için kolayca kullanılabilmesi ve deponun sızdırma probleminin olmamasıdır [27].

Tablo 2.9. Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı katı maddeler [27]

Depolama Maddesi	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (J/kg.K)	Isı Kapasitesi $c \cdot 10^{-6}$ (J/m ³ K)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/m.K)	Isıl Yayılm Katsayısı (10 ⁻⁶ m ² /s)
Alüminyum	2707	896	2,4255	204 (20 °C'de)	84,10
Alüminyum Oksit	3900	840	3,2760	-	-
Alüminyum Sülfat	2710	750	2,0325	-	-
Tuğla	1698	840	1,4263	0,69 (29°C'de)	0,484
Beton	2240	1130	2,5310	0,9-1,3	0,35- 0,51
Dökme Demir	7900	837	6,6123	29,3	4,431
Saf Demir	7897	452	3,5694	73,0 (20°C'de)	20,45
Kalsiyum Klorür	2510	670	1,6817	-	-
Bakır	8954	383	3,4294	385 (20°C'de)	112,3
Toprak (Yaş)	1700	2093	3,5581	2,51	0,705
Toprak (Kuru)	1260	795	1,0017	0,25	0,250
Magnezyum Oksit	3570	960	3,4272	-	-
Potasyum Klorür	1980	670	1,3266	-	-
Potasyum Sülfat	2660	920	2,4472	-	-
Sodyum Karbonat	2510	1090	2,7359	-	-
Sodyum Klorür	2170	920	1,9964	-	-
Sodyum Sülfat	2700	920	2,4840	-	-
Granit	2640	820	2,1648	1,73-3,98	0,79- 1,84
Kumtaşı	2200	710	1,5620	1,83	0,56- 0,59
Mermer	2600	800	2,0800	2,07-2,94	1,72
Kiraz Çekirdeği	580*	9400**	5,45 (2,9-11**)	-	-

* Yığın yoğunluğu [28]

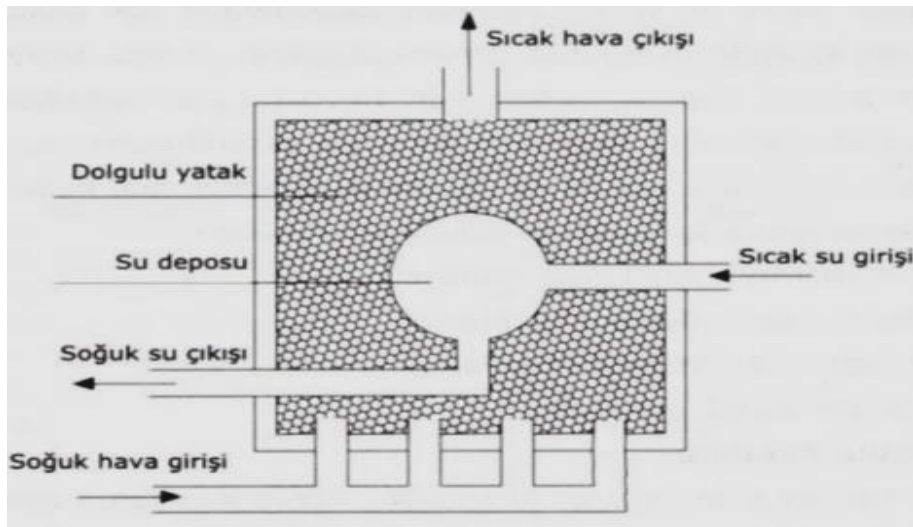
** 350-370 K arası zeytin, annona, şeftali, kiraz çekirdeği, fındık ve ceviz kabuğu için maksimum değerler [29]

Isı depolama uygulamalarının yararlı olması için, depolama malzemesi ucuz olmalı ve iyi bir ısı kapasiteye sahip olmalıdır. Duyulur ısı depolamada başka bir önemli parametre ısının alınıp verilme oranıdır. Bu karakteristikler ısı geçişinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle demir, çoğu katı malzemelere göre daha iyi bir ısı depolama malzemesidir ve aynı zamanda yüksek ısı kapasitesi ve ısı iletkenliğine sahiptir.

Kaya, maliyet açısından iyi bir termal depolama malzemesidir. Bazen de beton, düşük maliyet, kolay ve istenilen şekilde düzenlenmesinden dolayı seçilir. Fakat onun hacimsel termal kapasitesi suyunkinin sadece yarısıdır. Fakat kaya ile termal depolamanın, suya göre en önemli avantajı 100°C'nin üzerinde ısı depolanması için kolayca kullanılabilmesi ve deponun sızdırma probleminin olmamasıdır [27].

2.4.1.3. İkili Ortamda Duyulur Isı Depolama

İkili (karışık) ortamda duyulur ısı depolama sistemi, hem sıvı ortamda depolama hemde katı ortamda depolamanın birlikte kullanıldığı durumdur. Harry Thomason tarafından geliştirilen etrafı taş parçalarından oluşan malzemeye çevrelenmiş su tankından oluşan ikili ortamda ısı depolamanın güneş enerjisi depolama uygulamalarında kullanılmasına iyi bir örnektir. Bu sistem Şekil 2.24'deki gibidir ve şu şekilde çalışır; güneş kolektöründen gelen sıcak su, sağ taraftan tank içerisine girer. Sıcak su, sol taraftan ayrılarak tekrar güneş toplama alanına geri döner. Sıcak su depolama tankının etrafı, depolanan ısının kullanılacağı ortama iletilmesi için, içerisinde hava dolaşımı olan ve çakıl taşlarından oluşan dolguyla çevrelenmiştir. Bu tip ısı depolama sistemlerinin üstünlüğü, suyun depolama kapasitesinin yüksek olması ve iç kısımda bulunan su tankının, yüzey alanının geniş olmasıdır. Bu sebeple, ısı geçişinin ısı taşıyıcı akışkana olan hızı yüksektir [18].



Şekil 2.24. İkili (karışık) ortamda duyulur ısı depolanması [24]

2.4.2 Güneş Enerjisi Uygulamalarında Gizli Isı Depolama

Maddelerin faz değişimi esnasında, iç enerjilerindeki artış ile birlikte sabit sıcaklıkta faz değiştirerek ısı depolama olayıdır. Faz değiştiren malzemeler (FDM), duyulur ısı depolayan maddeler ile kıyaslandığında daha yüksek ısı depolama kapasitesine sahiptir. FDM'lerde sabit sıcaklıktaki faz değişiminden yararlanılarak büyük oranda enerji alışverişinin mümkündür. Bu yöntemin avantajlardan bir tanesi de, gizli ısı depolama malzemesinin faz değiştirmesi (donma-erime), sınırlı sıcaklık aralığında ve hemen hemen sabit basınçta gerçekleşmesidir. Ayrıca, FDM'lerin küçük sıcaklık değişimlerinden dolayı bir miktar duyulur ısı da depolanabilir. Fakat depolanan bu enerji, faz değişim gizli ısı yanında oldukça düşük kalır. Bu sistemler, çakıl taşı ve suya göre daha pahalı sistemlerdir [24].

Gizli ısı depolama yönteminin diğer uygulamalara göre bazı üstünlükleri şunlardır:

- Isı depolama kapasitesi oldukça yüksektir ve ısı deposu olarak kullanılacak bölümün hacmi oldukça küçüktür.
- FDM'nin birim hacimdeki ısı depolama yoğunluğu yüksektir.
- FDM'lerin erime sıcaklıkları, sabit sıcaklıkta ısı depolama ve ısıyı geri kazanmak için uygundur.
- Büyük ısı depolama sistemlerinde ekonomik olarak uygulanabilir [24].

Bu avantajlarının yanı sıra, ticari değeri yüksek olan inorganik maddeler açısından bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Uygulamalarda ihtiyaç duyulan sıcaklık aralıklarında kullanılacak inorganik FDM sayısı azdır.
- Uzun süre kullanımlarda istikrarlı yapılarını koruyamazlar. Sistemden en yüksek verimi alabilmek için çevrim sayısını azaltmak gerekebilmektedir.
- Kapsüllendiklerinde, çok yavaş da olsa çevresine madde salınımı yapmaktadır. Bu nedenle termal özelliklerinin değişmesi kaçınılmazdır [24].

Çok sayıda organik ve inorganik faz değiştiren malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler 0-140°C arasındaki çalışma alanlarında termodinamik ve kinetik

gereksinimi karşılar. Fakat birçok kimyasal denge sorunları, zehirlenme, aşınma, hacim değişimi ve uygun karşılığının değerli olması vs. gibi nedenler yüzünden kullanılamazlar [23].

Faz değiştiren maddeler üç ana gruba ayrılabilir.

- Tuz hidratlar
- Parafinler
- Parafin olmayan organikler

Ayrıca bu maddelerin birbiri ile oluşturdukları ötektik karışımlar da kullanılabilir. Gizli ısı depolama yönteminde depolama; katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Faz değişim ısısının, büyüklüğüne göre sıralanışı aşağıdaki gibidir [23];

- Katı↔Gaz
- Sıvı↔Gaz
- Katı↔Sıvı
- Katı↔Katı

Katı halden gaz haline geçmenin gizli ısısı, erime ve buharlaşmanın gizli ısılarının toplamı kadardır. Katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümleri, gizli ısıları en yüksek olmasına rağmen, gazların hacimlerinin büyük olmasından dolayı enerji depolama için genelde kullanılmazlar. Hacimdeki büyük değişimler, sistemi, büyük, karmaşık ve elverişsiz yapar [30].

Katı-sıvı dönüşümleri; katı-gaz ve sıvı-gaz dönüşümleriyle kıyaslandığında, daha küçük gizli ısıları vardır. Buna rağmen, bu dönüşümler hacimde küçük bir değişim (% 10 ya da daha az) meydana gelir. Dolayısıyla, faz değişimiyle enerji depolama işlemlerinde her yönüyle elverişlidirler. Katı-katı geçişlerinde ise madde bir kristal şekilden diğerine dönüşürken ısı depolanır. Bu geçişler genellikle küçük gizli ısılar ve küçük hacim değişimlerine sahiptirler [31].

2.4.2.1. Faz Değiştiren Maddeler

Bir malzemenin veya maddenin, gerek ısı alarak gerek ısı vererek moleküler düzeydeki yapısının düzenli bir yapı veya düzensiz bir yapıya dönüşmesi olayına faz

değişmesi denir. Faz değişmesi sırasında eğer madde saf ise ısı alıp-verme olayı izotermal olarak gerçekleşmektedir. FDM'lerin ısı depolamada kullanılması için maddenin hacminde ufak değişimler ve faz değişim esnasında FDM'den homojenlik istenmektedir [32].

Faz değişimi esnasında, maddeye verilen veya maddeden alınan ısı enerjisine 'Gizli ısı veya Faz değişim ısısı' adı verilir. Isı depolama uygulamalarında katı-sıvı dönüşümünde kullanılmak üzere birçok organik ve anorganik FDM'ler vardır [33].

FDM'lerin en çok kullanım alanları şunlardır;

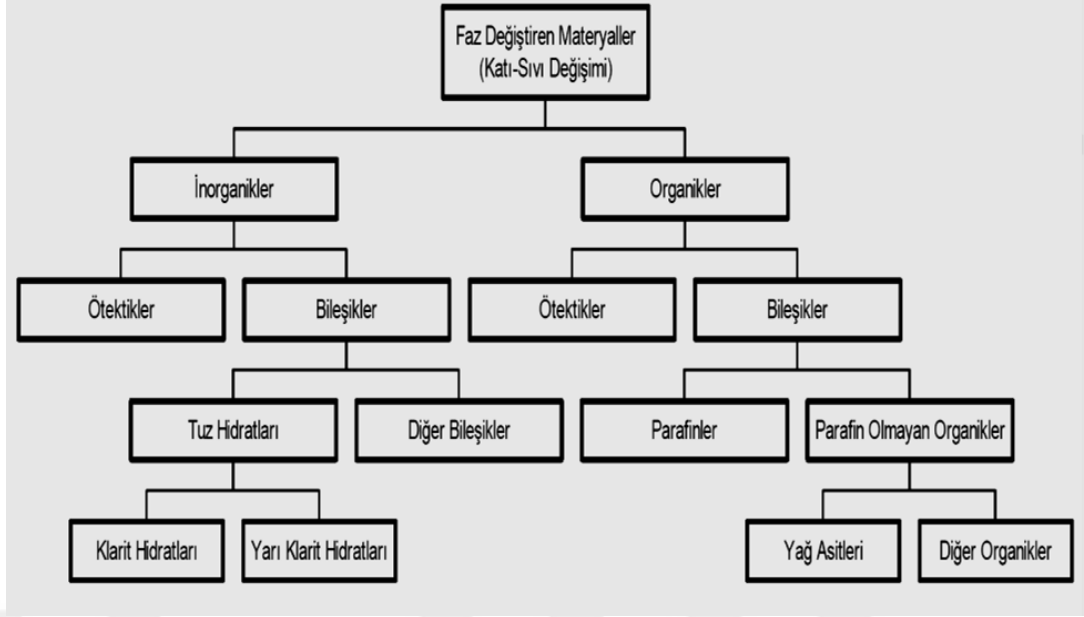
- Binaların ısıtma soğutma yükünün azaltılması için, çeşitli yapı malzemelerinde,
- Elektronik aletlerin aşırı ısınmasının engellenmesinde,
- Tekstil endüstrisinde,
- Gıdaların uzun süreli taşınabilmesinde,
- Medikal alanda, kan ve organ taşınmasında kullanılmaktadır [34].

2.4.2.2. Faz Değiştiren Maddelerin Sınıflandırılması

Şimdiye dek yapılan çalışmalarda, hiçbir materyal tek başına ısıyı depolama açısından istenilen özellikleri sağlayamamaktadırlar. Dolayısıyla FDM seçileceği zaman uygulamada istenilen sıcaklık bölgesinde faz değişimi görülmesine dikkat edilir. 0–120 °C faz değişimi gösterenler, FDM olarak kullanılabilirler. Bunlar; inorganik bileşikler, organik bileşikler ve bu bileşiklerin karışımları olacak şekilde sınıflandırılırlar. Ayrıca kendi içlerinde alt sınıflara ayrılırlar [22].

Şekil 2.25'de gösterildiği gibi FDM olarak kullanılabilen madde grupları oldukça fazladır [35]. Fakat pratikte her bir seçeneğin bazı olumlu ve olumsuz yanları bulunmaktadır. Dolayısıyla en uygun FDM seçilirken önemli birkaç özelliğin göz önünde tutulması gerekir [35];

- Katı ve sıvı termal iletkenliği
- Erime ısısı
- Katı ve sıvı yoğunluğu
- Sıvı ve katı haldeki ısı kapasitesi



Şekil 2.25. Faz değiştiren materyallerin sınıflandırılması [35]

Organik bileşiklerle ısı depolamada gerekli depolama hacminin büyük olması, organik maddelerin yanıcı olması ve düşük ısı iletkenlikleri gibi olumsuz durumları olsa da; organik bileşiklerin homojen olarak erimeleri, kendiliğinden kristalleşebilmeleri, aşırı soğuma olmadan donabilmeleri ve şimdye dek tasarlanmış sistemlerde uygun olarak kullanılabilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. İnorganik FDM'ler grubunda bulunan tuz hidratların yapılan çalışmalarda çoğunlukla kullanılmasının sebebi uygun erime aralığı, erime gizli ısısının yüksek olması ve düşük hacim değişimlerinin olmasıdır [22].

Tuz hidratların en önemli özellikleri, birim hacimdeki yüksek erime gizli ısısı, diğer FDM'lere göre yüksek ısıl iletkenlik ve erime gerçekleşirken hacim değişiminin düşük olmasıdır. Erimiş tuzların düzenli, yarı düzenli ve düzensiz olmak üzere üç çeşit davranışı tanımlanabilir. Düzenli erime gerçekleşirken susuz tuz, erime noktasında hidratlama suyu içerisinde tamamıyla çözünebilir. Düzensiz erimde ise tamamıyla çözünemediği durumda gerçekleşir. Yarı düzenli erimde ise su kaybıyla hidratın daha düşük hidratlı bir malzemeye dönüştürülmesinden kaynaklanan, bir faz geçişi esnasındaki sıvı ve katı fazların dengesinde oluşan farklı bir erime niteliğidir. Tuz hidratlarının kullanılmasındaki asıl sorun ise düzensiz erimedir. Erime sıcaklığındaki çözelti aşırı doymuş haldedir. Katı tuz, yüksek yoğunluğundan dolayı bulunduğu ortamın altına yerleşir ve donma esnasında tersi işlemde su ile yeniden birleşme için kullanılamaz [36].

Tuz hidratlarda faz değişim özelliklerine etki edecek diğer durumlar, birçok metale karşı aşındırıcı etki göstermesi ve aşırı soğuma durumudur [37]. Aşırı soğuma, erimiş FDM sıcaklığının erime sıcaklığının altında olmasına rağmen faz değişimi olayının hemen gerçekleşmemesidir. Aşırı soğuma anında FDM yarı dengeli bir haldedir diğer bir ifadeyle termodinamik dengede değildir. Aşırı soğuma hali, FDM'nin ısıyı geniş bir sıcaklık aralığında absorbesine neden olur. Bu durumun önlenmesi için çekirdeklenmeyi başlatacak maddeler kullanılmalıdır [38]. Tablo 2.10'da bazı tuz hidratların termal özellikleri verilmiştir [22].

Uygun yöntemlerle aşırı soğuma, yok edilmeli veya en aza indirilmelidir. Dolayısıyla yapılabilecek işlemler şunlardır;

- Kullanılacak FDM'nin yapısına uygun çekirdekletiriciler kullanmak.
- FDM'ye kristal aşısı yapmak.
- Isı değiştiricinde pürüzlü metal yüzeyi kullanmak, tuz hidratlarda heterojen çekirdekleşmenin oluşumunu sağlamaktadır [22].

Tablo 2.10. FDM olarak kullanılabilen bazı tuz hidratları [22]

Tuz Hidratları	Ergime Sıcaklığı	Ergime Isısı	Yoğunluk (kg/dm ³)	Özgül Isı
CaCl ₂ .6H ₂ O	29,7	171	1,710	1,45
NaSO ₄ .10H ₂ O	32,4	254	1,485	1,93
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48,0	201	1,730	1,46
NaHPO ₄ .12H ₂ O	35,0	281	1,520	1,70
ZN(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	36,4	147	2,065	1,34
Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	78,0	267	2,180	1,17
MgCl ₂ .8H ₂ O	116,0	165	1,570	1,72

Yağ asitleri, kimyasal formülleri CH₃(CH₂)_{2n}COOH şeklinde olan ve parafinlere çok benzer özelliklere sahip olan organik FDM'lerdir. Yağ asitleri, trigliserit adı verilen yağlardan elde edildiklerinden dolayı bu şekilde isimlendirilmişlerdir. Bütün yağ asitleri, bir tarafta bir metil grubu, diğer tarafta ise karboksil grubu içeren uzun hidrokarbon zinciri şeklindedirler [39].

Düşük karbon sayısına sahip olanlar oda sıcaklığında sıvı haldedirler. Karbon sayıları arttıkça viskoziteleri de artar ve daha yüksek karbon sayılı olanlar ise katı halde bulunurlar. Düşük karbon sayısına sahip olan yağ asitleri suda çözünürler ve

zayıf asit özelliği gösterirler [40]. Tablo 2.11’de bazı yağ asitlerin termal özellikleri verilmiştir [22].

Tablo 2.11. Bazı yağ asit maddelerin özellikleri [22]

Yağ Asidi	Ergime Sıcaklığı (°C)	Ergime Isısı (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Özgül Isı (kJ/kgK)	Isı İletimi (W/mk)
Kaprik Asit	31,5	153	0,886	-	0,149
Laurik Asit	42-44	178	0,870	1,6	0,147
Palmitik Asit	63	187	0,847	-	0,165
Stearik Asit	70	203	0,941	2,35	0,172

Yağ asitleri, yenilenebilir erime ve donma özelliklerine, çok az veya hiç aşırı soğuma olmadan donma özelliğine sahip olmalarıyla FDM olarak kullanılmasında uygun özelliklere sahiptirler. Yağ asitlerinin en önemli olumsuzluğu, maliyetinin parafinlerden 2-2,5 kez daha pahalı olmasıdır [41].

Parafinler organik FDM sınıfına aittirler. Çok sayıda alkandan oluşan, ham petrolden elde edilerek doymuş hidrokarbon karışımlardır. Yapıları mumsudur. Bu FDM’ler arıtma sürecinden sonra kokusuz, tatsız ve toksik olmayan maddelere dönüşürler. Parafinler, düz zincirli ve dallanmış zincirli olmak üzere basit bir yapıdadırlar. Genellikle, düz zincirli alkan karışımlarından oluşan parafinler kristallenmeleri sırasında ortama yüksek miktarda gizli ısıyı yayarlar. Parafinlerde zincir uzunluğu artar ise erime ve donma sıcaklığı ile erime ısılarında artış gözlenir.

Termal enerji depolama uygulamaları için, yüksek ısı depolama nedeniyle parafinler en çok kullanılan FDM’ler arasında yer alırlar ve geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Parafinlerin belirli bir erime aralığında erimeleri, ısı depolama kullanımındaki avantajıdır. Parafinler ucuz, bol ve kimyasal olarak kararlı olduklarından, genellikle ısı depolama için kullanılır. Korozif ve zehirli etkiye neden olmazlar. Yüksek düzeyde aşırı soğuma göstermezler ve kendiliğinden çekirdekleşebilirler. Tablo 2.12’de bazı parafinlerin termal özellikleri verilmiştir [27].

Parafinlerin katı hallerindeki yapıları, gözenekli olmasından dolayı ısı iletim katsayıları düşüktür. Bu durum, katılaşma sırasında yüksek ısı transfer hızları gerektiğinden dolayı sorun teşkil eder [42]. Bu sorunun kanatçıklı kaplar ve metalik dolgu maddeleri veya gizli-duyulur ısı kombinasyonu kullanılarak kısmen

azaltılabileceğini belirtilmiştir. Parafinler, katı-sıvı faz değişimleri esnasında yüksek hacim değişimine sahiptir. Bu durum, depo dizaynında dikkate alınmalıdır. Parafinler yanıcı olduğundan yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına direkt temas ettirilmemelidir [27].

Tablo 2.12. Bazı parafinlerin termal özellikleri [27]

Bileşik	'C' atomu sayısı	Erime noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli Isı (kJ/kg)
n-Dodekan	12	-12	750	0,21 ^K	-
n-Tridekan	13	-6	756		-
n-Tetradekan	14	4,5-5,6	771		231
n-Pentadekan	15	10	768	0,17	207
n-Hekzadekan	16	18,2	774	0,21 ^K	238
n-Heptadekan	17	22	778		215
n-Oktadekan	18	28,2	814 ^K ,775 ^S	0,35 ^K ,0,149 ^S	245
n-Nonadekan	19	31,9	912 ^K ,769 ^S	0,21 ^K	222
n-Eikosan	20	37			247
n-Heneikosan	21	41			215
n-Dokosan	22	44			249
n-Trikosan	23	47			234
n-Tetrakosan	24	51			255
n-Pentakosan	25	54			238
Parafin wax	-	32	785 ^K ,749 ^S	0,514 ^K ,0,224 ^S	251
n-Hekzakosan	26	56	770	0,21	257
n-Heptakosan	27	59	773		236
n-Oktakosan	28	61	910 ^K ,765 ^S		255
n-Nonakosan	29	64			240
n-Triakontan	30	65			252
n-Hentriakontan	31		930 ^K , 830 ^S		-
n-Dotrikontan	32	70			-
n-Tritrikontan	33	71			189

K: katı, S: sıvı

2.4.2.3. Faz Değiştiren Malzemelerin Seçimindeki Kriterler

0 ile 120 °C sıcaklık arasında yüksek erime ısıyla eriyen çok fazla organik ve inorganik malzeme bulunmaktadır. Gizli ısıyı depolamak için organik ve inorganik malzemeleri kinetik, termodinamik ve kimyasal yönlerden belirli özelliklerin bulunması gerekmektedir. Ayrıca maliyeti düşük ve gerektiğinde bol miktarda bulunabilmelidir.

Isıyı depolamak için FDM seçiminde; zehirli etki, korozif etki, erime noktası, kimyasal kararlılık, faz diyagramları ve yanıcılık gibi diğer özelliklerin de göz önünde bulundurulmalıdır [22]. Aşağıda FDM seçiminde kullanılan termodinamik, kinetik, kimyasal ve ekonomik kriterler verilmiştir [22, 41, 43].

Termodinamik kriterler;

- Erime noktası, istenilen sıcaklık bölgesinde olmalıdır.
- Birim hacminin erime ısısı yeterince yüksek olmalıdır. Böylece gerekli enerji miktarı sağlamak için daha az malzeme kullanımına olanak sağlamaktadır.
- Depo hacminin küçük olması için yoğunluk yüksek olmalıdır.
- FDM'de şarj ve deşarj süresinin kısalması için ısı iletim katsayısı yüksek olmalıdır.
- Malzeme tamamıyla eriyerek homojen erime göstermelidir. Yoksa sıvı ve katı bölgeler arasında yoğunluk farkı oluşur ve faz ayrışması gerçekleşir ve malzemenin kimyasal yapısının kararlılığı değişir.
- Faz değiştirme sonucunda hacimdeki değişim az olmalıdır. Bu şekilde, basit bir depo ve ısı değiştiricisi kullanılabilir.

Kinetik kriterler;

- Donma esnasında aşırı soğuma etkisi çok az göstermeli veya hiç göstermemelidir.
- Erimiş malzemenin kristalleşmesi, malzemenin donma noktasında gerçekleşir. Bunun sorunsuz gerçekleşmesi için kristal oluşum hızı büyük ve çekirdeklenme hızı yüksek olması gerekmektedir.
- Aşırı soğumayı önlemek için, FDM'ye uygun çekirdekleştirici eklenebilir.

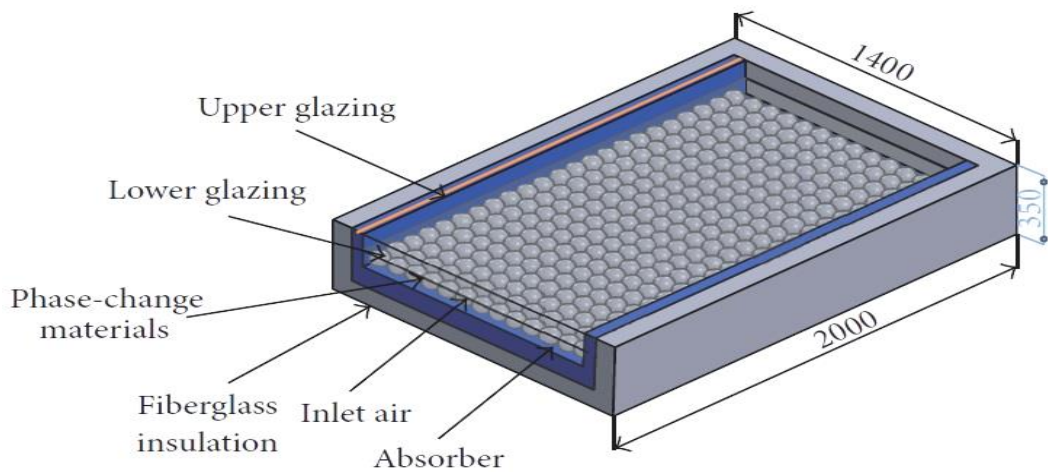
Kimyasal kriterler;

- Kimyasal özelliklerinde değişme görülmemelidir.
- Kimyasal bozulma görülmemelidir.
- Depo malzemesinde korozyon etkisi göstermemelidir.
- Patlayıcı, zehirli ve yanıcı özellikler göstermemelidir.

3.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerjili hava kollectörleri ve termal enerji depolama konusunda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde bunlardan başlıcaları verilmiştir.

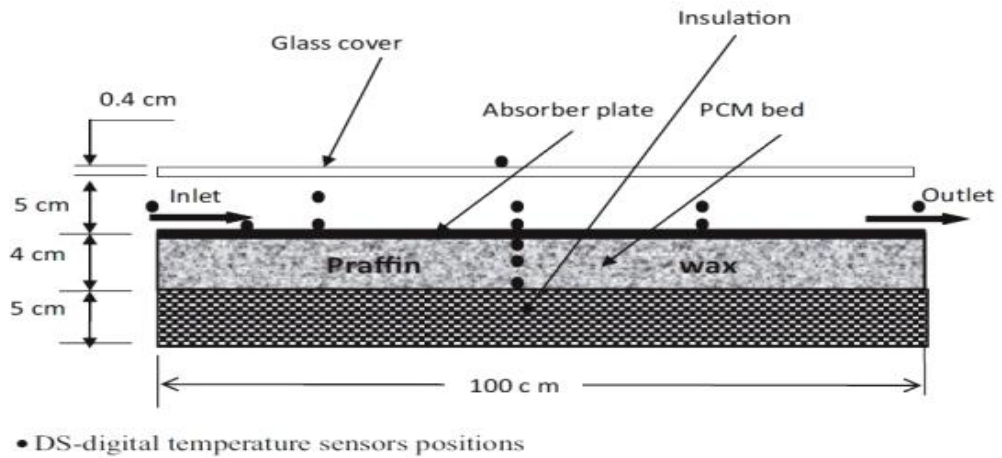
Ghuol vd. [44] faz değişim malzemeli (FDM), tek geçişli, çift camlı GEHIK'in tasarım, imalat ve analizini içeren çalışmasında parafinin ısı iletim katsayısını artırmak için alüminyum tozu kullanımını test etmişlerdir. FDM malzemesi olarak 7.5 cm çapındaki PVC malzemedan küresel kapsüllenmiş parafin ve 70 µm büyüklüğünde alüminyum tozu karışımı kullanılmıştır. Deneylerde karışımlar %0.1 ile %0.7 arasında yedi farklı kütle oranları test edilmiştir. Küresel kapsüller ısı depolamalı yutucu plaka olarak kullanılmıştır. Deneyler solar simülasyon laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 0.03 ve 0.09 kg/s hava debisi aralığında çalışılmış ve sıcaklık 30 ve 35°C değerleri arasında değişmiştir. Test edilen GEHIK'in ısı depolama verimi 0.05 kg/s hava debisi için %71 maksimum değerine, şarj süresi yaklaşık %70 oranında azalmış ve soğuma oranı artmıştır. Yine ısı depolama verimi 0.07 kg/s hava debisi için % 76.8 maksimum değerine, şarj süresi yaklaşık olarak %60 azalmıştır. Kullanılan FDM'ye alüminyum eklenmesi ile GEHIK'in ısı depolama kapasitesi %2.91 artmıştır. Termal verimin artışıyla şarj-deşarj süresi düşürülmüş ve katılşma işlem süresinde gelişme sağlanmıştır. Şekil 3.1.'de FDM'li GEHIK'in şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.1. Alüminyum kompozit FDM'li GEHIK'in şematik görünüşü [44]

Kabeel vd. [45] çalışmalarında parafinin FDM olarak kullanıldığı düz ve trapez yutucu plakalı GEHIK'ı deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca absorber altındaki FDM kalınlığı incelenmiştir. Genel olarak FDM'li ve FDM'siz trapez yutucu plakalı GEHIK'ın termal performans parametreleri çeşitli hava debisi ve çalışma şartlarında düz yutucu plakalıya göre daha iyi bulunmuştur. Çalışmada GEHIK'ın Şekil 3.2.'de şematik görünüşü ve Şekil 3.3'de ise deney setinin resmi verilmiştir. GEHIK'da FDM kullanıldığında çıkış hava sıcaklığı gün batımından sonra önemli derecede etkilenmiştir. 0,062 kg/s hava debisinde FDM kullanılan deneysel sonuçlarda giriş sıcaklığına göre trapez GEHIK'ın çıkış sıcaklığı güneşin batmasından sonra 3,5 saat süresince 1,5-7,2°C, düz yutucu plakalıya ise 2,5 saat süresince 1,0-5,5°C yüksek çıkmıştır. 0,09 kg/s hava debisinde ise trapez için gün batımından sonra giriş sıcaklığına göre 7,5 saat süresince 2,0-13°C, düz yutucu plaka için ise 6 saat süresince 1,5-10°C daha yüksek çıkmıştır. 0,062 kg/s hava debisinde FDM'li trapez GEHIK'ın günlük verimi FDM'siz trapeze göre %12, FDM'siz düz yutucu plakalıya göre %15 ve FDM'li düz yutucu plakalıya göre ise %21,3 daha yüksek çıkmıştır. Kollektör boyunca hava sıcaklık farkı, depolanan ısı miktarı ve FDM katılma süresi azalmıştır. FDM'li ve FDM'siz şartların ikisinde de debi artışıyla birlikte günlük/anlık termal verim de artmıştır. Tüm koşullarda (debi, FDM'li, FDM'siz) ısı taşınım katsayısı (h) trapez yutucu plakalı GEHIK için daha yüksek çıkmış olup debi artışıyla ısı taşınım katsayısı da artmıştır.

FDM kalınlığı 4 cm'den 2 cm'ye düştüğünde kollektör boyunca hava sıcaklığı farkı FDM erime işlemi süresince (8:00-16:30 arası) hafifçe yükselmiş ve FDM deşarj işlemi süresince hafifçe azalmıştır.

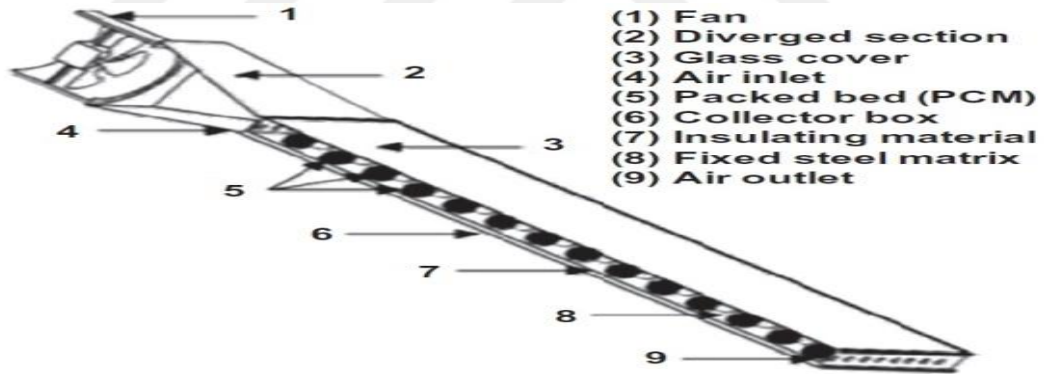


Şekil 3.2. FDM'li GEHIK'ın şematik görünüşü [45]



Şekil 3.3. FDM’li GEHIK’in deney setinin resmi [45]

Bouadila vd. [46] dolgu yataklı (küresel kapsüllü) yeni bir GEHIK’in deneysel olarak enerji/ekserji analizlerini kapalı/açık ve açık işletim için incelemiştir. Çalışmada GEHIK’in Şekil 3.4.’de şematik görünüşü ve Şekil 3.5.’de ise deney setinin resmi verilmiştir.



