

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GİZLİ ISI DEPOLAMALI SICAK SULU KOLLEKTÖR SİSTEMİNDE ISIL
VERİMİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinem KILIÇKAP

(111120103)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Termodinamik

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cengiz YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Şubat 2014

ŞUBAT-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GİZLİ ISI DEPOLAMALI SICAK SULU KOLLEKTÖR SİSTEMİNDE ISIL
VERİMİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinem KILIÇKAP

(111120103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Şubat 2014
Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Şubat 2014

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Ebru KAVAK AKPINAR (F.Ü)
	Prof. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)



ŞUBAT-2014

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada maddi ve manevi olarak yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Cengiz YILDIZ' a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın gerçekleşmesinde önemli katkıları olan F.Ü Mühendislik Fakültesi Bölüm Başkanı Prof. Dr. Haydar EREN' e, Yrd. Doç. Dr. Gülşah ÇAKMAK' a, Yrd. Doç. Dr. Halit Lütfi YÜCEL' e ve Makine Mühendisi Emin EL' e teşekkür ederim.

Ayrıca özverili bir şekilde sürekli yanımda olan, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: MF.12.43 kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP Koordinasyon Birim Yönetimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla.

Sinem KILIÇKAP
ELAĞIĞ – 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması.....	3
1.2. Güneş Enerjisi.....	7
1.2.1. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli	7
1.3. Güneş Enerjisi İle Sıcak Su Hazırlama Sistemleri	9
1.3.1. Sıcak su hazırlama sistemlerinin çeşitleri	9
1.3.1.1 Doğal dolaşımli sistemler	9
1.3.1.2 Cebri dolaşımli sistemler	12
1.4. Güneş Kollektörleri	12
1.4.1. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörleri	13
1.4.1.1 Düz güneş kollektörlerinin ısı analizi	15
1.4.1.1.1 Anlık kollektör verimi	20
1.4.1.1.2 Günlük kollektör verimi	21
1.4.1.1.3 Günlük depo verimi	21
1.5. Isıl Enerji ve Isıl Enerji Depolama Yöntemleri	22
1.5.1. Duyulur ısı	23
1.5.2. Gizli ısı.....	24
1.5.3. Reaksiyon ısısı	24
1.5.4. Enerji depolama sistemlerinin yapısal bileşenleri	24
1.6. GIED Sistemlerinde Kullanılan FDM’ ler.....	26
1.6.1. Tuz hidratlar.....	28
1.6.1.1.Kalsiyum klorür hekzahidrat	29

1.6.2. Parafinler.....	30
1.6.3. Parafin olmayan organik katılar.....	32
1.6.4. Ötektik karışımlar	32
2. MATERYAL VE METOT.....	33
2.1. Deney Seti.....	33
2.2. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları	37
2.3. Ölçülecek Değerler	38
2.4. Ölçülen Değerlerin Hata Analizi	39
3. BULGULAR.....	40
3.1. Standart Depolu Güneş Kollektörlü Sistemde Verim Analizi	40
3.2. FDM' li Standart Depolu Güneş Kollektörlü Sistemde Verim Analizi.....	46
3.3. FDM' li Geliştirilmiş Depolu Güneş Kollektörlü Sistemde Verim Analizi	52
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
5. ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	72

ÖZET

Bu çalışmada, gizli ısı depolamalı sıcak su kollektör sisteminde ısı veriminin incelenmesi hedeflemiştir. Bu amaçla yapılan çalışmada sıcak su kollektörü ile birleştirilmiş gizli ısı depolamalı depo tasarlanmış, deneyler yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapılan çalışmada, doğal taşınım ile çalışan güneş kollektörleriyle birleştirilmiş yalıtımlı depo, standart FDM' li depo ve geliştirilmiş FDM' li deponun verimi incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Gizli ısı depolamalı depolar içerisine belirli miktarda FDM konularak deneyler yapılmıştır ve sonuçları sunulmuştur. Işınım, sıcaklıklar, verim gibi değişik parametreler Temmuz-Kasım 2013 tarihleri içinde belirtilen günler için değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda en yüksek verim değerlerinin FDM' li geliştirilmiş depoda Temmuz ayı içerisinde saat 13.30 civarında elde edildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: : Güneş Enerjisi, Kollektör, FDM, Verim.

ABSTRACT

The investigation of thermal efficiency in a solar hot water collector system with latent heat store

In this study, the investigation of thermal efficiency aimed at the hot water collector system with latent heat store. For this aim; a latent heat store tank combined with hot water collector was designed. Some experiments were done and finally the results were discussed.

In the study, The efficiencies of insulated tank, the standard PCM's tank and improved PCM's tank combined with natural convection solar collector was found out and compared to each other. The experiments are conducted by putting a certain amount PCM into the tank with latent heat store and results are presented. Various parameters such as radiation, temperatures and efficiency are evaluated for the days indicated between July-November 2013.

As a result of this study, it has been found out that the highest efficiency is obtained by using improved PCM's tank at 13³⁰ in July.

Keywords: Solar energy, collector, PCM, efficiency

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Doğal dolaşımli açık devreli sistem	10
Şekil 1.2. Doğal dolaşımli kapalı devreli sistem	111
Şekil 1.3. Cebri dolaşımli sistem.....	12
Şekil 1.4. Kollektörün kısımları	13
Şekil 1.5. Düz güneş kollektörü ısı akış şeması	16
Şekil 1.6. Düz güneş kollektörü ısı analiz şeması	17
Şekil 1.7. Düz kollektörlerde ısı geçişinin elektrik benzeşimi	18
Şekil 1.8. Güneş kollektörü veriminin işletme noktası parametresine göre tipik değişimleri	21
Şekil 1.9. Isı depolanmasında uygulanan yöntemler	22
Şekil 1.10. Bir TED sisteminin genel bileşenleri	23
Şekil 1.11. GID için kullanılan FDM' lerin sınıflandırılması	27
Şekil 2.1. Deney düzeneği.....	33
Şekil 2.2. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü	34
Şekil 2.3. Standart yalıtımlı depo	34
Şekil 2.4. FDM' li standart deponun iç kısmı	35
Şekil 2.5. FDM' li geliştirilmiş deponun iç kısmı.....	36
Şekil 2.6. Kollektör sehpası.....	36
Şekil 2.7. Piranometre	37
Şekil 2.8. Sıcaklık ölçüm cihazı	38
Şekil 3.1. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (17.07.2013)	42
Şekil 3.2. Kollektör veriminin zamanla değişimi (17.07.2013)	42
Şekil 3.3. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (19.07.2013)	43
Şekil 3.4. Kollektör veriminin zamanla değişimi (19.07.2013)	43
Şekil 3.5. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (01.11.2013)	44
Şekil 3.6. Kollektör veriminin zamanla değişimi (01.11.2013)	44
Şekil 3.7. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (04.11.2013)	45
Şekil 3.8. Kollektör veriminin zamanla değişimi (04.11.2013)	45

Şekil 3.9. FDM' li standart depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (17.07.2013)	48
Şekil 3.10. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (17.07.2013).....	48
Şekil 3.11. FDM' li standart depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (19.07.2013).....	49
Şekil 3.12. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (19.07.2013).....	49
Şekil 3.13. FDM' li standart depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (01.11.2013)	50
Şekil 3.14. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (01.11.2013).....	50
Şekil 3.15. FDM' li standart depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (04.11.2013).....	51
Şekil 3.16. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (04.11.2013).....	51
Şekil 3.17. FDM' li geliştirilmiş depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (17.07.2013).....	54
Şekil 3.18. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (17.07.2013).....	54
Şekil 3.19. FDM' li geliştirilmiş depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (19.07.2013).....	55
Şekil 3.20. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (19.07.2013).....	55
Şekil 3.21. FDM' li geliştirilmiş depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (01.11.2013).....	56
Şekil 3.22. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (01.11.2013).....	56
Şekil 3.23. FDM' li geliştirilmiş depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (04.11.2013).....	57
Şekil 3.24. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (04.11.2013).....	57
Şekil 3.25. Depo sıcaklıklarının gece saatlerindeki değişimleri (17.07.2013).....	58
Şekil 3.26. Depo verimlerinin gece saatlerindeki değişimleri (17.07.2013).....	59
Şekil 3.27. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo sıcaklıkları (19.07.2013)	59
Şekil 3.28. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo verimleri (19.07.2013)	60
Şekil 3.29. Depo sıcaklıklarının gece saatlerindeki değişimleri (01.11.2013).....	60

Şekil 3.30. Depo verimlerinin gece saatlerindeki değişimleri (01.11.2013).....	61
Şekil 3.31. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo sıcaklıkları (04.11.2013)	61
Şekil 3.32. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo verimleri (04.11.2013)	62

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	8
Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	8
Tablo 1.3. Yalıtım malzemelerinin özellikleri	15
Tablo 1.4. Bazı tuz hidratların erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları	29
Tablo 1.5. Kalsiyum klorür heksahidratın teknik özellikleri	30
Tablo 1.6. Parafinlerin erime noktaları ve erime gizli ısıları	31

SEMBOLLER LİSTESİ

A_t	: Kollektör yüzey alanı (m^2)
C_p	: Suyun özgül ısısı (kJ/kgK)
C_{pk}	: FDM' nin katı haldeki özgül ısısı (kJ/kgK)
C_{ps}	: FDM' nin sıvı haldeki özgül ısısı (kJ/kgK)
ρ_{s1}	: Sıcak suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)
ρ_{so}	: Soğuk suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)
f	: Güneş sabitini düzeltme faktörü
H	: Su borusu yüksekliği (m)
H_{fg}	: FDM' nin gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg)
h_w	: Rüzgar için ısı geçiş katsayısı
I_e	: Kollektör üzerine gelen anlık güneş ışıınımı (W/m^2)
K	: Yutucu plaka ve çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı (W/m^2K)
K_{alt}	: Kollektör alt yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı (W/m^2K)
$K_{üst}$	: Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı (W/m^2K)
k_y	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
L_y	: Yalıtım kalınlığı (m)
m	: Depolama ortamının (materyalin) kütlesi (kg)
m_{depo}	: Deponun kütlesi (kg)
m_{FDM}	: Faz değişim maddesinin kütlesi (kg)
N	: Saydam örtü sayısı
P	: İşletme noktası parametresi
P_e	: Etken basınç (N/m^2)
P_{s1}	: Sıcak suyun statik basıncı (N/m^2)
P_{so}	: Soğuk suyun statik basıncı (N/m^2)
Q	: Depolanan toplam ısı (kJ)
Q_d	: Depolanan enerji (W)
Q_f	: Akışkana aktarılan faydalı enerji (W)
Q_g	: Yutucu plakaya gelen ışıınım enerjisi (W)
Q_k	: Toplam ısı kaybı (W)

R	: Isıl dirençler
s	: Kollektör eğimi ($^{\circ}$)
$T_{\text{ç}}$	: Akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{çevre}}$	: Çevre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_g	: Akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_y	: Yutucu plaka sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
V_r	: Rüzgar hızı (m/s)
W_1	: Işınım ölçümünde yapılabilecek ortalama hata (W/m^2)
W_t	: Sıcaklık ölçümünde yapılabilecek ortalama hata ($^{\circ}\text{C}$)
W_{th}	: Hata değeri
ΔT_{depo}	: Deponun sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
ΔT_{FDM}	: Faz değişim maddesinin sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
ε_L	: Yutucu plakanın ışıınımı neşretme oranı (seçici yüzey için $\varepsilon_L = 0,1$ ve seçici olmayan yüzey için $\varepsilon_L = 0,95$)
ε_S	: Saydam örtünün ışıınımı neşretme oranı (0,88)
σ	: Stefan Boltzman sabiti ($\text{W/m}^2\text{K}^4$)
$\dot{m}$	: Kütlesel debi (kg/h)
$\dot{m}_{\text{depo}}$	: Deponun kütlesel debi (kg/h)
$\dot{V}$	: Hacimsel debi (m^3/h)
η_{depo}	: Depo verimi
η	: Verim
η_t	: Anlık kollektör verimi

1. GİRİŞ

Nüfusun hızla artışı, hızlı sanayileşme ile artan yatırımlar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerjiye olan ihtiyacı arttırırken, alışılmış enerji kaynakları potansiyelinin hızla azalması, yeni ve yenilebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmaları arttırmıştır.

Son yıllarda yeni ve yenilenebilir enerji konusunda yapılan araştırmaların büyük bölümü güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Bugün, dünyada pek çok ülkede uygulama alanına konmuş güneş enerjisinden yararlanma programları bulunmaktadır.

Yeryüzünde doğal enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Endüstriyel ve günlük hayatta yoğun bir şekilde ihtiyaç duyulan enerjinin her gün biraz daha pahalılaşması ve tüketiminin beklenilenin üstünde artış göstermesi, çeşitli alanlar için ihtiyaç duyulan enerji temini konusunda yeni kaynaklara yönelmeyi zorunlu kılan nedenlerin başında gelmektedir [1].

Gelişmekte olan ülkeler gittikçe artan nüfusa karşı ekonomik olarak büyük ölçüde enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Yeni enerji kaynaklarının sık ve kolay bulunması, temiz ve ucuz olması yanında tercih edilmesinin gerekliliğini de belirlemektedir. Ayrıca, en önemlisi de kullanılan enerjinin israf edilmemesi ve bu enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması veya kullanılan enerjiye ek bir getiri sunması gerekmektedir [2].

Her ülkenin kendi enerji ihtiyacını karşılayacak kadar enerji kaynağı mevcut değildir. Kendi kaynaklarıyla ihtiyaçlarını karşılayamayan ülkeler ithalat yoluyla bu ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. Orta Doğu ülkeleri ve Bağımsız Devletler Topluluğu ülkeleri petrol ve doğal gaz başta olmak üzere enerji kaynakları bakımından zengin ülkelerdir. Avrupa ülkeleri ise enerji kaynakları bakımından fakir ülkeler arasında yer almaktadır. Ancak enerji kaynaklarının ekonomik ve etkin kullanılması ile enerji sorununa çözüm bulunabilecektir [3].

Güneş enerjisi yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu yanında, insanlık için önemli bir sorun olan çevreyi kirletici artıkların bulunmayışı, yerel olarak uygulanabilmesi ve karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapıldığı bir konu olmuştur. Binaların ısıtılması, soğutulması, endüstriyel bitkilerin kurutulması ve elektrik üretimi güneş enerjisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır [3].

Yeni ve yenilebilen enerji kaynaklarının toplumsal yaşama ve ülke ekonomisine sonsuz katkıları vardır. Bu temiz enerji kaynaklarının ekonomik olması, sık ve kolay bulunması, temiz ve ucuz olması, yenilenebilir ve tükenmez olmaları, yerli olmaları, enerji sektöründe ülkenin dışa bağımlılığını azaltması, çalışmanın önemini daha da artırmaktadır [4].

Enerji tüketiminin önemli bir bölümünün binalarda gerçekleşmesi nedeniyle, binalarda enerji korunumu sağlamanın yanı sıra binaların enerji performansını arttırmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmazdır. İnsanoğlu, günümüzde çevreye verdiği zararların neden olduğu iklimsel değişimlerle yüz yüze gelmiştir. Endüstri devrimiyle başlayan ve XXI. yy’ da giderek ivme kazanan bir hızla süren teknolojik gelişmelerin çevre üzerindeki baskısı tehlikeli boyutlara ulaşmış ve Birleşmiş Milletler tarafından 5-16 Haziran 1972 Stocholm’ da düzenlenen Çevre Konferans’ında çevresel sorunların evrenselliği kabul edilmiştir [5]. Bu toplantı sonucunda, yeni enerji teknolojilerinin gerekliliği ortaya konmuş ve gelişmiş ülkeler öncelikli olmak üzere iklim koşullarına ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı araştırma ve uygulama çalışmaları hızlanmıştır. Gerek “Kyoto Protokolü” kapsamında gerekse “Johannesburg Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi” kararları doğrultusunda pek çok ülke küresel ısınmanın nedeni olan CO₂ emisyonlarını azaltma yönünde önlemler almaktadır [6].

Sanayileşme, artan konfor talepleri ve gelişen teknoloji, enerji kullanımını artırmaktadır. Geleceğe yönelik yapılan projeksiyonlarda CO₂ salınımının bugünkü hızı ile ilerlemesi sonucu 2040 yılında dünyada 1,5~4,5°C’lik sıcaklık artışı beklenmektedir [6].

Güneş enerjisi ile çalışan sistemlerde, özellikle güneş ışığının olmadığı zamanlarda, gün boyunca depolanmış ısı veya elektrik enerjisi kullanılarak enerji gereksinimi

karişlanabilmektedir [7,8,9]. Sonuç olarak; enerji depolanması, üretim ve tkretim arasındaki farkı dengelediği gibi, enerji tasarrufu açısından da çok önemli bir rol oynamaktadır. Birincil enerji kaynaklarının korunmasını sağlamakla beraber, enerji israfını da önleyerek, sistemlerin daha ekonomik çalışmasını sağlamaktadır. Düzenli bir enerji akışı temin ederek enerji üretim sistemlerinin verimliliğini artırmakta ve güvenilirliğini sağlamaktadır.

Gizli ısı depolama yöntemi, ısı depolama kapasitesinin yüksek olması ve ısı depolama materyali faz değiştirme sıcaklığının sabit sıcaklıkta ısı depolamak için uygun olması nedeniyle, diğer ısı depolama yöntemlerine göre istenilen olumlu özelliklere sahiptir [10].

Bu çalışmada güneş enerjisinin daha verimli kullanılması ile ilgili olarak sıcak su kollektörü ile birleştirilmiş gizli ısı depolamalı depo tasarlanmış ve sistemin verimleri deneysel olarak araştırılmıştır.

1.1. Literatür Araştırması

Güneş enerjisi ile sıcak su üretiminde verimi arttırmak ve faz değişim maddesiyle ısı depolamak amacıyla çeşitli teorik ve deneysel çalışmalar yapılmış olup bu çalışmaların bir bölümü aşağıda sunulmuştur.

Dowing ve Waldin [11] R11’li iki fazlı güneş kollektörü ile glikol-su karişımlı güneş kollektörü sistemlerinin verimlerini karişılaştırmışlar ve freon gazlarının iki fazlı sistemlerde kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Soğutucu akışkanlar olarak kullanılan freon gazlarının kolaylıkla buharlaştığını gözlemlemişler ve R11 kullanılan kollektörün veriminin diğer kolektörlere oranla yaklaşık % 35 daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak iki fazlı sistemin su sıcaklığı daha çabuk artmış ve verimi diğer sisteme göre daha yüksek çıkmıştır. Deneylerinde soğutucu akışkanlardan R12, R113 ve R114’de kullanmışlardır.

Altuntop ve ark. [12] güneş enerjisi tesisatı kolektör ve boru bağlantılarında yapılan hataların ısı verime etkisini deneysel olarak incelemiş, doğal dolaşımlı sistemlerde, su dolaşım hızının ve buna bağlı olarak elde edilen sıcak su miktarının azalmaması için

minimum sayıda tesisat elemanı kullanılması özellikle dirseklerin oluşturduğu basınç kaybının ortadan kaldırılması için, fleksibil boruların kullanılmasının daha faydalı olacağını belirtmiştir.

Faz değişim maddesi kullanarak ısı depolama işlemi günümüzde bazı uygulamaları ticari başarı sağlamış bir konudur. Bu konu ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmış olup bütün bu çalışmaları pratik amaca yönelik değerlendirmek ve bu teknolojiyi geliştirmek amacıyla Uluslararası Enerji Ajansına bağlı olarak Annex 10 oluşturulmuştur. Bu çalışma grubunda Bulgaristan, Kanada, Finlandiya, Almanya, Japonya, Polonya, İsveç ve Türkiye katılımcı, Avustralya, Çin, Hollanda, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri üye olarak yer almışlardır [13].

Manz ve ark. [14] güneş enerjisini pasif olarak depolama üzerine bir araştırma yapmış ve bu çalışmada güneş ışıınının maddelerin ergimesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışmada faz değişim maddesinin (PCM) görünür ışığı geçirme özelliklerinden faydalanılmıştır. Pasif duvar sistemleri için yapılan deneysel çalışmada PCM olarak tuz hidratları ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ve saydam izolasyon maddeleri seçilmiştir. Kullanılan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ için 5660 erime döngüsü sonucunda termal özelliklerde bir değişiklik olmadığı saptanmış ve düşük miktarda aşırı soğuma görülmüştür. Faz değişiminin ortam üzerinde olumlu etkisi gözlenmiştir.

Fischer ve ark. [15] Almanya’da bir okul binasının ısıtılması için; 7000 kg zeolit3X içinde enerji depolamıştır. Depolama ortamının yüklenmesi gece saatlerinde ve hafta sonlarında 130 °C’de hava ve buhar geçirilerek gerçekleştirilmiş, yükleme sırasında ısıtma amacıyla kullanılan buhar hava karışımı okul binasına değil zeolit tankına gönderilerek depolanması sağlanmış ve depolanan bu ısı gün içinde depolama tankına 20 – 25 °C’de hava üflenerek 65 °C’de geri kazanılarak ortama verilmiştir. Mart 1997’de depolamaya tekrar başlanmış ve Haziran 1997’ye kadar sistem geliştirilerek ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Sharma ve ark. [16] ticari ölçekte (teknik) asetamid, stearik asit ve parafin kullanarak 1500 erime/donma döngüsü gerçekleştirmiş ve bu döngüler boyunca erime aralığı ve erime gizli ısını kontrol edecek deneyler yapmışlardır. Sonuçta stearik asitin çok geniş bir

aralıkta eriyerek iki bölgede erime aralığı gösterdiği belirlenirken, parafin ve asetamidin erime aralığında iyi ısı kararlılığı ve gizli ısı kapasitesine sahip oldukları kaydedilmiştir.

Rabin ve ark. [17] düşük sıcaklıkta güneş enerjisiyle su ısıtma için faz değişim maddesi (FDM) olarak tuz hidratlarını kullanarak güneş kolektörü FDM sistemi tasarlamıştır. Kollektör içine yerleştirilmiş FDM'lerin güneş enerjisi kullanılarak ısıtılmasıyla depolanan enerji, ısı taşıyıcı akışkan olan soğuk suyun sistemde dolaşımı sırasında geri kazanılmaktadır. Burada FDM kolektör içine yerleştirilmiştir.

Dutre [18] parafini FDM olarak kullanıp güneş enerjisiyle alan ısıtma ve sıcak su elde etmeyle ilgili çalışmalar yapmıştır.

Sari [19] güneş enerjisi sistemlerinde ısıtma amaçlı kullanılabilecek miristik ve palmitik asit ötektik karışımıyla çalışmıştır. Ötektik karışımın erime sıcaklığı 42,6°C olup %58 miristik asit içeriklidir.

Feldman ve ark. [20] farklı yağ asidi karışımları hazırlayarak bunların ısı depolama açısından özelliklerini incelemiş ve yağ asitlerinin alan ısıtma için FDM olarak önerilebileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan yağ asidi karışımlarının (Kaprik, laurik, palmitik ve stearik) erime aralıkları 30 °C' den 65 °C' ye ergime gizli ısıları 153 J/g 'dan 182 J/g' a kadar çeşitlilik göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada yağ asitlerinin ikili karışımlarının ötektik noktaları da belirlenmiştir.

