

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI BİR ISITMA
SİSTEMİNİN ISIL PERFORMANSININ
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Aynur UÇAR

HAZIRLAYAN
Abdurrahman ORAL

ELAZIĞ-2015

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

**GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI BİR ISITMA SİSTEMİNİN ISIL
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahman ORAL

(112120107)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Tezli Yüksek Lisans

Danışman: Doç. Dr. Aynur UÇAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

HAZİRAN-2015

**GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI BİR ISITMA SİSTEMİNİN ISIL
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdurrahman ORAL

(112120107)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.06.2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 08.07.2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aynur UÇAR

Diğer Juri Üyeleri : Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN

Yrd. Doç. Dr. Erdem IŞIK

Aynur Uçar
İ. Dağtekin
Erdem Işık

HAZİRAN-2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
3. GÜNEŞİN YAPISI	8
4. GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	12
4.1. Termokimyasal Yöntemlerle Enerji Depolama	13
4.1.1. Tersinir Kimyasal Tepkimelerle Isı Depolama	14
4.1.2. Kimyasal Isı Pompasıyla Isı Depolama	15
4.1.3. Termokimyasal Isı Borusuyla Isı Depolama	16
4.2. Mekanik Enerji Depolama	17
4.3. Elektrik Enerjisi Depolama	17
4.4. Güneş Enerjisinin Isıl Yöntemlerle Depolanması	18
4.4.1. Düşük Sıcaklıkta Güneş Enerjisinin Depolanması	20
4.4.1.1. Duyulur Isı Olarak Depolanması	20
4.4.1.1.1. Sıvılarda Depolama	21
4.4.1.1.2. Katılarda Depolama	22
4.4.1.2. Gizli Isı Olarak Depolama	25
4.4.2. Orta ve Yüksek Sıcaklıkta Güneş Enerjisinin Depolanması	28
4.4.2.1. Duyulur Isı Olarak Depolama	29
4.4.2.1.1. Çakıl Yataklar	29
4.4.2.1.2. Isı Enerjisinin Kumda Depolanması	31
4.4.2.2. Kimyasal Tepkimeler Yoluyla Depolama	32
4.4.2.3. Gizil Isı Olarak Depolama	33

5. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ	35
5.1 Düzlemsel Yüzeyle Güneş Kolektörleri	36
5.1.1. Üst Örtü	37
5.1.2. Emici Plaka	38
5.1.3. Isı Yalıtımı	38
5.1.4. Kolektör Kasası	38
5.2. Odaklamalı (Yoğunlaştırıcı) Tip Güneş Kolektörleri	39
5.2.1. Doğrusal Odaklamalı Güneş Kolektörleri	40
5.2.2. Noktasal Odaklamalı Güneş Kolektörleri	41
5.3. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörleri	42
5.4. Vakumlu Güneş Kolektörleri	43
5.4.1. Vakumlu Güneş Kolektör Sistemlerinin Çalışma Prensibi	43
5.4.2. Owens-Illionois Tipi Vakumlu Güneş Kolektör Sistemi	44
5.4.3. General Electric Tipi Vakumlu Güneş Kolektör Sistemi	45
5.4.4. Philips Tipi Vakumlu Güneş Kolektör Sistemi	46
5.4. Vakum Tüplü Kolektörler İle Standart Düz Kolektörlerin Performans ve Verimlerinin Karşılaştırılması	47
6. GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI ISITMA SİSTEMLERİNİN ISIL ANALİZİ.....	48
6.1. Isıl Analiz	48
6.1.1. Enerji Analizi.....	48
6.1.1.1. Konutlarda Isı Kaybı Hesabı.....	49
6.1.1.1.1. İletim ve Taşınım Yoluyla Meydana Gelen Isı Kaybı Hesabı	49
6.1.1.1.2. Sızıntı Yoluyla Meydana Gelen Isı Kaybı Hesabı.....	53
6.1.1.1.3. Havalandırma Yoluyla Meydana Gelen Isı Kaybı Hesabı.....	54
6.1.1.2. Güneş Kolektörleri İçin Enerji Analizi.....	55
6.1.1.3. Isı Deposu İçin Enerji Analizi.....	58
6.1.1.4. Sistemin Birinci Yasa verimi.....	62
6.1.2. Ekserji Analizi.....	62
6.1.2.1. Güneş kolektörlerinin ekserji analizi.....	63
6.1.2.2. Isı deposunun Ekserji Analizi.....	64
6.1.2.3. Sistemin İkinci Yasa verimi.....	66
7. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	67
7.1. Deney Düzenegi.....	67

7.1.1. Güneş Kolektörü Detayları.....	68
7.1.2. Isı Deposu Detayları.....	69
7.1.3. Isıtılan Ortam.....	71
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
8.1. Enerji Analizi Sonuçları.....	72
8.1.1. Kabinin Isıl Kayıpları.....	73
8.1.2. Kolektör İçin Enerji Analizi Sonuçları.....	75
8.1.3. Isı Deposunun İçin Enerji Analizi Sonuçları.....	88
8.2. Ekserji Analizi Sonuçları.....	92
8.2.1. Kolektör İçin Ekserji Analizi Sonuçları.....	92
8.2.2. Isı Deposu İçin Ekserji analizi Sonuçları.....	100
8.2.3. Kabin İçin Ekserji Analizi Sonuçları.....	104
8.3. Sistemin verimi.....	108
8.3.1. Sistemin Birinci Yasa verimi.....	108
8.3.2. Sistemin İkinci Yasa verimi.....	110
8.4. Sonuç.....	112
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ.....	118

ÖZET

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde bulunan Bismil Meslek Yüksekokulu bahçesinde kurulmuş olan bir güvenlikçi kabininin Mart ayında 17.00 ile 20.00 saatleri arasında, Nisan ayında ise sıcaklığın 21°C'nin altına düştüğü saatlerde ısıtılması amaçlanmıştır. 1.416x1.516x2.44 m ölçülerinde olan kabinin toplam hacmi 4.82 m³'tür. Kabinin ısı kayıplarının karşılanması amacıyla her biri 0.89x1.89 m ölçülerinde olan 2 adet düzlemsel havalı güneş kolektörü kullanılmıştır. Güneş enerjisinin depolanması amacıyla 0.6x0.66x1.60 m ebatlarında içerisinde 260 adet 1.5 lt'lik su şişesi bulunan ahşap duvarlı ve polietilen köpüğüyle yalıtılmış bir ısı deposu hazırlanmıştır. Sistemdeki hava 313 m³/h debili bir fan yardımı ile sirküle ettirilmektedir. Isı depolama zamanında hava önce kolektör içerisinden geçirilerek ısıtılıyor, daha sonra sıcak hava, depodan geçirilerek şişelerdeki suyun ısınması sağlanmaktadır. Kabinin ısıtılması zamanında ise, depodan geçirilen soğuk hava ısıtılıp kabine aktarılmaktadır.

Kurulan bu sistemde, Mart ayında kabinin ısı ihtiyacının karşılanma oranı ortalama %97.88 ve Nisan ayında ise kabinin toplam ısıtma süresi, ortalama 6.58 saat olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji depolama, Güneş enerjisinin depolanması, Enerji analizi, Ekserji analizi.

SUMMARY

INVESTIGATION THERMAL PERFORMANCE OF A HEATING SYSTEM WITH SOLAR ENERGY STORAGE

In this study, it is aimed to heat a safety cabinet by means of solar energy in accordance with research of heating the building with the solar energy. Safety cabinet has a volume of 4.82 m³ and dimension of 1.416x1.516x2.44 m . In order to compensate the heat loss of the center, an active heating system which constitutes of total 3.36 m² planar air solar collector with two 1.68m² parts, was built. Besides, there was a heat store with 0.6x0.66x1.60 m dimension, which includes 260 ea 1.5 l water bottles to storing solar energy. In each system, air is circulated by a 313 m³/h debiated fan and heated by circulating in collector and then passed through heat store.

It was calculated that the assembled system, met the 97.88 % of heat need of the safety cabinet in march. Also in this study, the decharge periyod for april which is in need of heating was calculated as 6.58 hours.

Keywords: Storage of energy, storage of the solar energy, Analyses of the energy,Analyses of the exergy.

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Türkiye'nin yıllık güneş ışınımı potansiyeli	11
Şekil 4.1. Enerji depolama yöntemleri	13
Şekil 4.2. Güneş enerjisinin ısı enerji olarak depolama yöntemler	19
Şekil 4.3. Maddenin hal değişimi esnasındaki enerji depolama-sıcaklık grafiği	27
Şekil 4.4. Orta ve yüksek sıcaklıklarda güneş enerjisinin ısı olarak depolanma yöntemleri	28
Şekil 4.5. Çakıl yatak ısı depolama sistemi	29
Şekil 5.1. Güneş enerjisi ve ek ısı kaynağı ile kapalı devre sıcak su eldesi	35
Şekil 5.2. Kolektörün kısımları	36
Şekil 5.3. Düzlemsel güneş kolektörünün kesit görünüşü	36
Şekil 5.4. Farklı düzlemsel güneş kolektörü tasarımları	37
Şekil 5.5. Doğrusal yoğunlaştırıcı kolektör	41
Şekil 5.6. Noktasal yoğunlaştırıcı kolektör	42
Şekil 5.7. Vakumlu kolektörün görünüş ve kısımları	43
Şekil 5.8. Vakum tüplü kolektörün çalışma prensibi	44
Şekil 5.9. Owens-Illionois tipi vakumlu güneş kolektörü	45
Şekil 5.10. General elektric tipi toplayıcı	46
Şekil 5.11. Vakumlu tüplü, cam kasalı ve ahşap kasalı kolektörlerin verim karşılaştırmaları	47
Şekil 6.1. Yüzeysel ısı taşınım dirençleri.....	50
Şekil 6.2. Isı depolama aşaması.....	59
Şekil 6.3. Ortam ısıtma aşaması.....	60
Şekil 7.1.a. Güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin prensip şeması.....	67
Şekil 7.1.b. Güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin genel görüntüsü.....	68

Şekil 7.2.a. Düzlemsel güneş kolektörünün kesit görünüşü.....	69
Şekil 7.2.b. Düzlemsel güneş kolektörleri.....	69
Şekil 7.3.a. Isı deposu detayları.....	70
Şekil 7.3.b. Isı deposu görünümü.....	70
Şekil 7.4.a. Kabinin üst görünüşü.....	71
Şekil 7.4.b. Kabinin zemini, tavanı ve duvarlarının cidar ölçüleri.....	71
Şekil 8.1. Mart ve nisan ayları için optimum eğim açıları.....	77
Şekil 8.2. Yataya gelen ışınımın eğik düzlemdeki artış miktarı (%).....	79
Şekil 8.3. Diyarbakır ili için, (a) mart ve (b) nisan aylarında yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışınım değerleri	80
Şekil 8.4.1. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınım değerlerinin (a) 1mart (b) 15mart (c) 31mart için saatlik değişimi.....	82
Şekil 8.4.2. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınım değerlerinin (a) 1 nisan (b) 15 nisan (c) 30 nisan için saatlik değişimi.....	83
Şekil 8.5. Diyarbakır ilinde kolektör yüzeyine gelen toplam ışınım değerleri ve kolektörden elde edilen enerji miktarının (a) mart ve (b) nisan ayı içi değişimi.....	84
Şekil 8.6. Mart ve nisan ayları için kolektör veriminin günlük değişimi.....	87
Şekil 8.7. (a) mart ve (b) nisan ayı için depolanan enerji miktarları.....	90
Şekil 8.8. (a) mart ve (b) nisan ayı için günlük depo veriminin değişimi	91
Şekil 8.9. (a) mart ve (b) nisan ayı için kolektöre ait ekserji miktarları.....	94
Şekil 8.10. (a) mart ve (b) nisan ayı için kolektörün ikinci yasa verimi.....	95
Şekil 8.11. (a) mart ve (b) nisan ayı için günlük güneş ışınımı ve güneş ekserjisi miktarları.....	98
Şekil 8.12. Mart ve nisan ayları için güneş ışınımının faydalanılabilirlik oranı	98
Şekil 8.13. (a) mart ve (b) nisan ayı için kolektörden alınan enerji ve ekserji miktarları.....	99
Şekil 8.14. Kolektörden alınan enerjinin ekserjiye dönüşen miktarı (faydalanılabilirlik oranı)	99
Şekil 8.15. (a) mart ve (b) nisan ayı için deponun ekserji değerleri	102
Şekil 8.16. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı deposunun verimi	102
Şekil 8.17. (a) mart ve (b) nisan ayında günlük depolanan enerji ve ekserji miktarları.....	103
Şekil 8.18. Depolanan enerjiden elde edilebilen faydalanılabilirlik oranı	104

Şekil 8.19. (a) mart ve (b) nisan ayında kabinin ekserji miktarları.....107

Şekil 8.20. Sistemin (a) mart ve (b) nisan ayı için birinci yasa verimi109

Şekil 8.21. Sistemin (a) mart ve (b) nisan ayı için ikinci yasa verimi.....111

TABLolar LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı	10
Tablo 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel dağılımı	10
Tablo 4.1. Bazı maddelerin 20 °C'deki ısı özellikleri	21
Tablo 4.2. Bazı sıvı maddelerin termofiziksel özellikleri	22
Tablo 4.3. Duyulur ısı depolamak amacıyla kullanılan bazı katı malzemelerin termofiziksel özellikleri	24
Tablo 4.4. Gizli ısı depolamakta kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özellikleri.....	27
Tablo 4.5. Kimyasal tepkimeler yoluyla ısı depolamakta kullanılan malzemeler	33
Tablo 4.6. Yüksek sıcaklıklarda gizil ısının depolanmasında kullanılan tuzlar	34
Tablo 5.1. Ortalama verim tablosu	47
Tablo 6.1 Hava tabakalarının ısı geçirgenlik dirençleri.....	51
Tablo 6.2 Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri	52
Tablo 6.3 Bina işletme durumu değeri	52
Tablo 6.4 Kat yükseklik artırım değeri	52
Tablo 6.5 Yön artırım değeri.....	52
Tablo 6.6. Kapı ve pencerelerin sızdırganlık kat sayısı.....	53
Tablo 6.7. Oda durum katsayısı.....	54
Tablo 6.8 Bina Durum Katsayısı.....	54
Tablo 8.1. Yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik hesap değerleri.....	72
Tablo 8.2. Mart ayı için, 17.00 ile 20.00 saatleri arasında kabinin toplam ısı ihtiyacı	73
Tablo 8.3. Nisan ayı için kabin içi sıcaklığın 21°C'nin üzerinde tutulabildiği süre boyunca kabinin toplam ısı ihtiyacı	74
Tablo 8.4.a. Mart ayına ait optimum eğim açıları.....	75
Tablo 8.4.b. Nisan ayına ait optimum eğim açıları.....	76

Tablo 8.5. Diyarbakır ili için mart ve nisan aylarına ait yatay düzlem güneş ışınımı ve berraklık indeksi.....	77
Tablo 8.6.a. Diyarbakır ili için mart ayındaki güneşli günlerde 34.36°'lik eğik düzlemdeki kolektör toplam alanına gelen toplam güneş ışınımı	78
Tablo 8.6.b. Diyarbakır ili için nisan ayındaki güneşli günlerde 34.36°'lik eğik düzlemdeki kolektör toplam alanına gelen toplam güneş ışınımı	79
Tablo 8.7. Mart ve nisan aylarının bazı günleri için saatlik yatay ve eğik yüzeye gelen ışınım miktarları	81
Tablo 8.8.a. Mart ayı için kolektör veriminin değişimi	85
Tablo 8.8.b. Nisan ayı için kolektör veriminin değişimi	86
Tablo 8.9.a. Mart ayı için günlük depo verimi.....	88
Tablo 8.9.b. Nisan ayı için günlük depo verimi.....	89
Tablo 8.10.a. Güneş kolektörünün mart ayı için ikinci yasa verimi.....	92
Tablo 8.10.b. Güneş kolektörünün nisan ayı için ikinci yasa verimi.....	93
Tablo 8.11.a. Mart ayı için güneş enerjisinin faydalanılabilirlik miktarının değişimi.....	96
Tablo 8.11.b. Nisan ayı için güneş enerjisinin faydalanılabilirlik miktarının değişimi.....	97
Tablo 8.12.a. Mart ayı için deponun ekserji değerleri.....	100
Tablo 8.12.b. Nisan ayı için deponun ekserji değerleri.....	101
Tablo 8.13.a. Mart ayı için kabinin ekserji ihtiyacının karşılanma oranı.....	105
Tablo 8.13.b Nisan ayı için kabinin ekserji ihtiyacının karşılanma oranı	106
Tablo 8.14. Mart ve nisan ayları için sistemin birinci yasa verimi.....	108
Tablo 8.15. Mart ve nisan ayları için sistemin ikinci yasa verimi.....	114

SEMBOLLER LİSTESİ

m_h	: Hava kütlesi (kg)
v_h	: Hava akış hızı (m/s)
c_p	: Özgül ısı (kJ/kg °C)
\dot{m}	: Kütleli debi (kg/s)
\dot{v}	: Hacimsel debi (m ³ /sn)
ρ_h	: Havanın yoğunluğu (kg/m ³)
h_o	: Çevre şartlarındaki entalpi (kJ/kg)
h	: Sistemin bulunduğu şartlardaki entalpisi (kJ/kg)
h_1	: Giriş şartlarındaki entalpi (kJ/kg)
h_2	: Çıkış şartlarındaki entalpi (kJ/kg)
s	: Sistemin bulunduğu şartlardaki entropi (kJ/kg-K)
s_o	: Çevre şartlarındaki entropi (kJ/kg-K)
s_1	: Giriş şartlarındaki entropi (kJ/kg-K)
s_2	: Çıkış şartlarındaki entropi (kJ/kg-K)
T_i	: İç sıcaklık (°C)
T_o	: Dış ortam sıcaklığı (°C)
T_{iref}	: Konut içi referans sıcaklığı (°C)
T_{kog}	: Kolektör giriş sıcaklığı (°C)
$T_{koç}$: Kolektör çıkış sıcaklığı (°C)
T_{dg}	: Depo giriş sıcaklığı (°C)
$T_{dç}$: Depo çıkış sıcaklığı (°C)
T_{kag}	: Kabin giriş sıcaklığı (°C)
$T_{kaç}$: Kabin çıkış sıcaklığı (°C)
T_{do}	: Depo içi ortalama sıcaklık (°C)
T_g	: Güneş radyasyonu sıcaklığı (5777 K)
A	: Yüzey alanı (m ²)
A_k	: Kolektör yüzey alanı (m ²)
k	: Isı iletim katsayısı (W/m ² K)
U	: Toplam ısı iletim direnci (W/m ² K)
R	: Isıl iletkenlik direnci (m ² K/W)
R_i	: İç taşınım direnci (m ² K/W)
R_d	: Dış taşınım direnci (m ² K/W)
d_n	: Yapı malzemesi kalınlığı (m)
Z	: Binanın durumu, yüksekliği ve yönünden kaynaklanan ısı artırımları
Z_D	: Bina işletme durumu değeri (%)
Z_W	: Kat yükseklik artırım değeri (%)
Z_H	: Yön artırım değeri (%)

I_e	: Eğik yüzeyin birim alanına gelen güneş ışınımı (kJ/m ²)
I_{yt}	: Yatay yüzeyin birim alanına gelen güneş ışınımı (kJ/m ²)
I_0	: Atmosfer dışı yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınımı (kJ/m ² h)
k_t	: Güneş ışınımının saatlik berraklık indeksi
Q_{kt}	: Konutun toplam ısı ihtiyacı (kJ/h)
$Q_{i,t}$: İletim ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı (kJ/h)
Q_s	: Sızıntı yoluyla meydana gelen ısı kaybı (kJ/h)
Q_h	: Havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı (kJ/h)
Q_k	: Kolektörden alınan ısı (kJ/h)
Q_{bk}	: Borulardan kaybolan ısı (kJ/h)
Q_{dg}	: Depoya giren ısı (kJ/h)
$Q_{dgç}$: Depodan geri çıkan ısı (kJ/h)
Q_d	: Depolanan ısı (kJ/h)
Q_{dk}	: Depodan kaybolan ısı (kJ/h)
$Q_{dç}$: Depodan çekilen ısı (kJ/h)
Q_{kag}	: Kabine giren ısı (kJ/h)
Q_{kt}	: Kabin toplam ısı ihtiyacı (kJ/h)
I	: Tersinmezlik oranı (kJ/h)
ϵ_k	: Kolektörden alınan ekserji (kJ/h)
ϵ_g	: Güneşin ekserji akışı (kJ/h)
ϵ_{dg}	: Depoya giren ekserji (kJ/h)
$\epsilon_{dç}$: Depodan çıkan ekserji (kJ/h)
ϵ_{da}	: Depoya aktarılan ekserji (kJ/h)
ϵ_{dk}	: Depodan kaybolan ekserji (kJ/h)
ϵ_d	: Depolanan ekserji (kJ/h)
ϵ_{kag}	: Kabine giren ekserji (kJ/h)
η_k	: Kolektör verimi (%)
η_I	: Sistemin birinci yasa verimi (%)
η_{II}	: Sistemin ikinci yasa verimi (%)

1. GİRİŞ

Enerji toplumların sosyal ve ekonomik refahlarının artması için gerekli olan önemli bir faktördür. 1900'lerin başlarından itibaren artan dünya nüfusu ve yaşam kalitesinin yükselmekte oluşu enerji ihtiyacında ve tüketim hızında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Bu artışın fosil yakıtların kullanımında yoğunlaşması sonucu, oluşması milyonlarca yıl alan yakıtlar, insanlık tarihine göre çok kısa sayılabilecek bir süre içerisinde hızla tükenmektedir. Son yüzyıl içerisinde oluşan bu aşırı kullanım nedeni ile sınırlı olan fosil yakıt kaynaklarındaki azalma tehlikeli seviyelere ulaşmıştır.

Enerji üretimi ve tüketimi, çağımızda milletlerin refah seviyesini gösteren bir ölçü olmuştur ve ekonomik gelişme enerji tüketimi ile aşağı yukarı orantılı olarak değişmektedir. İnsanların kullandığı enerji kaynağı teknolojik gelişmelere göre değişmiştir. Önceleri enerji kaynağı olarak sadece odun ve benzeri yakacaklar kullanılırken, uzun süre sonra kömür ve yakın tarihte petrol ve doğalgaz bulunup kullanılmaya başlanmıştır.

Enerji kaynakları, üretildiği miktarlar göz önüne alınarak, birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak iki grupta incelenmektedir. Ayrıca, potansiyeli mevcut olan ve teknolojik güçlükler sebebi ile yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına 'yeni' ve eksilmeyen kaynaklara da 'yenilenebilir' enerji kaynakları denilmektedir. Birincil enerji kaynakları fosil kaynaklar (kömür, petrol, v.s), hidrolik enerji ve nükleer enerji, ikincil enerji kaynakları ise güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, gelgit enerjisi, dalga enerjisi v.s. dir.

Dünyada tüketilen enerjinin %90'ına yakını fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Fosil kaynaklar içerisinde de en çok kullanılanı petroldür. Fosil yakacaklar, bugünkü oranda kullanılmaya devam edilirse yakın gelecekte tükenmeye başlayacaktır [1].

Günümüzde, fosil enerji kaynakları tüketim oranının azaltılması, dünyadaki fosil enerji kaynaklarının gelecek yıllarda tükenmesinin önlenmesi ve günümüz enerji kaynakları varlığının korunması amaçlarına yönelik olarak yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz ısı depolama sistemlerinin geliştirilmesine yönelik yoğun araştırmalar sürdürülmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerjisinin depolanması, enerji ve ekserji analizine yönelik bugüne kadar birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir çoğu güneş enerjisinin depolanması, ekserjinin tanımı, çeşitlerinin açıklanması ve ekserji analizlerine yöneliktir. Bu bölümde yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Kılıç ve ve Öztürk tarafından ifade edildiği gibi Güneş ısınımı asırlardan beri yeryüzüne geldiği halde bilinçli faydalanmaya başlanması oldukça yenidir.

Sokrat (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere koyarak güneş ışığının içeri girmesini ve kuzey tarafını yüksek yaparak rüzgarın önlenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Arschimed'in (M.Ö. 250) iç bükey aynalarla güneş ışığını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmektedir.

Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yılında Galile'nin merceği bulması ile artmıştır.

İlk defa Fransa'da, 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir pompa yapılmıştır.

Güneş enerjisi ile çalışan, iş yapan akışkanın hava olduğu bir makine 1868 yılında Ericsson tarafından geliştirilmiştir. Bu yıllarda güneş enerjisi konusundaki çalışmalar yoğunlaşmış tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Adams, Hindistan'da yedi askerin yemeğini, en soğuk ay sayılan ocak ayında, konik yansıtıcı güneş ocağıyla iki saatte pişirmiştir.

Shuman ve Boys parabolik aynalar yardımı ile bir buhar üreticisi yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil Nehrinden su çeken 50 BG gücündeki su pompasını çalıştırmışlardır.

Güneş enerjisi araştırmaları ile ilgili ilk önemli toplantı 1954 yılında Yeni Delhi'de yapılmış ve "Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği" nin kurulması kararlaştırılmıştır.

Güneş enerjisinin önem kazanması daha çok 1973 yılındaki dünya enerji krizi ile olmuştur. Günümüzde güneş enerjisinden birçok alanda yararlanılmakta ve her geçen gün faydalanma alanı artmaktadır.

Güneş enerjisi sistemleri üzerindeki bugünkü anlamda çalışmalar 1938 yılına kadar dayanır. 1938 yılından sonra bu konularla ilgili modern araştırma ve uygulama teknikleri geliştirmeye çalışmışlardır. Özellikle 1940'lı yıllardan sonra Massachusetts Institute of Technology (MIT)'den bir çalışma grubu bu konuda uygulamalı çalışmalara başlayarak çeşitli düzenlemelerle halen günümüzde kullanılan kolektörlerin performansını hesaplayacak çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir.

S.S.Klein, W.A.Beckman ve J.A.Duffie tarafından yapılan bir çalışmada hava ve sıvı esaslı hacim ısıtma sistemleri karşılaştırılmıştır. Kollektör verim faktörünün havalı tip kolektörler için daha düşük olmasına rağmen, havalı sistemlerin; aynı kolektör ısı performans parametreleri ile sıvı esaslı bir sistemden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada sıvı esaslı hacim ve su ısıtma sistemi için dizayn prosedürünün bir uzantısı olan ısı transfer akışkanı olarak havanın, depolama materyali olarak çakıl taşlarının kullanıldığı bir hacim ısıtma sistemi üzerine çalışılmış ve performans değerlerini belirlemişlerdir.

Braun ve arkadaşları herhangi bir güneş enerjisi uygulamasında, ısı depolama kapasitesinin, ısı yükü dağılımı ve gelen güneş ışınımına bağlı olduğunu depolama (su) hacmi/kollektör alanının, 100 L/m² değerinden daha yüksek olması durumunda, ısı depolama kapasitesinin, günlük iklim değişimlerinin etkisini azaltmak için yeterli olacağını belirtmişlerdir.

Ekserji analizi konusundaki çalışmalar ise Gouy ve Stodola ile başlamıştır. Daha sonraki yıllarda F.Bosnjakovic tarafından ekserji geliştirilerek modernize edilmiştir ve bu kavram değişik termodinamik kitaplarında geniş yer almıştır.

Araştırmacılar 20. yüzyılın başlarında, ikinci kanuna dayalı ekserji analizi ve bununla birlikte kullanılan ekonomik analizlerinden yola çıkarak ürünlerin ekserjilerini baz alarak ısı güç sistemlerinde elektriğin gerçek fiyatını belirlemişlerdir.

Moran ve Scuibba, ekserji çeşitlerini tanımlamışlardır. Ayrıca ekserji analizinin prensiplerini ve pratik temel bağıntılarını ortaya koyarak ekserji çeşitleri için bağıntıları ayrı ayrı çıkarmışlardır.

Nakicenovic ve arkadaşları, ise çeşitli ülkelerin ekserji ve enerji durumlarını sektörlere göre incelemişlerdir. Bu çalışmalarda da konutlara harcanan yararlı ekserjinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Rosen, kapalı bir ısı değiştirici, adyabatik bir yakma ünitesi ve kazan ünitesinin analizi için termodinamiğin ikinci yasasından yararlanmıştır.

Eğrican ve Özdoğan, ekserji kavramı enerjinin gerçek mühendislik değerini ortaya koyduğundan, enerji sistemlerinin ekonomik analizinde de ekserjiden yararlanılabileceğini ve ekserjiye dayalı ekonomik analizin hangi koşullarda önem kazanacağını açıklamışlardır

Rosen ve Dinçer, Türkiye’de ekonomik açıdan önem taşıyan dört önemli sektörde enerji ve ekserji akışlarını dikkate alarak sektörel enerji kullanımının incelenmesi amacıyla bir modelleme tekniği geliştirmişlerdir. Türkiye ekonomisi için önem taşıyan bu sektörlerin enerji ve ekserji verimleri (etkinlikleri) belirlenmiştir. Uygulanan bu yöntemin, sektörel enerji kullanımının analizi için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Binark, aynı boyutlardaki üç tip model kolektörün etkinliğini termodinamiğin birinci yasasına ve ekserji analizine bağlı olarak incelemiştir. Kolektörler içerisinde dolaşan hava hızlarının yüksek olması durumunda birinci yasaya bağlı olarak hesaplanan etkinlik değerlerinin yüksek olmasına karşın, ikinci yasa verimlilik (ekserjetik etkinlik) değerleri düşük hava hızlarında daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Bejan tarafından yapılan çalışmada, duyulur ısı depolama sisteminin analizi için termodinamiğin ikinci yasasından yararlanılmıştır. Isı depolama sistemlerinin asıl işlevinin enerji depolama değil, yararlı iş veya termodinamik yararlılık depolama olduğu belirtilmiştir. Bu yaklaşım, depolanan toplam enerji miktarının artırılmasının aksine, termodinamik yararlılık azalımının (entropi üretiminin) en aza indirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Yapılan çalışmada; sadece ısı depolama işlemi incelenerek, sistemin tasarım ve işletilmesi için en uygun değerlerin belirlenmesine çalışılmıştır.

Krane, ısı depolama ve geri kazanma işlemlerinin gaz ile sürdürüldüğü bir duyulur ısı depolama sisteminin en uygun tasarımı ve işletilmesi için, entropi üretiminin en aza indirilmesine dayanan termodinamiğin ikinci yasasını uygulamıştır. Bu tür sistemlerin ve etkinliklerinin daha iyi olması için; sadece ısı depolama işleminin değil, ısı depolama ve geri kazanma işlemlerinden oluşan toplam bir çalışma çevriminin dikkate alınmasının gerektiğini belirtmiştir.

Rosen ve Hooper, ısı depolama sistemlerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için termodinamiğin ikinci yasasının analizinin önemini ve yararını tartışmışlardır. Isı depolama sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi için, dikkate alınması gereken bazı termodinamik etmenler tanımlanmıştır. Aküferde ısı enerjisi depolama sistemi (ATES) etkinliğinin belirlenebilmesi için enerji analizi uygulanmıştır. Ekserjetik etkinlik hesaplamalarında ; ısı depolama ünitesine ve ısı depolama ünitesinden geçen ısı miktarı ile

birlikte, ısı geçişine ilişkin sıcaklıklar da dikkate alındığından, ATEs etkinliğinin ekserji analizine bağlı olarak belirlenmesinin daha yararlı ve anlamlı olacağı belirtilmiştir.

Rosen ve Arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ısı depolama sistemlerinin etkinliklerinin belirlenmesi için, ekserji analizinden yararlanılmıştır. Isı geçişlerinin bir ısı değiştirici yardımıyla sağlandığı basit bir kapalı tanktan oluşan ısı deposu için enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Çalışmada, ekserji analizi ile ısı depolama etkinliklerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır.

Christopher ve arkadaşları çalışmalarında; geçmiş yıllardaki petrol krizlerinden dolayı yeni enerji kaynakları ihtiyacının daha acil hale geldiğini belirtmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları, tüketilemez oldukları ve çevre üzerinde fosil yakıtlardan daha az kötü etkilere sahip oldukları için probleme bir çözüm sağlayabileceğini düşünmüşlerdir. Araştırmada, güneş enerjisi, rüzgar gücü ve jeotermal enerjinin ekserji analizini ve mevcut enerjiden ne kadarının gerçek anlamda kullanılabildiğini incelemişlerdir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları ile yenilenemez enerji kaynakları, verimlilik açısından karşılaştırmışlardır.

Rosen ve Dinçer, termal sistemler ve proseslerin analizi için orijinal bir metod geliştirmişlerdir. Bu metod; ekserji miktarı, maliyet, enerji ve kütleyle dayanır ve EXCEM analizi olarak bahsedilir. Bir modern proses simülasyon kodu olan Apsen Plus'ın iletilmesiyle, EXCEM analizi için bir kodun geliştirilmesi tarif edilmiştir. Metod ve kodun, çeşitli mühendislik proseslerinin elektrik üretimi, hidrojen ve hidrojenen elde edilen yakıtlar analizine uygulanmasını tartışmışlardır. Ekserji kaybı, ana sermaye ve çevresel etki arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Eğrican ve Özdoğan yaptıkları çalışmada Termodinamiğin birinci yasasına göre değişik enerji türlerinin toplamının sabit kalacağını, buna karşılık ekserji harcanacağını, diğer bir deyişle, sistemin iş yapma kapasitesinin azalacağını özetlemişlerdir. Ekserji kavramı esas alınarak, değişik enerji türlerinin iş yapabilme açısından kalite farklılıkları enerji dönüşümlerinin gerçek verimliliğini ve verimsizliğini oluşturan süreç ve/veya ekipmanların saptanabileceğini belirtmişlerdir.

Bejan 1982 yılında, gerçek işlemlerde; enerji korunumundan farklı olarak, sürtünme ve sonlu sıcaklık farklarından transfer edilen ısı gibi tersinmezliklerle ekserji tüketildiğini belirtmiştir. Bu durum, sistemdeki tersinmezliklerin azaltılarak, ekserji azalmasının en aza indirilmesi ilkesine dayanan ısı sistem tasarımlarının en iyilenmesi yaklaşımını gündeme getirir. Esas olarak yukarıda belirtilen bu yaklaşımla, bir ısı sistem

için en uygun tasarım yöntemi; sistemdeki entropi üretiminin en aza indirilmesi ilkesine dayanır. Isıl sistemlerin tasarımı için belirtilen bu iki yaklaşımın aynı olması, ekserji azalımının entropi üretimiyle doğrudan orantılı olduğunu belirten Gouy-Stodola teoreminden gelir. Bu durumda, sistemdeki entropi üretiminin en aza indirilmesiyle, ekserji azalımı da en aza indirilmiş olduğu belirlenmiştir.

Gunnewiek ve ark, ısı depolama sistemlerinde, ısı geri kazanma aşamasını enerji ve ekserji analizleriyle incelemişlerdir. Analizlerde aşağıdaki gibi varsayımlar yapılmıştır:

- Duyulur ısı depolama sistemi, adyabatik ve adyabatik olmayan koşullarda olabilir.
- Çevresel etmenler olarak sıcaklık ve basınç sabittir.
- Akışkan akışı; kararlı ve tek boyutludur.
- Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmiştir.

Wyman ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, duyulur ısı depolamak için en uygun materyalin su olduğunu belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada plastik malzemelerden yapılan ısı depolama ünitelerinin düşük sıcaklıkta ısıtma ve soğutma için etkin olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

1991 yılında Turner ve Reno Nevada'da 50 m² bakır üzerine siyah krom kaplı seçici yüzeyli absorberleri kullanarak sıcak hava kolektörleri ile toplam 300 m² lik kullanım alanına sahip hacmin, ısıtma ihtiyacının %90'ını güneş enerjisinden karşılamışlardır. Bu sistemde ısı depolama alanı olarak su dolu tüpler kullanılmış olup kış aylarında hacim ısıtma yaz aylarında ise dahili kullanım için sıcak su ihtiyacı karşılanmıştır.

Chelghoum ve Bejan geçici enerji depolama yeteneğine sahip bir güneş kolektör şebekesi kullanarak elde edilen ekserjiyi hem analitik hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmanın ilk kısmında, giriş ve çıkış debilerinin zamana bağlı olarak değiştiği durumlarda ve kolektörün güneşe maruz kaldığı süreç zarfında, kolektör sıcaklığı optimum sabit bir seviyede tutulursa şebekeden sağlanan toplam ekserjinin maksimum olduğu varyasyonel calculus metodu kullanılarak gösterilmiştir. Çalışmanın ikinci ve üçüncü kısımlarında depolama kapasitesine sahip güneş kolektörlerinin daha gerçekçi modelleri analiz edilmiştir. Analiz göstermiştir ki; incelenilen modellerin herbirinde, doldurma ve boşaltma süreçlerinin göreceli zamanlamasının şebekeden elde edilen toplam ekserji üzerinde büyük etkisi vardır. Çalışmanın ana sonucu şudur: birim kolektör alanına düşen güneş ekserjisini maksimum yapmak için toplama/depolama şebekesinin günlük işletim rejimi tasarım tarafından belirlenir.

Duyulur ısı enerji depolama sistemleri üzerine yapılmış bir diğer çalışmayı ise Krane gerçekleştirmiştir. Bejan'ın sadece depolama süreci için yaptığı ikinci kanun analizini depolama-geri kazanım sürecine uygulamıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre, optimum bir sistem, yaklaşık olarak giren enerjinin faydalanabilirliğinin %70 ila 90 kadarını kaybetmektedir. Krane, buna ilaveten, bir elektrikli ısıtıcı ile çalışan ısı enerji depolama sisteminin ikinci kanun analizini yapmıştır. Elektrik ısıtıcılı ısı enerjisi depolama sistemi, giren ekserjinin yaklaşık %60 ila 80 kadarını kaybetmekte olduğunu belirtmiştir.