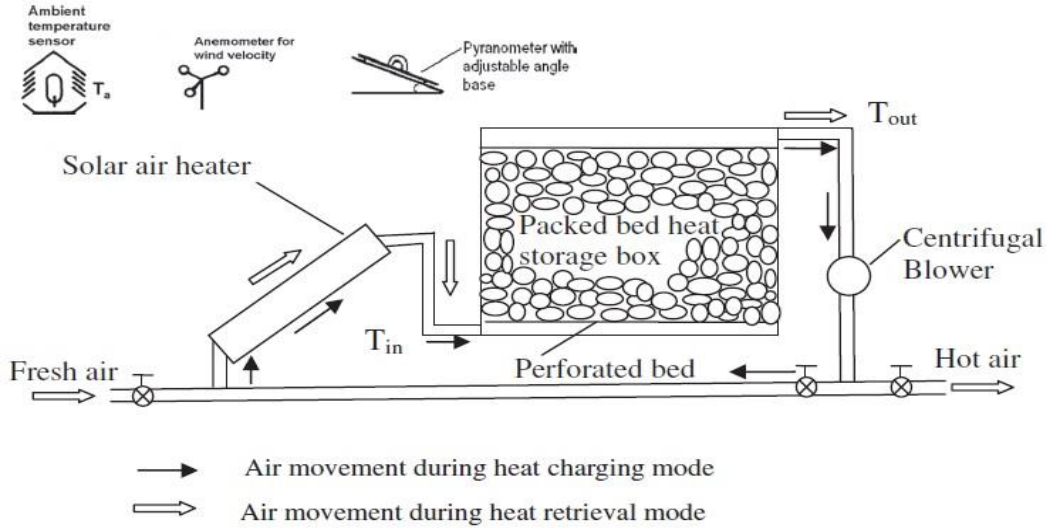
Şekil 3.4. FDM’li GEHIK’in şematik görünüşü [46]



Şekil 3.5. FDM'li GEHIK'in deney seti resmi [46]

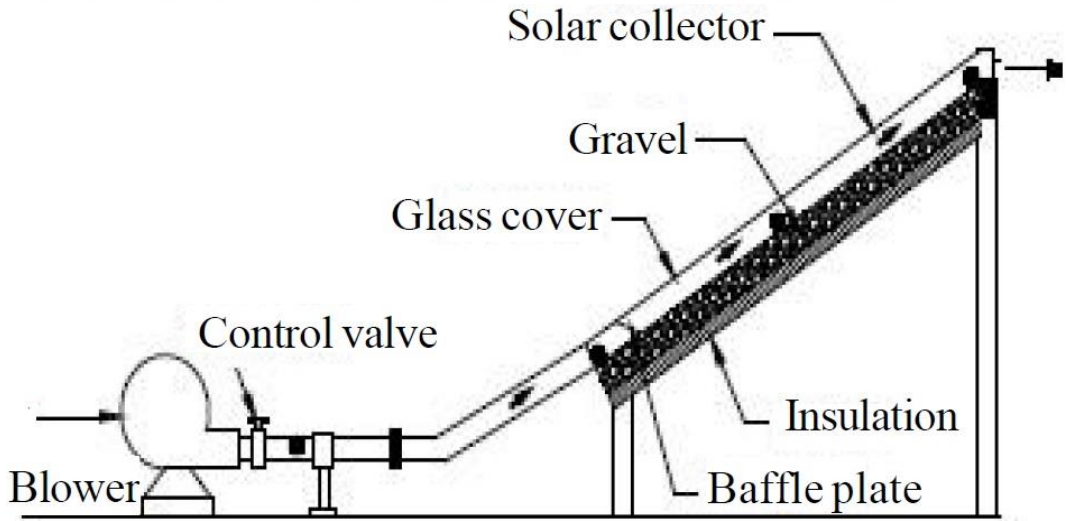
Bouadila vd.'nin çalışmasında şu sonuçlar elde edilmiştir; GEHIK deşarj prosesi boyunca yararlı ısı tekdüze kalmıştır. Gece 11 saat boyunca yararlı ısı değeri 200 W/m^2 ve bu yararlı ısının şarj modunda ayrı ayrı ışınım dalgalanmalarından etkilenmediği belirlenmiştir. Kapalı/açık işletim için sistemde güneş enerjisi dolgulu yatakta gün boyunca depolanmış ve gece de kullanılmıştır. Günlük enerji verimi %32 ile %45, ekserji verimliliği %13 ile %25 arasında değişmiştir. Açık işletim için sistemde günlük enerji verimi %35 olarak belirlenmiştir.

Singh vd. [47] dolgu yataklı ısı depolama sisteminin termal performansını deneysel olarak incelemiş ve GEHIK kullanımının sisteme uygunluğunu belirtmişlerdir. Sistemde kullanılan izoleli dolgulu yatak 8500 kg çakıl ile doldurulmuştur. Isı depolama sisteminin güneş enerjisi absorbe etme verimi %36-51 ve ısı geri alma verimi %75-77 aralığında tespit edilmiştir. Geliştirilen sistemin ısı geri alma veriminin FDM'li dolgu yataklı sisteme göre daha iyi olduğu belirtilmiştir. Dolgulu yatağın sıcaklığı şarj modunda 34°C 'den 49°C 'ye yükselmiştir. Gün batımından sonraki 13 saatlik işletim süresinde ortalama çıkış havası sıcaklığı $41,5$ ile 44°C arasında gerçekleşmiştir. Isı depolama sisteminin ortalama güneş enerjisi absorbe verimi %43,5 olarak belirlenmiştir. Sistemin şematik görünüşü Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. GEHIK'lı dolgu yataklı ısı depolama sisteminin şematik görünüşü [47]

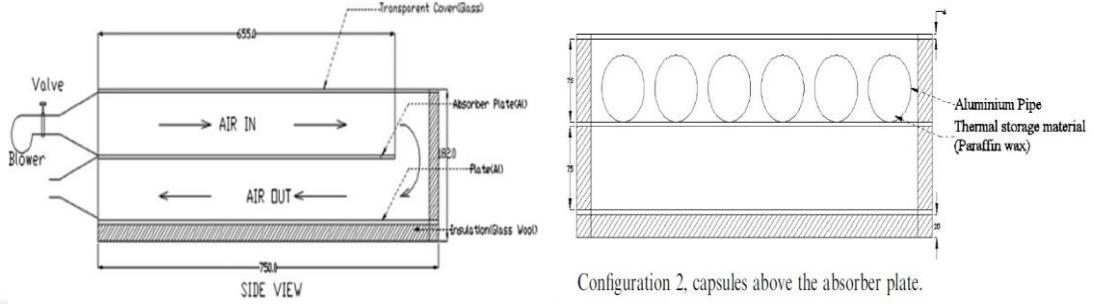
Saravanakumar ve Mayilsamy [48] kurutma prosesine yönelik olarak dört farklı duyulur ısı depolama malzemesinin (demir atığı+çakıl, demir atığı+kum, kum ve çakıl) GEHIK'da termal performansını test etmişlerdir. Çalışmada en iyi sonucu demir atığı+çakıl malzemesi vermiştir. Çalışmada ısı depolamalı GEHIK'ın şematik görünüşü Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Isı depolamalı GEHIK'ın şematik görünüşü [48]

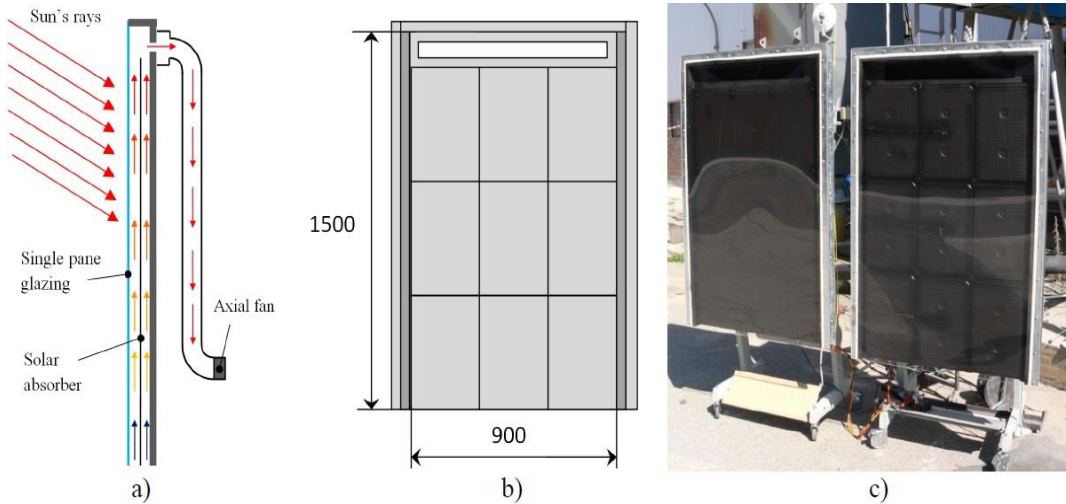
Krishnananth ve Murugavel [49] çift geçişli GEHIK'a parafinin kullanıldığı ısı depolama ünitesini entegre ederek termal performansını test etmişlerdir. Yutucu plakanın üzerine monte edilmiş ısı depolama ünitesinin en iyi termal sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Sistemde kullanılan parafin boru şeklindeki alüminyum

parçalar ile kapsüllenmiştir. Alüminyum boru kapsüller yutucu plakanın altına-üstüne, kollektör tabanına ve ısı depolamasız olmak üzere dört farklı konfigürasyonda test edilmiştir. Çalışmada kullanılan GEHIK'in şematığı ve en iyi termal verim kapsüllerin yutucu plakanın üzerinde olduğu konfigürasyon için elde edilmiş olan kesit resmi Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Çift geçişli GEHIK'in şematik ve ısı depolamalı GEHIK'in kesit resmi [49]

Charvat vd. [50] düz yutucu plakalı ve parafin doldurulmuş kapları içeren iki farklı GEHIK'ı karşılaştırmışlar, deneysel ve numerik simülasyonlarda FDM'li GEHIK'in çıkış sıcaklık stabilitesine katkı sağladığı ve termal verimi az da olsa artırdığı belirtilmiştir. Şekil 3.9.'da test edilen sistemin şematik görünüşü ve deney setinin resmi verilmiştir.



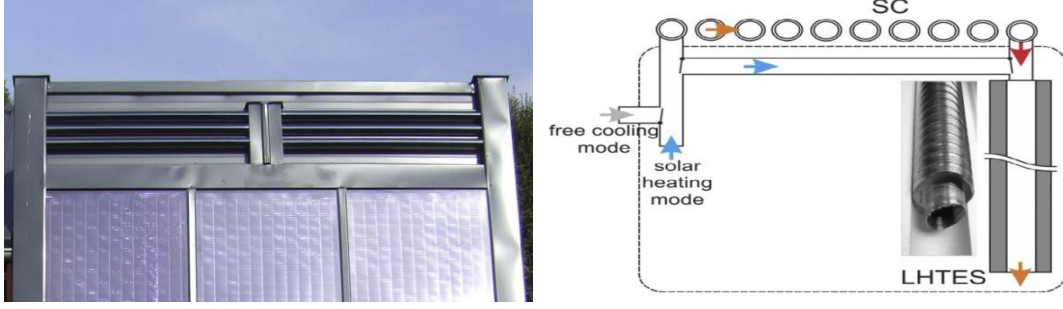
Şekil 3.9. GEHIK'in şematik görünüşü ve deney setinin resmi [50]

Esakkimuthu vd. [51] kurutmada kullanılmak üzere GEHIK destekli inorganik tuz tabanlı FDM depolu bir sistemde ısı depolama ünitesinin şarj ve deşarj karakteristiklerini incelemiştir. Yüksek hava debisinde ortalama kollektör çıkış havası sıcaklığının düşmesiyle ısı kaybının azaldığını ve kollektör veriminin arttığını, uygun faz değişim sıcaklığına sahip FDM'nin seçiminde ışınımın gün içinde en yüksek olduğu saatlerde FDM ile sabit sıcaklıkta ısı çekilmesiyle aşırı ısınmadan kaçınılabildiği ve böylelikle kurutulacak ürünlerin aşırı ısıtmadan dolayı zarar görmesinin önüne geçilebildiği, deşarj süresince düşük hava debisinin sağlanmasıyla ısı depolama sisteminin maksimum kapasitede işletilebildiği ve gün batımından sonraki zamanda tekdüze bir ısının elde edildiği ifade edilmiştir. Şekil 3.10.'da test edilen sistem gösterilmektedir.



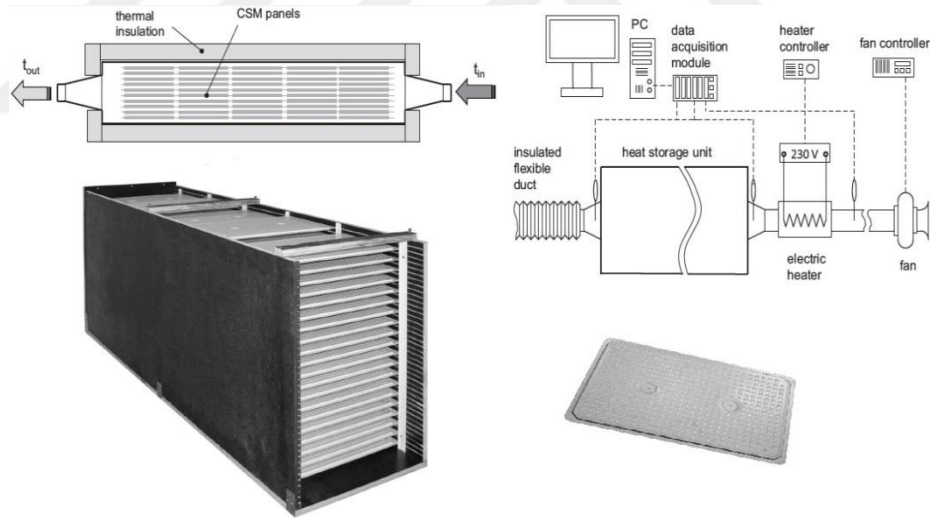
Şekil 3.10. GEHIK destekli inorganik tuz tabanlı FDM depolu ısı depolama sistemi [51]

Arkar ve Medved [52] konsantrik tip boru şeklindeki gizli ısı depolama üniteli vakum tüplü havalı güneş kollektörünün tasarım, modelleme ve sistem performansının parametrik analizini icra etmişlerdir. Kollektör m^2 için optimum hava debisi $40m^3/h$ ve optimum FDM kütlesi $150-200 kg/m^2$ olarak belirlenmiştir. GEHIK'de gün içinde elde edilen ısıdan gece saatlerinde kullanım verimi %54-67 arasında değişmiştir.



Şekil 3.11. Havalı vakum tüp kollektörlü ısı depolama sistemi [52]

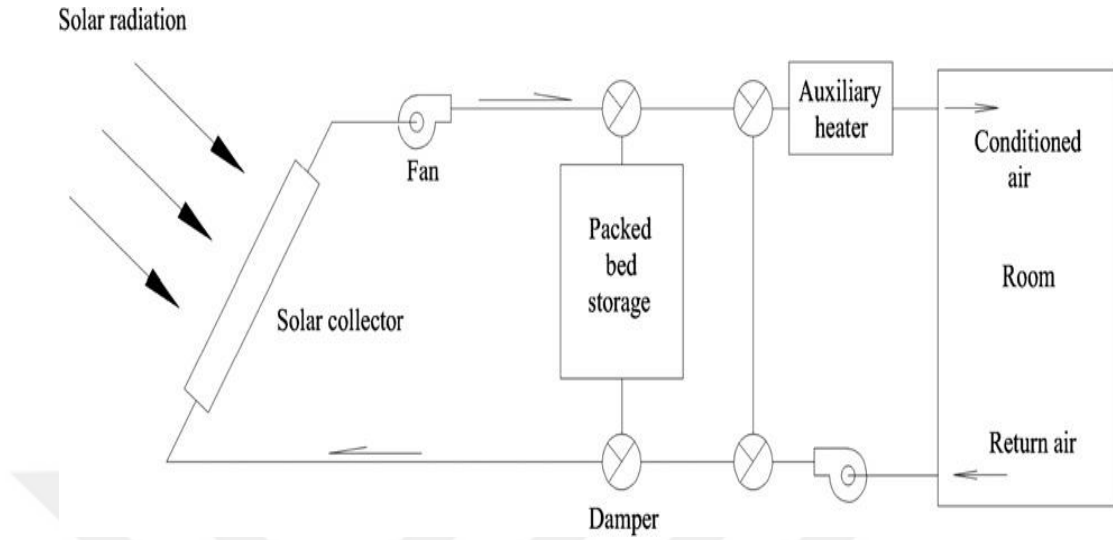
Charvat vd. [53] hava kaynaklı güneş enerjili termal bir sistem için ticari tip FDM'li bir ısı depolama ünitesinin deneysel ve tek boyutlu numerik analizini yapmışlardır. Isı depolama birimi 100 adet FDM doldurulmuş alüminyum panelli olarak tasarlanan sistemin hava akışkanlı tüm termal depolama sistemlerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Isı depolama biriminin şematığı, deney setinin ve FDM'li alüminyum panelin resmi, deney setinin şematik görünüşü Şekil 3.12.'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Isı depolama biriminin FDM'li alüminyum panelin resmi ve deney setinin şematik görünüşü [53]

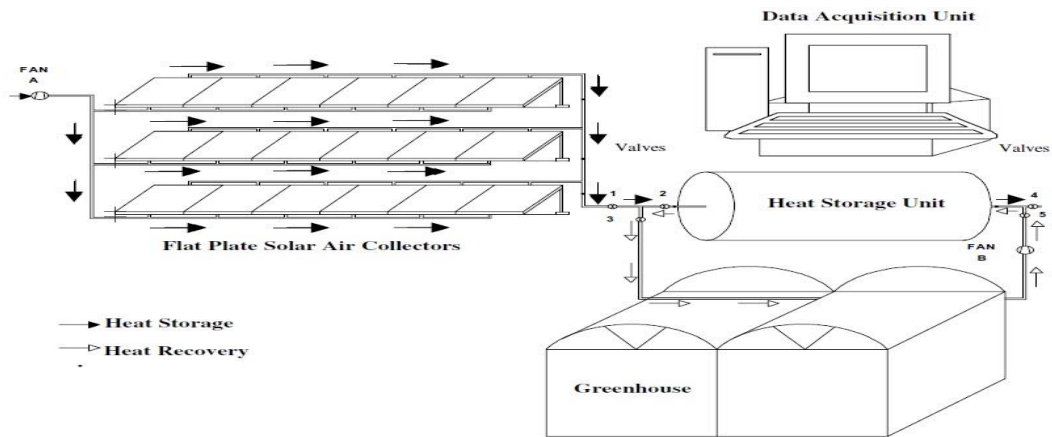
Zhao vd. [54] ısı depolama aracı olarak çakıl dolgu yatak kullanan termal (hava ve su) güneş kollektörlerini bir bina için TRNSYS yazılımı kullanarak modellemişlerdir. Yapılan modellemede; 40-60 kg/h m² hava debisi, 0.4 m³/m² (depo hacmi/kollektör alanı) tavsiye edilmiştir. Yine ısıtma sezonundaki enerji talebinin %32,78'inin, diğer aylardaki enerji tüketiminin %84,6'sının ve yıllık bazda ortalama

olarak %53,04'ünün karşılandığı belirtilmiştir. Modellenen sistemin şematik görünüşü şekil 3.13.'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Isı depolama aracı olarak çakıl dolgu yatak kullanan termal (hava ve su) güneş kolektörlü sistem [54]

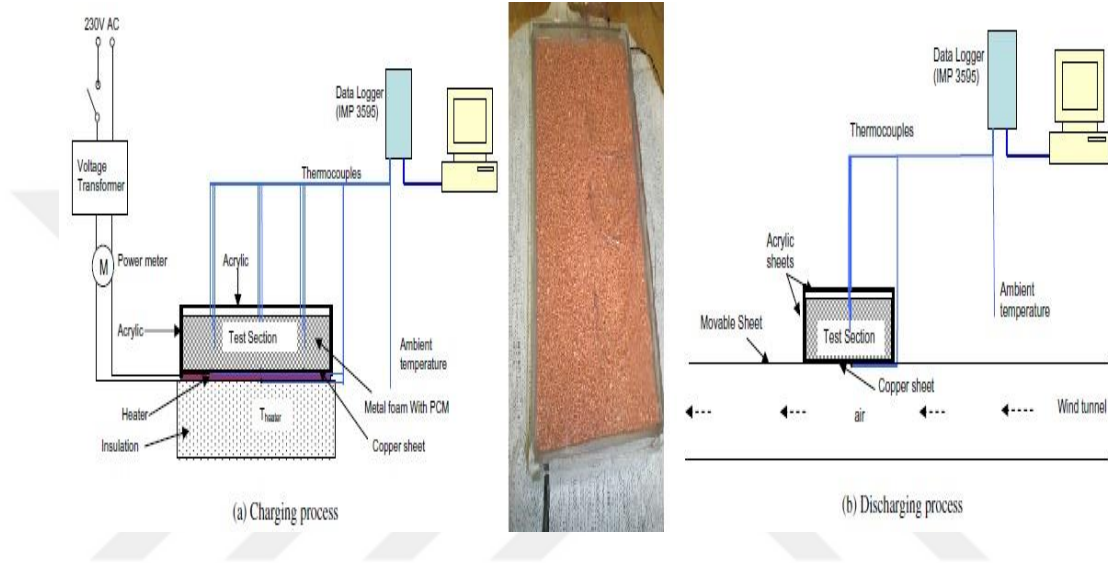
Öztürk [55] bir sera (180m²) için FDM'li (6000 kg parafin), GEHIK'lı (27 m² düz yutucu plakalı) sezonsal termal enerji depolama sisteminin deneysel enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Ortalama enerji ve ekserji verimleri %40,4 ve %4,2 bulunmuştur. Şekil 3.14'de sistemin şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.14. Sistemin şematik görünüşü [55]

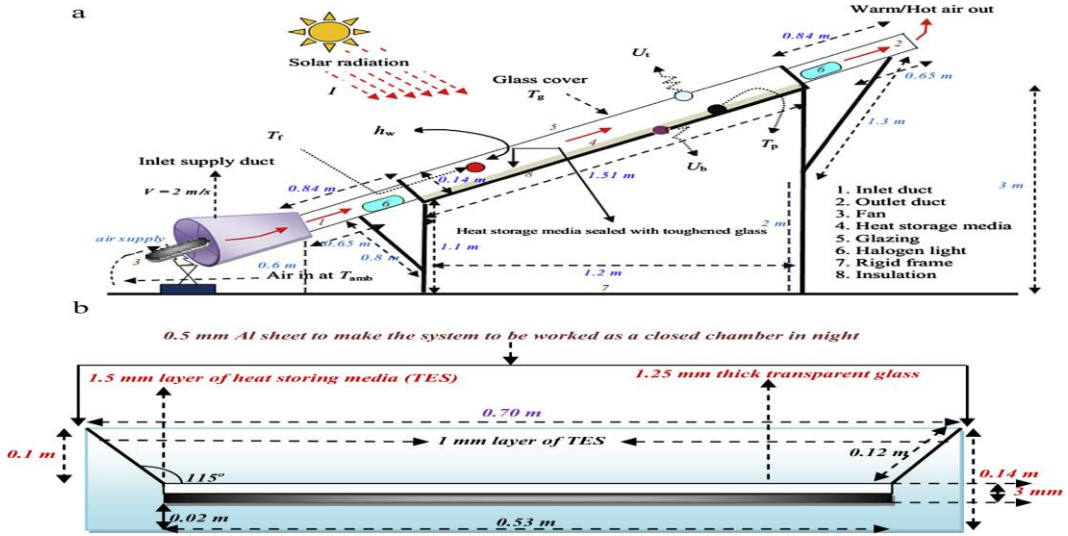
Zhao vd. [56] FDM olarak ticari bir parafinin ısı transferini artırmak için parafinli bakır köpük levhayı deneysel olarak test etmişlerdir. Sistemde ısı kaynağı olarak elektrikli ısıtıcı ve ısı transfer akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Köpük

kullanılmayan örneğe göre kullanılan örnekte özellikle de FDM'nin katı bölgesinde ısı transferi önemli derecede artmıştır, Metal köpük kullanımı erime prosesinde (iki faz hali) ve tam sıvı hal durumundaki toplam ısı transfer oranı 3-10 kat (metal köpük yapısı cinsine göre), katı bölgede 5-20 kat arttığı ve metal köpük kullanımında FDM kullanılmayana göre katılma süresinin yarıdan fazla kısaldığı ifade edilmiştir. Şekil 3.15.'de deney setinin şarj ve deşarj şematığı ile sistemde kullanılan metal köpük görülmektedir.



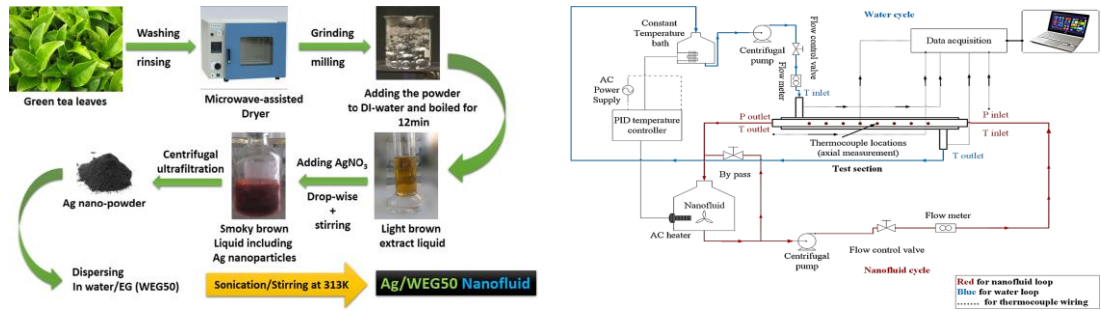
Şekil 3.15. Parafinli bakır köpük kullanılan deney setinin şarj ve deşarj devre şeması [56]

Saxena vd. [57] GEHIK'ta ısı depolamak için kum ve granül karbon karışımını kullandığı çalışmasında kollektör çıkış sıcaklığını artırmak için kollektör giriş ve çıkışında 300 W'lık halojen lamba kullanılmıştır. Kollektörlerin termal verimleri doğal konveksiyonda %18,04-%20,78 cebri konveksiyonda ise %52,21 - %80,05 arasında değişmiştir. Şekil 3.16.'da test sisteminin şematik ve kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.16. Deney setinin şematik ve kesit görünüşü [57]

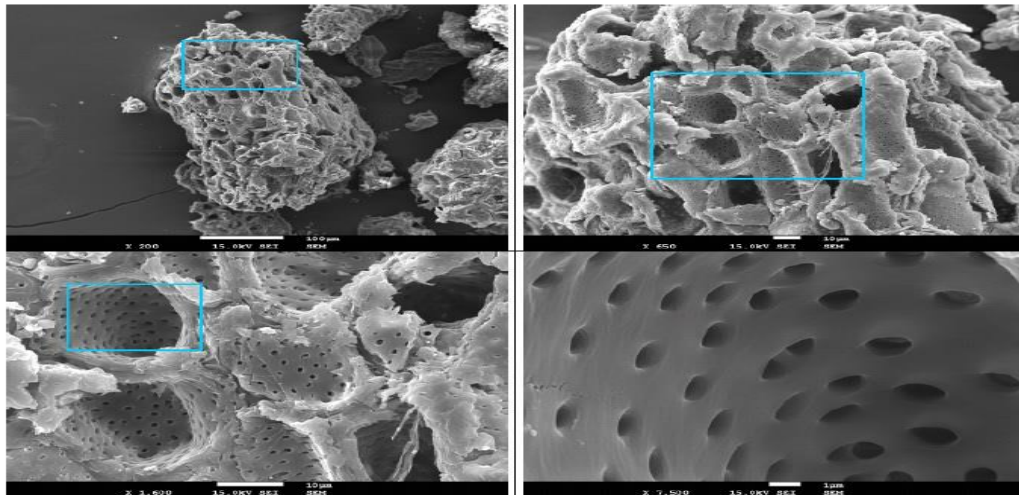
Sarafraz ve Hormozi [58] karşıt akışlı gövde borulu bir eşanjörde biyolojik nano akışkanın cebri konvektif (laminer, geçiş ve türbülans) ısı transferinin incelendiği çalışmada, nano partiküller yeşil çay yaprağı ve gümüş nitrattan bitki ekstrakt yöntemi ile üretilmiştir. %0,1-%0,5 ve %1 hacimsel kesir oranları için ısı transfer katsayısındaki artış sırasıyla %22-%36 ve %67 olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.17.'de test düzeneğinde kullanılan biyolojik nano akışkanın hazırlama şeması ve test düzeneğinin devre şeması verilmiştir.



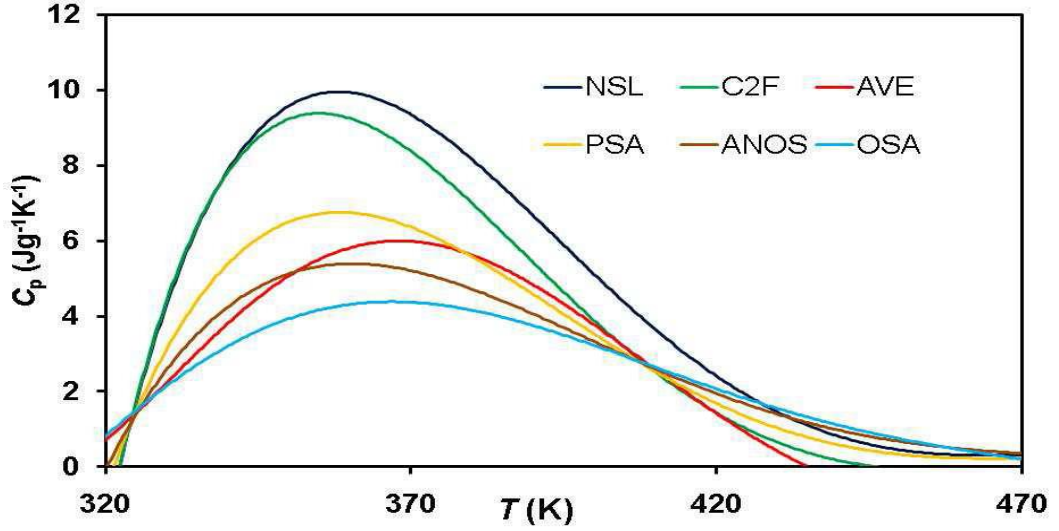
Şekil 3.17. Biyolojik nano akışkan hazırlama ve test düzeneğinin şematik görünüşü [58]

Ribeiro vd. [59] iyonik nano akışkanlar ile ilgili kitabında doğal nanomateriyallerin yapılarından kaynaklı sıradışı termal özellikleriyle ısı transferinde yeni bir alan açtığını belirterek presip olarak doğal malzemelerin ısı transfer artırıcı olarak kullanılabileceğini, doğal malzemelerden kiraz ve üzüm çekirdeği gibi

ürünlerin hâlihazırda evsel uygulamalarda mikrodalga fırında birkaç dakikada 70 °C'ye kadar ısıtıldığında yastık içersinde 50°C'de sıcaklığını birkaç saat koruduğunu ve bu sonucun kiraz çekirdeklerinin yapısıyla açıklanabileceğini ifade etmiştir. Şekil 3.18.'de öğütülerek 200µm'ye düşürülmüş kiraz çekirdek parçalarının farklı büyütme oranlarındaki FEG-SEM görüntüleri verilmiştir [57]. Mikro gözenekli yüzey yapısı (yaklaşık 10 µm) ve mikro gözeneklerin üzerindeki 1 µm'den küçük nano gözenekler açıkça görülmektedir. Bu gözenekler ısı iletimini ve ısı kapasitesini artırmakla kalmıyor aynı zamanda sıvı iyonik moleküllere ev sahipliği de yapıyor. Kiraz çekirdeği ve diğer meyve çekirdek ve kabuklarının (mikro ve nano malzemeler) sıcaklığa göre ısı kapasiteleri (C_p) Şekil 3.19.'da verilmiştir. Diğer malzemeler ceviz-fındık kabukları ve annona-şeftali-zeytin çekirdekleridir [57]. Tüm örnekler, maksimum ısı kapasitelerine 77 ve 97°C arasında ulaşmakta daha sonra çok küçük değerlerde azalmaktadır (yaklaşık 1 J/g K). Şekilden maksimum ısı kapasitesinin ceviz kabuğunda 10 J/g K ve kiraz çekirdeğinde 9,4 J/g K, en düşük değer ise 4,3 J/g K olduğu görülmektedir (suyun ısı kapasitesi 4 J/g K). Bu malzemelerin yoğunlukları (ρ) 0,7 ile 1,1 g/cm³, birim hacim için ısı kapasiteleri ($\rho.C_p$) ise 2,9 ile 11 J/cm³ K arasında değişmekte olup bu değer bilinen ısı transfer yağlarından 2-6, iyonik akışkanlardan 1,5-5,5 daha etkindir [57]. Doğal, geri dönüşebilir ve zehirsiz olan bu nano malzemelerin kullanımının yüksek ısı kapasiteleri sebebiyle alanda büyük değişim sağlayabileceği belirtilmiştir.



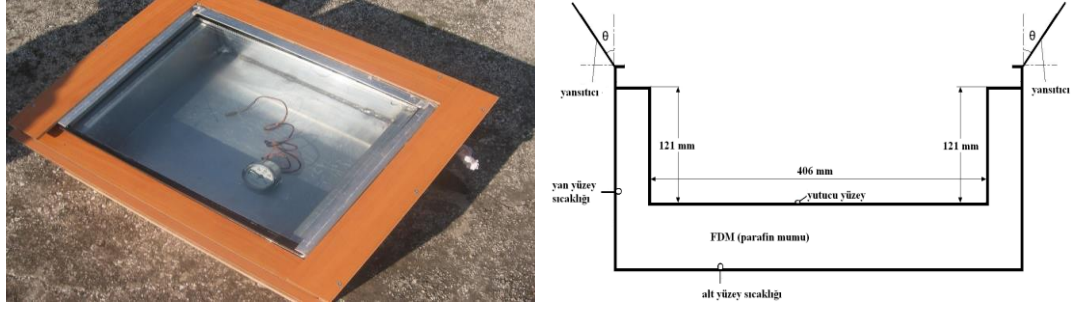
Şekil 3.18. Kiraz çekirdek parçalarının farklı büyütme oranlarındaki FEG-SEM görüntüleri [59]



Şekil 3.19. Kiraz çekirdeği ve diğer meyve çekirdek ve kabuklarının sıcaklığa göre ısı kapasiteleri (C_p)

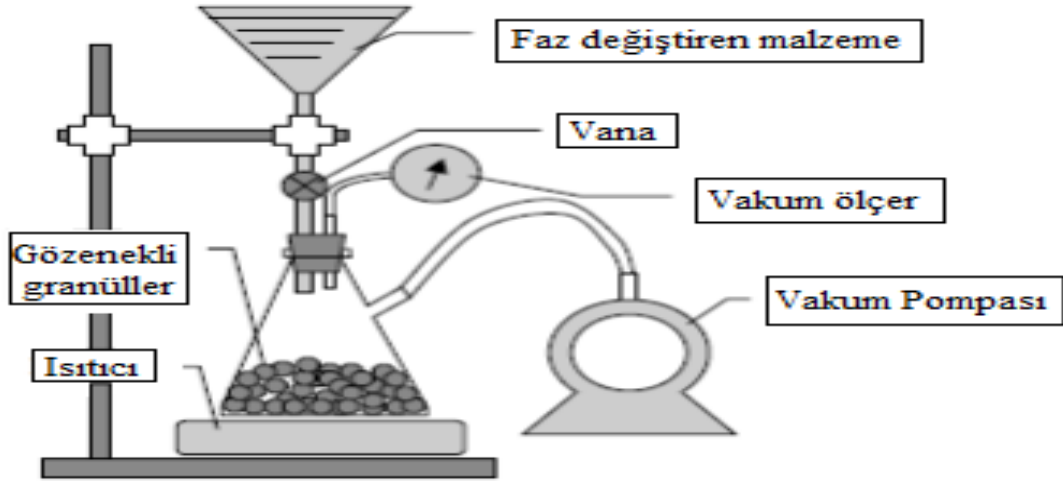
(NSL – ceviz kabuğu, AVE – fındık kabuğu, C2F – kiraz çekirdeği, ANOS – annona çekirdeği, PSA – şeftali çekirdeği, OSA – zeytin çekirdeği) [57]

Yüksel vd. [60] güneş enerjisinin gizli ısı depolama tekniğiyle güneş fırınlarında depolamak suretiyle kullanım potansiyelini deneysel olarak araştırmışlar ve bu fırınları karşılaştırılmışlardır. Bu amaçla imal edilen iki güneş fırınının çevresi faz dönüşüm malzemesi parafinle doldurularak, gün boyunca fırın faz dönüşüm malzemesi sıcaklıkları sürekli olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde FDM miktarı fazla ve büyük olan fırında, FDM sıcaklığı $92,8^{\circ}\text{C}$ iken diğer fırında $80,4^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bununla birlikte en iyi performansa, gün boyunca maksimum fırın yüzey sıcaklığının 111°C olduğu ve ısısını ertesi sabaha 52°C 'ye kadar muhafaza eden fırın-1 ile ulaşılmıştır. Fırın yüzey sıcaklığı ise 1 saat sonunda 85°C sıcaklığa ulaşmıştır. Güneş fırını-1'in faydalanma oranı veya verimi %36,89 ve diğer fırının %30,10 olarak elde edilmiştir. Bu tip bir güneş fırınının 24 saat boyunca başka bir ısı kaynağına ihtiyaç duymadan yılın önemli bir kısmında ısınma-pişirme gibi değişik amaçlarla etkin olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Şekil 3.20.'de test edilen sistemin şematik görünüşü ve deney setinin resmi verilmiştir.



