

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI BİRLEŞİK ISITMA SİSTEMİNDE GİZLİ ISI  
DEPOSUNUN EKSERJİ ANALİZİ**

**DEVİRİM AYDIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. OLCAY KINCAY**

**İSTANBUL, 2013**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLI BİRLEŞİK ISITMA SİSTEMİNDE GİZLİ ISI  
DEPOSUNUN EKSERJİ ANALİZİ**

Devrim AYDIN tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Olcay KINCAY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Doç. Dr. Zafer Utlu  
İstanbul Aydın Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Olcay Kıncay  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Handan Çubuk  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. İnci Salt  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 27-06-01-03 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışmamın gerçekleşmesinde bu güne kadar bana hep destek olan, yönlendiren ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli hocalarım Prof. Dr. Olcay Kıncay ve Doç. Dr. Zafer Utlu'ya ayrıca çok sevdiğim aileme teşekkür ederim.

Haziran, 2013

Devrim AYDIN

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xv
ÖZET .....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti .....	3
1.1.1 BİRLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ (BYES) .....	3
1.1.1.1 İkili BYES'leri .....	4
GE Destekli YTKIP Kullanılan BYES'leri .....	4
GE Destekli Dikey Tip TKIP Kullanılan BYES'leri .....	6
GE Destekli Hava, Su, Kaynaklı IP Kullanan BYES'leri.....	7
GE ve ID Kullanılan BYES'leri .....	7
1.1.1.2 Üçlü BYES'leri .....	10
1.1.2 Duvardan Isıtma Soğutma Sistemleri (DISS) .....	13
1.2 Tezin Amacı .....	14
1.3 Hipotez .....	16
BÖLÜM 2	
GENEL BİLGİLER.....	17
2.1 Güneş Enerjisi (GE).....	17
2.1.1 Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.....	18
2.1.2 Güneş Açılırları .....	18
2.1.2.1 Esas Güneş Açılırları .....	19
2.1.2.2 Türetilen Güneş Açılırları.....	20

2.1.3	Güneş Enerjisinden Faydalanılan Teknolojiler .....	22
2.1.3.1	Düşük Sıcaklık Uygulamaları .....	22
2.1.3.2	Orta Sıcaklık Uygulamaları .....	22
2.1.3.3	Yüksek Sıcaklık Uygulamaları .....	23
2.1.4	Güneş Enerjisiyle Isıtma .....	23
2.1.4.1	Güneş Kollektörleri.....	23
	Düz Plakalı Kollektörler .....	24
2.2	Isı Pompaları (IP) .....	25
2.2.1	İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi.....	27
2.2.1.1	İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi Çalışma Prensibi.....	28
2.2.2	Gerçek Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi .....	29
2.2.2.1	Gerçek Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi Çalışma Prensibi .....	29
2.2.3	Isı Pompasının Verim İfadesi.....	30
2.3	Isı Depolama Yöntemleri.....	32
2.3.1	Enerji Depolama Sistemleri.....	32
2.3.1.1	Mekanik Enerji Depolama .....	32
2.3.1.2	Elektrik Enerjisi Depolama .....	32
2.3.1.3	Isıl Enerji Depolama (IED).....	33
2.3.2	Isıl Enerji Depolama Yöntemleri .....	33
2.3.3	Gizli Isı Depolama (GID) .....	34
2.3.3.1	Faz Değiştiren Malzemelerin (FDM) Sınıflandırılması .....	35
2.3.3.2	FDM Seçim Kriterleri .....	36

### BÖLÜM 3

HİBRİD ENERJİLİ ISITMA UYGULAMALARI.....	39
3.1 Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemleri .....	42
3.1.1 Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Sistemlerinde Gizli Isı Depolama Uygulamaları .....	42
3.1.2 Yeşil Binalar ve Isı Depolama Sistemleri Uygulamaları.....	43

### BÖLÜM 4

TERMODİNAMİK ANALİZ.....	45
4.1 Termodinamik Analiz Yöntemleri .....	45
4.2 Kütlenin Korunumu İlkesi.....	46
4.3 Termodinamiğin I. Yasası .....	47
4.3.1 Sürekli Akışlı Açık Sistemler .....	47
4.3.2 Kütle İle Enerji Aktarımı .....	48
4.3.3 Sürekli Akışlı Açık Sistemde Enerji Dengesi.....	48
4.3.4 Termodinamik Sistemlerin 1. Yasa Verimi .....	49
4.4 Termodinamik Sistemlerin 2. Yasa Analizi .....	49
4.4.1 Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimi .....	50
4.4.2 Tersinmezlik .....	50
4.4.3 Entropi.....	51
4.4.4 Ekserji Türleri ve Ekserji İfadeleri.....	54
4.4.5 Yakıt-Ürün Prensibi ve II. Yasa Verimi.....	55

4.4.6	Ekserji Kaybı ve Yıkımı .....	56
<b>BÖLÜM 5</b>		
<b>SİSTEMİN ANALİZİ .....</b>		
		<b>57</b>
5.1	Sistemin Tanıtılması .....	57
5.1.1	Sistem Kontrolü ve Veri Toplama Düzenegi .....	61
5.1.2	Sistem Elemanları .....	63
5.1.2.1	Güneş Kollektörleri.....	63
5.1.2.2	Gizli Isı Deposu (GID).....	65
5.1.2.3	Isı Pompası (IP) .....	67
5.1.2.4	Akümülatör Tankı.....	68
5.1.2.5	Duvardan Isıtma-Soğutma Sistemi (DISS) .....	69
5.2	Yöntem.....	71
5.2.1	Kullanılan Programlar .....	71
5.2.1.1	Telecontrol Programı .....	71
5.2.1.2	Dali Programı.....	72
5.2.1.3	Microsoft Excel.....	73
5.2.2	Yapılan Kabuller .....	74
5.2.3	Parametreler .....	75
5.2.3.1	Sabitler .....	75
5.2.3.2	Değişkenler.....	76
5.3	Isıtma Süreci Analizi .....	76
5.3.1	GID Şarj Çevrimi Analizi.....	77
5.3.1.1	Güneş Kollektörleri Analizi .....	77
	Kütle Dengesi .....	77
	Enerji Dengesi .....	78
	Ekserji Dengesi .....	78
	I. Yasa Verimi.....	79
	II. Yasa Verimi.....	80
5.3.1.2	GID Şarj Analizi .....	80
	Kütle Dengesi .....	81
	Enerji Dengesi .....	81
	Ekserji Dengesi .....	81
	I. Yasa verimi .....	83
	II. Yasa Verimi.....	83
5.3.2	GID Deşarj Çevrimi Analizi .....	84
5.3.2.1	GID Deşarj Analizi .....	85
	Kütle Dengesi .....	85
	Enerji Dengesi .....	85
	Ekserji Dengesi .....	86
	I. Yasa verimi .....	87
	II. Yasa Verimi.....	87
5.3.2.2	Isı Pompası .....	88
	Kütle Dengesi .....	88
	Enerji Dengesi .....	89
	Ekserji Dengesi .....	89

I. Yasa Verimi.....	89
II. Yasa Verimi.....	90
5.3.2.3 DISS-Akümülatör Tankı Devresi .....	90
Kütle Dengesi .....	91
Enerji Dengesi .....	91
Ekserji Dengesi .....	91
I. Yasa Verimi.....	91
II. Yasa Verimi.....	92
BÖLÜM 6	
ANALİZ SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME .....	93
6.1 Gizli Isı Deposunun Kullanılabilirliğinin İncelenmesi.....	93
6.1.1 İhtiyaç Fazlası Depolanacak Enerji Miktarının Belirlenmesi .....	97
6.1.2 Sonuç.....	97
6.2 Isıtma Sistemi Enerjetik ve Ekserjetik Analizi.....	98
6.2.1 Şarj Süreci Analizi .....	98
6.2.1.1 Güneş Kollektörleri Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri .....	98
6.2.1.2 GID Sistemi Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri.....	105
6.2.2 Deşarj Süreci Analizi.....	109
6.2.2.1 GID Sistemi Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri.....	110
6.2.2.2 Isı Pompası Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri .....	115
6.2.2.3 Akümülatör Tankı-DISS Devresi Enerji-Ekserji Analizi ve Verimler.....	120
6.2.3 Gizli Isı Deposu Genel Verimi .....	125
6.2.4 Kontrol Hacimlerinin Karşılaştırması.....	127
BÖLÜM 7	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	129
KAYNAKLAR .....	131
ÖZGEÇMİŞ .....	138

## SİMGE LİSTESİ

---

A	Alan [m <sup>2</sup> ], azimut açısı [°]
A <sub>koll</sub>	Toplam kollektör yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
a	Dönüşüm derecesi
C <sub>p</sub>	Özgül ısı [kJ/kgK]
COP	Performans katsayısı
Ç <sub>süresi</sub>	Çalışma süresi [h, dak]
Ç <sub>sayısı</sub>	Çalışma sayısı
d	Differansiyel operatörü
E	Enerji [kJ]
Ė	Enerji [kW]
Ex	Ekserji [kJ]
Ėx	Ekserji [kW]
F <sub>R</sub>	Güneş kollektörü eşanjör ısı verimi katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi [m/s <sup>2</sup> ]
h	Birim kütle özgül entalpisi [kJ/kg]
I	Birinci yasa
II	İkinci yasa
h <sub>t</sub>	Birim kütle reaksiyon endotermik ısı [kJ/kg]
I	Tersinmezlik [kW], Işınım şiddeti [W/m <sup>2</sup> ]
m	Kütle [kg]
ṁ	Kütlesel debi [kg/s]
n	Net
n <sub>koll</sub>	Güneş kollektörü adedi
P	Basınç [kPa, bar]
Q	Isı enerjisi [kJ]
Q̇	Isı akısı [kW]
S	Entropi [kJ/K]
s	Birim kütle için entropi [kJ/kgK], Panel eğim açısı [°]
T, t	Sıcaklık [°C, K]
T <sub>i</sub>	Güneş kollektörüne giren suyun sıcaklığı [°C]
T <sub>0</sub>	Dış hava sıcaklığı [°C]
τα	Kollektör ortalama geçirme-yutma katsayısı
U <sub>L</sub>	Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı [W/m <sup>2</sup> K]

u	Birim kütle için iç enerji [kJ/kg]
V	Hacim [m <sup>3</sup> ]
v	Hız [m/s]
$\dot{W}$	Güç [kW]
W	İş [kJ]
z	Yükseklik [m]

## **ALT İNDİSLER**

a	Aktarılan
b	Biriken
ch	Kimyasal
ç	Çıkan
d	Depolanan
f	Son
FDM	Faz değiştiren madde
g	Giren
GID	Gizli ısı deposu
ITA	Isı transfer akışkanı
i	İlk, kollektör yüzey
k	Kompresör, kayıp, kazanç
KH	Kontrol hacmi
ke	Kinetik
koll	Kollektör
lp	Sıvı faz
m	Ergime
N	Net, nötrleşme
0	Çevre, referans
P <sub>1</sub>	Pompa 1
P <sub>2</sub>	Pompa 2
P <sub>3</sub>	Pompa 3
pe	Potansiyel
ph	Fiziksel
R	Reaksiyon
s	Sistem, sağlanan, soğurulan
sp	Katı faz
s-01	1 numaralı akım
s-02	2 numaralı akım
s-03	3 numaralı akım
s-04	4 numaralı akım
ort	Ortalama
t, T	Toplam
tr	Tersinir
u	Kazanç
ü	Üretim, ürün

$\gamma$  Yararlı, yakıt, yıkım (yok olan)

## **YUNAN HARFLERİ**

$\eta$  Verim [%]  
 $\nu$  Özgül hacim [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]  
 $\phi$  Kapalı bir sistemde birim kütlenin ekserjisindeki değişim [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ]  
 $\psi$  Açık bir sistemde birim kütlenin ekserjisindeki değişim [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ]  
 $\rho$  Yoğunluk [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