Moran ve Keyhani, güç santralleri ile birlikte kullanılan ısı enerjisi depolama sistemlerinin birinci ve ikinci kanun analizlerini yapmışlardır. Analiz sonucu elde edilen diferansiyel denklemleri nümerik olarak çözmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda, hem depolama ünitesine aktarılan, hem de tersinmezlikler sonucu kullanılmayan enerjinin daha önce literatürde belirtilen değerlerden daha düşük oranda olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca hem ısı hem de ekonomiklik açısından bu tip depolama sistemlerinin optimum performansları ile ilgili bir tartışma ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

Rosen, termal enerji depolama sistemleri için, belirli bir eşik sıcaklığı belirleyerek, depolama ve boşalma zamanlarını dikkate alarak, enerji ve ekserji verimliliklerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda ise enerji karşılama oranının % 70'e ve ekserji karşılama oranının ise % 40'a ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Rosen, Le ve Dinçer, tarafından Kanada'da elektrik ve kullanılabilir ısının aynı anda üretilmesine yönelik yapılan çalışmada enerji ve ekserji verimliliklerinin değerlendirilmesi yapılmış ve enerji karşılama oranının % 83 ile % 94 arasında değişebileceği, ekserji verimliliklerinin ise % 28 ile % 29 arasında değiştiği belirlenmiştir.

3. GÜNEŞİN YAPISI

Güneş, $1,39 \times 10^9$ m çapında, 2×10^{30} kg kütlede olan ve yoğun sıcak gazlar içeren bir küredir. Dünyadan yaklaşık $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıktadır. Yüzey sıcaklığı 5777 K'dir. Bu sıcaklık merkeze doğru 4×10^6 K ile 6×10^6 K arasında değişim gösterir.

Güneş'in %80'i hidrojen ve %19'u ise helyum gazından oluşur. Hidrojen çekirdekleri arasındaki kaynaşım tepkimeleri, güneş enerjisinin temelini oluşturur. Dört hidrojen çekirdeği birleşerek, bir helyum çekirdeğini oluşturur ve bu tepkime sonucunda büyük bir enerji ortaya çıkar. Güneşin toplam ışıması, saniyede $3,8 \times 10^{26}$ J'dür ve güneşte bir saniyede 600 milyon ton hidrojen tüketilmektedir.

Güneşten salınan enerjinin, çok küçük bir miktarı (yaklaşık $1,7 \times 10^{17}$ J/s), dünya yüzeyine ulaşmaktadır. Dünya yüzeyine gelen güneş enerjisi, çeşitli dalga boylarında ışınlardan oluşur. Bunların % 9'u morüstü bölgede, % 45'i görünür ışık bölgesinde ve %46'sı ise kırmızıaltı bölgede bulunur. Güneş ışınları havaküreyi geçerken, havaküreyi oluşturan gaz ve toz parçacıkları tarafından soğurulma ve saçılmaya uğrarlar. Dalga boyları $0,32 \mu\text{m}$ 'den küçük olan morüstü ışınlardan, yeryüzünden 25 km yüksekte olan ozon katmanı tarafından soğurlar. Görünür bölge ve kırmızıaltı bölgelerindeki ışınlardan ise, havadaki gaz molekülleri ve toz parçacıkları ile etkileşimleri sonucu saçılırlar. Bu saçılma her yöndedir ve gelen güneş enerjisinin bir kısmı da yeryüzüne ulaşmadan geri döner. Özetleyecek olursak, Güneşten gelen enerjinin yaklaşık % 30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider, % 20'si havakürede soğurulur ve % 50'si ise yeryüzünde soğurulur. İnsanoğlunun güneşten yararlanabileceği enerji, bütün bu soğurulma ve saçılmalar sonucunda dünya yüzeyine ulaşan enerjidir [1].

Güneş enerjisinin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi, arı bir enerji türüdür. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.
- Güneş, tüm dünya ülkelerinin yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır.
- Hiçbir ulaştırma harcaması olmaksızın her yerde sağlanabilmesidir.

- Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler yada ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür.
- Güneş enerjisi doğabilecek her türlü bunalımın etkisi dışındadır. Örneğin ulaşım şebekelerinde yapılacak bir değişiklik bu enerji türünü etkilemeyecektir.
- Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler [30].

Güneş enerjisinin yukarıda belirtilen üstünlüklerine rağmen, günümüzde uygulamalarının az oluşunun sebepleri vardır. Güneş enerjisinin bugünkü karşılaştığı sorunları şöyle sıralanabilir;

- Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.
- Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gereken düzeneklerin yatırım giderleri bugünkü teknolojik aşamada yüksektir.
- Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilemez.
- Bir çok kullanım alanının, enerji arzı ile talebi arasındaki zaman farkı ile karşılaşılmaktadır.
- Güneş enerjisinden elde edilen ışınım talebinin yoğun olduğu zamanlarda kullanılmak üzere depolanmasını gerektirir. Enerji depolanması ise bir çok sorun yaratmaktadır [30].

Tablo 3.1’de Türkiye’nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı verilmiştir

Tablo 3.1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [31].

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
NİSAN	122.23	197.0
MAYIS	153.86	273.0
HAZİRAN	168.75	325.0
TEMMUZ	175.38	365.0
AĞUSTOS	158.40	343.0
EYLÜL	123.28	280.0
EKİM	89.90	214.0
KASIM	60.82	157.0
ARALIK	46.87	103.0
TOPLAM	1311.00	2640.0
ORTALAMA	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

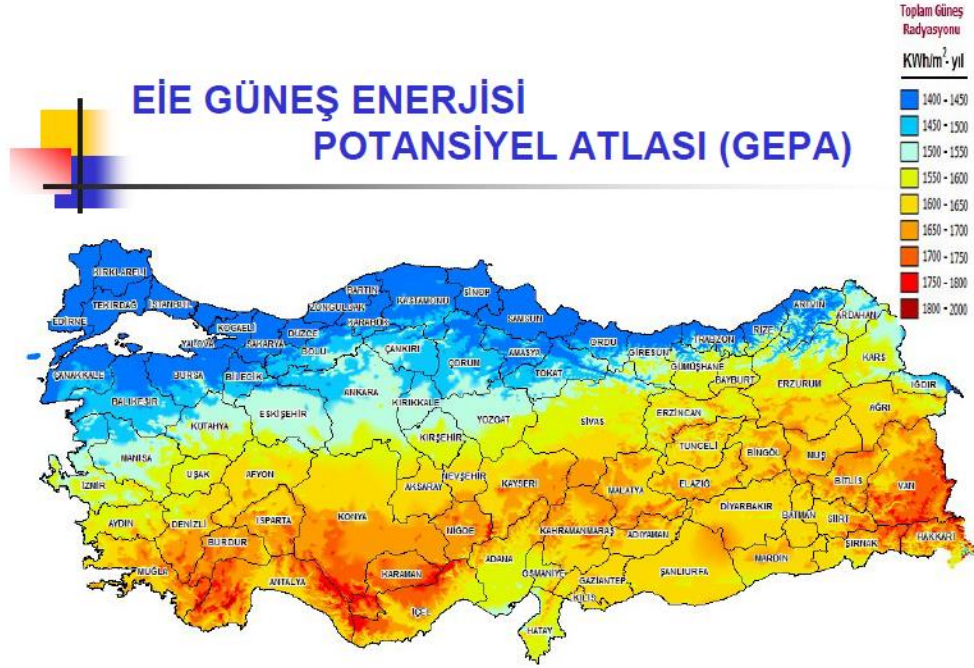
Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir.

Tablo 3.2. de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 3.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgesel dağılımı [31].

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi (kWh/m ² -yıl)	En çok güneş enerjisi (Haziran) (kWh/m ²)	En Az güneş enerjisi (Aralık) (kWh/m ²)	Ortalama güneşlenme süresi (saat/yıl)	En çok güneşlenme süresi (Haziran) (saat)	En az güneşlenme süresi (Aralık) (saat)
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Şekil 3.1'de Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan, Türkiye'nin illere göre yıllık güneş ışınımı potansiyeli haritası verilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye'nin yıllık güneş ışınnımı potansiyeli [31].

4. GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

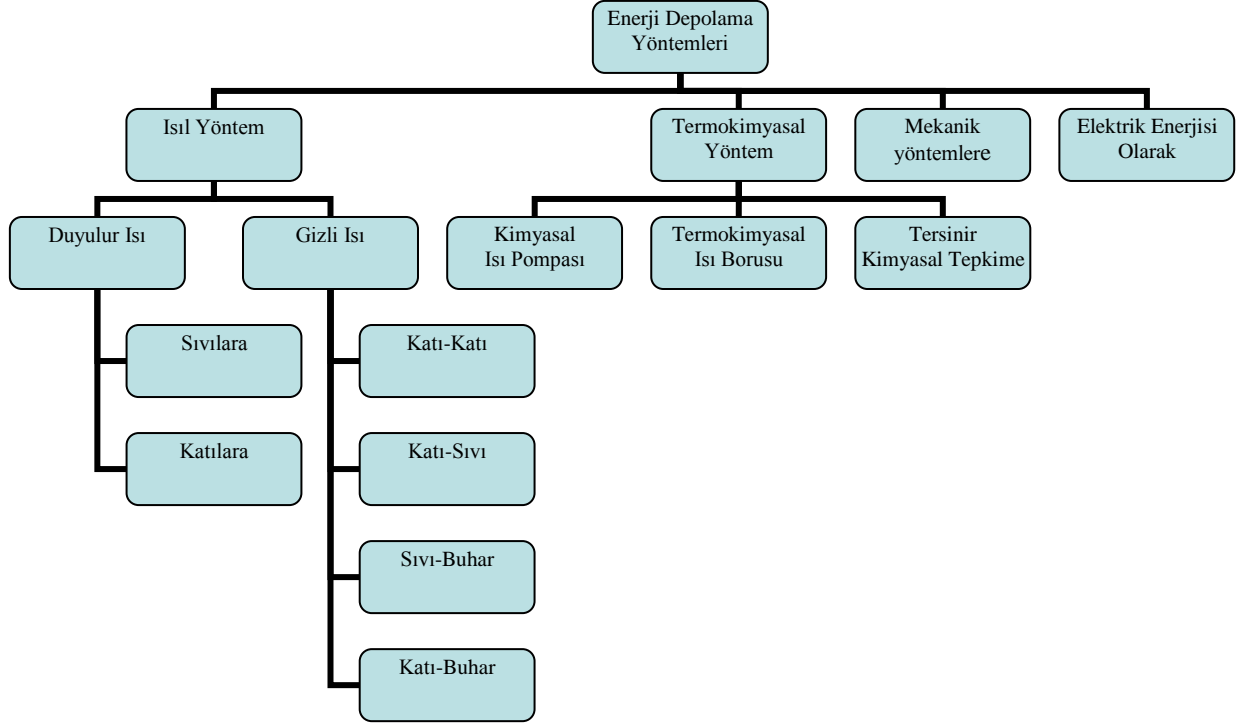
Güneş enerjisi doğrudan ışıınım enerjisi olarak depolanamadığından, bu enerji çeşidinin kullanılabilmesi için mutlaka başka enerji türlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Güneş enerjisi; soğrulma, ısıl dönüşüm ve fotovoltaik sistemler ile diğer enerji şekillerine dönüştürülebilir. Özel dönüşüm şekli ve cihazlarına bağlı olarak dönüşüm sonucunda elde edilen enerji; ısı veya elektrik enerjisi şeklinde olabilir. Dönüştürülen enerji hemen kullanılabilir veya daha sonra yararlanılmak üzere özel yöntemlerle depolanabilir. Enerjinin depolanması mühendisliğin en önemli konularından birisidir ve bu konuda tüm dünyada çok geniş çalışmalar yapılmaktadır.

Güneş ışıınımı geceleri hiç gelmediği gibi gündüzleri de saatlere göre farklılık göstermektedir. Havanın kapalı olduğu zamanlarda ise çoğu kez yeterli miktarlarda değildir. Oysa enerji tüketimi süreklidir. Günün saatlerine ve aylara göre değişimi azdır. Hatta güneş ışıınımının olmadığı veya az olduğu kış aylarında, enerji tüketimi daha da fazladır. Depolama yapılmadığı takdirde, güneş enerjisinden faydalanma mümkün olmadığından sadece yardımcı enerji kaynağından faydalanılır. Fazla enerjinin depolanması durumunda yardımcı kaynaktan faydalanılacak enerji miktarı azalır [32].

Genel olarak enerji depolaması aşağıdaki şekillerde yapılmaktadır;

- 1. Termokimyasal yöntemlerle enerji depolama**
- 2. Mekanik yöntemlerle enerji depolama (hidroelektrik, volan vs.)**
- 3. Isıl yöntemlerle enerji depolama (duyulur ısı, gizli ısı)**
- 4. Elektrik enerjisi olarak**

Şekil 4.1’de en genel enerji depolama yöntemleri verilmiştir



Şekil 4.1. Enerji depolama yöntemleri [32].

4.1. Termokimyasal Yöntemlerle Enerji Depolama

Isı enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek uzun süre depolanabilir. Termokimyasal ısı depolama yönteminde, ekzotermik olarak tepkimeye girebilen iki veya daha fazla kimyasal bileşikte, tersinir tepkimeler süresince, kimyasal bağlarda ısı depolanır. Depolama sisteminin ömrü prensip olarak sınırsızdır. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşmesi sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden, ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir. Termokimyasal yöntemle ısı depolamada, ortam koşullarında fazla miktarda ısı depolanabilir. Bazı kimyasal maddelerin maliyeti çok düşük olduğundan, bu yöntemle ısı depolama maliyet açısından da daha ekonomik olabilir [28, 33, 34, 35, 36].

Termokimyasal ısı depolamada tepkimeye giren bir AB kimyasal maddesi yüksek sıcaklıktaki ortamdan ısı olarak tersinir bir tepkimeyle A ve B bileşenlerine ayrılır. Isı depolama amacıyla yararlanılacak tepkimenin aşağıdaki iki özelliği çok önemlidir:

1. Tepkime tersinir olmalıdır.
2. Yan tepkimeler oluşmamalıdır

Ortam iklimlendirme gibi düşük sıcaklıktaki uygulamalar için ısı depolamada, termokimyasal ısı depolama sistemlerinin duyulur ve gizli ısı sistemlerinden önemli üstünlükleri vardır. Isı ortam sıcaklığında depolanabilir. Bu nedenle, ısı deposunun yalıtımı önemli bir sorun oluşturmaz. Isı toplama ünitesi olarak özel kollektörler olmaksızın ortamdaki ısı kazanılabildiğinden, sistemin maliyeti önemli oranda azaltılabilir. Isı depolama ve geri kazanma işlemleri sabit sıcaklıkta sürdürülebilir. Belirli bir hacim için ısı depolama kapasitesi yüksektir. Uzun süre için ısı depolanabilir. Depolanan ısı kolay bir şekilde taşınabilir. Tepkime sonunda oluşan kimyasal ürün, genellikle kayıp olmaksızın soğuk olarak depolanabilir.

Termokimyasal yöntemle ısı depolama üç grupta incelenebilir:

1. Tersinir kimyasal tepkimeler,
2. Kimyasal ısı pompası,
3. Termokimyasal ısı borusu ile ısı depolama.

4.1.1. Tersinir Kimyasal Tepkimelerle Isı Depolama

Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışması ve tekrar birleşmesi sırasında, enerji değeri yüksek olan işlemler gerçekleşir. Bu nedenle, kimyasal tepkimelerle ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir. Bu yöntemle ısı depolamada endotermik olarak ısı alan bir tepkime kullanılarak depolanan ısı, ekzotermik olarak geri kazanılır. Endo/ekzotermik tepkimeler, kapalı bir çevrimde tekrarlanır

Isı depolama sırasında tepkimeye giren ürünler, ekzotermik tepkime ile tepkime ürünlerine ayrışır. Ortam sıcaklığında depolanan tepkime ürünleri, karıştırıldığında veya katalizör kullanıldığında ısı geri kazanılabilir.

Güneş enerjisinin termokimyasal yöntemle depolanmasında yararlanılacak tepkimelerin bazı koşulları sağlaması gereklidir:

- Tepkime bütünüyle tersinir olmalıdır,
- Birim hacimde ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır,
- Tepkimeye giren kimyasal madde kolay bir şekilde ayrışabilmelidir,
- Tepkimeye giren kimyasal madde ucuz olmalıdır,

- Tepkimenin termodinamik etkinliği yüksek olmalıdır,
- Tepkime sonunda çıkan ürünler kolay bir Şekilde depolanmalı ve taŐınabilmelidir.

Bu tür uygulamalarda yüksek ısı depolama kapasitesi gerekli olduğundan, tepkime sonucunda sıvı veya katı durumda kolay bir Şekilde depolanabilen ürünlerin olduğu tersinir tepkimeler pratik öneme sahiptir. Termokimyasal ısı depolama amacıyla yararlanılan tepkimeler  gurup altında incelenebilir:

1. *Düşük Sıcaklık Tepkimeleri*: Bu tip tepkimeler, sulu zltilerdeki ve olası tuz hidratlarındaki iyonik tepkimelerden oluşur. Sıcaklık sınırı 100 C düzeyindedir.
2. *Orta Sıcaklık Tepkimeleri*: Gazlı ayrışma tepkimeleri bu gurup içerisinde değerlendirilir. Gerekli sıcaklık yaklaşık 700 C'dir.
3. *Yüksek Sıcaklık Tepkimeleri*: Hidrokarbon/su tepkimelerinden oluşur. Bu tip tepkimeler, esas olarak 600-1000 C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu amaçla, yüksek sıcaklıktaki nükleer reaktörlerden açığa çıkan ısıdan yararlanılabilir.

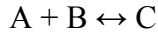
Yukarıda belirtilen her üç tip tepkime gurubunda da, ısı ve kütle geçişi sorunları bulunmaktadır. Orta ve yüksek sıcaklık guruplarında yer alan gazlı tepkimeler, normal olarak ısı ve kütle geçişine karşı özel direnç bulunan katalizli bir yatakta gerçekleşir. Termokimyasal yöntemle ısı depolama konusunda yapılan araştırmalar, iki tür tepkime sınıfı üzerinde yođunlaŐtırılmıŐtır. Düşük (< 120 C), orta (120-140 C) ve yüksek (400-1000 C) sıcaklıklarda daha çok araştırma gereklidir.

4.1.2. Kimyasal Isı Pompasıyla Isı Depolama

Kimyasal ısı pompaları, ısı enerjisinin sıcaklık seviyesini yükseltmek için tersinir kimyasal reaksiyon kullanılan sistemlerdir. Bu kimyasallar ısının absorpsiyonu veya salınmasında önemli bir rol oynar. Enerjiyi termokimyasal olarak depolamanın getirdiği yüksek depolama kapasitesi, reaktan ve ürünlerin uzun süreli depolanabilmesi, ısı kayıplarının azaltılması gibi avantajlar kimyasal ısı pompalarını, ısının kalitesinin arttırılması yanında depolama içinde iyi bir seçenek olarak karŐımıza çıkarmaktadır. Düşük sıcaklıktaki ısı kaynakları, endüstriyel atık ısıları olabileceği gibi güneş kolektörleri

vasıtasıyla yararlanılan güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklarda olabilir.(Wongsuwan vd., 2001)

Kimyasal ısı pompasında gerçekleşen tersinir reaksiyon genel olarak şöyle ifade edilir



İleri ve geri reaksiyonlar iki farklı sıcaklık kademesinde gerçekleşir ve ısının sıcaklık seviyesi ve dolayısıyla kalitesi arttırılmış olur(Wongsuwan vd., 2001).

Isı depolama sistemlerinde ısı pompası kullanımının gerekliliği şu şekilde özetlenebilir;

Bir çok ülkede gece sürelerinde elektrik enerjisi daha ucuzdur. Gece süresince üretilen ısı, gündüzleri kullanılmak üzere depolanarak, ısı üretim maliyeti azaltılabilir. Kısmen pahalı durumda olan gizli ısı depolama sistemleri, ekonomik olarak uygulanabilir duruma gelebilir.

Isı pompası sürekli olarak çalıştığından, küçük boyutlu ve ucuz bir pompa seçilebilir. Farklı büyüklükteki ısı pompaları ve ileri ısı depolama sistemleriyle farklı koşullarda araştırmalar sürdürülmelidir. Isı depolama sisteminde düşük güçte bir ısı pompası kullanılarak, etkin bir şekilde ısıtma sağlanabilir. Bu durum, ısıtma sisteminin konforu ve ayarlanabilirliği açısından önemlidir.

4.1.3. Termokimyasal Isı Borusuyla Isı Depolama

Termokimyasal ısı borularında kullanılan tepkimelerde, kolay bir şekilde yoğunlaşmayan gaz durumdaki reaktifler bulunur. Isı enerjisinin, ısı borusuyla uzun mesafelere iletilmesi için tepkime ürünlerinden yararlanır.

Endotermik ayrışma tepkimesinde, tepkime sonunda çıkan gaz halindeki ürünler, tepkimeye giren ürünlerle ısı alışverişi yapar. Daha sonra, ters şekilde katalizli olarak ekzotermik tepkime gerçekleşir ve ısı açığa çıkar. Tepkime ürünleri, çevrimin tekrarlanması için güneş kaynağına geri gönderilir.

Termokimyasal ısı borusuyla ısı depolama teknolojisinden aşağıdaki uygulamalarda yararlanılabilir;

- Yüksek sıcaklıkta nükleer enerji uygulamalarında,

- Yüksek sıcaklıkta güneş enerjisi uygulamalarında,
- Endüstriyel kazanlardaki damıtma çevrimlerinde

4.2. Mekanik Enerji Depolama

Enerji mekanik enerjiye ve sonrada kinetik veya potansiyel enerjiye dönüştürülerek depolanır Hidroelektrik, volan, sıkışmış hava...vs gibi yöntemlerle yapılır [32].

Hidro-güç sistemleri, potansiyel enerji depolarlar. Depolanabilen potansiyel enerji miktarının hesaplanmasında;

$$E = mgh \quad (4.1)$$

formülünden faydalanılabilir.

Hidroelektrik santrallerde su, dam adı verilen setlerle tutulur. 100m yüksekliğindeki bir dam için enerji kapasitesi yaklaşık olarak $W_v = 1.0 \text{ MJ/m}^3$ olabilmektedir.

Mekanik enerji depolamada kullanılan yöntemlerden biride volan kullanımıdır. Dönen bir cismin kinetik enerjisi,

$$E = \frac{1}{2} I\omega^2 \quad (4.2)$$

olarak hesaplanabilir.

Mekanik enerji depolanmasında kullanılan diğer bir yöntem ise sıkışmış hava kullanımıdır

Bu yöntemde, hava hızlı bir şekilde sıkıştırılarak enerji depolanır. İstenildiği zaman ise yavaş bir şekilde genişletilerek daha önce depolanmış olan enerji kontrollü bir şekilde kullanılabilir. Bu özellik hidrolik sistemlerdeki büyük basınç dalgalanmalarını düzeltebilmektedir

4.3. Elektrik Enerjisi Depolama

Elektrik enerjisinin diğerk bir enerji şekline dönüştürülmeden depolanmasıdır. Elektromanyetik sargıdan elektrik akımı geçirilerek magnetik alanda depolanır. Konutlardaki ve endüstrideki güneş enerjili sıcak su ve ısıtma sistemlerinde daha ziyade ısı enerjisi depolaması kullanılabilir.

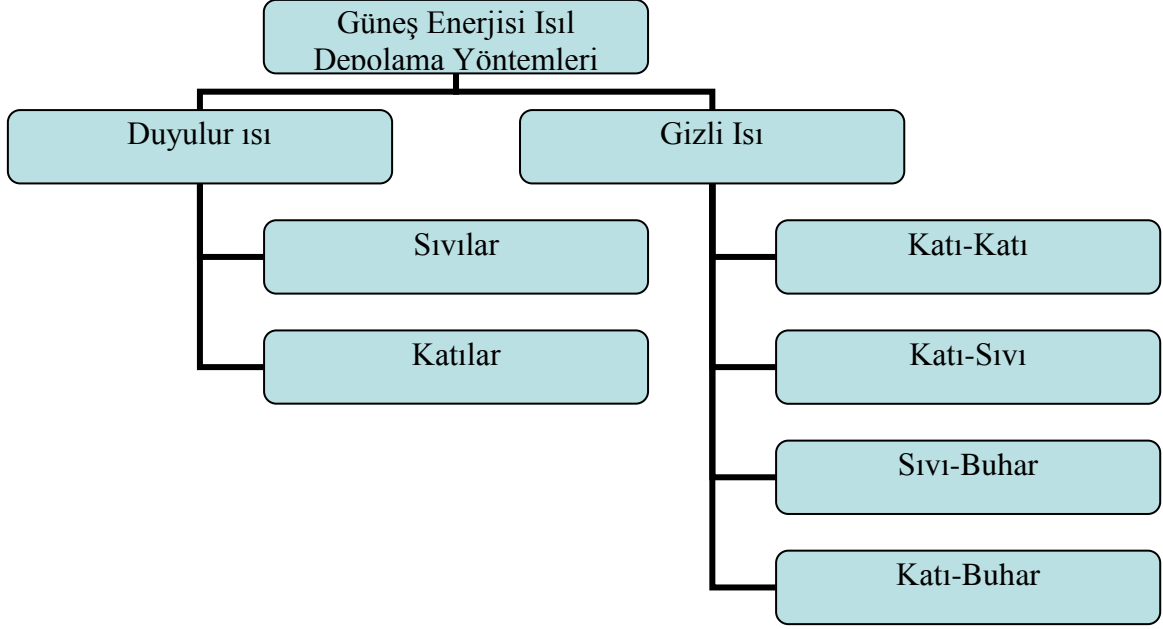
4.4. Güneş Enerjisinin Isıl Yöntemlerle Depolanması

Güneş enerjisi doğrudan depolanmadığından, diğerk enerji şekillerine dönüştürülerek depolanır. Dönüşüm sonucunda elde edilen enerji, ısı veya elektrik enerjisi şeklinde olabilir. Elde edilen enerji, daha sonra kullanılmak üzere uzun veya kısa dönemlerde depolanabilir veya hemen kullanılabilir. Isı depolama yönteminin seçimi esas olarak; ısı depolama süresi, ekonomik uygulanabilirlik ve işletme koşullarına bağlıdır. Herhangi bir uygulama için ısı depolama yönteminin belirlenmesi, ısı depolamanın etkinlik ve ekonomikliğı sistemin tasarımına bağlıdır. Isı depolama sistemlerinin tasarımında, aşağıdaki etmenler dikkate alınır:

- Isı depolama malzemesinin birim kütle ve hacminin ısı depolama kapasitesi
- Isı depolama ve geri kazanma işlemleri için enerji gereksiniminin belirlenmesi
- Sistem bileşenlerinin boyutlandırılması
- Isı deposu malzemesi, şekli, boyutları ve düzenlenmesi
- Depolama biriminin yalıtımı ve ısı kayıplarının denetimi
- Depolanan ısının kullanılacağı ortamın özellikleri
- Sistemin toplam maliyeti

Isı enerjisi, ısı depolayan malzemenin iç enerjisindeki değışim sonucunda; duyulur ısı olarak, gizil ısı olarak ve kimyasal tepkimeler yoluyla, düşük, orta ve yüksek sıcaklıklarda depolanabilir. Genel olarak, birim hacimdeki ısı depolama kapasitesinin yüksek olduğu, ısı depolama malzemelerinin kullanılması durumunda, ısı depolama için gerekli olan hacim azalır.

Güneş enerjisinin 80-100 °C'deki düşük sıcaklık aralığında ısı enerjisi olarak depolanmasında uygulanan yöntemler Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş enerjisinin ısı enerjisi olarak depolama yöntemleri [32].

Temel olarak bir ısı depolama sisteminde bulunması gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Isı depolama malzemesinin birim kütle ve hacmi için ısı depolama kapasitesi yüksek olmalıdır.
- Isı depolama malzemesi çalışma sıcaklığı aralığında uygun özelliklere sahip olmalıdır.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliği ve hızı yüksek olmalıdır.
- Sistemde depolanan ısı, olabildiğince etkin olarak geri kazanılabilmelidir.
- Depolama biriminin sıcaklığı, deponun içinde bütün noktalarda aynı olmalıdır.
- Isı depolama ve geri kazanma etkinliğinde azalma olmaksızın, çok sayıda depolama ve geri kazanma çevrimi gerçekleştirilebilmelidir.
- Isı depolama malzemesi paslandırıcı, zehirli ve yanıcı olmamalı
- Ucuz ve kullanım süresi uzun olmalıdır.

Ekonomik olarak kabul edilebilir bir sistemde, ısı depolama maliyeti düşük olmalıdır. Bu durum ısı depolama malzemesi maliyetinin düşük olmasının yanı sıra, depo ve ısı değiştirgeci maliyetlerinin de kabul edilebilir değerlerde olmasıyla sağlanır. Depolama sistemi kapasitesinin belirlenmesinde; güneş ısınım enerjisi, gerekli ısı miktarı ve depolama için tüketilen enerji miktarı dikkate alınır [37].

4.4.1. Düşük Sıcaklıkta Güneş Enerjisinin Depolanması

4.4.1.1. Duyulur Isı Olarak Depolanması

Faz değişimi olmaksızın, depolama ortamındaki malzemenin ısıtılması esasına dayanır. Güneş enerjisinin, duyulur ısı olarak depolanmasında, katı malzemeler ve sıvı malzemeler kullanılabilir. Sıcaklığı T_1 ve kütlesi m olan bir madde T_2 sıcaklığına yükseltirse ısı kapasitesi dolayısıyla depolanan duyulur ısı;

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) = \rho c_p \Delta T \quad (4.3)$$

şeklinde yazılabilir.

4.3 bağıntısında görüldüğü gibi bir ΔT sıcaklık farkında ve belli bir hacimde depolanan ısı enerjisinin fazla olması için maddenin ısı kapasitesi (ρc_p) büyük olmalıdır.

Bazı maddelerin ısı özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir. Suyun hacimsel özgül ısısı diğer maddelere göre daha yüksektir.

Duyulur ısı depolanmasında faydalanılan maddenin hacimsel özgül ısısının büyük olması yanında yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, maddeden uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini muhafaza etmesi, toksit ve korozyon tesirinin bulunmaması gerekir. Tabii ki her şeyden önce maddenin kolay temin edilebilir ve ucuz olması gerekir. Pratikte, temin edilebilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle, daha çok su ve çakıl taşı temin edilir.

Tablo 4.1.'de bazı maddelerin 20 °C'deki ısı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Bazı maddelerin 20 °C'deki ısı özellikleri [38].

Madde	Yoğunluk ρ kg/m ³	Ergime Sıcaklığı °C	Kaynama Sıcaklığı °C	Özgül Isı J/kg-K	Isı İletim Katsayısı W/m-K	Isı Kapasitesi ρc_p MJ/m ³ -K
Taş	2640	-	-	880	1.7-4.0	2.32
Dökme Demir	7280	1536	2300	837	29-50	3.93
Betonarme	2240	-	-	1130	0.9-1.3	2.53
Su	997	0	100	4180	0.604	4.18
Sodyum	760	98	880	1206	67	0.96
Saf Bakır	8954	1083	2330	383	386	3.43
Motor Yağı	888	-	-	1880	0.145	1.67
Gliserin	1264	18	290	2386	0.286	3.02
Etilen Glikol	1117	-12	197	2382	0.249	2.66

4.4.1.1.1. Sıvılarda Depolama

Bir çok sıvı malzeme, ısı depolama için ekonomik olarak kullanılabilir. Bu malzemelerden ısı depolama amacıyla yararlanılmasında izlenen teknoloji oldukça basittir.

Duyulur ısı depolama sistemlerinde ısı depolama malzemesi olarak kullanılan bazı sıvıların termofiziksel özellikleri Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2. Bazı sıvı maddelerin termofiziksel özellikleri [39].

Sıvı Madde	Sıcaklık (°C)	Isı Kapasitesi (J/kg-K)
Su	0-100	4180
Calaro HT 43*	110-315	2300
Dowtems A*	12-260	2200
Therminol 55*	(-18) - 315	2400
Therminol 66*	(-9) - 343	2100
Etilen Glikol	-	2382
Hitec**	141-540	1560
Draw**	220-540	1550
Lityum***	180-1300	4190
Sodyum***	100-760	1206
Etanol	78	2400
Propil Asit	97	2500
Bütanol	118	2400
İzobütanol	100	3000
İzopentanol	148	2200
Oktan	126	2400

*Madeni Yağ

**Ergimiş Tuz

***Sıvı Metal

Sıvı malzemeler içerisinde su, ucuz ve bol miktarda bulunduğundan güneş enerjisinin duyulur ısı olarak depolanmasına yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca su, zehirli ve yanıcı olmaması, enerji doldurma ve boşaltma işlemlerinin aynı anda gerçekleştirilebiliyor olması, çok iyi aktarım özelliklerine sahip olması nedenleriyle de diğer depolama malzemelerine göre tercih edilme özelliği daha yüksektir. Fakat tüm bu özellikleri yanında suyun da sahip olduğu bazı kusurlar vardır. Örneğin;

- Olağan koşullarda, 0°C'nin altında donar, 100°C'nin üzerinde kaynar (sıcaklık aralığı sınırlandırılmıştır),
- Yüksek sıcaklıklarda yüksek buhar basıncına sahiptir,
- Paslandırıcı bir etkisi vardır ve yüzey gerilimi düşüktür yani kolaylıkla sızar.

4.4.1.1.2. Katılarda Depolama

Katı malzemelerde, ısı depolama akışkanı olarak sıvıların kullanılması durumunda, karşılaşılan korozyon, donma, aşırı ısınma ve sızma gibi sorunlarla karşılaşmaz. Katı

malzemelerde, yüksek sıcaklıklarda olduğu gibi düşük sıcaklıklarda da ısı depolanabilir. Isı depolama amacıyla katı malzemelerin kullanılması durumunda, sağlanan üstünlükler şu şekilde özetlenebilir;

- Katı malzemelerin pek çoğu kolay bir şekilde sağlanabilir ve genellikle ucuzdur.
- Katı malzemelerle yüksek sıcaklıkta ısı depolanabilir.
- Isı değiştirgeci kullanılması gerekli değildir
- Sıvılarda karşılaşılan, donma ve aşırı ısınma sonucunda karşılaşılan sorunlarla karşılaşılmaz.
- Korozyon sorunu meydana gelmez.

Bu olumlu özelliklerinin yanında katı malzemelerle çalışmanın bazı güçlükleri de bulunmaktadır. Örneğin;

- Büyük depo hacmi gereklidir.
- Isı depolama ve geri kazanma işlemleri eş zamanlı olarak sürdürülemez.

Isı depolama amacıyla kullanılacak katı malzemelerin, ısı kapasitesi değerleri yüksek olmalıdır.

Duyulur ısı depolama malzemesi olarak kullanılan, bazı katı malzemelerin termofiziksel özellikleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Duyulur ısı depolamak amacıyla kullanılan bazı katı malzemelerin termofiziksel özellikleri [37].

Depolama Malzemesi	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı Kapasitesi (J/kgK)	Yoğunluk ve Isı kapasitesi Çarpımı (x10 ⁶) J/m ³ K	Isıl iletkenlik (W/m°C)
Alüminyum	2707	896	2.4	20°C'de 204
Alüminyum Oksit	3900	840	3.3	--
Alüminyum Sülfat	2710	750	2.0	--
Tuğla	1698	840	1.4	20°C'de 0.69
Magnezyum tuğlası	3000	1130	3.4	5.07
Beton	2240	1130	2.5	0.9-1.3
Dökme demir	7900	837	6.6	29.3
Saf demir	7897	452	3.6	20°C'de 73.0
Kalsiyum klorür	2510	670	1.7	--
Bakır	8954	383	3.4	20°C'de 385
Toprak(nemli)	1700	2093	3.5	2.51
Toprak (kuru)	1260	795	1.0	0.25
Magnezyum Oksit	3570	960	3.4	--
Potasyum klorür	1980	670	1.3	--
Potasyum Sülfür	2660	920	2.4	--
Sodyumkarbonat	2510	1090	2.7	--
Sodyum Klorür	2170	920	2.0	--
Sodyum sülfat	2700	920	2.5	--
Taş, granit	2640	820	2.1	1.73-3.98
Taş, kireçtaşı	2500	900	2.2	1.26-1.33
Taş, mermer	2600	800	2.1	2.07-2.94
Taş, kumtaşı	2200	710	1.6	1.83

Depolama enerji yoğunluğunun saptanmasında, yoğunluk ve ısı kapasitesi değerlerinin çarpımı önemli bir parametredir. Tablo 4.3'tende görülebileceği gibi, bu iki değer çarpımının en büyük olduğu depolama malzemesi dökme demirdir. Fakat dökme demir, taş veya tuğlaya oranla oldukça pahalıdır. Bu nedenle katı malzemelerle ısı enerjisinin depolanmasında, ucuz olması sebebiyle çoğunlukla çakıl yataklar kullanılır.

4.4.1.2. Gizli Isı Olarak Depolama

Gizli ısı depolanması, malzemelerin verilen enerjiyle birlikte faz değiştirmeleri sonucu i enerjilerindeki artıyla, sabit sıcaklıkta ısı depolanması olarak tanımlanır. Verilen enerji geri alındığında, madde, faz değiştirmeden önceki durumuna döner. Bir malzemede faz değişimi; katı-katı, katı-sıvı, katı-buhar ve sıvı-buhar şeklinde gerçekleşebilir.

Katı durumdaki bir malzeme kristalleşerek diğer bir katı faza dönuştüğünde (katı-katı değişimi) kristalleşme ısısı şeklinde ısı depolanır. Malzeme ilk durumundaki katı faza tekrar dönuştüğünde, faz değişimi sırasında depolanan ısı da geri kazanılır. Katı-katı faz değişimi sırasında açığa çıkan gizil ısı miktarı azdır.

Sıvı-buhar şeklinde gerçekleşen faz değişiminde, katı-sıvı veya katı-katı faz değişimlerinden daha yüksek oranda gizli ısı açığa çıkar. Ancak uygulamada gaz fazının depolanması için basınçlı depolama kaplarının gerekli olması, sıvı-buhar değişimde ortaya çıkan gizli ısının depolanmasını güçleştirir. Diğer yandan, katı-buhar ve sıvı-buhar şeklinde gerçeklesen evre değişimlerinde fazla miktarda gizli ısı açığa çıkmasına karşın, hacim değişiminin fazla olması nedeniyle pek tercih edilmez.

Katı-sıvı faz değişiminde ise, diğer faz değişimlerine oranla daha az hacim değişimi gerçekleşir. Uygulamada hacimsel enerji depolama kapasitesi önemli olduğundan, sadece katı-sıvı faz değişimleri önemlidir.