Şekil 3.20. Gizli ısı depolamalı kutu tipi güneş fırını ve şematığı [60]

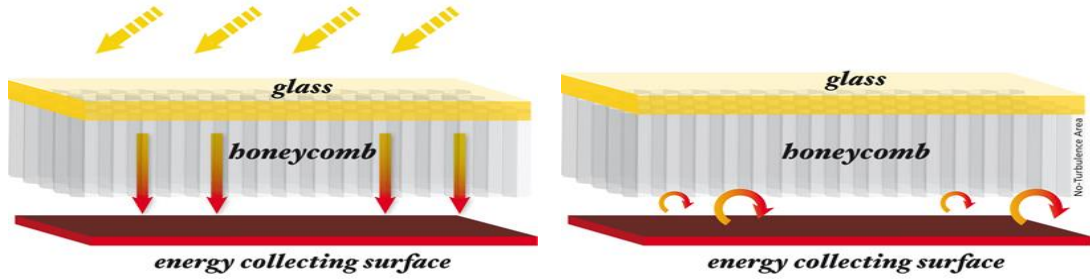
Aslan vd. [61] pomza ve zeolit gibi doğal malzemelere enerji depolayabilen yağ asidi, parafin ve parafin esaslı sentetik faz değıştiren malzemelerin belirli sıcaklıklarda “vakum emdirme yöntemi” ile emdirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında, farklı boyutlardaki granül pomza ve zeolit üzerine vakum altında ve farklı sıcaklıklarda faz değıştiren malzemeler emdirilmiştir. Pomza ve zeolitin faz değıştiren malzemeyi tutma kapasitesi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, güneş enerjisini ve binalardaki atık ısıyı depolayabilme özellikleri ile ilgili olarak, elde edilen mikrokapsüllerin ısı depolama kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuç olarak; ısıl enerji depolama sistemleri ile ısıtma ve soğutma ihtiyacı daha verimli bir şekilde karşılanmıştır.



Şekil 3.21. Vakum emdirme setinin şematik gösterimi [61]

Tigi firması pal peteği ızgaralı güneş enerjili su ısıtma kolektörünü 2011 yılında piyasaya sürmüştür. Ürün verim yüksekliği, birim alandan daha fazla ısı

enerjisi maliyeti ve maliyet olarak daha kısa geri döngülü özelliklerde olduğu belirtilmiştir [62].



Şekil 3.22. Bal petek ızgaralı sıcak su kollektörü [62]

Dünya kiraz üretiminde en büyük paya sahip ülkelerden biri Türkiye'dir. Türkiye'nin 2014 yılı kiraz üretimi 455556 tondur [63]. Türkiye'de kiraz taze yemeklik, kurutulmuş, meyve suyunda ve marmelat üretiminde değerlendirilmektedir. Kirazın kurutulmasında, meyve suyu ve marmelat olarak değerlendirilmesinde çekirdeği çıkartılmakta ve tarımsal bir atık oluşmaktadır. Genelde kiraz çekirdeği katı yakıt olarak değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Kiraz çekirdeği eski zamanlardan beri iyi bir ısı depolama malzemesi olduğu bilinmektedir. Ayrıca kiraz çekirdeği terepatik alanda termal ped, termal yastık ve termal bariyer olarak kullanılmaktadır. Bu kullanımlara örnekler Şekil 3.23.'de verilmiştir [63].

Duyulur ısı depolama sistemlerinde genellikle taş/çakıl/kaya, beton, çeşitli metal malzemeler ve su kullanılmaktadır. Sıvı malzeme olarak ise başlıca su, çeşitli yağlar ve erimiş tuzlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada duyulur ısı depolama malzemesi olarak GEHIK'da kiraz çekirdeği ve tozu incelenmiştir.



Şekil 3.23. Kiraz çekirdeği kullanım örnekleri [64]

Özet olarak literatür incelendiğinde duyulur ısı depolamalı termal güneş enerjisi sistemlerinde su, taş, kum, metal parçaları vb. malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin genel olarak sızdırmazlık, yüksek ağırlık sorunları belirlenmiş ve kullanılabilirliklerinin düşük olduğu görülmüştür. Gizli ısı depolamalı sistemlerde ise FDM'lerin düşük ısı iletim katsayısına sahip olması ve pahalı oluşları başlıca sorunları oluşturmaktadır. Düşük ısı iletim katsayısına çözüm olarak birçok öneri getirilmiştir. Bunlar çeşitli yüzey geometrileri, metal toz kullanımları vb. olarak özetlenebilir.

Bu çalışmada FDM olarak ticari bir parafin kullanılmış, ısı iletiminin artırılması için daha önce hava kollektörlerinde kullanılmamış bal peteği ızgarası kullanılarak performansı test edilmektedir. Ayrıca duyulur ısı depolama malzemesi olarak kiraz çekirdeğinin ilk kez güneş kollektörlerinde kullanımını analiz edilmektedir. Yine literatürden farklı olarak FDM malzemesi ve kiraz çekirdeği çeşitli oranlarda karıştırılarak DSC testleri yapılarak birbirine uygunluğu incelenmektedir. GEHIK'da ayrı ayrı FDM ile gizli ısı depolama ve kiraz çekirdeği ile de duyulur ısı depolamasının performansı deneysel olarak test edilmektedir.

4. TERMAL ANALİZ

Termal bir sistem olan GEHIK'in performans ile tasarımını anlamak ve değerlendirmek için en etkili yol enerji analizidir. Bu bölümde GEHIK'in termal performansı ile ilgili parametrelere ait denklemler aşağıda verilmiştir. Bu çalışma kapsamında icra edilen tüm analizler deneysel verilere dayalıdır ve performans testleri icra edilen GEHIK'in enerji eşitliğinde, havanın termo-fiziksel özelliklerinin sabit olduğu kabul edilmiştir.

İç enerjideki değişim, sistemde sağlanan ısının (Q) toplamı ile sistem tarafından yapılan işe (W) eşittir. GEHIK için enerjinin korunumu;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{ia} \cdot \left(\dot{h}_{oa} - \dot{h}_{ia} + \left(\frac{V_{oa}^2 - V_{ia}^2}{2} \right) \right) \quad 4.1$$

GEHIK'de enerji denkliği;

$$\text{Depo edilen } (\dot{Q}_{ac}) + \text{Faydalı } (\dot{Q}_u) = \text{Absorbe edilen } (\dot{Q}_{ab}) - \text{Kayıp } (\dot{Q}_{loss}) \quad 4.2$$

olarak yazılabilir.

Depolanan veya salınan termal enerji; depolama malzemesinin miktarına, malzemenin özgül ısısına ve sıcaklık farkına bağlıdır. Termal enerjinin korunumu;

$$\alpha_o I A_c = M_p C_{p,C} \left(\frac{dT_{p,ave}}{dt} \right) + \dot{m}_a C_{p,a} (T_o - T_i) + U_C A_c (T_{p,ave} - T_e) \quad 4.3$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada; α_o optik verim olup absorber tarafından yutulan global güneş radyasyon oranını, U_C kollektörden çevresine olan termal kayıpları temsil eden toplam ısı transfer katsayısını belirtmektedir. Isı transfer akışkanlı olarak kullanılan havaya transfer edilen ısı enerjisi miktarı aşağıdaki gibidir;

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_a C_{p,a} (T_o - T_i) = I_T A_c (\tau\alpha) - \dot{Q}_{loss} = I_T A_c (\alpha\tau) - U_{loss} A_c (T_p - T_a) \quad 4.4$$

Yutucu plaka yüzeyinde absorbe edilen güneş ışınımı,

$$Q_{abs} = A_p (\alpha\tau) I \quad 4.5$$

olup burada; $(\alpha\tau)$ malzeme efektif geçirgenlik/yutuculuk oranı, A_p ise kolektör saydam örtüsü alanı (m^2) ve I ise global güneş ışıma (W/m^2) değeridir.

Kolektördeki ısı transfer akışkanı olan havanın kütleli debisi (\dot{m}),

$$\dot{m} = \rho_a V_a A_{sc} \quad 4.6$$

olup burada; havanın yoğunluğu ρ_a (kg/m^3), kolektörün çıkış kanalında ölçülen havanın hızı V_a (m/s) ve kolektör çıkış kanalı kesit alanı A_{sc} (m^2)'dir.

Isı transfer akışkanı olan havanın özgül ısınma ısı ve yoğunluğu [65],

$$C_{p,a} = 999.2 - 0.1434 \times T_f + 1.101 \times 10^{-4} T_f^2 - 6.7581 \times 10^{-8} T_f^3 \quad 4.7$$

$$\rho = 353.44/T_f \quad 4.8$$

Absorber plakadaki enerji denkleği;

$$I_T A_c = Q_u + Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad} \quad 4.9$$

olarak yazılabilir. GEHIK'in termal verimi (η_t); kolektörde havaya aktarılan ısı miktarının kolektöre gelen toplam güneş ışımasına oranı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [66].

$$\eta_t = \frac{Q_u}{A_c I} \quad 4.10$$

Nusselt sayısı (Nu);

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad 4.11$$

şeklinde yazılabilir ve havanın kolektör içinde aktığı dikdörtgen kanal dikdörtgen alındığında hidrolik çap (D_h) aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$D_h = \frac{2WD}{W+D} \quad 4.12$$

Kollektör akış kanalında akan havanın Reynolds (Re) sayısı ise,

$$Re = \rho_a V_a D_h / \mu \quad 4.13$$

ile ifade edilir ve burada; V_a kollektör kanalında akan havanın hızı (m/s), kollektör giriş/çıkış havasının sıcaklık ortalamasına bağlı olarak dinamik viskozite μ ($Pa.s$)'dir.

Yutucu plaka ve hava arasındaki konvektif ısı transfer katsayısı (h);

$$h = Q_u / A_p (T_p - T_a) \quad 4.14$$

olup burada; T_p yutucu plaka ortalama sıcaklığı ve T_a kollektör kanalında akan havanın ortalama sıcaklığıdır ($^{\circ}C$). GEHIK'in baz alındığı duyulur ısı depolama sistemlerinde (DIDS); ısı depolama (şarj) ve ısı yayılım (deşarj) olmak üzere iki farklı verim söz konusu olup bunlara dayalı olarak da günlük termal verim hesaplanabilir, bunlar;

$$\eta_{t,ch} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} Q_{ch} dt}{A_{sc} \int_{t_1}^{t_2} I dt} \quad 4.15$$

$$\eta_{t,day} = \frac{Q_{ch} + Q_{dis}}{A_{sc} I_T} \quad 4.16$$

GEHIK'lı gizli ısı depolama sistemlerinde (GIDS); ısı depolama panelindeki şarj vedeşarj edilen enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$Q_{ch} = [m_{pcm} C_{p,s} (T_m - T_{int,ch}) + m_{pcm} L + m_{pcm} C_{p,l} (T_{fin,ch} - T_m)] / \Delta t_{ch} \quad 4.17$$

$$Q_{dis} = [m_{pcm} C_{p,l} (T_m - T_{fin,dis}) + m_{pcm} L + m_{pcm} C_{p,s} (T_{int,dis} - T_m)] / \Delta t_{dis} \quad 4.18$$

burada; m_{pcm} FDM kütlesi (kg), $C_{p,s}$ ve $C_{p,l}$ ise FDM'nin katı ve sıvı haldeki özgül ısısı ($J/kg^{\circ}C$), Δt zaman değişimi (s), T_{int} ve T_{fin} FDM'nin başlangıç ve bitiş sıcaklığı ($^{\circ}C$), L FDM'nin gizli ısısı (J/kg) ve T_m de FDM'nin erime noktası sıcaklığıdır ($^{\circ}C$). FDM'nin sıvı oranı (γ) sıfır (katı) ile bir (sıvı) arasında değişmektedir;

$$\gamma = \frac{\Delta H}{L} = \begin{cases} 0 & T < T_s & \text{(katı hal)} \\ \frac{T-T_s}{T_1-T_s} & T_1 < T < T_s & \text{(katı/sıvı hal)} \\ 1 & T > T_1 & \text{(sıvı hal)} \end{cases} \quad 4.19$$

burada; T_s ve T_l FDM'nin katı ve sıvı haldeki sıcaklığını ifade etmektedir. FDM ile depo edilen anlık ısı enerjisi miktarı aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{m_{pcm}}{\Delta t} C_{p,s} \Delta T_{pcm} & T_{pcm} < T_m \\ Q_s &= \left(\frac{mL}{\Delta t} \right)_{pcm} & T_{pcm} = T_m \\ Q_s &= \frac{m_{pcm}}{\Delta t} C_{p,l} \Delta T_{pcm} & T_{pcm} > T_m \end{aligned} \quad 4.20$$

Burada; m_{FDM} FDM'nin kütlesi (kg), ΔT zaman aralığı (s), ΔT_{FDM} zaman aralığı boyunca FDM'deki sıcaklık artışı ($^{\circ}\text{C}$), L FDM'nin gizli ısısı (J/kg), T_{FDM} ortalama FDM sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_m FDM'nin erime noktası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve $C_{p,s}$, $C_{p,l}$ FDM'nin katı ve sıvı halinin özgül ısısıdır (J/kg $^{\circ}\text{C}$).

GEHIK'ın FDM olmadan günlük termal verimi (η_{day}) faydalı ısı oranının kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımına olan oranıdır ve aşağıda verilmiştir.

GEHIK'ın günlük termal verimi (η_{day});

$$\eta_{day} = \frac{\sum Q_u}{\sum IA_p} \quad 4.21$$

5. MATERYAL VE METHOD

Bu çalışmada, güneş enerjili hava ısıtma kolektörlerinde faz değıştiren madde ve kiraz çekirdeği kullanılarak gizli ve duyulur ısının depolanması ve salınım süreçlerinin analiz edilerek kolektörün termal performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. FDM'li kollektör ve kiraz çekirdekli kollektör testleri için ayrı ayrı deney setleri hazırlanarak her biri için 3 kollektörden oluşan deney setleri kurulmuştur.

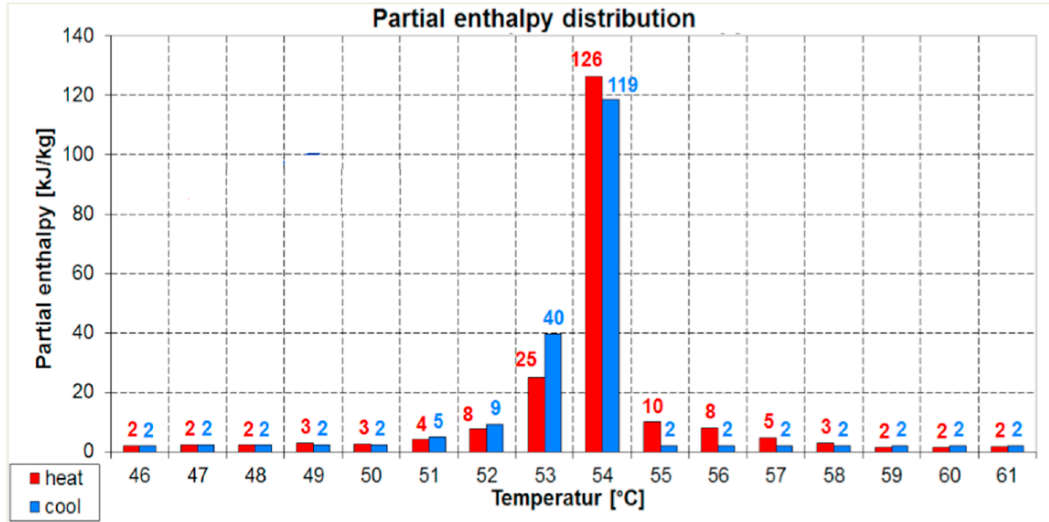
FDM deneylerinde ilk kollektörde (Tip I) balpetekli FDM, ikinci kollektörde (Tip II) sadece FDM kullanılmıştır. Tip I'de kullanılan bal peteği yapısı FDM'in düşük ısı iletim katsayısını yükseltmek için kullanılmıştır. Üçüncü kollektör (Tip III) ise düz yutucu plakalı kollektör olup karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

Kiraz çekirdeği deneylerinde ise test düzeneği FDM deneylerindeki aynı olup sadece ısı depolama malzemesi farklıdır. Duyulur ısı ile depolama deneylerinde ısı depolama malzemesi 32 kg kiraz çekirdeği tozu (Tip I) ve 24 kg kiraz çekirdeği (Tip II) olmak üzere iki şekilde test edilmiştir. Üçüncü kollektör (Tip III) düz yutucu plakalı kollektör olup karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

FDM ve kiraz çekirdeği ile yapılan deney setleri hem doğal konveksiyon şartlarında hem de cebri konveksiyon şartlarında ayrı ayrı test edilmişlerdir.

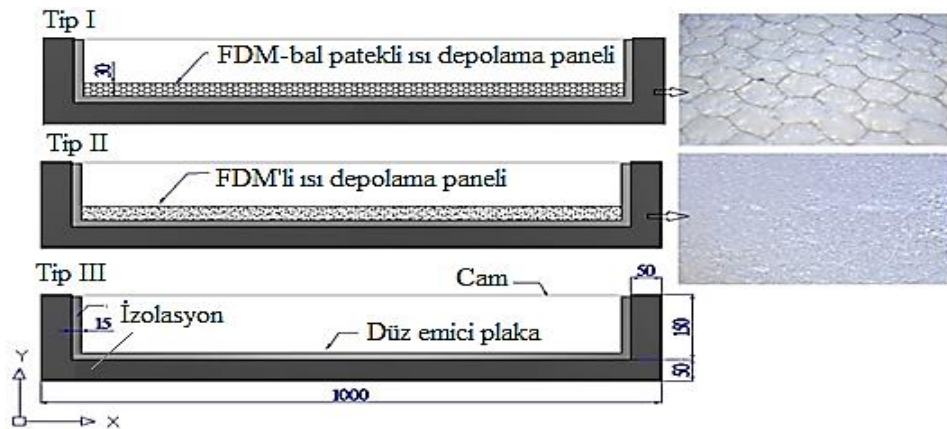
5.1 Gizli Isı Depolamalı (FDM) Doğal ve Cebri Konveksiyon Deneyleri

FDM ile gizli ısı depolamalı doğal konveksiyon deneyi 25-26-27 Ağustos 2017'de Akhisar-Manisa'da güneşli hava koşullarında icra edilmiştir. Deney 8:30'da başlamış ve ertesi gün aynı saatte sonlandırılmıştır. Kollektörler sızma problemine karşı yatay olarak konumlandırılmıştır. Kollektörde FDM malzemesi olarak Rubitherm RT54HC malzemesi kullanılmıştır. FDM malzemesinin erime sıcaklığı: 54 °C, özgül ısı kapasitesi: 2 kJ/kgK, ısı iletim katsayısı: 0.2 W/mK, ve ısı depolama kapasitesi: 200 kJ/kg'dır. Şekil 5.1.'de RT54HC sıcaklık-entalpi değerleri verilmiştir.



Şekil 5.1. RT54HC sıcaklık-entalpi değerleri [67]

Deney düzeneğindeki GEHIK'lar izole edilmiş kollektör kasası, yutucu plaka-ısı depolama paneli, saydam örtü (cam) ve test cihazlarından oluşmaktadır. GEHIK'ın başlıca özellikleri standart siyah mat boya ile boyanmış alüminyum yutucu plakalı, önden geçişli, temperli güneş kollektör camlı ve cebri konveksiyonlu olmalarıdır. GEHIK'ın ana özellikleri Tablo 5.1.'de verilmiştir. Isı depolamalı kollektörde ısı depolama ünitesi olarak 87x187x3 cm ölçülerinde bir panel kullanılmıştır. Isı depolama paneli 1 mm'lik alüminyum sacdan imal edilmiştir. Isı depolama panelinin üst yüzeyi yutucu plaka olarak kullanılmıştır. Kollektörlerin kesit görünüşleri Şekil 5.2.'de verilmiştir. Şekil 5.3.'te GEHIK deney seti (FDM), Şekil 5.4.'te ise Balpeteği görüntüsü ve RT54HC'li balpeteği görünümü verilmiştir. Tablo 5.2.'de Alüminyum balpeteğinin termofiziksel özellikleri verilmiştir.



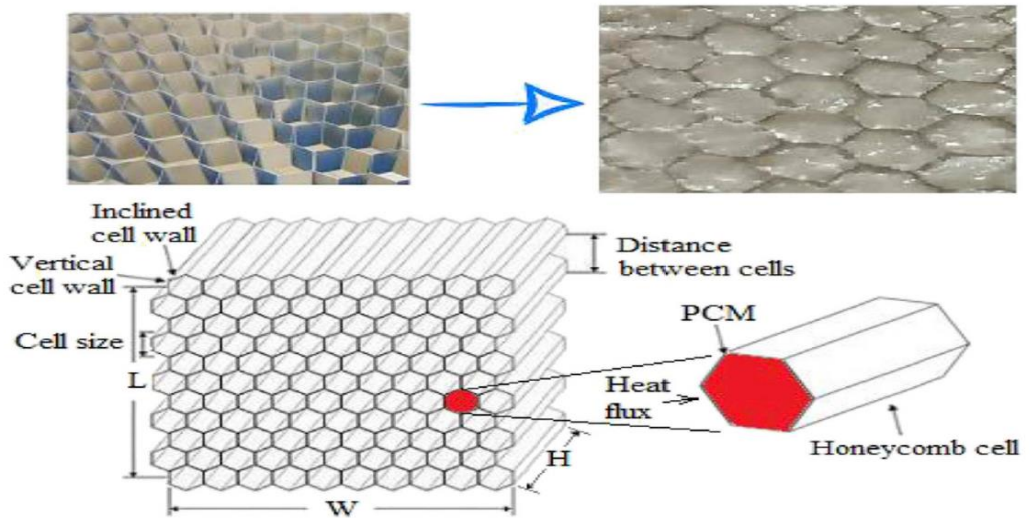
Şekil 5.2. Kollektörlerin kesit görünüşleri (FDM)



Şekil 5.3. GEHIK deney seti (FDM)

Tablo 5.1. Kollektörlerin teknik özellikleri

Komponentler	Özellikler
Kollektör Tipi	Önden tek geçişli
Kollektör Kasası	0.8 mm çelik sac, 1000x2000x200 mm
Kasa İzolasyonu	50 mm cam yünü
Kanal İzolasyonu	15 mm cam yünü levhası
Düz Yutucu Plaka	Aluminyum, 870x1900x1 mm
Isı Depolama Paneli	Aluminyum, 870x1900x30 mm
Saydam Örtü	Normal demir oranlı temperli kollektör camı (3.2 mm)
Balpeteği Izgarası	Aluminyum, hücre çapı \varnothing 1/2", folyo kalınlığı: 50 μ m, çekirdek kalınlığı: 30 mm



Şekil 5.4. Balpeteği görüntüsü ve RT54HC'li balpeteği görünümü

Tablo 5.2. Alüminyum balpeteğinin termofiziksel özellikleri (300 K sıcaklığında)

Özellikler	Değerler
Özgül Isı Kapasitesi	903 J/kg K
Termal İletkenlik	190 W/m K
Isı Transfer Katsayısı	25 W/m ² K
Yoğunluk	2700 kg/m ³
Termal genleşme katsayısı	23.10 ⁻⁶ 1/°C

Deney setinde hız ölçümü için iki tane hot wire tip anemometre ve teyit amaçlı bir pervaneli anemometre, güneş ışınımı için piranometre giriş-çıkış hava sıcaklıkları ve camın yüzey sıcaklığı ölçümleri için PT1000 tip sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Yutucu plaka sıcaklıkları-ısı depolama paneli sıcaklıkları ve kollektör kanalındaki hava sıcaklığı ölçümleri için T tipi ısı çifti kullanılmıştır.

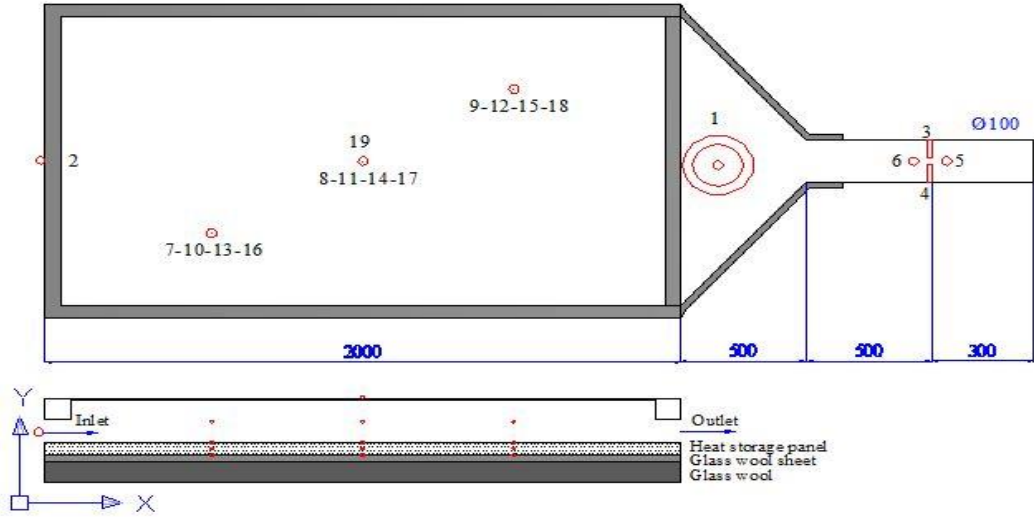
Kütleli debi, sıcaklık, ışınım ve termal verim gibi değerler ölçüm cihazları kullanılarak deneysel verilere dayalı olarak elde edilmiştir. Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri Tablo 5.3.'de verilmiştir. Tüm ölçüm parametrelerinin veri kayıt aralığı 2 dakika olarak seçilmiştir. Deneylerde 2 adet 16 kanallı universal tip data logger (Comet MS6D), 1 adet 16 kanallı ısı çifti data logger'ı (Delta Ohm HD32.8.16) ve 1 adet 4 kanallı PT1000 yüzey sıcaklık ölçüm data logger'ı (Comet-S0141) kullanılmıştır.

Tablo 5.3. Ölçüm cihazları ve özellikleri

Cihaz	Model	Aralık	Hassasiyet
Piranometre	Delta Ohm LA PYRA 02 AC	0-2000 W/m ²	±10 W/m ²
Hot-wire anemometre	Delta Ohm HD403TS1	0.2-40 m/s	±0.2 m/s
T tip ısı çifti	Elimko	-35+250 °C	±0.5 °C
PT1000 sıcaklık	Comet SN234	-80+200 °C	±0.15 °C
PT1000 yüzey sıcaklığı	Comet SN166	-30+200 °C	±0.15 °C
Anemometre	Kestrel 3000	0.4-60 m/s	±3%
Termal kamera	Flir SC325	-20+350 °C	±2%
Tartı	Extent JCS-B	0-3 kg	0.1 g

Sensör yerleşiminin şematik-planı Şekil 5.5.'de, deney setinin hazırlanış resimleri Şekil 5.6.'da verilmiştir. Yutucu plakanın ve ısı depolama panelinin yüzey sıcaklık ölçümü eşit aralıklı olarak çapraz üç noktada gerçekleştirilmiştir. Sensör

yerleşim numaralandırması; güneş ışınımı (1), giriş sıcaklığı (2), çıkış hava hızı (3-4), çıkış hava sıcaklığı (5-6), kollektör kanalındaki hava sıcaklıkları (7-8-9), yutucu plaka yüzey sıcaklıkları (10-11-12), ısı depolama malzemesi sıcaklıkları (13-14-15), ısı depolama paneli alt yüzey sıcaklıkları (16-17-18) ve cam yüzey sıcaklığı (19) şeklindedir. Kollektörler izolasyon ve montaj hatalarına karşın termal kamera ile kontrol edilmiş ve kollektörlerde gerekli düzenlemeler yapılmıştır.



Şekil 5.5. Sensör yerleşimi



a) Balpetekli FDM



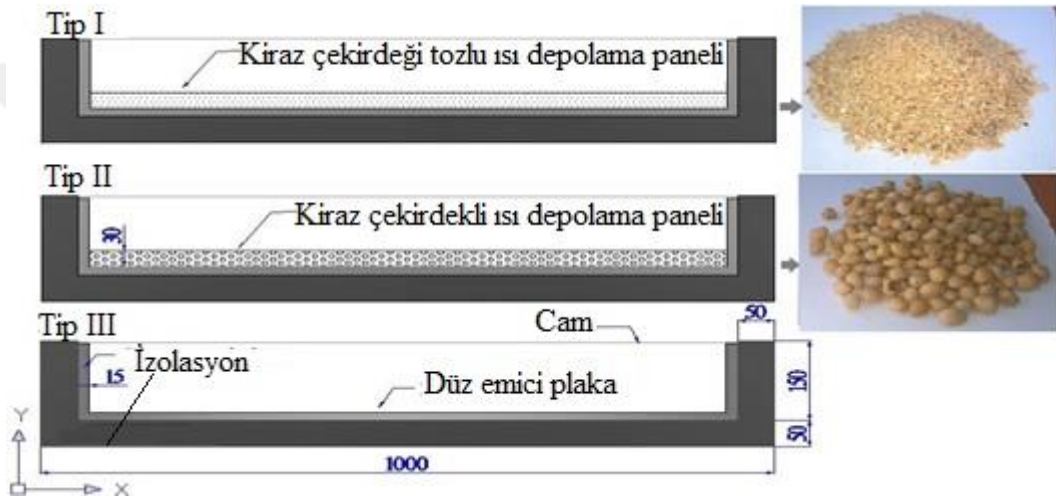
b) FDM

Şekil 5.6. Gizli ısı depolamalı GEHIK'ların hazırlanışı

5.2 Duyulur Isı Depolamalı (Kiraz Çekirdeği) Doğal ve Cebri Konveksiyon DeneYleri

GEHIK’de duyulur ısı depolanmasında malzeme olarak kiraz çekirdeği kullanılmıştır. DeneYler 1-2-3 Eylül 2017’de Akhisar-Manisa’da güneşli hava koşullarında yapılmıştır. DeneY 8:30’da başlamış ve ertesi gün aynı saatte sonlandırılmıştır. Kollektör eğimleri güneye bakacak şekilde 30° olarak ayarlanmıştır.

Kollektörlerin kesit görünüşleri Şekil 5.7.’de, deneY setinin resmi ise Şekil 5.8 ile Şekil 5.9.’da verilmiştir.



Şekil 5.7. Kollektörlerin kesit görünüşleri (kiraz çekirdeği ve tozu)



Şekil 5.8. GEHIK deneY seti (kiraz çekirdeği ve tozu)



Şekil 5.9. GEHIK deney seti hazırlanışı (kiraz çekirdeği ve tozu)

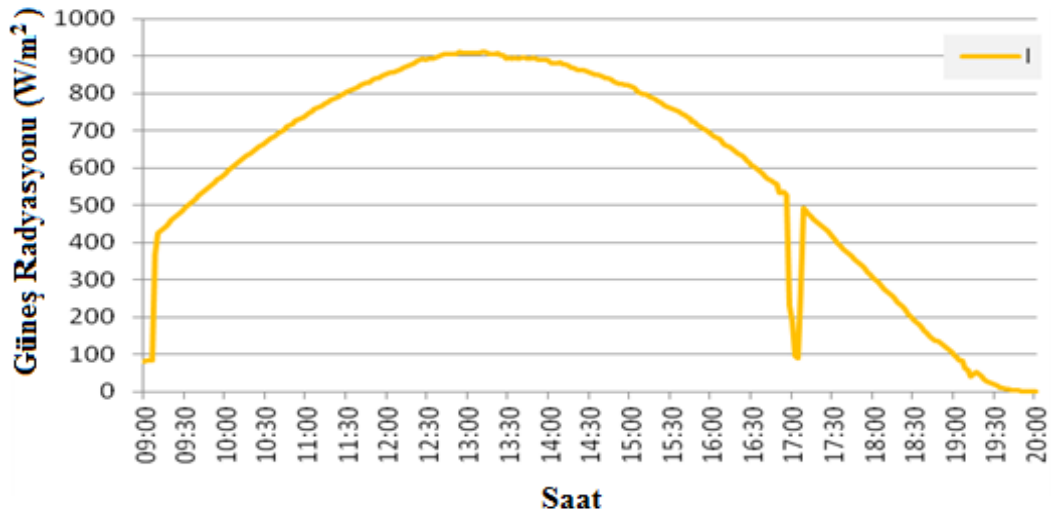


6. ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1 Gizli Isı Depolamalı (FDM) Doğal Konveksiyon Deney Sonuçları

Bu deneysel çalışmanın başlıca amacı ısı depolama malzemesi olarak FDM kullanarak GEHIK'in kullanılabilirliğinin artırılmasıdır. FDM'in düşük ısı iletim katsayısının artırılması için balpeteği konstrüksiyonu kullanılmıştır. Her iki kollektörde de 26 kg Rubiterm RT54HC FDM malzemesi kullanılmıştır. İlk kollektörde FDM ile birlikte balpeteği ızgarası kullanılırken, ikinci kollektörde ısı depolama panelinde sadece FDM kullanılmıştır. Üçüncü kollektör (Tip III) ise düz yutucu plakalı kollektör olup karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Kollektörler dizayn ve imalatı yapılarak termal performansları eş zamanlı olarak doğal konveksiyon şartlarında test edilmiştir. Deneyler açık hava koşullarında gerçekleştirilmiştir.