## KISALTMA LİSTESİ

---

COP	Etkinlik katsayısı
DIS	Duyulur ısı deposu
DISS	Duvardan ısıtma soğutma sistemi
DTKIP	Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası
FDM	Faz değiştiren malzeme
GE	Güneş enerjisi
GID	Gizli ısı deposu
HKIP	Hava kaynaklı ısı pompası
IED	Isıl enerji deposu
IEDS	Isıl enerji depolama sistemi
IDS	Isı depolama sistemi
ITA	Isı transfer akışkanı
IP	Isı pompası
IPS	Isı pompası sistemi
KE	Kinetik enerji
MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
ORT	Ortalama
PE	Potansiyel enerji
RE	Rüzgar enerjisi
TKIP	Toprak kaynaklı ısı pompası
YTKIP	Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası
YYEE	Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Gökküre ve açılar .....	19
Şekil 2.2	Aylık ortalama deklinasyon açıları .....	20
Şekil 2.3	Türetilen güneş açıları.....	21
Şekil 2.4	Güneş enerjili su ısıtma sistemi .....	23
Şekil 2.5	Isı pompası ve soğutma makinesi çalışma prensibi .....	27
Şekil 2.6	İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi ve T-s diyagramı.....	28
Şekil 2.7	Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi ve T-s diyagramı .....	29
Şekil 2.8	Isı depolama yöntemlerinin sınıflandırması .....	35
Şekil 2.9	FDM'lerin sınıflandırması .....	35
Şekil 3.1	Doğal dolaşımli GE sistemleri .....	40
Şekil 3.2	Zorlamalı dolaşımli GE sistemleri .....	41
Şekil 3.3	Sektörel bazda enerji tüketim payları.....	43
Şekil 3.4	Binalarda ortalama enerji tüketim ve enerji kaybı payları .....	44
Şekil 5.1	Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi (YYEE) .....	58
Şekil 5.2	Odaların isimlendirilmesi .....	59
Şekil 5.3	Sistem şeması.....	60
Şekil 5.4	Sistem kontrol komutları .....	61
Şekil 5.5	Sistem kontrol şeması.....	62
Şekil 5.6	Sistemde yer alan güneş kollektörleri.....	65
Şekil 5.7	Kollektör-GID devre şeması .....	65
Şekil 5.8	GID'su teknik çizimi.....	66
Şekil 5.9	GID izolasyonsuz görünümüli .....	66
Şekil 5.10	Sistemde kullanılan GID izolasyonlu görüntüsü .....	67
Şekil 5.11	Sistemde kullanılan HELIOTERM marka IP'na ait görünüm.....	68
Şekil 5.12	Sistemde kullanılan akümülatör tankına ait görünüm .....	68
Şekil 5.13	Sistemde kullanılan DISS panellerinin görünümü.....	69
Şekil 5.14	Helioterm Telecontrol programı arayüzü .....	72
Şekil 5.15	Dali veri toplama programı arayüzü .....	72
Şekil 5.17	Güneş kollektörü analizi-Microsoft Excel arayüzü .....	74
Şekil 5.18	GID deşarj süreci analizi- Microsoft Excel arayüzü .....	74
Şekil 5.19	GID şarj devresi.....	77
Şekil 5.20	Güneş kollektörü çalışma şeması .....	78
Şekil 5.21	GID şarj periyodu çalışma şeması .....	81

Şekil 5.22	GID deşarj çevrim şeması .....	84
Şekil 5.23	GID deşarj periyodu çalışma şeması .....	85
Şekil 5.24	IP çevrim şeması .....	88
Şekil 5.25	Akümülatör tankı-DISS devresi .....	90
Şekil 6.1	Ekim (2012) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği .....	94
Şekil 6.2	Kasım (2012) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği .....	94
Şekil 6.3	Aralık (2012) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği .....	95
Şekil 6.4	Ocak (2013) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği .....	95
Şekil 6.5	Şubat (2013) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği .....	96
Şekil 6.6	Mart (2013) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği .....	96
Şekil 6.7	Aylara göre gün içerisinde elde edilen ihtiyaç fazlası depolanabilecek enerji miktarı.....	97
Şekil 6.8	GID-kollektör devresinin günlük toplam çalışma süreleri.....	100
Şekil 6.9	Işınım şiddetine bağlı kollektör yüzeylerine gelen toplam enerji ve kollektörden enerji eldesinin günlük değişim.....	100
Şekil 6.10	Güneş kollektörlerine ait ekserji değerlerinin günlere göre değişimi .....	102
Şekil 6.11	Güneş kollektörleri toplam ve net enerji veriminin günlere göre değişimi	104
Şekil 6.12	Güneş kollektörleri toplam ve net enerji veriminin günlere göre değişimi	104
Şekil 6.13	GID'na giren enerji miktarı ve dağılımı .....	106
Şekil 6.14	GID'ndaki ekserji dağılımının günlere göre değişimi .....	107
Şekil 6.15	GID toplam ve net enerji veriminin günlere göre değişimi .....	109
Şekil 6.16	GID toplam ve net ekserji veriminin günlere göre değişimi .....	109
Şekil 6.17	GID'ndan soğrulan enerji ve ısı kaybı miktarının günlük değişimi .....	111
Şekil 6.18	Deşarj sürelerinin günlük değişimi.....	111
Şekil 6.19	Dış ortam sıcaklıklarının günlük değişimi.....	112
Şekil 6.20	GID'nun deşarj sürecinde ekserji dağılımlarının günlük değişimleri .....	113
Şekil 6.21	GID deşarj periyodu toplam ve net enerji verimlerinin günlere göre değişimi .....	115
Şekil 6.22	Deşarj periyodu toplam ve net ekserji verimlerinin günlere göre değişimi.....	115
Şekil 6.23	Isı pompasında enerji dağılımlarının günlere göre değişimi.....	117
Şekil 6.24	Isı pompası ekserji dağılımlarının günlük değişimi .....	118
Şekil 6.25	IP verimlerinin günlere göre değişimi.....	120
Şekil 6.26	Isı pompası COP değerlerinin günlere göre değişimi.....	120
Şekil 6.27	Akümülatör tankı-DISS devresi enerji dağılımlarının günlük değişimleri ..	122
Şekil 6.28	Akümülatör-DISS devresi ekserji dağılımlarının günlere göre değişimi.....	123
Şekil 6.29	Akümülatör-DISS devresi verimleri.....	125
Şekil 6.30	GID genel enerji verimlerinin günlere göre değişimi .....	126
Şekil 6.31	GID genel ekserji verimlerinin günlere göre değişimi .....	126
Şekil 6.32	Kontrol hacimlerine ait ısı kaybı, ekserji kaybı ve ekserji yıkımları .....	128
Şekil 6.33	Kontrol hacimlerine ait enerji ve ekserji verimleri .....	128

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2.1 FDM'lerden beklenen özellikler .....	36
Çizelge 2.2 Bazı FDM'lerin ergime sıcaklık aralıkları ve faz değişim entalpileri .....	37
Çizelge 4.1 Enerji ve ekserji terimlerinin karşılaştırması.....	46
Çizelge 5.1 Kollektör fiziksel özellikleri .....	64
Çizelge 5.2 IP cihazı katalog verileri .....	67
Çizelge 5.3 DISS panellerine ait boru uzunlukları .....	70
Çizelge 5.4 Devrelerde dolaşan su debileri .....	75
Çizelge 5.5 Sistemde ölçülen sıcaklıklar .....	76
Çizelge 6.1 Güneş kollektörü I. yasa analizi sonuçları .....	99
Çizelge 6.2 Güneş kollektörü II. yasa analizi sonuçları .....	101
Çizelge 6.3 Güneş kollektörlerinin günlere göre toplam ve net verimleri .....	103
Çizelge 6.4 GID'na ait enerji dağılımları .....	105
Çizelge 6.5 GID'ndaki ekserji dağılımları .....	107
Çizelge 6.6 GID şarj sürecindeki toplam ve net verimler .....	108
Çizelge 6.7 GID deşarj sürecine ait enerji dağılımları ve çalışma süreleri.....	110
Çizelge 6.8 GID deşarj sürecinde ekserji dağılımları .....	113
Çizelge 6.9 GID deşarj periyoduna ait verimler .....	114
Çizelge 6.10 IP enerji dağılımları ve kompresör işi .....	116
Çizelge 6.11 IP ekserji dağılımları.....	117
Çizelge 6.12 Isı pompası verim ve COP değerleri.....	119
Çizelge 6.13 Akümülatör tankı - DISS devresi enerji dağılımları .....	121
Çizelge 6.14 Akümülatör-DISS devresinde ekserji dağılımları .....	122
Çizelge 6.15 Akümülatör- DISS devresi verimleri.....	124
Çizelge 6.16 GID genel verimleri .....	125
Çizelge 6.17 Kontrol hacimleri karşılaştırması .....	127

---

## YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNALI BİRLEŞİK ISITMA SİSTEMİNDE GİZLİ ISI DEPOSUNUN EKSERJİ ANALİZİ

Devrim AYDIN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Olcay KINCAV

Eş Danışman: Doç. Dr. Zafer Utlu

Son yıllarda özellikle kış döneminde ısıtma amaçlı enerji tüketimindeki artış dikkat çekmektedir. Enerji talebinin ve buna bağlı ekonomik dışa bağımlılığın hızla arttığı buna karşılık enerji arzının ise gün geçtikçe azaldığı günümüzde özellikle güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından en verimli şekilde faydalanmak bir zorunluluk durumuna gelmiştir.

Bu amaçla yapılan çalışmada YTÜ-BAPK'nce desteklenen YTÜ'si Davutpaşa Yerleşkesinde kurulmuş Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi Isıtma sistemi incelenmiştir. Çalışmada ısıtma amaçlı tasarlanmış olan birleşik yenilenebilir enerji kaynaklı-gizli ısı depolamalı ısıtma sisteminin enerji ve ekserji analizleri yapılarak performansları incelenmiştir. Ayrıca gizli ısı deposunun ısıtma sistemlerindeki kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ısı kayıplarının 1,83 kW ile ısı pompasında, ekserji kayıp ve yıkımlarının ise 0,28 kW ve 1,15 kW ile sırasıyla Akümülatör tankı -DISS devresi ve güneş kolektörlerinde en yüksek değerde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bahsedilen elemanlarda gerçekleşen enerji, ekserji kayıp ve yıkımları sistemin iyileştirilmeye açık konularıdır.

Bu elemanların birlikte kullanımı sistemin konvansiyonel sistemlere göre düşük çalışma süreleri ile mahalin enerji ihtiyacını karşılayabilmesini sağlamaktadır. Bu da ısı pompası kompresöründe ve sistemde yer alan pompalardaki enerji tüketim maliyetlerini düşürmektedir. Bunun yanında güneş ışınımı olduğu zaman dilimlerinde, güneş

enerjisini depolayarak güneş ışınımı olmayan zamanlarda kullanmayı mümkün kılmaktadır.

Enerji sistemlerinin verimlerini arttırmak için yapılan çalışmalar bu kaynaklardan faydalanabilmek için her ne kadar önem arzetsede enerjiyi depolamak ve istenilen zaman kullanabilmek ülkemize hem ekonomik anlamda hem de enerji arz–talep dengesinin korunması anlamında büyük katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları ile ısı depolama sistemlerinin birlikte kullanıldığı hibrit teknolojiler üzerinde çalışılmaya ve geliştirmeye açık ve değer konular olarak görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** birleşik ısıtma sistemi, yenilenebilir enerji, ısı pompası, enerji, ekserji, gizli ısı depolama, güneş kolektörleri

**EXERGY ANALYSIS OF LATENT HEAT STORAGE IN A RENEWABLE ENERGY SOURCED COMBINE HEATING SYSTEM**

Devrim AYDIN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Olcay Kincay

Co-Adviser: Assoc. Prof. Dr. Zafer Utlu

In recent years, especially in winter, the increase in energy consumption for heating demands have been attracting attention. Nowadays, although the energy supply have been decreasing, energy demands and depends on this, economical external dependence have been increase rapidly. This condition make usage of renewable energy sources, such as solar energy and wind energy, in an efficient way a necessity for a sustainable future.

In this study, which is supported by YTU-BAPK, heating system of Yildiz Renewable Energy Building located at Yildiz Technical University Davutpaşa Campus was investigated. Energy and exergy analysis of designed hybrid renewable energy sourced heating system were performed. Also utility of latent heat storage used in heating system was investigated. Results of the study show that the highest heat loses are 1,83 kW and takes place in heat pump. On the other hand the highest exergy lose and destructions are 0,28 and 1,15 kW takes place in Buffer tank-wall heating and cooling Panel cycle and Solar collectors respectively. These loses and destructions in this components are the improvable ways of this system.

Usage of this system components together allow the system to supply building heating demands with short working periods contrarily to convensional systems. This

decreases the energy consumption of heat pump's compressor and the other pump's working on this system. In addition to this by storing excess solar energy during day time allow using it while there is not any solar radiaton.

Studies in the way of increasing efficiency of energy systems are important for improving utility of this sources. However storing energy and using it in the time while energy demand increases, will countibute our country both economically and provide demand-supply balance. Concordantly heat storage systems seems worth for research and develop studies for increasing their efficiencies.

**Keywords:** Hybrid system, renewable energy, heat pump, energy, exergy, latent heat storage, solar collectors

## BÖLÜM 1

---

### GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfusla ve makineleşme ile birlikte enerji talebi her geçen gün artmakta, buna karşın var olan enerji kaynakları azalma eğilimi göstermektedir. Var olan fosil enerji kaynaklarının son yıllarda belirgin bir azalma göstermesi ülkelerin ekonomisini önemli derecede etkilemekte, dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Enerji konusunda ortaya çıkan bu dışa bağımlılık küresel ekonomik güç dengesini de önemli derecede etkilemektedir. Bunun yanında fosil yakıtların artan endüstrileşme ile birlikte kullanımındaki önemli ölçüdeki artışın hem insan sağlığı, hem de dünyamızın geleceği açısından olumsuz sonuçlar teşkil ettiği aşikardır. Hava kirliliği kaynaklı hastalıklardaki artış ve küresel ısınma, araştırmacıları yeni, sürdürülebilir enerji kaynak arayışına yöneltmiştir. Bu bağlamda son 20 yılda özellikle güneş ve rüzgar enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliğini arttırma yönündeki çalışmalar hızlanmıştır. Fosil yakıtların ömrünün azalması, yeni enerji kaynaklarından faydalanılacak teknolojilerin planlı bir şekilde geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde özellikle güneş enerjisi bol olmasına rağmen güneş enerjisinden faydalanma yönünde yapılan çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Gelişmekte olan ülkemizde enerji talebinin önümüzdeki yıllarda şimdiye göre önemli artışlar göstereceği ortadadır. Bu ihtiyaca, çevreye verilen zararı en aza indirmek ve hali hazırda var olan önemli miktardaki dışa bağımlılığı azaltmak adına, kendi öz kaynaklarımızdan faydalanarak cevap vermek gerekmektedir. Gelecek nesillere hem ekonomik hem de çevresel anlamda iyi bir yaşam bırakmak için doğal kaynaklarımızdan en verimli şekilde faydalanmamız olumlu bir adım olacaktır.