Gizli ısı depolama sistemlerinin diğer ısı depolama yöntemlerine göre üstünlüklerini şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Duyulur ısı depolama yöntemiyle karşılaştırıldığında, ısı depolama kapasitesi yüksektir ve daha az ısı depolama malzemesi kullanıldığında, gerekli olan ısı depolama hacmi daha azdır.
 - Faz değiştiren malzemelerin birim kütlelerinin ısı depolama kapasitesi yüksektir.
 - Faz değiştiren malzemelerin, faz değiştirme sıcaklıkları, değişmez sıcaklıkta ısı depolama ve ıyıyı geri kazanma için uygundur.
 - Büyük boyutlu ısı depolama sistemlerine ekonomik olarak uygulanabilir.
- Herhangi bir gizli ısı depolama sistemi ;
- istenilen sıcaklık aralığında, faz değişimlerine uğrayan ve ergime gizli ısısı olarak ısı depolayabilen bir ısı depolama malzemesi,
 - Faz değiştiren malzemenin yerleştirildiği bir depo

- Isı kaynağından faz değiştiren malzemeye ve daha sonrada depolanan ısıdan yararlanacak ortama ısı geçişi için bir ısı değiştirgeci, bileşenlerinden oluşur.

Faz değiştiren malzemeler genellikle, et kalınlığı ince olan küre, silindir veya küp şeklindeki kaplara doldurulmaktadır. Faz değiştiren malzemenin bu tip küçük hacimli kaplara doldurulması durumunda, çok sayıda ısı depolama ve geri kazanma işlemi gerçekleştirilebilir. İçerisine faz değiştiren malzeme konulmuş PVC tüpler, dikdörtgen şeklindeki depo içersine yatay veya dişey olarak konulabilir.

Tablo 4.4'te düşük sıcaklıkta gizli ısının depolanması için kullanılan bazı malzemelerin özellikleri yer almaktadır. Bunlar içersinde en çok kullanılanı glauber tuzu olarak bilinen sodyum sülfat dekahidrat ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)'dır. Glauber tuzunun tercih edilmesinin nedeni, gizil ısısının yüksek ve diğerlerine göre çok ucuz olmasıdır.

Düşük sıcaklıkta ısı depolamada kullanılan faz değiştiren malzemelerin ısı iletim katsayıları küçük olduğundan, depoya uygun şeklin verilmesine dikkat edilmelidir. Depo içindeki maddenin iç kısmının eriyebilmesi için (veya katılaşabilmesi için) depo kesitinin çok küçük ve yüzeyinin çok büyük olması gerekir. Ayrıca korozyona ve sızdırmaya karşı önlem alınmalıdır. Glauber tuzu için plastik depolar uygundur. Depo hacmi hesaplanırken, maddenin katı ve sıvı haldeki özellikleri göz önüne alınmalıdır.

Evre değiştiren malzemelerle belirli bir miktardaki ısının depolanabilmesi için gerekli hacim, aynı ısıyı duyulur ısı olarak su ve çakıl taslarıyla depolamak için gerekli hacimden, çok daha küçüktür. Diğer bir üstünlük de, depodan ısı çekilmesi sırasında depo sıcaklığının yaklaşık olarak sabit kalmasıdır. Buna karşın çakıl taşı ve suya göre oldukça pahalıdır. Bazı malzemelerin korozyon sorunu vardır. Bu nedenle depo maddesinin seçimi yapılırken bu sorun göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 4.4'te gizli ısı depolamakta kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özellikleri verilmektedir

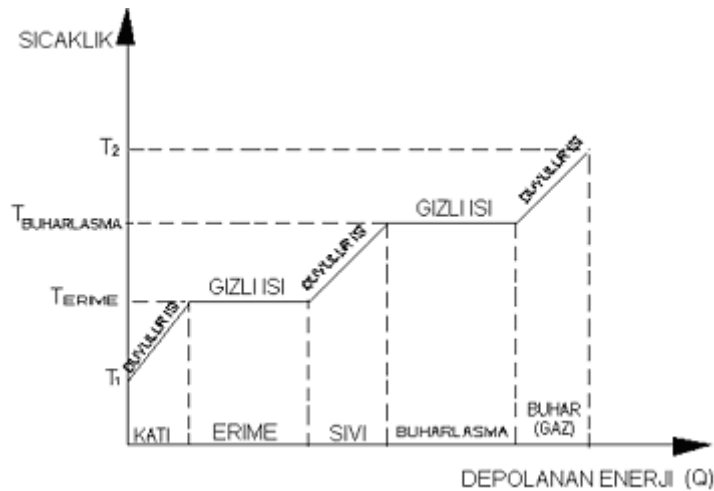
Tablo 4.4. Gizli ısı depolamakta kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özellikleri [40].

Depolama Ortamı	Ergime Sıcaklığı (°C)	Gizil Isı (kJ/kg)	Özgül Isı (kJ/kg °C)	
			Katı	Sıvı
LiClO ₃ .3 H ₂ O	8.1	253	--	--
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O (Glauber Tuzu)	32.4	251	1.76	3.32
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	48	200	1.47	2.39
NaCH ₃ COO.3H ₂ O	58	180	1.90	2.50
Ba(OH) ₂ .8 H ₂ O	78	301	0.67	1.26
Mg(NO) ₃ .6 H ₂ O	90	163	1.56	3.68
LiNO ₃	252	530	2.02	2.041
LiCO ₃ / K ₂ CO ₃ (35 : 65) ^a	505	345	1.34	1.76
LiCO ₃ / K ₂ CO ₃ / Na ₂ CO ₃ (32 : 35 : 33) ^a	397	277	1.68	1.63
n-Tetradekan	5.5	228	--	--
n-Octadekan	28	244	2.16	--
HDPE	126	180	2.88	2.51
Steric asit	70	203	--	2.35

(a: Birleşim Ağırlık Yüzdesi)

Gizli ısı depolama sistemlerini kendi başlarına kullanabileceğimiz gibi ısı pompaları ile birlikte, özellikle konut ısınma ihtiyaçlarımız için kullanabiliriz. Gizli ısı depolamanın önemli bir özelliği de faz değiştirme maddelerinin aynı miktar için daha küçük depoya ihtiyaç duymasındır. Bu sayede mevcut sistemlerimize gizli ısı depolama sistemleri eklememiz kolay olmaktadır [41].

Şekil 4.3'te maddenin hal değişimi esnasındaki enerji depolama miktarı ile sıcaklık arasındaki ilişki görülmektedir [42].



Şekil 4.3. Maddenin Hal Değişimi Esnasındaki Enerji Depolama-Sıcaklık Grafiği [42].

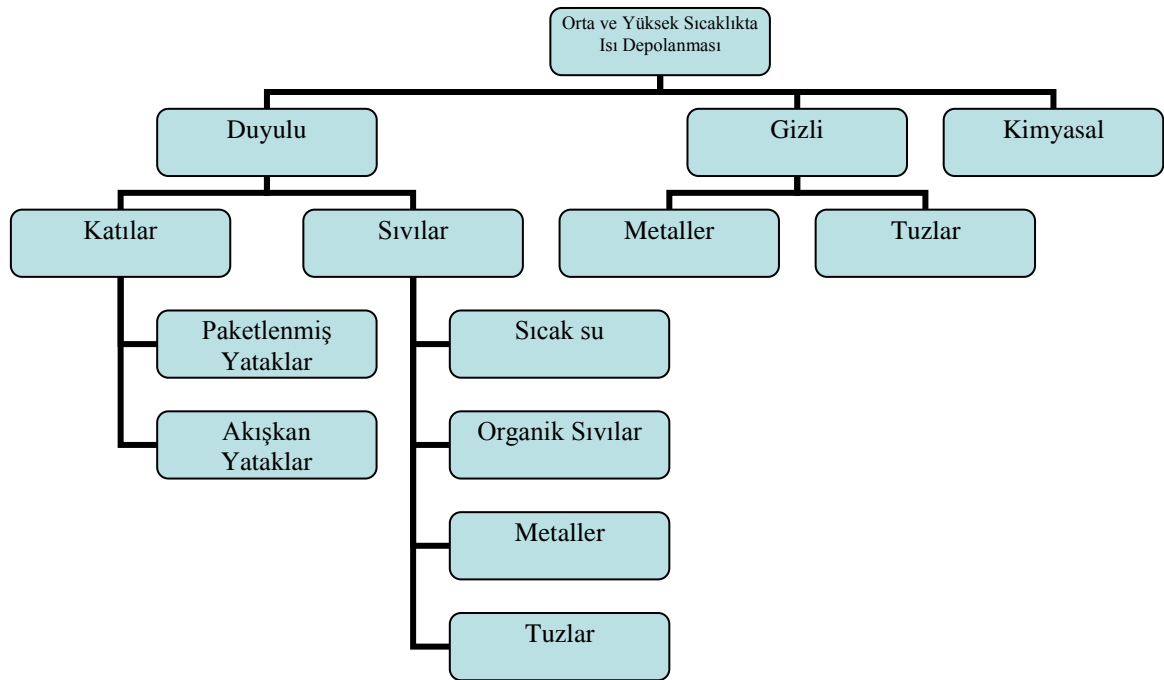
4.4.2. Orta ve Yüksek Sıcaklıkta Güneş Enerjisinin Depolanması

Isı enerjisinin depolanmasında kullanılan duyulu, gizli ve kimyasal enerji olarak depolama yöntemlerinin hepsi, güneş enerjisinin yüksek sıcaklıklarda depolanmasında da kullanılır. Isı enerjisinin depolanmasında kullanılacak en uygun malzeme sudur fakat yüksek sıcaklıkta depolama yapabilmek için, yüksek basınçlı tanklara gereksinim duyulduğundan, pek tercih edilmez. Suyun yerine pek çok organik ve inorganik ısı aktarım akışkanı kullanılır. Bunlardan bazıları şunlardır; Therminol-55(alkylated aromatic), Therminol-66(diphenyl terphyul), Caloria-HT43 (aliphatic oil), dowtherm- A(diphenyl-% 26,diphenyl oxide % 74), humble-therm 500, HITEC, refined oil ve benzeridir.

Yüksek sıcaklıkta depolamada pek çok tuzun karışımı olan ve ısı aktarım tuzları olarak bilinen KNO_3 -53, $NaNO_2$ -40, $NaNO_3$ -7, KNO_3 -50 ve $NaNO_3$ -50 kullanılır [37].

Düşük sıcaklıkta ısı enerjisinin depolanmasında kullanılan çakıl yataklar yine yüksek sıcaklıkta ısı enerjisinin depolanmasında da kullanılır. Burada çakıl yerine ısı enerjisini $1300^{\circ}C$ 'ye kadar depolayan MgO tuğlaları gibi malzemeler de kullanılabilir.

Şekil 4.4'te Orta ve Yüksek sıcaklıklarda güneş enerjisinin ısı olarak depolanma yöntemlerinin şematik olarak gösterilmektedir.



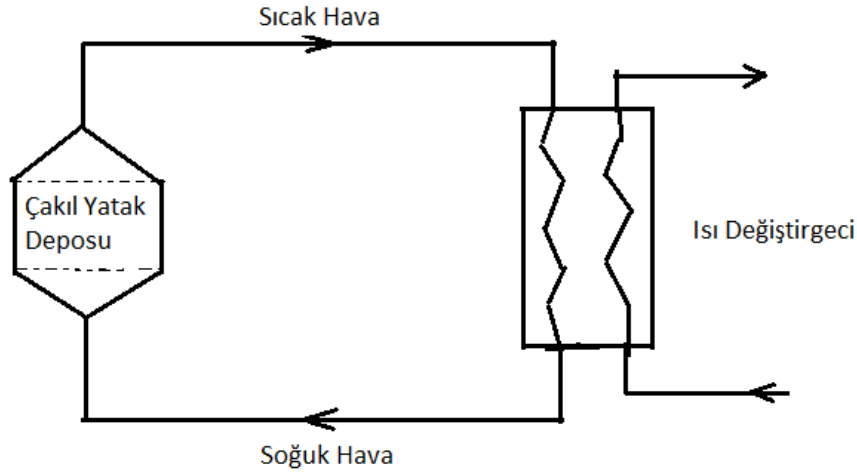
Şekil 4.4. Orta ve yüksek sıcaklıklarda güneş enerjisinin ısı olarak depolanma yöntemleri [37].

4.4.2.1. Duyulur Isı Olarak Depolama

4.4.2.1.1. Çakıl Yataklar

Çakıl yatak ısı depolama birimi, en basit haliyle, çakıl yatak, ısı değiştirgeci ve güneş kolektöründen oluşur. Güneş kolektöründe toplanan güneş enerjisi, kolektörden uygun bir akışkan geçirilerek (çoğunlukla hava veya su) alınır. Daha sonra, ısınan akışkan deponun üst girişinden geçirilir ve bu esnada, ısısını çakıl taşlarına aktarır.

Akışkan deponun altından soğumuş olarak çıkar ve kolektör girişine verilir. Sistem tamamıyla dolduğunda veya ısı gerekli olduğunda, Şekil 4.5'ten de görülebileceği gibi çakıl yataktaki hava akışı tersine döner.



Şekil 4.5. Çakıl yatak ısı depolama sistemi [37].

Çakıl taşların depolamada kullanılmasının getirdiği bazı üstünlükler vardır.

- Çakıl taşları ucuzdur ve kolay bulunabilirler.
- Alevlenme ve zehirlenme sorunları yoktur. .
- Yüzey alanları büyük olduğundan, hava ile aralarındaki ısı geçişleri iyidir.
- Taşların birbirine temas yüzeyi küçük olduğundan, taşlar arasında iletimle ısı geçişi azdır.

Çakıl taşların ısı enerji depolamasındaki, bu üstünlüklerinin yanı sıra bazı kusurları da bulunmaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir;

- Hacimsel özgül ısıları küçük olduğundan belirli miktardaki ısı enerjisinin depolanabilmesi için suya göre daha büyük hacim gerekmektedir.
- Sisteme enerjiyi doldurma ve boşaltma işlemi eşzamanlı olarak yapılamaz.
- Çakıl taşları arasında havanın dolaştırılabilmesi için gerekli güç, su ile depolamada suyun dolaştırılması için gerekli güçten daha fazladır.

Katı malzemeler kullanılarak ısının depolandığı uygulamalarda, ısı taşıyıcı akışkanın seçimi önemlidir. Isı taşıyıcı akışkanın, ısı kapasitesinin yüksek, buhar basıncının ve maliyetinin düşük olması gerekir. Çakıl yataklarda ısı taşıma akışkanı olarak, genellikle hava kullanılır. Çünkü hava zehirli değildir, korozyona neden olmaz. Donmaz ve kaynamaz. Bütün bu üstünlüklerinin yanında havanın da sahip olduğu bazı kusurlar vardır. Örneğin;

- sızdırmaz hava kanallarının yapılması ve hava kaçaklarının saptanması zordur.
- Aynı hacimdeki su ile çalışan bir sisteme göre ısı kapasitesi çok küçüktür.
- Daha büyük enerji kaynağına gereksinim duyulur.

Isı taşıma akışkanı olarak kullanılacak diğer bir akışkan da sudur. Isı taşıyıcı akışkan olarak suyun kullanılmasının avantajları şöyle sıralanabilir;

- Suyun ısı kapasitesi yüksektir,
- Emniyetli ve ucuzdur,
- Çevre kirliliği yapmaz ve zehirli değildir.

Ancak suyun da sahip olduğu bazı kusurlar vardır. Örneğin;

- 0°C’de donar ve 100°C’de kaynar,
- Korozyon neden olur.
- Kolaylıkla sızabilir ve kabuklaşmaya neden olur.

Bu nedenlerden dolayı çakıl yataklarda, sahip olduğu kusurlara rağmen, ısı taşıma akışkanı olarak hava tercih edilir. Yüksek sıcaklıklara gelindiğinde ise yüksek basınçlı helyum veya ısı taşıma özelliğine sahip diğer akışkanlar kullanılabilir [37].

4.4.2.1.2. Isı Enerjisinin Kumda Depolanması

Yüksek sıcaklıkta ısı enerjisi, kumda da duyulur ısı olarak depolanabilir. Bu depolama sisteminde, kum bir deponun içersine yerleştirilir. Kumdan ısının alınması veya verilmesi, içinden suyun veya buharın geçtiği pek çok tüp kullanılarak gerçekleştirilir. Tüpler, belirli aralıklarla kumun içersine yerleştirilir. Sistemde enerji depolanırken, sıcak akışkan tüplerin içersinden geçirilir ve ısı enerjisi iletim yoluyla kuma aktarılır. Yatak tamamiyle enerjiyle dolduğunda, tüpler içersindeki hava akışı durdurulur ve sıcak kum deponun içersinde kalır. Isıya gereksinim duyulduğunda ise, tüplerin içersinden soğuk akışkan geçirilir ve bu akışkan kum taneciklerinin sahip olduğu enerjiyi yine iletim yoluyla alır.

Kum yerine, geniş beton bloklar da kullanılabilir. Böyle bir sistemde enerji 500 °C'ye kadar depolanabilir. Fakat, beton blokları kullanmanın bazı kusurları vardır. Örneğin; Isıl gerilimler nedeniyle boruların beton bloklardan uzak tutulması gerekir ve yüksek sıcaklıklarda betonun ömrü çok uzun değildir. Eğer tüplerin etrafında depolama ortamı olarak kum kullanılırsa, tüp ile kum arasındaki ısı direnç azalacaktır. Ayrıca, tüpe kum arasındaki ısı aktarımı, kumu tüpün etrafında hareket ettirmek suretiyle artırılabilir. Isı aktarım katsayısındaki bu artış tüplerin sayısının azalmasına neden olacak ve böylece sistemin maliyeti de azalacaktır.

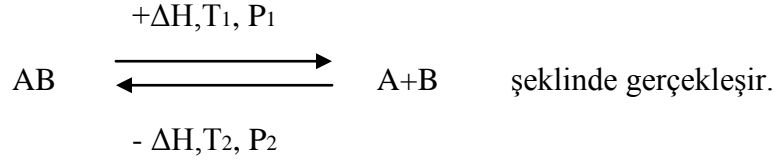
Bu yolla enerji depolamanın pek çok üstünlükleri vardır:

- Bu tür akışkan katılar pahalı değildir ve kolaylıkla bulunabilir.
- Fiziksel ve kimyasal olarak kararlıdır.
- Zehirli ve yanıcı değildir.
- Akışkan tekniği kullanılarak parçacıklardan ısı enerjisinin alınması veya ısının aktarılması verimli ve hızlı bir şekilde yapılabilir.
- Akışkan teknikleri endüstride yaygın olarak kullanılır. (kömür, buğday ve quartz'ın kurutulması gibi)
- Pek çok katı parçacık, 1500 °C gibi yüksek sıcaklıklarda ihmal edilebilir oranda bir buhar basıncına sahiptir.

4.4.2.2. Kimyasal Tepkimeler Yoluyla Depolama

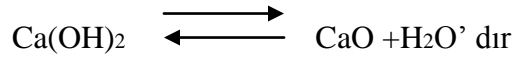
Kimyasal tepkimeler aracılığıyla, ısı enerjisinin depolanabilmesi için, öncelikle kimyasal tepkimenin tersinir olması gerekir. Tersinir tepkimelerin ise, yalnızca bazıları ısıyı depolama özelliğine sahiptir. Bu depolama yönteminde, verilen enerji ile birlikte kimyasal bileşik, ürünlere ayrılmakta ve bu ürünler uygun sıcaklık ve basınç değerlerinde, tekrar bir araya geldiklerinde, verilen enerji yeniden açığa çıkmaktadır. Bu tür kimyasal tepkimeler genellikle iki farklı grupta toplanır. Birincisi ısıl bozunma tepkimeleri ve ikincisi ise katalitik tepkimelerdir.

Isıl bozunma tepkimeleri:

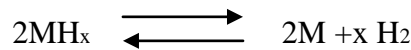


AB bileşiğine ΔH ısı, T_1 sıcaklığında ve P_1 basıncında verilirse, A ve B bileşenlerine ayrılır. Buna karşın T_2 sıcaklığı ve P_2 basıncında ters tepkime gerçekleşir ve ΔH ısı dışarı yayılır. İstemimiz dışında gerçekleşebilecek tersinir bir tepkimeyi önlemek için, tepkime ürünleri farklı kaplarda tutulur [37].

Isıl bozunma tepkimelerinden en çok kullanılanı;

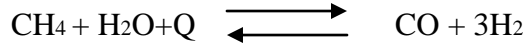


Burada 25°C'de bulunan Ca(OH)_2 , 148 kJ/mol enerjiyle 520 °C'de CaO ve H₂O'ya ayrışır. Enerjiye yeniden gereksinim olduğunda CaO ve H₂O birleştirilir ve 25°C'de 63,6kJ/mol enerji açığa çıkar. Metalhidratın metal ve hidrojene ayrıştığı, metalhidrat bozunma tepkimeleri de enerji depolamakta sıklıkla kullanılır[43].



Burada M metal veya alaşımdır. Fe-Ti alaşımı, Mg-Ni alaşımı ve AB₅ (A toprak elementi; B ise Ni veya Co) alaşımları kullanılabilir.

Katalitik tepkimelerin ise en büyük üstünlüğü, tepkime sonucu oluşan ürünlerin hepsinin aynı kabın içinde tutulabiliyor olmasıdır. Çünkü her iki yönde de tepkimenin gerçekleşebilmesi için bir katalizöre gereksinim vardır. Katalizör olarak ise nikel kullanılır.



Bu tepkime EVA-ADAM tepkimesi olarak adlandırılır ve çoğunlukla kullanılır. Tepkime ısı 25 °C'de 49,8 kJ/mol'dür. Endotermik olarak 850°C-1200°C sıcaklık aralığında, tersinir tepkime ise 350°C -700°C sıcaklık aralığında gerçekleşir.

Tablo 4.5'te yaygın olarak kullanılan katalitik tepkimeleri görmek mümkündür.

Tablo 4.5. Kimyasal tepkimeler yoluyla ısı depolamakta kullanılan malzemeler [43].

Kapalı Devre Sistem	Entalpi H (kJ/mol)	Sıcaklık Aralığı (°K)
$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$	206	700-1200
$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \leftrightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	247	700-1200
$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$	165	500-700
$\text{C}_6\text{H}_{12} \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$	207	500-750
$\text{C}_7\text{H}_{14} \leftrightarrow \text{C}_7\text{H}_8 + 3\text{H}_2$	213	450-700
$\text{C}_{10}\text{H}_{18} \leftrightarrow \text{C}_{10}\text{H}_8 + 5\text{H}_2$	314	450-700

4.4.2.3. Gizli Isı Olarak Depolama

Çakıl yataklarda güneş enerjisi, hem yüksek sıcaklıklarda ve hem de düşük sıcaklıklarda depolanabilir. Çakıl yataklarda enerji depolamanın en büyük güçlüğü ise, depolanan enerjiyi transfer etmek ve depolama ortamından almak için yüksek bir pompalama gücü gerekmesidir. Bu güçlüğün aşılması amacıyla, Golden Gaz Teknoloji ve Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü, 700°C - 900°C sıcaklık aralığında çalışan bir sistem tasarlamışlardır [37]. Bu sistemde, gizli ısı depolama kapasitesi olan tuzların bir karışımı seramik bir kutunun içersine yerleştirilir. Tuzlar, verilen ısıyı gizli ısı olarak depolar.

Yüksek sıcaklıkta ısı depolamak için kullanılan tuzların bir listesi Tablo-4.6'da görülmektedir. Erime sıcaklıkları 397°C-898°C arasında değişen pek çok tuz karışımı örneğin Li_2CO_3 , Na_2CO_3 ve K_2CO_3 gizli ısı depolamakta kullanılabilir.

Gizil ısının depolanmasında kullanılan malzemelerin seçimi yapılırken;

- Ergime sıcaklıkları,
- Yoğunlukları ve hacim değişiklikleri,
- Isıl iletkenlikleri
- Viskoziteleri,
- Yüzey gerilimleri
- Isı kapasiteleri ve
- Fiyatları göz önüne alınır.

Yüksek ısı kapasitesine sahip olması ve fiyatının da düşük olması sebebiyle Na_2CO_3 'ın bileşiminde yer aldığı tuzlar çoğunlukla tercih edilmektedir. Örneğin; Na_2CO_3 - Li_2CO_3 (erime sıcaklığı 496°C), Na_2CO_3 - BaCO_3 (erime sıcaklığı 710°C) ve Na_2CO_3 (erime sıcaklığı 858 °C) v.b..

Tablo 4.6'da Yüksek sıcaklıklarda gizil ısının depolanmasında kullanılan tuzlar verilmiştir.

Tablo 4.6. Yüksek sıcaklıklarda gizil ısının depolanmasında kullanılan tuzlar [37].

Kullanılan Tuzlar	Ergime Sıcaklığı (°C)	Yanma Isısı (kJ/kg)
32.0 Li_2CO_3 -33.0 Na_2CO_3 -35.0 K_2CO_3	397	277
46.6 Li_2CO_3 -53.4 K_2CO_3	488	390
44.3 Li_2CO_3 -55.7 Na_2CO_3	496	393
28.5 Li_2CO_3 -71.5 K_2CO_3	498	316
35.0 Li_2CO_3 -65.0 K_2CO_3	505	344
55.7 Li_2CO_3 -44.3 CaCO_3	662	--
47.8 Na_2CO_3 -52.2 BaCO_3	686	172
50.0 Na_2CO_3 -50.0 K_2CO_3	710	163
Li_2CO_3	723	607
Na_2CO_3	858	265
K_2CO_3	898	200

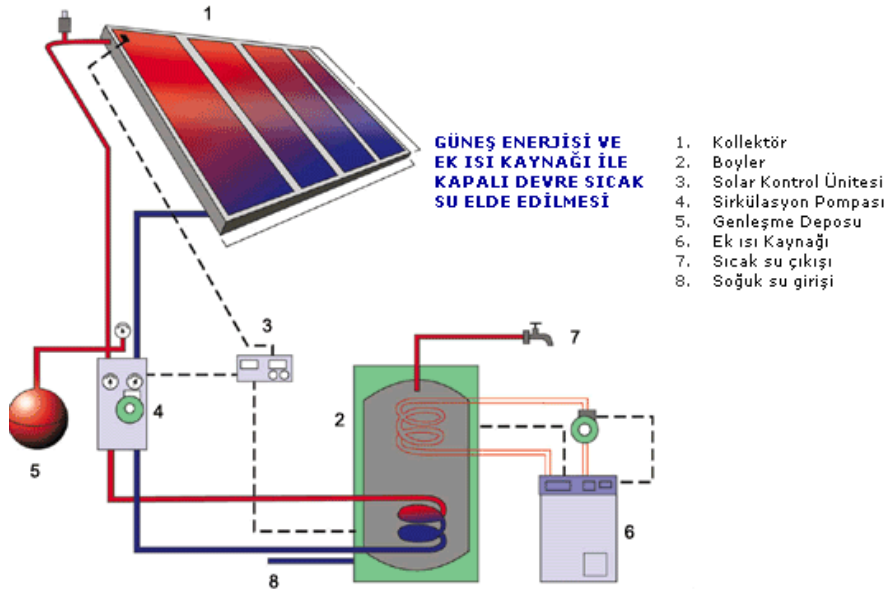
5. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş kolektörleri, güneş radyasyonunu alıp, bir akışkan (sıvı ya da hava) bünyesine geçiren birer ısı değiştiricidirler [44]. Üç grupta sınıflandırılırlar;

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

Güneş Kolektörleri ısı taşıyıcı akışkana göre sınıflandırıldıklarında ise;

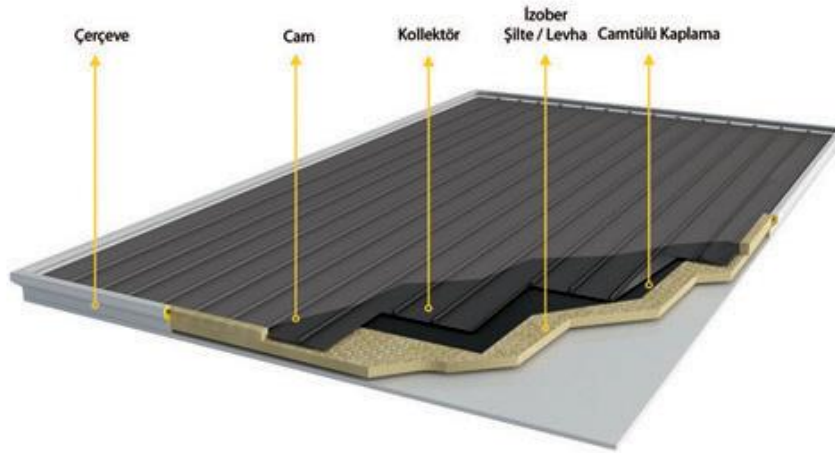
1. Sıvılı kolektörler
2. Havalı kolektörler olmak üzere ikiye ayrılırlar [44].



Şekil 5.1. Güneş enerjisi ve ek ısı kaynağı ile kapalı devre sıcak su eldesi [45].

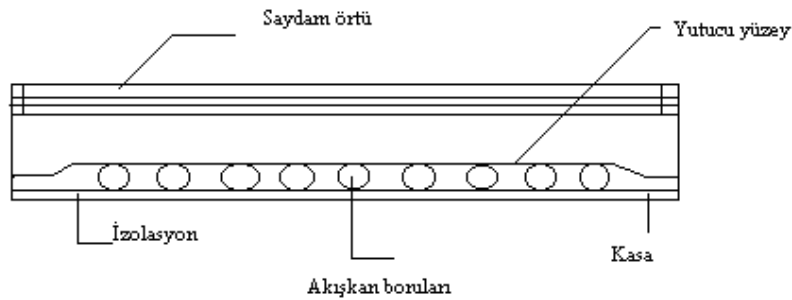
5.1 Düzlemsel Yüzeyle Güneş Kolektörleri

Düzlemsel güneş kolektörleri, 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. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, 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. Kolektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Şekil 5.2.'de görüldüğü üzere üst örtü, emici plaka, ısı yalıtımı, kolektör kasası ve bunların birleştirilmesinde kullanılan parçalar düzlemsel yüzeyle güneş kolektörünü oluşturur.



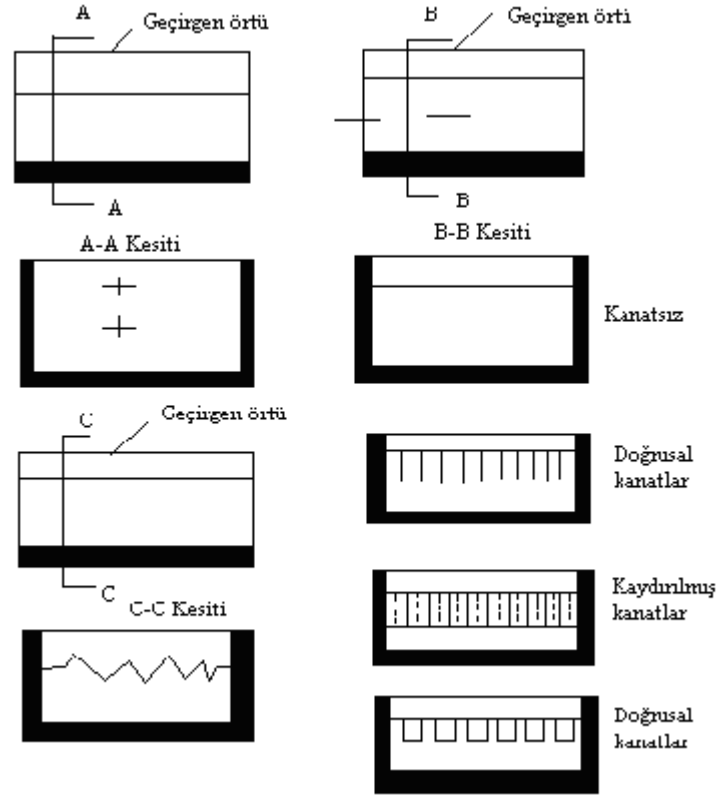
Şekil 5.2. Kolektörün kısımları [46].

Şekil 5.3'de düzlemsel güneş kolektörünün kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 5.3. Düzlemsel güneş kolektörünün kesit görünüşü [47].

Şekil 5.4'te Farklı düzlemsel güneş kolektörü tasarımlarına örnekler verilmiştir.



Şekil 5.4. Farklı düzlemsel güneş kolektörü tasarımları [47].

5.1.1. Üst Örtü

Kolektörlerin 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 geçirmesi 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 arttırır.

5.1.2. Emici Plaka

Emici plaka kolektörün 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 kolektör verimi ortalama % 5 artar. Emici plaka, borular ile sıkı temas halinde olmalıdır. Alüminyumda olduğu gibi, akışkan borularının kanatlarla bir bütün teşkil etmesi en iyi durumdur. Bakır ve sacda bu mümkün olmadığı için akışkan boruları ile plakanın birbirine temas problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem ya tamamen yâda belli aralıklarla lehim veya kaynak yapmakla çözülebilir.

5.1.3. Isı Yalıtımı

Kolektörün arkadan ve yan taraflarından olan ısı kayıplarını minimuma indirmek için absorban plaka ile kasa arası uygun bir yalıtım maddesi ile yalıtılmalıdır. Absorban plaka sıcaklığı, kolektörün 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.

5.1.4. Kolektör Kasası

Kolektör kasalarının yapımında ağaç malzeme çok kullanılır. Ağaç malzemenin yapımı ve montajı kolaydır. Ağacın tek sakıncası aşırı sıcaklıklardan etkilenmesidir. Yangın tehlikesi vardır. Kolektör yapımında kullanılan ağaç iyi işlenmiş ve kurutulmuş

olmalıdır. Kolektörün en sıcak elamanı olan emici plaka ağaç kısımlarla direkt temasta olmamalıdır.

Metal sağlam ve ateşe dayanıklıdır. Ancak ağır, pahalı ve iyi bir ısı iletken olması dezavantajıdır. Buna rağmen birçok bakımdan ağaçtan daha uygundur. Emici plaka ile yalıtıldığı takdirde ısı kaybı önlenebilir. Ağırlığının azaltılması alüminyum kullanılarak sağlanabilir. Kolektör 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 kolektörlerin kasasının yapımı çok zor değildir. Değişik tasarım biçimleri mümkündür. Ancak Aşağıda belirtilen hususlar, kasanın yapımında dikkate alınmalıdır.

- Kasa, kolektörü sağlam bir şekilde taşınmalı, emici plaka ile kasa arasında yalıtım uygulanmalıdır.
- Isıl genleşmelerin olacağı bağlantı yerlerinde su ve hava sızdırmayan conta bulunmalı, cam sağlam olarak tespit edilmeli, alt ve üstüne conta konulmalıdır.
- Temizliği için, emici plakaya kolayca ulaşılabilmesi, kırılan cam pratik şekilde değiştirilebilmelidir.

Dış çerçevenin herhangi bir yerinden su ve hava sızmamalı, kritik birleşme ve bağlantı yerlerinde sanayi macunu kullanılmalıdır [44].

5.2. Odaklamalı (Yoğunlaştırıcı) Tip Güneş Kolektörleri

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı kolektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir.

Kolektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutulması için ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kolektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı

kolektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kolektörlerde en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranı" dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir. Bu tür kolektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir [44].

5.2.1. Doğrusal Odaklamalı Güneş Kolektörleri

Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kolektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kolektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler. (350–400°C) Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralidir. Parabolik oluk kolektörler, Şekil 5.5'te görüldüğü gibi doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolğin odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır.



Şekil 5.5. Doğrusal yoğunlaştırıcı kolektör [48].

5.2.2. Noktasal Odaklamalı Güneş Kolektörleri

Parabolik Çanak Sistemler, iki ekseninde güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilmiştir. Şekil 5.6.'da Noktasal yoğunlaştırıcı kolektör tipi görülmektedir.



Şekil 5.6. Noktasal yoğunlaştırıcı kolektör [48].

5.3. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörleri

Havalı güneş kolektörleri, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren en basit araçlardan biridir. Genel olarak bir cam veya plastik geçirgen örtü, emici plaka, plakaya entegre edilmiş veya altına yerleştirilmiş borular veya kanallar, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşmaktadır. Bu kolektörlerin en önemli elemanı, gelen güneş enerjisini yutan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına aktaran emici plakalardır [49].

Havalı güneş kolektörleri ürün kurutma ve hacim ısıtma uygulamalarını içeren birçok alanda kullanılabilir. Kurutma uygulamalarında havalı kolektör tasarımlarının en önemli faktörlerden bir tanesi ekonomik kontrolü sağlamaktır. Güneş enerjili kurutma sistemlerinde havalı kolektörler önemli bir yer tuttuğundan geliştirilen yeni tasarımlar havalı kolektör sistemlerinde en iyi performansı bulmaya yön verecektir [50].

Günümüzde birçok araştırmacı havalı güneş kolektörleriyle ilgili akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalara devam etmektedirler. Bu bağlamda; düz plaka tipli havalı kolektörlerin kullanımı oldukça geniş yelpazededir. Yapılan tasarımlarda havanın akışı emici plakanın üstünde, altında veya her iki tarafta da olabilmektedir [50].

5.4. Vakumlu Güneş Kolektörleri

Vakum borulu toplayıcının dışında geçirgenliği yüksek cam boru veya cam plaka ve bunun içinde eş aksenal durumda madeni boru yada selektif malzemeyle kaplanmış cam borudan oluşur (Şekil 5.7.)