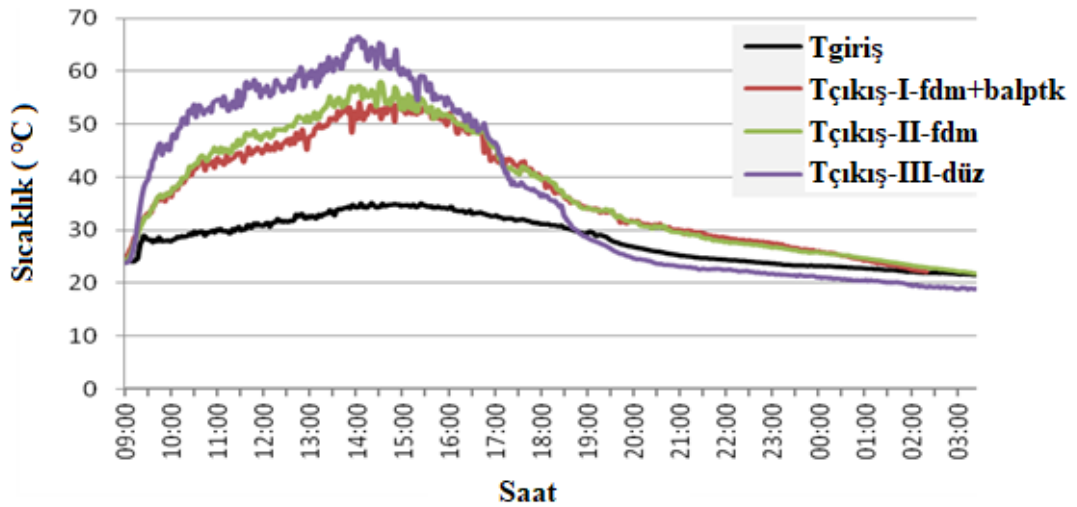
Güneş radyasyonunun saatlik değişimi Şekil 6.1.'de verilmiştir. Güneş ışınımı saat 13:10'da 912.3 W/m^2 ile maksimum değerine ulaşmış olup 622 W/m^2 gün içi ortalama değerine sahiptir. Şekil 6.1.'den görüldüğü gibi ışınım 16:58 ve 17:08 saatlerinde çevresel yapı elemanları sebebiyle dalgalanmıştır. Kollektörler 17:28 civarında kısmi olarak gölgelemeye başlamış ve 18:26'da çevredeki binalar sebebiyle tam gölgelemeye geçmiştir.



Şekil 6.1. Güneş ışınımının zamana göre değişimi

Kollektörlerde hava giriş ve çıkış sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 6.2.'de verilmiştir. Tip I ve II için hava çıkış sıcaklıkları saat 10:30'a kadar aynı gelişim göstermiş olup, Tip II çıkış sıcaklığı saat 15:00'e kadar artmıştır. Bu durumda Tip I ısı depoladığından dolayı hava çıkış sıcaklığı düşük seyretmiştir. Tip III kollektör ısı depolama özelliği olmamasından dolayı hava çıkış sıcaklığı belirgin olarak yüksek seyretmiştir. Bu durum Tip I ve Tip II için 16:30'a kadar sıcaklık depolama evresini (şarj periyodunu) göstermektedir. Saat 16:30'da, üç kollektörün de hava çıkış sıcaklıkları eşitlenmiştir. Ardından Tip I ve Tip II kollektörün çıkış sıcaklık eğrisi yatay bir hareket gösterirken Tip III'ünkü ise hızlıca düşmüştür.

Tip I'in giriş ve çıkış hava sıcaklıklarının eşitlenmesi gece 02:20'de gerçekleşirken Tip II'ninki ise saat 03:36'da eşitlenmiştir. Düz yutucu plakalı kollektörün hava giriş çıkış sıcaklık değerlerinin eşitlenmesi 18:46'da gerçekleşmiş olup ardından çıkış sıcaklığı giriş sıcaklığına göre hafifçe düşük seyretmiştir. Bu durum gece etkisi (nocturnal) ile açıklanabilir.

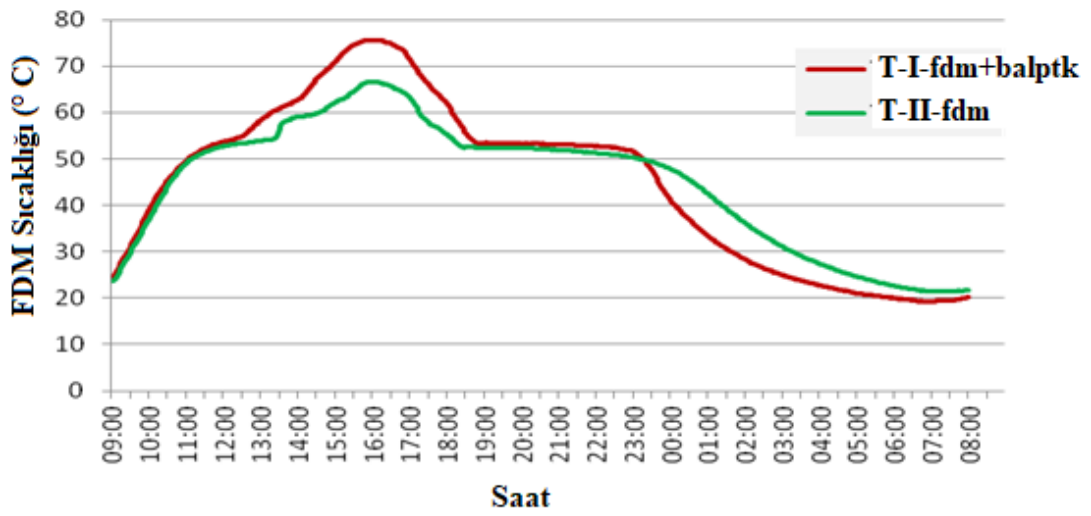


Şekil 6.2. Giriş-çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi

Tip I ve Tip II'deki gizli ısı depolama malzemesi olan FDM'nin ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 6.3.'de verilmiştir. Saat 10:50'ye kadar Tip I kollektörün malzeme sıcaklığı Tip II'ye göre hafifçe yüksek seyretmiştir. Ardından Tip I'in malzeme sıcaklığı belirgin olarak artmış olup bu durum balpeteği ızgarası kullanımının FDM sıcaklığını artırarak daha fazla ısı depolanması gerçekleştirildiğini göstermektedir. FDM'nin erime noktası dikkate alındığında Tip I'deki erime

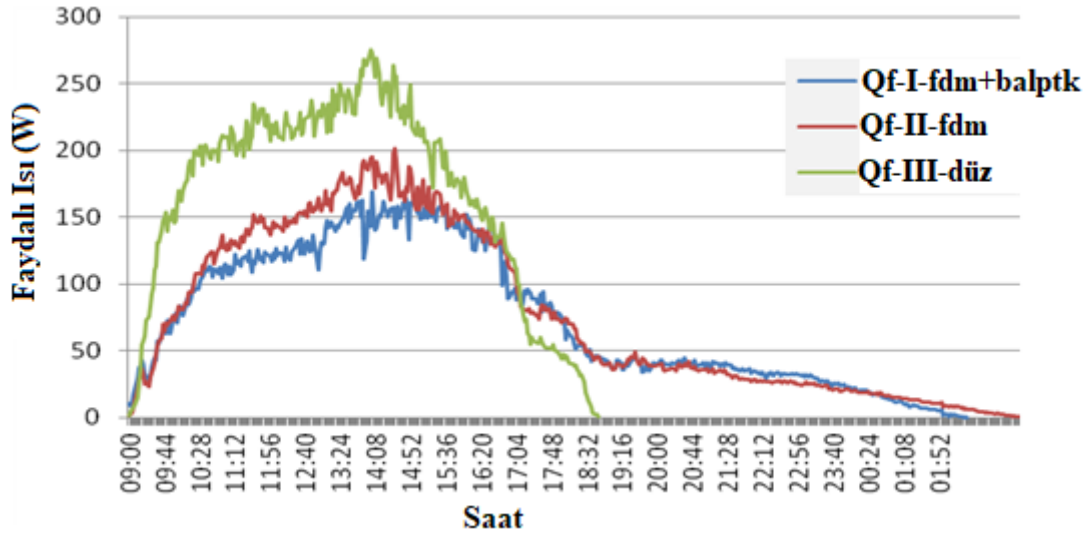
noktasına ulaşım zamanı Tip II'ye göre 50 dakika önce gerçekleşmiştir. Ayrıca sıcaklık bakımından Tip I'in lehine 10°C'lik bir üstünlük bulunmaktadır. Gizli ısının deşarj periyodu saat 18:30-23:00 saatleri arasında gerçekleşmiş ve Tip I kollektörün FDM sıcaklığı hafifçe yüksek çıkmıştır.

Gizli ısının deşarj periyodundan sonra Tip I FDM sıcaklığı Tip II'ye göre belirgin olarak hızla düşmüştür. Isı transfer artırıcı araç olarak kullanılan balpeteği ızgarasının şarj ve deşarj sürelerinin kısaltılmasında etkili olduğu ayrıca gün ortasında duyulur ısı depolamasını belirgin olarak artırdığı gözlemlenmiştir.



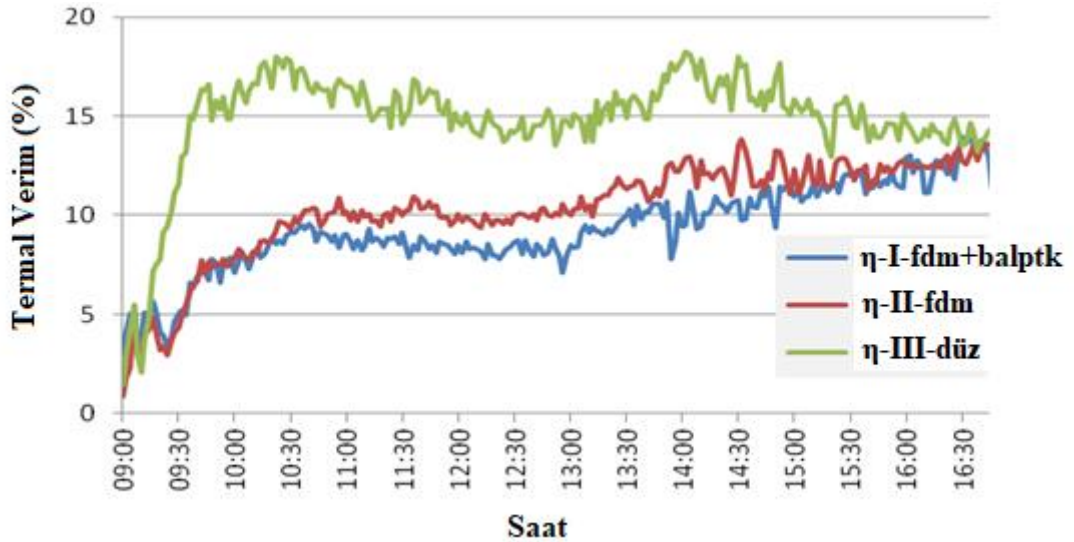
Şekil 6.3. FDM sıcaklığının zamana göre değişimi

Kollektörlerde elde edilen faydalı ısının zamana göre değişimi Şekil 6.4.'de verilmiştir. Tip II'nin faydalı ısısı Tip I'e göre öğlene kadar hafifçe yüksek seyretmiştir. Doğal konveksiyon şartları altında, düz yutucu plakalı kollektörün gün içindeki faydalı ısısı diğer kollektörlere göre belirgin şekilde yüksek çıkmıştır. Tip I ve Tip II kollektörün ısı depolama evresi (şarj periyodu) saat 18:30'a kadar sürmüştür. Saat 10:30'dan 15:00'e kadar Tip II'nin faydalı ısısı Tip I'e göre hafifçe yüksek seyretmiştir. Saat 16:30'da üç kollektörün çıkış sıcaklıkları eşitlendikten sonra Tip I, Tip II'ye göre hafifçe yüksek seyretmiş olup Tip III ise hızlıca düşmüştür. Faydalı ısı üretimi Tip III için 18:46'da, Tip I için 02:28'de ve Tip II için 03:38'de sonlanmıştır.



Şekil 6.4. Faydalı ısının zamana göre değişimi

Kollektörlerin doğal konveksiyon şartları altında zamana göre termal verim değişimleri Şekil 6.5.'de verilmiştir. Düz yutucu plakalı kollektörün gün içindeki termal verimi diğer kollektörlere göre belirgin olarak yüksek seyretmiştir. Saat 10:30'dan 15:00'e kadar Tip II'nin termal verimi Tip I'e göre hafifçe yüksek çıkmıştır. Günlük bazda baktığımızda ise Tip I'in termal verimi Tip II'ye göre daha yüksek çıkmıştır. Deneysel ölçüm verilerinin bir özeti Tablo 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.5. Termal verimin zamana göre değişimi

Tablo 6.1. Ölçüm verilerinin özeti (FDM doğal konveksiyon)

Saat	Işınım (W/m ²)	Giriş	Çıkış			Isı Depolama Malzemesi	
			Hava Sıcaklığı (°C)				
	I	T _{giriş}	T _{çıkış-I-} FDM+balptk	T _{çıkış-II-} FDM	T _{çıkış-III-} düz	T _{I-} FDM+balptk	T _{II-} FDM
09:00	82,0	24,2	25,2	24,3	23,9	24,4	23,8
10:00	585,2	28,0	36,3	37,2	46,8	39,1	37,0
11:00	742,8	30,2	43,7	45,3	54,7	49,6	49,2
12:00	851,7	30,9	45,3	48,0	56,1	53,7	52,8
13:00	907,1	32,4	47,7	50,4	58,6	58,5	53,9
14:00	886,9	34,3	51,0	56,5	65,9	62,8	59,1
15:00	817,6	34,7	52,6	54,9	60,6	71,1	62,3
16:00	690,1	34,1	51,9	51,3	54,4	75,6	66,6
17:00	492,6	32,4	43,6	43,2	44,1	69,7	61,6
18:00	306,4	31,2	39,8	39,4	36,4	61,9	55,2
18:46^a	135,5	29,9	35,2	35,2	30,0	53,5	52,4
19:00	100,0	29,4	34,0	34,2	28,6	53,5	52,4
20:00	0,9	26,9	31,6	31,5	24,7	53,4	52,3
21:00	0,9	25,3	29,7	29,5	23,2	53,1	51,9
22:00	1,0	24,5	28,6	27,8	22,6	52,8	51,3
23:00	1,3	23,8	27,5	26,7	21,8	51,5	50,3
24:00	1,0	23,3	26,1	25,8	21,1	41,1	47,8
01:00	0,9	22,9	24,2	24,7	20,6	33,4	42,5
02:00	1,0	22,3	22,6	23,3	19,8	28,3	36,2
02:28^b	0,6	22,1	22,1	22,8	19,3	26,6	33,6
03:00	0,5	21,8	21,4	22,2	18,9	24,9	31,1
03:38^c	1,0	21,6	21,1	21,6	19,1	23,4	28,5

^a: Tip III kollektöründe giriş çıkış sıcaklıklarının eşitlendiği saat

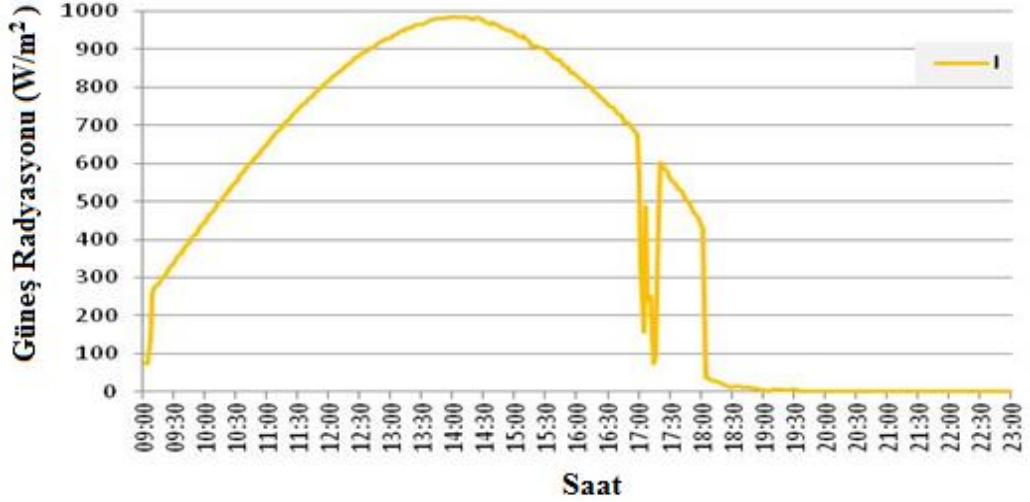
^b: Tip I kollektöründe giriş çıkış sıcaklıklarının eşitlendiği saat

^c: Tip II kollektöründe giriş çıkış sıcaklıklarının eşitlendiği saat

6.2 Duyulur Isı Depolamalı (Kiraz Çekirdeği ve Kiraz Çekirdeği Tozu) Doğal Konveksiyon Deney Sonuçları

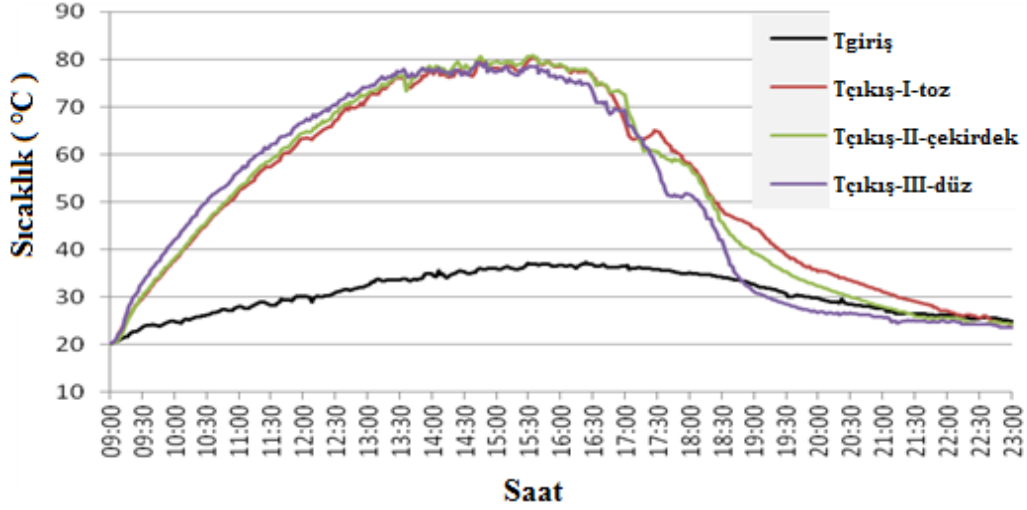
Bu deneysel çalışmanın amacı, ısı depolama malzemesi olarak kiraz çekirdeği kullanarak GEHIK'in kullanılabilirliğinin artırılmasıdır. Burada, birinci kollektörde (Tip I) 32 kg kiraz çekirdeği tozu, ikinci kollektörde (Tip II) 24 kg kiraz çekirdeği kullanılmış olup, üçüncü kollektör (Tip III) ise düz yutucu plakalı kollektör olup karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Kollektörler dizayn ve imalatı yapılarak termal performansları eş zamanlı olarak doğal konveksiyon şartlarında test edilmiştir. Deneyler açık hava koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Güneş ışınımının saatlik değişimi Şekil 6.6'da verilmiştir. Güneş ışınımı saat 14:02'de 986.9 W/m^2 ile maksimum değerine ulaşmış olup 690.3 W/m^2 gün içi ortalama değerine sahiptir. Şekil 6.6'dan görüldüğü gibi ışınım 17:02 ve 17:18 saatlerinde çevresel yapı elemanları sebebiyle dalgalanmıştır. Kollektörler 17:28 civarında kısmi olarak 18:02'da ise çevredeki binalar sebebiyle tam gölgeleme gerçekleşmiştir.



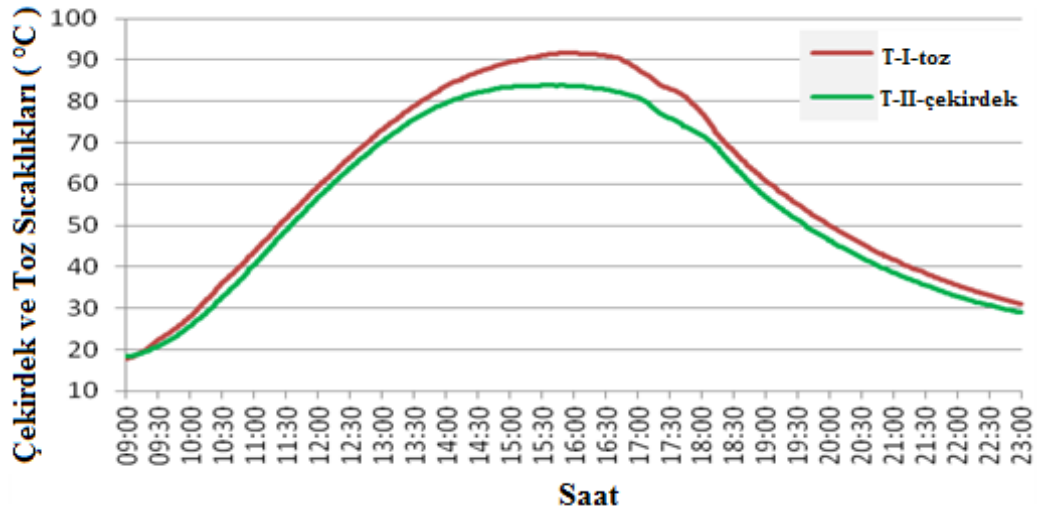
Şekil 6.6. Güneş ışınımının zamana göre değişimi

Kollektörlerde hava giriş ve çıkış sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 6.7.'de verilmiştir. Öğlene kadar; Tip II kollektörün çıkış havası sıcaklığı Tip I kollektörün çıkış havası sıcaklığından biraz daha yüksek seyretmiştir. Tip III kollektör ısı depolama özelliği olmamasından dolayı çıkış sıcaklığı belirgin olarak yüksek seyretmiştir. Bu durum Tip I ve Tip II için öğlene kadar ısı depolama evresini (şarj periyodunu) göstermektedir. Saat 13:26'da, üç kollektörün de çıkış sıcaklıkları eşitlenmiştir. Daha sonra Tip I ve Tip II kollektörün çıkış havası sıcaklıkları bariz şekilde yüksek seyretmiştir. Öğleden sonra Tip I'in hava çıkış sıcaklığı Tip II'den biraz daha yüksek olmuştur. Tip I'in giriş-çıkış havası sıcaklığının eşitlenmesi gece 22:32'de gerçekleşirken Tip II'ninki ise saat 21:22'de eşitlenmiştir. Düz yutucu plakalı kollektörün giriş-çıkış havası sıcaklık değerlerinin eşitlenmesi 18:48'de gerçekleşmiş olup ardından çıkış havası sıcaklığı giriş sıcaklığına göre hafifçe düşük seyretmiştir. Bu durum, gece etkisi (nocturnal) ile açıklanabilir.



Şekil 6.7. Giriş-çıkış sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi

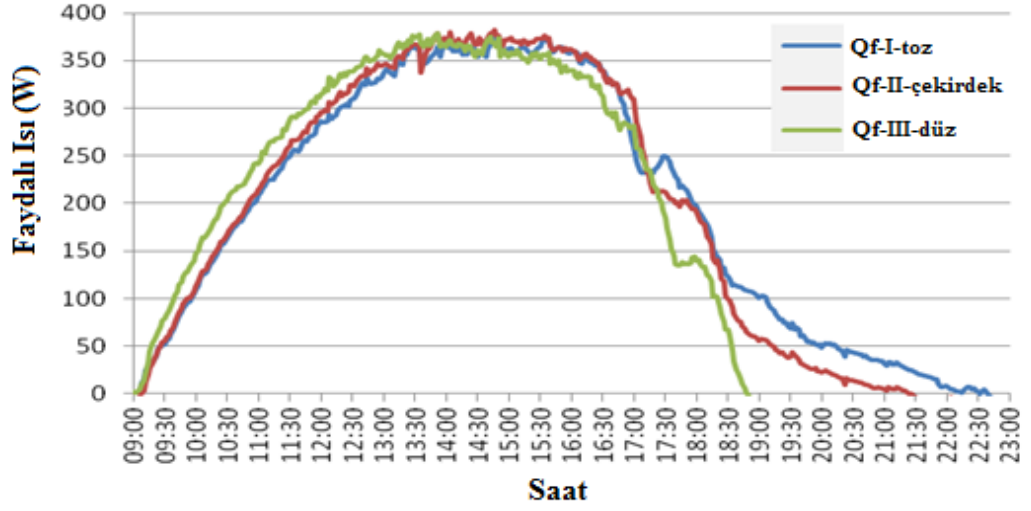
Tip I ve Tip II'deki duyulur ısı depolama malzemeleri olan kiraz çekirdeği ve kiraz çekirdeği tozunun ortalama sıcaklık değişimleri Şekil 6.8.'de verilmiştir. Tip I kollektöründeki kiraz çekirdeği tozunun sıcaklığı Tip II'deki kiraz çekirdeğine göre özellikle öğleden sonra daha yüksektir.



Şekil 6.8. Kiraz çekirdeği ve kiraz çekirdeği tozu sıcaklığının zamana göre değişimi

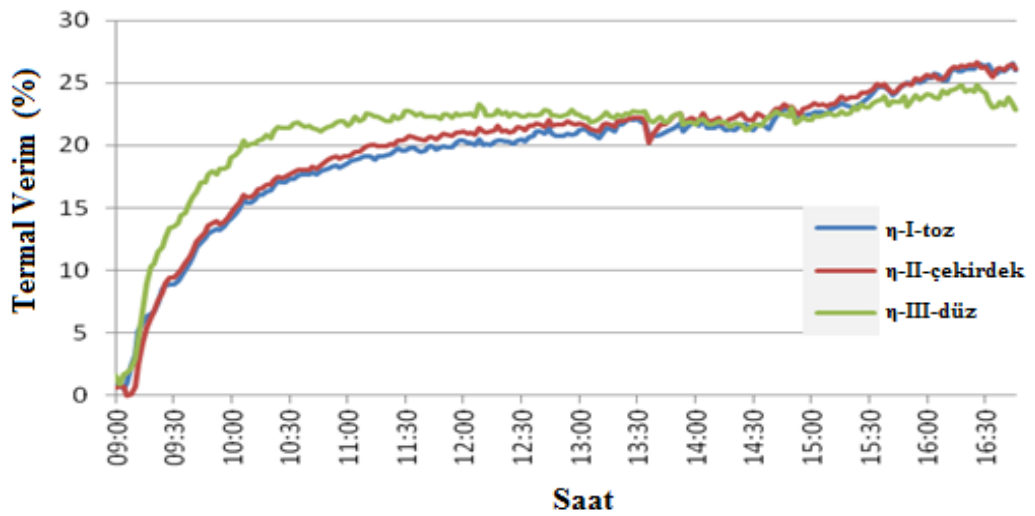
Faydalı ısının zamana göre değişimi Şekil 6.9.'da verilmiştir. Tip II'nin faydalı ısısı Tip I'e göre öğlene kadar biraz daha yüksek seyretmiştir. Düz yutucu plakalı kollektörün gün içindeki faydalı ısısı diğer kollektörlere göre belirgin şekilde yüksek çıkmıştır. Tip I ve Tip II kollektörün ısı depolama evresi (şarj periyodu) öğlene kadar sürmüştür. Gün batımına doğru Tip I ve Tip II ısı depolama

kollektörlerinin faydalı ısısı önemli derecede yüksektir. Öğleden sonra Tip I'in faydalı ısısı Tip II'ye göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.9. Faydalı ısının zamana göre değişimi

Doğal konveksiyonda şartlarındaki kolektörlerin zamana göre termal verim değişimleri Şekil 6.10'da verilmiştir. Öğlene kadar Tip II'nin enerji verimliliği Tip I'in verimliliğinden biraz daha yüksektir. Düz yutuculu plakalı kolektörün gün içindeki termal verimi diğer kolektörlere göre belirgin olarak yüksek seyretmiştir. Özellikle günbatımına doğru Tip I ve Tip II'nin enerji verimliliği önemli ölçüde artmıştır. Deneysel ölçüm verilerinin özeti Tablo 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.10. Termal verimin zamana göre değişimi

Tablo 6.2. Ölçüm verilerinin özeti (Kiraz çekirdeği doğal taşınım)

Saat	Işınım (W/m ²)	Giriş		Çıkış		Isı Depolama Malzemesi	
		Hava Sıcaklığı (°C)					
	I	T _{giriş}	T _{çıkış-I- toz}	T _{çıkış-II- çekirdek}	T _{çıkış- III-düz}	T _{I-toz}	T _{II-çekirdek}
09:00	73,8	20,0	20,1	20,1	20,2	18,0	18,4
10:00	450,1	24,9	37,6	38,0	42,0	27,8	25,6
11:00	654,6	28,1	52,3	53,1	56,3	43,5	40,4
12:00	819,5	30,0	63,4	64,5	66,7	59,3	56,5
13:00	929,4	32,4	71,7	72,2	74,2	73,0	70,1
14:00	984,1	34,8	77,6	78,0	77,3	83,6	79,5
15:00	942,0	36,0	78,2	79,6	77,3	89,5	83,4
16:00	826,9	36,7	78,6	79,0	76,4	91,6	83,7
17:00	556,5	36,5	66,8	72,6	69,4	87,9	81,1
18:00	440,6	35,2	58,2	57,6	51,6	77,4	71,9
18:48^a	10,0	33,4	46,1	41,0	33,4	63,6	59,7
19:00	4,0	32,6	44,4	39,1	31,1	61,0	57,0
20:00	1,0	29,7	35,3	32,3	26,6	50,1	46,4
21:00	1,4	27,5	31,2	28,0	25,8	41,8	38,7
21:22^b	1,6	26,5	29,6	26,5	24,9	39,3	36,4
22:00	1,7	26,2	27,1	25,6	24,7	35,5	32,9
22:32^c	1,9	25,6	25,6	24,3	24,3	33,0	30,7
23:00	1,4	25,0	24,3	24,3	23,5	31,0	28,9

^a: Tip III kollektöründe giriş çıkış sıcaklıklarının eşitlendiği saat

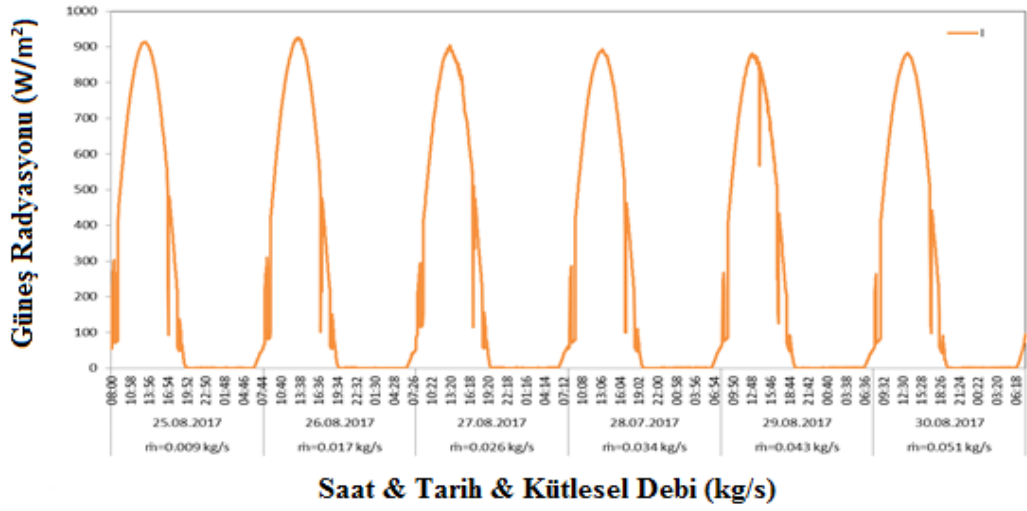
^b: Tip II kollektöründe giriş çıkış sıcaklıklarının eşitlendiği saat

^c: Tip I kollektöründe giriş çıkış sıcaklıklarının eşitlendiği saat

6.3 Gizli Isı Depolamalı (FDM) Cebri Konveksiyon Deney Sonuçları

Bu deneysel çalışma, GEHIK'in kullanılabilirliğinin artırılması amacıyla yapılan kollektörlerin cebri konveksiyon şartları altında test edilmesi amaçlanmıştır. FDM'in düşük ısı iletim katsayısının artırılması için balpeteği konstrüksiyonu kullanılmıştır. Her iki kollektörde de 26 kg Rubiterm RT54HC FDM malzemesi kullanılmıştır. İkinci kollektör ısı depolama panelinde sadece FDM, ilk kollektörde ise FDM ile birlikte balpeteği ızgarası kullanılmıştır. Üçüncü kollektör ise düz yutucu plakalı kollektör olup karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Kollektörler dizayn ve imalatı yapılarak termal performansları eş zamanlı olarak cebri konveksiyon şartlarında test edilmiştir. Deneyler açık hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. 0,009 kg/s ile 0,05 kg/s aralığındaki farklı debilerde altı gün boyunca testler gerçekleştirilmiştir. Güneş radyasyonunun, 25-31 Ağustos 2017 tarihlerindeki 6 gün boyunca saatlik değişimi Şekil 6.11.'de gösterilmiştir. Güneş radyasyonu yaklaşık

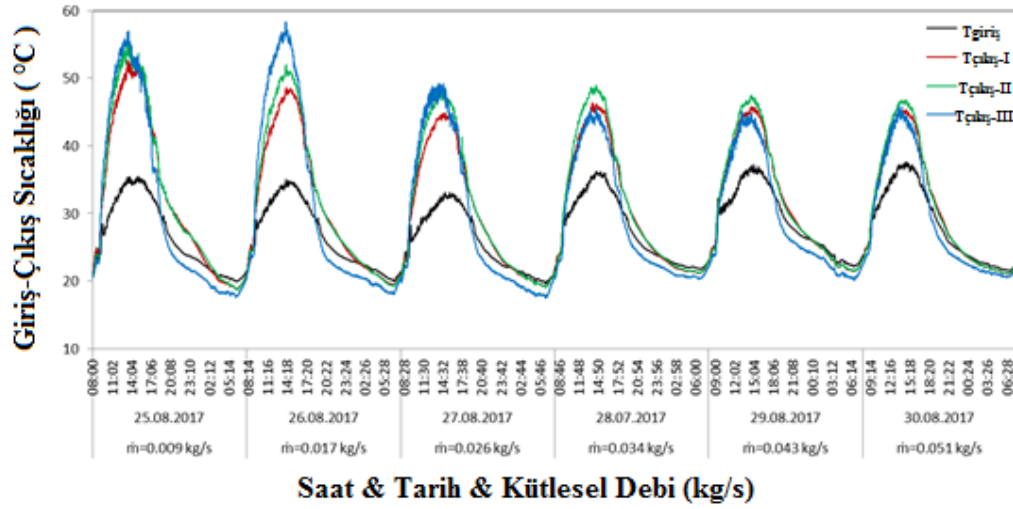
13:20'de maksimum değere ulaşmıştır, maksimum değer 882.8-926.6 W/m² arasındadır ve test günlerinde 09:00-17:30 arasında ortalama değer 686.2-727.3 W/m² arasındadır. Altı test günündeki radyasyon miktarları arasındaki farklılıklar küçüktür, bu da test sonuçlarını birbirleri ile karşılaştırmayı kolaylaştırmaktadır. Şekil 6.11.'de görüldüğü üzere, baca ve elektrik direği gibi çevresel faktörlere bağlı olarak 08:00-08:10, 8:40-09:05, 16:55-17:10 ve 18:30-18:50 arasında radyasyon değeri hafifçe dalgalanmıştır. Kollektörler saat 17:30 itibariyle çevresel etkiler sebebiyle kısmi gölgelenmeye başlamış ve saat 18:30 itibariyle tam anlamıyla gölgelenmiştir.