Türkiye her ne kadar doğal enerji kaynakları bakımından zengin olsa da bu potansiyeli henüz çok sınırlı miktarda kullanabilmektedir. Bunun sonucu olarak da enerji talebinin büyük bir bölümü ithal edilmektedir. 2002 yılında genel enerji talebi 79 MTEP olurken 2010 yılında bu rakam 109,29 MTEP seviyesine çıkmıştır. %38 gibi önemli miktardaki enerji talebindeki bu artış doğal kaynaklara yönelimin aciliyetini açıkça göstermektedir.

2010 yılındaki bu enerji talebine karşın yerli enerji üretimi 32,49 MTEP seviyesinde kalmış 76,77 MTEP ithal edilmiştir. Yani yerli üretimin enerji talebini karşılama oranı %29,7 seviyesinde kalmıştır. 2010 yılında enerji ithalatı için harcanan para 54,1 milyar dolardır. Bu rakam Türkiye'nin toplam ithalata harcadığı paranın %22'sini oluşturmaktadır [1, 2].

Enerji kaynaklarının azalmasına bağlı arz talep dengesindeki bozulma ile enerji fiyatları artış göstermiştir. Bununla birlikte enerji ithalatına harcanan para artış göstermektedir. Ayrıca enerji ithalatının gerçekleştirildiği ülkeler ile yaşanan sorunlar enerji temininin bu kadar önemli olduğu ülkemizde sorunlar yaratmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak yatırımlar kısa vadede önemli sonuçlar vermese de uzun vadede ülkemizin dışa bağımlılığını azaltacak, enerji fiyatlarının düşmesi ile endüstriyel girişimlerin artmasını ve buna bağlı olarak üretim hızlarının artmasını sağlayacaktır. Ülkemizin küresel ekonomide iyi bir yer edinmesi için bu kaynakların kullanımı kadar enerji verimliliği ve enerjinin depolanması konusunda önem arz etmektedir.

Bu çalışmada güneş kolektörleri, ısı pompası ve gizli ısı depolama sistemi kullanılan üçlü birleşik yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma sistemi incelenmiştir. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi'nde kurulan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'ndeki (YYEE) hibrid sistemde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda sistemden elde edilen verilere göre sistem elemanlarının kütle enerji ve ekserji denklikleri oluşturulmuş, verim ifadeleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre gizli ısı depolama sisteminin sistem performansına etkisi incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

## 1.1 Literatür Özeti

### 1.1.1 BİRLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ (BYES)

Mahal iklimlendirmesinde çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak, fosil yakıt tüketimini azaltmak aynı zamanda bu kaynaklardan maksimum derecede faydalanabilmek açısından önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı sistemlere entegre şekilde kullanılan ısı depoları ise özellikle güneş gibi döngülü enerji kaynaklarından daha uzun süre faydalanmayı mümkün kılmaktadır.

Genel bir literatür değerlendirilmesi yapıldığında; ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik olarak, farklı türdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının (Güneş-Toprak, Güneş-Rüzgar, Güneş-Isıl Depolama gibi) birlikte kullanıldığı ikili BYES'lerine ait birçok çalışma mevcuttur. Bu kaynakların tümünün optimum oranda kullanılarak tüm enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik tek bir BYES kurulumuna yönelik çalışmalara adım adım yaklaşılmaktadır.

BYES'inin gelişimini aşağıdaki alt başlıklar altında incelemek mümkündür;

#### a. İkili BYES'leri

- Güneş enerjisi (GE) destekli yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası (YTKIP) kullanılan BYES'leri
- GE destekli dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası (DTKIP) kullanılan BYES'leri
- GE destekli jeotermal kaynaklı ısı pompası (JKIP) kullanılan BYES'leri
- GE ve rüzgar enerjisi (RE) kullanan BYES'leri
- GE ve ısı enerji depolama sistemi (IEDS) kullanan BYES'leri

#### b. Üçlü BYES'leri

#### c. Dörtlü BYES'leri

### 1.1.1.1 İkili BYES'leri

#### GE Destekli YTKIP Kullanılan BYES'leri

IP ile ilgili genel bir literatür değerlendirilmesi yapıldığında; Kılış (1999) teorik olarak RE ve hibrid IP sistemiyle hacim ısıtması soğutması ve iklimlendirilmesini [3], Utlu (1999) İzmir koşullarında GE destekli IP ile hacim ısıtma modellemesini [4], Chiasson ve ark. (2000) TKIP'lerinin sonlu elemanlar metodu kullanarak tasarımı ve simülasyonunu yapmışlardır [5].

Hepbaşlı ve Okdemir (2004) TKIP'nin enerji ve ekserji analizini yaptıkları deneysel çalışmada IP sisteminin birinci ve ikinci kanun verimlerinin sırasıyla 0,029 ve 0,038 olduğunu belirlemişlerdir. Kompresörde ve kondenserde meydana gelen tersinmezlik mitarının ise sırasıyla 0,165 kW ve 0,280 kW olduğunu analiz etmişlerdir [6].

Kaygusuz (1999, 2000) tarafından Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde evsel ısıtma için enerji depolama ile GE destekli IP'nin yeterliliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 75 m<sup>2</sup>'lik bir laboratuvar, 30 m<sup>2</sup> güneş toplayıcısı, hava ve su kaynaklı iki evaporatör ve bir kondenserli IPS ısıtma sezonu için incelenmiştir [7].

Hancıoğlu (2001), Ersöz (2000) yaptıkları benzer çalışmalar ile ısıtma sezonu için güneş toplayıcısı etkisini, IP ve sistem COP değerlerini, depolama etkisi ile sistemin toplam enerji tüketimini hesaplamışlardır. Ayrıca ekserji verimleri ve depolama etkisi de incelenmiştir [8].

Huang ve ark. (1999, 2001), Rankine çevrimi esasına dayalı olarak kurdukları sistemde, R-134 soğutucu akışkan kullanarak sıcak su elde etmişlerdir. Bu çalışmada, COP 2,5-3,7 arasında bulunmuştur [9].

Kuang ve ark. (2003) geliştirdikleri GE destekli IPS ile sıcak su hazırlama sistemi kurmuşlar ve düzlemsel güneş toplayıcısını, evaporatör olarak çalıştırmışlardır. Bu sistemde toplayıcı verimi %40-60 iken, COP değeri 4-6 arasında değişmektedir [10].

Yumrutaş ve ark. (2004), GE destekli IPS'i ile mahal ısıtılmasını gerçekleştirmişler ve yerden ısıtma sistemi kullanmışlardır. Çeşitli iklim koşulları için GE'nin sistem COP'si üzerindeki etkisini incelemişlerdir [11].

Li ve ark. (2007) tarafından direkt genleşmeli GE destekli IP'lı su ısıtıcısının deneysel kurulumu yapılmış ve sistem analiz edilmiştir. Çalışmada mevsimsel olarak COP ve kollektör etkinliği 5,25 ve 1,08 olarak ölçülmüştür. Sistem elemanlarının üzerinde yapılan ekserji analizlerinde, en yüksek ekserji kaybının kollektörlerde gerçekleştiği hesaplanmıştır [12].

Lohani ve Schmidt (2010) mahal iklimlendirmesinde IP kullanımıyla konvansiyonel methodların kullanımını enerjetik ve ekserjetik açıdan karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda akış enerjisi ve ekserjisi açısından TKIP'nin hava kaynaklı ısı pompalarına (HKIP) ve deneysel çalışmada kullanılan kazan ile ısıtma yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [13].

Liang ve ark. (2011) güneş kollektörlerinin IPS'lerine katkısını incelemişlerdir. Araştırmacılar Çin'in Nanjing bölgesinde yaptıkları çalışmada IP'nin hava kaynaklı çalışmasını ve GE destekli çalışmasını simüle etmişlerdir. Çalışma sonucunda 40 m<sup>2</sup> güneş kollektörü kullanılan IPS ile güneş kollektörü kullanılmayan IPS'ne göre %11.2 lik bir enerji kazanç oranı elde edildiği belirlenmiştir [14].

Bi ve ark. (2009) TKIP'nin ısıtma ve soğutma amaçlı kullanımı için ekserji analizini yapmış ve bu iki çalışma durumu için karşılaştırmışlardır. Analiz sonucunda her iki çalışma modunda da en yüksek ekserji kaybının kompresörde en düşük ekserji veriminin ise toprak altı ısı değiştiricisinde gerçekleştiğini belirlemişlerdir [15].

IP'nin ısıtma-soğutma amaçları dışındaki kullanımına yönelik yapılan çalışmada Dghigh ve ark. (2010), IP'nin deniz ürünleri ve zirai ürünlerin kurultulmasında kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada bu türdeki uygulamalarda GE destekli IP'nin kullanılabilirliği incelenmiştir [16].

Arteconi ve ark. (2013) IP ve IDS kullanılan radyatörlü veya döşemeden ısıtma sistemlerinde enerji yönetimi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Sistemde kullanılan IED'nun, IP'nin enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir [17].

Bakırcı ve ark. (2011) Erzurum şartlarında GE destekli bir IPS'nin analizini, oluşturulan deney düzeneği ile Mayıs 2008 ile Mayıs 2009 arasında toplanan verilerden faydalanarak yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda belirtilen

çalışma süreci için IP ve tüm sistemin COP değerlerinin sırasıyla 3.0-3,4 ve 2,7-3,0 aralıklarında olduğunu belirlemişlerdir [18].

Dikici ve ark. (2007) GE destekli IPS'nin performans analizi ve enerji-ekserji denklikleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada düzlemsel güneş kolektörlerinden faydalanılan, GE destekli IPS'nin, evsel ısıtma amaçlı kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Ocak 2003'te toplanan verilere göre sistemin COP'si 3,08 olarak bulunmuştur. Güneş kolektörlerinde ekserji kaybı 1,92 kW olarak analiz edilirken, tüm sistemin birinci yasa verimi ve ekserji verimi %65,6 ve %30,8 olarak hesaplanmıştır [19].

### **GE Destekli DTKIP Kullanılan BYES'leri**

Akpınar ve ark. (2007) tarafından konut uygulamalarında GE destekli ve desteksiz iki TKIP sistemi için ekserji analizi yapılmış ve ekserji verimleri sırası ile 0,014 ve 0,038 olduğu tespit edilmiştir. Her iki sistemdeki yüksek olan tersinmezliklerin; elektrik, mekanik ve izantropik verimlerdeki düşümlere bağlı olduğu görülmüştür [20].

Özgener ve Hepbaşı (2005) Ege Üniversitesi, GE Enstitüsü bünyesinde yaptıkları çalışmada GE destekli DTKIP'nin performans analizini yapmışlardır. Çalışmada 50 metre uzunluğunda U tipinde yerleştirilen toprak ısı değiştiricisi ve güneş kolektörleri ile sera ısıtması yapılmıştır. Çalışma sonucunda sistem bileşenlerin ekserjetik verimleri ve gelişim potansiyelleri hesaplanmıştır. Isıtma sürecinde yapılan analizde IP ve tüm sistemin performans katsayısı sırasıyla 2,64 ve 2,38 olarak belirlenirken tüm sistemin ekserji verimi %67,7 olarak bulunmuştur [21].

Kıncay ve ark. (2003), Açıkgöz ve ark. (2008), İstanbul'da yaptıkları bir uygulama ile DTKIP'da ısıtma sezonu için COP'nin 2,5-3,2 arasında değiştiğini göstermişlerdir. Ayrıca bir villa için hesaplanan yüklerle göre de ısıtma ve soğutma amacı ile önce DTKIP sistemi sonra HKIP için tasarımlar yaparak TKIP sisteminin yıllık toplam maliyetinin %19 azaldığını belirlemişlerdir [22, 23].

Yang ve ark. (2006) ise, TKIP sisteminde toprağa gömülen serpantin boru çapları ve sisteminin çalışma süresi ile serpantin çevresindeki toprak sıcaklığının değişimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir [24].