Buddhi ve ark. [21] stearik, miristik asit, naftalin ve parafinin güneş ısıtıcılarında kullanım imkanlarıyla ilgili bir araştırma yapmış ve özellikle fiyat avantajlarından dolayı yağ asitleri üzerinde durmuştur.

Mehling ve ark. [22] güneş enerjisi depolama sistemlerine FDM modüller ekleyerek kayıp ısıları depolamayı hedeflemişlerdir. Güneş enerjisi depolama konusundaki en temel noktalardan biri olan stratifikasyonun depolama için kullanılması hedeflenmiş bu amaçla güneş enerjisi depolama tankının en üst kısmına FDM modüller yerleştirmişlerdir. Tankın toplam hacminin 1/16'si kadar FDM en üste yerleştirilmiş olup FDM' in temas ettiği suyun toplam hacme oranıysa 3/16 olarak belirtilmiştir. Stratifikasyonla eritilen FDM' in temas

halinde olduğu suyun sıcaklığını FDM' siz duruma göre %50 ile %200 arasında daha uzun süre tuttuğunu ve ortalama enerji yoğunluğunu %20 ile %45 arasında arttırdığını kaydetmişlerdir.

Cabeza ve ark. [23] güneş enerjisiyle su ısıtma sistemleri için tasarlanmış depolama tankında FDM kullanarak depolamaya katkıda bulunmaya çalışmışlardır. Çalışmada sodyum asetat kullanılmış olup depolama ve geri kazanma verimini arttırmak için ısıl iletkenlik arttıracak şekilde FDM-grafit karışımı hazırlanmıştır.

 banez ve ark. [23] yaptıkları çalışmada Cabeza ve ark. (2006)' nın yaptıkları yukardaki çalışmada elde ettikleri verileri kullanarak deneysel verim hesapladıktan sonra TRNSYS programı kullanılarak tankın enerji depolama etkinliği teorik olarak hesaplamışlardır. Sonuçta deneysel verilerle teorik veriler uygunluk göstermiştir.

Xiao ve ark. [24] termoplastik elastomer içine parafin emdirmiş ve bu yolla FDM' nin ısıl iletkenliğini arttırmaya çalışmışlardır. Bu şekilde hazırlanmış FDM' ye grafit eklendiğinde ısıl iletkenliğin önemli oranda arttığını kaydetmişlerdir.

Huang ve ark. [25] bina uygulamalarında erime noktası 43 C ve 28 C olan ticari olarak üretilen 2 adet faz değiştiren maddesi üzerinde öncelikle teorik olarak çalışmışlardır. Teorik olarak yapılan çalışmalar sonucunda erime noktası 28 C olan FDM Haziran ve Ocak aylarında test edildiğinde her iki iklimde iç ortam sıcaklığında iklime göre pozitif bir katkı sağladığı belirlenmiştir.

Kissock ve ark. [26] bir çalışmada duvarlara %30'luk ticari bir faz değişim maddesi (FDM) olan parafin (K18) emdirilerek sonuçlar gözlemlenmiştir. 14 gün boyunca güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı FDM' li ve FDM' siz test edilen duvarların arasındaki sıcaklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Sonuçlar FDM' li bölgenin sıcaklığının FDM' siz bölgeden 10 C daha az olduğu gözlemlenmiştir.

1.2. Güneş Enerjisi

Birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlisi olan güneş, dünyamızın temel enerji kaynağıdır. Dünyamızın aydınlatılması ve ısıtılmasının yanında, canlıların yaşamasını ve büyümesini, ayrıca bazı enerji kaynaklarının oluşmasını sağlar. Birincil enerji olarak atmosferi geçip bir yılda yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi miktarı (8.9×10^{13} TET/yıl) (1 ton taş kömürü eşdeğeri) küçümsenmeyecek kadar büyük bir değerdir. Bu miktar dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 20 bin katıdır [27].

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlar;

- Bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağıdır,
- Temiz enerji türüdür, çevreyi kirletici duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur,
- Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür,
- Birçok uygulaması için karmaşık bir teknolojiye gerek duyulmamaktadır,
- Dışa bağımlı olmadığından, doğabilecek ekonomik bunalımlardan bağımsızdır,
- İşletme masrafları çok düşüktür.

Güneş enerjisinin yukarıda belirtilen üstünlüklerine rağmen günümüzde uygulamalarının az oluşunun sebepleri vardır;

- Birim yüzeye gelen güneş ışıınımı az olduğundan büyük yüzeylere gerek duyulmaktadır,
- Güneş ışıınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir,
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışıınımı az ve geceleri de hiç yoktur [28].

1.2.1. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde

(DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 1.1' de verilmiştir [29].

Tablo 1.1. Türkiye' nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² - Ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat / Ay)
Ocak	51,75	103,0
Şubat	63,27	115,0
Mart	96,65	165,0
Nisan	122,23	197,0
Mayıs	153,86	273,0
Haziran	168,75	325,0
Temmuz	175,38	365,0
Ağustos	158,40	343,0
Eylül	123,28	280,0
Ekim	89,90	214,0
Kasım	60,82	157,0
Aralık	46,87	103,0
Toplam	1311	2640,0
Ortalama	3,6 kWh/m ² -Ay	7,2 Saat / Gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo 1.2' de verilmiştir [29].

Tablo 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (KWh/m ² -Ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat / Ay)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

1.3. Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Hazırlama Sistemleri

Güneş enerjili sistemlerin en ekonomik, en yaygın ve en yüksek verimle kullanıldığı sistemlerin başında, sıcak su hazırlama sistemleri gelir. Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri dışında her hangi bir işletme giderleri yoktur. Güneş enerjisi ile sıcak su hazırlamada kolektör sistemleri kullanılmaktadır.

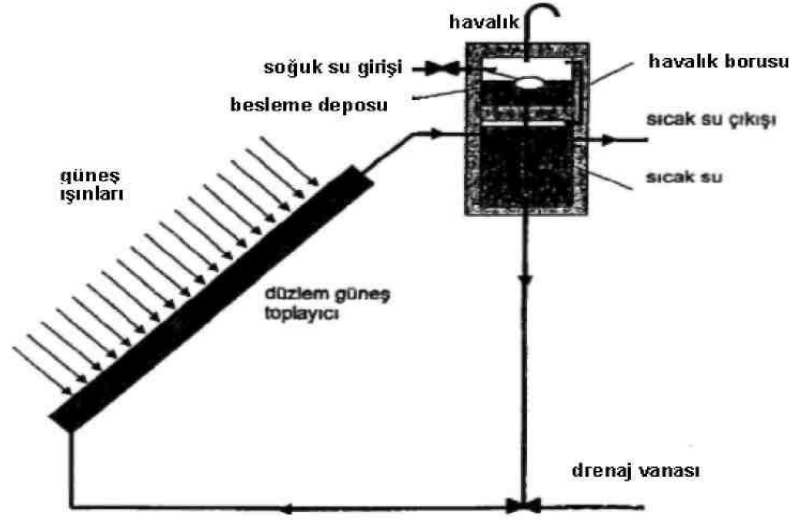
1.3.1. Sıcak su hazırlama sistemlerinin çeşitleri

Güneş enerjisi ile sıcak su hazırlama sistemleri, hazırlanacak suyun kullanılma yeri ve amacına göre değişiklikler gösterir. Bunların çoğunluğu bilhassa konutlarda uygulanan doğal dolaşimli sistem ile daha fazla sayıda konut ve endüstriyel tesislere, sıcak su hazırlayan pompalı sistemlerdir. Her iki sistemde doğrudan ve dolaylı ısıtmalı olarak yapılabilir [30].

1.3.1.1. Doğal dolaşimli sistemler

Sıcak su ihtiyacının çok fazla olmadığı durumlarda, bilhassa konutlarda uygulama alanı olan sistemlerdir. Şekil 1.1 'de doğal dolaşimli bir sistemin şeması görülmektedir.

Doğal dolaşimli sistemde, suyun sistemde dolaşımını sağlayan basınç değeri, kolektör ve deponun birbirlerine göre olan durumlarından kaynaklanır. Kolektörden depolama tankına giden sıcak su ile depolama tankından gelen soğuk su borusunun yüksekliği (kolektör ekseni - depo ekseni) H ile gösterilmiştir. Bu iki borudaki sıcak ve soğuk suyun statik basınçları ($P_{s1} - P_{s0}$) (1.1) ve (1.2) denklemleri ile hesaplanır.



Şekil 1.1. Doğal dolaşimli açık devreli sistem [30].

$$P_{s1} = H \cdot \rho_{s1} \quad (1.1)$$

$$P_{s0} = H \cdot \rho_{s0} \quad (1.2)$$

(ρ_{s1}) ve (ρ_{s0}) sırasıyla sıcak ve soğuk suyun özgül ağırlıklarıdır. Ayrıca $\rho_{s0} > \rho_{s1}$ olduğundan, soğuk suyun statik basıncı (P_{s0}) > sıcak suyun statik basıncından (P_{s1}) daha fazladır. Soğuk ve sıcak su basınç farkına (P_e) etken basınç denilirse, etken basınç denklem (1.3) ile hesaplanır.

$$P_e = P_{s0} - P_{s1} \quad (1.3)$$

Denklem (1.1) ve (1.2) denklem (1.3)' de yerine yazıldığında;

$$P_e = H \cdot (\rho_{s0} - \rho_{s1}) \text{ kg/m}^2 \quad (1.4)$$

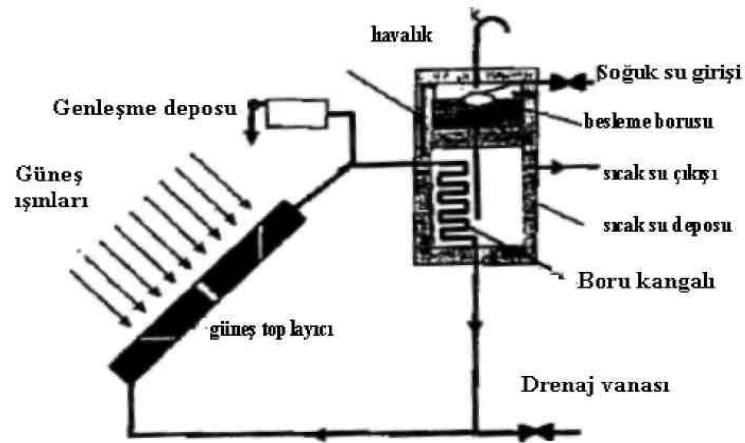
Denklem (1.3)'de görüldüğü gibi, dolaşımı sağlayan etken basınç (P_e), kollektör ile depolama tankı arasındaki yükseklik (H) ile depolama tankına giden ve gelen su

sıcaklıkları, dolayısıyla özgül ağırlıkları, arasındaki farka bağlıdır. Yükseklik ve su sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça, suyu sistemde devrettiren etken basınç (P_e) artacak ve sistemin çalışması daha sıhhatli olacaktır [30].

Doğal dolaşımli sistemler bulundukları iklim şartlarına ve kullanım amaçlarına göre açık (doğrudan) ve kapalı (dolaylı) devreli olmak üzere 2 şekilde yapılırlar [31].

a) Doğal dolaşımli açık devreli sistemler: Açık devrede kullanım suyu kollektör içerisinde dolaşarak doğrudan ısınır. Kapalı devrede olduğu gibi ilave bir ısı transfer akışkanına ihtiyaç yoktur. Bu sistemler kapalı sistemlere nazaran daha yüksek sıcaklıklara ulaşırlar. Fakat bu sistemlerin mahzurlarından biri dış ortam sıcaklığı 0°C ' nin altına düşen bölgelerde donma tehlikesidir. Kış aylarında sistemdeki suyun mutlaka boşaltılması gerekir.

b) Doğal dolaşımli kapalı devreli sistemler: Kapalı devreli sistemlerde; birbirinden bağımsız çalışan iki ayrı devre bulunmaktadır (Şekil 1.2). Kollektör devresinde bulunan akışkan güneşten aldığı enerjiyi şehir şebekesinden gelen kullanım suyuna transfer eder.

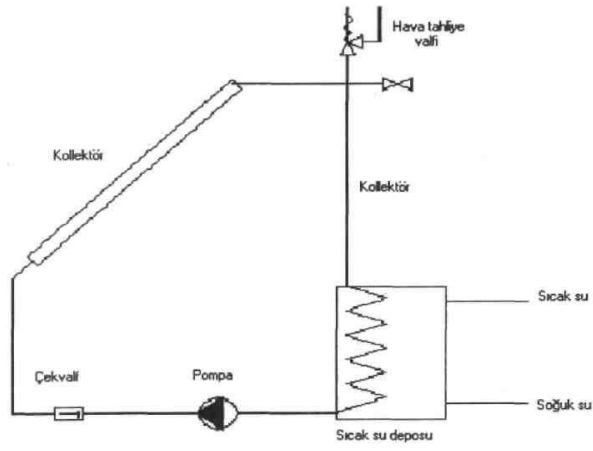


Şekil 1.2. Doğal dolaşımli kapalı devreli sistem [31].

Kollektör devresinde bulunan akışkan, kış aylarında donma riskinin bulunduğu bölgelerin sıcaklığına bağlı olarak, uygun oranda antifriz ile su karışımından oluşur.

1.3.1.2. Cebri dolaşımli sistemler

Bu sistemlerde; kollektör devresindeki akışkan, bir pompa ile hareket ettirilir. Bu sayede doğal dolaşımında olduğu gibi deponun kollektörden daha yüksek bir noktada olması gerekmez. Depo Şekil 1.3' te görüldüğü gibi istenilen yükseklikte ve kollektörden daha aşağıda olabilir. Cebri dolaşımli sistemler doğal dolaşımli sisteme göre daha verimlidirler. Kollektörde dolaşan akışkan miktarı ve hızı kontrol edilebildiğinden, kollektör ve sistem verimleri yüksektir [30].



Şekil 1.3. Cebri dolaşımli sistem [30].

1.4. Güneş Kollektörleri

Güneş kollektörleri, güneş radyasyonunu alıp, bir akışkan (sıvı ya da hava) bünyesine geçiren birer ısı değiştiricidirler [30].

Üç grupta sınıflandırılırlar;

- 1- Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörleri
- 2- Vakumlu güneş kollektörleri
- 3- Odaklamalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş kollektörleri
 - a)Doğrusal odaklamalı
 - b)Noktasal odaklamalı

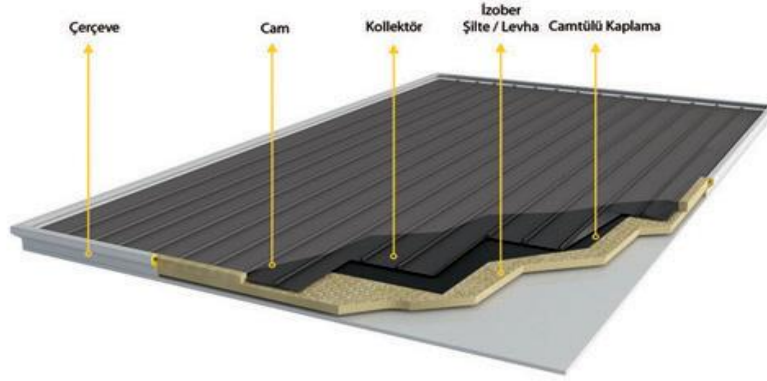
Güneş Kollektörleri ısı taşıyıcı akışkana göre sınıflandırıldıklarında ise;

1-Sıvılı kollektörler

2-Havalı kollektörler olmak üzere ikiye ayrılırlar [30].

1.4.1. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörleri

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisinin toplandığı ve herhangi bir akışkana aktarıldığı (sıvı ya da hava) çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kollektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Kollektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Şekil 1.4' te görüldüğü üzere üst örtü, emici plaka, ısı yalıtımı, kollektör kasası ve bunların birleştirilmesinde kullanılan parçalar düzlemsel yüzeyli güneş kollektörünü oluşturur.



Şekil 1.4. Kollektörün kısımları [32].

a. Üst örtü

Kollektörlerin üstten olan ısı kayıplarını en aza indirgeyen ve güneş ışınlarının geçişini engellemeyen bir maddeden olmalıdır. Üst örtünün, kısa dalga boyundaki güneş ışınlarının, saydam ortamlardan kapalı hacimlere geçişi ve hacim içinde uzun dalga boyunca gelen ışınların aynı saydam ortamdan dış ortama geçirmemesini sağlamalıdır. Cam, güneş ışınlarını geçirir ve ayrıca emici plakadan yayılan uzun dalga boylu ışınları geri

yansıtması nedeni ile örtü maddesi olarak son derece uygun bir maddedir. Bilinen 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 % 5 mertebesinde artırır.

b. Emici plaka

Emici plaka kollektörün en önemli bölümüdür. Güneş ışınları, emici plaka tarafından yutularak ısıya dönüştürülür ve sistemde dolaşan sıvıya aktarılır. Emici plaka tabanda ve üstte birer manifold ile bunların arasına yerleştirilmiş akışkan boruları ve yutucu plakadan oluşur. Yutucu plaka ışınları yutması için koyu bir renge genellikle siyaha boyanmıştır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının yüksek, uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle de bu özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Mat siyah boyanın yutuculuğu 0.95 gibi yüksek bir rakam iken yayıcılığı da 0.92 gibi istenmeyen bir değerdedir. Yapılan seçici yüzeylerde yayma katsayısı 0.1' in altına inmiştir. Seçici yüzey kullanılması halinde kollektör verimi ortalama % 5 artar.

c. Isı yalıtımı

Kollektörün arkadan ve yan taraflarından olan ısı kayıplarını minimuma indirmek için absorban plaka ile kasa arası uygun bir yalıtım maddesi ile yalıtılmalıdır. Absorban plaka sıcaklığı, kollektörün boş kalması durumunda 150 °C' ye kadar ısınması nedeniyle kullanılacak olan yalıtım malzemesinin sıcak yalıtım malzemesi olması gerekmektedir. Isı iletim katsayıları düşük ve soğuk yalıtım malzemesi olarak bilinen poliüretan kökenli yalıtım malzemeleri tek başına kullanılmamalıdır. Bu tür yalıtım malzemeleri, absorban plakaya bakan tarafı sıcak yalıtım malzemesi ile takviye edilerek kullanılmalıdır. Bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri Tablo 1.3' te verilmiştir [27].

Tablo 1.3. Yalıtım malzemelerinin özellikleri [27].

Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m ³)
Cam yünü	0,032	250-500	15-120
Taş yünü	0,036-0,055	650-1050	-
Polystrene köpük	0,029	70-80	20
Polyüretan köpük	0,023	104	35
PVC	0,035	100-130	40-80
Kalsiyum silikat	0,055	650	-
Perlik	0,048	820	-
İsocyanurate	0,25	121	-
Fenolik köpük	0,033	135	-
Gözenekli plastik	0,040	100	-

d. Kollektör kasası

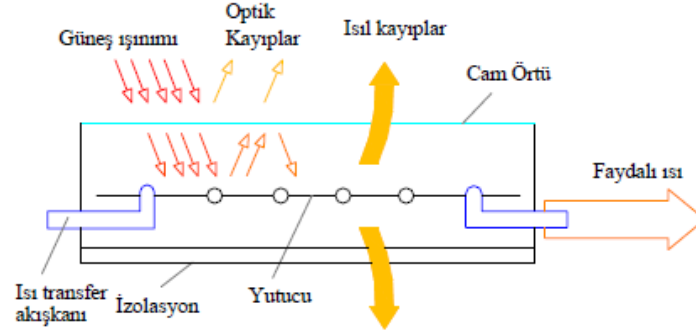
Kollektör kasalarının yapımında ağaç ve metal malzeme kullanılır. Ağaç malzemenin yapımı ve montajı kolaydır. Metal malzeme sağlam ve ateşe dayanıklıdır. Ancak ağır, pahalı ve iyi bir ısıl iletken olması dezavantajıdır. Ağırlığının azaltılması alüminyum kullanılarak sağlanabilir. Kollektör kasalarının yapımında plastik malzeme de kullanılabilir. Plastiklerin bazı türleri yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve metaller kadar sağlamdır. Morötesi ışınlardan zarar görmemesi için, plastik kasalar boyanırlar. Düz yüzeyli kollektör kasalarının yapımında değişik şekilde tasarım biçimleri mümkündür.

Kollektörün dış çerçevesinin herhangi bir yerinden su ve hava sızmamalı, kritik birleşme ve bağlantı yerlerinde sanayi macunu kullanılmalıdır [28].

1.4.1.1. Düzlemsel güneş kollektörlerinin ısı analizi

Düz yüzeyli güneş kollektörlerinin verimlerini artırıcı tasarımların yapılması, ancak teorik ve deneysel olarak ısı analizlerinin detaylı yapılması ile mümkün olur. Düz yüzeyli güneş kollektörü, Şekil 1.5' te ısı akış şeması gösterildiği gibi, prensipte üzerine düşen güneş ışınım enerjisini akışkana faydalı ısı enerjisi şeklinde aktaran bir ısı değiştiricisidir. Kollektör, bir kontrol hacmi olarak ele alınırsa, öncelikle, kollektör üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmı saydam örtüde yansır ve saydam örtüyü geçen kısmı yutucu plakaya

ulaşır. Yansıtılan kısım kollektör optik verimi (yutma–geçirme katsayısı ($\tau\alpha$)) ile ifade edilir.



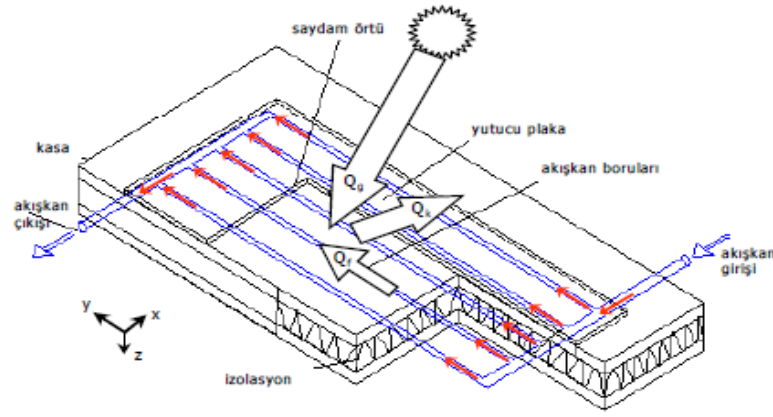
Şekil 1.5. Düz güneş kollektörü ısı akış şeması

Yutucu plakaya gelen ışıınım enerjisi (Q_g), siyah plaka yüzeyi tarafından yutulur ve plakanın sıcaklığı artar. Yüksek sıcaklıktaki plakadan; ısı, iletim yoluyla borulara ve boru iç yüzeyinden taşınım ile akışkana faydalı ısı enerjisi (Q_f) olarak aktarılır. Bu esnada, sıcaklığı artan yutucu plakadan düşük sıcaklıktaki çevreye ışıınım ve taşınım yolu ile ısı kayıpları (Q_k) olmaktadır. Eğer, ısıl olarak sürekli rejime ulaşılmamış ise, kollektör ısıl ataletine bağlı olarak kollektörün ısınması veya soğuması şeklinde bir miktar depolama da (Q_d) olabilecektir. O halde, kollektör üzerine gelen güneş ışıınım enerjisi sürekli rejimde ya suya aktarılmakta ya da çevreye kaybolmaktadır.