Şekil 6.11. Güneş radyasyonunun zamana göre değişimi

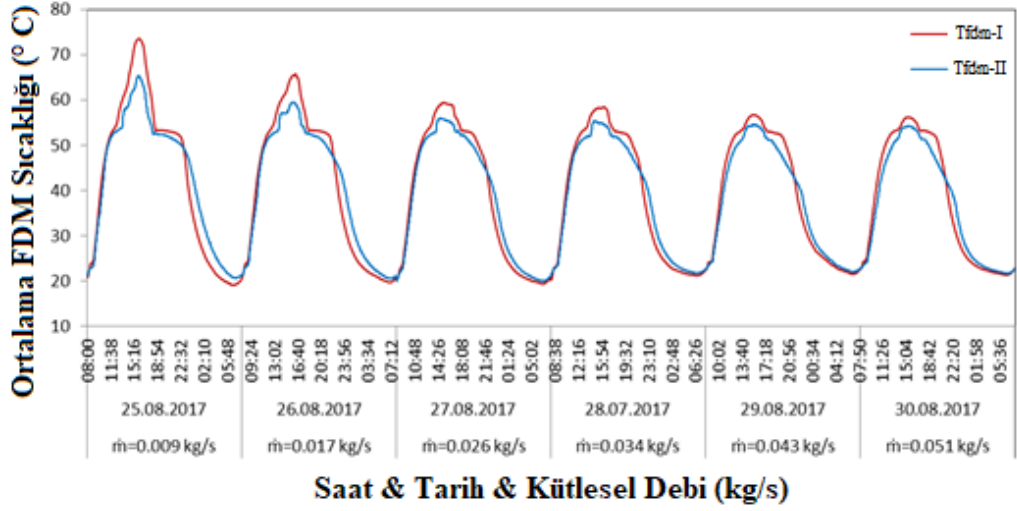
Kollektörlerin giriş ve çıkış hava sıcaklıklarının saatlik değişimi Şekil 6.12'de verilmiştir. Giriş ve çıkış havası sıcaklıkları paralel şekilde seyretmiş ancak öğlen ve gün batımından sonra farklılık göstermiştir. Sabahları sıcaklıklar benzer bir eğilim gösterirken öğlene doğru kırılmalar başlamış ve öğleden sonraya kadar devam etmiştir. İlk üç debi değeri için Tip III'ün çıkış sıcaklığı en yüksekken, son üç debi değerinde yapılan testlerde Tip II'nin çıkış sıcaklığı en yüksektir. Bu durumda Tip I'in çıkıştaki hava sıcaklığı daha düşüktür, çünkü Tip II'ye göre daha fazla ısı emmiştir. Tip III'ün hava çıkış sıcaklığı, ilk üç debi için diğer kollektörlerden (Tip I ve II) daha yüksek olmuştur, çünkü ısı depolama yapmamaktadır. Öğleden sonra, güneş radyasyonunun azalması ile sıcaklık düşmüştür. Bununla birlikte, gün batımına doğru, Tip I-II ve Tip III çıkış sıcaklıkları incelendiğinde; Tip III'ün hava çıkış

sıcaklığı hızla düşerken, Tip I ve II'nin çıkıştaki hava sıcaklığı daha yüksek ve grafik daha yataydır.



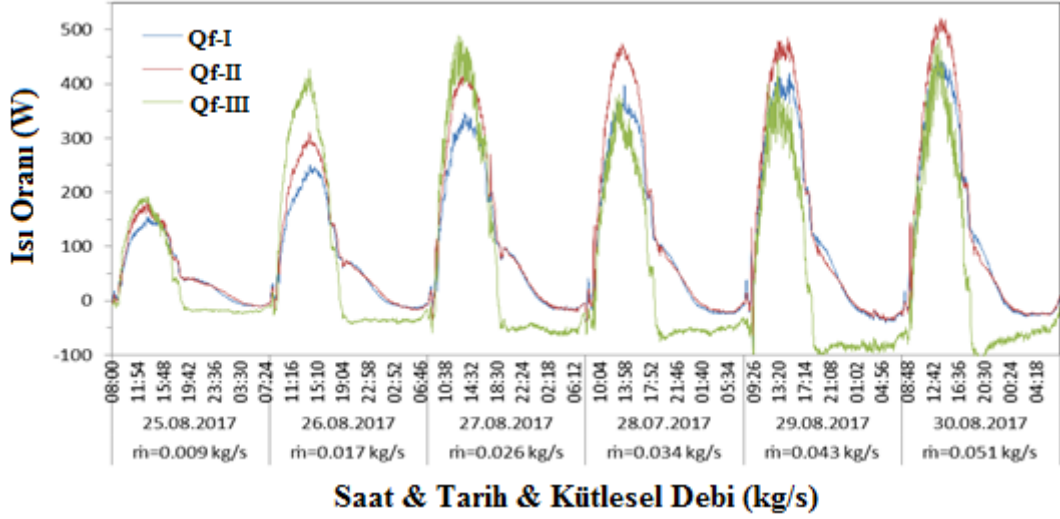
Şekil 6.12. Kollektörlerin giriş ve çıkış sıcaklıklarının saatlik değişimi

Kollektörlerdeki ortalama FDM sıcaklıkları Tip I balpetekli FDM ve Tip II sadece FDM olmak üzere Şekil 6.13.'de gösterilmiştir. Tip I'deki FDM, erime noktasına daha çabuk ulaşmıştır. Buna ilave olarak gündüz saatlerindeki zirve noktasını göz önüne aldığımızda Tip I ısı depolama kollektöründe 10°C'lik bir avantaj olduğu açık bir şekilde görülmüştür. Tip I'de gizli ısı depolama malzemesi FDM'in deşarj süresi ve sıcaklığı daha yüksektir. Tip I'in FDM sıcaklığı deşarj süresinden sonra Tip II'ye göre daha hızlı bir şekilde düşmüştür. Isı transfer miktarını artırıcı olarak kullanılan balpeteğinin, şarj-deşarj süresini kısaltmakta etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, öğlen şarj periyodunda ve günbatımından sonra deşarj periyodunda önemli fark olduğu belirlenmiştir.



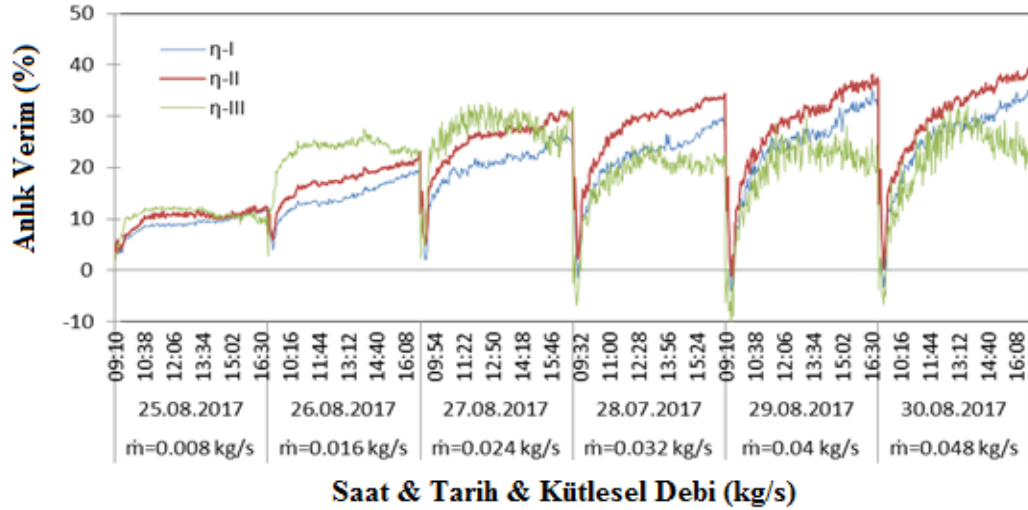
Şekil 6.13. Tip I ve Tip II için farklı debilerde FDM sıcaklığının zamana göre değişimi

Şekil 6.14’de tüm debilerdeki gün içi ısı oranı değişimi verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere ısı oranları gün içinde ışıyım artış ve azalmasına paralel olarak hareket etmiştir. Gün batımından sonra ise ısı depolamasız kollektör ısı oranı hızla düşerken ısı depolamalı kollektörlerde ise daha yatay bir karakter izlemiştir. İlk üç debi için ısı depolamasız kollektör ısı oranı gün ortasında daha yüksek çıkmıştır. Debi artışına paralel olarak son üç debide ise ısı depolamalı kollektör (Tip II) ısı oranı daha yüksek çıkmıştır. Tip II’yi Tip I ve ısı depolamasız kollektör takip etmiştir. Buradan ısı depolamalı kollektörlerin 0,034 kg/s ve üzerindeki debilerde avantaj sağladığı görülmektedir. 0,034 kg/s, 0,043 kg/s ve 0,051 kg/s debilerinde, ısı depolamalı kollektörler hem gün içinde ısı oranları yüksek çıkmış olup hem de gün batımından sonra esas fonksiyonunu başarılı bir şekilde gerçekleştirerek depo edilen ısı enerjisini akış havasına aktarmıştır. Böylelikle ısı depolamalı kollektörlerin kullanılabilirliklerinin arttığı söylenebilir. Ayrıca gece saatlerinde gece-etkisi sebebiyle ısı depolamasız kollektörde -100 W’a varan negatif ısı oranına ulaşılmıştır. Isı depolamalı kollektörlerde ise çok daha düşük negatif ısı oranı seviyelerine ulaşıldığı grafikte açıkça görülmektedir. Bu durum özellikle tarımsal ürün kurutma sistemlerinde kullanılacak hava kollektörleri için ayrıca avantaj sağlamaktadır. Ayrıca ısı depolamalı kollektör ısı oranı eğrilerindeki tek düzelik ısı depolamasıza göre daha fazla olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 6.14. Farklı debilerde ısı oranlarının zamana göre değişimi

Şekil 6.15’de tüm debiler için anlık termal verimin zamana göre değişimi verilmiştir. Debi artışına paralel olarak termal verim artmıştır. Isı oranında olduğu gibi ilk üç debide Tip-III kollektörün ısı verimi yüksek çıkmıştır. Son üç debide ise ısı depolamalı kollektörlerin termal verimi yüksek çıkmıştır. Isı depolamalı kollektörler verim eğrileri gün batımına doğru artan bir eğilim göstermiştir. Bu durum depo edilen ısının gün batımına paralel olarak deşarj işlemine başladığını göstermektedir. Gün içi termal performansı dikkate aldığımızda tüm test koşullarında bal peteksiz kollektörün termal verimi daha yüksek çıkmıştır. Bu durumda her iki kollektörün işletim parametrelerinin aynı olduğu dikkate alınırsa bal peteği geometrisinin gün içinde daha çok ısı çekmesi, daha çok ısı depolamaya yol açmış ve termal verimi düşürmüştür.



Şekil 6.15. Tüm debiler için termal verimin zamana göre değişimi

Saat 09:00-17:00 arası için ortalama ve maksimum termal verim değerleri Tablo 6.3.'de verilmiştir. 24 saat bazında günlük termal verim değerleri ise Tablo 6.4.'de verilmiştir. Günlük termal verim, ısı depolamasız kollektör için tüm debilerde en kötü sonuçları vermiştir. Bunda faydalı ısının gün batımına paralel olarak hızla düşmesi ve gece etkisi sebebiyle kollektör çıkış sıcaklığının düşmesi etkili olmuştur. Isı depolamalı kollektörlerde günlük verim karşılaştırıldığında %0,1'den %4,4'e kadar sadece FDM içeren kollektör lehine yüksek çıkmıştır.

Tablo 6.3. Ortalama ve maksimum termal verim değerleri

η (%)	\dot{m} (kg/s)					
	0,008	0,016	0,024	0,032	0,04	0,48
η -I-ort	10,0	16,3	22,4	23,9	26,2	27,7
η -I-maks	12,0	19,4	26,8	29,8	35,1	35,1
η -II-ort	10,2	17,3	25,1	27,4	28,1	30,0
η -II-maks	12,6	23,1	31,1	34,5	38,0	39,3
η -III-ort	10,8	23,3	26,7	18,4	19,2	21,6
η -III-maks	12,5	27,5	32,7	25,2	29,8	32,2

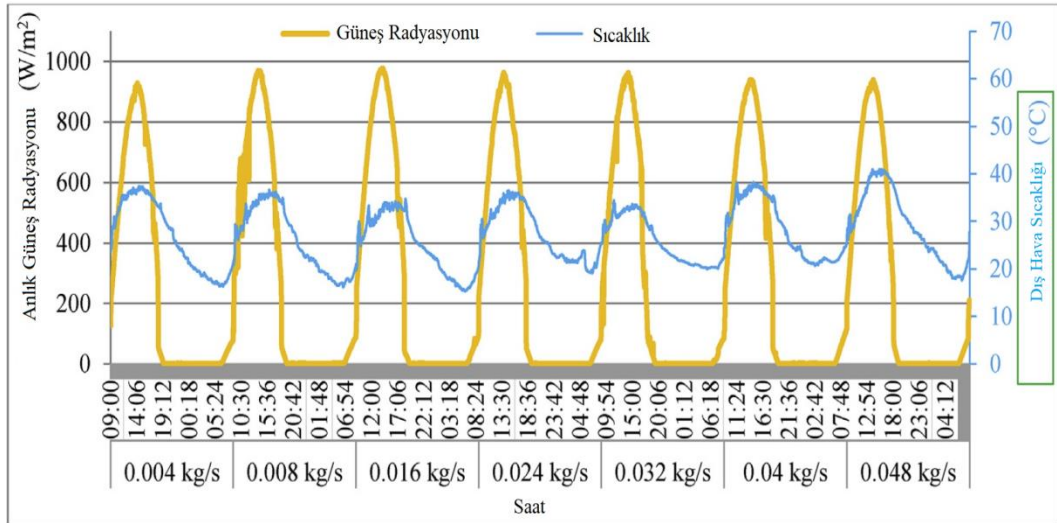
Tablo 6.4. Günlük termal verim değerleri

$\eta_{\text{gün}}$ (%)	\dot{m} (kg/s)					
	0,008	0,016	0,024	0,032	0,04	0,48
$\eta_{\text{gün-I}}$	11,7	17,7	25,0	26,5	27,5	28,8
$\eta_{\text{gün-II}}$	11,8	19,7	27,7	29,9	30,0	31,6
$\eta_{\text{gün-III}}$	8,1	17,1	19,6	11,1	7,7	12,0

6.4 Duyulur Isı Depolamalı (Kiraz Çekirdeği ve Kiraz Çekirdeği Tozu) Cebri Konveksiyon Deney Sonuçları

Bu bölümde, çalışma kapsamında yapılan kiraz çekirdeği ile duyulur ısı depolamalı cebri konveksiyon deneylerine ait sonuçlar verilmiştir. Bu kapsamdaki çalışmanın amacı ısı depolama malzemesi olarak kiraz çekirdeği ve tozunu kullanarak GEHIK'in kullanılabilirliğinin artırılmasıdır. İlk kollektörde 32 kg kiraz çekirdek tozu ve ikinci kollektörde ise 24 kg kiraz çekirdeği, ısı depolama malzemesi olarak kullanılmıştır. Üçüncü kollektör ise düz yutucu plakalı kollektör olup karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Kollektörler dizayn ve imalatı yapılarak termal performansları eş zamanlı olarak cebri konveksiyon şartlarında test edilmiştir. Deneyler açık hava koşullarında gerçekleştirilmiştir. GEHIK ile 0,004 ile 0,048 kg/s aralığındaki 7 farklı debide 7 gün boyunca testler gerçekleştirilmiştir.

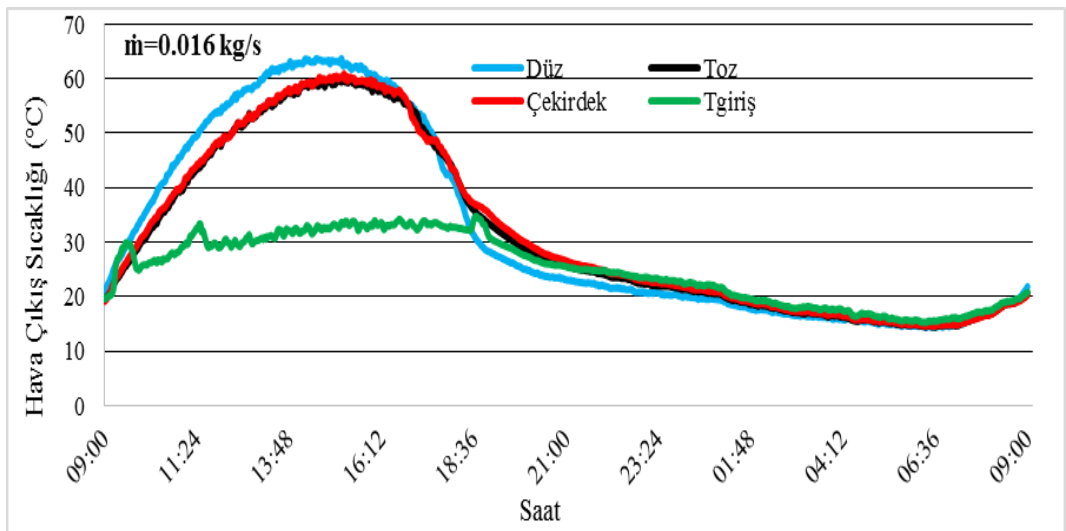
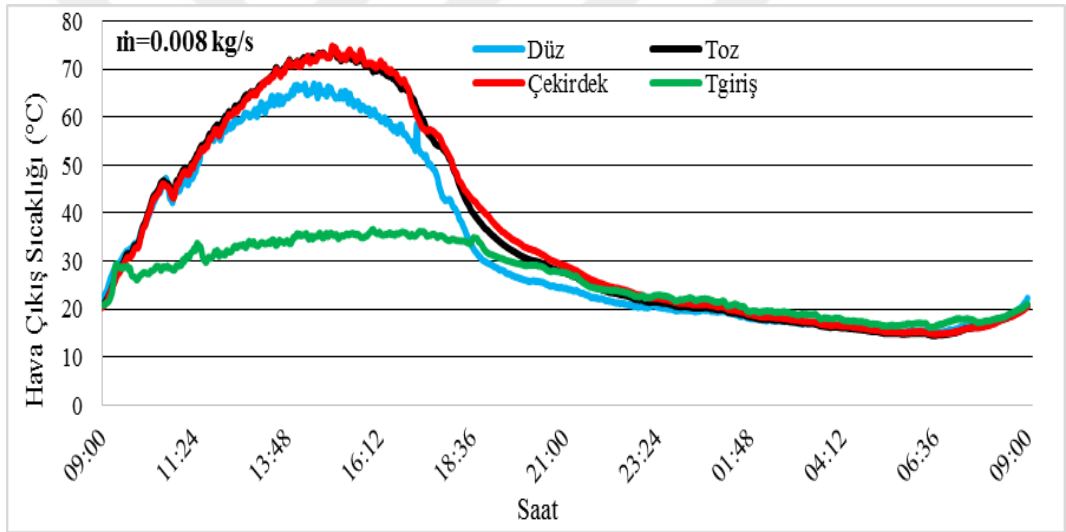
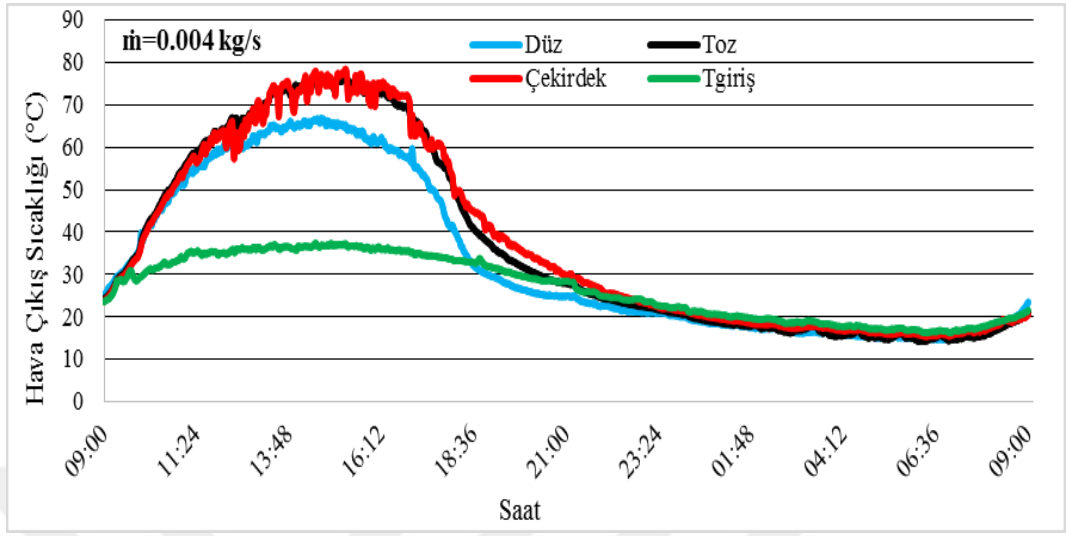
Güneş radyasyonunun, 4-18 Eylül 2017 tarihleri arasında 7 gün boyunca saatlik değişimi Şekil 6.16.'da gösterilmiştir. Deneylerde güneş ışınımı saat 14:00 civarında 930-975 W/m² arası değerler ile gün içi maksimum değerlere ulaşmış olup saat 09:00-18:00 arasında ortalama değerler ile 300-720 W/m² arasında ölçülmüştür. Şekilden de görüleceği üzere test günlerindeki ışınım miktarları küçük dalgalanmalarla birlikte genel olarak birbirine yakın ve paralel seyretmiştir.

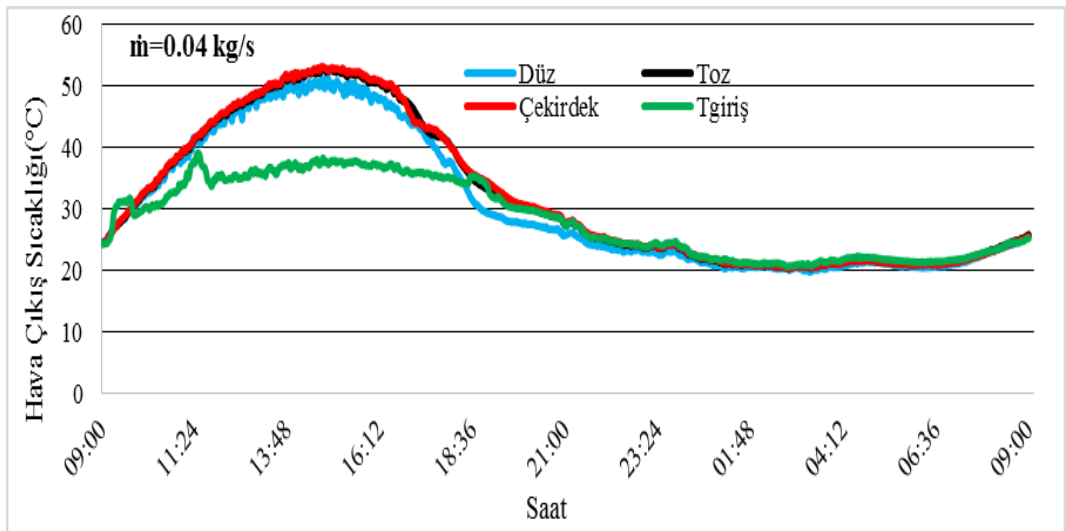
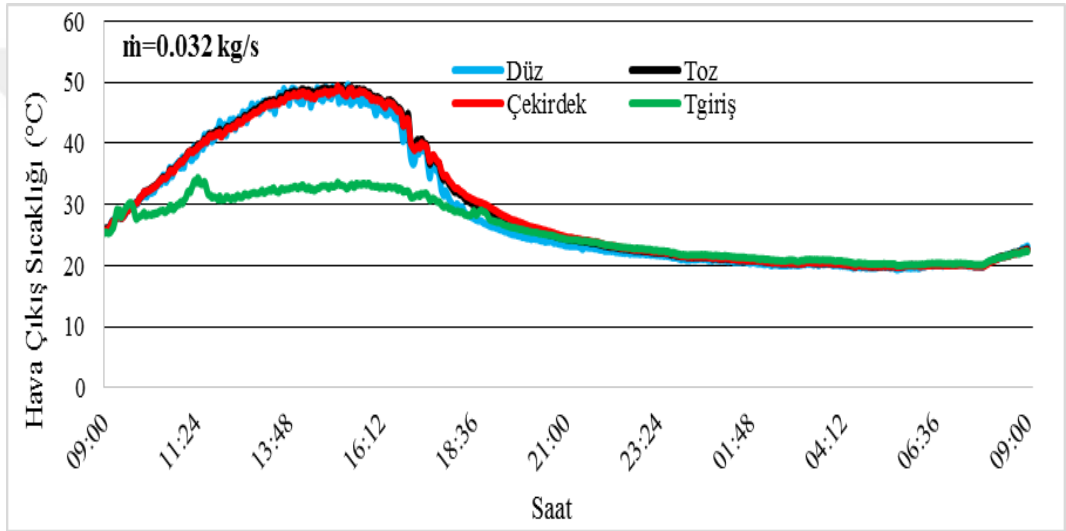
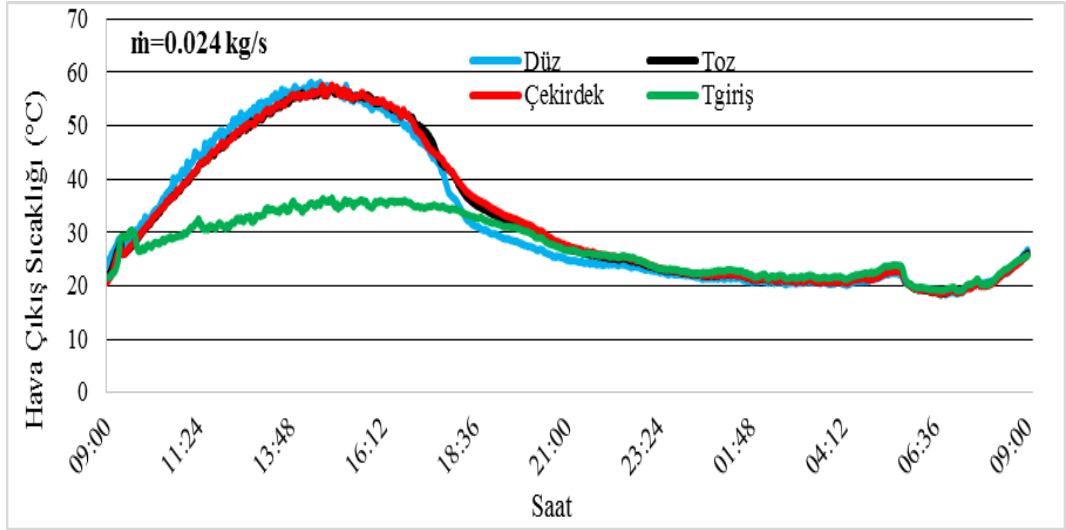


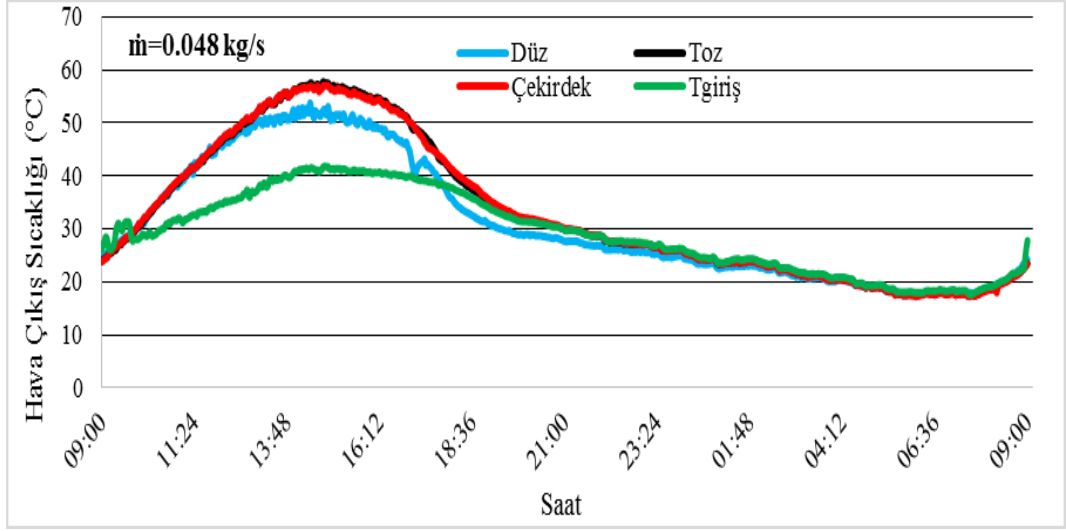
Şekil 6.16. Güneş radyasyonunun zamana göre değişimi

Kollektörlerin giriş ve çıkış hava sıcaklıklarının 7 farklı debi değeri için saatlik değişimi Şekil 6.17'de verilmiştir. Kollektörlerin giriş ve ısı depolama

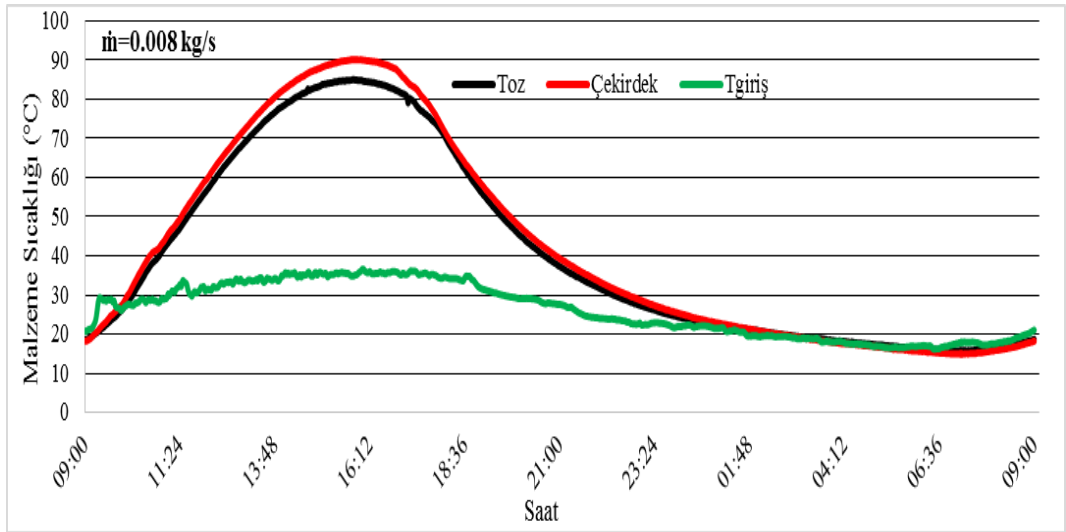
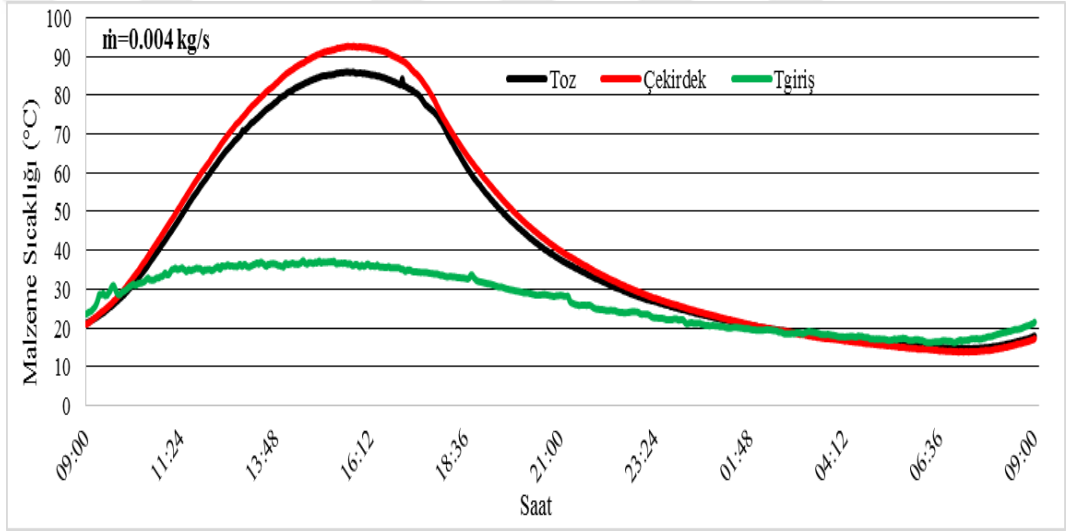
panelindeki malzeme sıcaklık değerleri 7 farklı debi değeri için saatlik değişimi Şekil 6.18'de verilmiştir.