## **GE Destekli Hava, Su, Kaynaklı IP Kullanan BYES'leri**

Badescu (2002) hacim ısıtılmasında, hava ısıtıcılı IP'yla %20-35'e varan enerji tasarrufu sağlamıştır [25]. Ayrıca Badescu (2003) ekolojik bir binanın, güneş radyasyonundan elde edilen enerji ile model ısıtılmasını planlamıştır. IP'nin elektrik enerjisi ihtiyacının da PV'lerle sağlanmasını inceleyerek tüm sistemin enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır [26-27]. Cervantes ve ark. (2002) ise içersinde R-22'nin dolaştığı 4,5 m<sup>2</sup>'lik düzlemsel güneş toplayıcısını evaporatör olarak kullanarak tüm sistemin ekserji analizini hesaplamıştır [28]. Hawlader ve ark. (2003) IP'lı ve GE'li sıcak su hazırlama sisteminin COP değerini simülasyona göre 7 ve deneysel ölçümlere göre ise 5 olarak bulmuşlardır [29].

Urchueguía ve ark. (2008) tarafından tipik Akdeniz iklimi bölgelerinde hava kaynaklı IP ile TKIP'nin enerji performanslarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada, TKIP sistemlerinin, soğutma ihtiyacının baskın olduğu karma iklimlerde kullanımının teknik ve ekonomik fizibilitesi değerlendirilmiştir. TKIP ve HKIP, ısıtma ve soğutma COP değerleri bakımından mukayese edilmiştir. Direkt olarak yapılan karşılaştırma, sistemlerin aynı ısıl yüklerle ve iklimik şartlara sahip bir binaya paralel bağlanması suretiyle gerçekleştirilmiştir [30].

Dikici ve ark. (2005) Bir HKIP sisteminin performans katsayısını, enerji ve ekserji analizini deneysel olarak incelemişlerdir. 2002 yılı aralık ayından 2003 şubat ayına kadarki ısıtma sezonu içerisinde yapılan bu çalışmada IP'ndaki en büyük ekserji kaybının 1,29 kW ile buharlaştırıcıda meydana geldiği, yoğuşturucu ve kompresördeki ekserji kaybının ise sırasıyla 0,23 ve 0,72 kW olduğu belirlenmiştir [ 31].

## **GE ve ID Kullanılan BYES'leri**

IDS sadece ısıl enerjideki arz–talep dengesini sağlamakla kalmayarak, bunun yanında güneş enerjisinden faydalanabilirliği arttırmakta, sistem verimlerini arttırmakta ve enerjinin korunumunu sağlamaktadır. IDS'leri özellikle GE'li sistemlerden faydalanma yolunda çok büyük önem taşımaktadır. Güneş kollektörlü ısıtma sistemlerine entegre edilmiş IDS'i düşük sıcaklıkta enerjiyi depolayarak ihtiyaç anında depolanan enerjinin

kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bu yolla yakıt tüketimi azalmakta ve enerji tüketim bedelleri en aza indirgenebilmektedir.

GE'den faydalanmaya yönelik son yüzyılda araştırmalar yoğunlaşmıştır. Araştırmacılar GE'den birçok alanda faydalanabilmek için yeni sistemler geliştirmektedirler. Bol ama dağınık oluşu, GE'den faydalanmayı güçleştirmektedir. Bu kaynaktan faydalanabilmek için geliştirilen sistemler gelen dağınık enerjiyi bir bölgede toplayarak yoğunlaştırma temeline dayanmaktadır. Bu noktada bu tür sistemlerin verimliliği ön plana çıkmakta, belli bir alana gelen güneş ışınımının ne kadarından faydalanabildiği önem kazanmaktadır. Bu bağlamda GE'nin depolanması önem arz etmektedir. GE sistemlerinin özellikle ısıtma amaçlı kullanımında verimliliğini arttırmaya yönelik yapılmış literatürde birçok çalışmaya rastlanmaktadır.

Hernandez ve Kenny (2012) GE'li ve ısı depolamalı su ısıtma sistemleri üzerinde yaptıkları çalışmada, bu tür sistemlerin analizinde kullanılan sistem performansı kriteri ve yaşam döngüsü kriterinin değerlendirmesini yapmışlardır. Araştırmacılar bu tür sistemlerin geri ödeme süresinin genellikle 2 yılın üstünde olduğunu çoğu zaman 1,2 ile 3,5 yıl arasında değiştiğini belirtmişlerdir [32].

Uçar ve İnallı'nın (2008) üç farklı tipte IDS'nin güneş kolektörleri ile birlikte kullanımındaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Yeraltı IDS, yerüstü izolasyonlu IDS ve yerüstü izolasyonsuz IDS arasında yapılan karşılaştırmada yeraltı IDS ile çalışan sistemde GE'den en yüksek faydalanma oranı sağlandığı, bunun yanında enerjinin en yüksek oranda bu sistemle korunduğu belirlenmiştir [33].

Koca ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada düz plakalı güneş kolektörü ile çalışan FDM 'li bir GID'nun ekserji analizini yapmışlardır. Çalışmada FDM olarak  $\text{CaCl}_2$  ve  $6\text{H}_2\text{O}$  kullanılmıştır. IDS'nin şarj periyodundaki sistem verimliliğini analiz etmek amacıyla enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Ekim ayında 3 gün süreli yapılan çalışma sonucunda net enerji ve ekserji verimlilikleri %45 ve %2.2 olarak belirlenmiştir [34].

Jegedheeswaran ve ark. (2010) GID sistemlerinin performans değerlendirmesinde kullanılacak ekserji analizi yöntemlerinin değerlendirmesini yapmışlardır. Yapılan çalışmada gizli ısı depolamada/geri almada tasarım ve çalışma parametrelerinin etkisi incelenmiş ve optimizasyondaki en önemli unsurlar olduğu ifade edilmiştir [35].

Öztürk (2005) yaptığı çalışmada FDM olarak parafin kullanılan sezonluk GID ve düz plakalı güneş kolektörlerinden oluşan sistemle 180 m<sup>2</sup>'lik bir seranın ısıtılmasının performans analizini yapmıştır. Tasarlanan sistem düz plakalı güneş kolektörleri, GID, deneysel amaçlı bir sera, ısı transfer ünitesi ve veri ölçüm ünitesi olmak üzere beş kısımdan oluşmuştur. Analiz sonucunda günlük ortalama GID'na olan ekserji transferi ve GID'ndaki ekserji depolama miktarı sırasıyla 111.2 ve 79.9 W olarak elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ortalama net enerji ve ekserji verimlilikleri %40.4 ve %4.2 olarak elde edilmiştir [36].

Alkilani ve ark. (2011) %5 alüminyum tozu içeren parafin bileşiğinin FDM olarak GE'li havalı ısıtıcı ile deşarjının fiziksel ve ısıl özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar deşarj prosesi sırasında havanın akış hızının artışıyla, kazandığı ısının azaldığını FDM 'nin donma zamanının da aynı şekilde azaldığını göstermiştir [37].

GE'den sera ısıtmasında faydalanabilirliği arttırmaya yönelik literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu amaçla İtalya'da Fabrizio (2012) tarafından yapılan çalışmada deneysel olarak incelenen seranın GE-IDS ile ısıtılmasında izolasyonu artırılmış geçirgen malzeme kullanımının %30 oranında enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Ancak kolektörlerin geniş alan ihtiyacı ve düşük verimliliğinin gelişime açık alanlar olduğu araştırmacı tarafından belirtilmiştir [38].

Kousksou ve ark. (2007) GE ile çalışan ve FDM'li IDS kullanan bir sistemin analiz ve optimizasyonunu yapmışlardır. Geliştirilen teorik modelden elde edilen sonuçlar, uygun ergime sıcaklığında FDM seçiminin sistem performansını önemli derecede iyileştirdiğini ortaya koymuştur [39].

Aghbalou ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada GE destekli IDS'nin ekserjik optimizasyonunu incelemişlerdir. Sistem güneş kolektörü ve FDM içeren bir tanktan oluşmuştur. Çalışmada FDM'nin ergime prosesi için bir analitik çözüm geliştirilmiş, bu çözüm deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [40].

Arda (2006) yaptığı çalışmada Erciyes Üniversitesi'nde yer alan Atatürk Spor Salonu'nun ısı ihtiyacının GID'lı GE sistemi ile karşılanmasına yönelik bir analiz yapmıştır. Kurulan sistem; spor salonunun ısıl enerji ihtiyacının Ocak ayında %86,4'ünü, Şubat ayında % 92,6'sını, Mart ayında % 100'ünü, Kasım ayında %100'ünü, Aralık

ayında %94,2'sini karşıladığı, termodinamiğin ikinci kanununa göre yapılan ekserji analizine göre ise Ocak ayında %26'sını Şubat ayında %33,85 Mart ayında %64'ünü, Kasım ayında %72'sini Aralık ayında %35'ini karşıladığı hesaplanmıştır [41].

Kenisarin ve ark. (2007) pasif ve aktif mahal ısıtma, seralarda kullanım ve güneşten kurutma amaçlı faydalanılan IDS'nde kullanılan farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki FDM'leri, ısı özellikleri yönünden incelemiştir [42].

Hussain ve ark. (2004) HVAC uygulamalarında kullanılan IDS'leri için bir simülasyon çalışması yapmıştır. Çalışmada HVAC sistemi ve GID'ndan oluşan sistemin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda deşarj sırasında ısı transfer akışkanının (ITA) tüm akış hızları için IDS'nun enerji verimliliği 80% bulunmuş ancak ekserji verimliliğinin %14 - %0.5 arasında değiştiği belirlenmiştir [43].

Argiriou ve ark. (1997) Yunanistan'da yaptıkları uygulama ile konut enerji tüketiminin GE destekli IDS'leri ile karşılanma oranlarını araştırmışlardır. Çalışmada 3 tip bina ele alınmış ve her bir binanın yıllık ısı kayıpları TRNSYS programı ile belirlenmiştir [44].

### **1.1.1.2 Üçlü BYES'leri**

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya yönelik sistemlerin son dönemlerde geliştirilmesi bu kaynaklardan faydalanabilirliği arttırmıştır. Ancak mahal ısı yüklerinin sürekli değişim göstermesi buna karşılık güneş enerjili sistemler ve IP gibi sürdürülebilir enerji sistemlerinin faydalandığı kaynakların döngülü olması, miktarlarının gün içerisinde ve yıl içerisinde değişmesi, yenilenebilir enerji sistemlerinden faydalanma konusunda en önemli engel olarak görülmektedir. Bu bağlamda özellikle bu sistemlerin ısıtma amaçlı kullanımında mahal ısı yükündeki dalgalanmaları karşılayabilmek ve enerji kaynaklarının yoğun olduğu zamanlarda ihtiyaç fazlası enerjiyi depolayarak ihtiyaç anında faydalanabilmek için IDS'leri, üzerinde çalışılması gerekli bir alan olarak görülmektedir. Bu sistemlerin GE ve IP'larıyla birlikte kullanımının geliştirilmesine yönelik literatürde fazla olmamakla birlikte çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Deng ve ark. (2008) GE destekli IPS ile çalışan sezonluk GID'nun analizini yapmışlardır. Çalışmada geliştirilen model kullanılarak, mahal ısıtmada sistemin performansı incelenmiştir. IED olarak sıcak su tankı kullanılan sistemlere göre, GID kullanılan

sistemlerde kollektör veriminin arttığı ve çevreye olan ısı kayıplarının azaldığını simülasyon sonuçları ile ortaya koymuşlardır [45].

Yapılan bir diğer çalışmada Yumurtas ve Ünsal (2012) oluşturdukları GE destekli IPS ve yeraltı ısı depolama tankı ile çalışan modeli analitik olarak incelemişlerdir. Yapılan analitik çalışmada IDS veya kollektör alanının azaltılması halinde ısı deposundan elde edilecek yıllık ortalama sıcaklığın düşeceği sonucu elde edilmiştir [46].

Bu konu üzerinde Benli ve Durmuş (2009) yaptıkları çalışmada 1 Eylül 2005 - 30 Nisan 2006 arasındaki periyotta TKIP–GID sistemini deneysel sera ısıtmasına uygulamışlardır. Elazığ ilinde gerçekleştirilen çalışmada IP ve tüm sistemin COP değerleri sırasıyla 2.3-3.8 ve 2-3.5 aralığında değiştiği belirlenmiştir [47].

Han ve ark. (2008) Çin’de GID ve GE destekli TKIP sistemini sayısal olarak modellemiş ve incelemişlerdir. Tüm çalışma periyodunda sistemin COP değerinin ortalama 3,28 olduğu belirlenmiş, IP’nin çalışmadığı periyotlarda COP değerinin artarak 5.95 değerine ulaştığı belirlenmiştir [48].

Wang ve ark. (2010) ise Çin’de gerçekleştirdikleri çalışmada yaz döneminde soğutma amaçlı TKIP’ni kullanmışlardır. Kış döneminde ise GE öncelikli olmak üzere güneş kollektörleri ve IP dönüşümlü olarak çalışmıştır. Çalışma sonuçları toplam ısı yükünün %49,7’sinin GE’den karşılandığını göstermiştir. IP ve tüm sistemin ortalama COP’değeri sırasıyla 4,29 ve 6,55 olarak bulunmuştur [49].

Wang H ve ark. (2009) yeraltı IDS kullanılan güneş-toprak kaynaklı IP’nin analizini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre yeraltı ısı depolama tankı verimi %76 bulunmuştur [50].