Bu durumda, kollektör bir kontrol hacmi olarak değerlendirilip (Şekil 1.6), kollektörün tamamı için anlık enerji korunumu uygulanarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Q_g = A_t I_e = Q_f + Q_k + Q_d \quad (1.5)$$

Bu fiziksel büyüklüklerin hesaplanması aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1.6. Düz güneş kolektörü ısı analiz şeması

Kollektör üzerine gelen anlık güneş ışıınımı (I_e):

Kollektör üzerine gelen anlık güneş ışıınımı (I_e), birçok astronomik, geometrik ve coğrafik parametrenin fonksiyonudur ve yılın her günü ve günün her anı için farklıdır. Bu ışıınım, ışıınım ölçen cihazlarla belirlenebileceği gibi yarı ampirik denklemlerle de hesaplanabilir.

Akışkana aktarılan faydalı enerji (Q_f):

Kollektörden akışkan aktarılan faydalı enerji miktarı (Q_f), suyun kolektöre giriş (T_g) ve çıkış sıcaklığı ($T_ç$) ile debisinin ($\dot{m}$, $\dot{V}$) deneysel olarak belirlenmesi durumunda aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

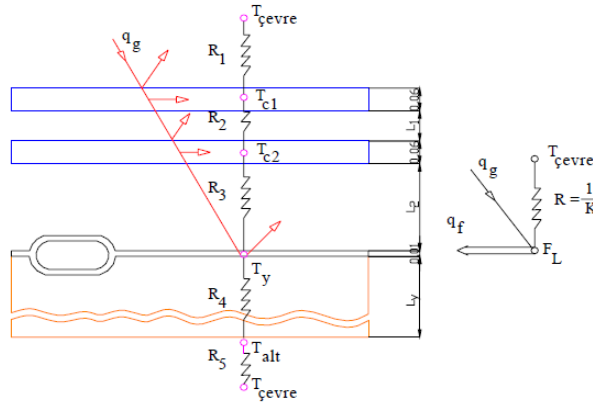
$$Q_f = \dot{m}C_p (T_ç - T_g) = \rho \dot{V}C_p (T_ç - T_g) \quad (1.6)$$

Depolanan enerji (Q_d):

Depolanan enerji (Q_d), kolektör sürekli rejimde değilken ısınması ve soğuması esnasındaki ısıl ataletinden kaynaklanmaktadır ve miktarı, kayıp ve faydalı enerjiye göre genellikle ihmal edilebilecek seviyelerdedir.

Kayıp enerji (Q_k):

Kollektörde meydana gelen ısı kayıpları, kollektör geometrisinin yanı sıra, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı, saydam örtü sayısı ve özellikleri, yalıtım şekli ve yalıtım malzemesi özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Çift saydam örtülü bir kolektör için ısı kaybının elektrik benzeşimi Şekil 1.7’ de görülmektedir.



Şekil 1.7. Düz kollektörlerde ısı geçişinin elektrik benzeşimi

Düz kollektörlerde, çevreye olan ısı kaybı, kollektörlerin üst, alt ve yan yüzeylerinden olur. Kollektör yan yüzey alanları küçük olduğundan genelde kayıp hesaplarına katılmaz. Yutucu plaka ile çevre arasındaki toplam ısı kayıp katsayısı (K), kollektör alt yüzeyinden (K_{alt}) ve üst yüzeyinden ($K_{üst}$) olan ısı kayıp katsayılarının toplamıdır ve aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$K = K_{alt} - K_{üst} \quad (1.7)$$

Kollektör alt yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı (K_{alt}):

Kollektörlerin alt yüzeyinden olan ısı kaybı, yalıtım malzemesinin kalınlığı ile ısı iletim katsayısına ve çevreye taşınım ile olan ısı geçişine bağlıdır. Şekil 1.7’ deki ısı dirençler (R) cinsinden, kollektörün alt yüzeyinden gerçekleşen toplam ısı katsayısı;

$$K_{alt} = 1 / (R_4 + R_5) \quad (1.8)$$

şeklindedir. Burada (R_4) ısı direnci; yalıtım kalınlığı (L_y) ve ısı iletim katsayısı (k_y) cinsinden;

$$R_4 = L_y / k_y \quad (1.9)$$

denklemleriyle hesaplanır. Yatılım malzemesinin alt yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark çok küçük gerçekleştiğinden ($R_5=0$) alınabilir. Bu durumda kollektör alt yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı için

$$K_{alt} = k_y / L_y \quad (1.10)$$

denklemleri elde edilir.

Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı ($K_{üst}$):

Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kaybı ($K_{üst}$) hesabı; iletim, taşınım ve ışıının dahil olduğu oldukça detaylı ısı analiz yapılmasını gerektirir. Benzer şekilde, ($K_{üst}$) ısı dirençleri cinsinden kapalı formda aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$1/K_{üst} = R_1 + R_2 + R_3 = 1/K_1 + 1/K_2 + 1/K_3 \quad (1.11)$$

Kollektörün üst kısmından olan ısı kayıp katsayısı; levha, saydam örtü ve çevre sıcaklıkları, saydam örtü sayısı, yutucu plaka ile saydam örtü arasındaki mesafe, yutucu plakanın ışıının neşretme katsayısı, rüzgar hızı vb. gibi birçok parametreye bağlıdır. Kollektör üst yüzeyinden olan ısı kayıp katsayısı detaylı ısı analiz ile belirlenebileceği gibi aşağıda önemli parametreleri içerecek şekilde verilen yarı ampirik denklem kullanılarak belirli seviyede bir yaklaşıklıkla hesaplanabilir.

$$K_{üst} = \left(\frac{N}{\frac{344}{T_y} \left[\frac{T_y - T_{çevre}}{N + f} \right]^{0.31}} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_y + T_{çevre})(T_y^2 + T_{çevre}^2)}{[\varepsilon_L + 0.05N(1 - \varepsilon_L)]^{-1} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_s} - N} \quad (1.12)$$

Burada güneş sabiti düzeltme faktörü (f) ve rüzgar için ısı geçiş katsayısı (h_w) değeri aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.058N) \quad (1.13)$$

$$h_w = 5,7 + 3,8 * V_r \quad (1.14)$$

1.4.1.1.1 Anlık Kollektör Verimi

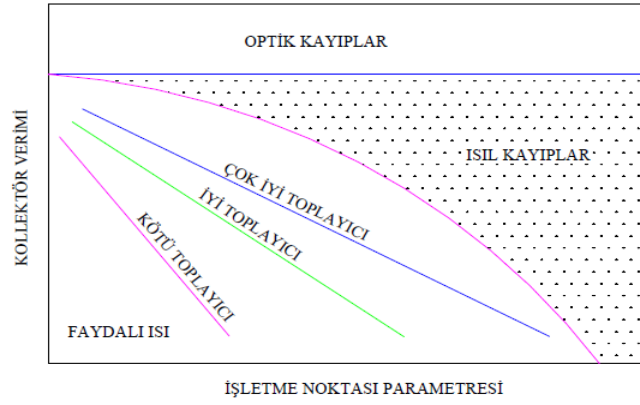
Anlık kollektör verimi, yüzeye gelen güneş ışınımının, faydalı enerji olarak akışkana aktarılma oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$\eta_t = \frac{Q_f}{Q_g} = \frac{\dot{m}c_p(T_f - T_g)}{A_t I_e} = \frac{\rho \dot{V}c_p(T_f - T_g)}{A_t I_e} \quad (1.15)$$

Buradaki I_e [W/m^2] kollektör yüzeyine o anda gelen güneş ışınımı ve A_t [m^2] kollektör alanıdır. Burada, kollektör üzerine gelen anlık güneş ışınımı, bulunulan yere ve zamana bağlı olarak ampirik formüllerle hesaplanabileceği gibi ölçüm yapan cihazlarla da tespiti mümkündür. Kollektör verimi, kollektöre gelen güneş ışınımının yanında, çevre ve işletme şartlarının da fonksiyonudur. Bu nedenle verim, aşağıdaki denklemlerle belirtilen işletme noktası parametresine göre değerlendirilir. İşletme noktası parametresi, akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı (T_g) ve çevre şartlarına ($T_{\text{çevre}}$) bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$P = (T_g - T_{\text{çevre}})/I_e \quad (1.16)$$

Kollektör veriminin işletme-noktası parametresine (P) göre tipik değişimi Şekil 1.8' de görüldüğü gibi yaklaşık lineer olarak gerçekleşir. Doğrunun eğimi azaldıkça, kollektörün ortalama verimi artar ve kollektör verimi, pratikte artan işletme noktası parametresiyle doğrusal azalış gösterir.



Şekil 1.8. Güneş kolektörü veriminin işletme noktası parametresine göre tipik değişimleri

1.4.1.1.2 Günlük kolektör verimi

Düz kolektörlerin ısı analizi yapılırken, kolektör veriminin anlık değerleri yanında günlük ortalama kolektör verimi de hesaplanır. Günlük verim ise bir gün boyunca akışkana aktarılan enerjinin, yine bir gün boyunca kolektöre gelen ışıma oranıdır ve aşağıdaki denklem ile en genel halde ifade edilir.

1.4.1.1.3 Günlük depo verimi

Gün içerisindeki depo verimi güneş ışıması varken, akışkana aktarılan enerjinin kolektör üzerine gelen ışıma oranı ile aşağıdaki gibi bulunur.

$$\eta_{\text{depo}} = \frac{\dot{m}_{\text{depo}} C_p \Delta T_{\text{depo}}}{A_t I_e} \quad (1.17)$$

Güneş ışıması sona erdikten sonra depo verimi faz değişim maddesinin akışkana aktardığı ısı enerjisinin oranıdır. Başlangıçta FDM sıvı fazda olup ($c_{ps} = 2,09 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$), FDM sıvı halden katı hale geçene kadar verim aşağıdaki formülle elde edilir.

$$\eta = \frac{m_{\text{depo}} C_p \Delta T_{\text{depo}}}{m_{\text{FDM}} c_{ps} \Delta T_{\text{FDM}}} \quad (1.18)$$

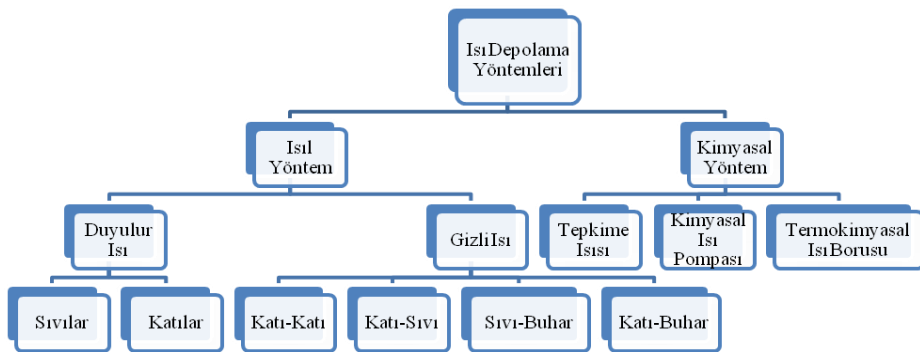
Faz değişim maddesi 28 – 35 °C arasında sıvı halden katı hale geçerken depo verimi ise aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\eta = \frac{m_{\text{depo}} C_p \Delta T_{\text{depo}}}{m_{\text{FDM}} c_{ps} \Delta T_{\text{FDM}} + m_{\text{FDM}} H_{fg}} \quad (1.19)$$

1.5. Isıl Enerji ve Isıl Enerji Depolama Yöntemleri

Isıl enerji bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır. Atomik veya moleküler titreşim sonucunda oluşur ve bu enerjinin aktarımı sıcaklık farkından kaynaklı ısı akışıyla gerçekleşir [33].

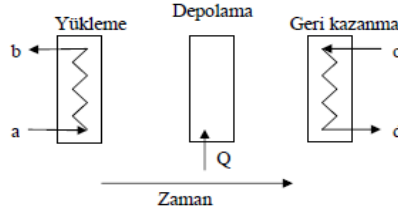
Isı enerjisini depolamak için temelde üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar; duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolamalarıdır. Bu yöntemler birim hacimde depolayabildikleri enerji bakımından ayrılırlar [34]. Isıyı depolayan materyalin iç enerjisindeki değişim sonucunda; duyulur ısı, gizli ısı ve bunların bileşimi şeklinde tanımlanır. Genel olarak, birim hacimdeki iç enerji değişiminin fazla olduğu ısı depolama materyali kullanılması durumunda, istenilen ısı miktarını depolamak için gereken hacim azalır. Isıl enerjinin 0 – 90 °C gibi düşük sıcaklıkta depolanması için genel olarak kullanılan yöntemler şekil 1.9’ da şematik olarak verilmiştir.



şekil 1.9. Isı depolanmasında uygulanan yöntemler [35].

TED sistemlerinin temelinde depolama sistemine enerji sağlanması, bu enerjinin depolanması ve depolanan enerjinin ihtiyaç duyulan zamanlarda kullanılması prensibi

yatmaktadır. Bu kısaca; yükleme, depolama, geri kazanma olarak özetlenebilecek bir süreçtir (Şekil 1.10) [36].



Şekil 1.10. Bir TED sisteminin genel bileşenleri

TED sistemlerinin yararları şu şekildedir:

- Enerji üretim kapasitesini artırır; enerji verimliliğini artırarak ve şebekeye destek olarak bunu sağlar.
- Kojenerasyon santrallerinin daha etkin çalışmasını sağlar.
- Elektriğin daha ucuz olduğu zamanlarda satın alınmasını sağlar.
- Sistemin güvenilirliğini artırır.
- Mevcut birimlere eklenilebilir, çalışan sistemlerden atılan ısısının kullanılmasına olanak sağlar.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasını sağlar.

1.5.1. Duyulur ısı

Isı depolama materyalinin sıcaklığındaki değişimi kullanarak yapılan depolamadır. Depolanabilecek ısı miktarı; ortamın ısı kapasitesine, sıcaklıktaki değişim miktarına ve depolama materyalinin miktarına bağlıdır. Duyulur ısı katı (toprak, kaya) veya sıvı materyalde ısı depolanabilir. Duyulur ısı depolanmasında kullanılan sıvılar genellikle; su, etilen glikol, su-etilen glikol (%50-50) ve bazı alkollerdir [37]. Depolanan ya da depolanabilecek ısı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

Günümüzde bu yöntemle ilgili etkin sistemler tasarlanabilmekte, ayrıca mevcut teknoloji de bu sistemleri uygulanabilir kılmaktadır [38]. Kullanılan ısı depolama

materyaline bağı olarak, sıvı, katı ve sıvı-katı kombine sistemler tasarlamak mümkündür [39].

1.5.2. Gizli ısı

Maddenin faz değişimi sırasında aldığı ya da saldığı ısıdır. Depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar - katı dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir [40]. Ancak uygulanabilirliğinin rahatlığı açısından en çok tercih edilen sıvı-katı dönüşümüdür. Ayrıca farklı kristal örgülere sahip katıların bir kristal örgü durumundan diğerine geçişte aldıkları ve verdikleri ısılar katı - katı dönüşümüyle depolamada kullanılabilir [34].

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür. Depolama ya da enerji dönüşümü için araştırma maliyeti düşüktür. Faz değiştiren maddeler (FDM) sabit bir sıcaklık aralığında depolama olanağı sağlar ve erime sıcaklığına bağı olarak hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanılabilirler [20].

1.5.3. Reaksiyon ısısı

Kimyasal reaksiyon esnasında alınan veya verilen ısıdır. Ekzotermik olarak tepkimeye girebilen kimyasal bileşiklerde tepkimeler süresince oluşan ve ayrılan kimyasal bağlarda enerjinin depolanması esasına dayanır. Yöntem birçok karmaşık süreci içerse de temeli endotermik olarak ısı alan tepkimenin ekzotermik reaksiyonla bu ısıyı geri vermesi esasına dayanır.

Reaksiyon ısısının enerji depolama için kullanılması yöntemine termokimyasal enerji depolama denmektedir.

1.5.4. Enerji depolama sistemlerinin yapısal bileşenleri

Genel olarak enerji depolama sistemlerinin en önemli yapısal bileşenleri:

- Isı depolama ünitesi
- Isı toplama ünitesi
- Isı değiştirici

- Depolanan ısıнын kullanılacağı ortam
- Yardımcı enerji kaynağı
- Kontrol sistemi

olarak belirlenmiştir [35].

TED sistemlerinin uygulanabilir olması için bazı kriterlere uygunluk göstermelidirler. Bu kriterler şu şekilde sınıflanabilir:

Teknik kriterler;

- Depolama kapasitesi
- Sistemin ömrü
- Büyüklüğü
- Fiyatı
- Verimliliği
- Güvenliği
- Kurulumu ve
- Çevresel standartlara uygunluk şeklindedir.

Çevresel kriterler;

- Temel tasarım
- Maddeler
- TED için kullanılan işletim elemanları halk sağlığı ve doğal ortam üzerinde ters etkiler yaratılmalıdır [36].

Ekonomik kriterler;

- Mevcut sistemlerle rekabet edebilmeli
- Geri ödeme zamanı kısa olmalı
- Depolamanın maliyeti düşük olmalıdır

Tüm bu kriterler değerlendirildiğinde ısı depolama sistemlerinin aşağıdaki özellikleri göstermesi beklenir.

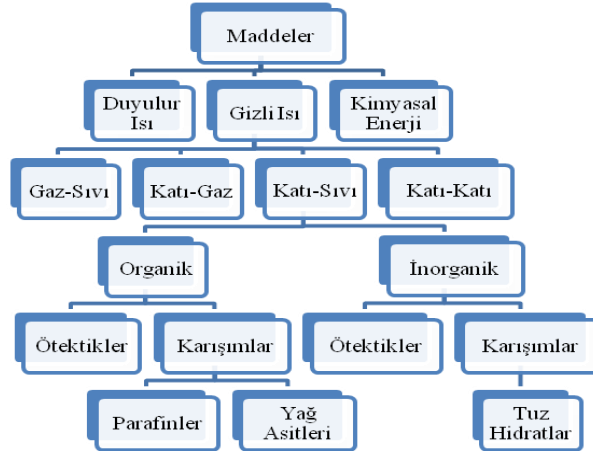
Bir ısı depolama sisteminde;

- Isı depolama materyalinin birim kütle veya hacmi için ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır.
- Isı depolama materyali arzulanan çalışma aralığında kullanılabilir olmalıdır.
- Isıyı depolama ve geri kazanma etkinliği yüksek olmalıdır.
- Sistemde depolanan ısı bütünüyle geri kazanılabilmelidir.
- Depolama ünitesinin sıcaklığı tek düze olmalıdır.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliğinde azalma olmaksızın, çok sayıda depolama ve geri kazanma çevrimi gerçekleştirilebilmelidir.
- Isı depolama materyali korozif, toksik etkili ve yanıcı özellikte olmamalıdır.
- Tesis ucuz ve kullanım süresi uzun olmalıdır [34].

1.6. GIED Sistemlerinde Kullanılan FDM' ler

Uygun bir sıcaklık aralığında faz değişimine uğrayan maddeler ısı enerjisini depolamak için kullanılabilirler. Ortam sıcaklığı arttığı zaman FDM faz değişimine (katı-sıvı) uğrar. Faz değişim işlemi endotermiktir ve FDM, bu süreçte ısı absorplar. Faz değişim sıcaklığına ulaşıldığı zaman erimeye başlar ve bu işlem tamamlanıncaya kadar sıcaklık sabit kalır. Madde faz değişim işlemi (erime) esnasında enerjiyi gizli ısı olarak depolar.

Katı-sıvı faz değişimi yoluyla 0-100 °C sıcaklık aralığında gizli ısı depolama (GID) uygulamaları için uygun birçok organik ve inorganik türde uygun faz değişim maddeleri (FDM) mevcuttur. Bu FDM' ler Şekil 1.11' deki gibi sınıflandırılabilirler. Isıl enerji depolama (IED) sistemlerinin dizaynında kullanılacak ısı depolama maddelerinin istenilen bazı termodinamik, kinetik ve kimyasal özelliklere sahip olmaları gerekmektedir [41,42,43]. Ayrıca, bu maddeler ekonomik olarak cazip ve kolay temin edilebilir olmalıdırlar.



Şekil 1.11. GID için kullanılan FDM' lerin sınıflandırılması [44].

FDM' lerde istenilen özellikler şöyle sıralanabilir:

A. Isıl-fiziksel özellikler

- İstenilen sıcaklık aralığında erime sıcaklığına sahip olmalı
- Birim hacim ya da kütle başına yüksek erime gizli ısısına sahip olmalı
- Duyulur ısı depolamaya ek olarak yüksek özgül ısıya sahip olmalı
- Yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalı
- Depolama kabı problemini azaltmak için çalışma sıcaklığında düşük buhar basıncına sahip olmalı ve faz değişiminde küçük hacim değişimi göstermeli
- Düzenli erime ve katılaşma davranışı göstermeli

B. Kinetik Özellikler

- Sıvı fazın aşırı soğumasını önlemek için çekirdekleşme hızı yüksek olmalı
- Isının hızlı geri kazanımı için kristal büyüme hızı yüksek olmalı

C. Kimyasal Özellikler

- Kimyasal kararlılık göstermeli
- Tamamen tersinir erime/katılaşma dönüşümüne sahip olmalı
- Çok sayıda erime/katılaşma dönüşümünden sonra kimyasal kararlılık göstermeli
- Yapı malzemelerine karşı korozif olmamalı
- Toksik, yanıcı ve patlayıcı olmamalı

D. Ekonomik Özellikler

- Kolay temin edilebilir olmalı
- Düşük maliyete sahip olmalı

1.6.1. Tuz hidratlar

Tuz hidratlar $M \cdot nH_2O$ formülü ile karakterize edilirler ve M burada bir inorganik bileşiktir. Tuz hidratlar ısı depolama yoğunluklarından dolayı ısı depolama maddelerinin önemli bir sınıfını oluştururlar. Tablo 1.4’ te bazı tuz hidratların ısı-fiziksel özellikleri verilmiştir.

Bu maddelerin FDM olarak kullanılmaları sırasında karşılaşılan en büyük problem düzensiz erime davranışı göstermeleridir. Erime esnasında yoğunluk farkından dolayı katı faz depolama kabının alt kısmında birikir. Bu nedenle özel önlemler alınmazsa katılaşma işlemi süresince katı faz gerçek tuz hidratı oluşturmak için doygun çözelti ile birleşemez. Tuz hidratların kullanımı sırasında karşılaşılan diğer bir problem, sıvı tuz hidratın aşırı soğumasına neden olan düşük çekirdekleşebilme özelliğidir. Uygun önlemler alınarak aşırı soğuma önlenabilir ya da azaltılabilir.

Tablo 1.4. Bazı tuz hidratların erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları [34].