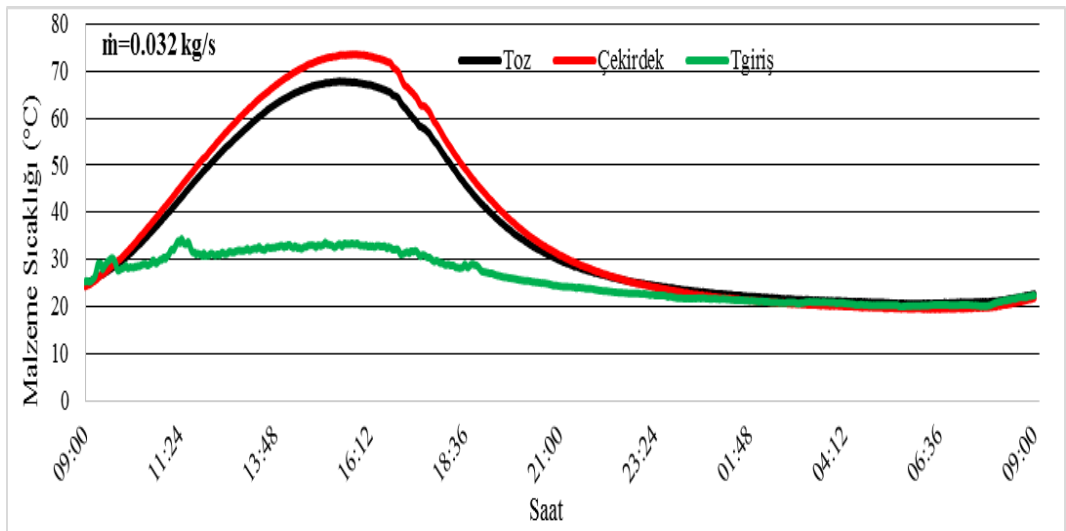
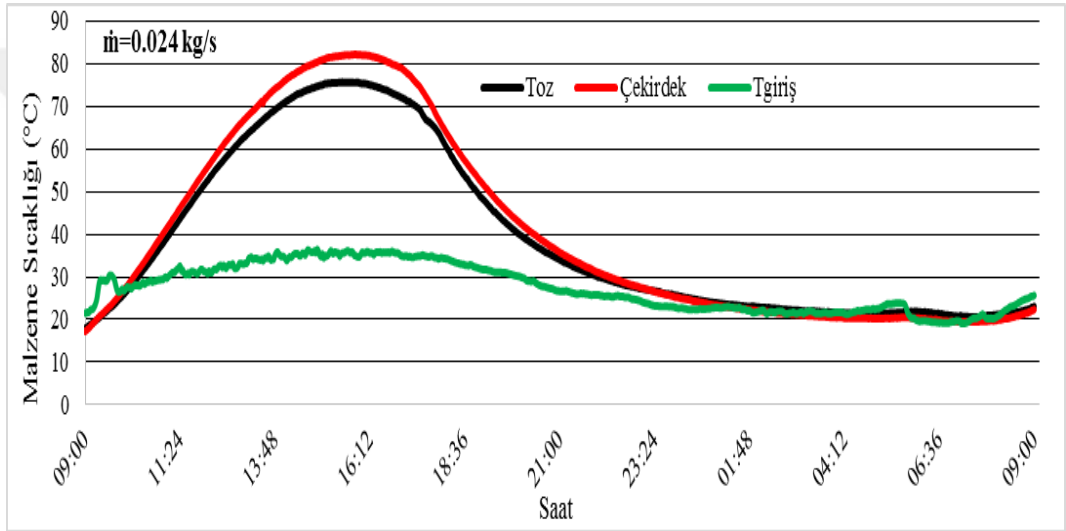
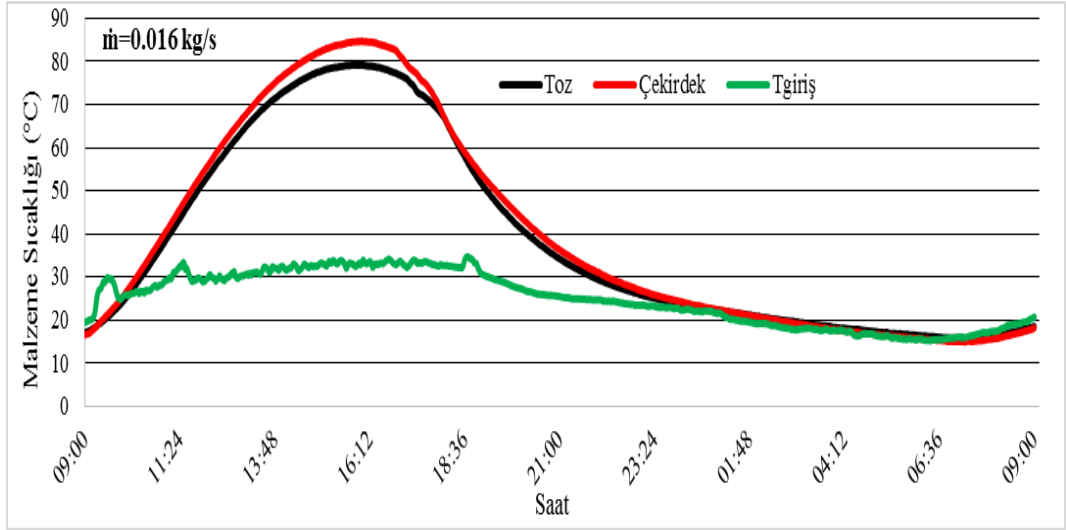


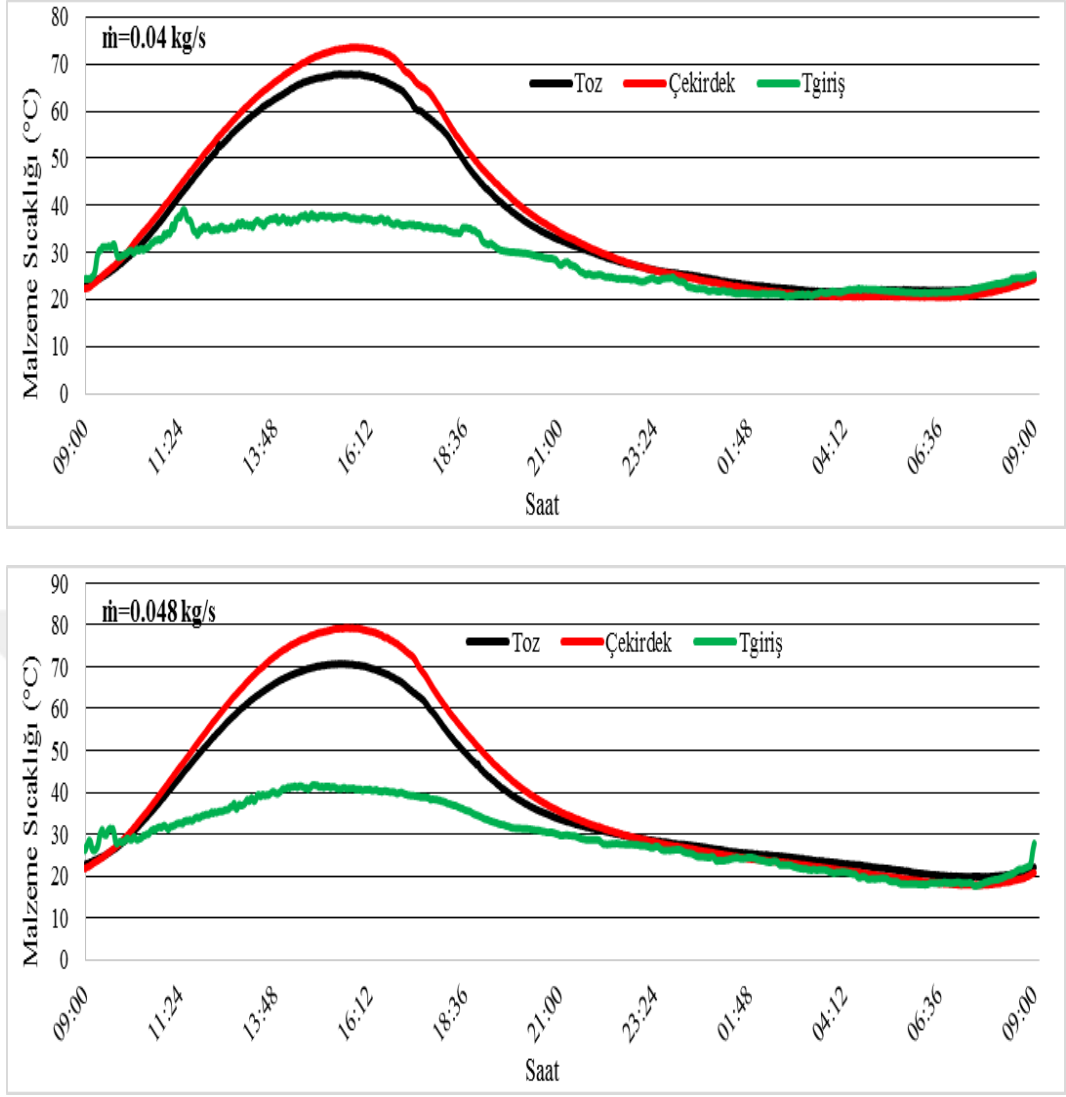




Şekil 6.17. Kollektörlerin giriş ve çıkış hava sıcaklıklarının zamana göre değişimi







Şekil 6.18. Kollektörlerin giriş ve ısı depolama malzemesi sıcaklıklarının saatlik değişimi

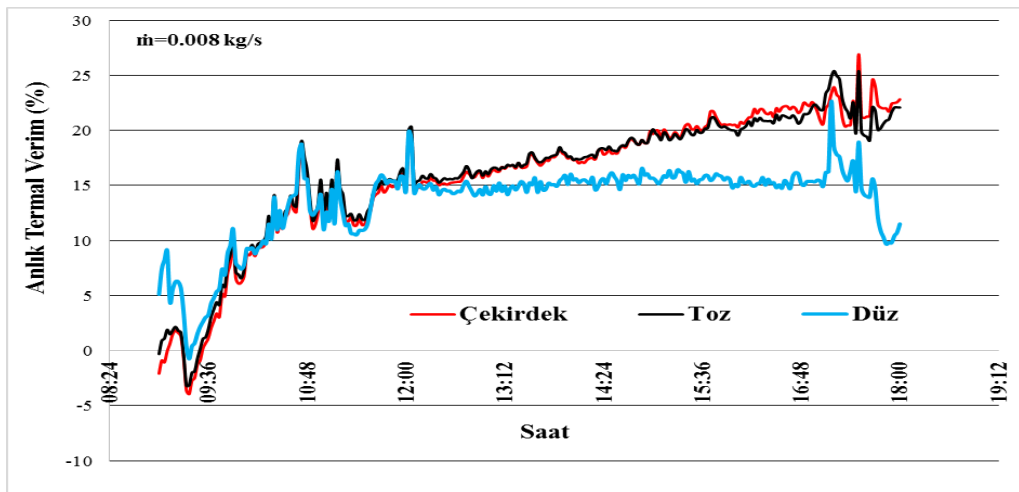
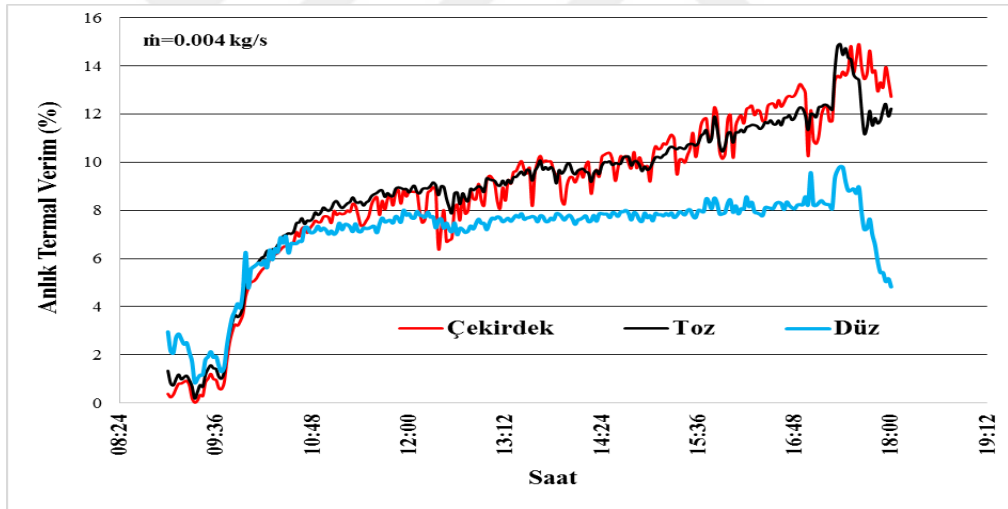
Şekil 6.17.'de düşük debilerde (0,004 ve 0,008 kg/s) kiraz çekirdek tozlu ve kiraz çekirdekli kollektörlerin önemli bir avantaja sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın, 0,016 kg/s debide üstünlük düz yutucu plakalı kollektördedir. 0,024 ve 0,032 kg/s debilerde de kollektörler benzer özellik göstermiştir. Fakat 0,024 ve 0,032 kg/s debilerde üstünlük tekrar kiraz çekirdek tozu ve çekirdekli kollektöre geçmiştir. En yüksek çıkış havası sıcaklığı beklendiği gibi 0,004 kg/s debide 78,4 °C olarak gerçekleşmiştir. 09:00-18:00 saatleri arasında, çıkış havası sıcaklığı ortalama 61,7 °C olarak gerçekleşmiştir.

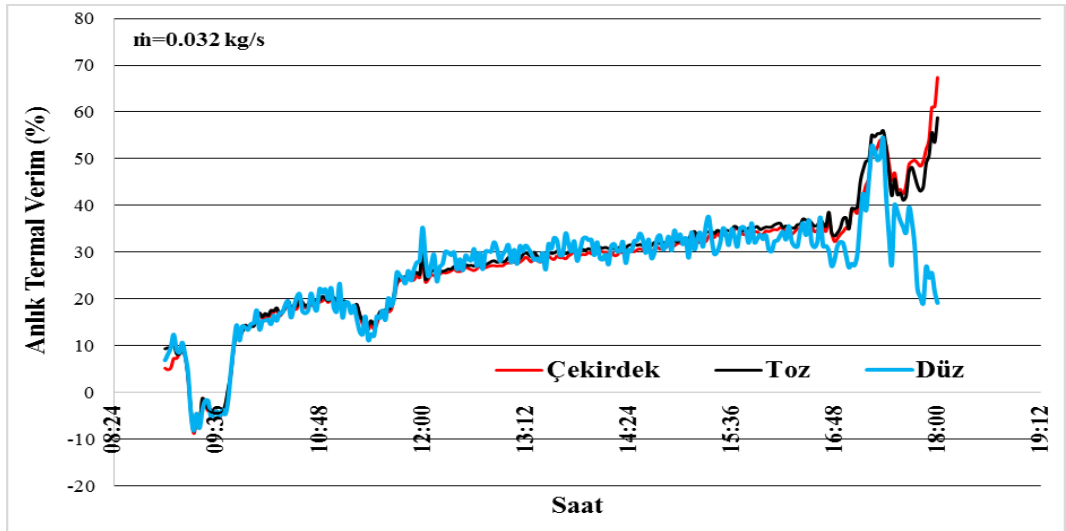
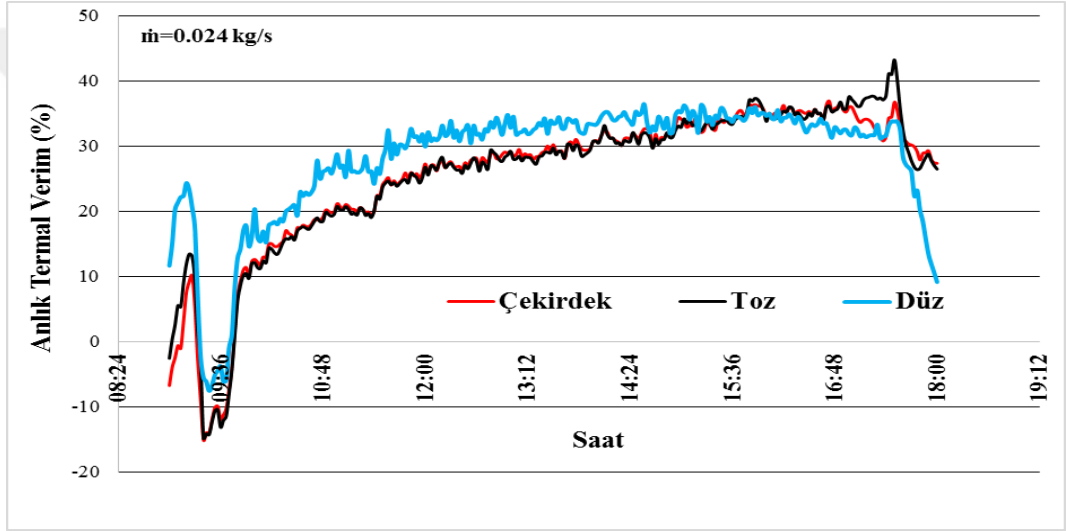
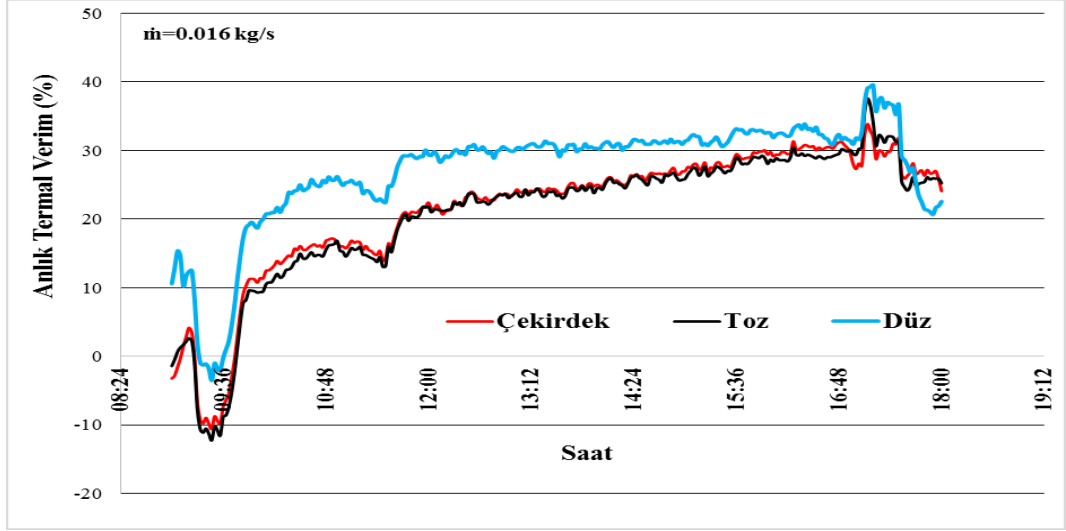
Şekil 6.18.'den görüldüğü gibi kiraz çekirdeğinin rezervuardaki sıcaklık değerleri tüm debilerde şarj ve deşarj süreleri boyunca kiraz çekirdek tozunun

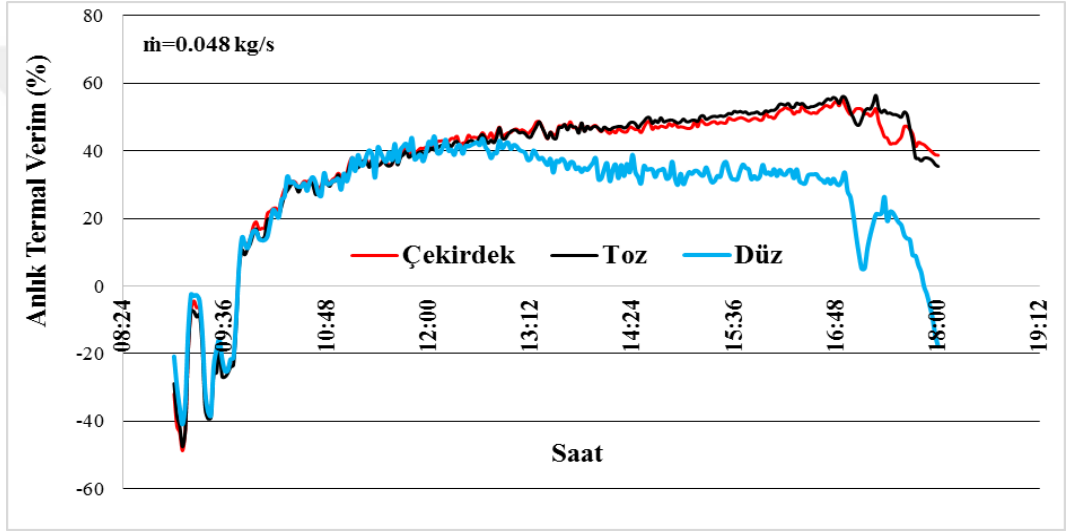
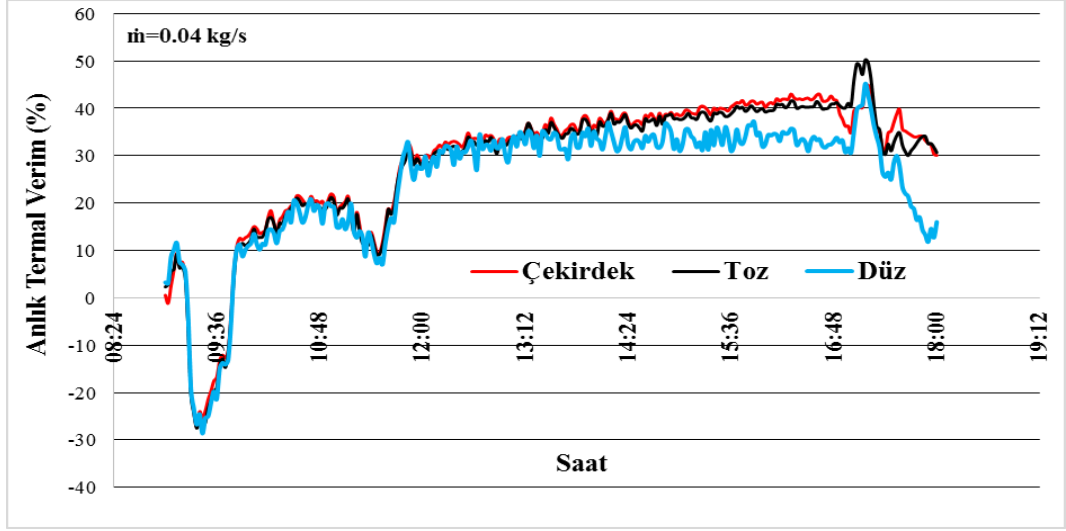
rezervuar sıcaklığından daha yüksek olarak gerçekleşmiştir. 09:00-18:00 saatleri arasında, rezervuardaki ısı depolama malzemesinin sıcaklığı ortalama 68,8 °C olurken, rezervuardaki malzemenin en yüksek sıcaklığı beklendiği gibi 0,004 kg/s debide 92,6 °C olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 6.19.'da tüm debiler için termal verimler verilmiştir. Kiraz çekirdeği ve tozunun termal verim değerleri tüm debilerde birbirine yakın ve paralel seyretmiştir. Gün içinde öğleden sonra başlamak üzere termal verim tüm debiler için kiraz çekirdeği ve tozu için belirgin olarak ayrılmış ve yüksek çıkmıştır.

Tablo 6.5.'de tüm debiler için üç kollektörün termal verim-çıkış sıcaklığı-sıcaklık artış oranı-Nusselt-friction değerleri tablo halinde özet olarak verilmiştir. 0,048 kg/s debi için termal verim değerleri kiraz çekirdeği için %37, çekirdek tozu için %37,1 ve düz yutucu plakalı kollektör için ise %26,5 çıkmıştır ki bu yaklaşık olarak % 10'luk bir termal verim artışına denk gelmektedir.



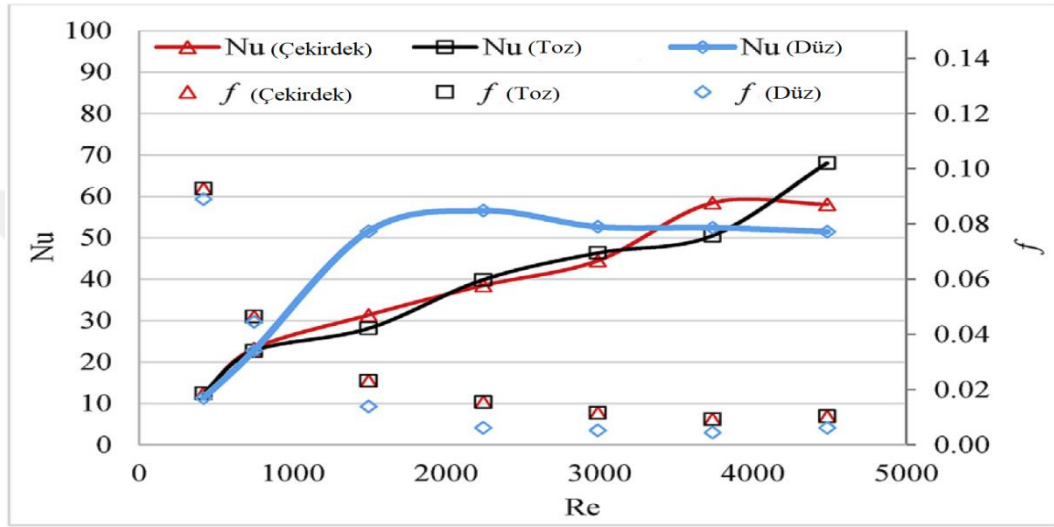




Şekil 6.19. Kollektör termal verimlerinin zamana göre değişimleri

Şekil 6.20.'de kollektörlerde Reynolds sayılarına göre sürtünme katsayısı ve Nusselt değerleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere Reynolds'un artışına paralel Nusselt değeri sürekli artmıştır. Bununla birlikte belli bir değere kadar Nusselt değeri artmıştır ardından hafifçe düşmüş ve yatay olarak seyretmiştir. Düz yutucu plakalı kollektörün Nusselt değeri DIDS'lı kollektörlere göre yüksek çıkmış olup DIDS'lı kollektör kendi arasında yakın değerlere sahiptir. Reynolds'un 3000 ve altındaki değerlerine kadar DIDS'lı kollektörlerin Nusselt değerleri düz yutucu plakalı kollektöre göre düşük çıkmıştır. Reynolds'un 2000 ve üzeri değerlerinde düz plakalı kollektör için Nusselt sayısı neredeyse aynı seyretmiştir. Reynolds değerinin 3000'in üzerinde olduğu durumda DIDS'lı kollektördeki artış trendi; düz yutucu plakalı kollektörün düşük debilerdeki yüksek ısı transfer oranı nedeniyle ortalama Nusselt değeri DIDS'lı kollektörlere göre daha yüksek çıkmıştır. Şekilden de

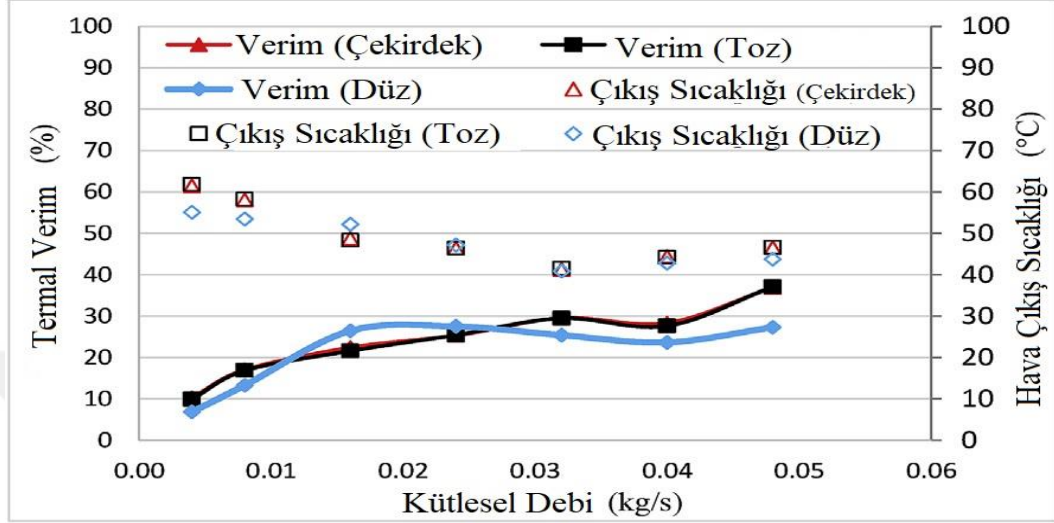
görülebileceği üzere 1000 ile 3000 Reynolds değeri arasında düz yutucu plakalı kollektör Nusselt sayısı bakımından avantajlı olmakla birlikte Reynolds'un artışıyla düşme eğilimindedir. Sürtünme katsayısı değeri Reynolds'a bağlı olup Reynolds'un artışıyla düşme eğilimi göstermiştir. Şekilden görüleceği üzere sürtünme kaybı tüm kollektörler için birbirine çok yakın çıkmıştır. Sonuç olarak kollektöre ısı depolama özelliğinin kazandırılması ile ısı transferinde düşüş, şarj-deşarj prosesindeki kayıplar nedeniyle gerçekleşmiştir.



Şekil 6.20. Kollektörlerde Reynolds sayılarına göre sürtünme katsayısı ve Nusselt değerleri

Şekil 6.21'de kollektörlerde kütleli debiye göre termal verim ve hava çıkış sıcaklığı değerleri verilmiştir. Ortalama termal verim kütleli debiye bağlı olarak %7 ile %37 arasında değişmiştir. Kütleli debi artarken kollektörlerin termal verimleri de artmıştır. Tip I'in termal verimi debi artışı ve çıkış sıcaklığının düşmesi ile %10,22'den %37,01'e artış göstermiştir. 0,016 kg/s kütleli debi hariç olmak üzere Tip III'ün hava çıkış sıcaklığı genel olarak Tip I ve Tip II'den düşüktür. Şekilden de görüleceği üzere Tip I'in ortalama hava çıkış sıcaklığı 0,004 ve 0,008 kg/s debide Tip III'den 6,39 ile 4,63 °C daha yüksek çıkmıştır. Tip I ve Tip II'nin termal verimi tüm debilerde artarken Tip III'ün termal verimi başlangıçta 0,016 kg/s debiye kadar artmış olup daha sonra 0,04 kg/s debiye kadar hafifçe düşmüştür, ardından 0,048 kg/s debiye kadarda artış göstermiştir. 0,048 kg/s debide Tip II için en yüksek termal verim %37,11 olarak elde edilmiştir. Tüm deneylerin saat 09:00 ile 18:00 arası ortalama değerlerini dikkate aldığımızda kiraz çekirdekli kollektörün termal verimi düz yutucu plakalıya göre daha yüksek çıkmıştır. Doğal konveksiyon deneylerinde

absorber yüzeyinden elde edilen ısı, cebri konveksiyona göre daha az olmuştur. Ayrıca düşük kütleli debilerde düşük termal verim elde edilmiş olup doğal konveksiyon ile karşılaştırıldığında 09:00-18:00 saatleri arası baz alınarak %16'lık bir verim artışı gerçekleşmiştir.



Şekil 6.21. Kollektörlerde kütleli debiye göre termal verim ve hava çıkış sıcaklığı değerleri

Tablo 6.5. Tüm debiler için üç kollektörün termal verim-çıkış sıcaklığı-sıcaklık artış oranı-Nusselt-sürtünme katsayısı değerleri özet tablosu

	Re	418	747	1494	2242	2989	3737	4484
	\dot{m} (kg/s)	0,004	0,008	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048
Çekirdek	η_t	10,22	16,98	22,39	25,31	26,97	28,33	37,01
	$\eta_{günlük}$	9,58*	16,56*	22,54*	26,97*	27,19*	30,36*	39,81*
	T_O	61,45	58,06	48,71	46,39	41,25	44,35	46,53
	$\Delta T/I$	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
	Nu	12,45	23,20	31,33	38,47	44,47	58,44	58,10
	f	0,09	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
	Toz	η_t	9,92	16,93	21,58	25,41	27,58	27,63
$\eta_{günlük}$		8,88*	15,8*	21,07*	26,26*	27,27*	28,96*	39,99*
T_O		61,73	58,23	48,26	46,37	41,53	44,13	46,58
$\Delta T/I$		0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Nu		12,46	22,67	28,09	39,85	46,33	50,50	68,02
f		0,09	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Düz		η_t	6,90	13,26	26,36	27,42	25,73	23,65
	$\eta_{günlük}$	6,05*	11,8*	24,09*	25,3*	23,67*	19,86*	21,29*
	T_O	55,06	53,43	52,17	47,11	40,86	42,78	43,73
	$\Delta T/I$	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
	Nu	11,31	22,74	51,58	56,57	52,66	52,44	51,48
	f	0,09	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

* Günlük (Sabah 09:00'dan ertesi gün 09:00'a kadar)

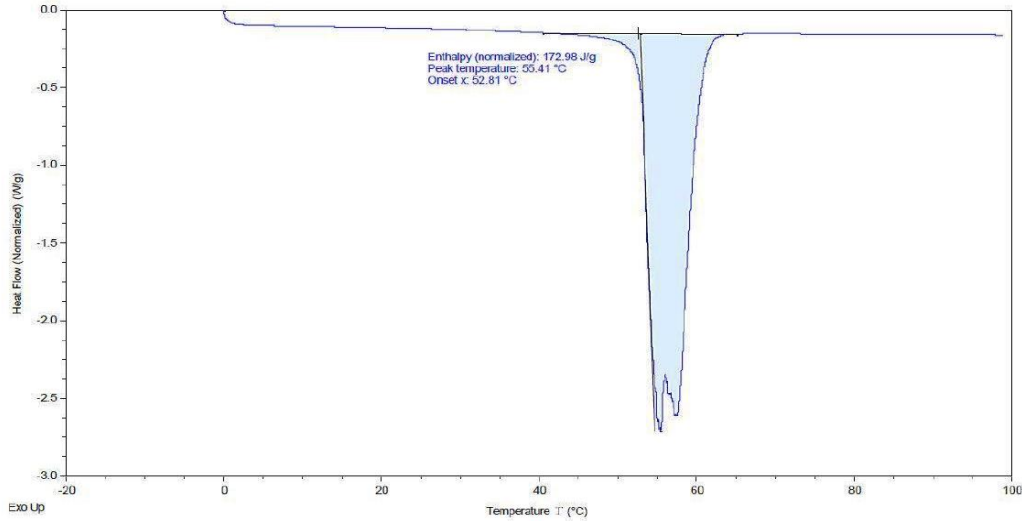
6.5 DSC Test Sonuçları

Proje kapsamında kiraz çekirdeği tozunun ve FDM'nin birlikte kullanılmasının termal testleri kapsamında çeşitli karışım oranlarındaki DSC testleri icra edilmiştir. Bu kapsamda Tablo 6.6'da verilen karışım oranlarında test sonuçları elde edilmiştir. DSC cihazının numune haznesinin kiraz çekirdeğinin boyutundan çok küçük olmasından dolayı kiraz çekirdeği DSC testi yapılamamış ancak kiraz çekirdeği öğütülerek DSC testleri MCBÜ-DEFAM (Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi)'da yapılmıştır. Tablo 6.6.'da 7 ayrı DSC test numunesinin özellikleri verilmiştir. DSC cihazında numuneler azot atmosferi altında analize tutulmuştur. Numuneler 5 °C/dk hızla, 0 °C'den 100 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Analizlere ait sıcaklık-ısı akış eğrileri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. DSC testinde kullanılan cihaz TA Instrument- DSC250 model kalorimetresidir. Cihazda kullanılan soğutucu ünitesi RCS 90 model isimli (Refrigerated Cooling System 90) cihazdır.