Fernandez-Seara ve ark. (2012) güneş ışınımının olmadığı koşullarda direkt genişmeli GE destekli IP sisteminin 300 l hacmindeki su deposu ile birlikte çalışma koşullarını incelemiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda IP performansının GE olmadığı koşullarda 3.23 olduğu belirlenmiştir [51].

Esen (2000) ise GID’na güneş kollektörleri ile enerji sağlanan ve GID’nu ısı kaynağı olarak kullanan IPS’nin ısıl performansını incelemiş, tank teorik sıcaklığını ve tank içerisindeki sıcaklık dağılımını analiz etmiştir [52].

Wu (2007) GID malzemelerini incelemiştir. Araştırmacı GID malzemesi olarak kullanılan alayım ve çözeltilerin derişikliğinin ısı depolama potansiyeline önemli ölçüde etki ettiğine dikkat çekmiştir [53].

Long (2009) GID'lu ve GE destekli IP'lı su ısıtıcısını deneysel ve sayısal olarak analiz etmiştir. GID'na güneş kollektörleri ile enerji depolanması ve soğurulması süresince deneysel olarak sistem incelenmiştir [54].

Henchoz (2012) GE'li IDS'lerini termoeekonomik açıdan incelemiştir. Çeşitli türdeki termodinamik çevrimler üzerinde yaptığı analizlerde IDS'nin enerji talebi ile GE arasındaki dengesizliği gideren önemli bir etken olduğunu belirtmiştir [55].

Sharma ve ark. ise (2009) FDM lerin GID'nda kullanım alanlarını sınıflandırmış, geçmiş çalışmaları referans alarak binalarda ısıtma soğutma uygulamalarında kullanımlarını incelemişlerdir [56].

Çalışkan ve ark. (2012) ise yaptıkları çalışmada duyulur, termokimyasal ve GID'larının değişken çevre koşullarındaki bina uygulamalarında enerji, ekserji, çevresel ve sürdürülebilirlik analizlerini yapmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler en sürdürülebilir IDS'nin DID'lu, sürdürülebilirliğin en düşük olduğu sistem olarak da GID'su kullanılan sistem olduğunu ortaya koymuştur [57].

Ezan ve ark. (2010) GID sistemlerinde hem deşarj (ergime) hem de şarj (katılşma) prosesleri sırasında IDS'nin enerjik ve ekserjik performansını belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlar giriş sıcaklığı ve debideki artışın şarj periyodu sırasında ekserji verimini arttırdığını göstermiştir. Deşarj prosesinde ise FDM'nin ergime sıcaklığı ile ısı transfer akışkanının (ITA) sisteme giriş sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı arttıkça tersinmezliğin de arttığı belirlenmiştir [58].

Erek ve ark. (2008) bir GID sistemi (silindirik tüp şekline) için şarj periyodu sırasındaki entropi artışını ve ekserji verimliliğini analiz etmişlerdir. Farklı parametreler seçilerek yapılan deneysel karşılaştırmalarda entropi üretiminin genellikle yüksek çıktığı gözlemlenmiş ve ekserji veriminin artması için üretilen entropinin azaltılması gerektiğine dikkat çekilmiştir [59].

Abedin ve ark. (2012) açık sistemli bir termokimyasal IDS'ni enerji ve ekserji analizi yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Deneysel çalışma sonucunda sistemin toplam enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %69 ve %23 olarak hesaplanmıştır [60].

Pinel ve ark. (2011) çeşitli tipteki seezonluk IDS'lerini sınıflandırmış, kullanılan IDS malzemelerinin özelliklerini incelemiştir. Ele alınan IDS'lerinin GE sistemleri ile kullanılabilirliği incelenmiştir [61].

Bedecarrats ve ark. (2009) kapsül şeklindeki FDM'lerin kullanıldığı GID sisteminin GE ile şarj ve deşarj sırasındaki performansını analiz etmişlerdir. ITA'nın IDS'ne giriş sıcaklığının düşük olmasının soğutma modunda sistem performansını olumlu etkilediği araştırmacılar tarafından analiz edilmiştir [62].

Benli (2011) Elazığ üniversitesinde gerçekleştirdiği çalışmada sera ısıtması amaçlı GID destekli TKIP'nin performansını incelemiştir. Çalışma sonucunda IP ve tüm sistemin performans katsayısı sırasıyla 2,3-3,8 ve 2-3,5 arasında değiştiği belirlenmiştir [63].

Zalba ve ark. (2003) FDM'lerle ilgili bir derleme yapmışlardır. Literatürde dağınık halde bulunan ve araştırılma aşamasında olan 150, ve ticari olarak bulunabilen 45 FDM'ye ait özellikler, sınıflandırmalar ve kullanım alanları bu çalışma kapsamında ele alınmıştır [64].

Dinçer ve ark. (1997) ise benzer bir çalışmayı DID sistemleri için yapmışlar, bu sistemlerin kullanımıyla ilgili genel bilgiler vererek enerjetik ve ekserjetik açıdan incelenme yöntemlerine değinmişlerdir [65].

Dinçer (2002) yaptığı bir başka çalışmada ise IDS'ni teknik, ekonomik ve çevresel açıdan incelemiştir [66].

### **1.1.2 Duvardan Isıtma Soğutma Sistemleri (DISS)**

Duvardan Isıtma Soğutma sistemleri tarihi Roma dönemine kadar uzanan sistemlerdir. Döşemeden ısı geçirilmesi esasıyla iklimlendirme yapılan bu sistemler Hypocaust ismi ile adlandırılmıştır [67]. Günümüzde bu sistemler duvar, döşeme veya tavan içerisine döşenmiş serpantinlerden sıcak veya soğuk akışkan geçirilmesi ile mahal iklimlendirmesi sağlamaktadır [67, 68]. DISS'nin konvansiyonel ısıtma sistemlerine göre

en önemli avantajı düşük enerji ile mahal konfor şartlarını sağlayabilmesidir. DISS'lerin düşük sıcaklık aralığında (35°-40°C) ısıtma yapmaya uygun oluşu GE ve IP gibi yenilenebilir kaynaklı sistemlerle entegre kullanımına izin vermektedir. Bu kullanım olanağı ise özellikle GE'den ısıtmada faydalanabilirliği önemli ölçüde arttırmaktadır. Literatürde DISS'nin kullanım avantajlarını vurgulayan çalışmalar mevcuttur.

Kıncay ve Karakoç (2008) yaptıkları çalışmada DISS'nin tasarım koşullarını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bu sistemlerde ısı transferinin %50'den fazlasının radyasyonla gerçekleşmesinin bunun yanında panel sıcaklıklarının çok yüksek olmamasının ekonomik, sağlık ve konfor bakımından konvansiyonel sistemlere göre avantaj sağladığını belirtmişlerdir. Yazarlar bu tür sistemlerde tasarım parametrelerinin önemine dikkat çekmişlerdir [69].

Yapılan bir başka çalışmada ise Imanari (1999) çatı içerisine döşenmiş radyant ısıtma sistemi ile konvansiyonel bir hava şartlandırma sistemini karşılaştırmıştır. Enerji tüketimi, ekonomik ve konfor açısından yapılan bu karşılaştırmada araştırmacı düşük hava debilerinde radyant çatı panelinin avantaj sağladığını belirtmiştir [70].

Kanbur ve ark. (2013) yaptıkları bir diğer çalışmada duvar içine döşenmiş radyant panellerin farklı tasarım parametrelerine bağlı ısı transferini incelemişlerdir. Çözümlemeler Ansys ve Fluent Programları kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda her bir panel tasarımı için ısıtılan mahal içindeki sıcaklık dağılımları incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır [71].

Literatürde DISS ile ilgili yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar vermektedir. Bu da ülkemizde henüz yaygın olarak kullanılmayan bu sistemlerin önümüzdeki kullanımının yaygınlaşması gerektiğini göstermektedir. Bu yolla düşük enerjili kaynaklardan faydalanabilme konusunda önemli bir adım atılmış olacaktır.

## **1.2 Tezin Amacı**

GE sistemleri, IPS'leri, IDS'leri ve DISS ile ilgili yapılan literatür araştırması ile çeşitli sonuçlara varılmıştır.

- Küresel ısınmanın çevresel etkilerindeki artış, petrol rezervlerinin hızla tükenmesi, enerji talebinin her geçen gün artış göstermesi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmayı zorunlu hale getirmiştir.
- Mahal iklimlendirmesi düşük enerji ile sağlanabilir bir uygulamadır. Buradan yola çıkarak iklimlendirme amaçlı düşük sıcaklıkta çalışan sistemlerden faydalanmak konvansiyonel kaynakların tüketim miktarını azaltacak aynı zamanda yenilenebilir kaynaklardan faydalanmayı uygun kılacaktır.
- GE ve IPS'nin tek başlarına kullanımı her ne kadar sürdürülebilir birer sistem olarak önem arz etsede, birlikte kullanımları enerji taleplerine daha yüksek oranda karşılık verilmesine olanak sağlayacaktır. Bunun yanında bu tür hibrit sistemler hava, toprak, güneş gibi kaynaklardan faydalanma oranını arttırmaktadır.
- DISS konvansiyonel sistemlere oranla daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmesi yenilenebilir kaynaklı ısıtma-soğutma sistemleri ile daha iyi uyum göstermesini sağlamaktadır. Bunun yanında sağladığı ısı konfor, düşük maliyet ve basit yapısı ile kullanılabilir ve geliştirmeye uygun sistemler olarak görülmektedir.
- IDS'leri bahsedilen bu enerji sistemlerinden faydalanabilirliği önemli ölçüde arttıran sistemlerdir. Değişken enerji taleplerini karşılayabilmek, döngülü olan enerji kaynaklarının potansiyelinden olabildiğince faydalanabilmek için IDS'leri büyük önem taşımaktadır. IDS'nin geliştirilmesi hibrid enerji modelleri kullanılarak, mahal ısı yüklerinin karşılanmasını herhangi ilave bir konvansiyonel sisteme ihtiyaç duymadan sağlayabilecektir.

Yukarıda bahsedilen sonuçlar konvansiyonel kaynaklara alternatif olarak yenilenebilir kaynaklı sistemlerin mahal ısıtmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Literatürde bu konuyla ilgili çeşitli uygulamalar olsa da yapılan uygulamalarda genellikle mahal ısı taleplerine tatmin edici oranlarda karşılık veren, herhangi bir konvansiyonel enerji kaynağına ihtiyaç duymayan bir sistem tasarımına rastlanmamıştır. Konutlardaki özellikle ısıtmada enerji tüketimini en aza indirmek, "yeşil bina" konseptine uygun bir sistem tasarımı elde etmek bu çalışmanın esas amacı durumundadır. Bu bağlamda güneş kolektörleri, IP, DISS ve GID sisteminin bir arada çalıştığı bir hibrit sistem

tasarımı bu çalışmanın konusunu teşkil etmektedir. Düşünülen sistemde sistem bileşenlerinin çalışma sırasında birbirleriyle uyumu ve performansları; kütle, enerji ve ekserji denklilikleri temeline dayanarak incelenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlardan hareketle, konutlarda yenilenebilir kaynaklı hibrit enerji sistemlerinden ısıtmada faydalanabilirlik ve gizli ısı depolamanın bu sistemlere katkısının incelenmesi amaçlanmıştır.

### **1.3 Hipotez**

Bu çalışmada YTÜ, Davutpaşa Kampüsü, YYEE'nde IP ile enerji talebi karşılanan deneysel mahal ele alınmıştır. Çalışmada sistem iki ayrı bölümde ele alınarak incelenmiştir. Birinci bölümde düşük sıcaklık enerji kaynağı olarak kullanılacak GID'na ısı yüklenmesi (şarj) prosesi ele alınmıştır. Bu kısımda kollektörlerin güneş ışınımından kazandığı enerjiyi GID'na aktarması sırasında her iki sistem bileşeni için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. İkinci bölümde ise DTKIP'ın GID'ndan ısı soğurması (deşarj) ve kompresör işi ile birlikte sağladığı yüksek enerjiyi DISS'ne aktarması prosesi ele alınmış ve bu süreç için enerji ve ekserji analizi sistem bileşenlerine uygulanmıştır. Sistemde yer alan GID, güneş kollektörleri ve DTKIP'nın performansları termodinamiğin 1. yasa ve 2. yasalarına bağlı olarak belirlenerek böyle bir hibrid sistemin uygunluğu araştırılacaktır. Sistemde kullanılan GID'nun hem mahalın değişken ısı yüklerinin karşılanmasına olanak sağlayacağı hem de DTKIP performansına olumlu katkı yapacağı öngörülmektedir.