FDM	Erime sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (kJ/kg)	Erime davranışı
KF.4H ₂ O	18	-	-	330	Düzenli
K ₂ HO ₄ . 4H ₂ O	18,5	1447 ^{20C} 1455 ^{18C} 1480 ^{6C}	-	231	-
CaCl ₂ . 6H ₂ O	29-30	1562 ^{32C} 1802 ^{24C}	0,561 ^{61,2C} 1,008 ^{23C}	170-192	Düzensiz
LiNO ₃ .3H ₂ O	30	-	-	189-296	Düzenli
Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O	32	1485 ^{24C}	0,544	251-254	Düzensiz
Na ₂ CO ₃ . 10H ₂ O	33-36	1442	-	247	Düzensiz
Na ₂ HPO ₄ . 12H ₂ O	35	1522	-	256-281	Düzensiz
Zn(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	36	1828 ^{36C} 1937 ^{24C} 2065 ^{14C}	0,464 ^{39,9C} 0,469 ^{61,2C}	134-147	Düzenli
K ₃ PO ₄ .7H ₂ O	45	-	-	145	-
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48	1600	-	209	-
CH ₃ COONa.3H ₂ O	58	-	-	270-290	Düzensiz
Ba(OH) ₂ .8 H ₂ O	78	1937 ^{87C} 2070 ^{24C} 2180	0,653 ^{85,7C} 0,678 ^{98,2C} 1,255 ^{23C}	265-280	Düzenli
Sr(OH) ₂ .8 H ₂ O	89	-	-	370	Düzensiz
Mg(NO ₃) ₂ .6 H ₂ O	89-90	1550 ^{94C} 1636 ^{25C}	0,490 ^{95C} 0,502 ^{110C} 0,611 ^{37C} 0,699 ^{55,6C}	162-167	Düzenli
(NH ₄)Al(SO ₄).6H ₂ O	95	-	-	269	-

1.6.1.1. Kalsiyum klorür hekzahidrat

Çalışmamızda, gizli ısı enerji depolama sistemlerinde faz değişim maddesinin kullanılması incelenmiştir. Faz değişim maddesi olarak da düşük sıcaklıkta faz değiştiren kalsiyum klorür hekzahidrat (CaCl₂. 6H₂O) kullanılmıştır. Kalsiyum klorür hekzahidrat hem ekonomik hem de ısısal ve kimyasal kararlılık bakımından diğer faz değiştiren maddelerden daha iyi sonuç vermektedir. İnsan sağlığına zararlı olmayan bu maddenin

zehirleyici özelliği yoktur. Bilindiği gibi kalsiyum klorür soda fabrikalarında yan ürün olarak elde edildiğinden daha ekonomik olmaktadır. Susuz olarak satın alınan bu maddeye laboratuvarda teorik miktarın (ağırlıkça %51 CaCl ve %49 H₂O) biraz fazlası su ilave edilerek çözölmektedir. Tuz hidratların en cazip özellikleri hacimde sadece az bir değişiklikle yüksek füzyon gizli ısısına ve oldukça yüksek ısıl iletkenliğe (organik maddeler ile karşılaştırıldığında) sahip olmalarıdır. Tablo 1.5' te de, kalsiyum klorür hekzahidratın bazı teknik özellikleri verilmiştir. Ayrıca, çekirdekleşmeyi önlemek için FDM malzemesinin içine ağırlıkça %2 oranında potasyum nitrat (KNO₃) eklenmiştir.

Tablo 1.5. Kalsiyum klorür hekzahidratın teknik özellikleri [46].

Erime noktası	28-35 °C
Yoğunluk	1500 kg/m ³
Depoladığı gizli ısı	188.406 kJ/kg
Aşırı soğuma derecesi	1 °C (çekirdekleştirici ilaveli)
Isı depolama kapasitesi	31.84*10 ⁴ kg/m ³
Isı çevrim sayısı	Literatüre göre 3500-5000
Yanıcılık ve zehirleyicilik	Yok
C _{pk} (Özgöl ısı)	1.42 kJ/kg°C
C _{ps} (Özgöl ısı)	2.09 kJ/kg°C

1.6.2. Parafinler

Parafinler, oda sıcaklığında wax kıvamına sahip büyük oranda ağır hidrokarbonlardan oluşan maddelerdir. Kimyasal olarak parafin wax' lar başlıca zincir sonlarında 2-metil grupları gibi düşük miktarda kuvvetli zincire sahip hidrokarbonlardan oluşurlar. C_nH_{2n+2} kimyasal formülü ile karakterize edilen parafinler birbirlerine çok benzer özelliklere sahiptirler.

Saf parafinler sadece alkanlardan oluşur ve en iyi bilinen parafin oktadekan (C₁₈H₃₈) dır. Alkanların erime sıcaklıkları ve erime gizli ısıları karbon sayısının artmasıyla artar. C₁₄-C₄₀ aralığındaki alkanların erime noktaları 6-80 °C sıcaklık aralığındadır ve bu alkanlar genellikle parafinler olarak adlandırılırlar [35].

Parafinler, yüksek erime gizli ısılarına sahip olmaları ve geniş bir sıcaklık aralığı içinde bulunmalarından dolayı gizli ısı depolama maddeleri olarak nitelendirilirler. Bazı parafinlerin özellikleri Tablo 1.6’ da verilmiştir. Parafinler kolaylıkla temin edilebilirler ve genellikle tuz hidratlardan daha pahalıdırlar [34,41].

Tablo 1.6. Parafinlerin erime noktaları ve erime gizli ısıları [34].

Bileşik	‘C’ atomu sayısı	Erime noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isıl iletkenlik (W/mK)	Gizli ısı (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

Parafinler Tablo 1.6’ dan görülebileceği gibi katı halde düşük ısıl iletkenliğe sahiptirler. Düşük ısıl iletkenlik katılaşma dönüşümü süresince yüksek ısı transfer hızı gerektiği zaman bir problem teşkil eder [47]. Bu problemin kanatçıklı kaplar, metalik dolgular kullanılarak ya da gizli/duyulur ısı depolama sistemlerinin bir kombinasyonu

oluşturularak azalabileceğini rapor etmişlerdir. Tuz hidratların aksine ticari parafinler genellikle sabit bir erime noktasına sahip değildir. Parafinler yanıcıdır fakat bu sorun özel depolama kaplarının kullanılması ile kolaylıkla giderilebilir [41,48,49].

1.6.3. Parafin Olmayan Organik Katılar

Parafin olmayan organik katılar, gizli ısı depolama (GID) için en geniş faz değişim maddesi (FDM) kategorisini oluştururlar. Lane (1983; 1989) [34,50], Abhat (1983) [35] ve Buddhi ve ark., (1994) [43] organik maddeler üzerine yoğun araştırmalar yaparak, enerji depolama için FDM' ler olarak uygun çok sayıda ester, yağ asidi, alkol ve glikol belirlemişlerdir. Parafin olmayan organik katılar farklı özelliklere sahip çok sayıda FDM' den oluşur. Bu maddelerin her biri çok benzer özelliklere sahiptir. Bu maddeler yanıcıdır ve aşırı derecede yüksek sıcaklığa, ateşe ya da oksitleyici maddelere maruz bırakılmamalıdır.

1.6.4. Ötektik karışımlar

Bir ısı depolama maddesinde faz değişimi için istenilen sıcaklık nadiren saf bir maddenin erime sıcaklığı ile çıkarılır. Bu nedenle, erime sıcaklığını ayarlayacak bir metodu kullanmak gerekir. Bu metot, molekül ağırlığı küçük olan bir FDM' nin molekül ağırlığı yüksek olan FDM' ye istenen mol ya da kütle oranında katılarak ötektik karışım oluşturulması şeklinde tanımlanabilir. Ötektik karışım; kristalleşme süresince bileşen kristallerinin bir karışım oluşturduğu, her birinin düzenli olarak eridiği ve katılaştığı iki veya daha fazla bileşenin minimum erime noktalı karışımıdır [50,51,52].

Literatürde en fazla yer alan inorganik ve organik ötektik karışım tipleri tuz hidrat ötektik karışımlar ve yağ asidi ötektik karışımları altında incelenebilir.

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan deneysel çalışma Elazığ İlinde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isı Tekniği Laboratuvarı terasında yapılmıştır. Deneyler 2013 yılının Temmuz- Kasım ayları arasında gerçekleştirilmiştir.

2.1. Deney Seti

Bu çalışmada, gizli ısı depolamalı sistemlerde faz değişim malzemesi kullanılmasının ısı verime etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi düz yüzeyli güneş kolektörleri ile birleştirilmiş depolar tasarlanmıştır. Deney setinde geleneksel yalıtımlı depo ile faz değişim maddeli depo kullanılarak aynı anda ölçümler alınmıştır. Deney seti elemanları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney düzeneği

Kollektör: Deneylerde alüminyum oval borulu, düz yüzeyli, 930x1930x87.5 mm ölçülerinde güneş enerjili standart sıcak su kolektörü kullanılmıştır. Deneyler için aynı

anda üç adet düzlemsel güneş kollektörü kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan bir kollektör örneği Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2.2. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü

Depo: Deneylerde; standart yalıtımlı depo, faz değişim maddeli (FDM)’ li standart depo ve FDM’ li geliştirilmiş depo olmak üzere toplam 3 adet depo kullanılmıştır.

- a) Standart Yalıtımlı Depo:** 50 cm iç çapında 100 cm uzunluğunda silindirik depo kullanılmıştır. Depoda ısı kayıplarını engellemek için 5 cm kalınlığında cam yünü ile yalıtım yapılmıştır. Yalıtımlı depo Şekil 2.3’ te verilmiştir.



Şekil 2.3. Standart yalıtımlı depo

b) FDM' li Standart Depo: FDM' li standart depoda standart yalıtımlı depodaki yalıtım malzemesi yerine faz değişim maddesi (FDM) kullanılmıştır. Sıcak su deposunun dışında 15 cm' lik boşluk oluşturulmuş ve bu bölüm FDM ile doldurulmuştur. FDM' nin sıcaklıklarını ölçmek için FDM içerisine ölçme boruları yerleştirilmiştir. Bu boru 2 cm çapında 90 cm uzunluğundadır. Boru üzerinde 10 cm aralıklarla delikler açılmış ve bu deliklere termokupl bırakılarak bu noktalardaki sıcaklık ölçümleri alınmıştır. FDM' li standart deponun iç kısmı Şekil 2.4' te, verilmiştir.



Şekil 2.4. FDM' li standart deponun iç kısmı

c) FDM' li Geliştirilmiş Depo: FDM' li geliştirilmiş depoda standart yalıtımlı depo ile aynı boyutlarda depo kullanılmıştır. Bu depoda, depo içindeki 15 cm' lik boşluğa 6 adet bölme yapılmıştır. FDM bu bölmelerin içerisine eşit ölçülerde ve tamamen dolacak şekilde bırakılmıştır. FDM' li geliştirilmiş deponun içerisine FDM sıcaklıklarını belirlemek için yukarıda özellikleri verilen ölçme borusundan 4 adet bırakılmıştır. Bu borular bölmelere 2 adet ve bölmeler arasındaki boşluğa da 2

adet olarak yerleştirilmiştir. FDM' li geliştirilmiş deponun iç kısmı Şekil 2.5' te verilmiştir.



Şekil 2.5. FDM' li geliştirilmiş deponun iç kısmı

Kollektör Sehpa: Kollektör sehpaında 40 x 40 x 1,5 ebatlarında kare profil ve 40x40x2 mm ebatlarında L profil kullanılmıştır. Kollektör sehpaı Elazığ İli'nin enlem derecesi olan 38° eğim açısına göre imal edilmiştir. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Kollektör sehpaı

2.2. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazları

Piranometre:

Sistemin verim değerlerinin belirlenebilmesi için toplam radyasyon değerini ölçmek amacıyla Kipp and Zonen marka (CC12) piranometre kullanılmıştır. Piranometreden alınan değerler W/m^2 cinsindendir. Piranometre 38° lik kollektör eğim açısında, kollektörün üzerine ayarlanarak güneş ışınımını ölçmüştür. Ölçümler 30 dakikalık zaman dilimlerinde alınmıştır.



Şekil 2.7. Piranometre

Sıcaklık Ölçümleri:

Sıcaklık ölçümünde, gösterge cihazı olarak, Elimko E-680 serisi kullanılmıştır. Cihaz 32 girişli, IEC 668 normlarına uygun, universal giriş ve çıkışların kullanıcı tarafından

kolaylıkla programlanabildiği endüstriyel bir cihazlardır. Sıcaklık ölçümü için demir konstantan termokupllar kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Sıcaklık ölçüm cihazı

2.3. Ölçülen Değerler

Deneyde sıcaklık ve radyasyon değerleri 30 dakikada bir alınmıştır. Deneyin yapılışında ölçümü alınan değerler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Kollektör giriş suyunun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Kollektör çıkış suyunun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Depo giriş suyunun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Depo çıkış suyunun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Depo iç sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Kollektör camının sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Radyasyon değerleri ($^{\circ}\text{C}$)
- FDM sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$)

2.4. Ölçülen Değerlerin Hata Analizi

DeneySEL hatalar genellikle dikkatsizlik, tecrübesizlik, ölçüm cihazlarının yanlış seçiminden ve değerlerin okunmasından kaynaklanır. Yapılan deneylerdeki hata analizleri aşağıdaki gibidir:

- a) Termokouple çiftlerinden kaynaklanan hata = ± 0.1 °C
- b) Bağlantı elemanları ve noktalardan kaynaklanan hata = $\pm 0,1$ °C
- c) Kollektör girişinde sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0.1 °C
- d) Kollektör yüzey sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0.1 °C
- e) Kollektör çıkışında sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0.1 °C
- f) Depo sıcaklığının ölçülmesinde yapılabilecek hata = ± 0.1 °C
- g) FDM 'nin sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0.1 °C
- h) Çevre sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0.1 °C
- i) Periyodik olarak sıcaklık değerlerinin okunmasında yapılabilecek hata = ± 0.05 dakika
- j) Periyodik olarak ışı nım değerlerinin okunmasında yapılabilecek hata = $\pm 0,05$ dakika
- k) Sistem kaçaklarıyla ilgili belirsizlik = ± 0.5
- l) Termometrenin hassasiyeti = $\pm \% 0,5$
- m) Piranometrenin hassasiyeti = $\pm \% 3$

Herhangi bir parametredeki toplam hatanın belirlenmesi için sabit hataların, imalat hatalarının ve rastgele hataların dikkate alınmasıyla toplam hata değeri;

$$W_{th} = [(x_1)^2 + (x_2)^2 +(x_{\infty})^2]^{1/2} \quad (2.1)$$

denkle mi ile hesaplanabilir.

Sıcaklık ölçümünde yapılabilecek toplam hata (W_t) = ± 0.173 °C

İşınım ölçümünde yapılabilecek ortalama hata (W_i) = ± 0.1 W/ m²

3. BULGULAR

3.1. Standart Depolu Güneş Kollektörlü Sistemde Verim Analizi

Bu çalışmada doğal taşınimli düzlemsel yüzeyle güneş kolektörlerine yalıtımlı standart depo bağlanarak deneyler yapılmıştır. Deneyler Temmuz 2013 ve Kasım 2013 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yapılan doğal taşınimli kolektör deneylerinde; depo suyu sıcaklığı (T_d), kolektör giriş (T_{kg}) ve çıkış sıcaklıkları ($T_{kç}$), çevre sıcaklığı ($T_{çevre}$) ve güneş ışınlm değerleri ölçülmüştür. Gün içerisinde 30 dakikada bir ölçüm alınmıştır. Yalıtımlı depoda gün içerisinde alınan değerlerin güneş ışınlmına bağılı olarak zamanla değişimi ve ısı verim değerleri aşağıdaki grafiklere aktarılmıştır (Şekil 3.1 - Şekil 3.8).

Yapılan ölçüm ve hesaplanan verim değerlerinden 17-19.07.2013 ve 01-04.11.2013 tarihlerine ait grafikler aşağıda gösterilmiştir. 17.07.2013 ve 01.11.2013 tarihlerinde yapılan deneylerde depodaki su sabit tutulmuştur. 19.07.2013 ve 04.11.2013 tarihlerindeki deneylerde ise depodan yarım saatte bir 5 lt su çıkışı sağlanmıştır. Aynı deneylerin yapıldığı günlerde ışınlm aynı değerleri göstermiştir.

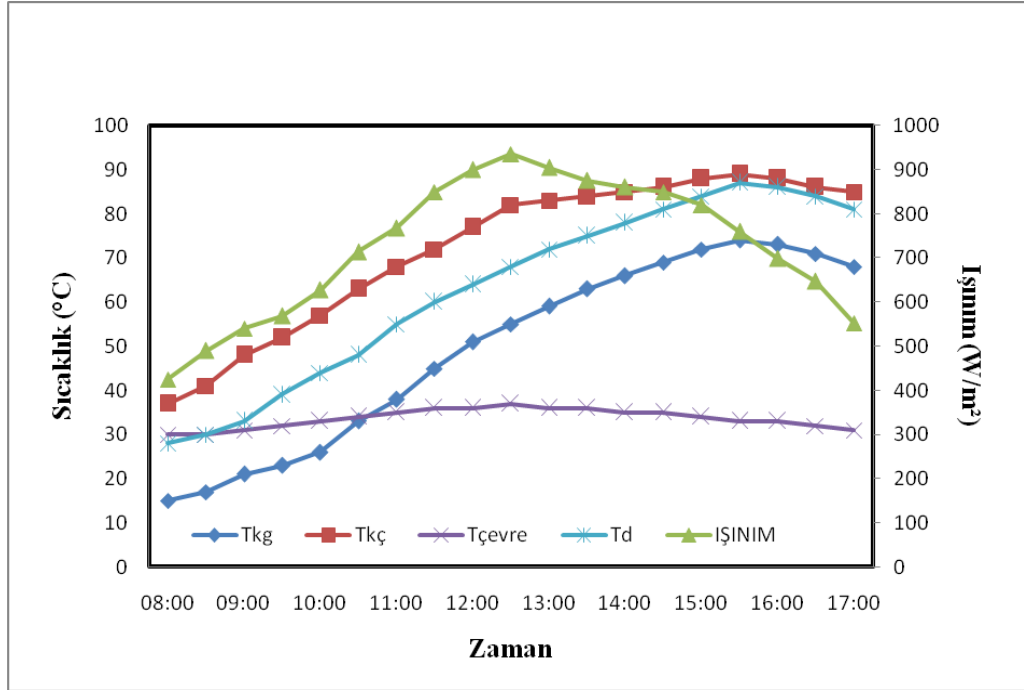
Yalıtımlı standart depoda yapılan deneylerde, kolektörden çıkan su sıcaklığının güneş ışınlmına bağılı olarak değiştiğı gözlenmiştir. Yalıtımlı standart depo için gün boyunca elde edilen deney sonuçları aşağıdaki gibidir:

- 17.07.2013 tarihinde kolektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 15.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Deponun maksimum su sıcaklığı 87 °C olmuştur. Anlık kolektör verimi günün saatleri ve ışınlma bağılı olarak değişmiş ve 13.30' da maksimum verim % 56 olarak belirlenmiştir.
- 19.07.2013 tarihinde kolektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının 17.07.2013 tarihine benzer şekilde saat 15.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada depodan su alınmasına bağılı olarak depoya şebeke suyunun girmesiyle depo suyu sıcaklığı

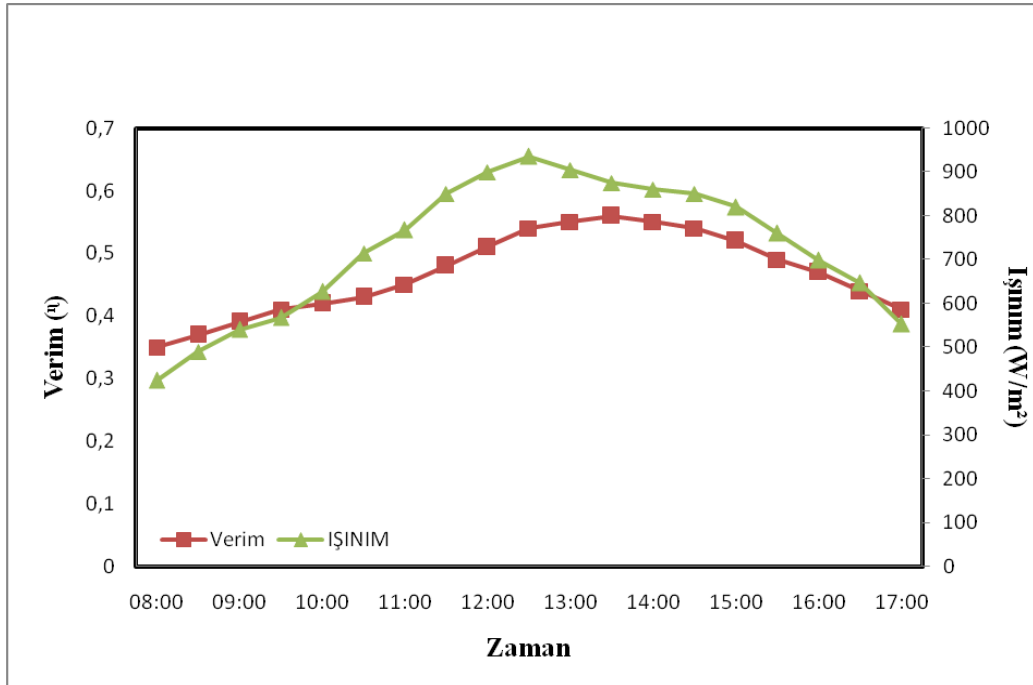
düşmektedir. Depo suyunun sıcaklığı su alınıncaya kadar belli bir miktar yükselmektedir. Depo suyundaki sıcaklık düşüş ve artışı su girişine bağlı olarak periyodik şekilde değişmektedir. Burada maksimum su sıcaklığı 83 °C olarak ölçülmüştür. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ısınıma bağlı olarak değişmiş ve 13.30' da maksimum verim % 53 olarak belirlenmiştir.

- 01.11.2013 tarihinde kollektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 13.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Burada maksimum depo suyu sıcaklığı 70 °C olarak belirlenmiştir. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ısınıma bağlı olarak değişmiş ve 12.30' da maksimum verim % 51 olarak belirlenmiştir.
- 04.11.2013 tarihinde kollektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 13.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada her yarım saatte bir sisteme 5 lt debisinde şebeke suyunun girmesi nedeniyle depo sıcaklıkları su giriş saatlerinde hızla düşmüş ve belli süre sonunda yeniden yükselmiştir. Maksimum depo suyu sıcaklığı 64 °C olmuştur. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ısınıma bağlı olarak değişmiş ve 12.30' da maksimum verim % 48 olarak belirlenmiştir.