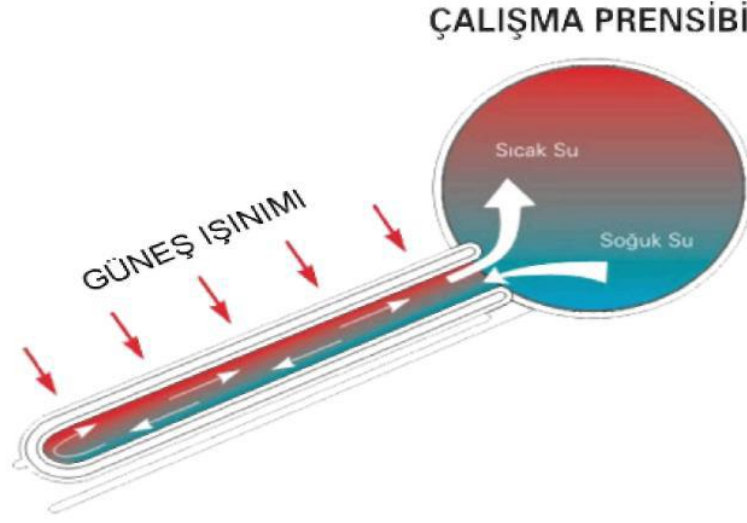
İç ve dıştaki boru arasındaki hava boşaltıldığından taşınım kayıpları azaltılmıştır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir ve sıcak hava ısıtma tesisatlarında kullanılır.



Şekil 5.7. Vakumlu kolektörün görünüş ve kısımları [51].

5.4.1. Vakumlu Güneş Kolektör Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Dıştaki saydam cam boru veya cam plaka güneş ışınlarının iç boruya gelmesine olanak sağlar. İç boru, siyah yüzeyi aracılığıyla, ışınları toplar ve kendi içinden geçen akışkanı (suyu) ısıtır. Isınan suyun hacmi artarak yoğunluğu azalır ve yukarı doğru hareket eder. Böylelikle depoya ulaşır ve buradan istenilen yerlere sevk edilerek kullanma suyu olarak ya da ısıtma tesisatında kullanılır. Şekil 5.8.'de sistemin çalışma prensibi görülmektedir.



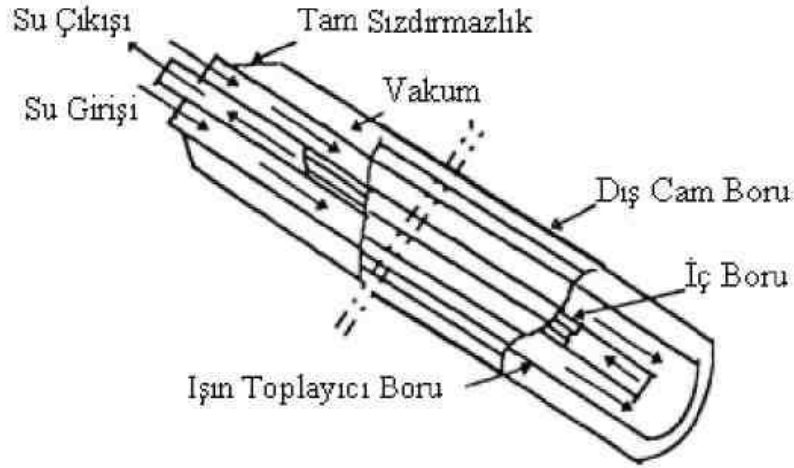
Şekil 5.8. Vakum tüplü kolektörün çalışma prensibi [51].

Vakum borulu toplayıcının verimi düz toplayıcıya göre fazla olmakla beraber cam kırılması ve dış borular arasındaki kar birikiminden dolayı toplayıcının örtülmesi gibi sakıncaları vardır. Bu sistemde 120-150 °C gibi sıcaklıklar elde etmek mümkündür.

Sistem yüzeyleri arasında havasının tamamıyla boşaltılması veya tamamen havasını boşaltmadan vakumsuz olması ve yüksek molekül ağırlıklı asal gazların doldurulması ile sızdırmazlık sağlanarak performansı arttırılabilir. Silindir boru şeklindeki kolektörler, doğal olarak yüksek sıkıştırma direncine ve dış darbelere karşı mukavemetlidir.

5.4.2. Owens-Illinois Tipi Vakumlu Güneş Kolektör Sistemi

Düz toplayıcıların cam örtüsünden, taşınım yoluyla büyük kayıplar olur. Vakum borulu toplayıcının dışındaki saydam cam boru ile içindeki selektif yüzeyli boru arasında vakum yaratarak taşınım kayıpları azaltılmıştır. Bu nedenle, vakum borulu toplayıcıların verimi düz toplayıcıdan daha yüksektir. Vakum, borulu toplayıcılar, sıcak su elde etmekte, endüstriyel işlemlerde, bina ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılır. Şekil 5.9.'da görülen Owens-Illinois tipi vakum borulu toplayıcı, eş aksenel durumda iç içe geçmiş üç borudan oluşur. Dış ve orta boru arasında vakum vardır. Sıvı orta boruya girer, ısınır ve iç borudan çıkar. Vakum borulu toplayıcının içinde su, bazen hava dolaştırılır.



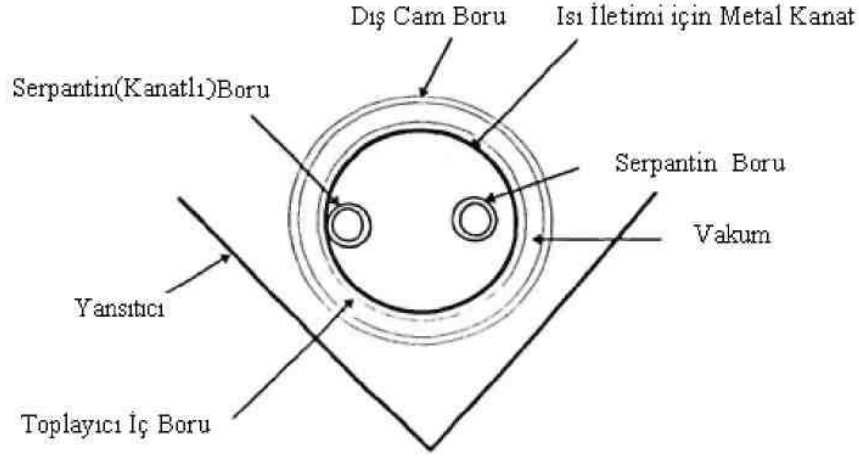
Şekil 5.9. Owens-Illionois tipi vakumlu güneş kolektörü [51].

Boruları birbirine değecek şekilde yerleştirip fazla toplayıcı yüzey sağlamak mümkün olmakla beraber, boruları aralıklı dizerek alt tarafa yansıtıcı yüzey koymanın daha verimli olduğu anlaşılmıştır. İki boru arasında bir boru çapı kadar boşluk bırakarak arkaya yansıtıcı yüzey yerleştirilir. Yansıtıcı yüzeyler, ayna, paslanmaz çelik, alüminyum olabileceği gibi beyaz boya da kullanılabilir. Sonuncu çözümün daha iktisadi olduğu anlaşılmaktadır.

5.4.3. General Electric Tipi Vakumlu Güneş Kolektör Sistemi

Şekil 5.10.'daki vakum borulu toplayıcının dış borusu saydam camdır. Toplayıcı iç boruya tam temas eden bir metal kanat bulunmaktadır. Dış boru ile toplayıcı iç borunun arasındaki vakum sayesinde taşınım kayıpları önlenir. Toplayıcı iç borunun dış kısmında seçici yüzey katmanı bulunur. Metal kanat, U şeklindeki serpantin borularla tam temas halindedir. Serpantinin içinden, ısınan su devredilir. Güneş ışınları, dış borudan geçerek iç borunun üstündeki seçici yüzey tarafından yutulur.

Burada toplanan enerji, metal kanat aracılığı ile serpantin borusuna aktarılır ve sonuç olarak boru içindeki sıvı ısınır. Vakum borulu toplayıcının arkasındaki V şeklindeki ışın yansıtıcı sayesinde borunun alt tarafındaki seçici yüzeyde enerji toplanır.



Şekil 5.10. General elektrik tipi toplayıcı [51].

5.4.4. Philips Tipi Vakumlu Güneş Kolektör Sistemi

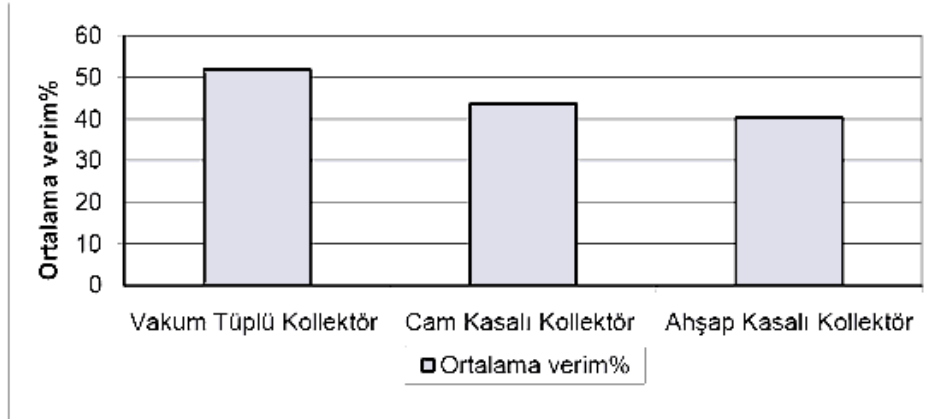
Philips tipi toplayıcıda saydam olan dış borunun üst kısmı ışınları geçirir. Ayrıca, alt kesite uygulanan bir katmanla, bu kısım yansıtıcı haline getirilmiştir. Borunun içinde vakum bulunmaktadır. Dış borunun üst kısmına ısı yansıtıcı filtre katmanı uygulanmaktadır. Bu katman güneş ışınlarını geçirir. Fakat toplayıcı borular ısınıp uzun dalga geri ışınım yaymaya başladığında bu ışınlar filtreden geçemez. Çünkü filtre katmanı uzun dalga ışınlar için tam engel oluşturur. Cam dış borunun içinde serpantin şeklinde toplayıcı borular mevcuttur. Bu boruların üzerinde siyah katman vardır. Bunların içinden geçen sıvı ısınır. Güneş ışınları dış cam borudan geçtikten sonra doğrudan serpantin boruların üstüne geldiği gibi aynı zamanda alttaki yansıtıcıdan da yansıtılarak toplayıcı borularını ısıtır. Genellikle vakum borulu toplayıcıların montajı kolaydır. Sızdırmazlıkla ilgili sorunlar, seri üretim yöntemi ile çözülmüştür. Vakum borulu toplayıcılardan yüksek verim sağlandığı gerçektir. Aynı zamanda elde edilen yüksek sıcaklıklar, doğrudan buhar üretilmesi mümkün kılacak seviyededir. Buna karşın cam kırılması bazı hallerde sistemi çalışmaz hale getirmektedir. Borular arasında biriken kar örtüsü toplayıcının çalışmasını engelleyebilir. Bütün bu sakıncalara rağmen vakum borulu toplayıcılar güneş enerjisi dalında çok olumlu bir aşamadır [52].

5.4. Vakum Tüplü Kolektörler İle Standart Düz Kolektörlerin Performans ve Verimlerinin Karşılaştırılması

E.S. Öz, E. Özbaş ve R. Dündar'ın yapmış oldukları bir deneysel çalışmada şu sonuçlar ortaya çıkmıştır; Deneyler esnasında vakum tüplü kolektör ve cam kasalı kolektörler güneş radyasyonuna hemen cevap verirlerken, ahşap kasalı kolektör atalet uğramıştır. Aynı zamanda, cam kasalı kolektör ortam sıcaklığından hemen etkilenirken ahşap kasalı kolektör gecikmeye uğramıştır. Dolayısıyla cam kasalı kolektör hemen ısınıp hemen soğurken, ahşap kasalı kolektör geç ısınıp geç soğumuştur.

Vakum tüplü kolektör ise oluşturulan vakumdan dolayı ortam sıcaklığına bağlı olarak ısı kaybına uğramamıştır.

Şekil 5.11'te ve Tablo 5.1'de, vakumlu tüplü, cam kasalı ve ahşap kasalı kolektörlerin verimlerinin tablo olarak ve grafiksel gösterimi verilmiştir. Vakumlu tüplü kolektörlerinin verimlerinin cam kasalı ve ahşap kasalı kolektörlerden daha yüksek olduğu görülmektedir [53].



Şekil 5.11. Vakumlu tüplü, cam kasalı ve ahşap kasalı kolektörlerin verim karşılaştırması

Tablo 5.1. Ortalama verim tablosu [53].

	Ortalama Verim (%)
Vakumlu Tüplü Kolektör	51.97
Cam Kasalı Kolektör	43.70
Ahşap Kasalı Kolektör	40.47

6. GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMALI ISITMA SİSTEMLERİNİN ISIL ANALİZİ

6.1. Isıl Analiz

Isı depolu güneş enerjili ısıtma sistemleri, güneş kolektörleri ve ısı deposundan oluşmaktadır. Güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisi, depoya aktarılır. Depolanan enerji, ihtiyaç duyulan zamanlarda konutları ısıtmak amacıyla depodan çekilir. Güneş enerjisi depolamalı ısıtma sistemlerinin tasarımlarının doğru yapılabilmesi için sadece enerji değil ekserji analizlerinin de yapılması gereklidir. Ayrıca ısıtma sistemlerinin performansını geliştirmek için sistemdeki ekipmanların ekserji analizi yapılmalıdır.

6.1.1. Enerji Analizi

Termodinamiğin birinci yasasına göre enerji dengesi şu şekilde ifade edilir;

$$Q - W = \sum_{\text{çıkan}} m \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) - \sum_{\text{giren}} m \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (6.1)$$

Güneş enerjisinin duyulur ısı olarak depolandığı ısıtma sistemleri kapalı sistemlerdir. Bu tür sistemlerde enerji dengesi termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumu ilkesine göre yapılmaktadır. Buna göre güneş kolektörü ve ısı deposu için enerji dengeleri şu şekilde oluşacaktır;

$$(Kolektörden alınan enerji) = (Kolektöre gelen ışınlım) - (Kolektörden kaybolan enerji)$$

$$(Depoya Giren En.) = (Depolanan En.) + (Depodan Kaybolan En.) + (Depodan çıkan En.)$$

Bir ısıtma sistemi tasarımda her şeyden önce ısıtılacak olan ortam için gerekli olan enerji miktarının yani konutun ısı yükünün belirlenmesi gerekmektedir.

6.1.1.1. Konutlarda Isı Kaybı Hesabı

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standardına göre bir konutun ısı ihtiyacı, binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışıınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör dikkate alınarak belirlenir. Bir konutun ısı kayıpları, iletim ve taşınım yoluyla, havalandırma yoluyla ve sızıntıyla olmak üzere üç şekilde meydana gelmektedir [59].

Yani bir konutun toplam ısı kaybı;

$$Q_{kt} = Q_{i,t} + Q_s + Q_h \quad (6.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, $Q_{i,t}$, Q_s , Q_h sırasıyla iletim ve taşınım yoluyla, sızıntı yoluyla ve havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kayıp miktarlarını göstermektedir.

6.1.1.1.1. İletim ve Taşınım Yoluyla Meydana Gelen Isı Kaybı Hesabı

İletim ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı eşitlik 6.2 ile hesaplanır[59].

$$Q_{i,t} = Z.A.U.(T_{iç} - T_{dış}) \quad (6.2)$$

Bu denklemde U (W/m^2K) değeri, toplam ısıl geçirgenlik direncidir. Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci, yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik dirençlerine (R), yüzeyel ısıl iletim direnç değerleri (R_i , R_d) eklenerek eşitlik 6.3'e göre hesaplanır. Yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik dirençleri (R) ise, tek tabakalı yapı bileşenlerinde eşitlik 6.4'te belirtildiği gibi, yapı bileşeninin kalınlık (d) değerinin, ısıl iletkenlik katsayısına (k) bölünmesi ile hesaplanır. Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ise ısıl geçirgenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları (d_1, d_2, \dots, d_n) ve bu yapı elemanlarının ısıl iletkenlik katsayıları (k_1, k_2, \dots, k_n) kullanılarak eşitlik 6.5 ile hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_d \quad (6.3)$$

$$R = \frac{d}{k} \quad (6.4)$$

$$R = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \dots + \frac{d_n}{k_n} \quad (6.5)$$

Hesaplamalarda kullanılan yüzeysel ısı iletim direnç değerleri (R_i, R_d) Şekil 6.1'de ve hava tabakalarının ısı geçirgenlik dirençleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

İç Ortam DURUM		Yüzeysel Isı Taşınım Dirençleri m ² K/W
	İç yüzeyler Isı geçişi yatay veya yukarı	0.13 * * *
	İç yüzeyler Isı geçişi Aşağı	0.17
	Büyük dış Yüzeyler	0.04 * *

Şekil 6.1. Yüzeysel ısı taşınım dirençleri [59].

Tablo 6.1 Hava tabakalarının ısı geçirgenlik dirençleri [59].

Hava Tabakasının			
Sıra No	Durumu	Kalınlığı (d) (mm)	Isı İletkenlik Direnci (R) (m ² K/W)
1	Düsey	≤10	0.14
		11-20	0.16
		21-50	0.18
		51-100	0.17
		>100	0.16
2	Yatay (ısı akışı aşağıdan yukarıya)	≤10	0.14
		11-20	0.15
		>20	0.16
3	Yatay (ısı akışı yukarıdan aşağıya)	≤10	0.15
		11-20	0.18
		>20	0.21

Eşitlik 6.2'deki Z değeri, bina durumu, yüksekliği ve yönünden kaynaklanan ısı artırımlarını ifade etmektedir.

$$Z = 1 + \%Z_D + \%Z_W + \%Z_H \quad (6.6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada Z_D (bina işletme durumu değeri) işletme türüne bağlı olarak Tablo 6.3'te, Z_W (kat yükseklik artırım değeri) Tablo 6.4'te ve Z_H (yön artırım değeri) ise Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.2'de farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda referans alınacak olan aylık ortalama iç sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tablo 6.2. Farklı amaçlarla kullanılan binalar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değerleri [T_{iref} (°C)] [59].

	Isıtılacak Mahal	Sıcaklık (°C)
1	Konutlar	19
2	Yönetim Binaları	
3	İş ve Hizmet Binaları	
4	Otel, Motel ve Lokantalar	20
5	Öğretim Binaları	
6	Tiyatro ve Konser Salonu	
7	Kışlalar	
8	Ceza ve Tutuk Evleri	
9	Müze ve Galeriler	
10	Hava Limanları	22
11	Hastaneler	
12	Yüzme Havuzları	26
13	İmalat ve Atölye Mahalleri	16

Tablo 6.3. Bina işletme durumu değeri (Z_D) [59].

İşletme Durumu	$D = \frac{Q_o}{A_{top} \cdot (T_{iç} - T_{dış})}$ (W/m ² K)			
	0.12-0.34	0.35-0.80	0.81-1.73	>1.74
% Z_D				
1. Tip İşletme*	7	7	7	7
2. Tip İşletme*	20	15	15	15
3. Tip İşletme*	30	25	20	15

- * 1. Tip İşletme: Tesisat sürekli çalışmakta yalnız geceleri ateş azaltılmaktadır (genellikle konutlar).
 2. Tip İşletme: Kazan her gün 10 saat tamamen söndürülmektedir (genellikle işyerleri).
 3. Tip İşletme: Kazan her gün 14 saat veya daha uzun söndürülmektedir (genellikle işyerleri).

Tablo 6.4. Kat yükseklik artırım değeri (Z_w) [59].

Kat	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Arttırım												
%0	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	3,2,1	4,3,2,1	5,4,3,2,1
%5	4	4	5,4	5,4	5,4	6,5,4	6,5,4	6,5,4	6,5,4	6,5,4	7,6,5	8,7,6
%10		5	6	6	7,6	8,7	9,8,7	9,8,7	9,8,7	9,8,7	10,9,8	11,10,9
%15				7	8	9	10	10	11,10	12,11,10	13,12,11	14,13,12
%20								11	12	13	14	15

Tablo 6.5. Yön artırım değeri (Z_H) [59].

Yön	G	GB	B	KB	K	KD	D	GD
% Z_H	-5	-5	0	+5	+5	+5	0	-5

6.1.1.1.2. Sızıntı Yoluyla Meydana Gelen Isı Kaybı Hesabı

Kapı ve pencerelerden kaynaklanan sızıntı aracılığı ile meydana gelen ısı kayıpları, eşitlik 6.7'deki gibi hesaplanır [59].

$$Q_s = \frac{1}{3.6} \left[\sum (a.l).R.H.\Delta T.Z_e \right] \quad (6.7)$$

Burada; a (sızdırganlık katsayısı) ve R (oda durum katsayısı) değerleri, kapı ve pencerelerin hangi yapı malzemesinden yapılmış olduğuna bağlı olarak sırasıyla Tablo 6.6 ve Tablo 6.7'de ve H (bina durum katsayısıdır) değeri Tablo 6.8'de verilmiştir. Z_e değeri ise, her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2, diğer odalar için 1.0 alınan bir katsayıdır.

Tablo 6.6. Kapı ve pencerelerin sızdırganlık kat sayısı [59].

Malzeme	Pencere veya Kapı Şekli	a (m ³ /mh)
Ahşap Çerçeve	Tek Pencere	3.0
	Çift Camlı Pencere	2.5
	Çift Pencere	2.0
Plastik Çerçeve	Tek veya Çift Camlı	2.0
	Çift Pencere	1.5
Çelik veya Metal Çerçeve	Çift Camlı Pencere	1.5
	Çift Pencere	1.2
İç Kapılar	Eşiksiz Kapılar	40.0
	Eşikli Kapılar	15.0
*Dış kapılar pencere gibi hesaplanırlar		

Tablo 6.7. Oda durum katsayısı [59].

Yapı elemanı	İç Kapı	A_{dp}/A_{ik} (dış pencere alanı/iç kapı alanı)	R
Tahta veya Plastik Çerçeve	Aralıklı	$A_{dp}/A_{ik} < 3$	0.9
	Aralıksız	$A_{dp}/A_{ik} < 1.5$	0.9
Çelik veya Metal Çerçeve	Aralıklı	$A_{dp}/A_{ik} < 6$	0.9
	Aralıksız	$A_{dp}/A_{ik} < 2.5$	0.9
Tahta veya Plastik Çerçeve	Aralıklı	$3 < A_{dp}/A_{ik} < 9$	0.7
	Aralıksız	$1.5 < A_{dp}/A_{ik} < 3$	0.7
Çelik veya Metal Çerçeve	Aralıklı	$6 < A_{dp}/A_{ik} < 20$	0.7
	Aralıksız	$2.5 < A_{dp}/A_{ik} < 6$	0.7

Tablo 6.8. Bina durum katsayısı [59].

		Bina Durum Katsayısı (H) (kJ/m ³ K)	
Bölgenin Durumu	Binanın Durumu	Bitişik Nizam	Ayrık Nizam
Normal Bölge	Mahfuz	1.00	1.42
	Serbest	1.72	2.43
	Çok Serbest	2.51	3.52
Rüzgarlı Bölge	Mahfuz	1.72	2.43
	Serbest	2.51	3.52
	Çok Serbest	2.58	4.71

6.1.1.1.3. Havalandırma Yoluyla Meydana Gelen Isı Kaybı Hesabı

Isıtılan ortamda bir hava değişimi söz konusuysa, bu durum bir miktar ısının ortamdaki uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı eşitlik 6.8 ile hesaplanır [59].

$$Q_h = n \cdot \rho \cdot V \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6.8)$$

Burada n değeri, hava değişim sayısı olup kapı ve pencereleri saatte kaç defa açıldığıyla alakalı bir değeri olup, küçük hacimler için en fazla 0.33, orta büyüklükteki hacimler için (100 m² taban alanlı, 3-5 m yükseklikli yerlerde) en fazla 0.20, büyük hacimler için (1000

m² taban alanlı) en fazla 0.15 önerilmektedir. Eşitlikteki ρ , V , c_p ve ΔT değerleri ise sırası ile havanın yoğunluğu, değişen havanın hacmi, havanın özgül ısısı ($c_p = 1.005 \text{ kJ/kg} - K$ alınabilir) ve iç ortam ile dış ortamın sıcaklık farkını ifade etmektedirler.

6.1.1.2. Güneş Kolektörleri İçin Enerji Analizi

Güneş kolektöründen sağlanan faydalı ısı enerjisi Q_k [60],

$$Q_k = \eta_k A_k I_e \quad (6.9)$$

veya

$$Q_k = m_h \cdot c_p \cdot (T_{kög} - T_{koç}) \quad (6.10)$$

eşitlikleriyle hesaplanır [60]. Buna göre güneş kolektörlerinin birinci yasa verimi Eşitlik 6.9 ve 6.10'dan faydalanarak, kolektörden elde edilen faydalı ısı miktarının güneş yüzeyine gelen toplam güneş ışınımına oranıyla bulunur [55].

$$\eta_k = \frac{m_h c_p (T_{kög} - T_{koç})}{A_k I_e} \quad (6.11)$$

Burada I_e değeri eğik yüzeyin birim alanına gelen toplam güneş ışınımı olup, eşitlik 6.12 ile hesaplanır [61, 62, 63]

$$I_e = I_{be} + I_{de} + I_{re} \quad (6.12)$$

Burada I_{be} , I_{de} ve I_{re} sırasıyla eğimli yüzeye gelen direkt, difüz ve yansıyan ışınımı ifade etmektedir. Direkt, difüz ve yansıyan ışınım değerleri çeşitli modellerden yararlanarak hesaplanır. Direkt ışınım için Liu ve Jordan ve Jimenez ve Castro modeli kullanılmaktadır [64]. Liu ve Jordan modeli [65, 66, 67, 68] kullanılarak eğik düzleme gelen direkt ışınım

yatay düzleme düşen direk güneş ışınımı (I_b) ile direk ışınım dönüşüm katsayısından (R_b) faydalanarak,

$$I_{be} = I_b \cdot R_b \quad (6.13)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. R_b değeri, güneş geliş açısı ($\cos\theta$) ile zenit açısının ($\cos\theta_z$) oranına eşittir.

$$\cos\theta = \sin d \cdot \sin(e - \beta) + \cos d \cdot \cos(e - \beta) \cdot \cos w \quad (6.14)$$

ve

$$\cos\theta_z = \sin d \cdot \sin e + \cos d \cdot \cos e \cdot \cos w$$

olduğundan,

$$R_b = \frac{\sin d \cdot \sin(e - \beta) + \cos d \cdot \cos(e - \beta) \cdot \cos w}{\sin d \cdot \sin e + \cos d \cdot \cos e \cdot \cos w} \quad (6.15)$$

eşitliği elde edilir. Burada d , deklinasyon açısı olup eşitlik 6.16'den bulunur. e , hesaplaması yapılan yerin enlem açısı, w ise saat açısı, yani zamanın açısal ölçüsü olup her 1 saat 15° boylama eşittir. Öğlen saat 12'den uzaklaşılana her bir saat için değeri, öğleden evvel $+15^\circ$, öğleden sonra ise -15° artar.

$$d = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (n + 284) \right] \quad (6.16)$$

n değeri, hesabı yapılan günün, 1 Ocak ile 31 Aralık arasında yılın kaçınıcı günü olduğunu gösterir.

Eşitlik 6.15'deki β ise yüzey eğim açısıdır. R_b değerini maksimum yapan β açısı optimum eğim açısıdır. Yani eğik düzlemin gün öğlesinde en fazla radyasyonu almasını

sağlayan eğim açısıdır. Öyle ise R_b 'nin β 'ya göre türevi alınıp sifıra eşitlenirse optimum eğim açısı bulunur.

$$\frac{dR_b}{d\beta} = 0 \Rightarrow [\sin(e - \beta)\cos d \cdot \cos w - \cos(e - \beta)\sin d][\cos e \cdot \cos d \cdot \cos w + \sin e \cdot \sin d] = 0 \quad (6.17)$$

Bu denklemin sıfır olabilmesi için birinci yada ikinci terimin en az birinin sıfır olması gereklidir. İkinci terimde β değişkeni bulunmadığından birinci terimi sifıra eşitlemek gereklidir.

$$[\sin(e - \beta)\cos d \cdot \cos w - \cos(e - \beta)\sin d] = 0 \quad (6.18)$$

Gün öğlesinde $w=0$ olacağından $\cos w = 1$ olur. ve 6.18 numaralı denklem, $[\sin(e - \beta)\cos d - \cos(e - \beta)\sin d] = 0$ halini alır. Bu denklem düzenlenirse; $\sin[(e - \beta) - d] = 0 \Rightarrow e - \beta - d = 0$ olacağından,

$$\beta = e - d \quad (6.19)$$

eşitliği bulunur. Yani, optimum eğim açısı, enlem açısıyla deklinasyon farkına eşit olacağı görülmektedir.

Eşitlik 6.13'deki I_b değeri, yatay düzleme gelen güneş ışınımı değeri (I) ile yatay düzleme gelen difüz ışınımın I_d farkına eşittir.

$$I_b = I - I_d \quad (6.20)$$

Yatay düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınım şiddetinin belirlenmesinde kullanılan modeller saatlik berraklık indeksi ve difüz ışınım oranı gibi parametrelerin fonksiyonu olarak verilmektedir (Miguel vd., 2001; Wong ve Chow, 2001). Liu ve Jordan modeline göre saatlik difüz güneş ışınımı için eşitlik 6.21 kullanılmaktadır.

$$I_d = I_0(0.384 - 0.416k_t) \quad (6.21)$$

Burada I_0 [MJ/m²h] atmosfer dışı yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınımı değeri ve k_t ise saatlik berraklık indeksi olup,

$$I_0 = \frac{I}{k_t} \quad (6.22)$$

eşitliği ile hesaplanır [69].

Eşitlik 6.23'te eğimli yüzeye gelen saatlik difüz ışınım, yatay düzleme gelen saatlik difüz ışınım ve eğim açısının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [67, 69, 70]. Liu Jordon modeli kullanılarak Eğik düzleme gelen saatlik difüz güneş ışınımı,

$$I_{de} = \frac{1}{2} I_d (1 + \cos \beta) \quad (6.23)$$

denklemleri ile hesaplanır [67].

Eğik düzleme gelen saatlik Yansıyan Güneş Işınımı ise,

$$I_{re} = \frac{1}{2} \cdot y \cdot I_d (1 - \cos \beta) \quad (6.24)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır [55, 62]. Burada y yüzey yansıtma oranını ifade etmektedir. Literatürde [67, 71, 72] genellikle kullanılan 0.2 değeri yüzey yansıtma oranı olarak hesaplamalarda esas alınmıştır.

6.1.1.3. Isı Deposu İçin Enerji Analizi

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği ile ilgilidir. Enerjinin, biçim değiştirmesine karşın, yok edilemeyeceğini ve yoktan da var edilemeyeceğini belirtir. Potansiyel, kinetik, elektrik vb. enerjiler tersinir bir değişime uğratıldıklarında tamamen başka bir enerji türüne dönüştürülebilmektedir.

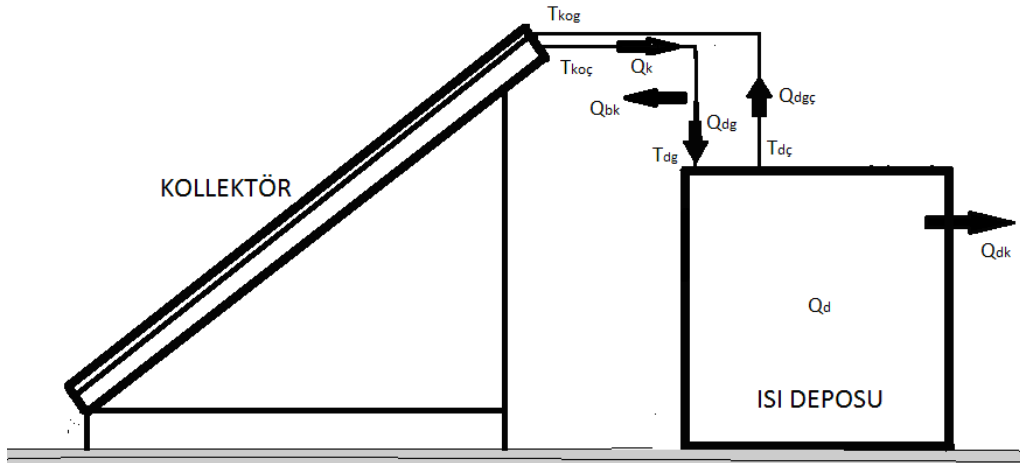
Termodinamiğin birinci yasasından hareketle bir sistem veya işlem için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\Sigma \text{Giren Enerji} = \Sigma \text{Depolanan Enerji} + \Sigma \text{Çıkan Enerji}$$

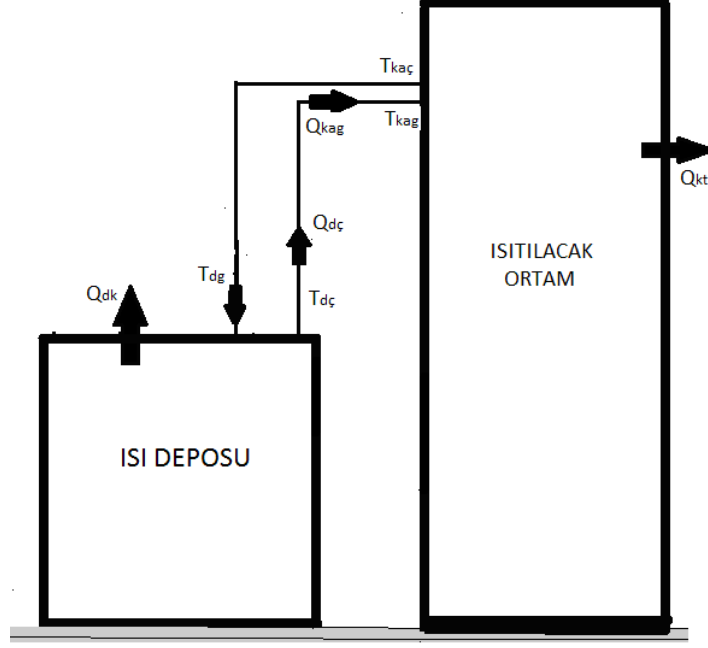
Kararlı haldeki bir akış işleminin başlangıç (g) ve son (ç) durumlarına bağlı olarak enerji dengesi aşağıdaki gibidir.

$$Q - W = [(mh)_{\text{ç}} - (mh)_{\text{g}}] \quad 6.25$$

Şekil 6.2’de güneş enerjisi depolamalı bir ısıtma sisteminin ısı depolama aşaması, Şekil 6.3’de ise depolanmış olan ısı enerjisinin ısıtılacak ortama aktarılma aşaması şematik olarak verilmiştir.



Şekil 6.2. Isı depolama aşaması



Şekil 6.3. Ortam ısıtma aşaması

Böyle bir sistemde ısı depolanması süresince güneş kolektöründen sağlanan enerjinin (Q_k) bir kısmı ısı taşıyıcı akışkanın geçtiği borulardan kaybolur (Q_{bk}), kalan kısmı depoya aktarılır. Depoya aktarılan enerjinin bir kısmı depodan dışarıya iletim ve taşınım yoluyla kaybolur (Q_{dk}), bir kısmı depodan geri çıkar (Q_{dg}), kalan kısmı ise ısı deposu içersinde depolanır. Bu durumda ısı deposu için enerji bilançosu Eşitlik 6.26'daki gibi olacaktır [73].

$$Q_k = Q_d + Q_{dk} + Q_{bk} + Q_{dg} \quad (6.26)$$

Burada (Q_{bk}), akışkanın geçtiği borulardan dışarıya kaybolan enerji olup, kolektörden çekilen enerji (Q_k) ile depoya aktarılan enerji (Q_{dg}) arasındaki farka eşittir. Yani;

$$Q_{bk} = Q_k - Q_{dg} \quad (6.27)$$

olacaktır. Depoya aktarılan ısının bir miktarı depo cıdarlarından iletim ve taşınım yoluyla kaybolurken kalan miktar ise depodaki suda depolanacaktır. Depolanılan enerji miktarı için,

$$Q_d = Q_{dg} - Q_{dk} \quad (6.28)$$

eşitliği yazılabilir. Burada (Q_{dk}), depo cidarlarından iletim ve taşınım yoluyla kaybolan enerji olup eşitlik 6.29'dan hesaplanabilir.

$$Q_{dk} = U \cdot A_d \cdot t \cdot \Delta T \quad (6.29)$$

(Q_k), ($Q_{ka.g}$), (Q_{dg}) ve (Q_d) ısılarının toplam değerleri, ısı taşıyıcı akışkanın yoğunluğu (ρ), hacimsel debisi (\dot{v}), özgül ısısı (c_p), toplam çalışma süresi (t) ve akışkanın ortama giriş ve çıkış sıcaklık farkından (ΔT) faydalanılarak Eşitlik 6.30'den bulunabilir.

$$Q = \rho \cdot \dot{v} \cdot c_p \cdot t \cdot \Delta T \quad (6.30)$$

Isı depolama süresince deponun verimi, termodinamiğin birinci yasasına bağlı olarak şu şekilde tanımlanır ;

$$\eta = \frac{\text{Isı verme süresince sistemde depolanan enerji}}{\text{Sisteme verilen enerji}}$$

Isı verme süresince sistemde depolanan ısı miktarı (Q_d), depoya aktarılan ısı miktarı (Q_{dg}) ile depodan dışarıya olan kayıp ısı (Q_{dk}) arasındaki farka eşit olacağından, ısı deposunun verimi için [73],

$$\eta = \frac{Q_{dg} - Q_{dk}}{Q_{dg}} \quad (6.31)$$

eşitliği yazılabilir.