### GENEL BİLGİLER

#### 2.1 Güneş Enerjisi (GE)

GE küresel ısınmayı arttırıp azaltmayan temiz enerji kaynaklarından biridir. Güneşin bir saniyede yaydığı ışınım insan hayatının başlangıcından itibaren insanların tükettiği enerjiden fazladır. GE genellikle kömür ve petrol gibi fosil kaynaklara 'alternatif enerji' olarak adlandırılmaktadır. Ucuz ve bol olarak bulunur. Bunun yanında düşük çevresel ve ekolojik tehdit oluşturması kullanımını cazip hale getirmektedir. Ayrıca fosil yakıtların hızlı tükenişi GE kullanımına olan küresel ilgiyi arttırmıştır. GE gelecek için her ne kadar önemli bir potansiyel teşkil etse de günümüzde enerji talebinin çok küçük bir bölümünü (toplam birincil enerji talebinin %0.05'i) karşılamaktadır [72].

Güneş yeryüzündeki canlı hayatının temel kaynağı olduğu gibi, bütün enerji türleri doğrudan veya dolaylı olarak GE'ne bağlı olarak meydana gelmiştir.

Bilinen enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında GE'nin dağılı olmasından dolayı, yüksek derecelerde sıcaklık elde etmek için yoğunlaştırılması gerekmektedir. GE'ni mekanik ve elektrik enerjisine uygun bir verimlilik oranıyla çevirmek mümkündür.

GE; ev kullanımı için sıcak su sağlanması, mekan ısıtma ve soğutma endüstride işlem ısısının sağlanmasından başka, tarımda sulama, kurutma ve pişirmede de kullanılabilir. Genelde GE'den şimdiye kadar geliştirilmiş teknolojiler kullanılarak, yararlanıldığında evrensel enerji talebine katkıda bulunabilecek önemli bir

kaynak olduğu söylenebilir. Bunun yanısıra GE çok az sayıdaki temiz ve elde edilmesi güvenli enerji kaynaklarından biri olarak da dikkat çekmektedir [73].

### **2.1.1 Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi [73]**

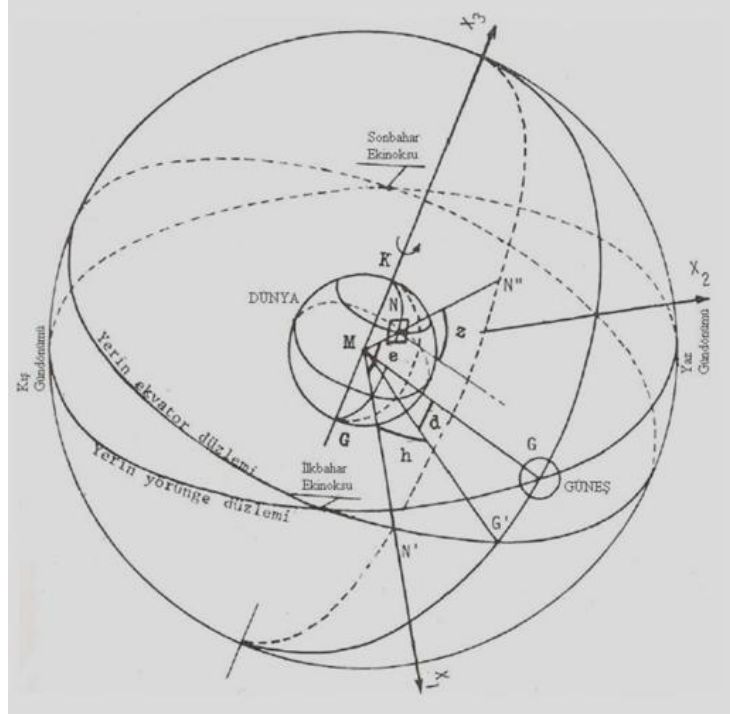
GE'den faydalanma fikri çok eskilere dayanmaktadır. Sokrates konutların ısı dengesi ve ısınması için GE'den faydalanılması konusunda ilk öneri getiren bilim adamıdır. GE ile çalışan ilk su pompası Salama De Caus'un merceği icadı ile olmuştur. 1868'de Ericsson GE'den buhar elde ederek makine işletmiş, 19. Yüzyılın başında güneş ışınlarındaki ısı şiddetini ölçen bir alet 'Actiometre' Sir John Herschel tarafından bulunmuştur.

1973'e kadar bu konuda pek fazla ilerleme kaydedilememiştir. Bunun ana sebepleri savaş ve enerjinin elde edildiği petrol fiyatlarının düşük olmasıdır. Temmuz 1973'te UNESCO tarafından Paris'te toplanan konferansta, o zamana kadar yapılan bütün GE araştırmaları gözden geçirilmiştir. Ekim 1973'te bilinen petrol krizi, bütün araştırmacıları yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına yöneltmiştir. 1975 yılında sadece ABD'de GE'den %100 yararlanan 200 kadar konut ısıtması yapılmış, 5 yıl için yaklaşık 1 milyar \$ bu işe tahsis edilmiştir. Bunun yanında, 1954'te Bell Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen güneş pilleri, GE'ni doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlar olarak giderek yaygın kullanım alanları bulmuşlardır. Günümüz gelişen GE teknolojileri ile çok çeşitli uygulamalar yapılabilmekte, GE'nden birçok alanda faydalanılabilmektedir.

### **2.1.2 Güneş Açıları**

Dünyanın güneş etrafında ve kendi eksenini etrafında olmak üzere iki değişik hareketi olduğu bilinmektedir. Bu hareketler GE uygulamalarında çok önemlidir. Ayrıca yerin güneş etrafındaki yörünge düzleminin normali ile kendi dönüş eksenini arasındaki 23.45°'lik bir açı vardır ve bu açı da yeryüzünde aynı noktaya gelen güneş ışınlarının doğrultusunun değişmesine sebep olur ve mevsimler oluşur. Dünyaya gelen güneş ışınımının bulunmasında dünyaya göre güneşin hareketi incelenir. Bunun için de, dünya merkez olmak üzere çok büyük yarıçaplı ve üzerinde noktalar halinde güneşin (ve yıldızların) bulunduğu Şekil 2.1'de gösterilen gökküreden faydalanılır. Gökküre üzerinde güneşin yeri ve dolayısıyla dünyaya nazaran hareketi güneş açıları ile tayin edilir.

Yeryüzünde enlemi [e] olan bir [N] noktasına düşen direkt güneş ışınımının doğrultusu deklinasyon açısı [d] ve saat açısı [h] ile tayin edilebilir [74-76].



Şekil 2.1 Gök küre ve açılar

### 2.1.2.1 Esas Güneş Açıları

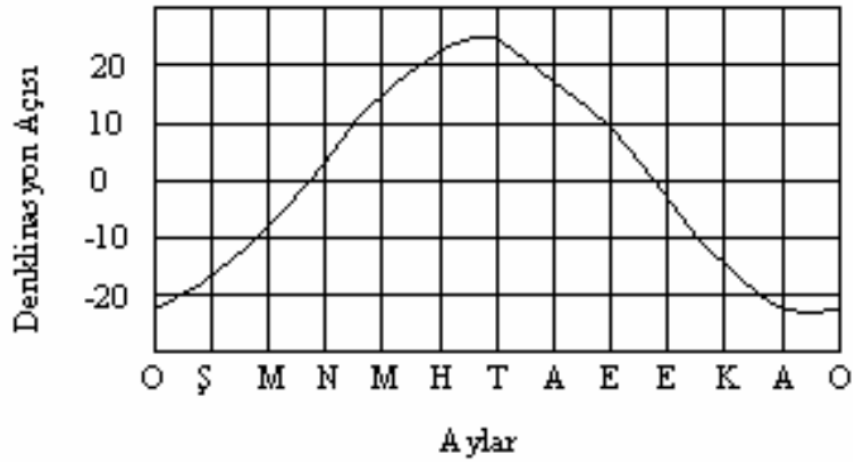
#### Güneş deklinasyon açısı, [d]

Dünya - Güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Dünya - Güneş doğrultusu ekvator düzleminin kuzey tarafında ise deklinasyon açısı pozitif kabul edilir. Buna göre, deklinasyon açısı  $-23.45^\circ$  (21 Aralık'ta kış gündönümünde) ile  $23.45^\circ$  (21 Haziran'da yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart'ta) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül'de) deklinasyon açısı sıfır olur [74-76]. Deklinasyon açısı, 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı n olmak üzere;

$$d = 23,45 \sin \left[ 360 \frac{n+284}{365} \right] \quad (2.1)$$

ampirik Cooper formülü (2.1) ile bulunur. Deklinasyon açısı aynı gün için yıldan yıla değişmektedir. Bu bakımdan formülden bulunan değerlerdeki küçük hata güneş ışınımı hesapları için pratik olarak önemli değildir. Çoğu zaman, güneş ışınımının aylık

deklinasyon açıları ( $d_0$ ) ile yapılan hesaplar yeterli olabilir. Ortalama deklinasyon açılarının aylara göre değişimi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Aylık ortalama deklinasyon açıları

### Enlem açısı, [e]

Gözönüne alınan yeri dünya merkezine birleştiren doğrunun dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Ekvatordan itibaren kuzeye doğru (+) işareti ile ve güneye doğru (-) işareti ile ölçülür. Kuzey kutbu için (+)  $90^\circ$  (K) alınırken , güney kutbu için (-)  $90^\circ$  (G) alınır.

### Saat açısı, [h]

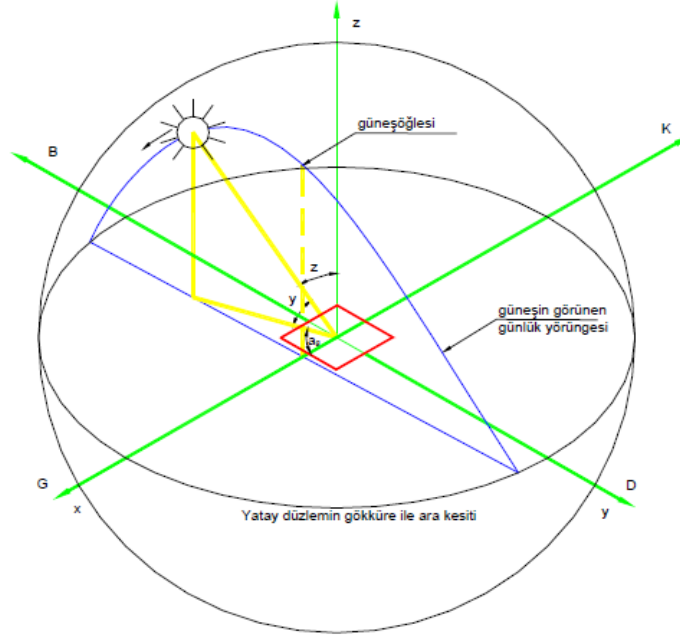
Gözönüne alınan yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun, yani güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır.

Güneşin ve göz önüne alınan noktanın ekvator düzlemindeki izdüşümleri alınır, Şekil 2.1’de NMG açısı saat açısıdır. Saat açısı, güneş boylamının, gözönüne alınan yerin boylamı ile aynı olduğu güneş öğlesinden itibaren ölçülür; öğleden önceleri; (-), öğleden sonraları (+) işareti alınır. Bilindiği gibi, her  $15^\circ$  saat açısı (boylam farkı) zaman olarak 1 saate tekabül eder.

### 2.1.2.2 Türetilen Güneş Açıları

Yatay veya eğik bir düzleme gelen güneş ışınımının hesaplanmasında düzlemle ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılardan yararlanır. Zenit açısı (z), güneş yükseklik

açısı ( $\gamma$ ), güneş azimut açısı ( $a_g$ ) gibi açılara, türetilen güneş açıları (Şekil 2.3) denilmektedir.



Şekil 2.3 Türetilen güneş açıları

### Zenit açısı, [z]

Direkt güneş ışınlarının (güneşin doğrultusunun) yatay düzleminin normali ile yaptığı açıdır. Diğer bir deyişle güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Yatay düzleme güneş ışınları dik geldiği zaman  $z = 0^\circ$  dir (güneş zenitte iken) ve güneşin doğusunda ve batısında  $z = 90^\circ$  olur.

### Güneş yükseklik açısı, [y]

Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemlerle yaptığı açıdır. Açıkça görüldüğü gibi, yükseklik açısı zenit açısını  $90^\circ$ 'ye tamamlar böylece  $\sin y = \cos z$  olur.

### Güneş azimut açısı, [ $a_g$ ]

Güneşin doğrultusunun tam bilinmesi için, kutupsal koordinat sisteminde, azimut açısına da ihtiyaç duyulur. Güneş – Dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Burada, sabahleyin güneyden doğuya doğru (+) ve öğleden sonraları batıya doğru (-) değer alınır. Böylece zenit ve azimut açıları ile güneş ışınlarının doğrultusu tayin edilebilir. Güneş azimut açısı;

$$\sin a_g = \cos d \cdot \sin h / \cos y \quad (2.2)$$

eşitlik (2.2)'den bulunabilir ve maksimum mutlak değeri, güneşin doğusunda veya batısında deklinasyon açısına bağlı olarak 90° civarında, 90°'den büyük veya küçük olabilir [74-76].