17 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

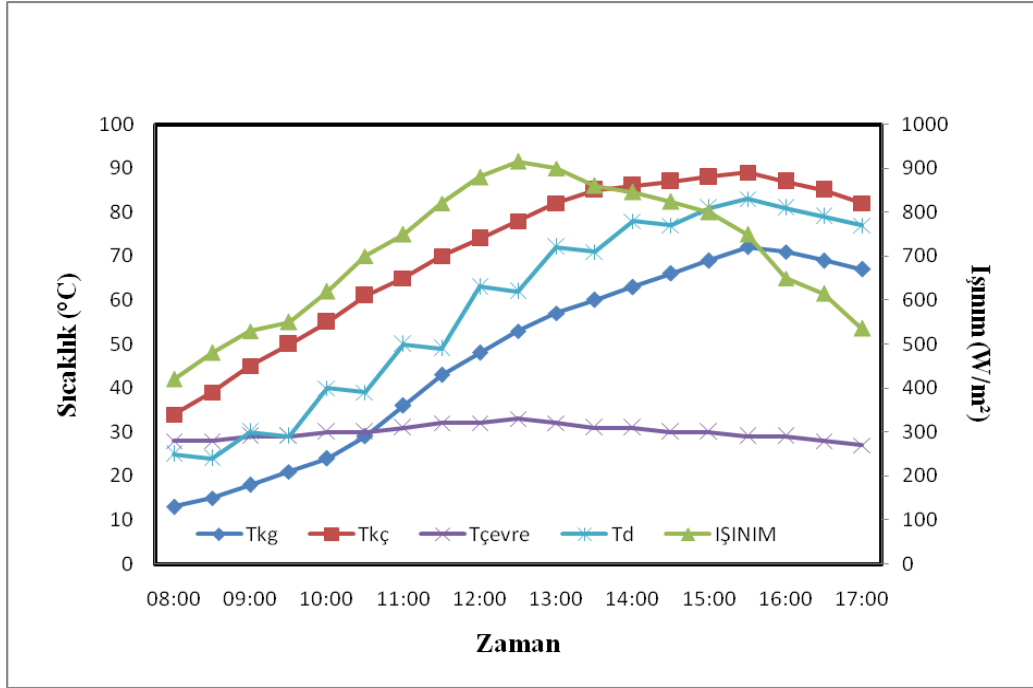


Şekil 3.1. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (17.07.2013)

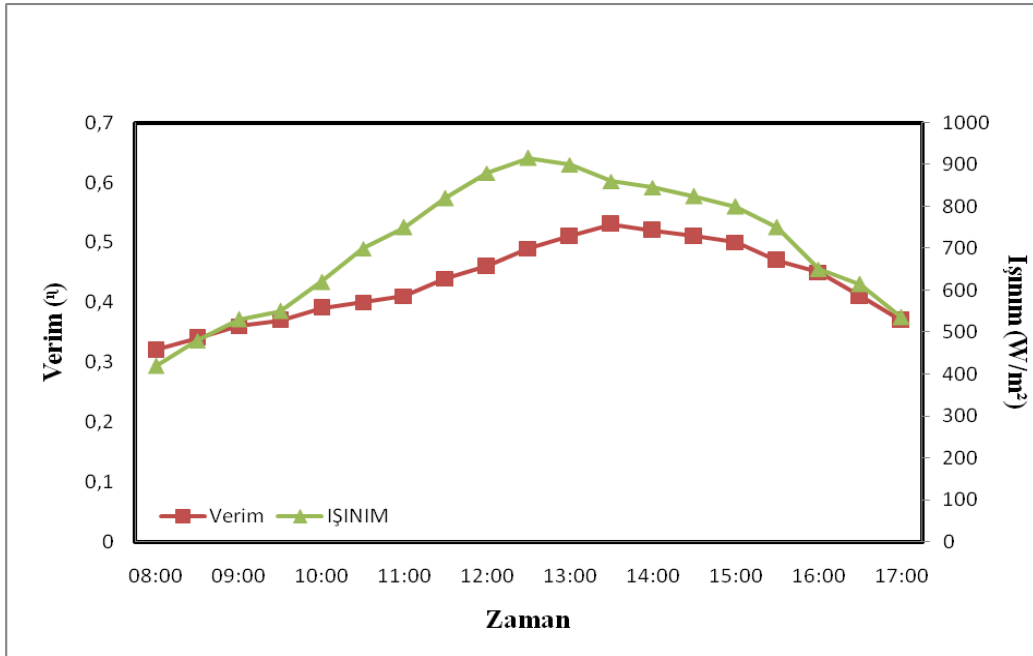


Şekil 3.2. Kollektör veriminin zamanla değişimi (17.07.2013)

19 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

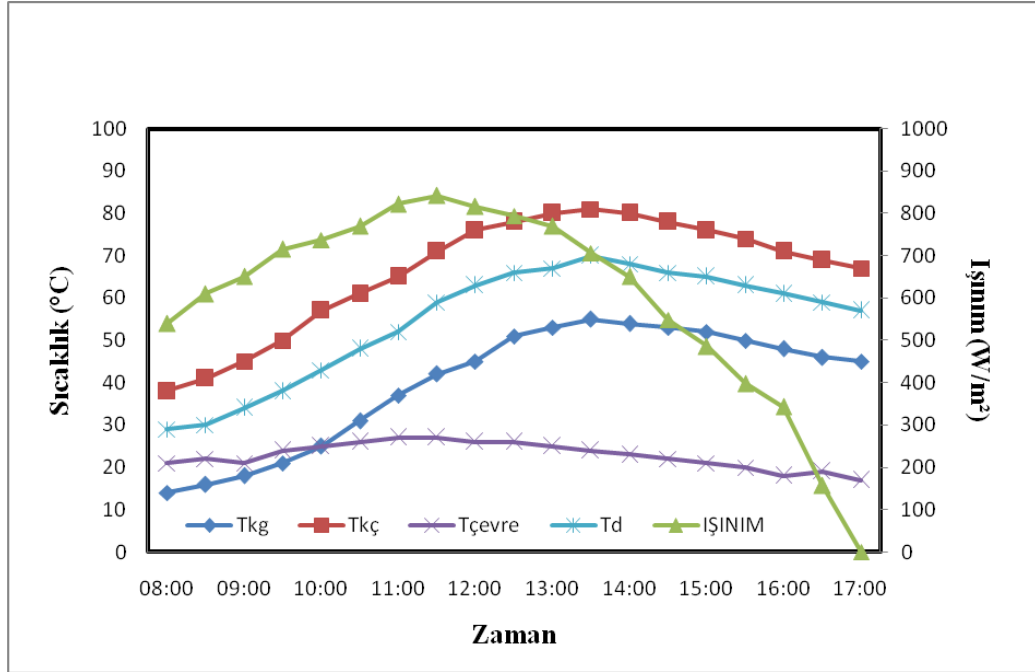


Şekil 3.3. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (19.07.2013)

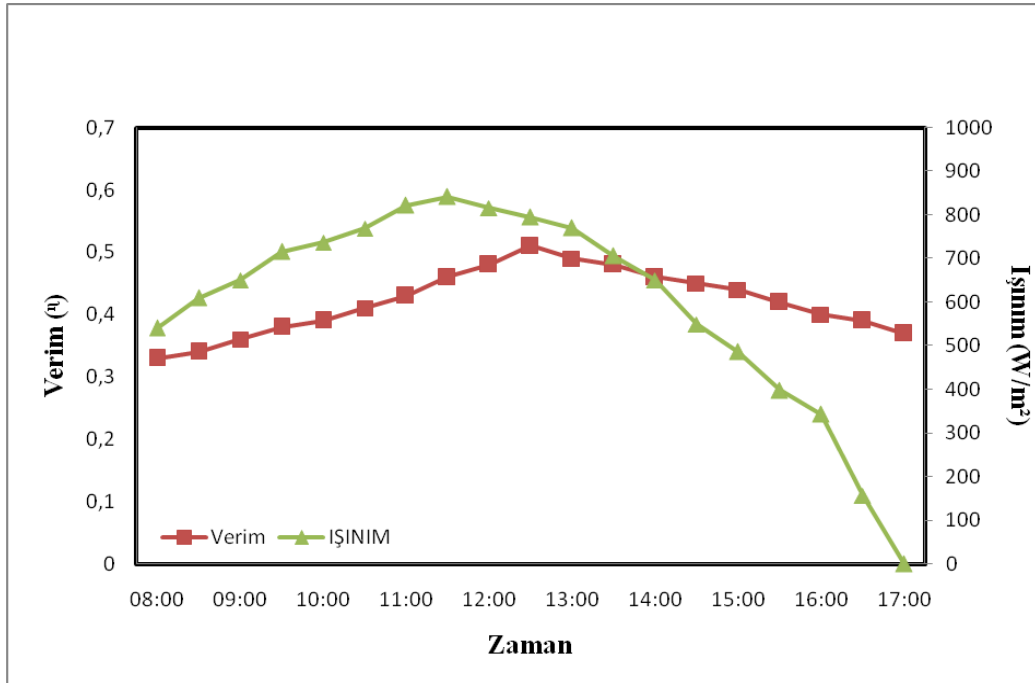


Şekil 3.4. Kollektör veriminin zamanla değişimi (19.07.2013)

1 Kasım 2013' teki deney sonuçları

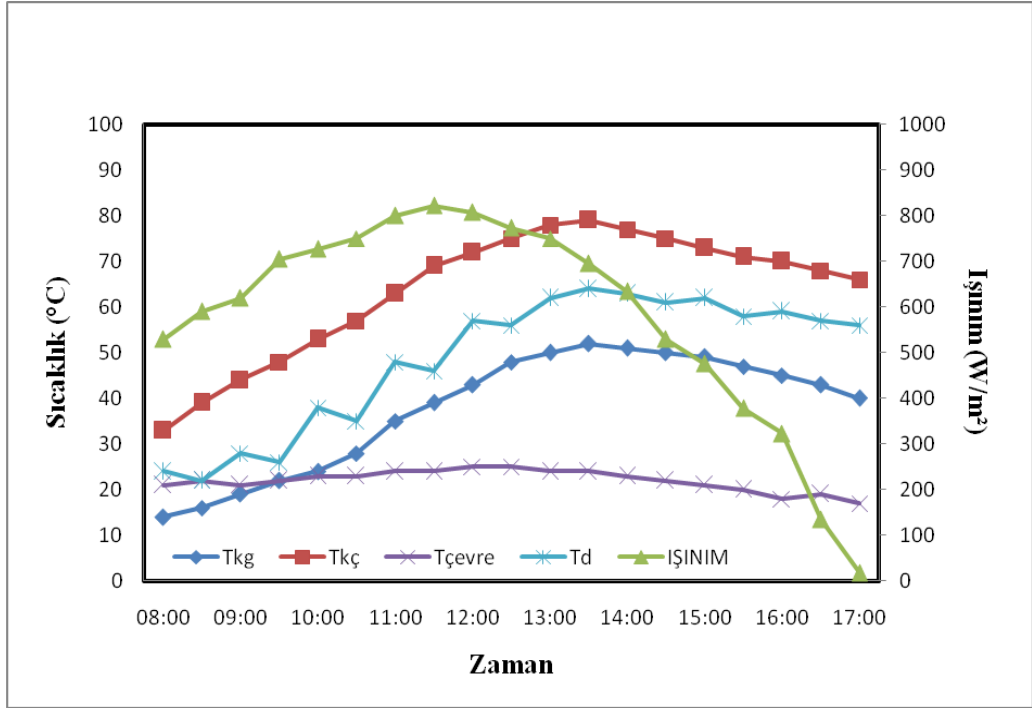


Şekil 3.5. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (01.11.2013)

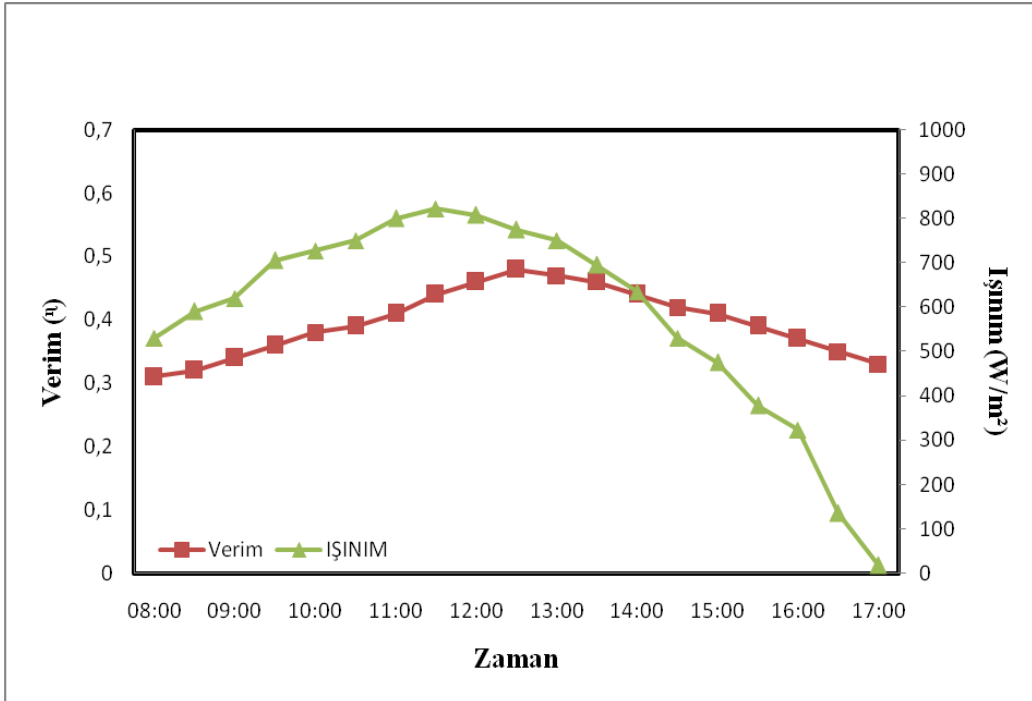


Şekil 3.6. Kollektör veriminin zamanla değişimi (01.11.2013)

4 Kasım 2013' teki deney sonuçları



Şekil 3.7. Işınım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (04.11.2013)



Şekil 3.8. Kollektör veriminin zamanla değişimi (04.11.2013)

3.2. FDM' li Standart Depolu Güneş Kollektörlü Sistemde Verim Analizi

FDM' li standart depolu sistemde, standart depolu güneş kolektör sistemine benzer şekilde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler Temmuz ve Kasım 2013 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Standart depoya benzer olarak FDM' li depodan da farklı debilerde su alınarak ısı verimleri araştırılmıştır. 1.gün FDM' li standart depodan herhangi bir su çıkışı olmadan sistemin çeşitli noktalarından ve FDM' nin içerisinde 30 dakikada bir sıcaklık değerleri ölçülmüştür. 2.gün deponun içerisinde 30 dakikada 5 litre su alınmıştır. Bu şekilde farklı günlerde deneyler yapılarak ısı verimleri kıyaslanmıştır. Yapılan deneylere ait 17-19.07.2013 ve 01-04.11.2013 tarihlerindeki ışıma bağlı olarak sıcaklık değişimleri ve ısı verimleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir (Şekil 3.9 - Şekil 3.16).

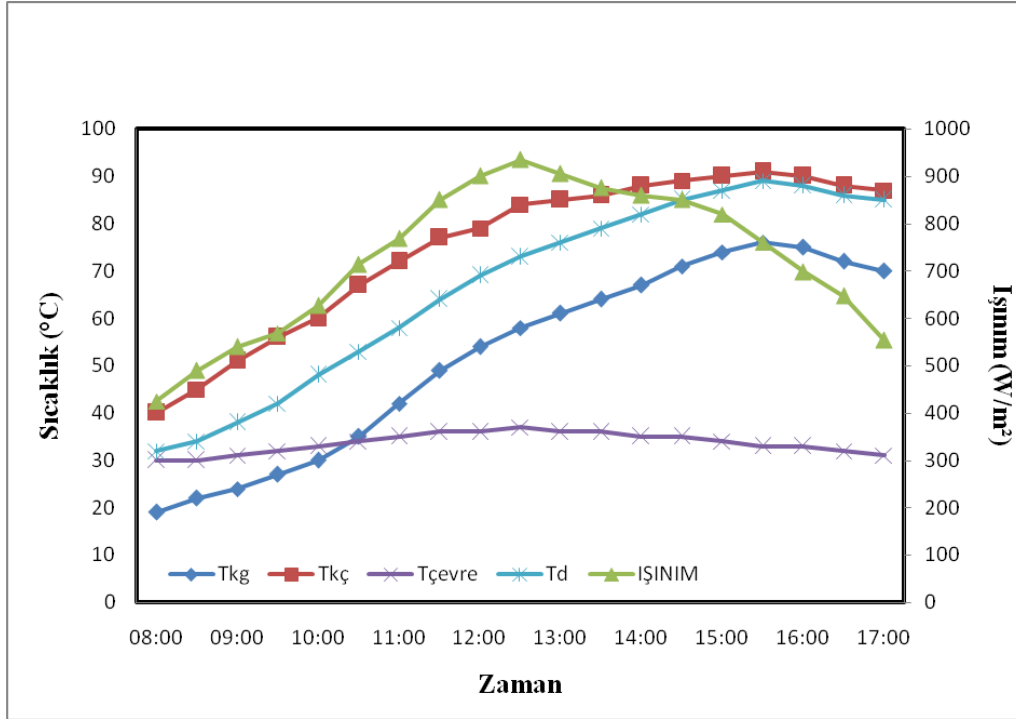
FDM' li standart depoda yapılan deneylerde, kolektörden çıkan su sıcaklığının güneş ışımasını ile değiştiği gözlenmiştir. FDM' li standart depoda gün boyunca elde edilen deney sonuçları aşağıdaki gibidir:

- 17.07.2013 tarihinde kolektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 15.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Deponun maksimum su sıcaklığı 89 °C olmuştur. Anlık kolektör verimi günün saatleri ve ışıma bağlı olarak değişmiş ve 13.30' da maksimum verim % 58 olarak belirlenmiştir.
- 19.07.2013 tarihinde de su sıcaklıklarının benzer şekilde saat 15.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Depo suyu sıcaklıkları ek su girişine bağlı olarak düşüşler göstermiş, ancak bu düşüşler FDM' siz depoya göre daha düzgün bir eğilim göstermiştir. Deponun maksimum su sıcaklığı 85 °C' ye ulaşmıştır. Anlık kolektör verimi günün saatleri ve ışıma bağlı olarak değişmiş ve 13.30' da maksimum verim % 56 olarak belirlenmiştir.
- 01.11.2013 tarihinde kolektör giriş-çıkış suyu sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 13.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Deponun maksimum su sıcaklığı 73 °C olmuştur. Anlık kolektör verimi günün

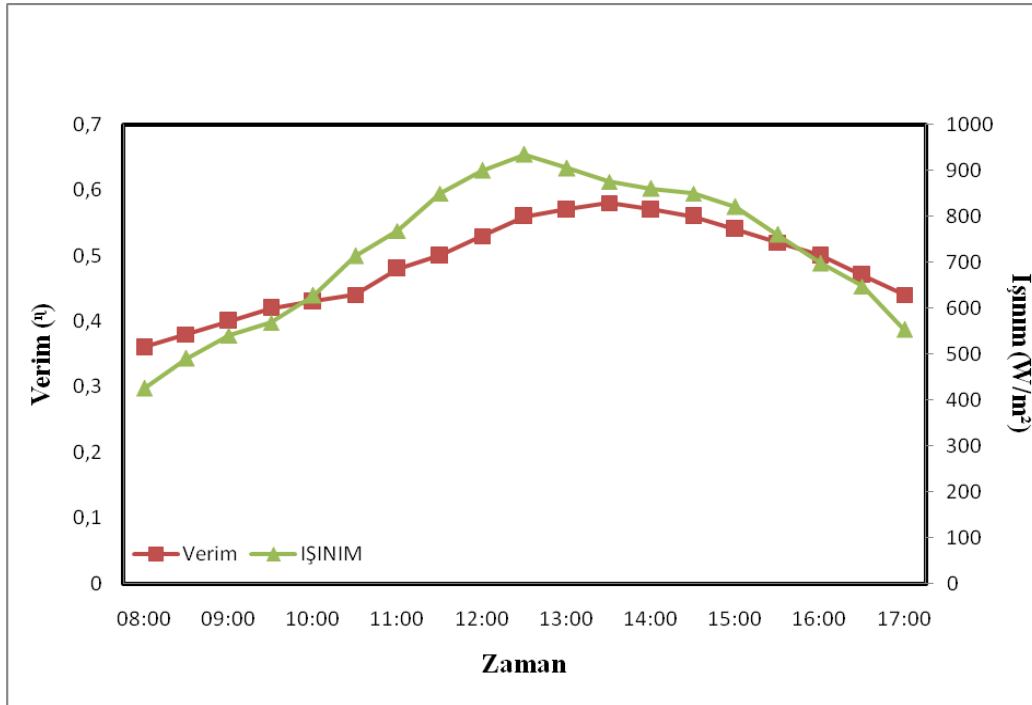
saatleri ve ışıınıma bağılı olarak değıışmiş ve 13.00' te maksimum verim % 54 olarak belirlenmiştir.

- 04.11.2013 tarihinde kollektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 13.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görölmüştür. Deponun maksimum su sıcaklığı 68 °C olmuştur. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ışıınıma bağılı olarak değıışmiş ve 13.00' te maksimum verim % 51 olarak belirlenmiştir.