6.1.1.4. Sistemin Birinci Yasa Verimi

Bir ısıtma sisteminde termodinamiğin birinci yasasına göre sistemin verimi, ısıtılacak ortama aktarılan enerji miktarının kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımına oranı olacaktır [73]. Yani Eşitlik 6.32'deki gibi ifade edilir

$$\eta_I = \frac{Q_{ka.g}}{A_k \cdot I_e} \quad (6.32)$$

6.1.2. Ekserji Analizi

Termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerji analizleri sistemlerin incelenmesinde temel yöntemdir. Ancak enerji miktarlarının dikkate alındığı enerji analizleri sonuçları sistemlerin verimliliklerinin değerlendirilmesinde bizi gerçekçi sonuçlara ulaştırmamaktadır. Termodinamiğin ikinci yasası ise enerjinin niteliği ile ilgilidir. Ekserji analizi, ekserji veya yararlılık olarak adlandırılan kullanılabilir enerji ve tersinmezlik olarak adlandırılan kullanılmayan enerjinin belirlenmesine dayanır. Termodinamik bir işlem veya sistem için ekserji dengesi genel olarak ;

$$\sum Ekserji_{giren} = \sum Ekserji_{depolanan} + \sum Ekserji_{çıkan} + Tersinmezlik$$

eşitliği ile tanımlanır [73]. Başlangıç ve son durumları tanımlanmış bir sistem için ekserji akış dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q - W + \sum m_{giren} \varepsilon_{giren} - \sum m_{çıkan} \varepsilon_{çıkan} = I \quad (6.33)$$

Ekserji, bir sistemin bulunduğu şartlardan çevre şartlarına gelinceye kadar elde edilebilecek maksimum faydalı iş miktarı olarak tanımlanır [73].

$$\varepsilon = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6.34)$$

İkinci yasa verimi ekserjiye bağı olarak belirtilebilen bir etkinlik sağlayan bir tesis veya tesis bileşeninde gerçekleşen herhangi bir kararlı durumdaki işlem için tamamlanabilen genel bir etkinlik ölçütüdür. İkinci yasa verimi, sistemden çıkan toplam ekserjinin sisteme verilen toplam ekserjiye oranıdır [73]. İkinci yasa verimi şu şekilde tanımlanabilir;

$$\eta_{II} = \frac{\sum \varepsilon_{cikan}}{\sum \varepsilon_{giren}} \quad (6.35)$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{I}{\sum \varepsilon_{giren}} \quad (6.36)$$

6.1.2.1. Güneş Kolektörlerinin Ekserji Analizi

Bir güneş kolektöründen ekserji kazancı; kolektör girişindeki akışkan sıcaklığı kolektör çıkışındaki akışkan sıcaklığına yükselirken, ısı taşıyıcı akışkan tarafından aktarılan ekserjidir. Bir güneş kolektöründe ekserji kazancı aşağıdaki gibi tanımlanabilir [74, 75].

$$\varepsilon_k = m.c_p \cdot \left[(T_{ko\zeta} - T_{kog}) - T_o \cdot \ln \frac{T_{ko\zeta}}{T_{kog}} \right] \quad (6.37)$$

Güneş kolektörlerinin verimleri ise eşitlik 6.38'e göre hesaplanmaktadır [74, 75].

$$\eta_{II_k} = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_g} \quad (6.38)$$

Burada ε_g güneşten gelen ekserji akışıdır. Güneş radyasyonunun ekserjisinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş olan yöntemlerden biri Jeter [76] tarafından geliştirilmiştir. Diğer bir yöntem ise Petela [77] tarafından geliştirilen yöntemdir. Bu yaklaşımlar sırasıyla eşitlik 6.39 ve 6.40 da verilmiştir.

$$\varepsilon_g = \left(1 - \frac{T_0}{T_g}\right) I_{yr} \quad (6.39)$$

$$\varepsilon_g = \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_g}\right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_g}\right)\right] I_{yr} \quad (6.40)$$

burada T_g güneş radyasyonunun sıcaklığını göstermektedir (5777 K).

6.1.2.2. Isı Deposunun Ekserji Analizi

Isı depolama sistemlerinden geri kazanılan ısı enerjisinin, başlangıçta sisteme verilen ısı enerjisine oranı olarak tanımlanan birinci yasa verimi, ideal bir etkinlik ölçütü olarak uygun değildir. Çünkü birinci yasa verimi hesaplamalarında ısının depolandığı zaman uzunluğu, verilen ısının sıcaklığı, geri kazanılan ısının sıcaklığı, ortam sıcaklığı gibi etmenler dikkate alınmamaktadır. Buda, sistemin çalışabilirliği açısından doğru sonuç vermemektedir. Ekserji analizi, transfer edilen enerjinin kalitesi dikkate alındığı için termodinamik sistemlerin termodinamik ve ekonomik etkinliklerinin değerlendirilmesi için daha yararlı bir yöntemdir.

Bir ısı deposunda ısı taşıyıcı akışkanın depo girişindeki sıcaklığı T_1 ve depo çıkış sıcaklığı T_2 olmak üzere depoya giren ve çıkan akışkanın ekserjisi sırasıyla eşitlik 6.41 ve 6.42' den hesaplanır.

$$\varepsilon_{dg} = (h_1 - h_0) - T_0 \cdot (s_1 - s_0) \quad (6.41)$$

$$\varepsilon_{dç} = (h_2 - h_0) - T_0 \cdot (s_2 - s_0) \quad (6.42)$$

Isı taşıyıcı akışkanın ideal gaz olması durumunda depoya giren ve çıkan akışkanların ekserjileri,

$$\varepsilon_{dg} = \left[(T_1 - T_0) - T_0 \cdot \ln \frac{T_1}{T_0} \right] \quad (6.43)$$

$$\varepsilon_{d\zeta} = \left[(T_2 - T_0) - T_0 \cdot \ln \frac{T_2}{T_0} \right] \quad (6.44)$$

şeklinde de yazılabilir.

Depoya aktarılan ekserji, depoya giren akışkanın ekserjisi ile depodan çıkan akışkanın ekserjisi farkına eşit olacaktır. Bu durumda depoya aktarılan ekserji;

$$\varepsilon_{da} = \left[(T_2 - T_1) - T_0 \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \right] \quad (6.45)$$

olarak yazılabilir. Akışkanın ideal gaz olması durumunda ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$\varepsilon_{da} = (h_2 - h_1) - T_0 \cdot (s_2 - s_1) \quad (6.46)$$

Termodinamiğin ikinci yasasına göre sıcak ortamdan soğuk ortama geçen ekserji, sıcak ortamdan soğuk ortama geçen enerji ile tersinmezlik farkına eşittir. Buna göre tersinmezlik miktarı $T_0 \cdot \frac{Q}{T}$ olmak üzere depodan kaybolan ekserji eşitlik 6.47 deki gibi olacaktır.

$$\varepsilon = Q - T_0 \cdot \frac{Q}{T} \quad (6.47)$$

Öyle ise depo içi ortalama sıcaklık T_{do} ve dış ortam sıcaklığı T_0 olmak üzere ve bu sıcaklıkların sabit olduğu kabulü yapılarak bir ısı deposunda kaybolan ekserji için,

$$\varepsilon_{dk} = Q_{dk} - T_0 \cdot \frac{Q_{dk}}{T_{do}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{do}} \right) \cdot Q_{dk} \quad (6.48)$$

eşitliği yazılabilir.

Bir ısı depolama sisteminde depolama ünitesine ısı yükleme aşamasında ısı deposunun ikinci yasa verimi, ısı verme süresince, depolanabilen ekserjinin ısı deposuna giren ekserjiye oranı olarak hesaplanır. Yani, ısı deposunun ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir [73].

$$\eta_{II} = \frac{\mathcal{E}_d}{\mathcal{E}_{dg}} \quad (6.49)$$

6.1.2.3. Sistemin İkinci Yasa Verimi

Termodinamiğin ikinci yasasına göre sistemin verimi, ısıtılacak ortama aktarılan ekserji miktarının kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı ekserjisine oranı olacaktır [73]. Yani;

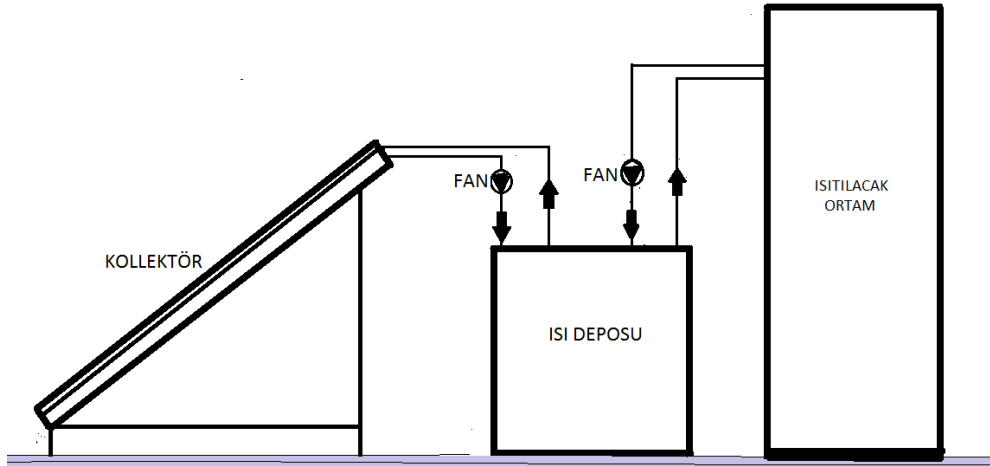
$$\eta_{II_s} = \frac{\mathcal{E}_{ka.g}}{A_k \cdot I_e} \quad (6.50)$$

olacaktır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

7.1. Deney Düzenegi

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde 2014 yılının mart ve nisan ayları için kurulan güneş enerjisi depolamalı bir ısıtma sisteminin ısıl analizi deneysel olarak incelenmiştir. Mart ayı boyunca, depolanan enerjinin 17.00 ile 20.00 saatleri arasında güvenlikçi kabininin ısı ihtiyacının ne kadarının karşılanabildiği analiz edilmiştir. Nisan ayında ise aynı sistem kullanılarak, kabin içi referans sıcaklığı 21°C kabul edilerek kabin içi sıcaklık 21°C'nin altına düştüğünde ısıtma işlemine başlanmıştır ve kabin içi sıcaklığın 21°C'nin üzerinde tutulabildiği toplam ısıtma süresi hesaplanmıştır. Deney düzeneginin prensip şeması şekil 7.1 de verilmiştir. Deney düzenegi, 3.36 m² yüzey alanlı güneş kolektörü, 0.6336 m³ hacimli ısı deposu ve ısıtılacak mahalden oluşmaktadır. Güneş kolektöründen elde edilen ısı enerjisi, depo içerisinde bulunan şişeler içerisindeki 390 litre suya depolanarak güvenlikçi kabininin ısıtılmasında kullanılmaktadır.



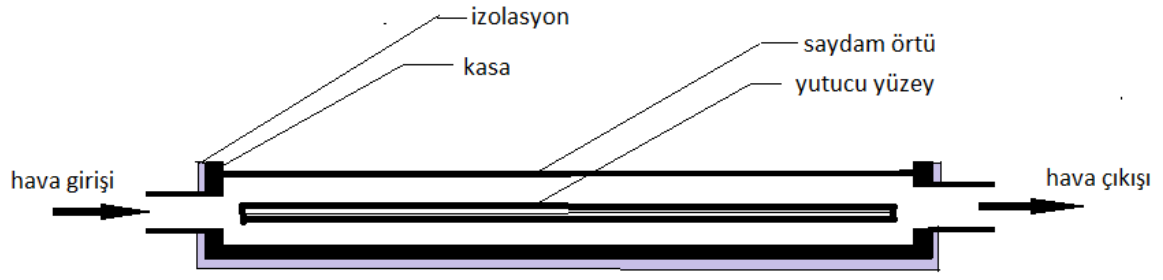
Şekil 7.1.a. Güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin prensip şeması.



Şekil 7.1.b. Güneş enerjisi depolamalı ısıtma sisteminin genel görüntüsü

7.1.1. Güneş Kolektörü Detayları

Güneş ışınımının toplanmasında, 0.89×1.89 m² ebatlarında 2 adet havalı tip düzlemsel güneş kolektörü kullanılmıştır. Kolektörler yatayla 34.36° lik açı yaparak ve yönleri güneye bakacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Saydam yüzey olarak 3 mm kalınlığında demir oksit (FeO) oranı düşük %95 geçirgenlik oranına sahip cam yüzey kullanılmıştır. Yutucu yüzey olarak, 2 mm kalınlığında alüminyum üzerine siyah bakır kaplanmış malzeme kullanılmıştır. Kolektör kasası, 2 mm kalınlığında alüminyum levha üzerine 1 cm kalınlığında polietilen köpüğü kaplanarak hazırlanmıştır. Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılmıştır. Hava, kolektör giriş ve çıkışlarına monte edilmiş 10 cm çaplı birer adet borudan geçirilerek ısı taşınımı sağlanmaktadır. Şekil 7.2 de kolektöre ait kesit görünüşü ve resimleri verilmiştir.



Şekil 7.2.a. Düzlemsel güneş kolektörünün kesit görünüşü

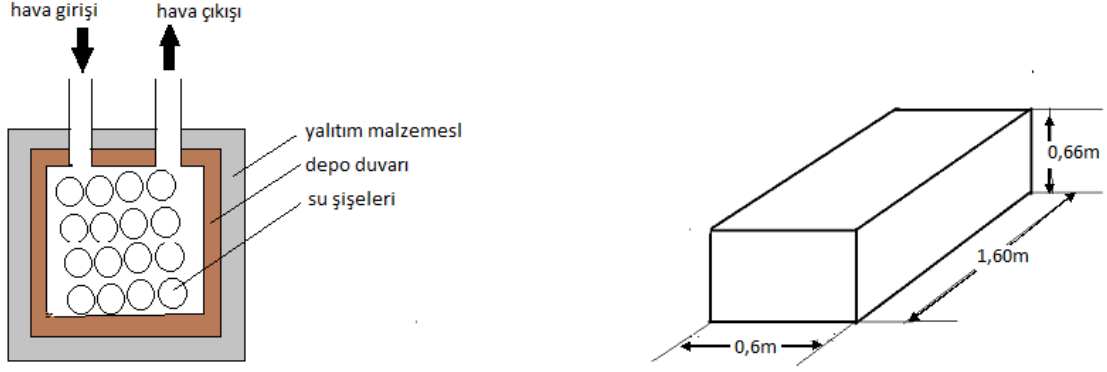


Şekil 7.2.b. Düzlemsel güneş kolektörleri

7.1.2. Isı Deposu Detayları

Isı deposu 0.6x0.66x1.60 ölçülerinde 0.6336 m³ hacminde, 0.0315m kalınlığında, ısı iletim katsayısı 0.13 W/mK olan ahşap malzemeden yapılmıştır. Depo etrafı 0.024m kalınlığında, ısı iletim katsayısı 0.045 W/mK olan polietilen köpüğü ile izole edilmiştir. Isı depolama materyali olarak depo içerisine yatay yönlü üst üste dizilmiş 260 adet 1.5 litrelik plastik su şişesinden faydalanılmıştır. Depo üzerinde açılmış olan 0.11m çaplı 2 adet

menfeze bağlanan 0,11m çaplı borular vasıtası ile depoya hava giriş çıkışı sağlanmaktadır. Deponun ölçüleri ve görünümü şekil 7.3a ve 7.3b' de verilmektedir



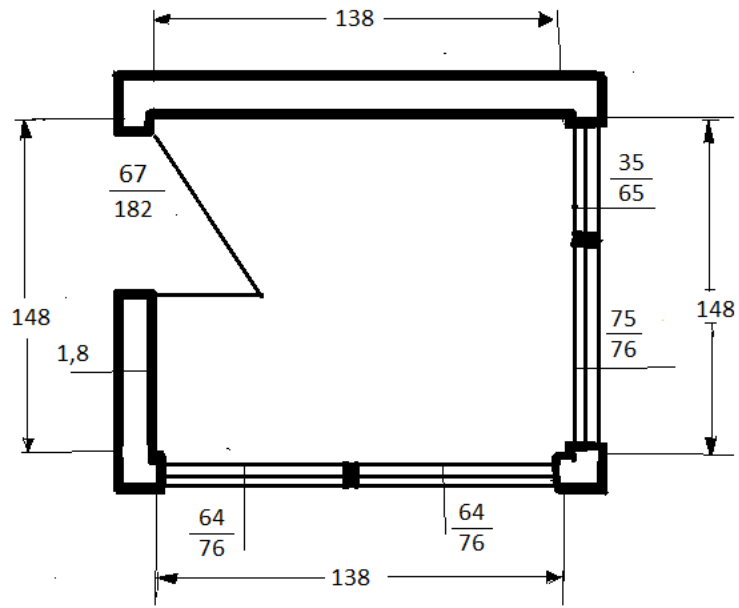
Şekil 7.3.a. Isı deposu detayları



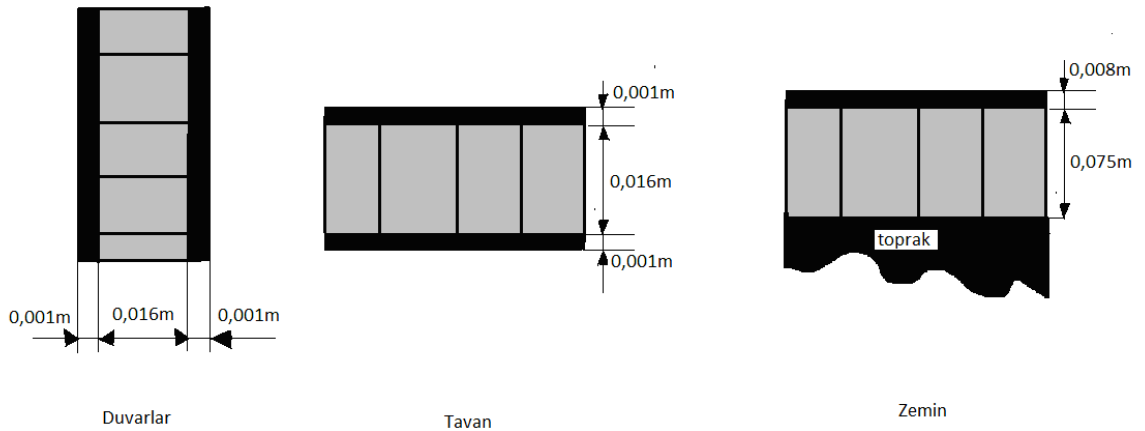
Şekil 7.3.b. Isı deposunun görünümü

7.1.3. Isıtılan Ortam

Isıtılan ortam $1.416 \times 1.516 \times 2.44 \text{ m}^3$ ölçülerinde bir güvenlikçi kabinidir. Kabin içinin taban ölçüleri $1.38 \times 1.48 \text{ m}^2$ ve yüksekliği 2.36 metredir. Kabinin tavanı ve 4 duvarı 18 mm kalınlığında PVC lambri isimli bir malzemeden, zemini ise, 8 mm kalınlığında polietilen köpüğü ve 75 mm kalınlığında donatısız betondan yapılmıştır. Kabinin güney cephesinde biri $0.35 \times 0.65 \text{ m}^2$, diğeri $0.75 \times 0.76 \text{ m}^2$ ölçülerinde olan 2 adet pencere, batı cephesinde $0.64 \times 0.76 \text{ m}^2$ ölçülerinde 2 adet pencere ve kuzey cephesinde $1.82 \times 0.67 \text{ m}^2$ ölçülerinde 1 adet kapı vardır. Kabinin ayrıntılı ölçüleri şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4.a. Kabinin üst görünüşü



Şekil 7.4.b. Kabinin zemini, tavanı ve duvarlarının ölçüleri

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Enerji Analizi Sonuçları

8.1.1. Kabinin Isıl Kayıpları

Kabinin ısı kaybı hesabı, Türk Standartlar Enstitüsü Kurumu'nun *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Standartları* nolu yayınında belirtilen kurallara göre yapılacaktır. Tablo 8.1.'de bazı yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik hesap değerleri verilmiştir.

Tablo 8.1. Yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik hesap değerleri

Malzeme	Isı iletim katsayısı 'k' (w/mK)
Polietilen köpüğü	0.045
PVC	0.28
Normal Beton (donatısız)	1.74
Ahşap	0.13

Eşitlik 6.3'ten faydalanarak kabinin duvarları, tavanı ve zemini için toplam ısı iletkenlik değerleri (U_d, U_t, U_z) sırasıyla;

$$U_d = 2.97 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_t = 3.05 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_z = 2.55 \text{ W/m}^2\text{K}$$

olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, camlar için toplam ısı iletkenlik direnci değeri (U_c) 5.00 W/m²K olarak alınmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan yüzey ısı taşınım dirençleri Şekil 6.1'den alınan değerlere göre duvarlar için iç ısı taşınım direnci (R_i) 0.13 m²K/W, dış ısı taşınım direnci (R_d) 0.04 m²K/W, tavan iç ısı taşınım direnci için (R_i) 0.13 m²K/W, dış ısı taşınım direnci (R_d) 0.04 m²K/W ve zemin için iç ısı taşınım direnci için (R_i) 0.17 m²K/W, olarak alınmıştır. Ayrıca hava tabakası ısı geçirgenlik direnci (R_h) Tablo 6.1.'den yan duvarlar için 0.15 m²K/W, tavan için ise 0.16 m²K/W olarak alınmıştır.

Kabinin iletim ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı Eşitlik 6.2'den hesaplanmıştır. Eşitlikte, artırım değerleri toplamı olan Z değeri eşitlik 6.6'ya göre hesaplanmıştır. Eşitlik 6.6'daki Z_D değeri Tablo 6.3.'de, 3. işletme tipi ve $D > 1.74$ için %15, Z_w değeri Tablo 6.4'ten 0 ve Z_H değeri Tablo 6.5'te 0 olarak alınmıştır.

Kabinde sızıntılar yoluyla meydana gelen ısı kayıpları Eşitlik 6.7'den hesaplanmıştır. Burada, a değeri plastik tek camlı pencere için Tablo 6.6'dan $2.0 \text{ m}^3/\text{mh}$ olarak, R değeri, A_{dp}/A_{ik} oranına göre Tablo 6.7'den 0.9 olarak, H değeri, Tablo 6.8'den $2.43 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ olarak ve Z_e değeri ise her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2 olarak alınmıştır.

Kabinin ısıtıldığı saatlerde doğal veya zorlanmış havalandırma yapılmadığından havalandırma yoluyla ısı kaybı olmamıştır.

Kabinin ısıtma yapıldığı zaman aralığında, günlük toplam ısı kayıp miktarları mart ve nisan ayları için sırasıyla Tablo 8.2 ve 8.3'te verilmektedir.

Tablo 8.2. Mart ayı için, 17.00 ile 20.00 saatleri arasında kabinin toplam ısı ihtiyacı

Tarih	Ortalama Dış sıcaklık (T_0) (°C)	İç referans sıcaklığı (T_{iref}) (°C)	Toplam Isıtma süresi (t) (sn)	Kabinin Isı İhtiyacı (MJ)	Kabine Aktarılan Toplam Isı Miktarı (MJ)	Kabinin ısı ihtiyacının karşılanma oranı (%)
03.03.2014	9.06	21.00	10800	9.570	9.350	97
04.03.2014	14.24	21.00	10800	5.417	7.935	100
07.03.2014	8.72	21.00	10800	9.843	9.167	93
08.03.2014	13.93	21.00	10800	5.666	7.362	100
09.03.2014	13.89	21.00	10800	5.650	7.837	100
15.03.2014	8.83	21.00	10800	9.755	9.292	95
16.03.2014	13.92	21.00	10800	5.674	7.983	100
17.03.2014	14.10	21.00	10800	5.530	7.704	100
18.03.2014	14.67	21.00	10800	5.072	7.411	100
20.03.2014	14.46	21.00	10800	5.241	8.336	100
21.03.2014	13.31	21.00	10800	6.164	10.950	100
22.03.2014	10.28	21.00	10800	8.592	10.573	100
24.03.2014	11.83	21.00	10800	7.350	10.788	100
25.03.2014	13.30	21.00	10800	6.171	10.974	100
27.03.2014	12.88	21.00	10800	6.508	10.835	100
28.03.2014	12.74	21.00	10800	6.621	11.312	100
31.03.2014	5.76	21.00	10800	12.215	9.674	79

Tablo 8.3. Nisan ayı için kabin içi sıcaklığın 21°C'nin üzerinde tutulabildiği süre boyunca kabinin toplam ısı ihtiyacı

Tarih	Ortalama Dış Sıcaklık (T _o) (°C)	Ortalama İç Sıcaklık (T _i) (°C)	İç Referans Sıcaklığı (T _{iref.}) (°C)	Toplam Isıtma Süresi (t) (sn)	Kabinin toplam Isı İhtiyacı (MJ)	Kabine Aktarılan Toplam Isı Miktarı (MJ)	Isı Deposu Deşarj Süresi (saat)
01.04.2014	9.44	21.96	21.00	11700	10.038	11.681	3.25
02.04.2014	9.36	24.23	21.00	15300	13.218	17.112	4.25
03.04.2014	11.35	23.19	21.00	13800	9.883	14.149	3.83
04.04.2014	10.62	24.37	21.00	19800	15.253	22.238	5.50
05.04.2014	16.76	25.55	21.00	22800	7.174	25.787	6.33
06.04.2014	17.37	25.97	21.00	24000	6.466	24.026	6.66
07.04.2014	14.57	26.86	21.00	25800	12.312	25.593	7.16
08.04.2014	16.26	24.75	21.00	21300	7.493	20.373	5.91
09.04.2014	15.92	24.62	21.00	19200	7.239	17.362	5.33
12.04.2014	15.96	24.3	21.00	27600	10.324	18.762	7.66
14.04.2014	15.43	22.97	21.00	17400	7.193	13.056	4.83
18.04.2014	15.83	24.9	21.00	31500	12.087	23.881	8.75
22.04.2014	13.17	23.55	21.00	18000	10.460	16.661	5.00
23.04.2014	15.95	26.13	21.00	32100	12.031	27.874	8.91
24.04.2014	15.94	23.71	21.00	19800	7.435	13.006	5.50
25.04.2014	18.86	24.44	21.00	39900	6.337	19.821	11.08
26.04.2014	9.90	24.01	21.00	19500	16.064	21.884	5.41
27.04.2014	16.54	25.49	21.00	22500	7.447	25.365	6.25
28.04.2014	17.51	25.80	21.00	23700	6.138	23.683	6.58

Bu tablolardan görüldüğü gibi mart ayında 17.00 ile 20.00 saatleri arasında kabinin ısı ihtiyacının karşılanma oranları % 79 ile % 100 arasındadır. Nisan ayında ısı deposunun deşarj süreleri 3.25 ile 11.08 saat arasında değişmektedir.

8.1.2. Kolektör İçin Enerji Analizi Sonuçları

Eşitlik 6.19 dan mart ve nisan aylarına ait her bir gün için kolektörün optimum eğim açısı bulunup Tablo 8.4'te verilmiştir. Şekil 8.1'de ise mart ve nisan aylarına ait optimum eğim açılarını gösteren grafik verilmiştir.

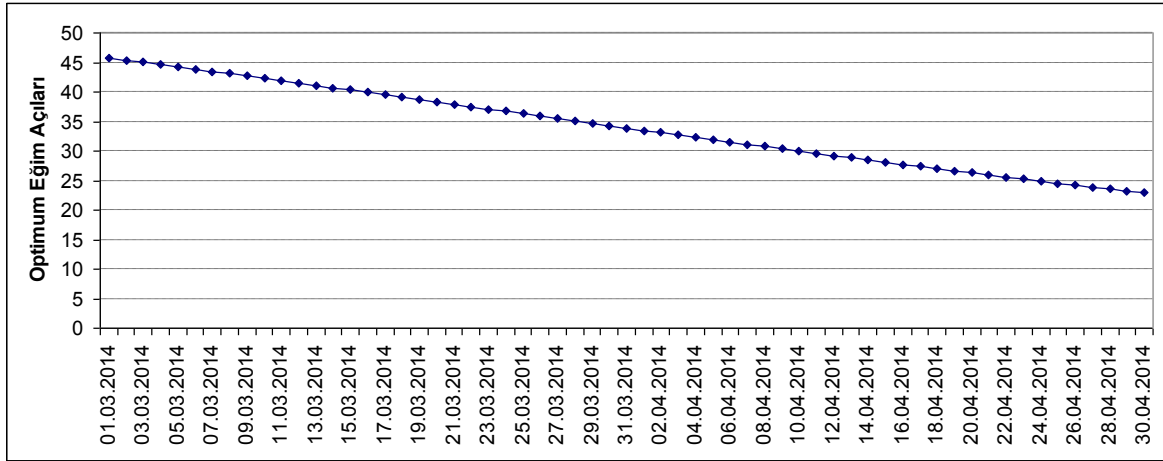
Tablo 8.4 ve Şekil 8.1 de görüldüğü gibi 1 martta kolektöre verilecek 45.80° lik bir eğim kolektöre maksimum güneş ışınımının gelmesini sağlarken, 30 Nisanda bu açının 22.92° olması daha uygundur. 1 mart ile 30 nisan tarihleri arasında çalışan sistemimizde ortalama optimum eğim açısı 34.36° olarak belirlenmiştir.

Tablo 8.4.a. Mart ayına ait optimum eğim açıları

Tarih	Gün Sayısı (n)	Deklinasyon Açısı (d) (°)	Enlem Açısı (e) (°)	Optimum Eğim Açısı(β) (°)
01.03.2014	60	-8.29	37.51	45.80
02.03.2014	61	-7.91	37.51	45.42
03.03.2014	62	-7.53	37.51	45.04
04.03.2014	63	-7.15	37.51	44.66
05.03.2014	64	-6.76	37.51	44.27
06.03.2014	65	-6.37	37.51	43.88
07.03.2014	66	-5.98	37.51	43.49
08.03.2014	67	-5.59	37.51	43.10
09.03.2014	68	-5.20	37.51	42.71
10.03.2014	69	-4.80	37.51	42.31
11.03.2014	70	-4.41	37.51	41.92
12.03.2014	71	-4.01	37.51	41.52
13.03.2014	72	-3.61	37.51	41.12
14.03.2014	73	-3.21	37.51	40.72
15.03.2014	74	-2.81	37.51	40.32
16.03.2014	75	-2.41	37.51	39.92
17.03.2014	76	-2.01	37.51	39.52
18.03.2014	77	-1.61	37.51	39.12
19.03.2014	78	-1.21	37.51	38.72
20.03.2014	79	-0.80	37.51	38.31
21.03.2014	80	-0.40	37.51	37.91
22.03.2014	81	-0.05	37.51	37.51
23.03.2014	82	0.40	37.51	37.10
24.03.2014	83	0.80	37.51	36.70
25.03.2014	84	1.21	37.51	36.29
26.03.2014	85	1.61	37.51	35.89
27.03.2014	86	2.01	37.51	35.49
28.03.2014	87	2.41	37.51	35.09
29.03.2014	88	2.81	37.51	34.69
30.03.2014	89	3.21	37.51	34.29
31.03.2014	90	3.61	37.51	33.89

Tablo 8.4.b. Nisan ayına ait optimum eğim açıları

Tarih	Gün sayısı (n)	Deklinasyon Açısı(d) (°)	Enlem Açısı(e) (°)	Optimum Eğim Açısı(β) (°)
01.04.2014	91	4.01	37.51	33.49
02.04.2014	92	4.41	37.51	33.09
03.04.2014	93	4.80	37.51	32.70
04.04.2014	94	5.20	37.51	32.30
05.04.2014	95	5.59	37.51	31.91
06.04.2014	96	5.98	37.51	31.52
07.04.2014	97	6.37	37.51	31.13
08.04.2014	98	6.76	37.51	30.74
09.04.2014	99	7.15	37.51	30.35
10.04.2014	100	7.53	37.51	29.97
11.04.2014	101	7.91	37.51	29.59
12.04.2014	102	8.29	37.51	29.21
13.04.2014	103	8.67	37.51	28.83
14.04.2014	104	9.04	37.51	28.46
15.04.2014	105	9.41	37.51	28.09
16.04.2014	106	9.78	37.51	27.72
17.04.2014	107	10.14	37.51	27.36
18.04.2014	108	10.51	37.51	26.99
19.04.2014	109	10.87	37.51	26.63
20.04.2014	110	11.22	37.51	26.28
21.04.2014	111	11.57	37.51	25.93
22.04.2014	112	11.92	37.51	25.58
23.04.2014	113	12.27	37.51	25.23
24.04.2014	114	12.61	37.51	24.89
25.04.2014	115	12.95	37.51	24.55
26.04.2014	116	13.28	37.51	24.22
27.04.2014	117	13.61	37.51	23.89
28.04.2014	118	13.94	37.51	23.56
29.04.2014	119	14.26	37.51	23.24
30.04.2014	120	14.58	37.51	22.92



Şekil 8.1. Mart ve nisan ayları için optimum eğim açıları

Tablo 8.5’de Diyarbakır ili için mart ve nisan aylarında yatay düzleme gelen saatlik güneş ışınımı ve berraklık indeksi değerleri verilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan, yatay düzlemin birim alanına gelen saatlik güneş ışınımı ve berraklık indeksi değerleri, mart ve nisan ayları için Diyarbakır iline ait değerler olup uzun yılların veri ortalamaları olarak MGM’den alınmıştır.

Tablo 8.5. Diyarbakır ili için Mart ve Nisan aylarında yatay düzleme gelen güneş ışınımı ve berraklık indeksi değerleri [31].

saat	Mart Ayı		Nisan Ayı	
	Yatay Düzlem Güneş Işınımı (MJ/m ²)	Berraklık indeksi	Yatay Düzlem Güneş Işınımı (MJ/m ²)	Berraklık İndeksi
04-05	0.00	0.00	0.00	0.00
05-06	0.00	0.00	0.04	0.00
06-07	0.10	0.26	0.39	0.40
07-08	0.51	0.37	0.98	0.50
08-09	1.05	0.46	1.56	0.56
09-10	1.58	0.53	2.03	0.58
10-11	1.96	0.56	2.34	0.58
11-12	2.14	0.57	2.49	0.58
12-13	2.14	0.57	2.44	0.57
13-14	1.97	0.56	2.25	0.56
14-15	1.69	0.57	1.99	0.57
15-16	1.25	0.55	1.54	0.55
16-17	0.73	0.53	1.00	0.51
17-18	0.25	0.45	0.47	0.48
18-19	0.01	0.00	0.08	0.00
19-20	0.00	0.00	0.00	0.00

Denklem 6.12'den faydalanarak Diyarbakır ili için mart ve nisan aylarında eğik düzleme gelen toplam güneş ışınım değerleri Tablo 8.6'da verilmektedir.

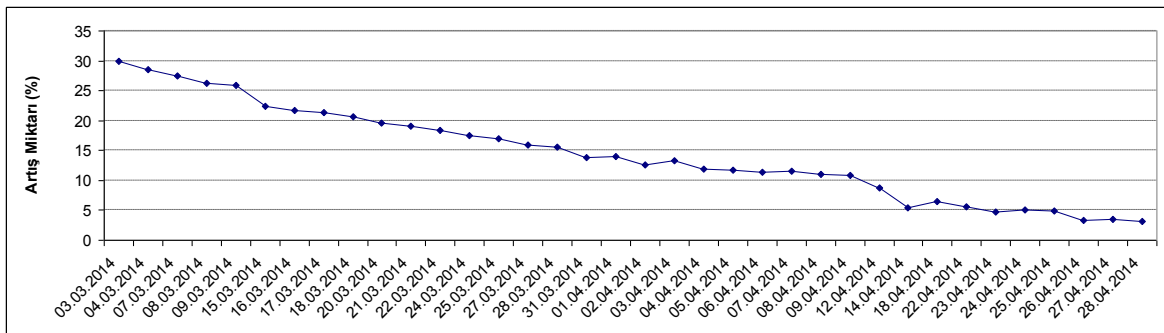
Tablo 8.6.a. Diyarbakır ili için mart ayındaki güneşli günlerde 34.36°' lik eğik düzlemdeki kolektör toplam alanına gelen toplam güneş ışınımı

Güneşli günler	Yataya gelen ışınım (MJ/m ² .gün)	Eğik yüzeye gelen ışınım (MJ/m ² .gün)	Artış (%)
03.03.2014	9.190	11.944	29.97
04.03.2014	9.246	11.885	28.54
07.03.2014	9.311	11.864	27.41
08.03.2014	10.198	12.881	26.30
09.03.2014	11.045	13.904	25.88
15.03.2014	9.311	11.401	22.44
16.03.2014	9.900	12.044	21.66
17.03.2014	9.190	11.144	21.26
18.03.2014	11.150	13.450	20.63
20.03.2014	10.674	12.759	19.53
21.03.2014	10.837	12.896	19.00
22.03.2014	5.132	6.076	18.38
24.03.2014	10.347	12.153	17.45
25.03.2014	10.347	12.101	16.95
27.03.2014	10.953	12.698	15.92
28.03.2014	10.417	12.034	15.52
31.03.2014	10.595	12.053	13.75

Tablo 8.6.b. Diyarbakır ili için nisan ayındaki güneşli günlerde 34.36°' lik eğik düzlemdeki kolektör toplam alanına gelen toplam güneş ışınımı

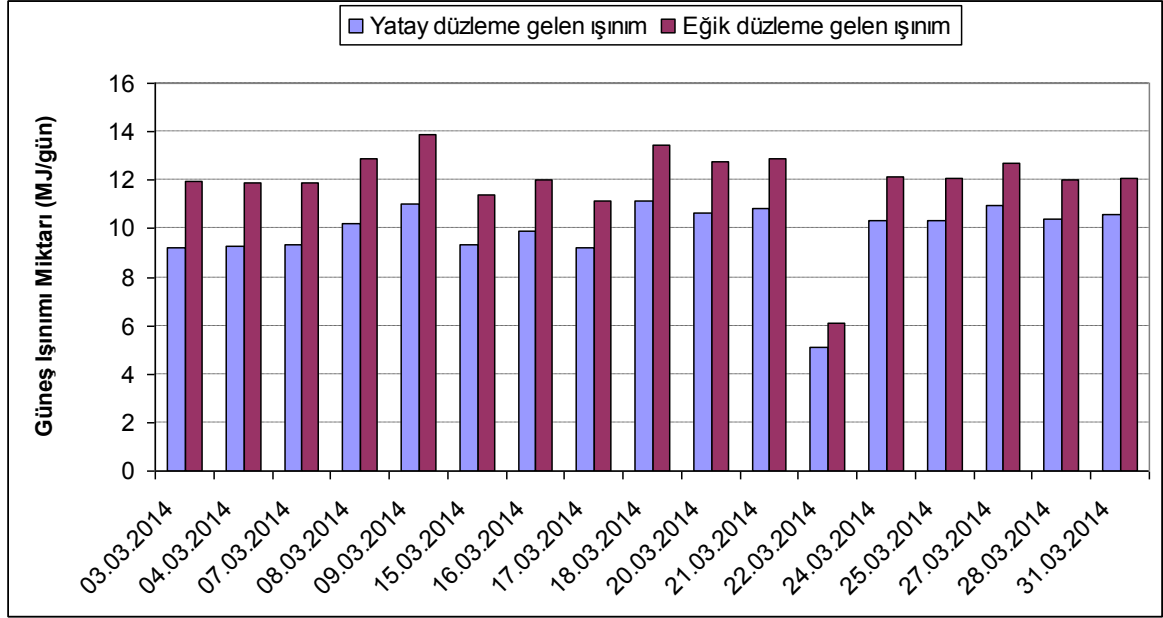
Güneşli günler	Yataya gelen ışınım (MJ/m ² .gün)	Eğik yüzeye gelen ışınım (MJ/m ² .gün)	Artış (%)
01.04.2014	10.925	12.454	13.99
02.04.2014	12.045	13.571	12.67
03.04.2014	8.357	9.472	13.34
04.04.2014	13.215	14.778	11.82
05.04.2014	12.715	14.200	11.68
06.04.2014	14.234	15.853	11.37
07.04.2014	12.541	13.980	11.47
08.04.2014	10.594	11.767	11.07
09.04.2014	9.432	10.454	10.83
12.04.2014	10.710	11.643	8.71
14.04.2014	6.780	7.149	5.44
18.04.2014	12.715	13.528	6.39
22.04.2014	12.280	12.961	5.55
23.04.2014	14.951	15.662	4.75
24.04.2014	5.685	5.975	5.11
25.04.2014	11.550	12.122	4.96
26.04.2014	13.521	13.968	3.30
27.04.2014	12.826	13.264	3.41
28.04.2014	14.741	15.212	3.19

Şekil 8.2’de Mart ve nisan aylarında yatay düzleme gelen ışınım miktarının eğik düzlemde ne kadar arttığını gösteren grafik verilmiştir.