Tablo 6.6. DSC testleri numune bilgileri ve karışım tablosu

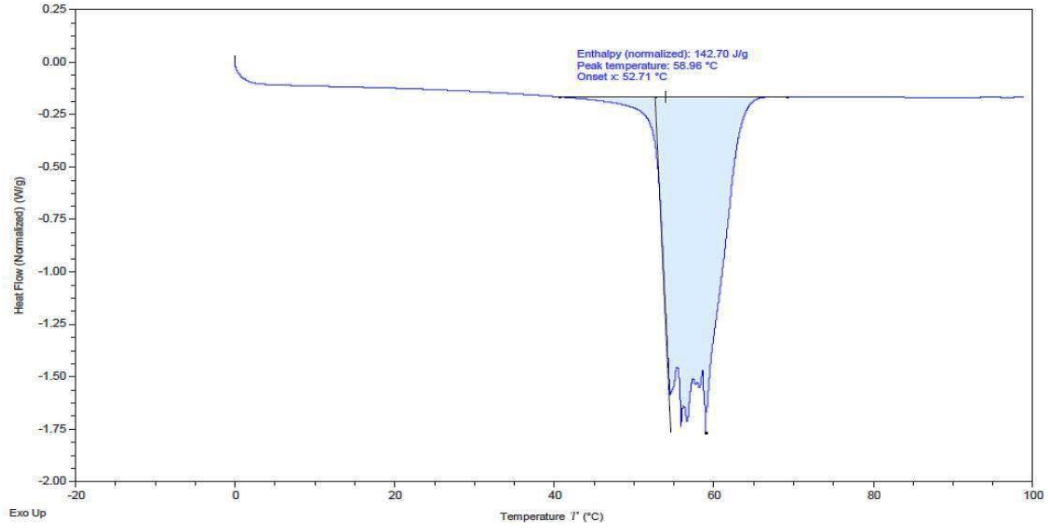
Numune No	Toplam Ürün Miktarı (gr)	Ürün Karışım Miktarı (gr)	Ürün	Karışım Oranı (%)	Karışım Oranı Kesir
1	50	12,5+37,5	Toz+FDM	25-75	1'e 3
2	50	16,6+33,3	Toz + FDM	33,3+66,6	1'e 2
3	50	25+25	Toz + FDM	50-50	1'e 1
4	50	33,3+16,6	Toz + FDM	66,6-33,3	2'ye 1
5	50	37,5+12,5	Toz + FDM	75-25	3'e 1
6	50	50	Toz	100	1
7	50	50	FDM	100	1

Şekil 6.22'de 1 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Bu kapsamda 50 gr ağırlığındaki kiraz çekirdek tozu ve FDM karışımının DSC testi, %25-%75 oranlarında, 12,5+37,5 gr karışım kütlesi miktarında ve 1'e 3 karışım oranında yapılmıştır. Test sonucuna göre 1 numaralı numunenin entalpisi 172,98 J/g, pik sıcaklığı 55,41 °C ve onset x değeri ise 52,81 °C ölçülmüştür.



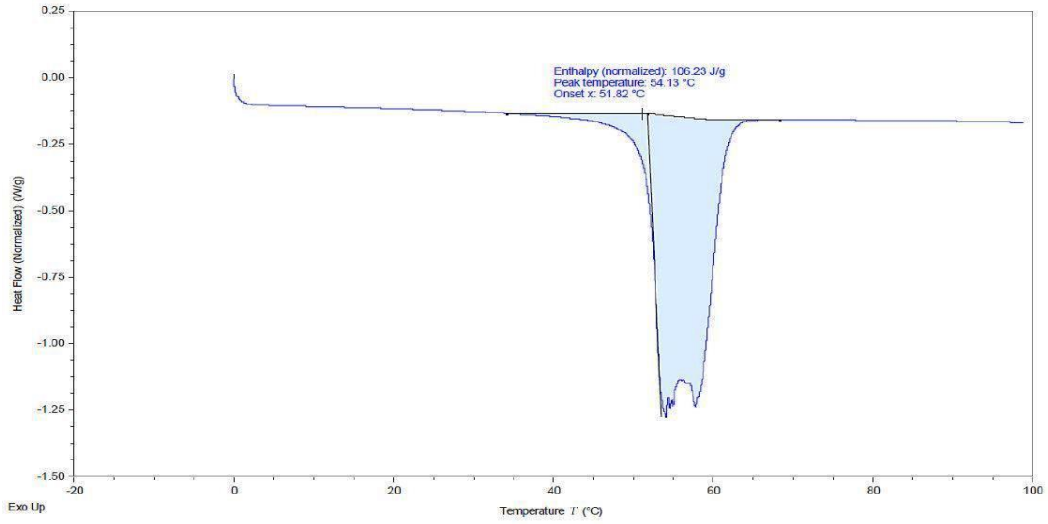
Şekil 6.22. 1 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi

Şekil 6.23'te 2 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Bu kapsamda 50 gr ağırlığındaki kiraz çekirdek tozu ve FDM karışımının DSC testi, %33,3-%66,6 oranlarında, 16,6+33,3 gr karışım kütlesi miktarında ve 1'e 2 karışım oranında yapılmıştır. Test sonucuna göre 2 numaralı numunenin entalpisi 142,70 J/g, pik sıcaklığı 58,96 °C ve onset x değeri ise 52,71 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.23. 2 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi

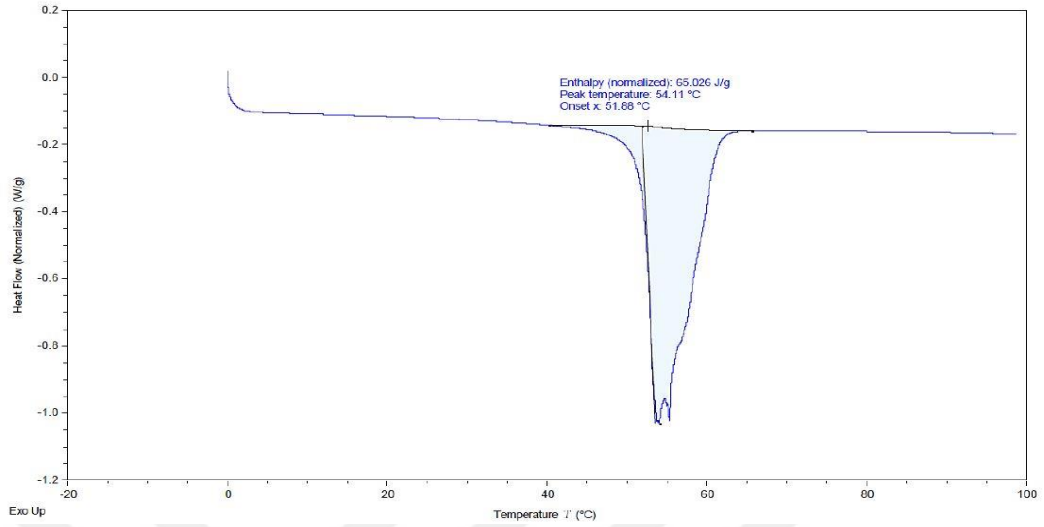
Şekil 6.24'te 3 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Bu kapsamda 50 gr ağırlığındaki kiraz çekirdek tozu ve FDM karışımının DSC testi, %50-%50 oranlarında, 25+25 gr karışım kütlesi miktarında ve 1'e 1 karışım oranında yapılmıştır. Test sonucuna göre 3 numaralı numunenin entalpisi 106,23 J/g, pik sıcaklığı 54,13 °C ve onset x değeri ise 51,82 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.24. 3 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi

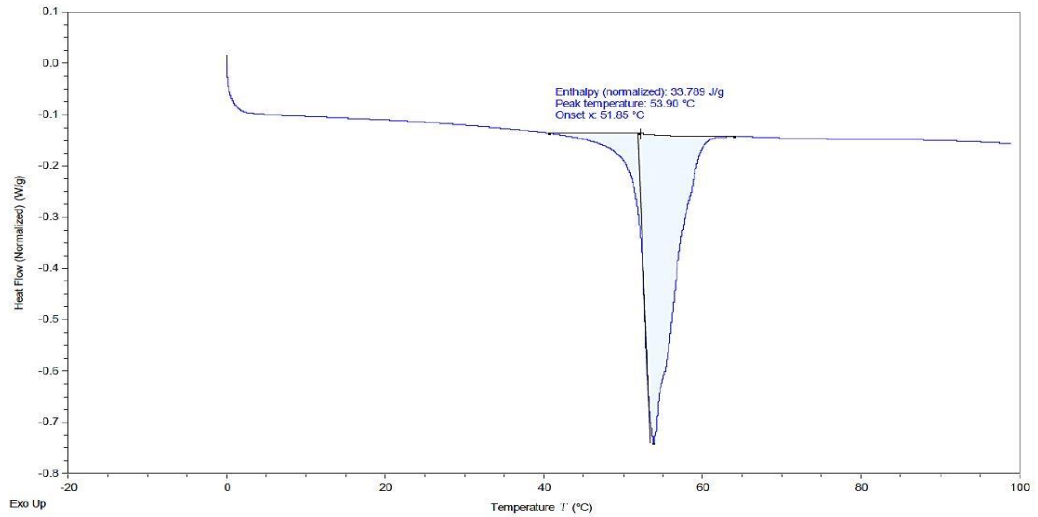
Şekil 6.25'te 4 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Bu kapsamda 50 gr ağırlığındaki kiraz çekirdek tozu ve FDM karışımının DSC testi, %66,6-%33,3 oranlarında, 33,3+16,6 gr karışım kütlesi miktarında ve 2'ye 1 karışım oranında

yapılmıştır. Test sonucuna göre 4 numaralı numunenin entalpisi 33,789 J/g, pik sıcaklığı 53,90 °C ve onset x değeri ise 51,85 °C olarak ölçülmüştür.



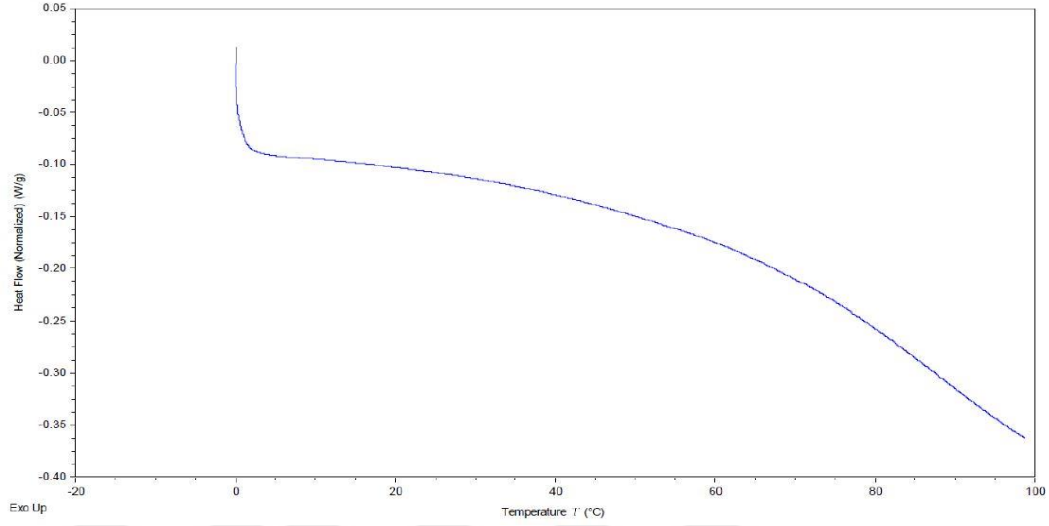
Şekil 6.25. 4 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi

Şekil 6.26'da 5 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Bu kapsamda 50 gr ağırlığındaki kiraz çekirdek tozu ve FDM karışımının DSC testi, %75-%25 oranlarında, 37,5+12,5 gr karışım kütlesi miktarında ve 3'e 1 karışım oranında yapılmıştır. Test sonucuna göre 5 numaralı numunenin entalpisi 65,026 J/g, pik sıcaklığı 54,11°C ve onset x değeri ise 51,88 °C olarak ölçülmüştür.



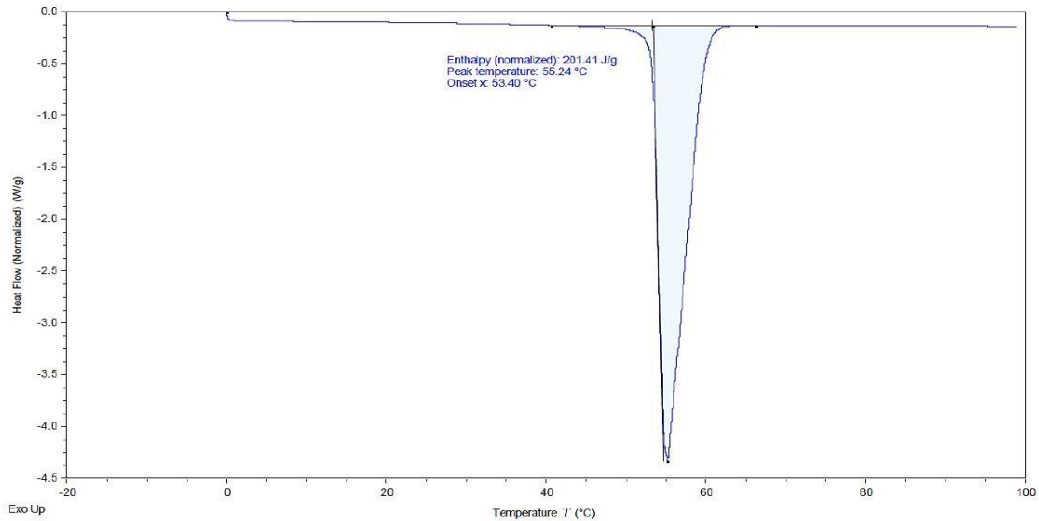
Şekil 6.26. 5 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi

Şekil 6.27’de 6 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Ancak 6 nolu numune sadece kiraz tozundan oluştuğu için ve malzeme faz dönüşümüne uğramadığı için aşağıdaki gibi bir sonuç elde edilmiştir.

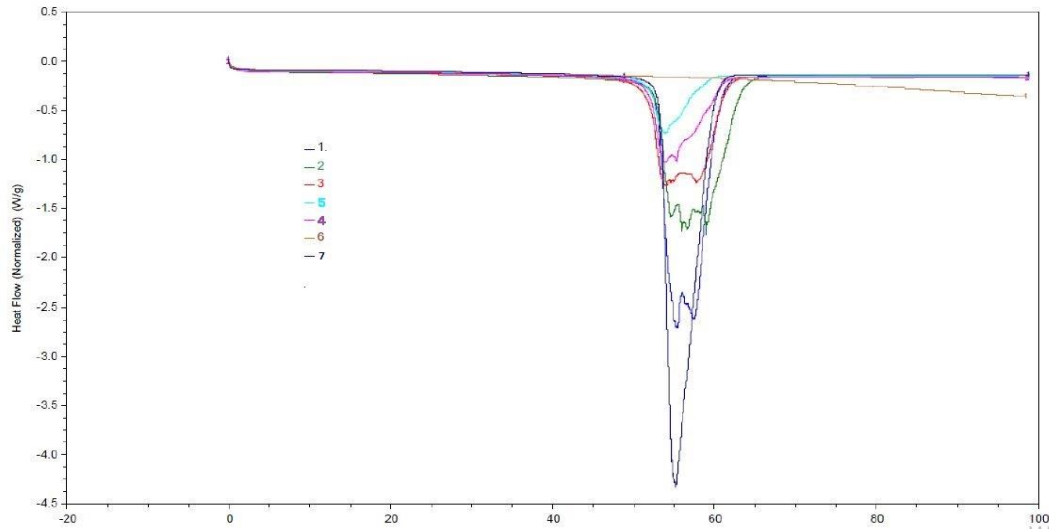


Şekil 6.27. 6 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi

Şekil 6.28’de 7 nolu test numunesinin DSC testi verilmiştir. Bu kapsamda 50 gr ağırlığındaki FDM malzemesinin DSC testi, %100 oranında, 50 gr karışım kütlelerinde yapılmıştır. Test sonucuna göre 7 numaralı numunenin entalpisi 201,41 J/g, pik sıcaklığı 55,24 °C ve onset x değeri ise 53,40 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.28. 7 nolu numunenin sıcaklık-ısı akışı eğrisi



Şekil 6.29. 7 adet numuneye ait sıcaklık-ısı akışı eğrisi

Şekil 6.29.'de test numunelerinin tüm DSC test sonuçları verilmiştir. Karışım oranlarında FDM miktarı azaldıkça entalpi değeri düşmüştür. Bu kapsamda %100 FDM için entalpi değeri 201,41 J/g ve %25 FDM ve %75 kiraz çekirdeği tozu karışımının entalpisi ise 33,78 J/g olarak elde edilmiştir. Buradan FDM miktarı arttıkça entalpi değerinin arttığı, FDM miktarı azaldıkça da entalpi değerinin düştüğü görülmektedir. Pik sıcaklık değerlerine bakıldığında ise %100 FDM numunesi için pik sıcaklığı 55,24 °C ve FDM oranının %25 olduğu en düşük oranlı numune için ise 53,90 °C'dir. onset x değerine bakıldığında ise karışımdaki FDM oranı yükseldikçe onset x değeri (başlangıç) yükselmektedir. %100 FDM oranlı numune için Onset x değeri 53,40 °C olurken, %25 FDM oranlı numune için onset x değeri 51,85 °C'dir. Tablo 6.7.'de test numunelerinin DSC sonuçları özet olarak verilmiştir.

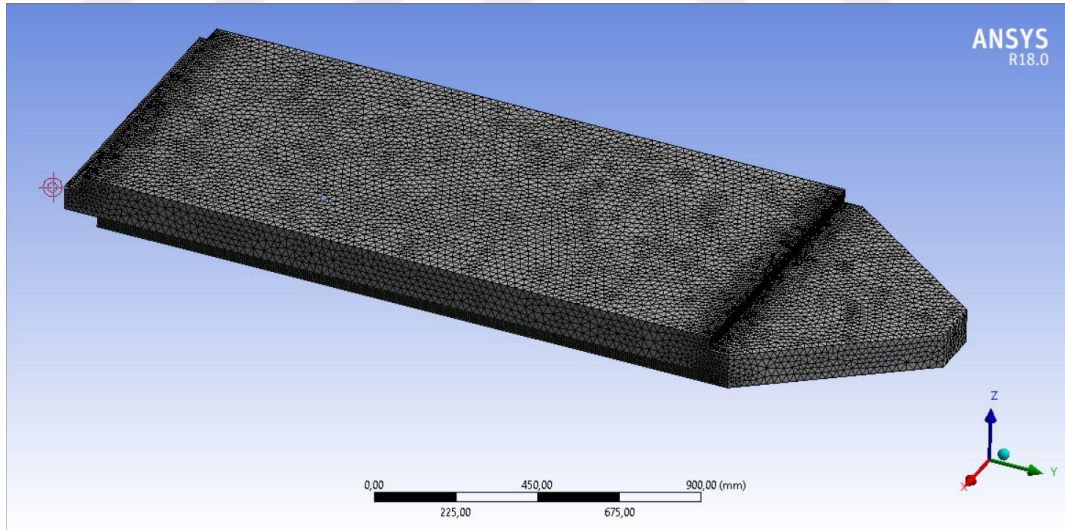
Tablo 6.7. Test numunelerinin özet DSC test sonuçları

Nu mu ne No	Toplam Ürün Miktarı (gr)	Ürün Karışım Miktarı (gr)	Ürün	Karışı m Oranı (%)	Karışım Oranı	Entalpi (J/g)	Pik Sıcaklığı (°C)	Onset X Değeri (°C)
1	50	12,5+37,5	Toz+FDM	25-75	1'e 3	172,98	55,41	52,82
2	50	16,6+33,3	Toz+FDM	33,3- 66,6	1'e 2	142,70	58,96	52,71
3	50	25+25	Toz+FDM	50-50	1'e 1	106,23	54,13	51,82
4	50	33,3+16,6	Toz+FDM	66,6- 33,3	2'ye 1	65,02	54,11	51,88
5	50	37,5+12,5	Toz+FDM	75-25	3'e 1	33,78	53,90	51,85
6	50	50	Toz	100	1	-	-	-
7	50	50	FDM	100	1	201,41	55,24	53,40

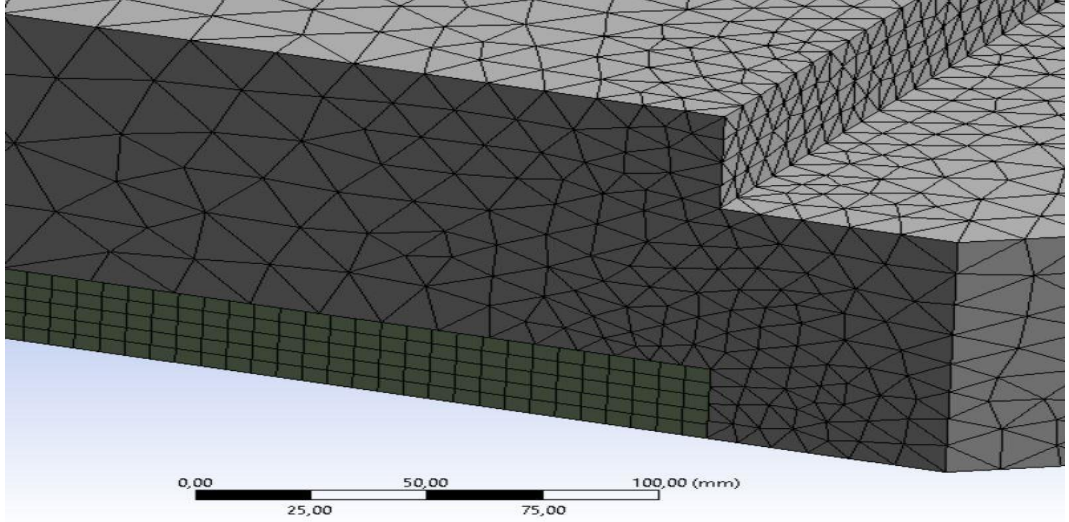
6.6 Güneş Enerjili Hava Isıtma Kollektörünün CFD Analizi

Bu bölümde FDM’li GEHIK’in hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) metodu ile nümerik analizi yapılmıştır. Isı depolamalı GEHIK’in üç boyutlu CFD analizi, ANSYS FLUENT 18.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hava kanalındaki akış tek fazlı, sıkıştırılmaz, kararlı 3 boyutlu akış şeklinde, termal ve hidrolik olarak geliştirilmiş ve türbülanslıdır. Hava ve absorber plakanın termo-fiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir. Kanaldaki radyasyon ile ısı transferi ihmal edilmiştir. Mevcut analiz için gerekli hesaplama prosedürü aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuştur.

ANSYS 18.0’in meshing modülünde gerekli hesaplamaların yapıldığı bölgede ağ örgüsü (mesh) oluşturulmuştur. Laminer katmanları çözümlenebilmek için hava kanalının sınır bölgelerine yakın yerler daha ince meshlere bölünmüştür. Oluşturulan ağ örgüsünde 541708 eleman sayısı ve 339869 düğüm noktası bulunmaktadır. En ideal ağ örgüsü oluşturularak sayısal analiz yürütülmüştür. Kontrol hacminin sonlu elemanlar yöntemiyle ağ örgüsü (mesh yapısı) Şekil 6.30.’da ve ağ örgüsü (mesh yapısı) detay görünüşü Şekil 6.31.’de verilmiştir.



Şekil 6.30. Sonlu elemanlar yöntemiyle ağ örgüsü (mesh yapısı)



Şekil 6.31. Ağ örgüsü (mesh yapısı) detay görünüşü

CFD simülasyonu kütle, momentum ve enerji için koruma denklemlerinin matematiksel çözümlerini içerir. Kartezyen tensör sisteminde, bu eşitlikler şöyle yazılabilir:

Süreklilik eşitliği;

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (6.1)$$

Momentum eşitliği;

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (6.2)$$

Enerji eşitliği;

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\Gamma + \Gamma_t) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (6.3)$$

Eşitlik 6.3.'de Γ_t ve Γ sırasıyla türbülans termal diffüziteyi ve moleküler termal diffüziteyi ifade etmektedir.

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad \Gamma_t = \frac{\mu_t}{Pr_t} \quad (6.4)$$

Kollektör kanalında kullanılan akışkan havadır, emici plakalar 1 mm kalınlığındadır ve alüminyumdur. Gizli ısı depolama malzemesi olarak FDM

Rubitherm RT54HC kullanılmıştır. Tablo 6.8.'de gösterildiği gibi hava, alüminyum emici ve FDM malzemesinin termo-fiziksel özelliklerinin, ortalama kütle sıcaklığında sabit kaldığı varsayılmıştır. Girişte, kütleli debi sınır koşulu ve çıkışta sabit basınç (1.013×10^5 Pa) çıkış sınırı koşulu uygulanmıştır. Diğer katı yüzeyler kaymayan sınır durumunda tutulur ve tüm katı duvarlarda türbülans kinetik enerji sıfırdır.

Tablo 6.8. Hava, alüminyum emici ve FDM malzemesinin termo-fiziksel özellikleri

Özellikler	Hava	Alüminyum	FDM
Özgül Isı “ C_p ” (J/kgK)	1006,43	871	2000
Isı İletim Katsayısı “ k ” (W/mK)	0,0242	202,4	0,2
Yoğunluk “ ρ ” (kg/m ³)	1,225	2719	0,85
Vizkozite “ μ ” (N/m ²)	$1,7894e^{-05}$	-	-

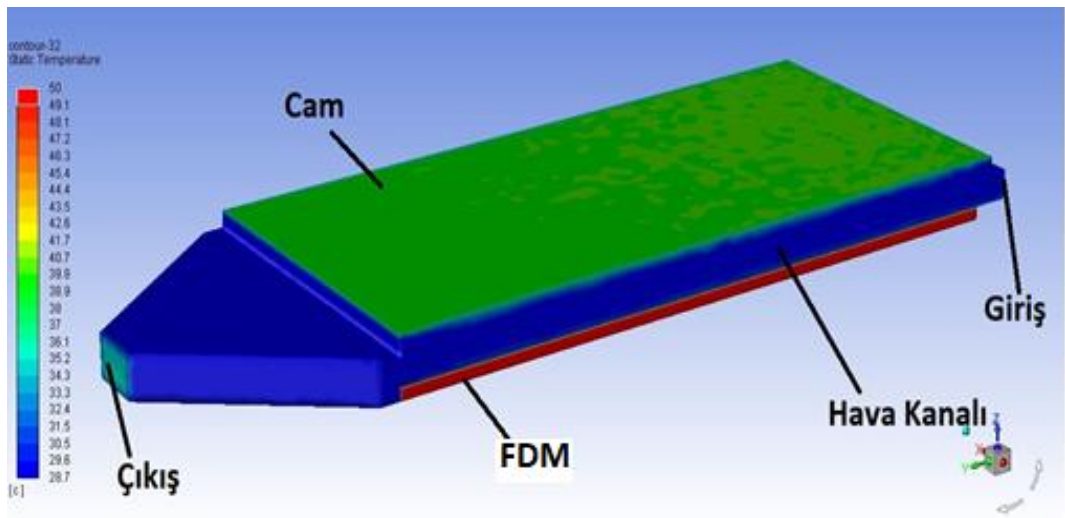
GEHIK'deki CFD ile sayısal simülasyon için akış şeması aşağıdaki gibidir:

- Modeli tanımlama
- Hesaplama sınır alanını belirlemek
- Belirlenen sınır alanın katı modelini oluşturmak
- Sınır alanının ağ örgüsü (mesh yapısı) belirlenerek uygulamak
- Problemi tanımlamak ve verileri girmek
- Çözümü hesaplatmak
- Sonuçları çıkartmak ve incelemek,
- Revizyon gerekirse hesap alanını değiştirerek tekrar hesaplatılır.

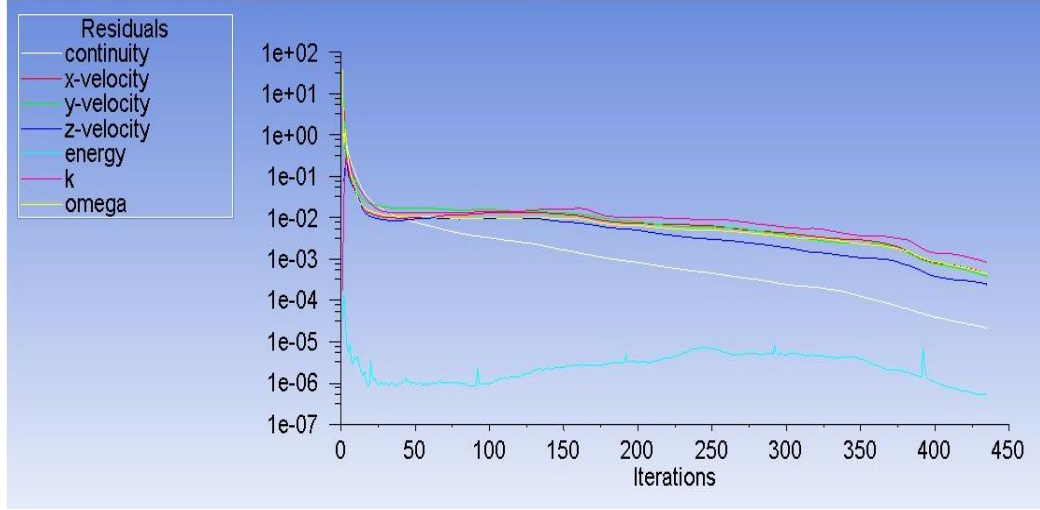
Modellemeyi oluşturan tanımlamanın ilk adımında, mevcut analizde, kütleli debi, hız, basınç, sıcaklık vb. özellikleriyle ilgilenilmiştir. Genelde iki boyutlu analizler üç boyutlu analizlere göre daha kısa zamanda çözüldüğü için tercih edilirler. Hesaplama alanının CAD modeli, ANSYS modeler 18.0'de hazırlanmıştır ve gradyanları yakalamak için üniform olmayan bir ağ örgüsü oluşturulmuştur. Çözüm hazırlık aşamasında malzeme özellikleri, çalışma koşulları, sınır koşulları, çözüm kontrolleri ve gerekli monitörler ayarlanmıştır. Çözümde, ayrışma aşaması olarak bilinen akış denklemleri cebirsel denklemler sistemine dönüştürülme işlemi yapılır ve süreklilik momentum ve enerji denklemleri sonlu hacim metodu kullanılarak ayrıştırılır. Yöntemde, çözüm alanı küçük kontrol hacmine bölünmüştür. Kontrol hacminin sınırları mesh tarafından tanımlanırken, hesaplama düğüm noktası kontrol

hacminin merkezinde yer alır. Akış denklemleri, deneysel ilişkilerle çok iyi bir uyum gösterdiği için SST k- ω türbülans modeli kullanılarak çözülmüştür. Enerji ve momentum denklemleri için ikinci derece denklem seçilmiştir. Basınç ve hızı birleştirmek için, SIMPLE algoritması seçilmiştir. Fluent içerisindeki süreklilik denklemlerinin yakınsama kriteri için 10^{-3} , hız ve enerji için 10^{-6} seçilmiştir. Enerji koruma denklemleri, yakınsamaya kadar iteratif olarak çözülür. Sonuçlar, çözümü gözden geçirmek ve faydalı verileri çıkarmak için incelenmiştir. Analizler esnasında solar modelleme kısmında literatürdeki veriler araştırılarak kullanılan solar modüller hakkında edinilen gerekli bilgiler eşliğinde radyasyon modeli olarak Rosseland ve Solar Load tercih edilmiş ve güneşten gelen radyasyon miktarı deneysel veriler ışığında analize manuel olarak tanıtılmıştır. Bu analiz kapsamında 0,05 kg/s debi üzerinden deneysel veriler ışığında radyasyon miktarı belirli saat aralıklarında girilerek kollektörün giriş ve çıkış sıcaklıkları tanımlanmış ve ardından analiz yaptırılmıştır. Deneylere uygun olarak modellenmiş bu setup, artık istenilen debide revize edilerek sonuçlar elde edilebilecektir. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler ışığında ANSYS Fluent ortamında modellenen GEHIK analiz edilmiş ve sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır.

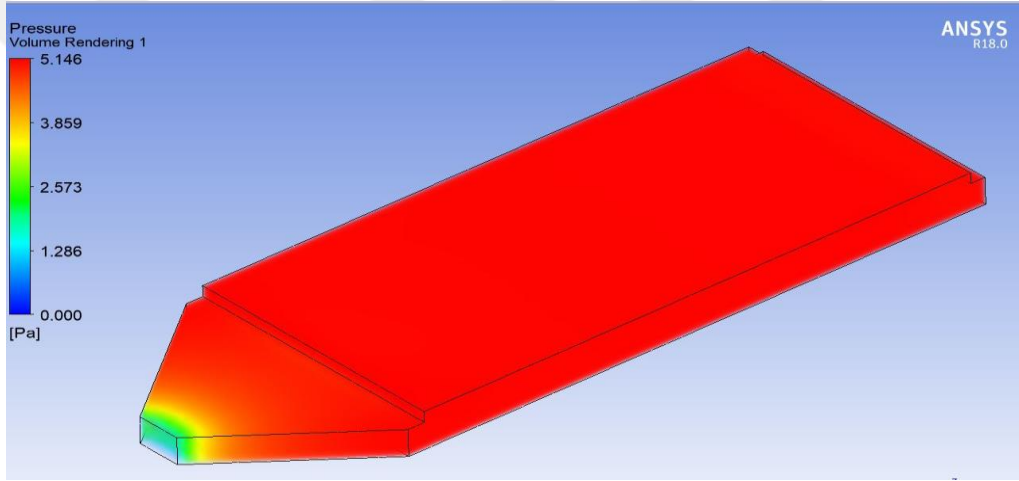
0,05 kg/s debide saat 13:26'da güneş radyasyon miktarı 883 W/m^2 iken ve hava sıcaklığı $36,8 \text{ }^\circ\text{C}$ değerinde yapılan analiz sonuçları aşağıdaki dağılımlarda gösterilmiştir.