17 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

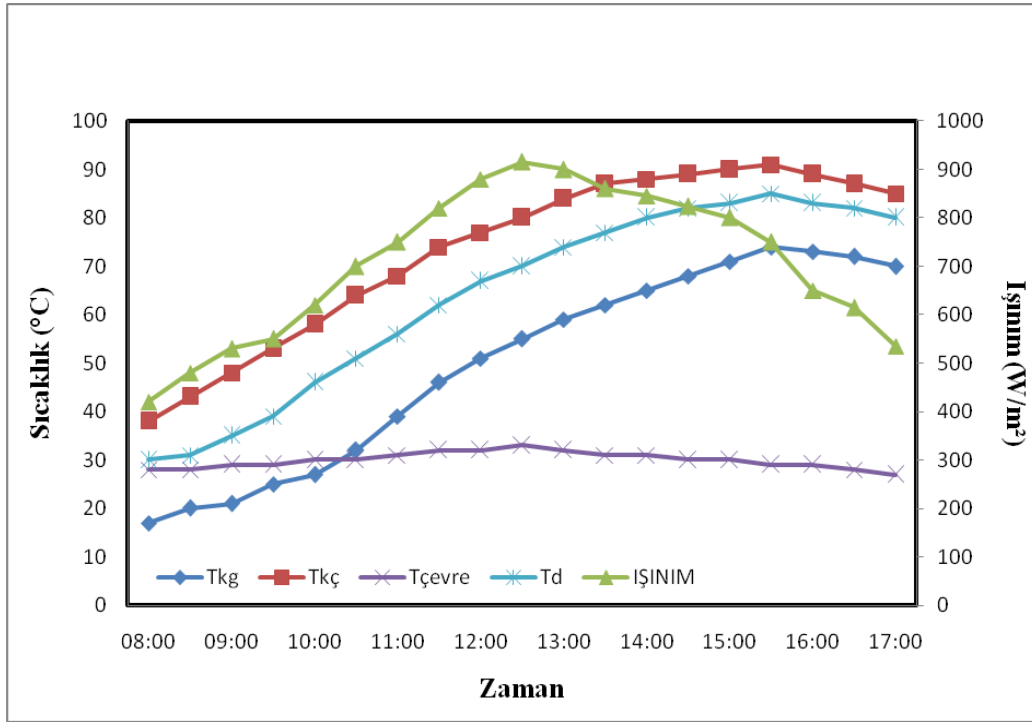


Şekil 3.9. FDM' li standart depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (17.07.2013)

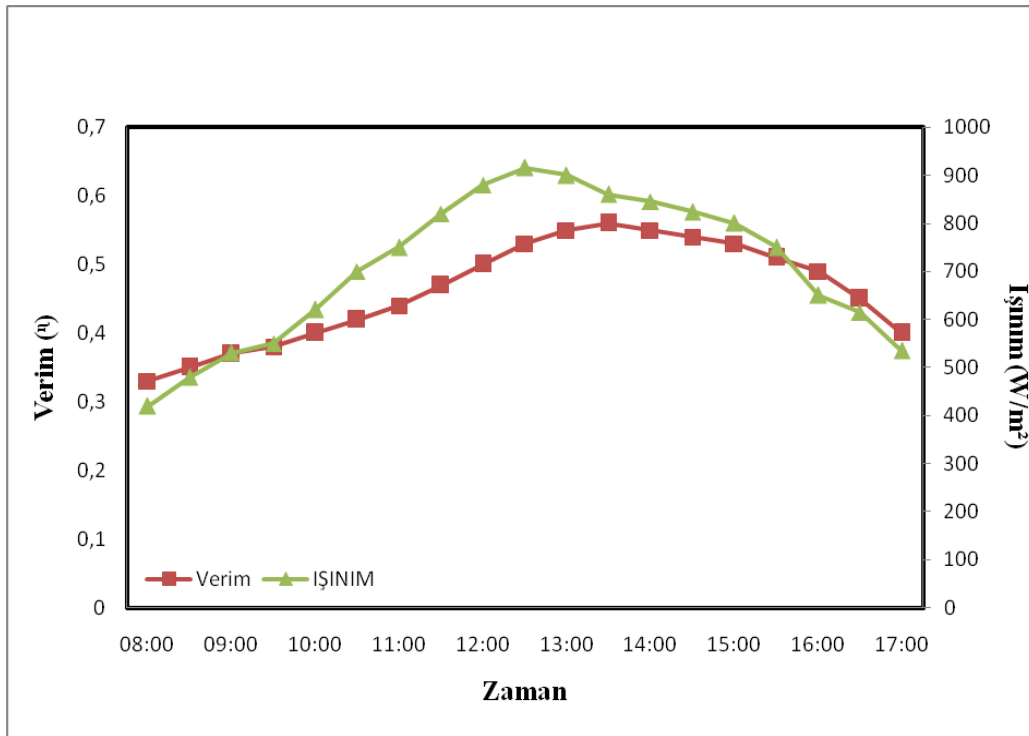


Şekil 3.10. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (17.07.2013)

19 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

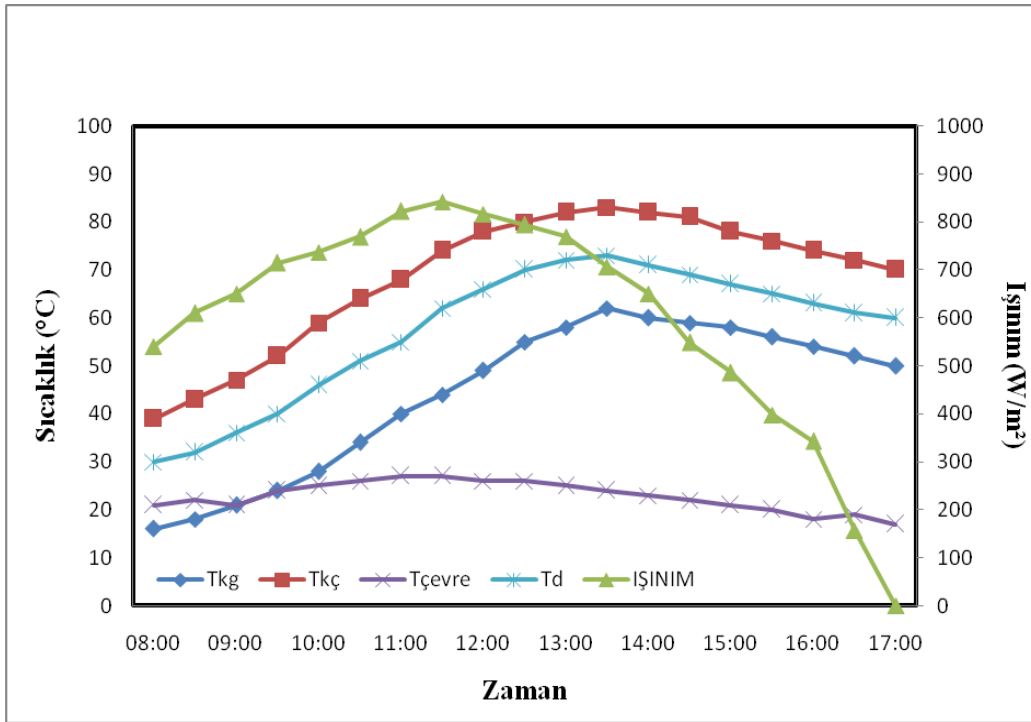


Şekil 3.11. FDM' li standart depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (19.07.2013)

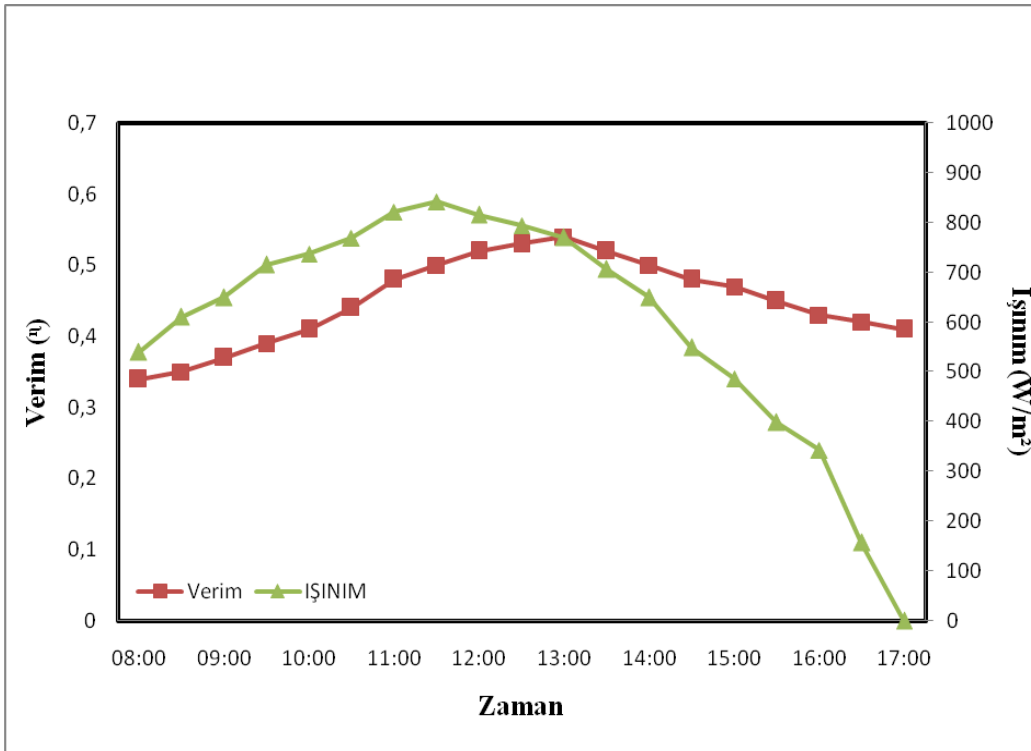


Şekil 3.12. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (19.07.2013)

1 Kasım 2013' teki deney sonuçları

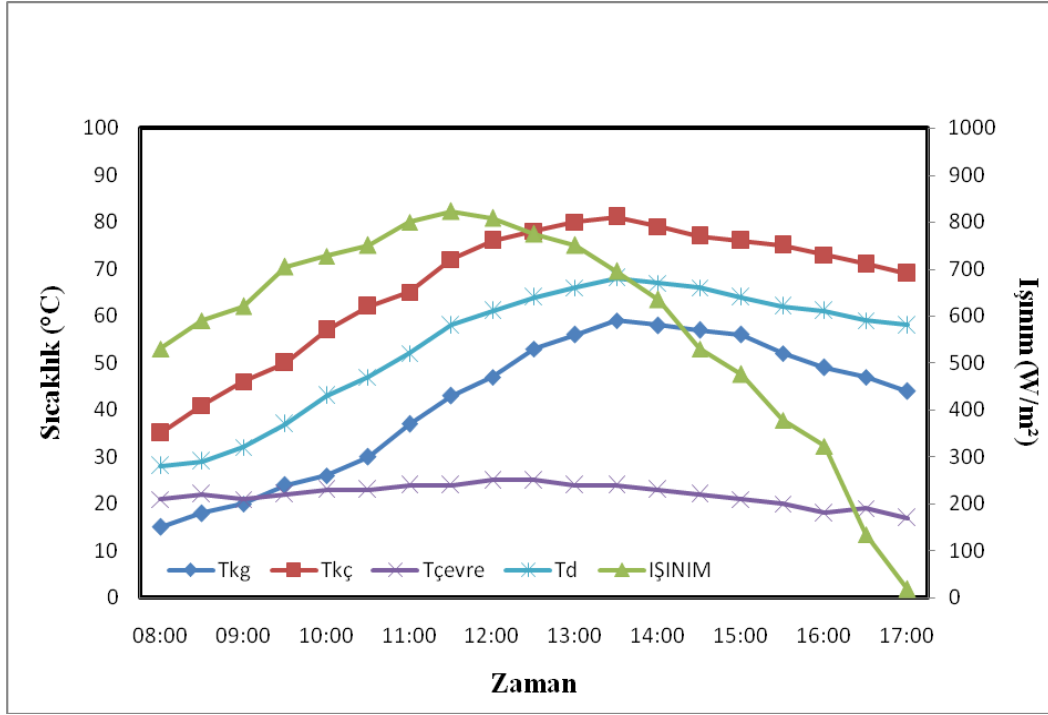


Şekil 3.13. FDM' li standart depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (01.11.2013)

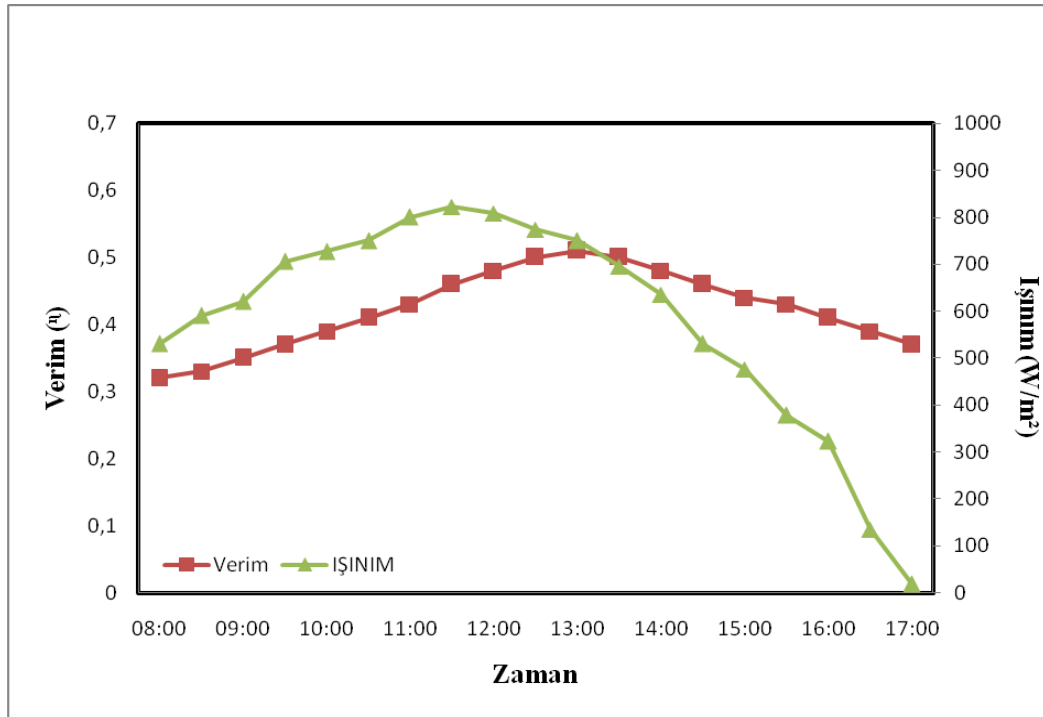


Şekil 3.14. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (01.11.2013)

4 Kasım 2013' teki deney sonuçları



Şekil 3.15. FDM' li standart depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (04.11.2013)



Şekil 3.16. FDM' li standart depodaki anlık verim değerleri (04.11.2013)

3.3. FDM' li Geliştirilmiş Depolu Güneş Kollektörlü Sistemde Verim Analizi

FDM' li geliştirilmiş deponun ısı verim deneyleri Temmuz - Kasım 2013 tarihleri arasında yapılmıştır. Sistemin çeşitli yerlerine J tipi termokupllar yerleştirilmiş ve böylece her 30 dakikada sıcaklık değerleri okunmuştur. Gün içerisinde kollektör yüzeyine gelen güneş ışınlamına bağlı olarak sıcaklık değişimleri ve ısı verim aşağıdaki grafiklere aktarılmıştır (Şekil 3.17 – Şekil 3.24).

FDM' li geliştirilmiş depoda yapılan deneylerde, kollektörden çıkan su sıcaklığının güneş ışınlamı ile değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca gün boyunca FDM sıcaklığı depo sıcaklığıyla paralel olarak Temmuz ayı içerisinde 15.30' a kadar, Kasım ayı içerisinde ise 13.30' a kadar sürekli artmış daha sonra azalma eğilimi göstermiştir.

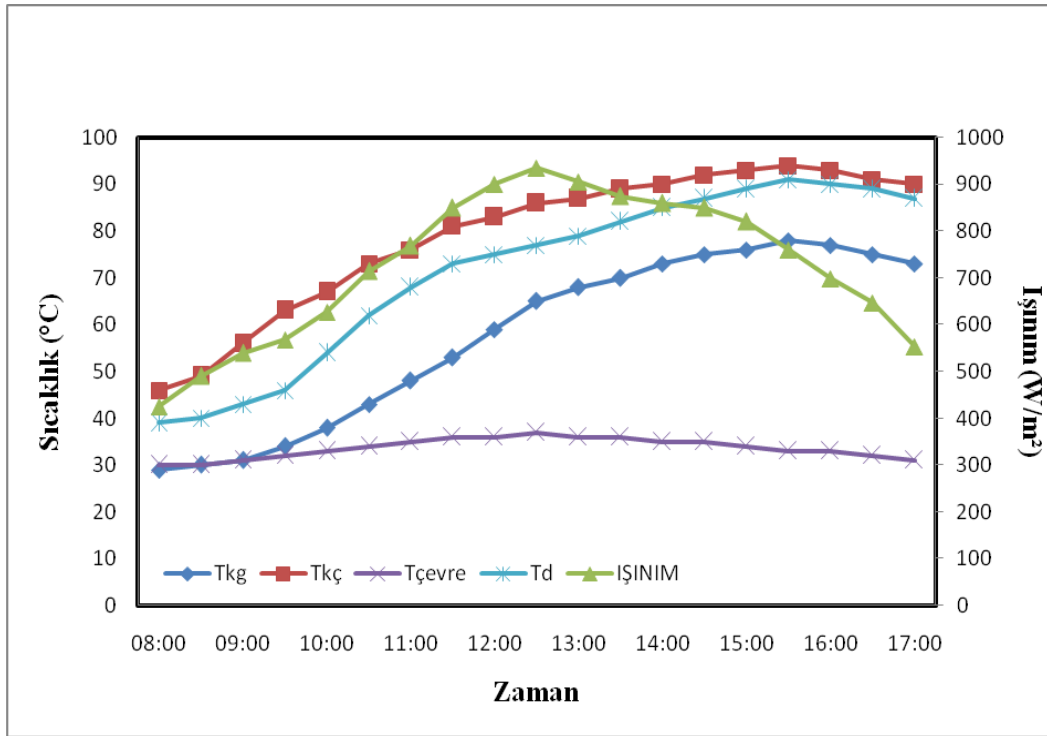
FDM' li geliştirilmiş depoda 17-19.07.2013 ve 01-04.11.2013 tarihlerinde elde edilen deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- 17.07.2013 tarihinde kollektör giriş - çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 15.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Deponun maksimum su sıcaklığı 91 °C olmuştur. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ışınlamaya bağlı olarak değişmiş ve 13.30' da maksimum verim % 59 olarak belirlenmiştir.
- 19.07.2013 tarihinde kollektör giriş - çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 15.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Her yarım saatte alınan 5 lt' lik sudan dolayı depo suyunun sıcaklığında düşüşler görülmüştür ve deponun maksimum su sıcaklığı 88 °C' ye ulaşmıştır. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ışınlamaya bağlı olarak değişmiş ve 13.30' da maksimum verim % 57 olarak belirlenmiştir.
- 01.11.2013 tarihinde kollektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 13.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Deponun maksimum su sıcaklığı 75 °C olmuştur. Anlık kollektör verimi günün

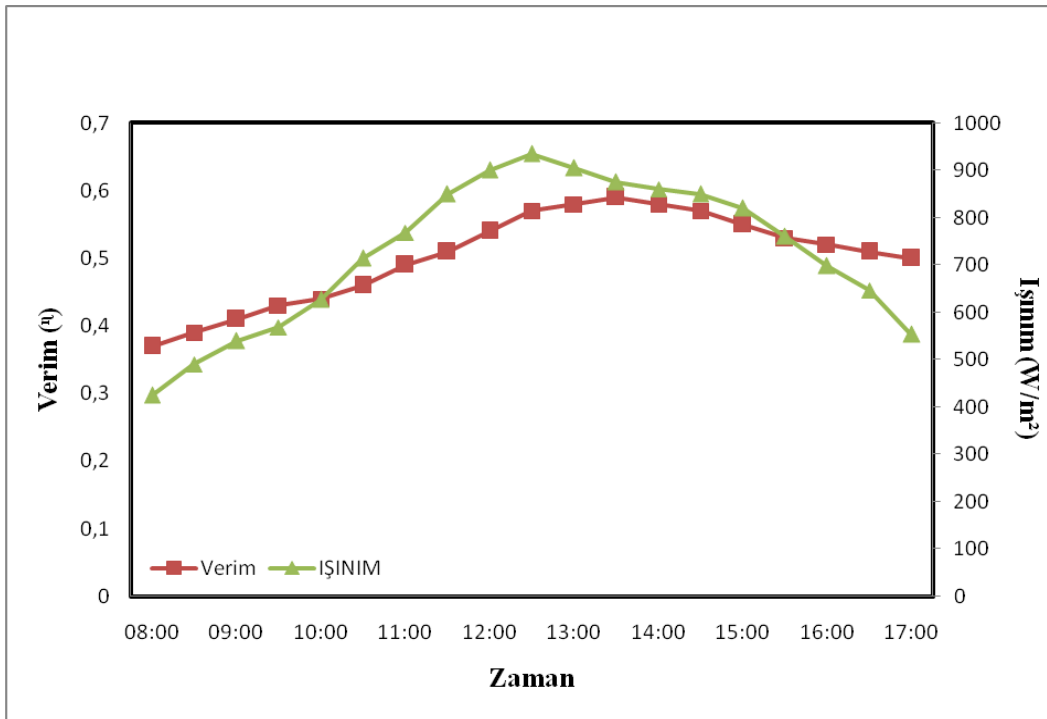
saatleri ve ışıma bağı olarak değışmiş ve 13.00' da maksimum verim % 55 olarak belirlenmiştir.

- 04.11.2013 tarihinde kollektör giriş-çıkış su sıcaklıkları ve depo suyu sıcaklığının saat 13.30' a kadar sürekli arttığı daha sonra azaldığı görülmüştür. Her yarım saatte bir depoya 5 lt' lik suyun girmesiyle depo suyu sıcaklığında düşüşler gözlenmiştir ve deponun maksimum su sıcaklığı 73 °C' ye ulaşmıştır. Anlık kollektör verimi günün saatleri ve ışıma bağı olarak değışmiş ve 13.00' te maksimum verim % 53 olarak belirlenmiştir.