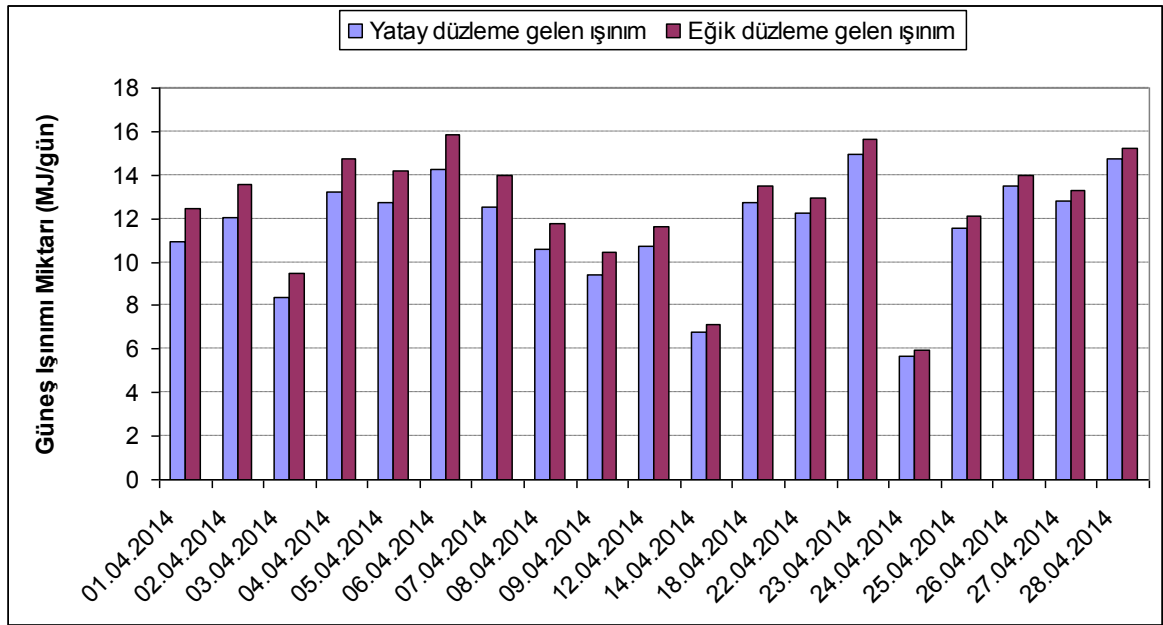


Şekil 8.2. Yataya gelen ışınımın eğik düzlemdeki artış miktarı (%)

Şekil 8.3’de Mart ve nisan aylarında Diyarbakır ilinde yatay ve 34.36° eğik yüzeye gelen günlük ışınım miktarları verilmiştir.



(a)



(b)

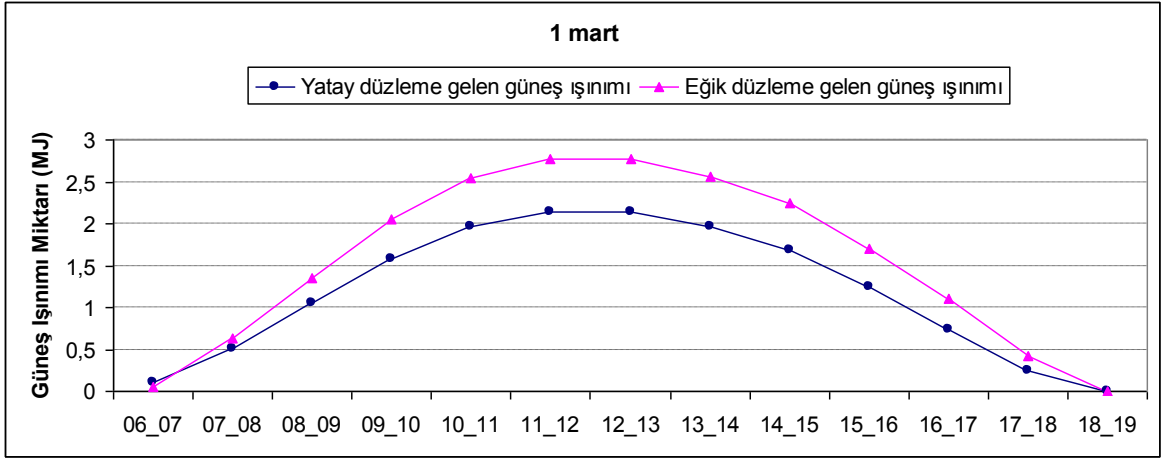
Şekil 8.3. Diyarbakır ili için, (a) mart ve (b) nisan aylarında yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışınım değerleri (MJ/m².gün)

34.36° eğimli kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı yatay yüzeye gelen ışınım miktarında daha fazla olmuştur. Bu artışın en yüksek değeri 1 mart tarihinde % 29.97 olurken 30 nisanda % 3.19 en düşük değerde olmuştur. mart ve nisan aylarında bu değer ortalama % 14.43 olmuştur.

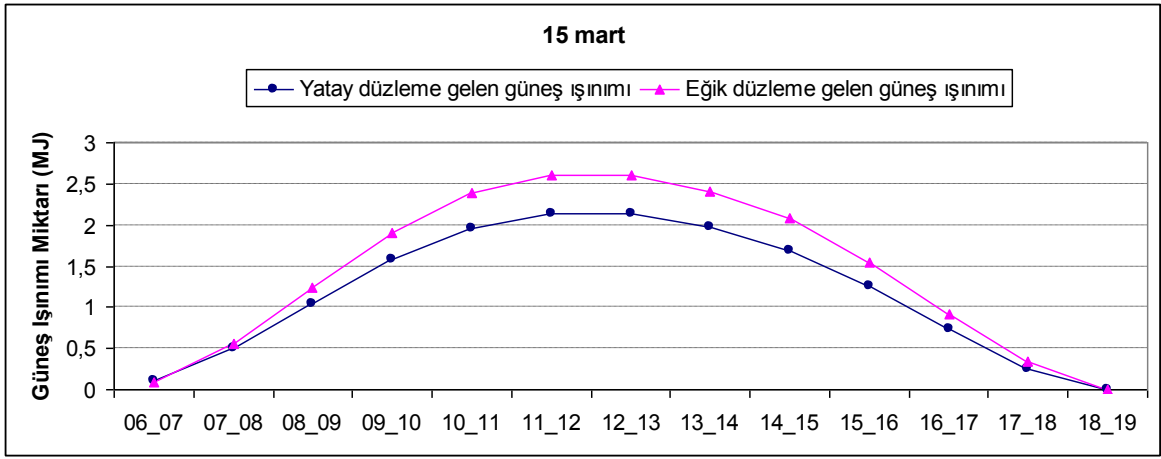
Şekil 8.4'de ve Tablo 8.7' de mart ve nisan aylarının bazı günleri için saatlik yatay ve eğik yüzeye gelen ışınım miktarlarının karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 8.7. Mart ve Nisan aylarının bazı günleri için saatlik yatay ve eğik yüzeye gelen ışınım miktarları (MJ/h)

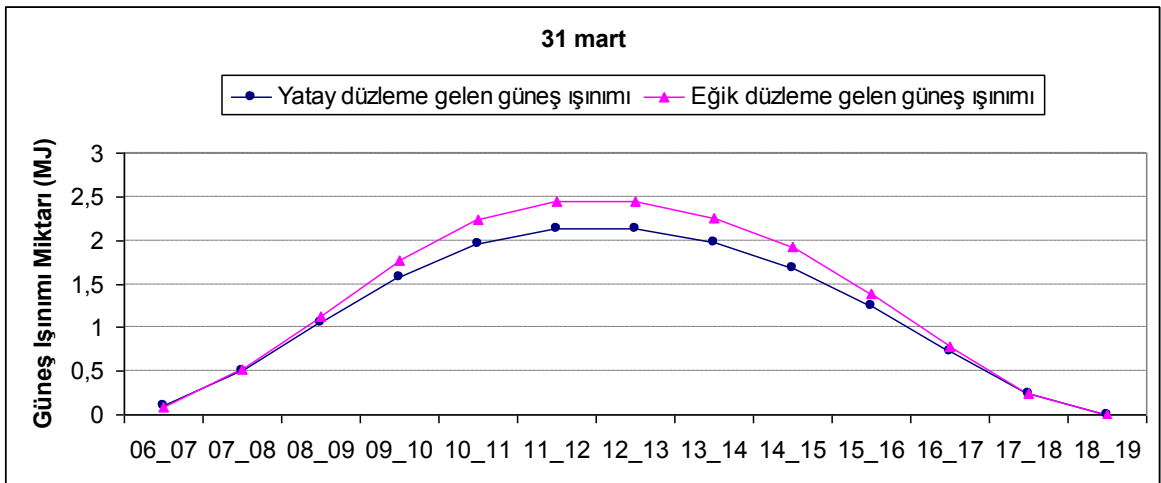
	1 mart		15 mart		31 mart		1 nisan		15 nisan		30 nisan	
	Yatay Yüzey Işınımı	Eğik Yüzey Işınımı	Yatay Yüzey Işınımı	Eğik Yüzey Işınımı	Yatay Yüzey Işınımı	Eğik Yüzey Işınımı	Yatay Yüzey Işınımı	Eğik Yüzey Işınımı	Yatay Yüzey Işınımı	Eğik Yüzey Işınımı	Yatay Yüzey Işınımı	Eğik Yüzey Işınımı
06_07	0.10	0.048	0.10	0.088	0.10	0.092	0.39	0.363	0.39	0.321	0.39	0.298
07_08	0.51	0.634	0.51	0.565	0.51	0.515	0.98	1.039	0.98	0.946	0.98	0.877
08_09	1.05	1.348	1.05	1.235	1.05	1.135	1.56	1.737	1.56	1.615	1.56	1.516
09_10	1.58	2.057	1.58	1.911	1.58	1.774	2.03	2.304	2.03	2.170	2.03	2.058
10_11	1.96	2.548	1.96	2.389	1.96	2.235	2.34	2.673	2.34	2.537	2.34	2.421
11_12	2.14	2.776	2.14	2.613	2.14	2.453	2.49	2.852	2.49	2.716	2.49	2.598
12_13	2.14	2.776	2.14	2.613	2.14	2.453	2.44	2.787	2.44	2.655	2.44	2.541
13_14	1.97	2.561	1.97	2.401	1.97	2.246	2.25	2.555	2.25	2.429	2.25	2.320
14_15	1.69	2.246	1.69	2.079	1.69	1.921	1.99	2.252	1.99	2.123	1.99	2.015
15_16	1.25	1.708	1.25	1.542	1.25	1.395	1.54	1.710	1.54	1.591	1.54	1.496
16_17	0.73	1.097	0.73	0.918	0.73	0.787	1.00	1.064	1.00	0.966	1.00	0.894
17_18	0.25	0.417	0.25	0.348	0.25	0.236	0.47	0.438	0.47	0.370	0.47	0.333



(a)

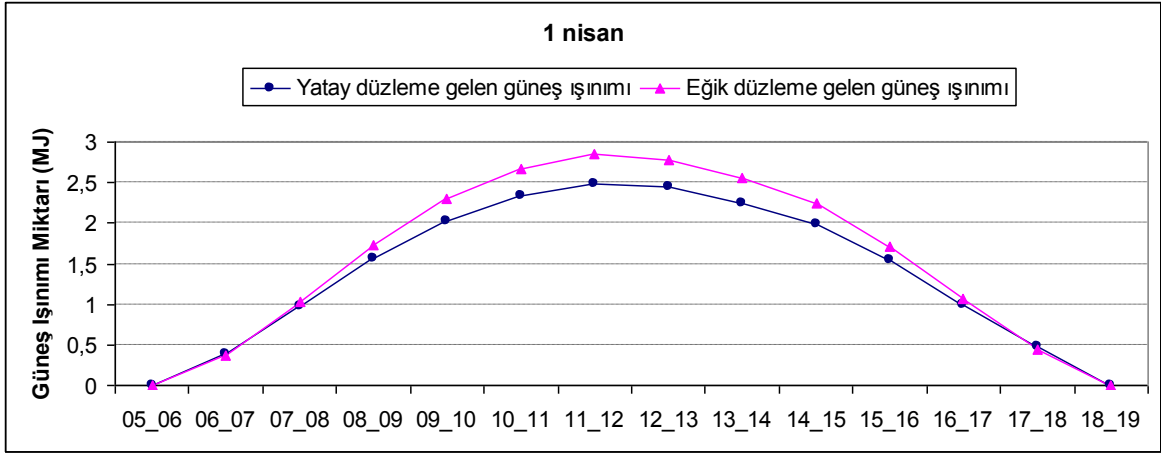


(b)

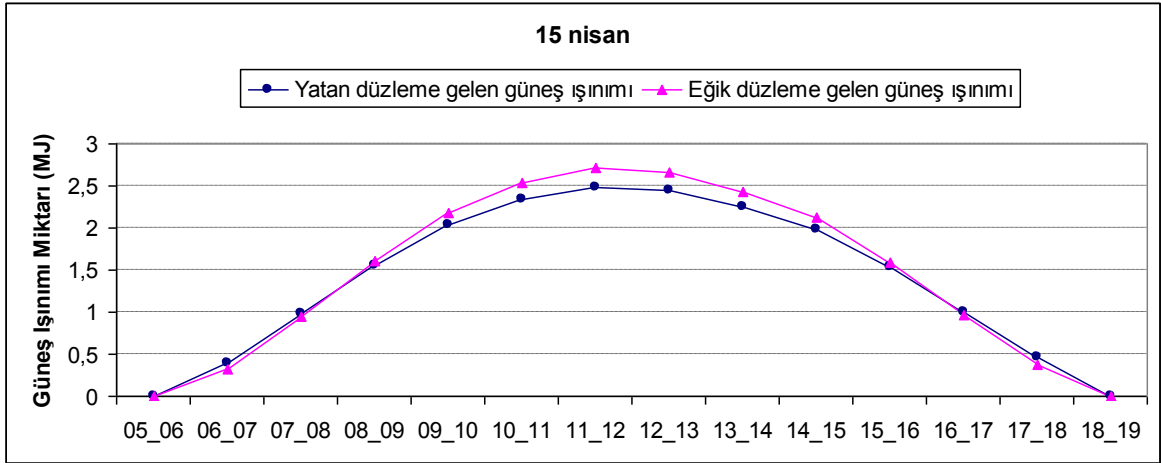


(c)

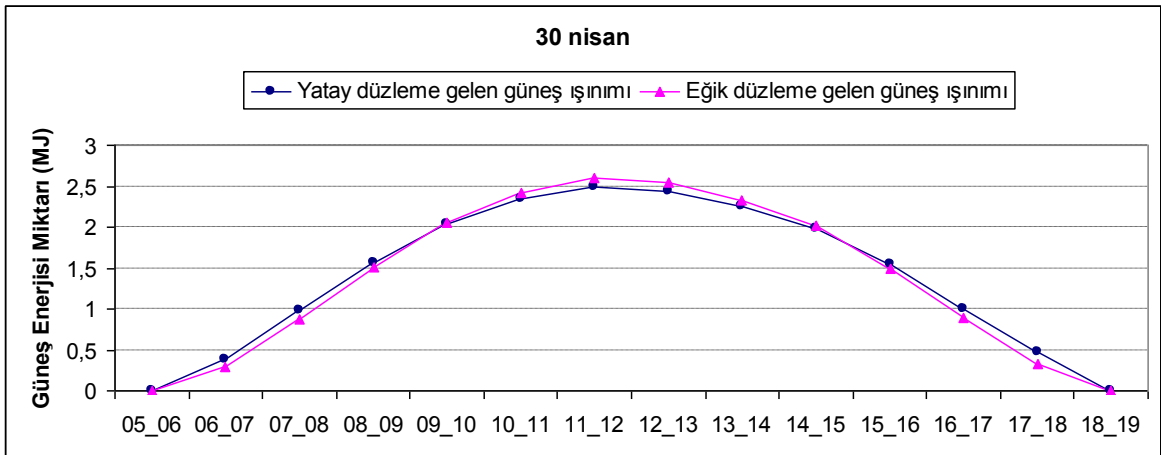
Şekil 8.4.1. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınım değerlerinin (a) 1 mart (b) 15 mart (c) 31 mart için saatlik değişimi



(a)



(b)

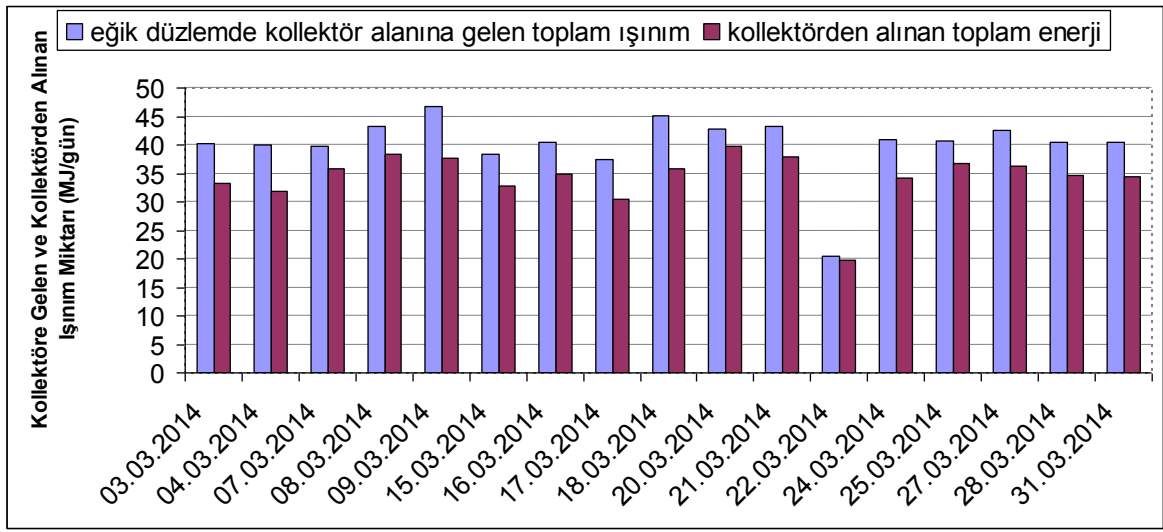


(c)

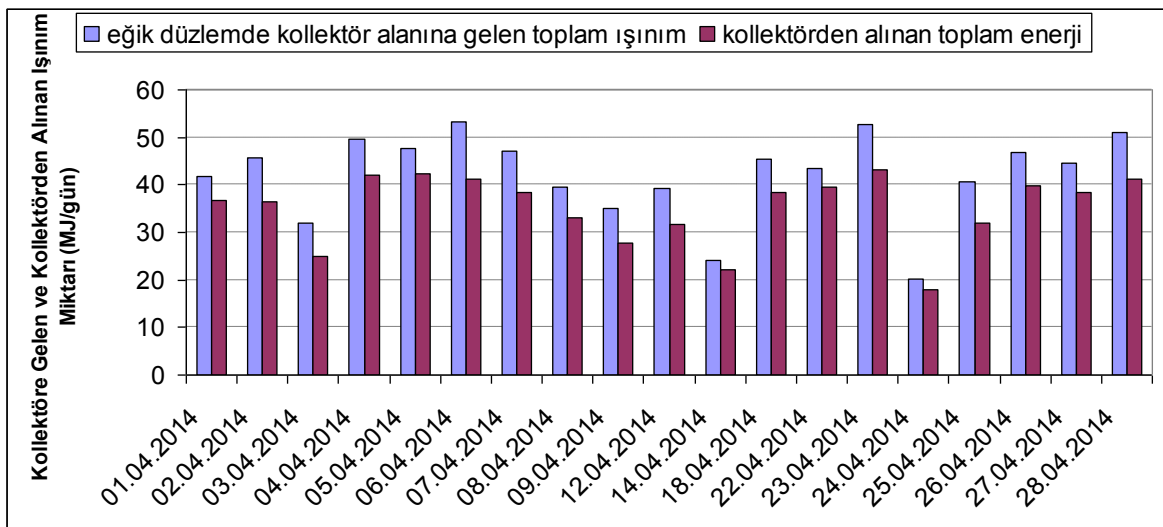
Şekil 8.4.2. Yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınım değerlerinin (a) 1 nisan (b) 15 nisan (c) 30 nisan için saatlik değişimi

Grafiklerden görüldüğü gibi yatay ve eğik yüzeye gelen güneş ışınımı değerleri gün ortasında en yüksek değere ulaşmaktadır. Ayrıca, mart ayının ilk günlerinden nisan ayının son günlerine doğru gidildikçe eğik yüzeye gelen ışınım miktarı yataya gelen ışınım miktarına yaklaşmaktadır.

Şekil 8.5'te ve Tablo 8.8'de Diyarbakır ilinde mart ve nisan ayları için, 34.36° eğimli kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı değerleri ile kolektörden elde edilen toplam enerji miktarları verilmektedir. Bu veriler kullanılarak Eşitlik 6.11'e göre hesaplanan kolektör verimleri Tablo 8.8 ve Şekil 8.6'da verilmektedir.



(a)



(b)

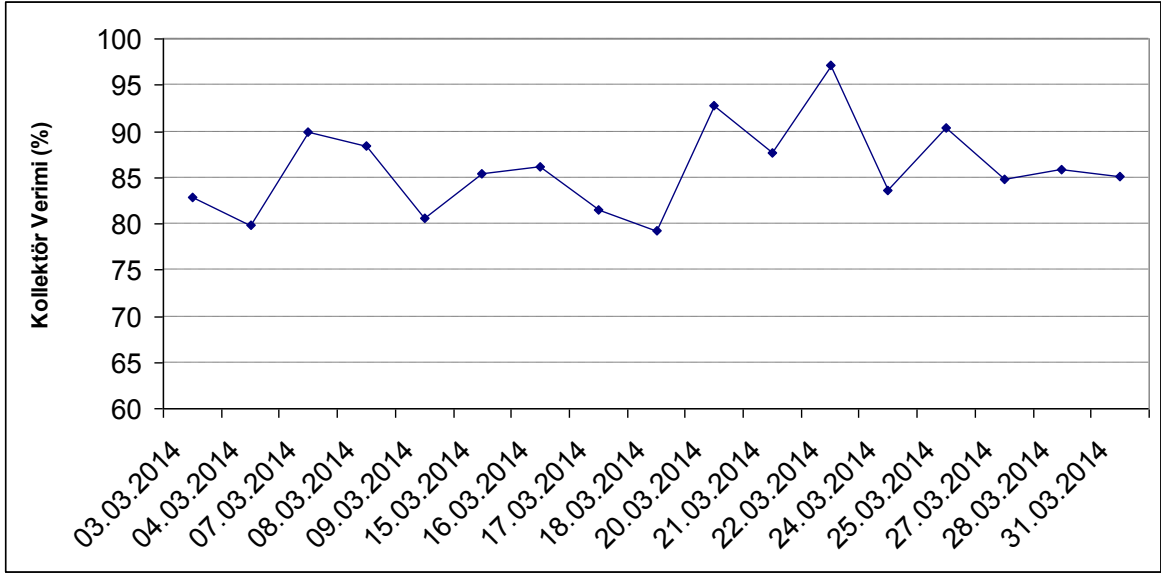
Şekil 8.5. Diyarbakır ilinde kolektör yüzeyine gelen toplam ışınım değerleri ve kolektörden elde edilen enerji miktarının (a) mart ve (b) nisan ayı için değişimi (MJ/gün).

Tablo 8.8.a. Mart ayı için kolektör veriminin değişimi

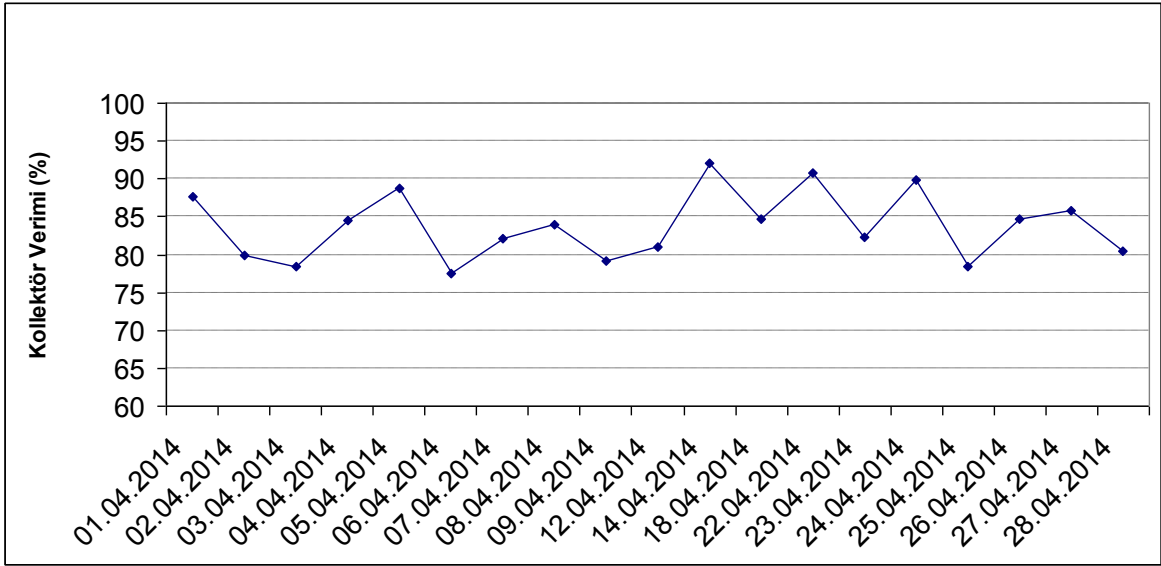
Güneşli günler	Kolektör yüzeyine gelen toplam ışınım (MJ/gün)	Kolektörden alınan toplam enerji (MJ/gün)	Kolektör verimi (%)
03.03.2014	40.132	33.262	82.87
04.03.2014	39.936	31.881	79.83
07.03.2014	39.865	35.862	89.95
08.03.2014	43.281	38.259	88.39
09.03.2014	46.720	37.691	80.67
15.03.2014	38.309	32.722	85.41
16.03.2014	40.469	34.899	86.23
17.03.2014	37.445	30.527	81.52
18.03.2014	45.194	35.823	79.26
20.03.2014	42.871	39.794	92.82
21.03.2014	43.333	37.980	87.64
22.03.2014	20.416	19.832	97.14
24.03.2014	40.836	34.157	83.64
25.03.2014	40.661	36.733	90.34
27.03.2014	42.6654	36.163	84.76
28.03.2014	40.437	34.711	85.83
31.03.2014	40.498	34.464	85.10

Tablo 8.8.b. Nisan ayı için kolektör veriminin değişimi

Güneşli günler	Kolektör yüzeyine gelen toplam ışınım (MJ/gün)	Kolektörden alınan toplam enerji (MJ/gün)	Kolektör verimi (%)
01.04.2014	41.846	36.704	79.90
02.04.2014	45.600	36.435	78.48
03.04.2014	31.828	24.981	84.60
04.04.2014	49.655	42.010	88.69
05.04.2014	47.712	42.319	77.53
06.04.2014	53.268	41.304	82.03
07.04.2014	46.976	38.536	83.93
08.04.2014	39.538	33.188	79.23
09.04.2014	35.126	27.830	80.98
12.04.2014	39.122	31.682	92.04
14.04.2014	24.022	22.110	84.76
18.04.2014	45.455	38.529	90.79
22.04.2014	43.551	39.540	82.21
23.04.2014	52.627	43.267	89.78
24.04.2014	20.077	18.027	78.39
25.04.2014	40.733	31.933	84.68
26.04.2014	46.934	39.744	85.87
27.04.2014	44.569	38.272	80.45
28.04.2014	51.114	41.123	79.90



(a)



(b)

Şekil 8.6. Mart ve nisan ayları için kolektör veriminin günlük değişimi.

Termodinamiğin birinci yasası esas alınarak yapılan hesaplamalara göre en yüksek kolektör verimi 22 mart günü % 97.14 değerine ulaşmaktadır. Mart ayında ortalama kolektör verimi % 85.96, nisan ayında ise % 83.38 olarak elde edilmektedir.

8.1.3. Isı Deposu İçin Enerji Analizi Sonuçları

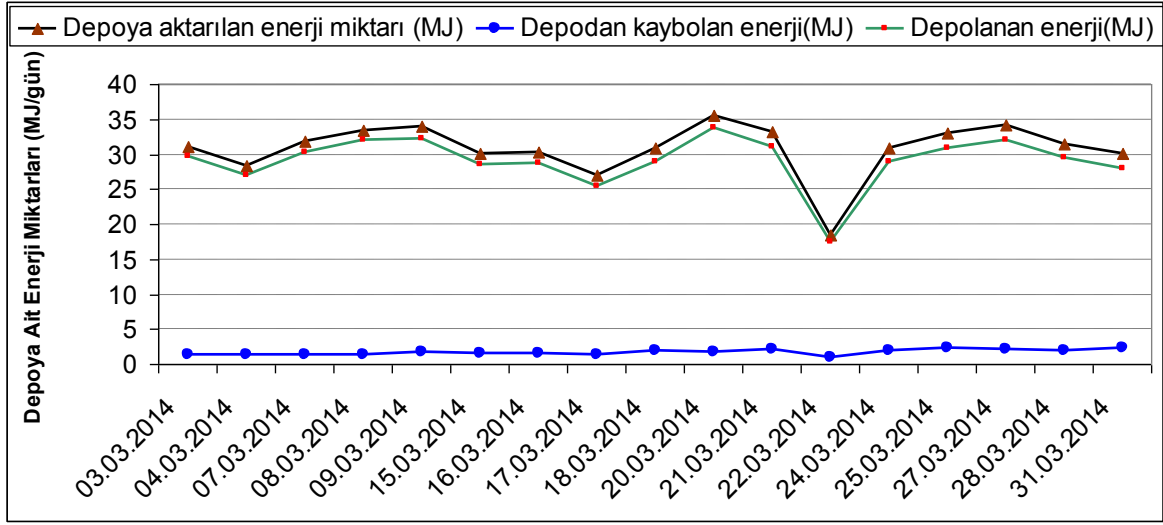
Eşitlik 6.29 ve Eşitlik 6.30'a göre hesaplanan, mart ve nisan ayları için, ısı depolama süresi boyunca depoya aktarılan, depodan kaybolan ve depolanan günlük toplam enerji miktarları ile depo verimi Tablo 8.9 , Şekil 8.7 ve Şekil 8.8'de verilmektedir.

Tablo 8.9.a. Mart ayı için günlük depo verimi.

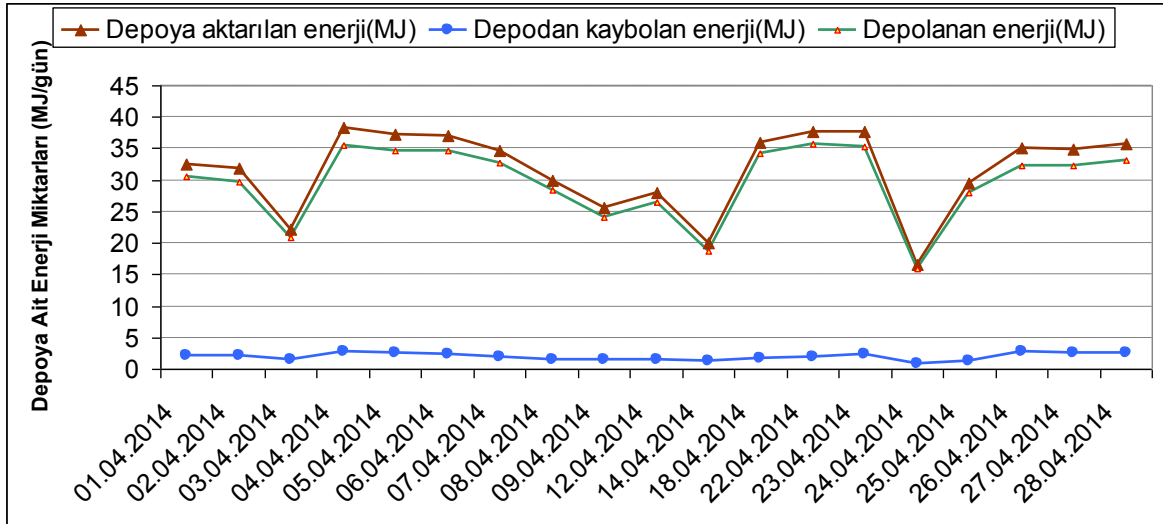
Gün	Depoya aktarılan ısı miktarı (Q_{dg}) (MJ/gün)	Depodan kaybolan ısı miktarı (Q_{dk}) (MJ/gün)	Depolanan ısı miktarı (Q_d) (MJ/gün)	Depo verimi (η) (%)
03.03.2014	31.143	1.438	29.704	95.38
04.03.2014	28.337	1.421	26.916	94.98
07.03.2014	31.775	1.439	30.335	95.46
08.03.2014	33.339	1.330	32.008	96.06
09.03.2014	33.948	1.794	32.154	94.71
15.03.2014	30.026	1.424	28.602	95.10
16.03.2014	30.315	1.565	28.750	94.88
17.03.2014	26.944	1.446	25.498	94.63
18.03.2014	30.796	1.885	28.911	93.87
20.03.2014	35.457	1.632	33.825	95.11
21.03.2014	33.151	2.091	31.059	93.69
22.03.2014	18.465	1.033	17.432	94.36
24.03.2014	30.936	1.951	28.984	93.69
25.03.2014	33.083	2.299	30.784	93.16
27.03.2014	34.109	2.137	31.97	93.73
28.03.2014	31.474	1.951	29.522	93.79
31.03.2014	30.180	2.307	27.873	92.35

Tablo 8.9.b. Nisan ayı için günlük depo verimi

Gün	Depoya aktarılan ısı miktarı (Q_{dg}) (MJ/gün)	Depodan kaybolan ısı miktarı (Q_{dk}) (MJ/gün)	Depolanan ısı miktarı (Q_d) (MJ/gün)	Depo verimi η (%)
01.04.2014	32.597	2.068	30.529	93.65
02.04.2014	31.913	2.175	29.738	93.18
03.04.2014	22.237	1.497	20.739	93.54
04.04.2014	38.346	2.998	35.348	92.77
05.04.2014	37.142	2.639	34.502	93.17
06.04.2014	37.046	2.609	34.437	93.56
07.04.2014	34.708	2.060	32.648	94.31
08.04.2014	29.881	1.605	28.276	95.27
09.04.2014	25.668	1.588	24.080	94.08
12.04.2014	27.946	1.541	26.404	94.54
14.04.2014	19.934	1.113	18.820	93.73
18.04.2014	35.944	1.545	34.398	95.46
22.04.2014	37.730	1.906	35.823	94.93
23.04.2014	37.672	2.397	35.275	93.48
24.04.2014	16.621	0.706	15.914	95.36
25.04.2014	29.448	1.359	28.088	95.28
26.04.2014	35.117	2.913	32.203	92.05
27.04.2014	34.879	2.630	32.249	92.58
28.04.2014	35.820	2.755	33.064	92.79

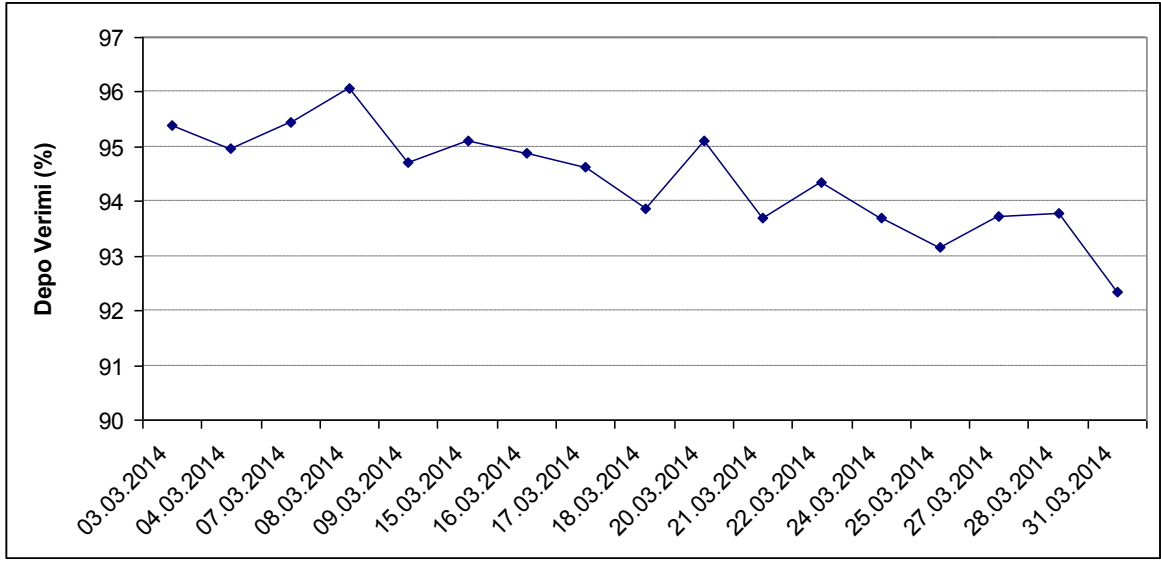


(a)

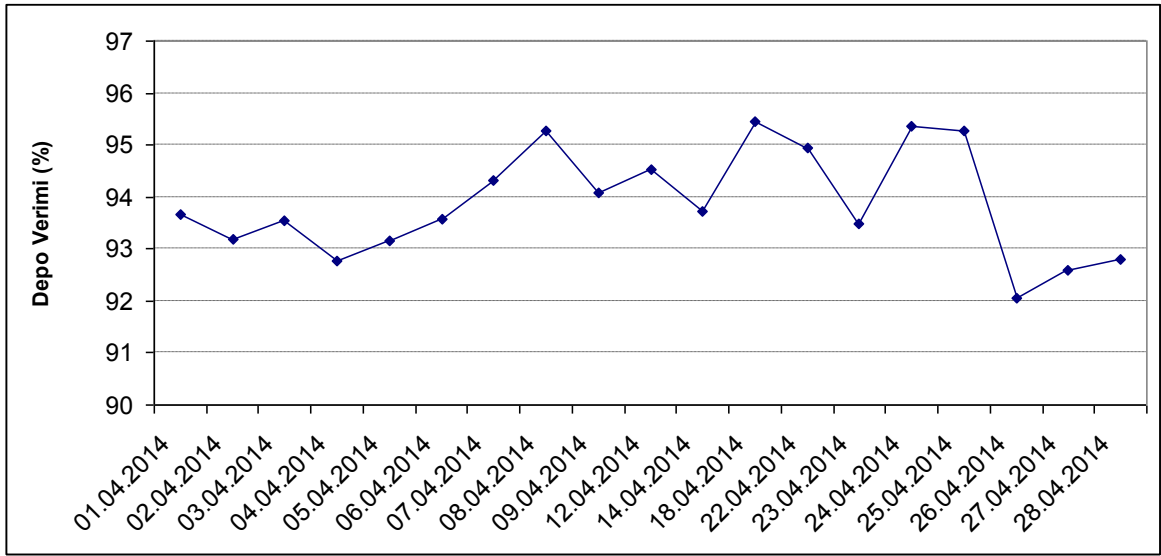


(b)

Şekil 8.7. (a) mart ve (b) nisan ayı için depolanan enerji miktarları



(a)



(b)

Şekil 8.8. (a) mart ve (b) nisan ayı için günlük depo veriminin değişimi.