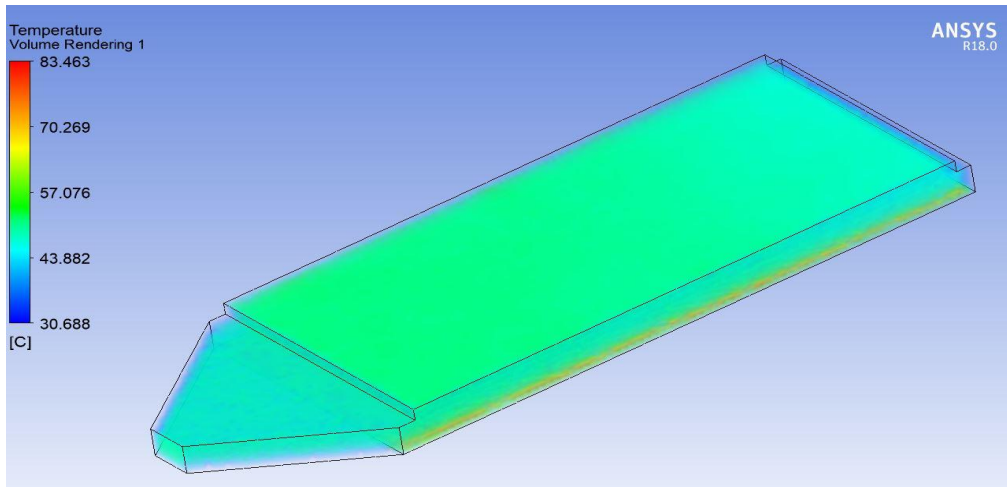
Şekil 6.32. GEHIK'in CFD analizi tanımlama şematığı



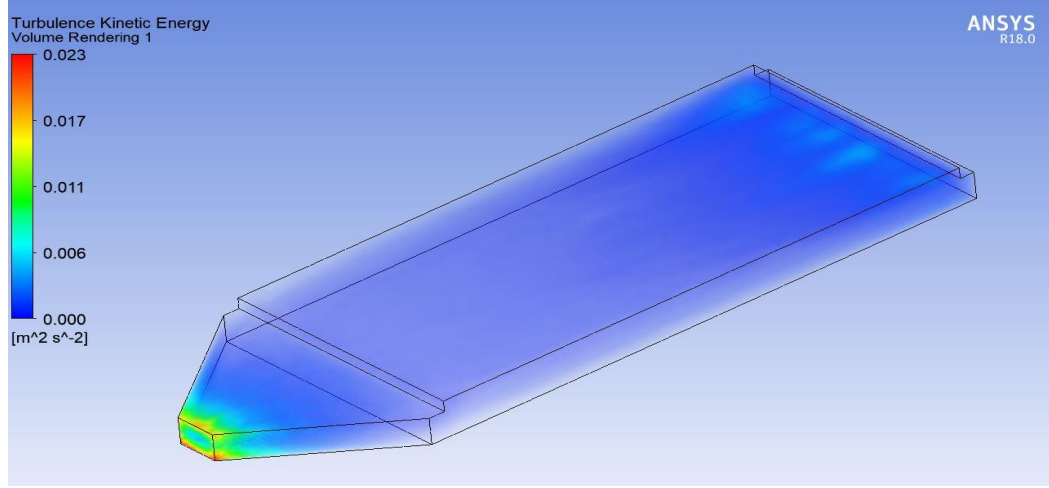
Şekil 6.33. Analiz çözüm ve yakınsama grafiği



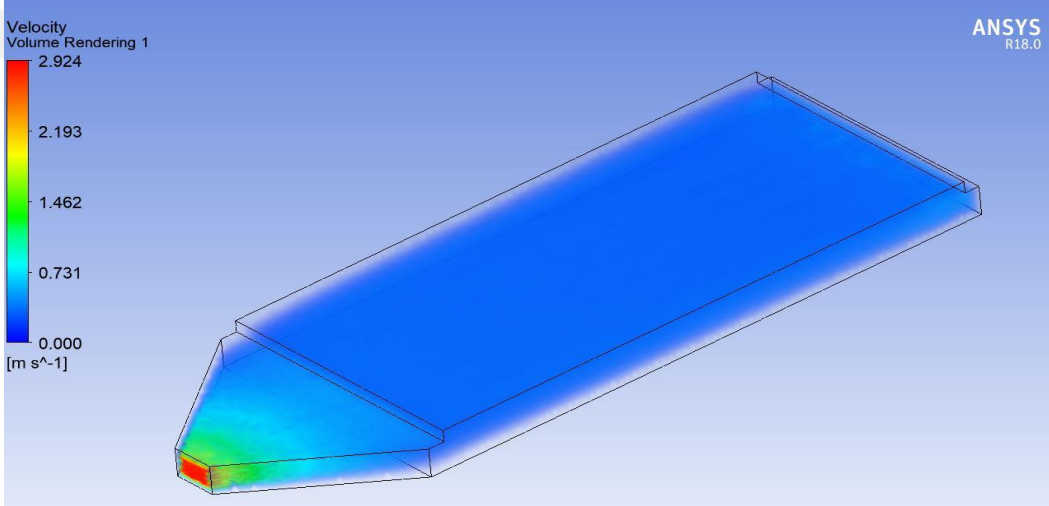
Şekil 6.34. Genel basınç dağılımı



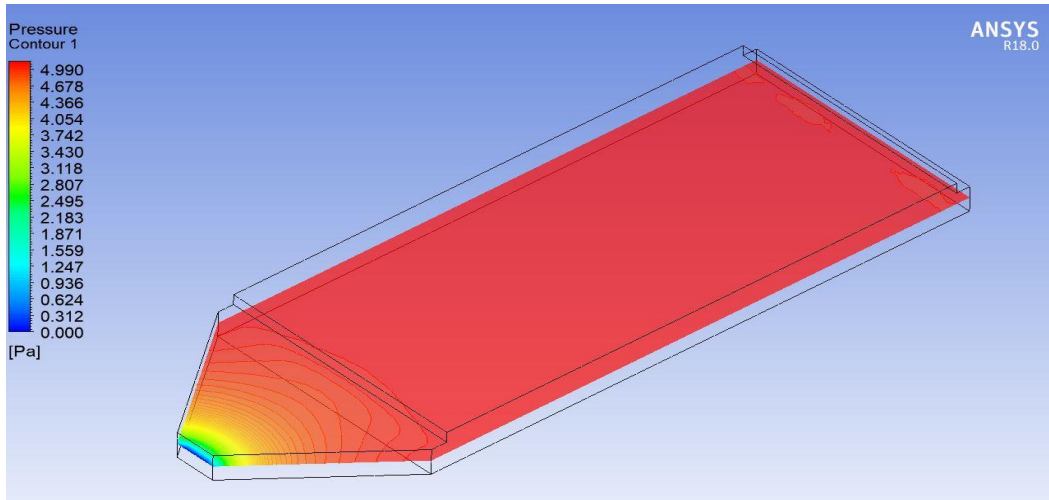
Şekil 6.35. Genel sıcaklık dağılımı



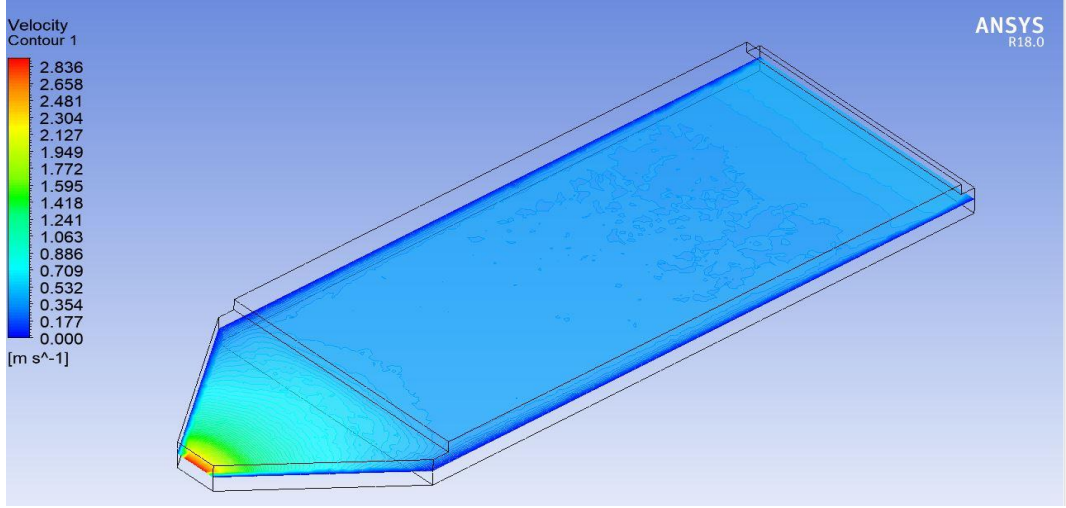
Şekil 6.36. Genel kinetik enerji dağılımı



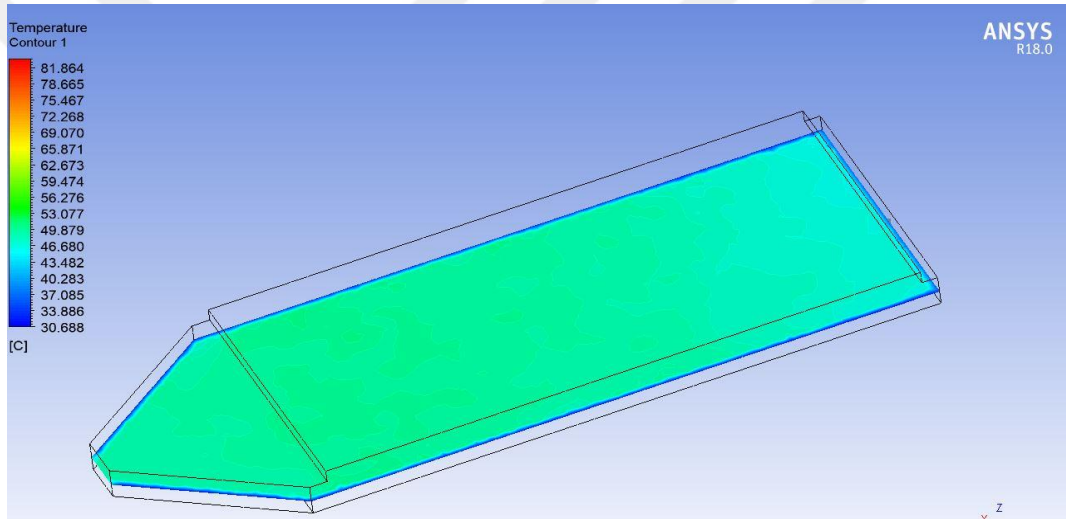
Şekil 6.37. Genel hız dağılımı



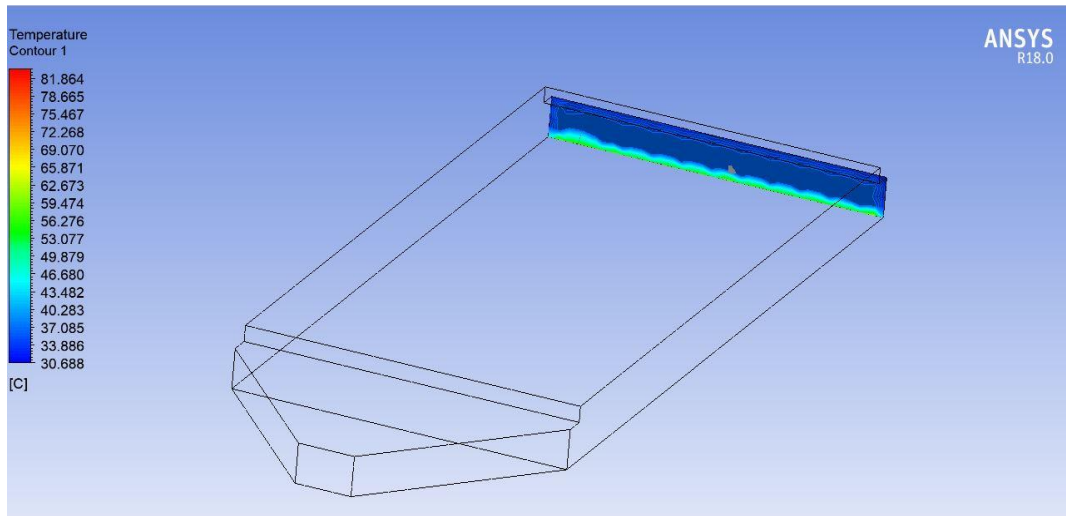
Şekil 6.38. Hava kanalı yatay orta kesit basınç dağılımı



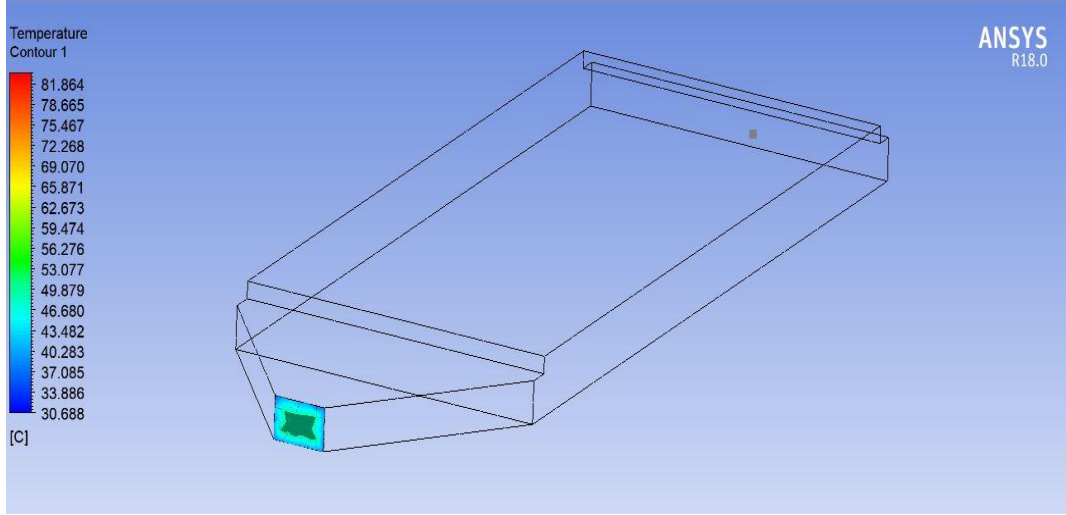
Şekil 6.39. Hava kanalı yatay orta kesit hız dağılımı



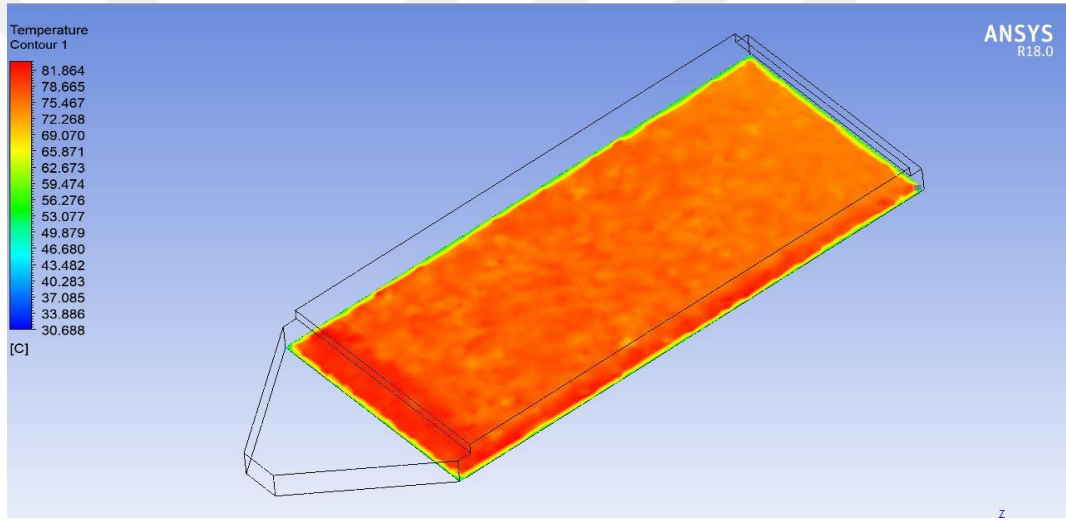
Şekil 6.40. Hava kanalı yatay orta kesit sıcaklık dağılımı



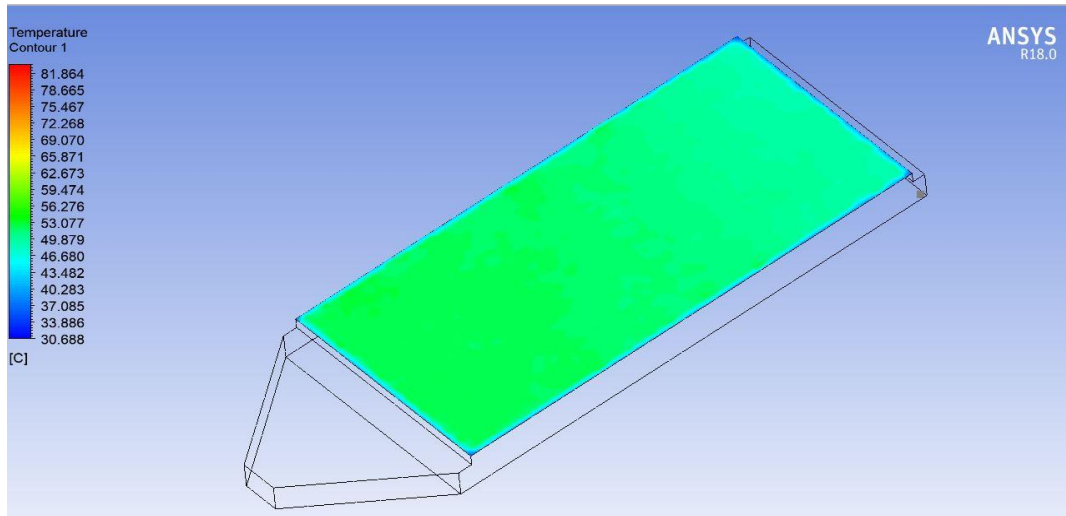
Şekil 6.41. Kollektör girişi hava sıcaklık dağılımı



Şekil 6.42. Kollektör çıkışı hava sıcaklık dağılımı



Şekil 6.43. Absorber sıcaklık dağılımı



Şekil 6.44. Cam sıcaklık dağılımı

Elde edilen analiz sonuçları deneysel veriler ile paralellik göstermektedir. Deneilerin 0,05 kg/s debi ile yapıldığı gün havanın giriş sıcaklığı 36,8 °C'dir. Şekil 6.41'de havanın kollektöre ilk giriş anındaki sıcaklık dağılımı verilmiştir.

Şekil 6.35'te genel sıcaklık dağılımı, Şekil 6.40'ta hava kanalının yatay orta kesit sıcaklık dağılımı ve Şekil 6.42'deki kollektör çıkışı hava sıcaklık dağılımı incelendiğinde havanın çıkış sıcaklığı 46-47 °C mertebelerinde görülmüştür. Deney sonuçlarında ise kollektör çıkışındaki sensörlerden çıkış sıcaklığı 45,9 °C olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.43'te analiz sonucunda ortaya çıkan absorber sıcaklık dağılımı verilmiştir. Sıcaklık dağılımı genellikle 60-70°C mertebelerinde görülmüştür. Deney sonuçlarında ise absorber üzerinde bulunan 3 sensörden alınan ölçümlerin ortalaması 62 °C 'dir.

Şekil 6.44'te analiz sonucunda ortaya çıkan cam yüzey sıcaklık dağılımı verilmiştir. Sıcaklık dağılımı genellikle 53-59°C mertebelerinde görülmüştür. Deney sonuçlarında ise cam yüzeyi üzerinde bulunan sensörden 55 °C değeri ölçülmüştür.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen deneysel verilerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- FDM’li kollektörlerin gün içi termal verimleri FDM’siz kollektöre göre 0.032, 0.04 ve 0.048 kg/s debi için yüksek çıkarken 0.008, 0.016 ve 0.024 kg/s debi için ise düşük çıkmıştır. Böylelikle 0.032 kg/s ve üstü debiler için FDM’li kollektörlerin daha verimli ve kullanılabilir olduğu söylenebilir.
- Bal peteğinin kullanıldığı kollektörde FDM malzemesinin gün içindeki sıcaklığı balpeteksiz kollektöre göre debi artışıyla ters orantılı olarak 8.8 °C ile 2 °C arasında değişen değerlerde daha yüksek çıkmıştır.
- Tip 3 kollektörde çıkış havası sıcaklığının giriş havası sıcaklığı ile eşitlenmesi gün batımından sonra yaklaşık bir saat sürerken FDM’li kollektörlerde bu değer 6 ila 10 saat arasında değişmiştir.
- FDM’li kollektörlerde giriş çıkış hava sıcaklıklarının eşitlenmesi artan debiye paralel olarak 1 saat ile 16 dakika arasındaki değerlerde bal petekli kollektör lehine gerçekleşmiştir.
- GEHIK’da bal peteği kullanımı şarj-deşarj sürelerini ciddi olarak kısaltmıştır.
- FDM’li kollektörlerin günlük termal verimleri tüm debilerde bariz olarak daha yüksek çıkmıştır.
- Bal peteği kullanımı şarj-deşarj sürelerinin önemli olduğu (kısa olması gereken) uygulamalarda ve panel kalınlıklarının yüksek olduğu durumlar için oldukça uygunluk arz etmektedir.
- Gece saatlerinde negatif gece etkisi sebebiyle kollektör çıkış sıcaklıklarındaki düşüşün önüne geçmek için gece-örtüsü kullanılarak bu etki azaltılabilir.
- Kiraz çekirdekli deneylerde; 0,048 kg/s debi için termal verim değerleri kiraz çekirdeği için %37, çekirdek tozu için %37,1 ve düz yutucu plakalı kollektör için ise %26,5 olarak bulunmuştur ki bu yaklaşık olarak % 10’luk bir termal verim artışına denk gelmektedir.
- Kiraz çekirdeği ile çekirdek tozunun termal verim açısından neredeyse aynı olduğunu söylemek mümkündür.
- CFD modelleme sonuçlarının deneysel verilerle paralellik arz ettiği söylenebilir.

8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

GEHIK’da gizli ısı depolama yöntemi, ısı depolama kollektör verimini ve kullanılabilirliğini artırmaktadır. Gizli ısı depolama malzemesi olarak FDM ile birlikte ısı transfer artırıcı olarak bal peteği konstrüksiyonu kullanımı oldukça fonksiyonel olduğu görülmüştür. Bal peteği ızgarasının piyasada çokça bulunması ve ucuz olması iyi bir alternatif ısı iletim artırıcı olarak kullanımını kolaylaştırabilir.

Literatürde ilk olarak araştırılan kiraz çekirdeği ve tozunun güneş kollektöründe duyulur ısı depolama maksatlı kullanımı iyi sonuçlar vermiştir. Türkiye’nin kiraz üretiminde dünyada önemli bir ülke olması ve dolayısıyla kiraz çekirdeği gibi atık bir malzemenin ısı depolamada kullanımı ısı depolama elemanlarına iyi bir alternatif oluşturacağı düşünülmektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda genel olarak FDM, bal peteği ızgarası, kiraz çekirdeği ve tozunun büyük ölçekli (örneğin ton bazında) ısı depolama sistemlerinde kullanılabilirliği ve performansı araştırılabilir. Ayrıca su ısıtmalı güneş kollektörlerinde kullanımının araştırılması yerinde olacaktır. Yine çeşitli termal proseslerde de performansı test edilebilir.

Isı depolama panelinin dahili fin yapısı yanında harici fin yapısının beraber kullanımı, 5-10 cm gibi daha yüksek panel kalınlıkları ve negatif gece etkisinin azaltılması için gece örtüsü kullanımı gibi konular gelecek çalışmalarda incelenebilir.

DSC testlerinden kiraz çekirdeği tozu ve FDM’in beraber kullanımının uyumlu olduğu görülmüştür.

CFD modellemesinde; deneysel verilerle elde edilen yakınsamalarla ileride farklı sistem modifikasyonlarıyla çeşitli optimizasyon çalışması icra edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Öztürk H. H., Isı Depolama Tekniği. Teknik Yayınevi, Ankara, 2008, 11 s.
- [2] Özçelik, N., Gizli Isı Depolamalı İki Fazlı Termosifon Güneş Enerjili Su Isıtıcısının Deneysel Olarak Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 2012, 74 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [3] Kırbaş, İ., Havalı Güneş Kollektörünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2006, 73 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [4] Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası;
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (17.10.2016)
- [5] Güneş Enerjisinin Termal ve Fotovoltaik Kullanımı;
<https://www.manavgatozkanelektrik.com/tag/gun-isi-tamiri/> (26.09.2016)
<http://www.cieillico.fr/les-differents-types-donduleur-photovoltaique> (26.09.2016)
http://www.gulecmetal.com.tr/pdf/gunes_kollektorleri/hava_kollektoru/hava_kollektoru.pdf (21.06.2019)
- [6] Uzun, M.H. Güneş Enerjisi Depolama Olanakları ve Bir Yöntemin Değerlendirilmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, 2010, 85 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [7] Mauthner F., Weiss W., M. Spörk-Dür, Solar heat worldwide, IEA Solar Heating & Cooling Programme, 2016.
- [8] Kılıç, A., Öztürk, A., Güneş Enerjisi, İ.T.Ü Makine Müh. Yayınları, İstanbul, 1983.
- [9] Özgen, F., Yutucu Plakası Silindirik Teneke Kutulardan Yapılmış Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. 2007, (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Kumar Singh S., Performance Analysis of Solar Air Heater with Phase Change Material, National Institute Of Technology, Mechanical Engineering Department, Jamshedpur, 2017, 51, (Yüksek Lisans Tezi).
- [11] Cengiz S.M., Mamiş M.S., Termal güneş enerjisi kullanımı ve CSP sistemlerin verimlilik analizi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 5 (1) 2016. , 1-13 s.
- [12] Deran C., Güneş enerjisi ve fotovoltaik piller, 1991.

- [13] Kalogirou S., Eleftheriou P., Lloyd S., Ward J., Desing and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system, Applied Energy, 1994, 47, 341- 354.
- [14] ASHRAE standartları 93-1986, Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors, 1991.
- [15] Duffie, J. A. ve Beckman W. A., Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons, New York,1991.
- [16] Değirmenciöglu, C., İlken, Z., Havalı güneş kolektörleri üzerine bir literatür araştırması ve temel ilkeleri, TTMD, 2003.
- [17] Dağ, H., 2005. Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Dairesel Borulu Kollektörler ile Oval Borulu Kollektörlerin Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005, (Yüksek Lisans Tezi).
- [18] Tırıs, Ç. ve Tırıs, M., Düzlemsel güneş kolektörlerinin verimini arttıran parametreler, TÜBİTAK-MAM.
- [19] Atıcı., M., Değişik Yüzey Profillerine Sahip Güneş Kollektörlerinde Isı Transferi ve Basınç Kayıplarının Deneysel Olarak Hesaplanması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2006. (Yüksek Lisans Tezi).
- [20] Abuşka M, Güneş enerjisi ve uygulamaları ders notları. Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksek Okulu, Akhisar. 2013, 40.
http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-1-1283TR.pdf,
http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-2-1284TR.pdf
http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-3-1285TR.pdf
- [21] Oztop,F. H., Bayrak, F., Hepbasli A. Energetic and exergetic aspects of solar air heating (solar collector) systems , Elsevier. 2013, 59-83.
- [22] Mazman, M., Gizli Isı Depolaması ve Uygulamaları, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006. (Doktora Tezi).
- [23] Erdoğan, A., Gizli Isı Depolamalı U Borulu Isı Değiştiricilerin Isıl Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2018. (Yüksek Lisans Tezi).
- [24] Arabacıgil, B., Gizli Isı Depolamalı Güneş Enerjili Isıtıcı Analizi, Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Bursa. 2011. (Yüksek Lisans Tezi).
- [25] Günerhan, H., Duyulur ısı depolama ve bazalt taşı, Mühendis ve Makine Dergisi, 2004. 540 s.

- [26] Yılmazoğlu, M. Z., Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması, Politeknik Dergisi, Cilt 13 (1) 2010. , 33-42 s.
- [27] Akgün, M., Parafinle Gizli Isı Depolamada Depo Geometrisi Optimizasyonu Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 2006. (Doktora Tezi)
- [28] Rossi, A., Fuel characteristics of wood and nonwood biomass fuels, Prog. Biomass Convers. 5,1984. 69-99.
- [29] Ribeiro, A.P.C., Vieira, S.I.C., França, J.M.P., Queir,os C.S., Langa, E., et al., Thermalproperties of ionic liquids and ionanofluids, in: A. Kokorin (Ed.), Ionic Liquids:Theory, Properties, New Approaches, InTech, Rijeka, 2011.36-60.
- [30] Garg, H., Mullick, S.,Bhargava, A., Solar thermal energy storage. D. Reidel publishing company. Dordrecht, Boston. 1985. 547-557.
- [31] Garg, H., Advances in solar energy technology Volume 1. Collection and storage systems. D.Reidel Publishing company, 1987. 473-484.
- [32] Büyükbıçakcı, E., Faz Değiştirici Maddelerin Transformatörlerin Soğutulmasında Kullanılması, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul. 2006. (Yüksek Lisans Tezi)
- [33] Sarı, A., Bazı Yağ Asitleri ve Ötektik Karışımlarının Enerji Depolayıcı Madde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat. 2000. (Doktora Tezi)
- [34] Özonur, (Konuklu) Y., Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 2004. (Yüksek Lisans Tezi)
- [35] Kakaç, S., Paykoç, E., Yener, Y. 1989. Storage of Solar Thermal Energy. Energy Storage Systems. Energy Storage Systems (Edited by; KILKIŞ, B. and KAKAÇ, S.), NATO ASI Series; Series E: Applied Sciences,167: 121-161, Kluwer Academic Publishers.
- [36] Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R. and Buddhi, D., Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2009.318–345.
- [37] Bruno, F., Using Phase Change Materials (PCMs) for Space Heating and Cooling in Buildings, EcoLibrium, Journal of Australian Institute of Refrigeration, Air conditioning and Heating, 2005. 4(2): 26-31pp.
- [38] Mehling, H. and Cabeza, F. L., Phase change materials and their basic properties, Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption Fundamentals, Case Studies and Design, ed: Paksoy, H. Ö., NATO Science Series II.

Mathematics, Physics and Chemistry Vol. 234, Springer, The Netherlands, 2007.257–277pp.

[39] Üçok, T., Faz Değişim Malzemeli Panel Radyatörün Deneysel İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 2012. (Yüksek Lisans Tezi)

[40] Karaipekli, A., Faz Değişimli Enerji Depolama Maddelerinde Isıl İletkenliğin Zenginleştirilmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat. 2006.(Yüksek Lisans Tezi)

[41] Abhat, A., Low temperature latent heat thermal energy storage materials, Solar Energy, 1983.30 (4), 313-332.

[42] Velraj, R. , Seeniraj, B. , Hafner, B., Faber, C. and Schwarzer, K. , Heat transfer enhancement in a latent heat storage system, Solar Energy, 1998. 65, 171–180.

[43] Dinçer, I. and Rosen, M.A., Thermal energy storage, Systems and applications, John Wiley & Sons. Chicheser England. 2002.

[44] Fatah, O. A. G., Sopian, K. , and Abdullah, S., Enhancement of Integrated Solar Collector with Spherical Capsules PCM Affected by Additive Aluminum Powder, Hindawi Publishing Corporation Journal of Thermodynamics, 2016 .

[45] Kabeel, A.E., Khalil, A., Shalaby, S.M., Zayed, M. E., Experimental investigation of thermal performance of flat and v-corrugated plate solar air heaters with and without PCM as thermal energy storage, Energy Conversion and Management, 2016, 113, 264–272.

[46] Bouadila, S., Kooli, S.,Lazaar, M., Skouri, S., Farhat, A., Performance of a new solar air heater with packed-bed latent storage energy for nocturnal use, Applied Energy, 2013, 110, 267–275.

[47] Singh, P.L., Deshpandey, S.D., Jena, P.C., Thermal performance of packed bed heat storage system for solar air heaters, Energy for Sustainable Development, 2015, 29, 112-117.

[48] Saravanakumar, P.T., Mayilsamy, K., Forced convection flat plat solar air with and without thermal storage, Journal Of Scientific and Industrial Research, 2010, 69, 966-968.

[49] Krishnananth, S.S., Kalidasa, M. K., Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage, Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 2013, 25, 135-140.

- [50] Charvat, P., Klimes, L., Pech, O., Experimental and numerical study into solar air collectors with integrated latent heat thermal storage, Central Europe Towards Sustainable Building, 2013.
- [51] Esakkimuthu, S., Abdel, H. H., Palaniappan, C. , Markus, S., Blumenberg, J. , Velraj, R., Experimental investigation on phase change material based thermal storage system for solar air heating applications, Solar Energy, 2013, 88, 144-153.
- [52] Arkar, C., Medved, S., Optimization of latent heat storage in solar air heating system with vacuum tube air solar collector, Solar Energy , 2015, 111, 10-20.
- [53] Charvát, P., Klimes,L., Ostry, M., Numerical and experimental investigation of a PCM-based thermal storage unit for solar air systems, Energy and Buildings , 2014,68, 488-497.
- [54] Zhao, D.L., Li, Y., Dai, Y.J., Wang, R.Z., Optimal study of a solar air heating system with pebble bed energy storage, Energy Conversion and Management , 2011, 52, 2392-2400.
- [55] Öztürk, H. H., Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of a seasonal latent heat storage system for greenhouse heating, Energy Conversion and Management, 2005, 46, 1523–1542.
- [56] Zhao, C.Y., Lu, W., Tian, Y., Heat transfer enhancement for thermal energy storage using metal foams embedded within phase change materials (PCMs), Solar Energy , 2010, 84, 1402–1412.
- [57] Saxena, A., Srivastava, G., Tirth, V., Design and thermal performance evaluation of a novel solar air heater, Renewable Energy, 2015,77, 501-511.
- [58] Sarafraz, M.M., Hormozi, F., Intensification of forced convection heat transfer using biological nanofluid in a double-pipe heat exchanger, Experimental Thermal and Fluid Science, 2015, 66, 279–289.
- [59] Ribeiro, A.P.C., Vieira, S.I.C., França, J.M., Queirós, C. S., Langa, E., Lourenço, M.J.V., Murshed, S.M.S., and Nieto de Castro,C.A., Thermal properties of ionic liquids and ionanofluids, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa ,2011.
- [60] Yüksel, N., Avcı, A., Gizli ısı depolamalı kutu tipi iki güneş fırınının deneysel olarak karşılaştırması, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2013, 18.
- [61] Okan, A., Faz Değiştiren Malzemelerle Güneş Enerjisinin Depolanması, Anadolu Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir, 2014, 59, (Yüksek Lisans Tezi)

[62] More solar heat in cold climates and demanding applications.
[http://www.tigi.co.il/assets/files/Honeycomb%20Collector%20whitepaper%20Oct11\(1\).pdf](http://www.tigi.co.il/assets/files/Honeycomb%20Collector%20whitepaper%20Oct11(1).pdf) (26.09.2016)

[63] FAO, Fao Stat, 2014. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

[64] Cherry Stone Thermal Storage Applications ;

<http://www.swisscherry.com/products/thermal-insulators/> (26.09.2016)

<http://www.gizoo.co.uk/Products/Cherry-Thermal-Pillow.htm> (26.09.2016)

<http://www.hotcherrypillows.com/order-hot-cherry-pillows-> (26.09.2016)

<https://cherrypak.com/> (26.07.2016)

[65] Tiwari, G.N., Solar Energy: Fundamentals, Design modeling and applications, CRC Press and Narosa Publishing House, New York and New Delhi, 2002.

[66] Badescu, V., Abed, Q.A., Ciocanea, A., Soriga, I., The stability of the radiative regime does influence the daily performance of solar air heaters, Renew.Energy 2017, 107.

[67] RT54HC Entalpi-Sıcaklık Dağılımı;

http://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_RT54HC_EN_31052016.PDF. (26.07.2017)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Arif KAYAPUNAR

Doğum Yeri ve Yılı : Bandırma, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : arifkayapunar@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Bandırma Ayyıldız Anadolu Lisesi, 2009

Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, 2013

Mesleki Deneyim

Yemtar Makine Sanayi A.Ş. 2013-2014

Ektam Makine Sanayi A.Ş. 2016-2018

E.C.A. Tarel Teknolojik Arş. San. ve Tic. A.Ş. 2018-..... (halen)

Tezden Üretilen Yayınlar

Uluslararası Konferans (Sözlü sunum tam metin bildirisi):

Kayapunar A., Abuşka M., Şevik S. Experimental investigation of sensible heat storage with cherry pits in solar air collector. **14th International Conference on Energy Storage**, 1082-1092, 25-28 Nisan 2018, Adana.

Kayapunar A., Abuşka M., Şevik S. Experimental investigation of the effect of using honeycomb core on the latent heat storage in a solar air collector. **14th International Conference on Energy Storage**, 1093-1103, 25-28 Nisan 2018, Adana.

SCI-SCI Exp. Makale:

Abuşka M., Şevik S., Kayapunar A. Comparative energy and exergy performance investigation of forced convection solar air collectors with cherry stone/powder. **Renewable Energy**, 2019, 143, 34-46.

Abuşka M., şevik S., Kayapunar A. Experimental analysis of solar air collector with PCM-honeycomb combination under the natural convection. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2019,195, 299-308.

Abuşka M., şevik S., Kayapunar A. A comparative investigation of the effect of honeycomb core on the latent heat storage with PCM in solar air heater. *Applied Thermal Engineering*. 2019,148, 684-693.

Abuşka M., şevik S., Kayapunar A. Experimental performance analysis of sensible heat storage in solar air collector with cherry pits/powder under the natural convection. *Solar Energy*, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.080> (Baskı aşamasında).