17 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

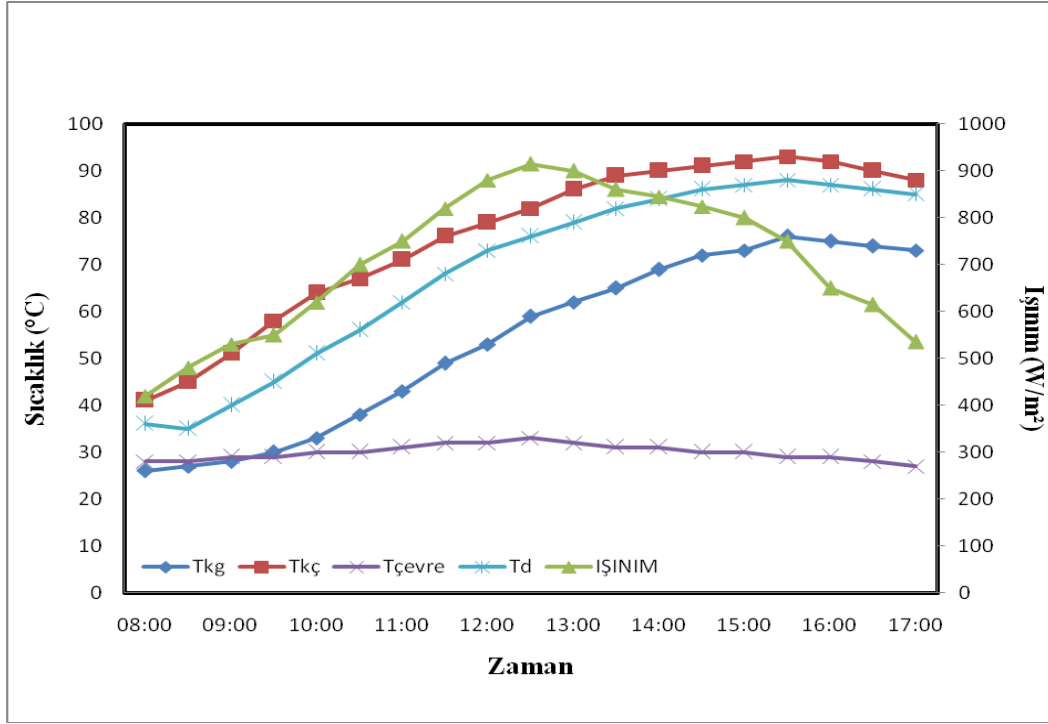


Şekil 3.17. FDM' li geliştirilmiş depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (17.07.2013)

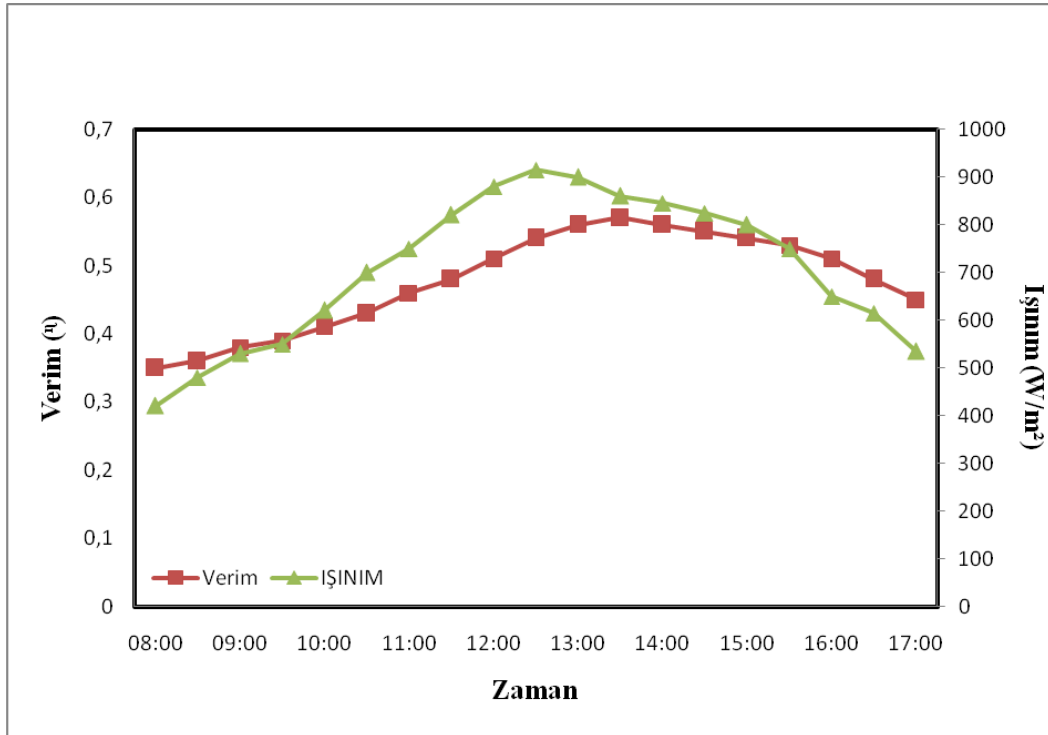


Şekil 3.18. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (17.07.2013)

19 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

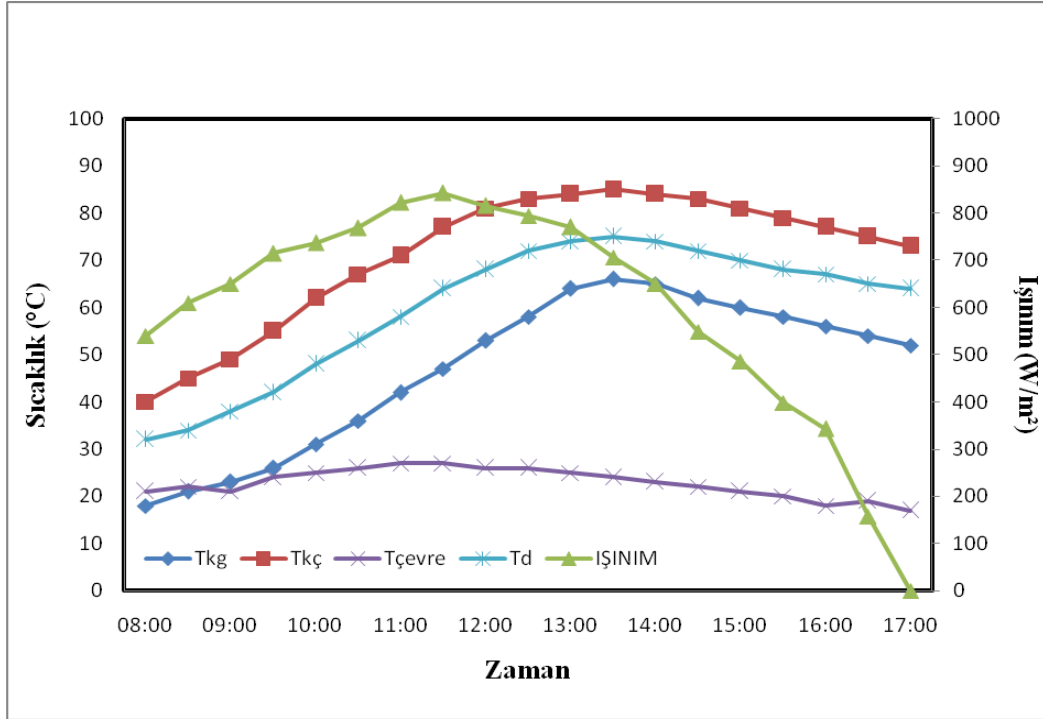


Şekil 3.19. FDM' li geliştirilmiş depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (19.07.2013)

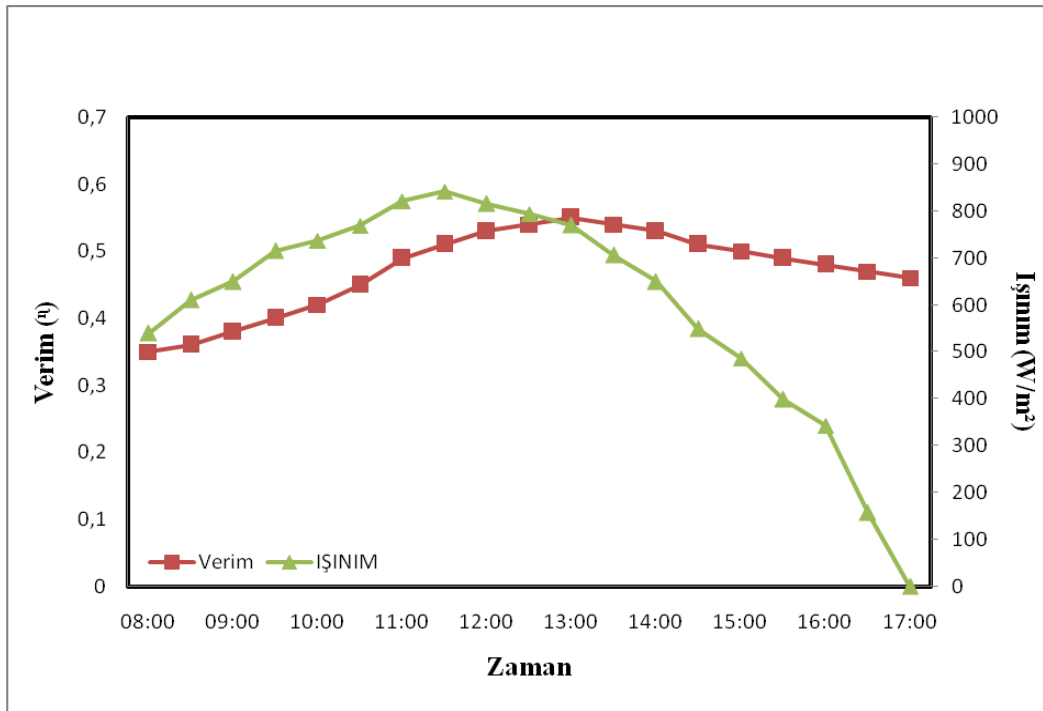


Şekil 3.20. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (19.07.2013)

1 Kasım 2013' teki deney sonuçları

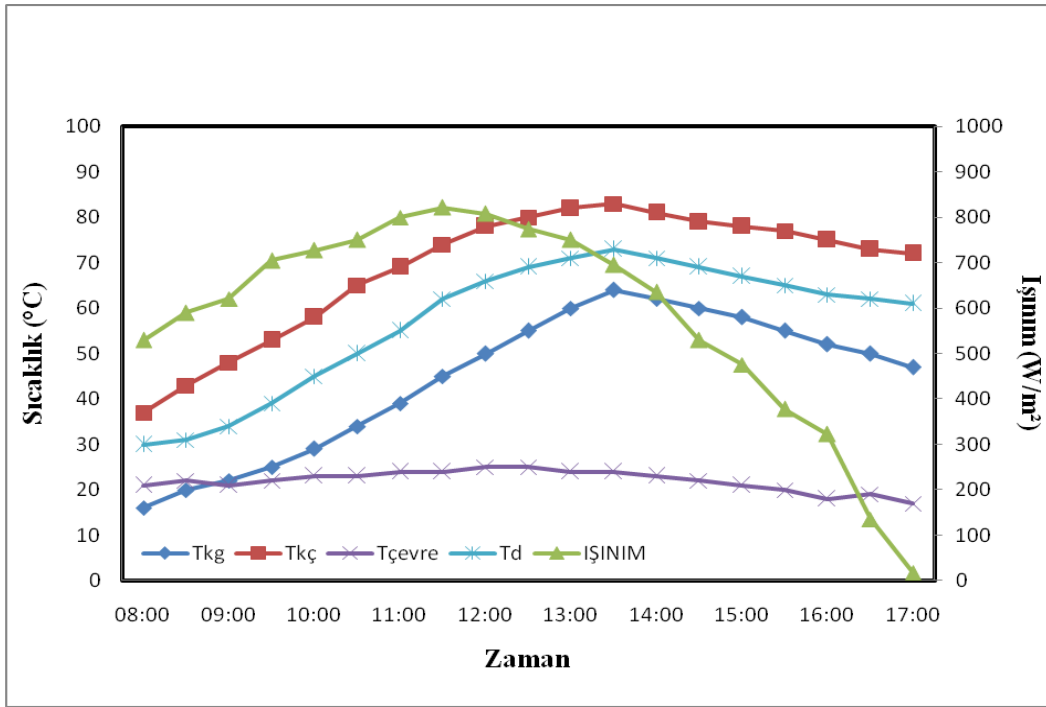


Şekil 3.21. FDM' li geliştirilmiş depoda ısıtım ve sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi (01.11.2013)

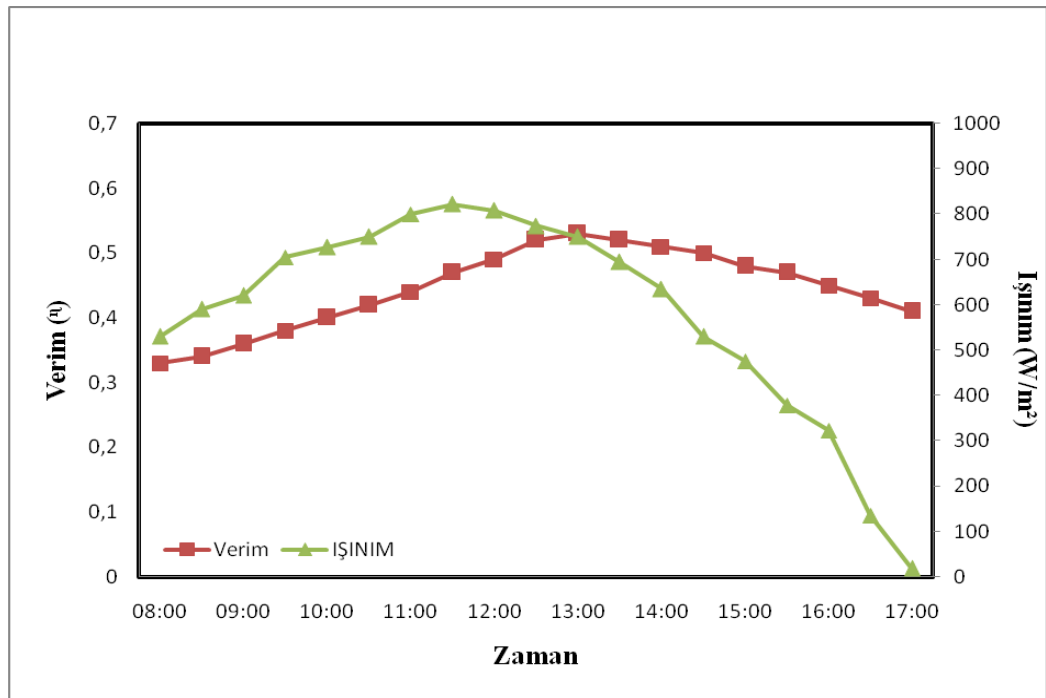


Şekil 3.22. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (01.11.2013)

4 Kasım 2013' teki deney sonuçları



Şekil 3.23. FDM' li geliştirilmiş depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen sıcaklık değerleri (04.11.2013)



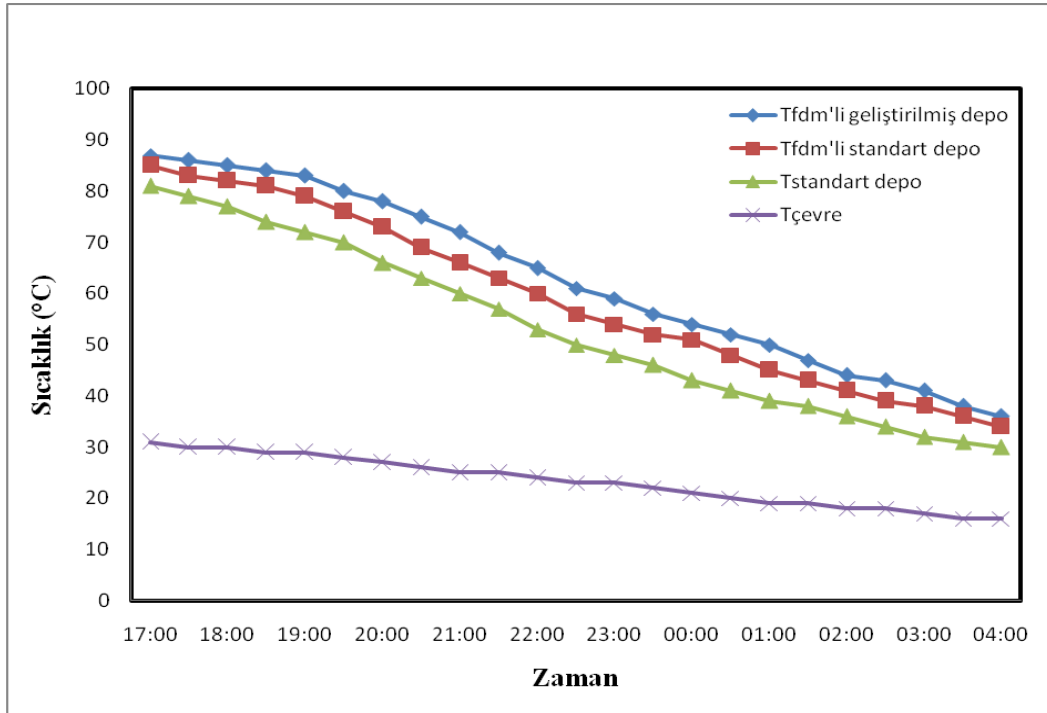
Şekil 3.24. FDM' li geliştirilmiş depodaki anlık verim değerleri (04.11.2013)

FDM' li depolarda FDM' nin deşarjının depo sıcaklığına etkisi

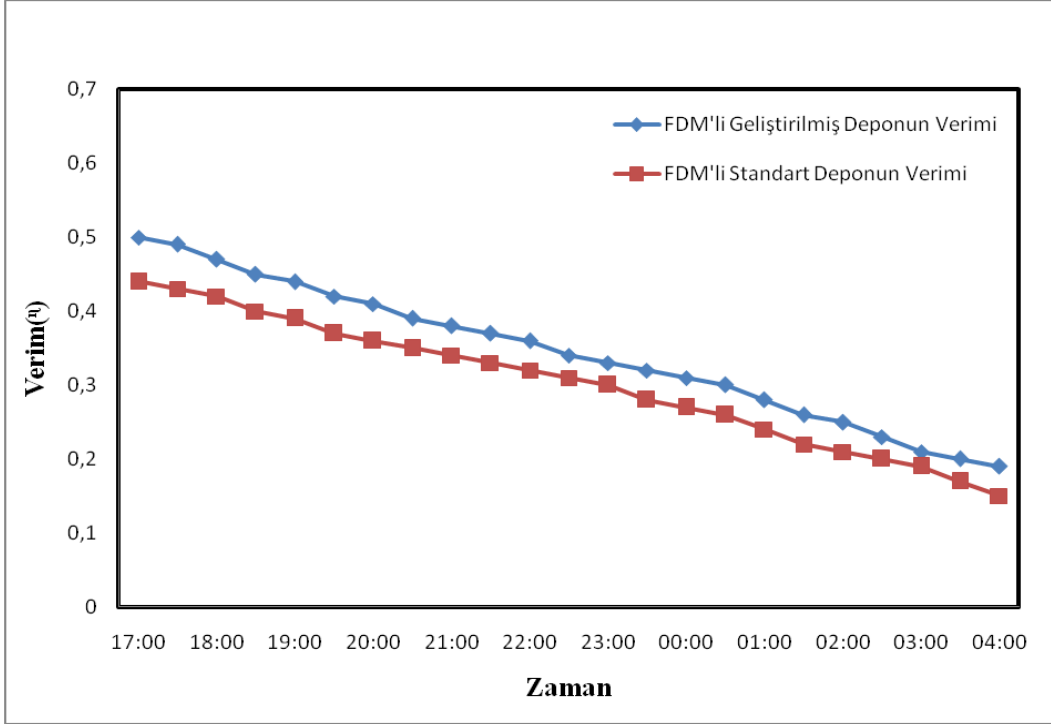
FDM' li depolarda saat 17.00' den sonra depo sıcaklık ve verim değerlerinin değişimleri aşığıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Buna göre FDM' li standart depo ve FDM' li geliştirilmiş deponun zamana bağı olarak sıcaklık değişimleri zamanla azalmış ve en yüksek sıcaklıkların FDM' li geliştirilmiş depoda olduğu görülmüştür.

Depo verimleri de sıcaklık değişimlerine benzer şekilde değişmekte olup, en yüksek verim FDM' li geliştirilmiş depoda sağlanmıştır.

17 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

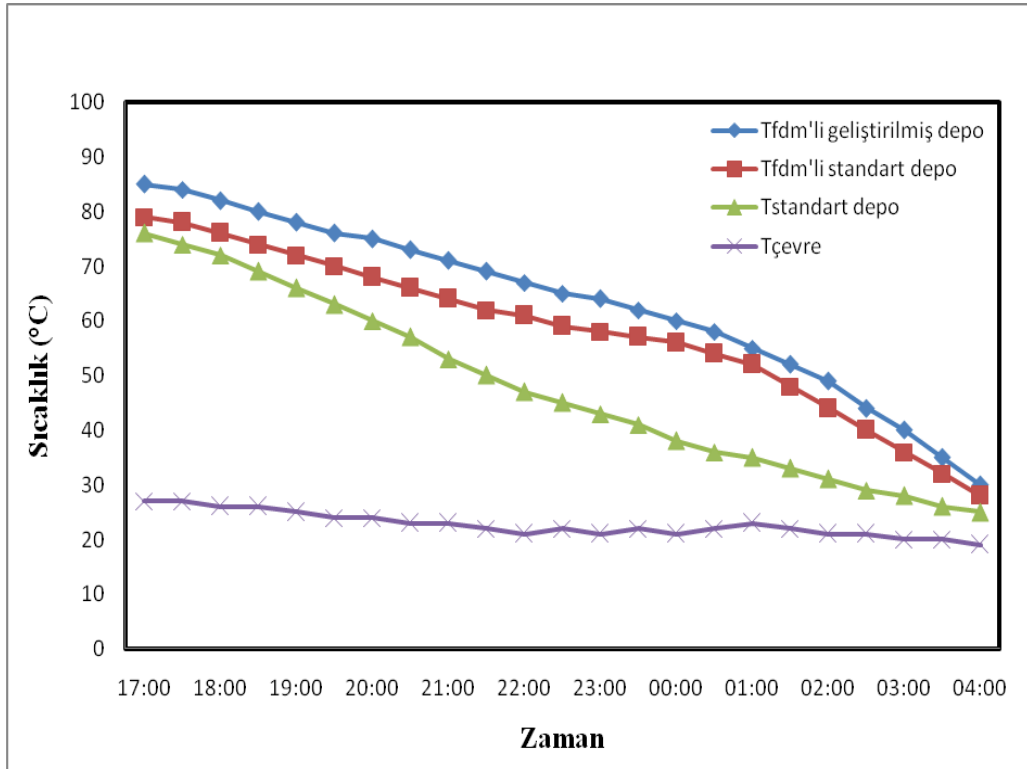


Şekil 3.25. Depo sıcaklıklarının gece saatlerindeki değişimleri (17.07.2013)

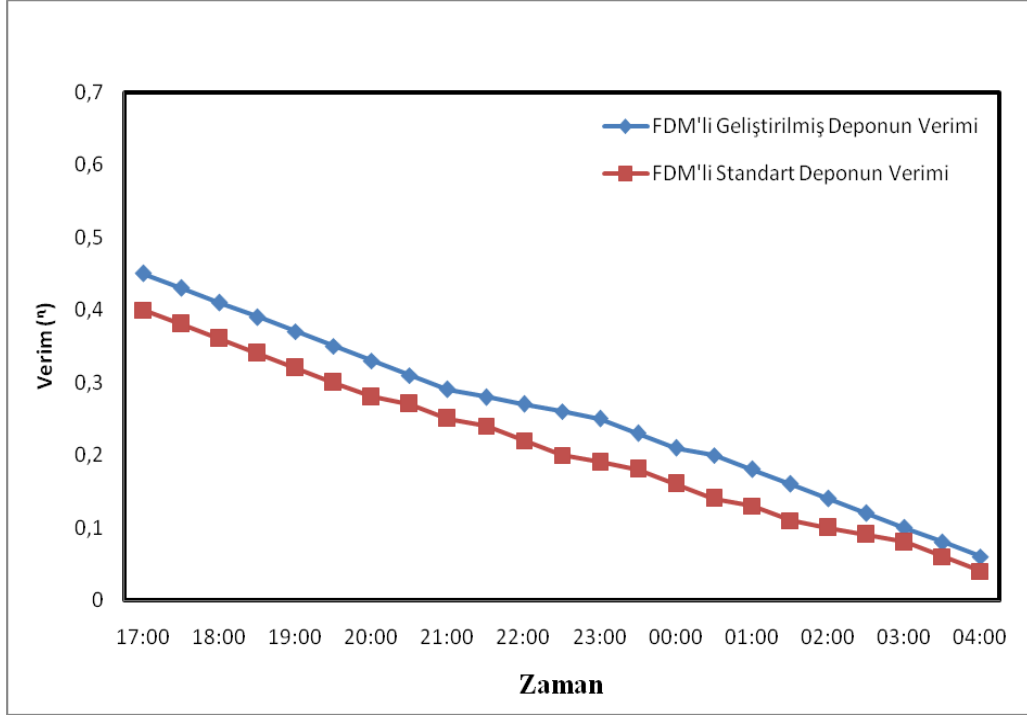


Şekil 3.26. Depo verimlerinin gece saatlerindeki değişimleri (17.07.2013)