Termodinamiğin birinci yasası esas alınarak yapılan hesaplamalara göre ısı deposunun maksimum verimi 8 mart günü % 96.06 değerine ulaşabilmektedir. Mart ayına ait ortalama depo verimi % 94.40 olurken, Nisan ayı için ise % 93.88 olarak elde edilmektedir.

8.2. Ekserji Analizi Sonuçları

8.2.1. Kollektör İçin Ekserji Analizi Sonuçları

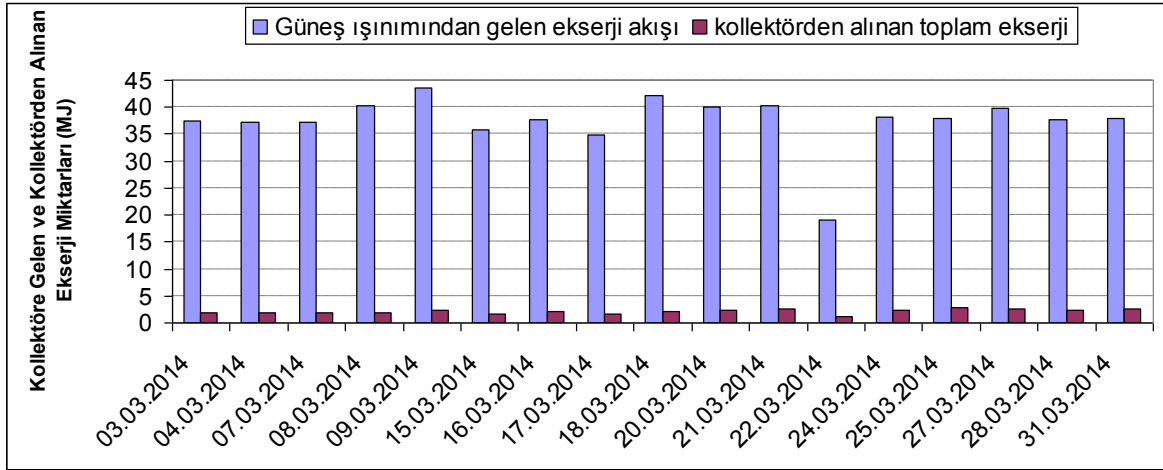
Mart ve nisan aylarının güneşli günlerinde kolektör giriş ve çıkışındaki ekserji miktarı ile kolektörün ikinci yasa verimi Eşitlik 6.37, Eşitlik 6.38 ve Eşitlik 6.40'dan hesaplanmış ve Tablo 8.10'da , Şekil 8.9 ve Şekil 8.10'da verilmektedir.

Tablo 8.10.a. Güneş kolektörünün mart ayı için ikinci yasa verimi

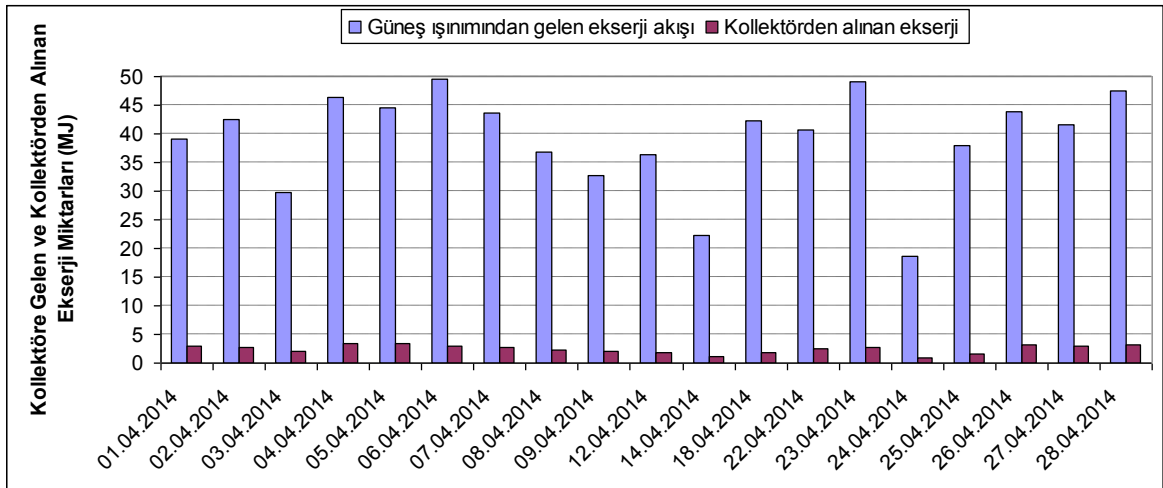
Gün	Birim Alana Gelen Güneş Ekserjisi (MJ/m ²)	Toplam Alana Gelen Güneş Ekserjisi(MJ)	Kolektörden Alınan Toplam Ekserji(MJ)	Kolektörün İkinci Yasa Verimi (%)
03.03.2014	11.139	37.429	1.796	4.80
04.03.2014	11.084	37.243	1.919	5.15
07.03.2014	11.067	37.186	1.991	5.35
08.03.2014	12.000	40.323	1.883	4.67
09.03.2014	12.967	43.571	2.277	5.22
15.03.2014	10.633	35.727	1.728	4.83
16.03.2014	11.232	37.742	2.160	5.72
17.03.2014	10.392	34.920	1.742	4.98
18.03.2014	12.545	42.151	2.231	5.29
20.03.2014	11.898	39.978	2.253	5.63
21.03.2014	12.023	40.398	2.618	6.48
22.03.2014	5.661	19.023	1.292	6.79
24.03.2014	11.328	38.065	2.327	6.11
25.03.2014	11.277	37.893	2.875	7.58
27.03.2014	11.831	39.755	2.502	6.29
28.03.2014	11.213	37.677	2.361	6.26
31.03.2014	11.263	37.845	2.510	6.63

Tablo 8.10.b. Güneş kolektörünün nisan ayı için ikinci yasa verimi

Gün	Birim Alana Gelen Güneş ekserjisi (MJ/m ²)	Toplam Alana Gelen Güneş ekserjisi(MJ)	Kolektörden alınan toplam ekserji(MJ)	Kolektörün İkinci Yasa verimi (%)
01.04.2014	11.627	39.067	3.006	7.69
02.04.2014	12.655	42.523	2.818	6.62
03.04.2014	8.831	29.673	1.962	6.61
04.04.2014	13.782	46.307	3.520	7.60
05.04.2014	13.234	44.469	3.434	7.72
06.04.2014	14.762	49.600	3.004	6.05
07.04.2014	13.016	43.734	2.656	6.07
08.04.2014	10.954	36.805	2.209	6.00
09.04.2014	9.742	32.736	2.015	6.15
12.04.2014	10.843	36.432	1.809	4.96
14.04.2014	6.660	22.380	1.179	5.27
18.04.2014	12.589	42.301	1.799	4.25
22.04.2014	12.075	40.572	2.492	6.14
23.04.2014	14.587	49.013	2.818	5.75
24.04.2014	5.561	18.687	0.940	5.03
25.04.2014	11.286	37.921	1.620	4.27
26.04.2014	13.027	43.770	3.244	7.41
27.04.2014	12.364	41.546	3.063	7.37
28.04.2014	14.167	47.602	3.088	6.48

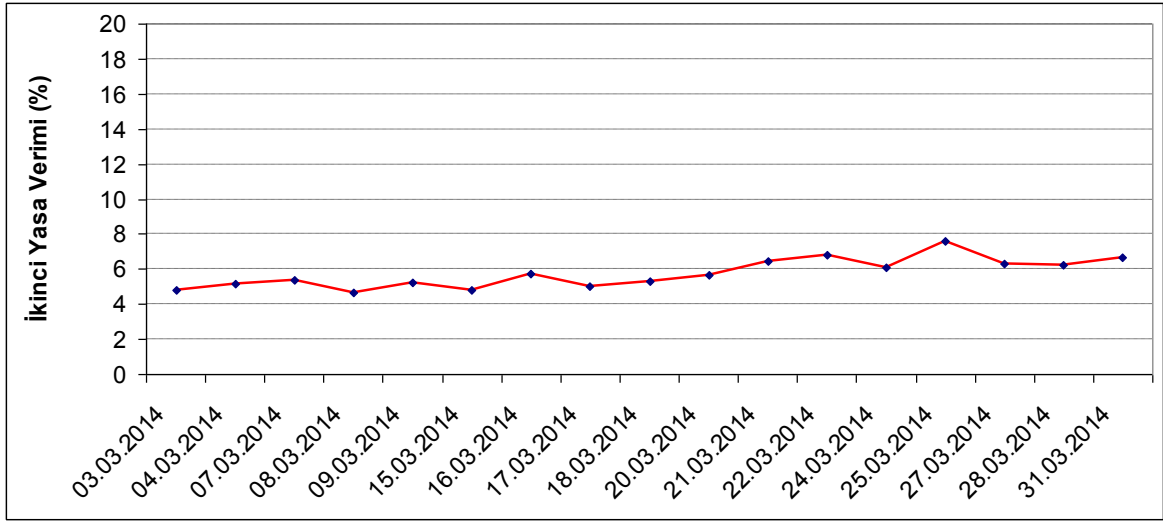


(a)

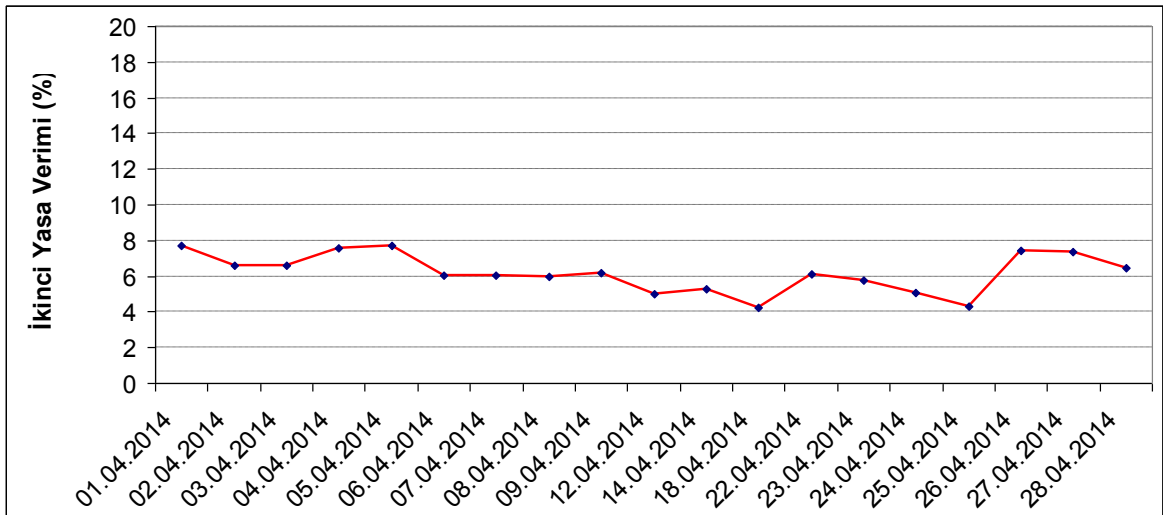


(b)

Şekil 8.9. (a) mart ve (b) nisan ayı için kolektöre ait ekserji miktarları



(a)



(b)

Şekil 8.10. (a) mart ve (b) nisan ayı için kolektörün ikinci yasa verimi

Termodinamiğin ikinci yasası esas alınarak yapılan hesaplamalarda kolektör veriminin birinci yasaya göre olan verimden çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Elde edilebilen en yüksek verim değeri 25 martta % 7.58 olarak tespit edilmiştir. Mart ayının ortalama verimi % 5.75 olurken nisan ayında % 6.18 olarak bulunmuştur.

Daha öncede açıklandığı gibi, bir sistemin termodinamiğin birinci yasasına göre belirlenen enerji miktarları ve verimleri gerçekte bir sistemden elde edilebilen faydalı

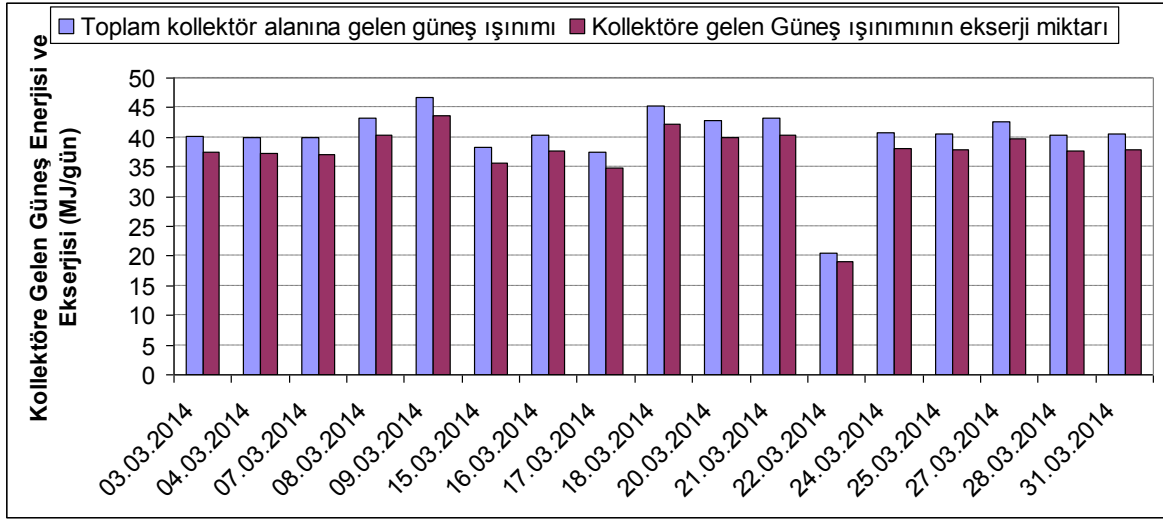
enerjiye eşit olamamaktadır. Bir sistemden elde edilebilen gerçek faydalı enerji ikinci yasaya göre hesaplanması gereken ekserji miktarı ve ikinci yasa verimidir. Bu deneyde kullanılan 3,36m²'lik kolektör alanına gelen güneş enerjisi ve ekserji miktarları, kolektörden alınan enerji ve ekserji miktarları ile birinci yasa ve ikinci yasa verimleri karşılaştırılarak Tablo 8.11'de, Şekil 8.11, 8.12, 8.13 ve 8.14'te verilmektedir.

Tablo 8.11.a. Mart ayı için güneş enerjisinin faydalanılabilirlik miktarının değişimi

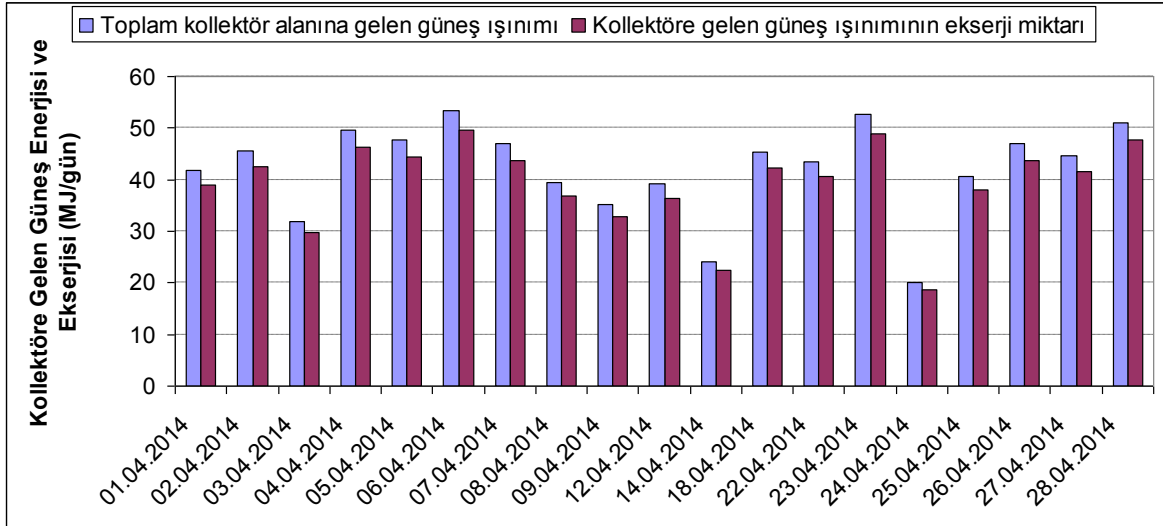
Gün	Kolektörün Toplam Alanına Gelen Güneş Enerjisi (MJ/gün)	Kolektörün Toplam Alanına Gelen Güneş Ekserjisi (MJ/gün)	Ekserjiye Dönüşen Güneş Işınımı (%)
03.03.2014	40.132	37.429	93.26
04.03.2014	39.936	37.243	93.25
07.03.2014	39.865	37.186	93.28
08.03.2014	43.281	40.323	93.16
09.03.2014	46.720	43.571	93.26
15.03.2014	38.309	35.727	93.26
16.03.2014	40.469	37.742	93.26
17.03.2014	37.445	34.920	93.25
18.03.2014	45.194	42.151	93.26
20.03.2014	42.871	39.978	93.25
21.03.2014	43.333	40.398	93.22
22.03.2014	20.416	19.023	93.17
24.03.2014	40.836	38.065	93.21
25.03.2014	40.661	37.893	93.19
27.03.2014	42.665	39.755	93.17
28.03.2014	40.437	37.677	93.17
31.03.2014	40.498	37.845	93.44

Tablo 8.11.b. Nisan ayı için güneş enerjisinin faydalanılabilirlik miktarının değişimi

Gün	Kolektörün Toplam Alanına Gelen Güneş Enerjisi (MJ/gün)	Kolektörün Toplam Alanına Gelen Güneş Ekserjisi (MJ/gün)	Ekserjiye Dönüşen Güneş Işınımı (%)
01.04.2014	41.846	39.067	93.358
02.04.2014	45.600	42.523	93.250
03.04.2014	31.828	29.673	93.227
04.04.2014	49.655	46.307	93.259
05.04.2014	47.712	44.469	93.202
06.04.2014	53.268	49.600	93.113
07.04.2014	46.976	43.734	93.098
08.04.2014	39.538	36.805	93.088
09.04.2014	35.126	32.736	93.196
12.04.2014	39.122	36.432	93.125
14.04.2014	24.022	22.380	93.167
18.04.2014	45.455	42.301	93.062
22.04.2014	43.551	40.572	93.160
23.04.2014	52.627	49.013	93.132
24.04.2014	20.077	18.687	93.076
25.04.2014	40.733	37.921	93.098
26.04.2014	46.934	43.770	93.259
27.04.2014	44.569	41.546	93.216
28.04.2014	51.114	47.602	93.129

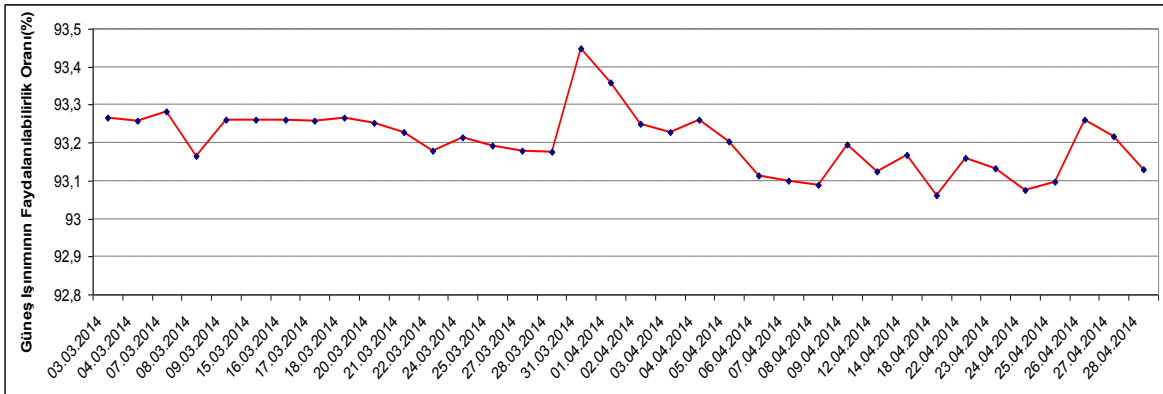


(a)



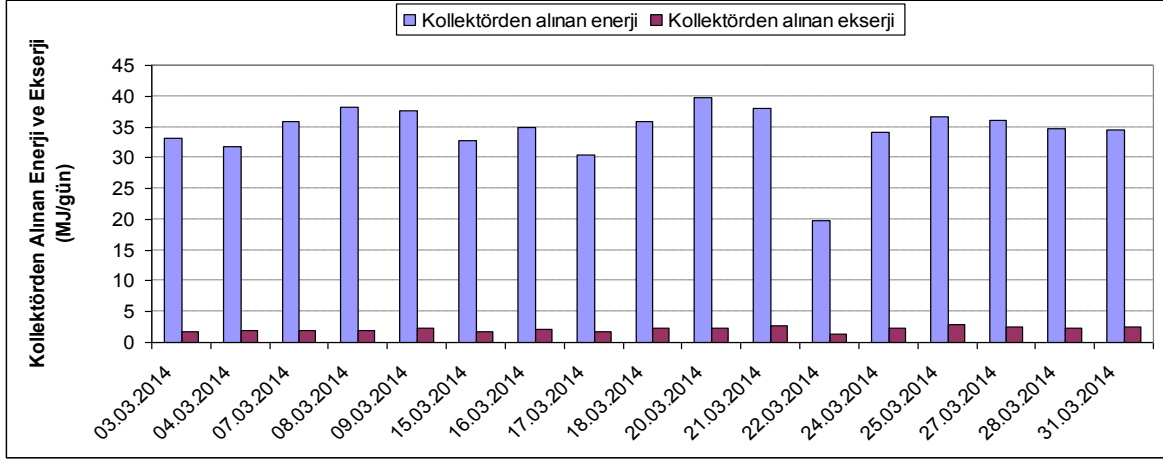
(b)

Şekil 8.11. (a) mart ve (b) nisan ayı için günlük güneş ışınımı ve güneş ekserjisi miktarları

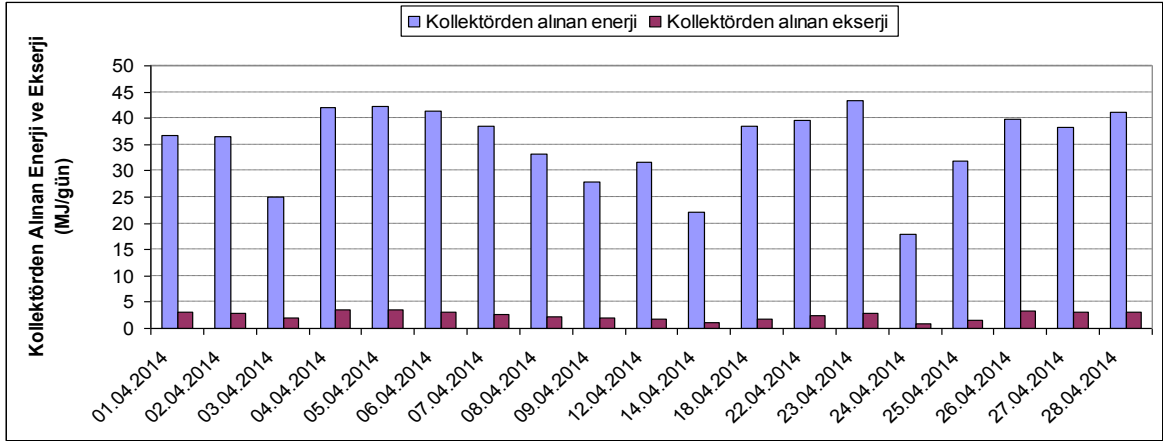


Şekil 8.12. Mart ve nisan ayları için güneş ışınımının faydalanılabilirlik oranı (%)

Kolektör yüzeyine gelen ışınımından elde edilen ekserji oranının en yüksek değeri % 3.44 ile 31 martta elde edilmiştir. Mart ayı ortalaması % 93.24 ve nisan ayı ortalaması % 93.16 olarak elde edilmektedir.

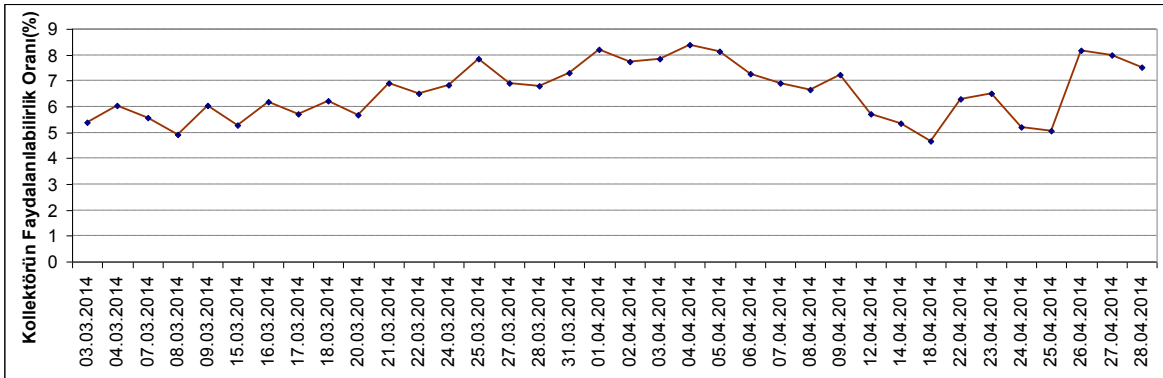


(a)



(b)

Şekil 8.13. (a) mart ve (b) nisan ayı için kolektörden alınan enerji ve ekserji miktarları (MJ/gün)



Şekil 8.14. Kolektörden alınan enerjinin ekserjiye dönüşüm miktarı (faydalanılabilirlik oranı) (%)

8.2.2. Isı Deposu İçin Ekserji Analizi Sonuçları

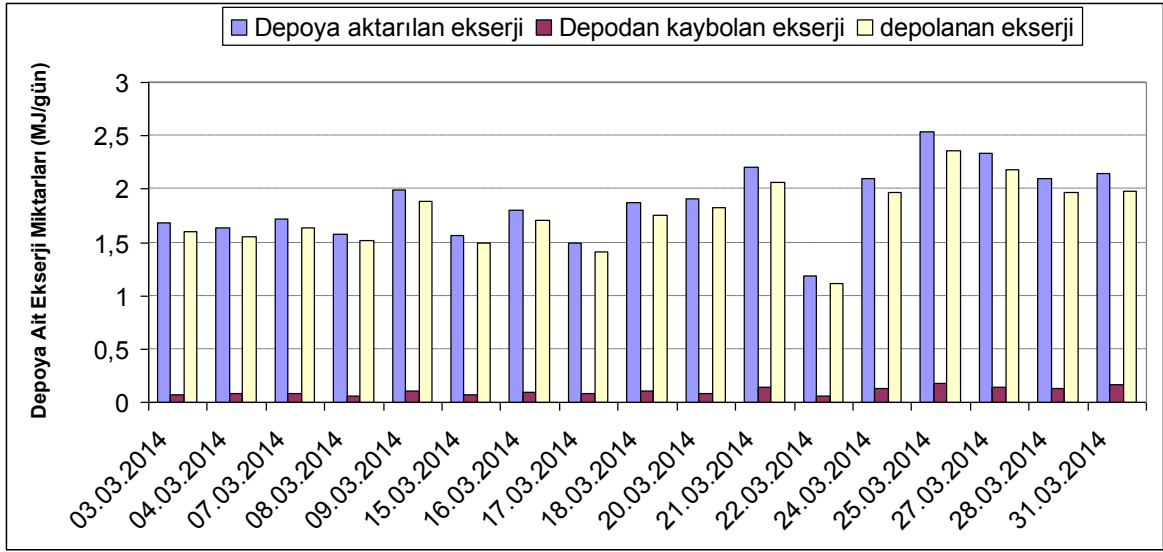
Eşitlik 6.45 ve 6.48'e göre yapılan hesaplamalara göre depoya aktarılan, deponun duvarlarından dışarıya kaybolan ve depolanabilen ekserji miktarları Tablo 8.12 ve Şekil 8.15'te verilmektedir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre deponun verimi ise Eşitlik 6.49 dan hesaplanarak Tablo 8.12 ve Şekil 8.16'daki gibi sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 8.12.a Mart ayı için deponun ekserji değerleri

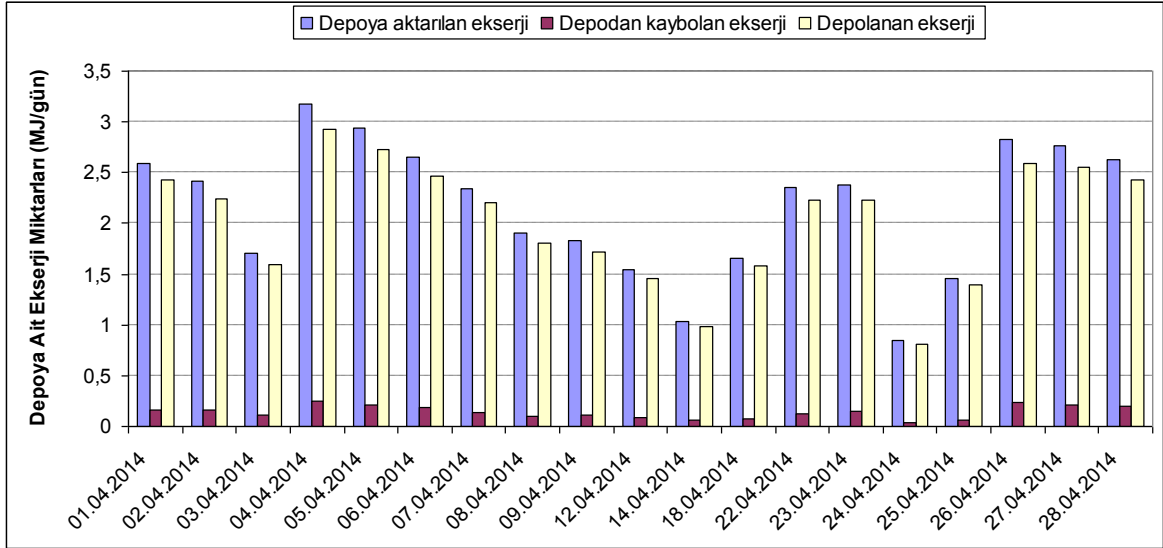
Gün	Depoya Aktarılan Ekserji (MJ/gün)	Depodan Kaybolan Ekserji (MJ/gün)	Depolanan Ekserji (MJ/gün)	Deponun İkinci Yasa Verimi (%)
03.03.2014	1.6802	0.0768	1.6033	95.42
04.03.2014	1.6383	0.0813	1.5569	95.03
07.03.2014	1.7162	0.0786	1.6375	95.41
08.03.2014	1.5769	0.0618	1.5151	96.07
09.03.2014	1.9927	0.1029	1.889	94.83
15.03.2014	1.5680	0.0729	1.4951	95.34
16.03.2014	1.8014	0.0920	1.7094	94.89
17.03.2014	1.4882	0.0786	1.4095	94.71
18.03.2014	1.8720	0.1117	1.7603	94.03
20.03.2014	1.9146	0.0872	1.8273	95.44
21.03.2014	2.2068	0.1387	2.0680	93.71
22.03.2014	1.1843	0.0651	1.1192	94.50
24.03.2014	2.0990	0.1277	1.9713	93.91
25.03.2014	2.5326	0.1731	2.3595	93.16
27.03.2014	2.3313	0.1456	2.1857	93.75
28.03.2014	2.0975	0.1292	1.9682	93.83
31.03.2014	2.1446	0.1637	1.9808	92.36

Tablo 8.12.b Nisan ayı için deponun ekserji değerleri

Gün	Depoya Aktarılan Ekserji (MJ/gün)	Depodan Kaybolan Ekserji (MJ/gün)	Depolanan Ekserji (MJ/gün)	Deponun İkinci Yasa Verimi (%)
01.04.2014	2.5917	0.1647	2.4270	93.64
02.04.2014	2.4109	0.16311	2.2478	93.23
03.04.2014	1.7057	0.1152	1.5905	93.24
04.04.2014	3.1780	0.248	2.9296	92.18
05.04.2014	2.9387	0.2077	2.7309	92.92
06.04.2014	2.6488	0.1847	2.4641	93.02
07.04.2014	2.3391	0.1384	2.2005	94.07
08.04.2014	1.9093	0.1020	1.8073	94.65
09.04.2014	1.8352	0.1137	1.7215	93.80
12.04.2014	1.5417	0.0862	1.4554	94.40
14.04.2014	1.0367	0.0574	0.9793	94.46
18.04.2014	1.6593	0.0722	1.5871	95.64
22.04.2014	2.3553	0.1198	2.2354	94.91
23.04.2014	2.3742	0.1505	2.2237	93.65
24.04.2014	0.8469	0.0361	0.8108	95.73
25.04.2014	1.4605	0.0675	1.3930	95.37
26.04.2014	2.8232	0.2323	2.5909	91.77
27.04.2014	2.7623	0.2068	2.5555	92.51
28.04.2014	2.6257	0.1990	2.4267	92.41

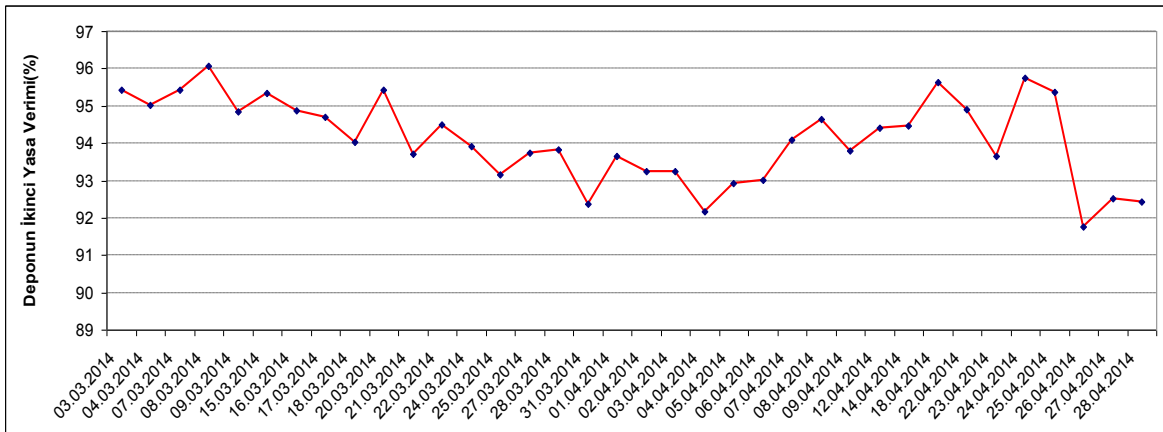


(a)



(b)

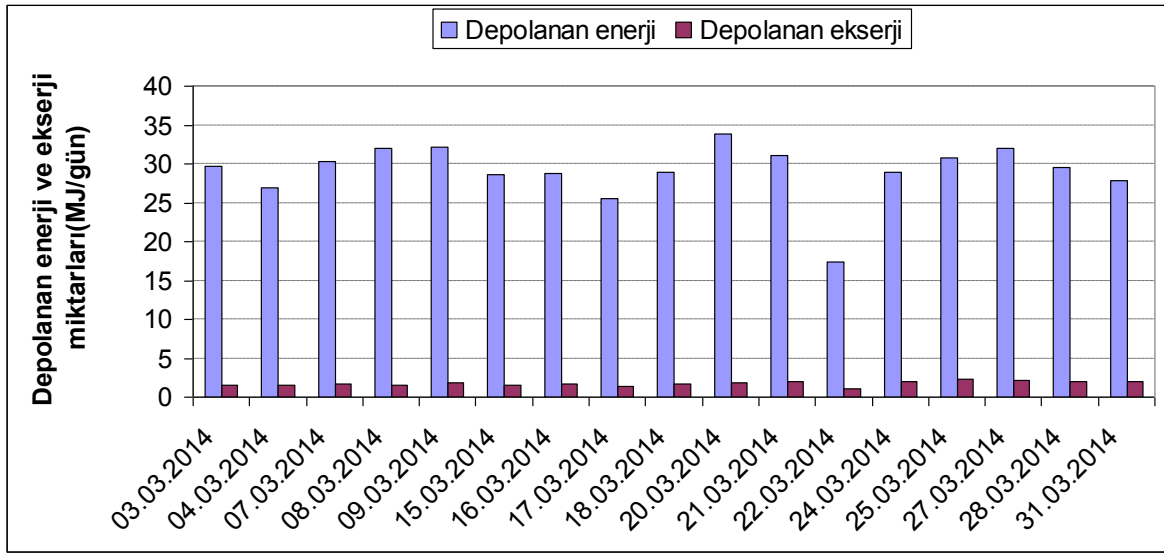
Şekil 8.15. (a) mart ve (b) nisan ayı için deponun ekserji değerleri (MJ/gün)



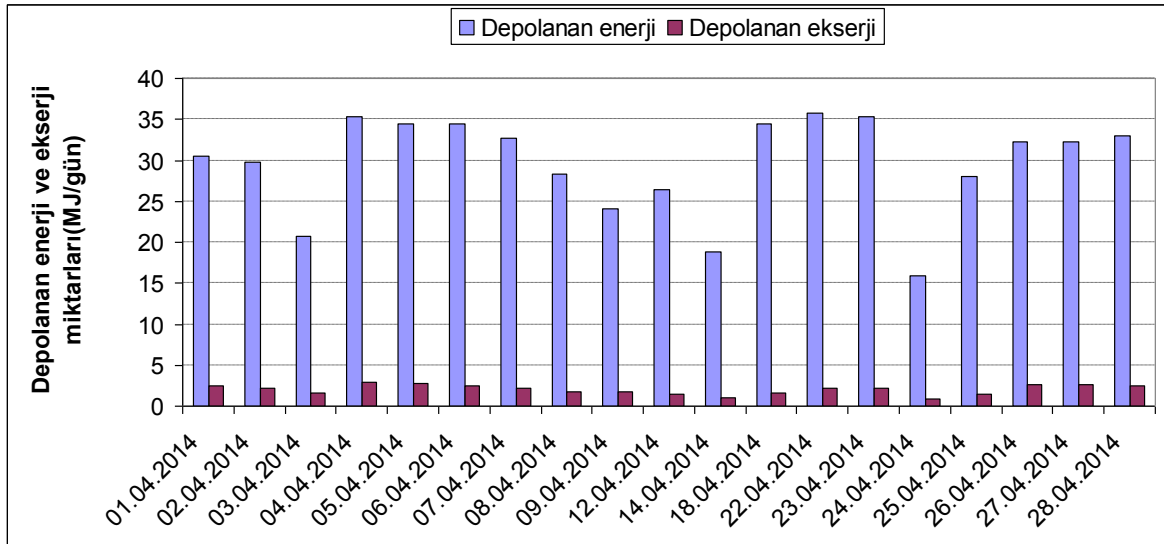
Şekil 8.16. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı deponunun verimi (%)

Deponun ikinci yasa verimi 8 martta % 96.07'lik değerle mart ve nisan aylarının en yüksek değeri olarak hesaplanmıştır. Mart ayında ısı deposunun ortalama ikinci yasa verimi % 94.49 nisan ayında ise % 93.76 olarak elde edilmektedir.