### **2.1.3 Güneş Enerjisinden Faydalanılan Teknolojiler**

Güneş enerjisi uygulamalarını sıcaklık aralığına göre ;

- Düşük sıcaklık (20-100°C)
- Orta Sıcaklık (100-300°C)
- Yüksek Sıcaklık (300°C <)

olmak üzere üç grupta toplayabiliriz. En yaygın uygulamalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

#### **2.1.3.1 Düşük Sıcaklık Uygulamaları**

- Kullanım Sıcak Suyu Elde Edilmesi
- Konut Isıtılması-Soğutulması
- Sera Isıtılması
- Kurutma
- Yüzme Havuzu Isıtılması
- Güneş Ocakları ve Fırınları
- Deniz Suyundan Tatlı Su Elde Edilmesi
- Tuz Üretimi

#### **2.1.3.2 Orta Sıcaklık Uygulamaları**

- Endüstriyel Kullanım İçin Buhar Üretimi
- Büyük Isıtma Soğutma Sistemleri
- Elektrik Üretimi

### 2.1.3.3 Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

- Güneş Fırınları
- Güç Santralleri

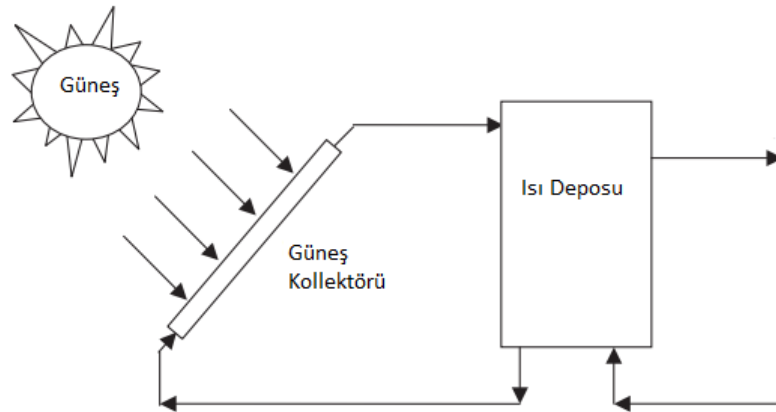
Güneş Enerjisi uygulamalarının bir diğer sınıflandırması ise şu şekilde yapılabilir;

- Aktif Sistemler
- Pasif Sistemler
- Fotovoltaik Uygulamalar

### 2.1.4 Güneş Enerjisiyle Isıtma

#### 2.1.4.1 Güneş Kollektörleri

Enerji dönüştürücü olan güneş kolektörleri, ısı uygulamalarda güneş ışınımı enerjisini çalışma akışkanına aktarırken, fotovoltaik uygulamalarda elektrik enerjisine dönüştürür. Isıl uygulamalarda güneş ışınımı güneş kolektörü tarafından ısı enerji olarak emilir. Daha sonra ısı transfer akışkanına aktarılır (hava, su, yağ). Çalışma akışkanı tarafından taşınan enerji sıcak su eldesi veya ısıtma amaçlı kullanılabilir. Bunun yanında Şekil 2.4'te görüleceği gibi ısı IED tankında daha sonraki zamanlardaki ısı ihtiyacını karşılamak amaçlı kullanılabilir (gece ve bulutlu günlerde) [77].



Şekil 2.4 Güneş enerjili su ısıtma sistemi

Fotovoltaik uygulamalarda, fotovoltaik modül güneş ışınımını sadece elektrik enerjisine dönüştürmekle kalmaz bunun yanında atık ısı ortaya çıkarır. Bu atık ısı fotovoltaik

kollektörlere monte edilmiş ısı tüplerde dolaşan ısı transfer akışkanı tarafından toplanır [77].

Güneş kollektörleri genellikle yoğunlaştırma oranlarına göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmalar yoğunlaştırma yapmayan kollektörler ve yoğunlaştırıcı kollektörler olarak iki sınıfa ayrılır. Yoğunlaştırma yapmayan kollektörler soğurma alanıyla aynı izdüşüm alanına sahiptir. Halbuki güneş takibi yapan yoğunlaştırmalı kollektörler genellikle GE'ni daha küçük alıcı alanına yansıtma ve odaklama amaçlı konkav yansıtıcı alana sahiptir.

### **Düz Plakalı Kollektörler**

Düz plakalı kollektörler genellikle sabit pozisyonludur. Bu sebeple nasıl konumlandırıldıkları çok önemlidir. Tipik bir güneş kollektörü genellikle seçici yüzey, emici plaka, izolasyon plakası, ısı aktarım tüpleri (ITA ile dolu) ve yardımcı ekipmanlardan oluşur. Seçici yüzey olarak tek veya çoklu cam tabakası veya kısa dalgaboylu ışınımına karşı yüksek geçirgenlikte, uzun dalgaboylu ışınımına karşı yüksek geçirgenlikte olan başka malzemeler kullanılabilir [78].

Geçirgen örtü emici plakadan konveksiyonla olan ısı kayıplarını azaltırken sera etkisi yaratarak geri yansımayla kaybedilecek ışınım enerjisini de engeller. Düşük demir içerikli cam güneş ışınımına karşı yüksek geçirgenlik özelliğiyle (yaklaşık 0,85-0,87) ve genellikle yüksek dalgaboylu ışınımına karşı neredeyse sıfır olan geçirgenliğiyle en çok tercih edilen geçirgen tabakadır. Hellstrom ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada optik ve ısı özelliklerinin düz plakalı kollektörler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonunda ikinci geçirgen tabaka olarak teflon tabakası eklemenin 50°C işletme şartlarında toplam performansını %5-6 arttırdığını görmüşlerdir. Konveksiyon ısı kayıplarını azaltmak için petek şeklinde teflon tabaka yerleştirildiğinde ise toplam performansın 50°C işletme şartlarında %12.1 arttığını belirlemişlerdir [79].

Emici plakalar genellikle siyah bir tabaka ile kaplanmaktadır. Bunun sebebi ısıyı mümkün olduğunca çok soğurmaktır. Ancak literatürde çeşitli renklerde kaplamalar kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan seçici yüzeyler genellikle kısa dalgaboylu güneş ışınımına karşı yüksek geçirgenlikte olan ancak uzun dalgaboylu ısı ışınımına karşı

geçirgenliği düşük ince bir üst tabakadan ve uzun dalgaboylu ışınımaya karşı düşük emicilik ve yüksek yansıtıcılıkta olan ikinci bir ince tabakadan oluşmaktadır. İstenen optik performansı sağlayabilen seçici yüzeyler genellikle yüksek üretim maliyetine sahiptir. Ancak düşük maliyetli ürünlerle de verim alınabilmektedir. Bunun yanında bir kolektörün ısı performansını arttırabilmek için, emici plakadan olan ısı kayıplarını azaltmak gerekmektedir. Emici plakada emilen ısının sistemin aşırı ısınmasını önlemek için hızlı bir şekilde ısı transfer akışkanına aktarılması gerekir [78].

## 2.2 Isı Pompaları (IP)

IP en basit şekliyle düşük sıcaklık derecesine sahip bir ortamdaki ısı enerjisini yüksek sıcaklık derecesine çıkaran sistemlerdir [4]. Jeotermal kaynaklı ısı pompaları (JIP) olarak da bilinen TKIP'ları geleneksel ısıtma soğutma sistemlerine göre enerji yönünden sağladıkları tasarrufla avantaj sağlamaktadır [80]. IP'larının teknik ve ekonomik performansı, ısı kaynağı karakteristiğine bağlıdır. Birçok durumda ısı kaynağının bulunabilirliği, faydalanabilirliği ve kararlı bir sıcaklıkta olması IP'nin performansını etkileyen en önemli etkidir. IP'larında ısı kaynağı olarak çevre havası, toprak, deniz, göl, nehir, yer altı suları, çeşitli atık ısı, sıvı ve gazlar bunun yanında güneş ve kayalar kullanılmaktadır [80-82]. IP'larının bu kadar fazla ısı kaynağıyla birlikte kullanımının mümkün olması kullanımını kolaylaştırmaktadır. IP'ları faydalandıkları ısı kaynağına göre iki grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar HKIP ve toprak –su kaynaklı IP'larıdır.

HKIP'ları düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı olarak çalıştıkları ortam havasını kullanır. Su kaynaklı IP'ları ise çeşitli formlardaki su kaynaklarını çalışma ortamı olarak kullanır. Yer altına yatay veya düşey olarak boru serilmesi yoluyla toprak ile ısı transferi gerçekleştirilen sistemler ise TKIP'ları olarak bilinmektedir. IP'larının performansı etkinlik katsayısı (COP) olarak ifade edilen, ısıtma amaçlı kullanımda yüksek sıcaklıktaki ortama aktarılabilen ısınının kompresör işine oranıdır. Soğutma uygulamalarında ise düşük sıcaklıktaki ortamdan çekilen ısının kompresör işine oranı olarak ifade edilmektedir. Kompresör işinden dolayı ısıtma uygulamalarında IP verimi soğutma moduna göre bir fazla çıkmakta, bu da IP'larının ısıtma amaçlı kullanımında performansının daha yüksek olduğunu göstermektedir

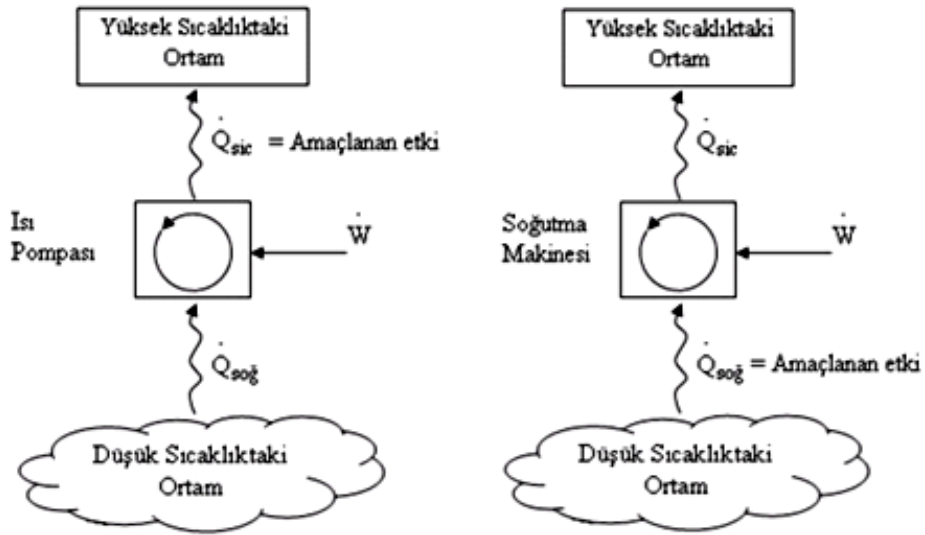
Isı pompaları birincil enerji kaynaklarını en yüksek verimde kullanan ısıtma sistemleridir. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi ile, IP'larının önemi daha çok artmıştır.

IP sistemleri dünyanın değişik yerlerinde yıllardan beridir kullanılmakta olup tatmin edici faydalar sağlamaktadır. Son yıllarda mahal konfor talebinin artması, ısıtma soğutma sistemlerinde IP'larının kullanım payını arttırmış, IP'larının sağladığı ekonomik avantajları ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde ise IP kullanımını yeni yeni artmaktadır [6].

Son yıllarda fosil yakıt rezervlerinin azalması ile enerji maliyetlerinin artışı, enerji sistemlerinin verimliliğinin artırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu bağlamda IP'larının enerji tüketimini önemli ölçüde azaltması, bunun yanında çevre kirliliğinin azaltılması konusunda katkı sağlaması, kullanımlarının getirdiği önemli avantajlardır.

IP'larının temel prensibi ısıyı düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına aktarmaktır. IP'larının temel olarak faydalandıkları enerji kaynakları toprak, çevre havası, yeraltı ve yerüstü sularıdır ve önemli bir avantajları direkt olarak faydalanılamayan enerji kaynaklarından faydalanma olanağı sağlamalarıdır. IPS'lerinde enerji bir ortamdan başka bir ortama pompalanır. Gerekli mekanik enerji, elektrik enerjisi veya fosil yakıtlardan karşılanır [80-82].

Termodinamiğin 2. yasasına göre ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olmaktadır; yani kendiliğinden düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi mümkün olmamaktadır. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makineleri ve IP'larının kullanımıyla olanaklıdır. Soğutma makineleri ve IP'ları aynı çevrimi gerçekleştirirler, fakat kullanım amaçları farklıdır (Şekil 2.5). Bir soğutma makinesinin amacı, düşük sıcaklıklı bir ortamdan ısının çekilmesidir. IP'larının amacı ise düşük sıcaklıklı bir ortamdan çekilen ısının başka bir ortamı ısıtmak için kullanılmasıdır [67, 83, 84, 85].



Şekil 2.5 Isı pompası ve soğutma makinesi çalışma prensibi

Buhar sıkıştırırmalı çevrim; soğutma makinelerinde, iklimlendirme sistemlerinde ve IP'larında en çok kullanılan çevrim olup bu çevrimin sistem bileşenleri dört ana elemandan oluşur.

**Buharlaştırıcı:** Sistemde bulunan soğutucu akışkanın sıcaklığı ve basıncı buharlaştırıcıya girişte düşüktür. Düşük sıcaklık ısı kaynağından çekilen ısı enerjisi buharlaştırıcıda soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlar.