19 Temmuz 2013' teki deney sonuçları

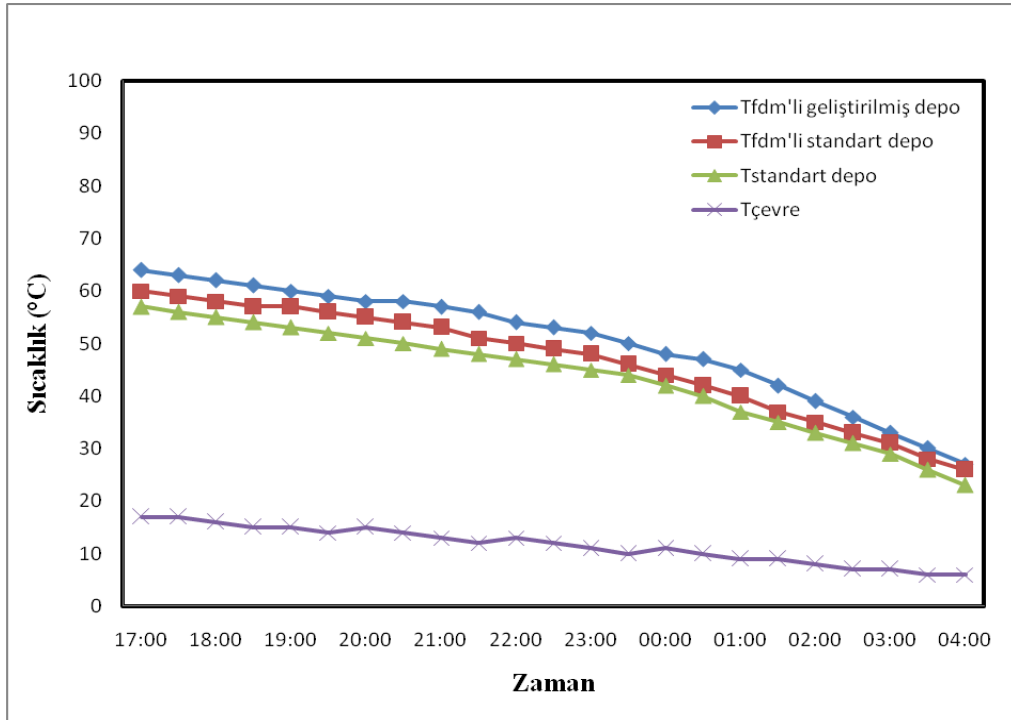


Şekil 3.27. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo sıcaklıkları (19.07.2013)

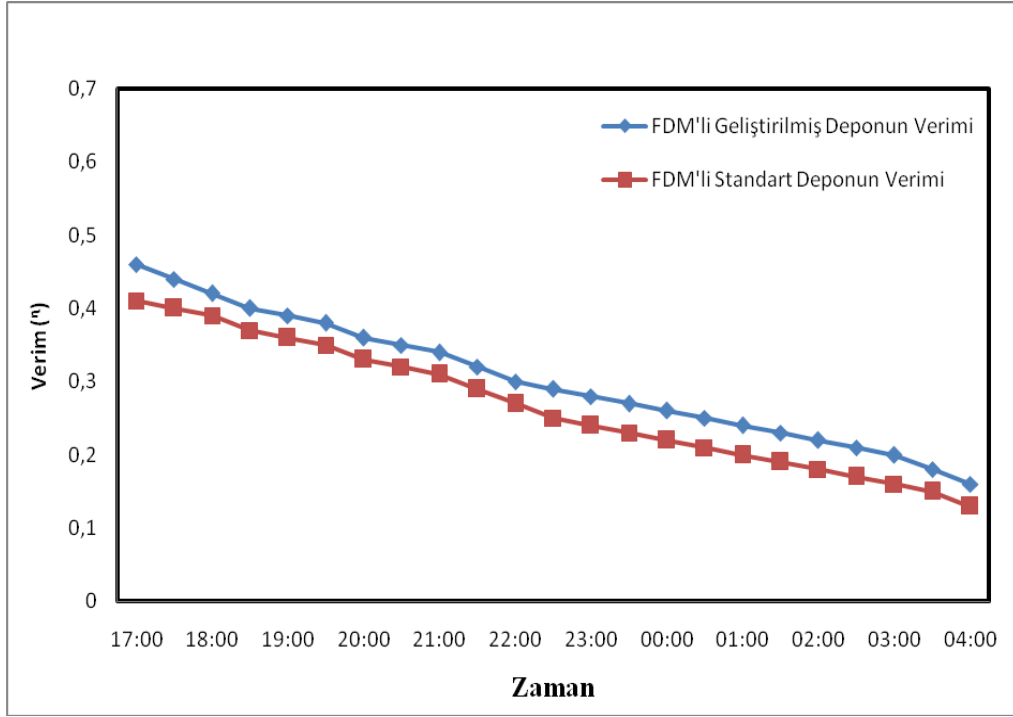


Şekil 3.28. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo verimleri (19.07.2013)

1 Kasım 2013' teki deney sonuçları

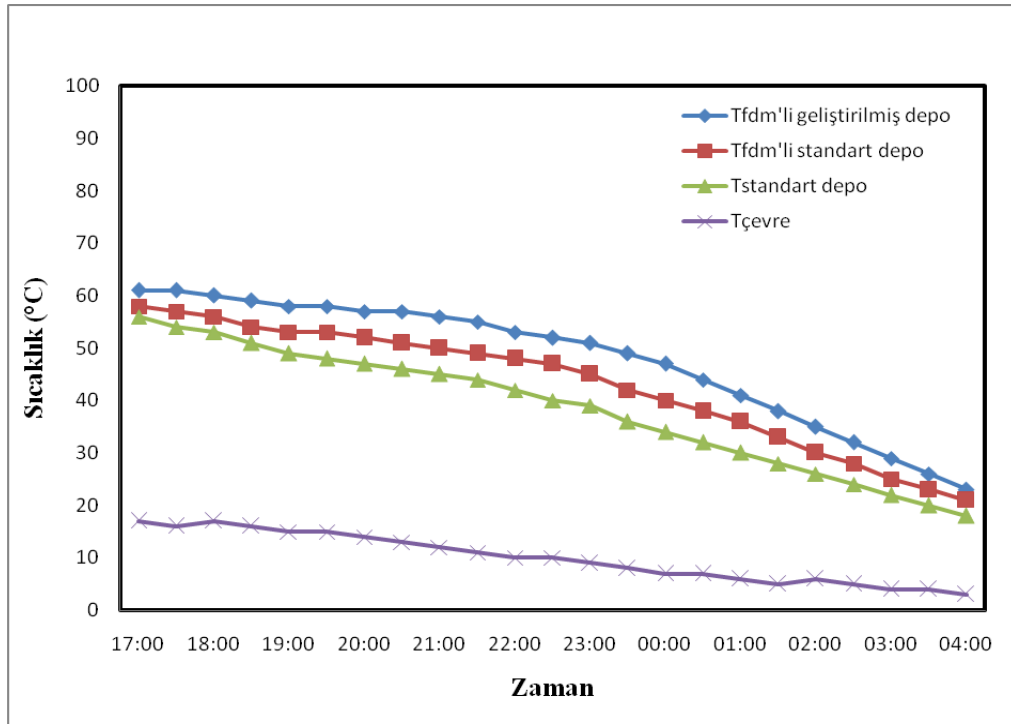


Şekil 3.29. Depo sıcaklıklarının gece saatlerindeki değişimleri (01.11.2013)

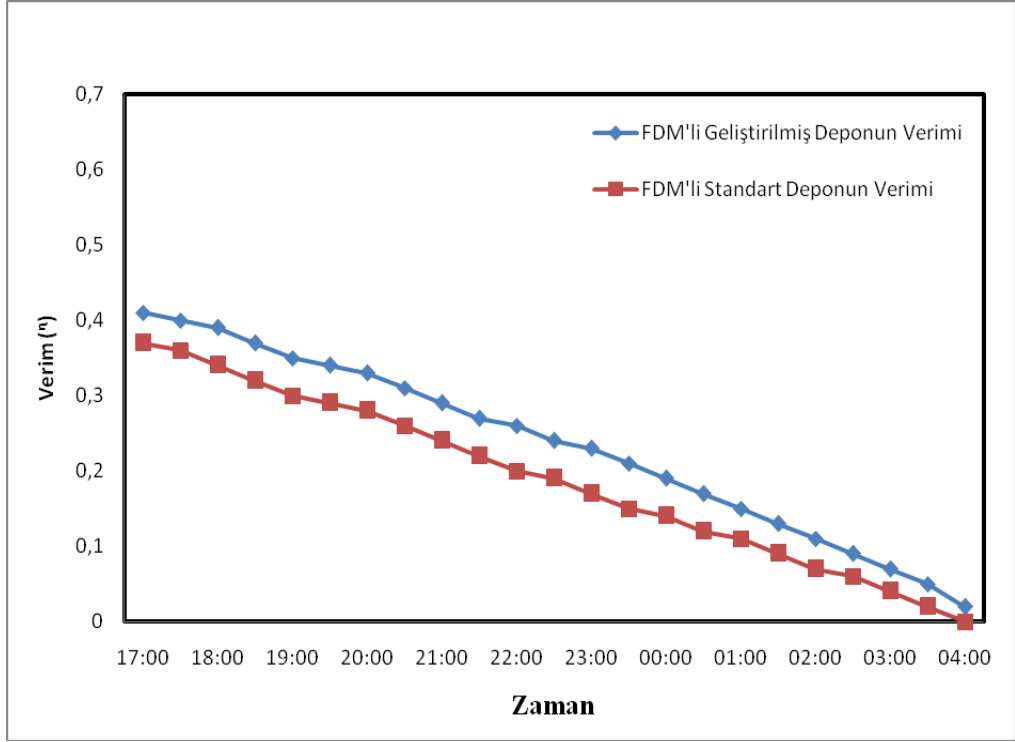


Şekil 3.30. Depo verimlerinin gece saatlerindeki değişimleri (01.11.2013)

4 Kasım 2013' teki deney sonuçları



Şekil 3.31. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo sıcaklıkları (04.11.2013)



Şekil 3.32. Depodan her yarım saatte 5 lt su alınarak elde edilen depo verimleri (04.11.2013)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; sıcak su kolektörlü FDM' li depo tasarlanmış ve sistemin verimi deneysel olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlü standart depo ve FDM' li farklı depo tiplerinde farklı çalışma şartlarında doğal taşınımli sistemlerin sıcaklık ve verim değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca standart yalıtımlı depo, FDM' li standart depo ve FDM' li geliştirilmiş depodan her 30 dakikada bir depodan su alınarak bunun verime etkisi incelenmiştir.

Yapılan deneylerde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir:

- Temmuz ayı içerisinde yapılan standart depolu deneylerde maksimum su sıcaklığının 15.30' da 87 °C, FDM' li standart depoda 89 °C ve FDM' li geliştirilmiş depoda 91 °C olarak elde edilmiştir. Aynı günlerde su alımı ile yapılan deneylerde ise su sıcaklıkları sırasıyla 83 °C, 85 °C ve 88 °C olmuştur.
- Kasım ayında yapılan benzer deneylerde ise aynı şartlarda maksimum depo suyu sıcaklıkları saat 13.30' da elde edilmiş ve bu sıcaklıklar su almanın olmadığı durumda standart depoda 70 °C, FDM' li standart depoda 73 °C ve FDM' li geliştirilmiş depoda 75 °C olduğu görülmüştür. Su alma durumunda ise bu sıcaklıklar 64 °C, 68 °C ve 73 °C olmuştur.
- 17 Temmuz 2013 tarihinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlü sistemde yapılan deneylerde maksimum verim; standart yalıtımlı depoda %56, FDM' li standart depoda %58 ve FDM' li geliştirilmiş depoda %59 olarak elde edilmiştir.
- 19 Temmuz 2013 tarihinde sistemde her yarım saatte bir 5 lt su alınarak yapılan deneylerde maksimum verim; standart yalıtımlı depoda %53, FDM' li standart depoda %56 ve FDM' li geliştirilmiş depoda %57 olmuştur.

- 1 Kasım 2013 tarihinde yapılan deneylerde ise maksimum verim; standart yalıtımlı depoda %51, FDM' li standart depoda %54 ve FDM' li geliştirilmiş depoda %55 olarak tespit edilmiştir.
- 4 Kasım 2013 tarihinde ise yine sistemden her yarım saatte bir 5 lt su alınarak yapılan deneylerde maksimum verim; standart yalıtımlı depoda %48, FDM' li standart depoda %51 ve FDM' li geliştirilmiş depoda %53 olarak elde edilmiştir.
- Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi en yüksek verim FDM' li geliştirilmiş depoda sağlanmıştır.
- Faz değişim maddesi gün boyunca güneş radyasyonunun olduğu saatlerde ısıyı içerisine hapsedmiş radyasyon tesiri bittikten sonra gece boyunca hapsettiği ısıyı depodaki suya vererek aynı sıcaklıktaki suyun 1 - 1,5 saat daha fazla süre kullanılmasını sağlamıştır.

5. ÖNERİLER

Kollektör sistemlerinde sistem verimi gelen güneş radyasyonuna, kollektör malzemesi ve bağlantı şekillerine, depo yüksekliklerine vb. parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kollektörlerde yutuculuğu yüksek seçici yüzey kullanılmalı ve bununla ilgili sistem verimini arttırma çalışmaları yapılmalıdır. Bu doğrultuda gizli ısı depolamalı sıcak sulu kollektör sisteminde optimum verim değerlerinin tespiti mümkün olabilecektir.

Gizli ısı depolamalı kollektör sistemlerinde kullanılacak olan faz değişim maddelerinin (FDM) seçimi önemlidir. FDM seçiminde erime noktası en önemli kriter olup erime sıcaklığı düşük olan FDM' ler seçilmelidir.

FDM olarak, belirli sıcaklık aralığında ısı iletkenlik ve katı fazdaki genleşme katsayıları uygun olan tuzlar ve bunların ötektikleri geliştirilmelidir.

Güneş kollektörlü sistemlerde depodaki sıcak suyun daha uzun süreli kullanımda kullanılan gizli ısı depolamalı sistemler mevcut sistemlerde kullanılabilecek ve ekonomik olarak uygulanabilecek bir şekilde tasarlanmalıdır.

FDM kullanılan sistemde verimi yüksek ısı değiştirgeçleri tasarlanarak kullanılmalı ve korozyon için tedbirler alınmalıdır. Ayrıca katı FDM ile ısı değiştirgeci arasında boşluk oluşmaması ve ısı geçişinin azalmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Çevresel etki değerlendirmesi konusunda ortaya çıkan sorunlarla ilgili çalışmalar yapılmalı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı için gerekli çalışmalar yapılmasına önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Pıhtılı, K.**, 1980. Düz levha tipi güneş kolektörleri, *Isı Bilimi ve Dergisi*, Cilt 2, Sayı 21-24, Elazığ, D.M.M. Akademisi.
- [2] **Uyarel, A.Y. ve Öz, E.S.**, 1987. Güneş enerjisi ve uygulamaları, Emel Matbaacılık Sanayi, Ankara.
- [3] **Deriş, N.**, 1979. Güneş enerjisi sıcak su ile ısıtma tekniği, Sermet Matbaası, İstanbul.
- [4] **Çengel Y.A.**, 1996. Introduction To Thermodynamics And Heat Transfer, pp 2.
- [5] **Keleş R. ve Hamamcı R.**, 1993. Çevrebilim, İmge Kitabevi, Ankara.
- [6] **Özbalta, G.T.**, 2005. Mimari, Güneş ve Teknoloji İlişkisi, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi 24-25.06.2005, 127-136.
- [7] **Oliver, D.**, 1986. Energy Efficiency and Renesvables, Recent North American Experience, Energy Advisory Associates, Milton Keynes, UK.
- [8] **Jensen J. and Sorensen B.**, 1984. Fundamentals of Energy Storage, John Wiley and Sons, New York.
- [9] **OTA**, 1978. "Thermal Storage", Application of Solar Technology to Today's Energy Needs, Vol. 1, Office of Technology Assessment, Congress of the United States, Washington DC.
- [10] **Öztürk, H.**, Güneş enerjisinin gizli ısı tekniği ile depolanması, MMO dergi, 16-17.
- [11] **Dowing, R.C. and Waldin, V.H.**, 1980. "Phase-Change Heat Transfer in Solar Hot Water Heating Using R-11 And R-114", *Ashrae Transactions*, 848-856.

- [12] **Ekmekçi, A., Dizdar, H. ve Özçelebi, S.,** 2001. Kocaeli ili için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi ve boyutlandırılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, Bildiriler Kitabı, 35–42.
- [13] **Mazman, M.,** 2000. Güneş enerjisinin faz değıştiren organik kimyasallarda gizli ısı şeklinde depolanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [14] **Manz, H., Ego, P.W. and Sutter, P.,** 1997. TIM – PCM External Wall System For Solar Space Heating And Daylighting, Solar Energy.
- [15] **Fischer, S., Hauer, A., Schreiner, M. and Zavala, G.,** 1997. A heat storage system with zeolite for space heating in a school building, Proc.Megastock **97** Conf.
- [16] **Sharma A., Sharma S.D. and Buddhi D.,** 2002. Accelerated thermal cycle test of acetamide, stearic acid and paraffin wax for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion and Management*, **43**, 1923- 1930.
- [17] **Rabin Y., Bar-Niv I., Korin E. and Mikic B.,** 1995. Integrated solar collector storage system based on a salt-hydrate phase change material, Solar Energy **55**, 435-44.
- [18] **Dutre W.L.,** 1991. Simulation of water based thermal solar systems, *Kluwer Academic Publishers Group*, **276**.
- [19] **Sarı A.,** 2003. Thermal Characteristics of a Eutectic Mixture of Myristic and Palmitic Acids as Phase Change Material for Heating Applications, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 1005-1017.
- [20] **Feldman D., Shapiro M.M. and Banu D.,** 1986. Organic phase change materials for thermal energy storage, Solar Energy Mater, **13**, 1-10.

- [21] **Buddhi D., Bansal N.K., Sawhney R.L. and Sodha S.,** 1988. Solar thermal storage systems using phase change materials, *Int. J. Energy Research*, Volume **12**, 547-555.
- [22] **Mehling H., Cabeza L. F., Hippeli S. and Hiebler S.,** 2003. PCM-module to improve hot water heat stores with stratification, *Renewable Energy*, **28 (5)**, 699-711.
- [23] **Cabeza L. F., Ibanez M., Sole C., Roca J. and Nogues M.,**2006. Experimentation with a water tank including a PCM module, *Solar Energy Materials & Solar Cell*, Article in pres.
- [24] **Xiao M., Feng B. and Gong K.,** 2002. Preparation and performance of shape stabilized phase change thermal storage materials with high thermal conductivity, *Energy Conversion and Management*, **43**, 103-108.
- [25] **Huang, M.J., Eames, P.C. and Hewitt, N.J.,** 2006. The application of a validated numerical model to predict the energy conservation potential of using phase change materials in the fabric of a Building, *Solar energy Materials&Solar Cells*, **90**, 1951-1960.
- [26] **Kissock, K., Hanning M., Whitney T.I. and Drake M.L.,** 1998. Testing and Simulation of phase change wallboard for thermal storage in buildings, *International Solar Energy Conference*, New York, USA.
- [27] **Kılıç, A. ve Öztürk, A.,** 1984. Güneş ışınlımı ve düz toplayıcılar, *Segem*, Ankara.
- [28] **Kılıç, A. ve Öztürk, A.,** 1983. Güneş enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- [29] <http://www.google.com> www.geocities.com/siconvalley/campus/4400/gunes.html
- [30] **Uyarel Ay. ve Öz E.,** 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, **76**, İstanbul.

- [31] **Yazan M.**, 2004. Tabii sirkülasyonlu güneş enerjisi alt seviyesi ile kollektör üst seviyesi arasındaki yüksekliğin verime olan etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **50**, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [32] www.izober.org
- [33] **Dikici D.**, 2004. Doğal soğuk kaynaklardan yararlanan yer altı kanallarında termal enerji depolanması (KTED), Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [34] **Lane G. A.**, 1983. Solar heat storage latent heat material, Volume I, CRC Pres Inc. Boca Raton/Florida, **450**.
- [35] **Abhat, A.**, 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage materials, *Solar Energy*, **30**, 313-332.
- [36] **Dinçer I, Rosen M.A.**, 2002. Thermal energy storage, Systems and applications, John Wiley & Sons. Chicheser (England).
- [37] **Paksoy H.Ö.**, 1992. Thermal analysis of heat storage materials and integrated heat pump and thermal energy storage, Doktora Tezi Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [38] **Lane G.A.**, 1980. Low temperature heat storage with phase change materials, *Int. J. Ambient Energy I*, 155-168.
- [39] **Öztürk H.**, 1997. Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değiştiren maddelerde (PCM) depolanması üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- [40] **Özonur Y.**, 2004. Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değıştiren maddelerin mikrokapsüllenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [41] **Hale, D.V., Hoover, M.J. and O’neill, M.J.**, 1971. Phase Change Materials Hand Book, Report no. HREC- 5183-2LMSC-HREC D225138, NASA, *Marshall Space Flight Center*, Alabama.
- [42] **Garg, H.P., Mullick, S.C. and Bhargava, A.K.**, 1985. *Solar Thermal Energy Storage*, Dordrecht, Holland, D. Reidel Publishing Co.
- [43] **Buddhi, D. and Sawhney, R.L.**, 1994. Proceeding of thermal energy storage and energy conversion. School of energy and environmental studies, Devi Ahilya University, Indore, India, February 24–25.
- [44] **Zalba, B., Marin J.M., Cabeza, L.F. and Mehling, H.**, 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, **23**, 251-283.
- [45] **Sharma, S. D.**, 1999. Study of thermal energy storage in phase change materials for low temperature solar applications, Ph.D., Dissertation, Devi Ahilya University, Indore, India.
- [46] **Benli, H.**, 2006. Isı depolamalı cam seralarda sıcaklık değışiminin incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [47] **Velraj, R., Seeniraj, B., Hafner, B., Faber, C. and Schwarzer, K.**, 1998. Heat transfer enhancement in a latent heat storage system, *Solar Energy*, **65**, 171–180.
- [48] **Himran, S., Suwondo, A. and Mansoori, G.**, 1994. Characterization of alkanes and paraffin waxes for application as phase change energy storage medium, *Energy Sources*, **16**, 117–128.

- [49] **Hasnain, S.**, 1998. Review on sustainable thermal energy storage technologies, part I: heat storage materials and techniques, *Energy Conservation and Management*, **39**, 1127–1138.
- [50] **Lane, G.A.**, 1989. Phase Change Thermal Storage Materials, In Hand Book of Thermal Design, In Guyer, C., ed. McGraw Hill Book Co.
- [51] **Sarı, A., Tarhan S. ve Kaygusuz, K.**, 2005. Enerjiyi düşük sıcaklıkta gizli ısı olarak depolayan kimyasal maddeler, *Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu*, Kayseri.
- [52] **Sharma, S. D. and Sagara, K.**, 2005. Latent Heat Storage Materials and Systems, A Review, *International Journal of Green Energy*, **2**, 1-56.

ÖZGEÇMİŞ

Sinem KILIÇKAP, 1989 yılında Diyarbakır'ın Ergani ilçesine doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ergani ilçesinde tamamladı. 2006 yılında Ergani Süleyman Nazif Lisesi'nden mezun oldu. Dicle Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2011 yılında bitirdi. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başladı.