şekil 8.17'de mart ve nisan aylarında depolanan enerji ve ekserji miktarları, şekil 8.18'de ise depolanan enerjinin ekserjiye dönüşebilen miktarı verilmiştir.

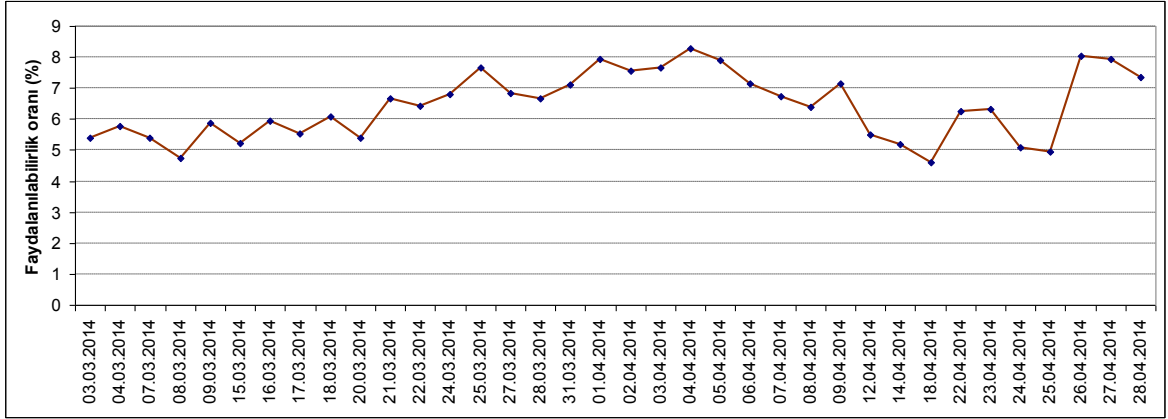


(a)



(b)

şekil 8.17. (a) mart ve (b) nisan ayında günlük depolanan enerji ve ekserji miktarları



Şekil 8.18. Depolanan enerjiden elde edilebilen faydalılabilirlik oranı (%)

Termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları esas alınarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlara göre, depolanan enerji miktarı ile ekserji miktarı arasındaki oran mart ayında ortalama % 6.09 nisan ayında ise % 6.73 olarak elde edilmiştir.

8.2.3. Kabin İçin Ekserji Analizi Sonuçları

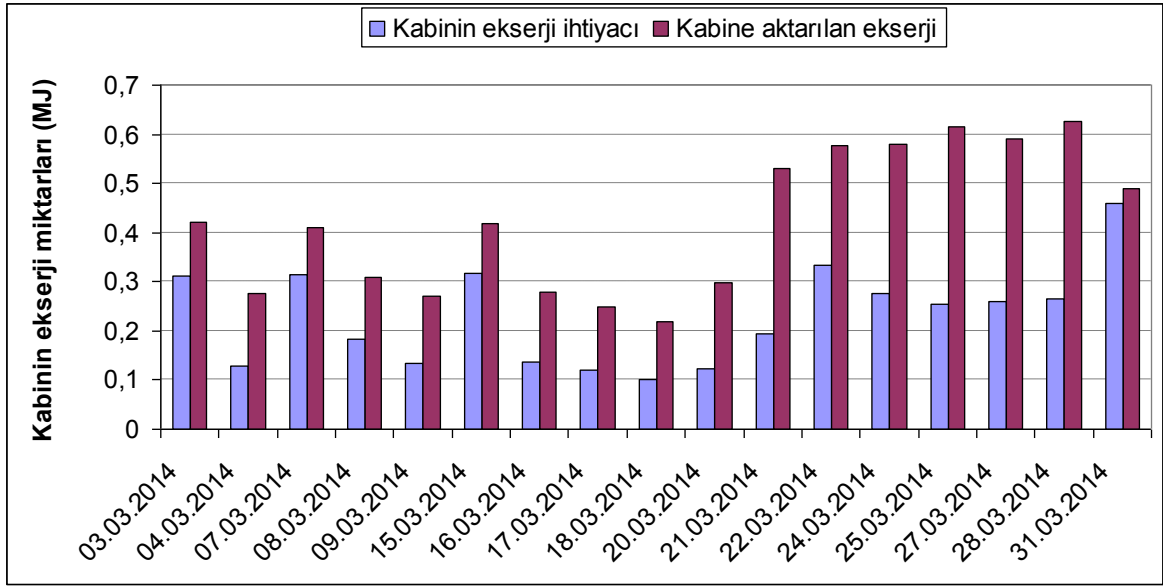
Tablo 8.13’de kabinin ekserji ihtiyacının karşılanma oranı, Şekil 8.19’da ise kabinin ekserji ihtiyacı ile kabine aktarılan ekserji miktarları verilmiştir.

Tablo 8.13.a. Mart ayı için kabinin ekserji ihtiyacının karşılanma oranı

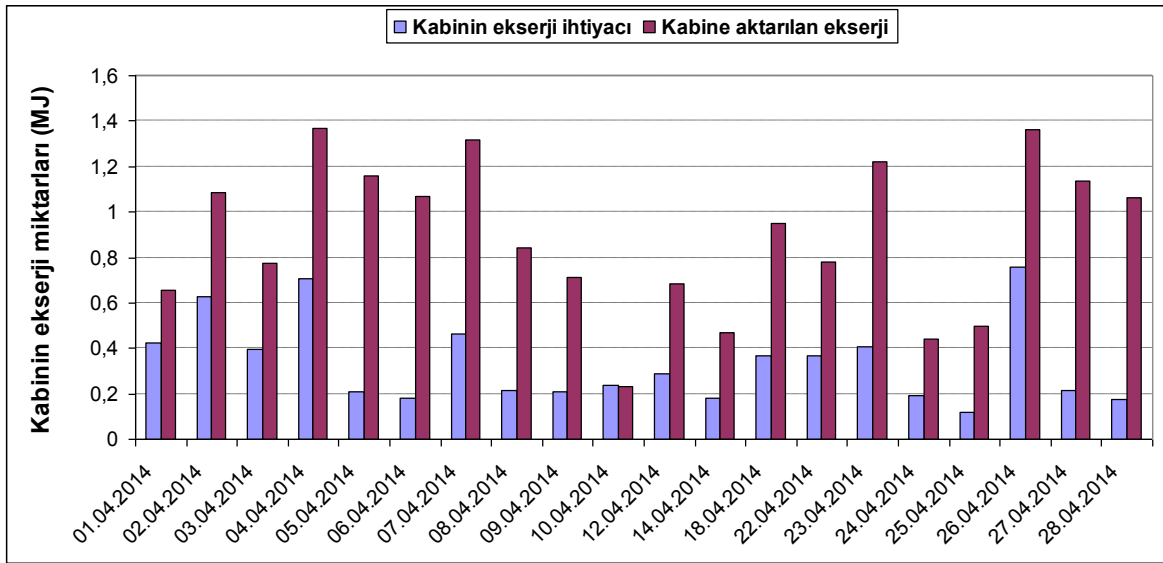
Gün	Kabinin Ekserji İhtiyacı (MJ)	Kabine Aktarılan Ekserji (MJ)	Kabin Ekserji İhtiyacının Karşılanma Oranı (%)
03.03.2014	0.3117	0.4209	100
04.03.2014	0.1280	0.2758	100
07.03.2014	0.3138	0.4095	100
08.03.2014	0.1832	0.3096	100
09.03.2014	0.1346	0.2698	100
15.03.2014	0.3173	0.4170	100
16.03.2014	0.1363	0.2794	100
17.03.2014	0.1211	0.2494	100
18.03.2014	0.1009	0.2201	100
20.03.2014	0.1224	0.2973	100
21.03.2014	0.1951	0.5293	100
22.03.2014	0.3349	0.5769	100
24.03.2014	0.2768	0.5801	100
25.03.2014	0.2543	0.6146	100
27.03.2014	0.2605	0.5894	100
28.03.2014	0.2663	0.6252	100
31.03.2014	0.4602	0.4898	100

Tablo 8.13.b Nisan ayı için kabinin ekserji ihtiyacının karşılanma oranı

Gün	Kabinin Ekserji İhtiyacı (MJ)	Kabine Aktarılan Ekserji (MJ)	Kabin Ekserji İhtiyacının Karşılanma Oranı (%)
01.04.2014	0.4258	0.6569	100
02.04.2014	0.6254	1.0837	100
03.04.2014	0.3951	0.7724	100
04.04.2014	0.7050	1.3682	100
05.04.2014	0.2112	1.1580	100
06.04.2014	0.1795	1.0659	100
07.04.2014	0.4655	1.3197	100
08.04.2014	0.2133	0.8407	100
09.04.2014	0.2116	0.7127	100
10.04.2014	0.2348	0.2336	100
12.04.2014	0.2894	0.6851	100
14.04.2014	0.1819	0.4665	100
18.04.2014	0.3676	0.9503	100
22.04.2014	0.3650	0.7800	100
23.04.2014	0.4090	1.2201	100
24.04.2014	0.1947	0.4386	100
25.04.2014	0.1186	0.4990	100
26.04.2014	0.7556	1.3634	100
27.04.2014	0.2175	1.1361	100
28.04.2014	0.1774	1.0613	100



(a)



(b)

Şekil 8.19. (a) mart ve (b) nisan ayında kabinin ekserji miktarları

Mart ve nisan aylarında kabine aktarılan ekserji miktarı, kabinin ekserji miktarından daha fazla olduğu için kabinin ısı ihtiyacının karşılanma oranı tüm günler için % 100 olmuştur.

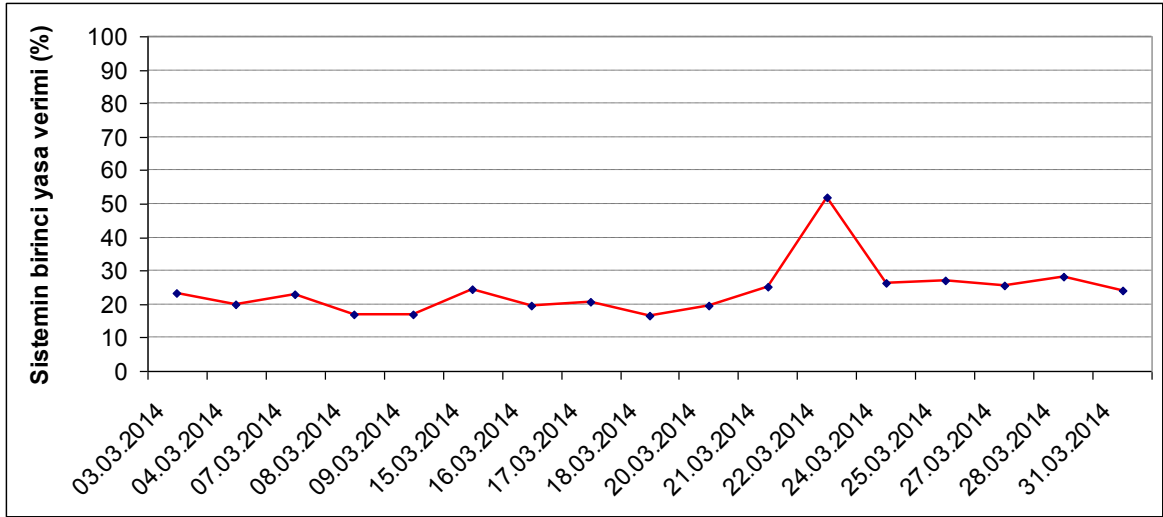
8.3. Sistemin Verimi

8.3.1. Sistemin Birinci Yasa Verimi

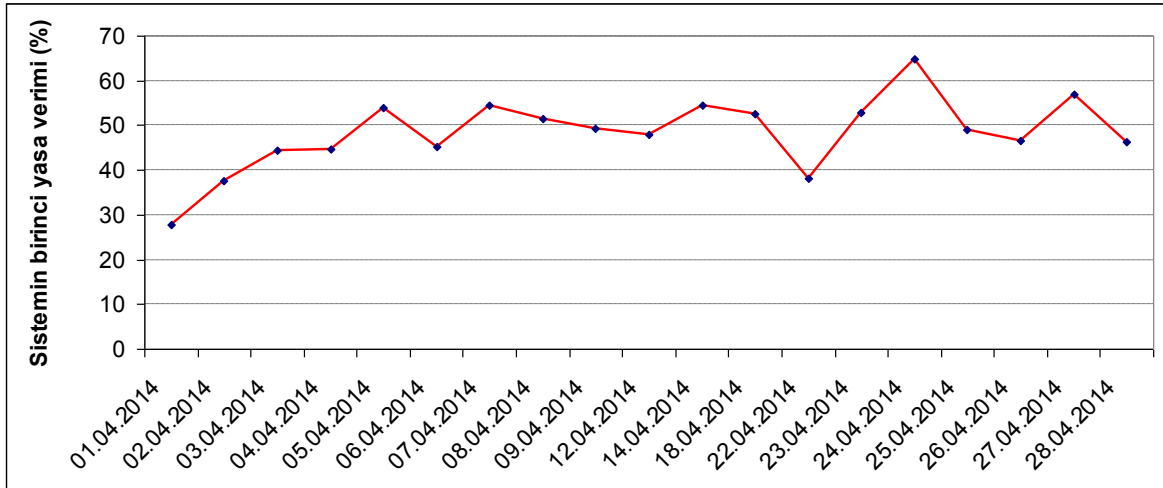
Eşitlik 6.32 ye göre yapılan hesaplamalara göre sistemin verimi Tablo 8.14 ve Şekil 8.20’de verilmektedir.

Tablo 8.14. Mart ve nisan ayları için sistemin birinci yasa verimi (%)

Gün	Sistemin Birinci Yasa Verimi (%)	Gün	Sistemin Birinci Yasa Verimi (%)
03.03.2014	23.29	01.04.2014	27.91
04.03.2014	19.86	02.04.2014	37.52
07.03.2014	22.99	03.04.2014	44.45
08.03.2014	17.00	04.04.2014	44.78
09.03.2014	16.77	05.04.2014	54.04
15.03.2014	24.25	06.04.2014	45.31
16.03.2014	19.72	07.04.2014	54.48
17.03.2014	20.57	08.04.2014	51.52
18.03.2014	16.40	09.04.2014	49.42
20.03.2014	19.48	12.04.2014	47.95
21.03.2014	25.31	14.04.2014	54.35
22.03.2014	52.02	18.04.2014	52.53
24.03.2014	26.41	22.04.2014	38.25
25.03.2014	27.21	23.04.2014	52.96
27.03.2014	25.48	24.04.2014	64.78
28.03.2014	28.05	25.04.2014	49.10
31.03.2014	23.88	26.04.2014	46.62
		27.04.2014	56.91
		28.04.2014	46.33



(a)



(b)

Şekil 8.20. Sistemin (a) mart ve (b) nisan ayı için birinci yasa verimi

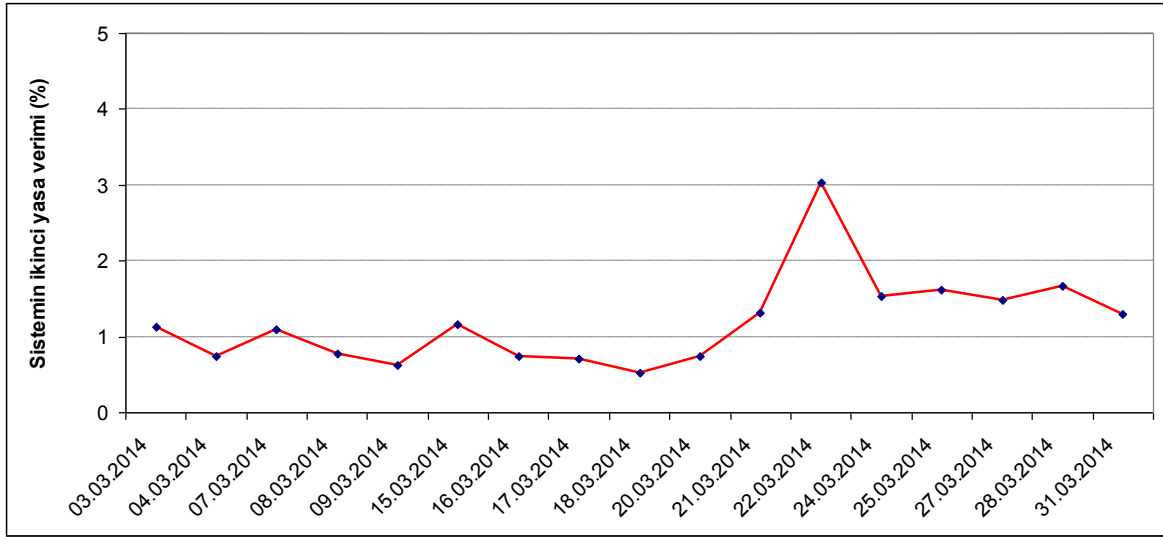
Sistemin birinci yasa verimi 22 martta % 2.02 değerine ulaşmış olup mart ayı ortalama sistem verimi % 24.04 olarak elde edilmiştir. Nisan ayında ise, 24 nisan günü % 64.78'lik değerle maksimum değerine ulaşmış olup, aylık ortalama verim % 48.38 olarak hesaplanmıştır.

8.3.2. Sistemin İkinci Yasa Verimi

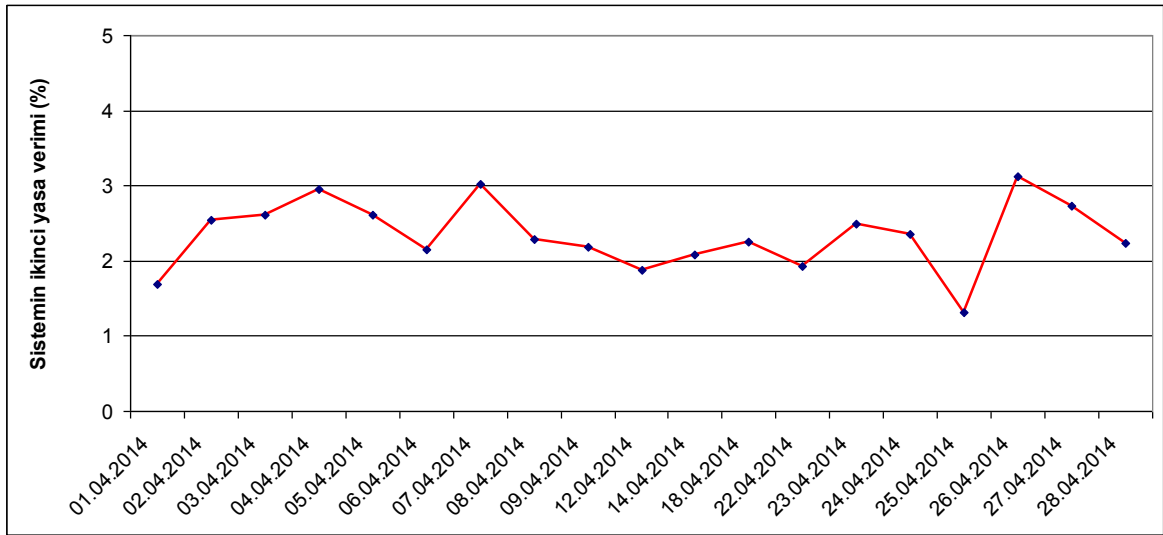
Eşitlik 6.50'ye göre yapılan hesaplamalara göre sistemin verimi Şekil 8.21 ve Tablo 8.15'de verilmiştir.

Tablo 8.15. Mart ve nisan ayları için sistemin ikinci yasa verimi.

Gün	Sistemin İkinci Yasa Verimi (%)	Gün	Sistemin İkinci Yasa Verimi (%)
03.03.2014	1.12	01.04.2014	1.68
04.03.2014	0.74	02.04.2014	2.54
07.03.2014	1.10	03.04.2014	2.60
08.03.2014	0.76	04.04.2014	2.95
09.03.2014	0.61	05.04.2014	2.60
15.03.2014	1.16	06.04.2014	2.14
16.03.2014	0.74	07.04.2014	3.01
17.03.2014	0.71	08.04.2014	2.28
18.03.2014	0.52	09.04.2014	2.17
20.03.2014	0.74	12.04.2014	1.88
21.03.2014	1.31	14.04.2014	2.08
22.03.2014	3.03	18.04.2014	2.24
24.03.2014	1.52	22.04.2014	1.92
25.03.2014	1.62	23.04.2014	2.48
27.03.2014	1.48	24.04.2014	2.34
28.03.2014	1.65	25.04.2014	1.31
31.03.2014	1.29	26.04.2014	3.11
		27.04.2014	2.73
		28.04.2014	2.22



(a)



(b)

Şekil 8.21 Sistemin (a) mart ve (b) nisan ayı için ikinci yasa verimi (%)

Sistemin ikinci yasa verimi 22 martta % 3.03 değerine ulaşmış olup mart ayı ortalama sistem verimi % 1.18 olarak hesaplanmıştır. Nisan ayında ise, 26 nisan günü % 3.11'lik değerle maksimum değerine ulaşmış olup, aylık ortalama verim % 2.33 olarak elde edilmektedir.

8.4. Sonuç

Bu çalışmada termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre yapılan hesaplamalarda ve deneyden elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Mart ve nisan aylarında çalışan sistem için kolektörün optimum eğim açısı 34.36° olarak hesaplanmıştır. Böylece yatay eksene gelen güneş ışınımından, mart ayı için ortalama % 21.21, nisan ayında ise % 8.37 artış sağlanmıştır.

Mart ayında 17:00 ile 20:00 saatleri arasında kabinin ısı ihtiyaının karşılanma oranı ortalaması % 97.88 olarak tespit edilmiştir. Nisan ayında, kabin içi sıcaklığın 21°C nin üzerinde tutulabildiği ortalama ısıtma süresi 6.22 saat olabilmıştir.

Termodinamiğin birinci yasasına göre sistemin Mart ayında ortalama verimi % 24.04 olarak tespit edilirken, nisan ayı için % 48.38 olarak tespit edilmiştir.

Termodinamiğin ikinci yasasına göre sistemin mart ayında ortalama verimi % 1.18 olarak tespit edilirken, nisan ayı için % 2.33 olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Kılıç, A., Öztürk, A., 1983. Güneş Enerjisi 331 s.
2. Duffie, J.A., Beckman, W.A., "Solar Engineering of Thermal Processes", J.Wiley and sons, N.Y., 1991
3. Klein,S.A.,Beckman,W.A., Duffe,J.A.1976 A Desing Procedure For Solar Air Heating Systems Solar Energy Vol.19 pp.509-512 Pergamon Press 1977.
4. Braun,J.E., Klein,S.A., Mitchell,J.Ww. Seasonal Storage of Energy in Solar Heating. Solar Energy, Vol.26:403-411. 1981.
5. Szargat, J., Moris, D.R., Stewart, F.R., Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Mtallurgy Processes. Hemisphere, New York, 8,1988.
6. Eğrican,N., Özdoğan, S., Enerji Sistemlerinin Ekserji Analizine Yönelik Bazı Çalışmaların Derlenmesi. Termodinamiğin İkinci Kanunu Çalışma Toplantısı, Biliriler Kitabı, Cilt-II:34(1)-34(12), Erciyes Üniv.-T.I.B.T.D., 27 30/08/1990, Kayseri.
7. Moran,M.J., Sciubba,E., Exergy analysis: Principles and Practice.J.Eng. Gas Turbine and Power. 116.285-290. 1994.
8. Nakicenovic,N., Gilli,P.V., Kurz,R., Regional and Global Exergy and energy Efficiencies, Exergy, 21,3,223-237. 1996.
9. Rosen, M.A. 1996 Comparison of the AppRoaches to Second-law Analysis. Proceedings of the First Trabzon international Energy and Environment symposium:315-323, july 29-31,1996, Trabzon-Turkey.
10. Karim, M.A., M.N.A., Hawlader, 2004. Development of solar air collectors for drying applications. Energy Convers. Manage.,
11. Rosen M.A., Dinçer İ., 1996. Energy and Exergy Analysis of Sectoral Energy Utilization: An Application for Turkey. Proceeding of the Frist Trabzon International Energy and Enviroment Symposium: 387-392, July 29-31, 1996, Trabzon-Turkey.
12. Binark, A.K., 1995. Exergy Analaysis for the Solar Air Collectors. Proceedings of ECOS'95 "efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Enviromental Impact of Energy System":539-544, July 11-14,1995, İstanbul-Turkey
13. Bejan, A., Two Thermodynamic Optima in yhe Design and Operation Of Thermal Energy Storage System.J. of Heat Transfer, 100: 708-712. 1978
14. Karane, R.J. A Second Law Analysis of the Optimum Desing and Operation of Thermal Energy Storage System. İnternational Journal of Heat and Mass Transfer 30: 43-57. 1987.

15. Rosen, M.A., Hooper, F.C. 1996 Second-Law Analysis of Thermal Energy Storage System. Proceedings of the First Trabzon International Energy Environment Symposium: 1059-1065, July 29-31, 1996, Trabzon-Turkey.
16. Rosen, M.A., Hooper, F.C., Barbaris, L.N., Exergy Analysis for the Evaluation of the Performance of Closed Thermal Energy Storage Systems. Trans. of the ASME, Journal of Solar Energy Eng., 110:255-261. 1988.
17. Koroneos, C., Spachos, T., Moussiopoulos N., Exergy Analysis of Renewable Energy Sources Renewable Energy 28 .295-310, 2003
18. Rosen M. A., Dinçer İ. Exergy-cost-energy-mass analysis of thermal systems and processes Energy Conversion and Management 44 (2003) 1633-1651, 2003.
19. Bejan, A. 1982 a. Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow, John Wiley, New York
Energy Storage System. J. of Heat Transfer, 100:708-712
20. Gunnewiek, L.H., Nguyen, S., Rosen, M.A. Evaluation of the Optimum Discharge Period For Closed Thermal Energy Stores Using Energy and Exergy Analysis, Solar Energy Vol. 51, No.1:39-43, 1993
21. Wyman, C., Castle, J., Kreith, F. 1980. A Review of Collector and Energy Storage Technology for Intermediate Temperature Appl. Solar Energy, 24:517-540.
22. Harris, G., "Distributed Residential Thermal Storage by Water Encapsulation" Ms. Thesis, Univ. of Nevada, Reno, 1991
23. Chelghoum, D.E. And Bejan, A., "Second-Law Analysis of Solar Collectors with Energy Storage Capability," Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 107, pp. 244-251. 1985.
24. Krane, R.J., " A Second Law Analysis of the Optimum Design and Operation of Thermal Energy Storage Systems," International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.30, No.1, pp.43-57, 1987.
25. Krane, R.J., " A Second Law Analysis of a Thermal Energy Storage System With Joulean Heating of the Storage Element," ASME Paper 85 WA/HT-19, 1985 Winter
26. Moran, M.J. And Keyhani, V., "Second Law Analysis of Thermal Energy Storage Systems," 7th International Heat Transfer Conference ,vol.6, Munich, Germany.1982.
27. Rosen, M.A., Second-Law Analysis of Aquifer Thermal Energy Storage Systems. Pergamon Energy 24 (1999) 167-182, 1997.
28. Rosen, M. A., Le, M. N., Dinçer, İ. Efficiency analysis of a cogeneration and district energy system. Applied Thermal Engineering 25 147-159, 2005
29. Anonim, 2010, www.belgeler.com 26.01.2010

30. Anonim , www.bilgiustam.com , 12.03.2013
31. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, www.mgm.gov , 12.01.2013
32. Gökgöz, E., Modifiye Michel-Trombe Duvarı Uygulamasında Çift Amaçlı (Konut ısıtma Sıcak Su Üretimi) Yeni bir Sistemin Teorik ve Deneysel İncelemesi Doktora Tezi, İzmir, 1990.
33. Dinçer, İ., Evaluation and Selection of Energy Storage Systems For Solar thermal Applications, International Journal of Energy Research 23:1017-1028. 1999.
34. Schimdt, E.W., "Thermochemical Energy Storage System", 11.IECEC. 1985.
35. Kıncay, O., Örenel, M.B. Isıl Enerji Depolama Yöntemleri ve Malzemeleri, Termodinamik Dergisi Mayıs, 2002.
36. Sukhatme, S.P., Solar Energy, Tata McGrawHill, 1998.
37. Garg, H., Mullick, S., Bhargava, A., 1985, Solar Thermal Energy Storage. D.Reidel publishing company. Dordrecht, Boston.
38. Kakaç, S., Paykoç, E., Yener, Y., Storage of Solar Thermal Energy. Energy Storage System. Energy Storage System (Edit By; Kılıkış, B. and Kakaç, S.) , NATO ASI series E: Applied Sciences 167:121-161, Kluwer Academic Publishers. 1989.
39. Lorsch H.G., Thermal Energy Storage For Solar Heating, ASHREA Journal, 47 p, 1975.
40. Baykul, C., 1987, Güneş Enerjisinin Depolanması. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 90-95
41. Anonymous, PlusICE Thermal Energy Storage Design Guide, Eps Limited. 2001.
42. Kılıç, A., Öztürk, A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul. 1983.
43. Jensen, J., Sorensen, B., 1984, Fundamentals of Energy Storage. A Wiley- Interscience publication, John Wiley & Sons, Inc. 205-210
44. Uyarel Ay., Öz E., 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi, 76s. İstanbul.
45. Anonim, www.gençbilim.com , Erişim Tarihi: 15.04.2013
46. Anonim. İzober, 2007. www.izober.org , Erişim Tarihi: 30.06.2010
47. Anonim, 2011, www.belgeler.com Erişim Tarihi: 05.06.2011
48. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 20.02.2007. <http://www.eie.gov.tr/> Erişim Tarihi: 25.12.2009

49. Kırbaş, İ., 2006. “Havalı Güneş Kollektörünün Performansının deneysel olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
50. Karim, M.A., M.N.A., Hawlader, 2004. Development of solar air collectors for drying applications. Energy Convers. Manage.,
51. Dündar, R., 2008. Standart Düz Kollektörün Güneşli Su Isıtma Sistemleri ile Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sisteminin Verim ve Performansların Karabük ili Sartlarında Deneysel Olarak Karşılaştırılarak İncelenmesi Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 45s. Ankara.
52. Tatakoğlu, K.R., 1996. Vakumlu güneş kolektörlerinde verim tespiti ve incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 63s. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.
53. Anonim, 2010, www.belgeler.com , Erişim Tarihi: 06.04.2010
54. Lund, K.O., General Thermal Analysis of Serpentin-Flow Flat Plate Solar Collector Absorbers. Solar Energy ,42(2):133-142. 1989.
55. Duffie, W.L., Beckman, W.A. Solar Energy Thermal Process.A Wiley-Interscience Publications,John Wiley & Sons, Inc, 386s. 1980.
56. Sharma, S.P., Saini, J.S., Varma,H.K. Thermal Performance of Packet-Bed Solar Air Heaters. Solar Energy, 47(2):59-67, 1991.
57. Bejan, A., The Thermodynamic Dising of Heat and Mass Transfer Processes and Devices. International Journal of Heat a.d Fluid Flow, 8(4):258-276, 1987.
58. Anonim,www.mgm.gov.tr, erişim tarihi:05.08.2013
59. TTMD Dergisi, Yayın No:42, Ek:19
60. Duffie, J.A., Beckman, W.A., “Solar Engineering of Thermal Proseses”, J.Willey and sons, N.Y., 1991
61. Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C., Daily insolation on surfaces tilted towards the equator, Ashrae Journal, 3, 53-59, 1961.
62. Hsiesh, J.S., Solar energy engineering. Prentice-Hall, Inc., 1986.
63. Iqbal, M., An introduction to solar radiation. Canada: Academic Press, 1983.
64. Durmaz, A.F., Eğik yüzeylere gelen güneş ışınımının analizi ve cam yüzeylerden geçen güneş ışınımının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 2007.
65. Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C., The interrelationship and characteristic distrubition of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 4, 3, 1, 1960.

66. Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C., The long-term average performance of flat-plate solar energy collectors, *Solar Energy*, 7, 53, 1963.
67. Notton, G., Poggi, P. and Cristofari, C., Predicting hourly solar irradiations on inclined surfaces based on the horizontal measurements: Performances of the association of well known mathematical models, *Energy Conversion and Management*, 47, 1816-1829, 2006.
68. Wong, L.T. and Chow, W.K., Solar radiation model, *Applied Energy*, 69, 191–224, 2001.
69. Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yılmaz, T., Bazı iller için güneş ışınımı, güneşlenme Süresi ve berraklık indeksinin yeni ölçümler ışığında analizi, *Güneş Günü Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 22-29, 1999.
70. Notton, G., Cristofari, C., Muselli, M. and Poggi, P., Calculation on an hourly basis of solar diffuse irradiations from global data for horizontal surfaces in Ajaccio, *Energy Conversion and Management*, 45, 2849–2866, 2004.
71. Dinçer, İ., Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus, *Renewable Energy*, 6, 7, 813-819, 1995.
72. Nijmeh, S. and Mamlook, R., Testing of two models for computing global solar radiation on tilted surfaces, *Renewable Energy*, 20, 75-81, 2000.
73. Altıntop, N. Güneş enerjisinin depolanması ve ısıl analizi, 2006
74. Kar, A.K., Shaahid, M. Optimum Exergy Efficiencies of Solar Collectors. *Int. Journal Of Energy Research*, 13:405-409, 1989.
75. Dayıoğlu, M.A., Ültanır, M.Ö. Termodinamiğin İkinci Yasasının Güneş Kolektörlerine Uygulanması. IV. Türk Alman Enerji Sempozyumu “güneş Enerjisi ve Çevre Bildirileri: 115-127, İzmir, 2-4 Mayıs 1991.
76. Gökgöz, E., Modifiye Michel-Trombe Duvarı Uygulamasında Çift Amaçlı (Konut ısıtma + Sıcak Su Üretimi) Yeni bir Sistemin Teorik ve Deneysel İncelemesi Doktora Tezi, İzmir, 1990.
77. Öztürk, H.H., Sera ısıtma için güneş enerjisinin faz değiştiren Materyale Depolanması Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Adana, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

Adı : Abdurrahman

Soyadı : Oral

Doğum yeri, yılı: Diyarbakır, 1970

İlk ve orta öğrenimimi Diyarbakır'da tamamladım. 1996 yılında Hacettepe Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldum. 2000 yılında Dicle Üniversitesi Bismil MYO'da Okutman olarak göreve başladım ve halen bu görevime devam etmekteyim. 2012 yılından beri Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine devam etmekteyim.

İletişim bilgileri:

Kıtlıbil Mah. Üniversite lojmanları

D:7 No:3 Kampüs / Diyarbakır

Tel: 05325890066

e-posta: aoral21@hotmail.com.