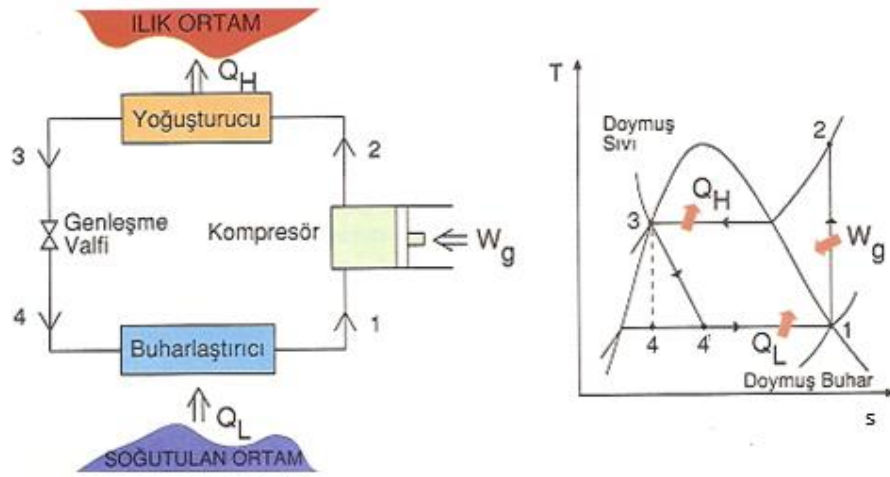
**Kompresör:** Kızgın buhar fazındaki akışkanı sıkıştırarak sıcaklığını ve basıncını artırır.

**Yoğuşturucu:** Buhar fazındaki akışkan taşıdığı enerjinin bir miktarını dışarıya aktararak faz değiştirir ve yoğuşturucuda sıvı konumuna gelir.

**Genleşme (Kısılma) Valfi:** Soğutucu akışkanın tekrar buharlaştırıcıya aynı şartlarda girebilmesi için sıcaklık ve basıncın düşürülmesini sağlar.

### 2.2.1 İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi

İdeal bir soğutma çevrimi dört prosesten meydana gelir. Bu çevrime ait T-s diyagramı ve çevrimin şematik gösterimi Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6 İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ve T-s diyagramı

Bu çevrimi meydana getiren 4 proses (Şekil 2.6) aşağıdaki gibidir:

- 1—2 : Kompresörde izantropik sıkıştırma
- 2—3 : Yoğurturucuda sabit basınçta yüksek sıcaklıklı ortama ısı geçişi
- 3—4 : Kısılma (genleşme ve basıncın düşmesi)
- 4—1 : Buharlaştırıcıda sabit basınçta düşük sıcaklıklı ortamdan ısı geçişi

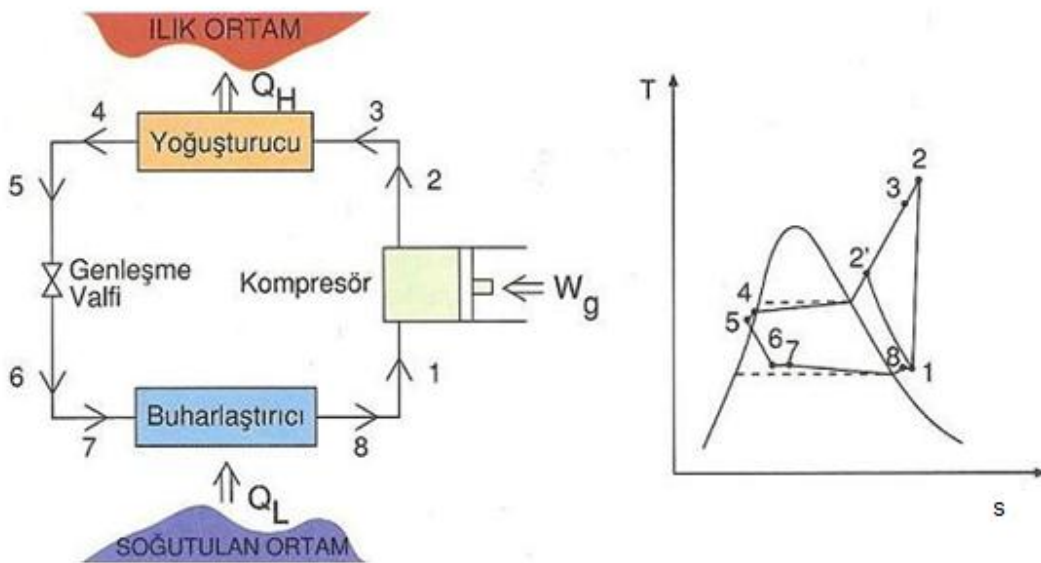
### 2.2.1.1 İdeal Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi Çalışma Prensibi

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan doymuş buhar fazında (1 halinde) kompresöre girer ve izantropik olarak yoğurturucu basıncına düşüncüye kadar sıkıştırılır. Bu işlem sonucunda soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortamın sıcaklığının üzerinde bir değere ulaşır. Soğutucu akışkan daha sonra kızgın buhar fazında (2 hali) yoğurturucuya girer ve yoğurturucuda ısısının bir bölümünü dışarıya transfer ederek doymuş sıvı (3 hali) olarak çıkar. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur. Doymuş sıvı halindeki akışkanın sıcaklığı çevre sıcaklığının üzerindedir. Yoğurturucudan çıkan akışkan daha sonra basıncının buharlaşma basıncına düşürülmesi amacıyla bir genişleme vanası veya kılcal borulardan geçirilir. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Basıncı düşürülen akışkan (4 hali), kuruluk derecesi düşük bir doymuş sıvı buhar karışımı olarak buharlaştırıcıya girer ve daha soğuk bir ortamdan ısı çekerek tamamen buharlaşır.

Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre yeniden girerek çevrimi tamamlar. IP'larında  $Q_L$  düşük sıcaklıktaki ısı çekilen (soğutulan) ortamdaki çekilen ısı miktarını,  $Q_H$  yüksek sıcaklıktaki ısı verilen (ısıtılan) ortama verilen ısı miktarını gösterir. Çevrimin gerçekleşmesi için kompresörün soğutucu akışkan üzerinde yaptığı iş ise  $W_g$  ile gösterilir [67, 83, 84, 85].

## 2.2.2 Gerçek Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi

Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ile ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimini ayıran en önemli etken tersinmezliklerdir. İdeal çevrimde bu tersinmezlikler göz ardı edilirken gerçek çevrimde akış esnasındaki sürtünmeler ve çevrim sırasında çevreyle olan ısı alışverişisi tersinmezlikler yaratarak IP'nin performansını olumsuz yönde etkiler. Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin proses şeması ve T-s diyagramı Şekil 2.7'de verilmiştir. İdeal çevrimin aksine gerçek çevrimde, buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda çevreyle gerçekleşen ısı transferinin sabit sıcaklıkta olmadığı görülebilmektedir.



Şekil 2.7 Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ve T-s diyagramı

### 2.2.2.1 Gerçek Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi Çalışma Prensibi

Gerçek çevrimde ideal çevrimin aksine buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın hangi fazda olacağı sürtünmelerden ve çevreye gerçekleşebilecek ısı kayıplarından dolayı

kesin olarak bilinemez. Kompresörün soğutucu akışkanını sıkıştırabilmesi için kompresör girişinde soğutucu akışkanın tamamen buharlaşmış olması gerekir. Bu sebepten dolayı IP tasarımında buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkan kızgın buhar fazında olacak şekilde bir proses tasarlanır. Çevrimde gerçekleşebilecek tersinmezlikleri kontrol etmek güç olduğundan böyle bir uygulamayla, soğutucu akışkanın kompresör giriş fazının doymuş buhar olması garanti altına alınır.

Gerçek IP çevriminde sıkıştırma esnasında sürtünmeler ve ısı transferi entropi artışına veya azalmasına neden olurken (1-2 hal değişimi), ideal çevrimde sıkıştırma işlemi izantropik kabul edilmektedir. İdeal çevrimde kompresör çıkışından kısılma vanasına giriş haline kadar basıncın sabit kaldığı kabul edilirken, gerçek çevrimde kompresör çıkışından kısılma vanasına kadar olan kısımda tersinmezliklerden dolayı basınç düşüşü gerçekleşir. Gerçek çevrimde yine ideal çevrimin aksine ısı transferinin istenilen oranda gerçekleşmemesi ve sürtünme faktörü soğutucu akışkanın kısılma vanasına tümüyle su olarak girememesine neden olur. Bunu önlemek için tasarım, yoğunlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkan sıkıştırılmış sıvı (aşırı soğutulmuş) fazında olacak şekilde yapılır. Bunun sistem performansına negatif etkisi yoktur. Çünkü soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya daha düşük entalpide girmesi çevreden daha fazla ısı soğurabilmesini sağlar [67, 83, 84, 85].

### **2.2.3 Isı Pompasının Verim İfadesi**

IP'larının verimi performans katsayısı ile ifade edilir. Bu ifade COP şeklinde gösterilir. IP'ları bir ortamı ısıtmak amaçlı kullanılan cihazlar olup belli bir soğutma çevrimi esasına göre çalışırlar. Bu çevrimde düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekilerek yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı atmak amaçlanır. Termodinamiğin 2. Yasasına göre dışardan iş vermeden böyle bir çevrimin gerçekleşmesi olanaksızdır. Dolayısıyla IP'yla ısıtma veya soğutma yapmak kompresöre belli bir miktar iş verilmesiyle mümkün olur. Buna göre COP eşitlik (2.3)'teki gibi ifade edilir.

Soğutma makineleri ve IP'ları aynı çevrime göre çalışırlar fakat kullanım amaçları farklıdır. Bir soğutma makinasının kullanım amacı, soğutulan ortamdan ısı çekilerek bu ortamın düşük sıcaklıkta tutulmasını sağlamaktır. Düşük sıcaklıktaki ortamdan çekilen ısının yüksek sıcaklıktaki ortama aktarılması burada bir amaç değil, çevrimin

tamamalanmasının gereğidir. Buna karşın bir IP'nın kullanım amacı ise, ısıtılan ortamın yüksek sıcaklıkta tutulmasını sağlamaktır. Bu amaç, kuyu suyu veya kışın dışarıdaki soğuk hava gibi düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı çekilerek, evin içi gibi yüksek sıcaklıktaki ısıtılmak istenen ortama aktarılmasıyla gerçekleştirilir. IP'larının soğutma amaçlı kullanımı, sistemde bulunan üç yollu vana ile yoğuşturucu ve buharlaştırıcı yönlerinin değiştirilmesiyle sağlanır. Bir IP'nın etkinlik katsayısı  $COP_{IP}$  [ 67, 83, 84, 85];

$$COP_{IP} = \frac{\text{transferi amaçlanan ısı}}{\text{harcanması gereken iş}} = \frac{Q_H}{W_{komp}} \quad (2.3)$$

veya

$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - (Q_L / Q_H)} \quad (2.4)$$

Bir soğutma makinasının etkinlik katsayısı ise eşitlik (2.5) ile ;

$$COP_{SM} = \frac{\text{transferi amaçlanan ısı}}{\text{harcanması gereken iş}} = \frac{Q_L}{W_{komp}} \quad (2.5)$$

veya

$$W_{komp} = Q_H - Q_L \quad (2.6)$$

olarak alınırsa,

$$COP_{SM} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{(Q_L / Q_H) - 1} \quad (2.7)$$

olarak elde edilir.  $Q_H$  ve  $Q_L$  değerlerinin soğutma makinası ve ısı pompası için eşit değerler olması durumunda IP ile soğutma makinası COP değerleri arasındaki bağıntı eşitlik (2.8) ile ;

$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1 \quad (2.8)$$

elde edilir. Bu sonuç IP'nın etkinlik katsayısının her zaman birden büyük olduğu anlamına gelir. Bunun sebebi  $COP_{SM}$ 'nin her zaman artı değerde olmasıdır. Bununla birlikte  $COP_{IP}$  her zaman  $COP_{SM}$ 'den büyük olacaktır.

## **2.3 Isı Depolama Yöntemleri**

Sera gazı miktarındaki artış ve petrol fiyatlarındaki artış çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma yolunda en önemli itici güç olmuştur [86]. Ancak yeni enerji kaynakları kadar önemli olan enerji depolama sistemlerini geliştirmektir. Enerjinin depolanması sadece arz talep dengesini sağlamakla kalmayarak ayrıca enerji sistemlerinin performansını ve kullanılabilirliğini de arttırarak enerjinin korunmasını sağlamaktadır. Enerji depolama sistemleri yakıtların ekonomik kullanımını sağlayarak atık enerjinin azaltılmasını böylece enerji sistemlerinin ekonomikliğini artmasını sağlamaktadır [56].

Günümüzde ulusal enerji sistemlerinin bağımlı durumda olduğu fosil yakıtlar sınırlı hale gelmiş ve gelecekte zor bulunabilecek pahalı bir kaynak olacağı öngörülmektedir. Dünya'nın enerji talebi gün geçtikçe artmaktadır. Enerji tüketimindeki artışa bağlı olarak iklim değişikliği ve atmosferik kirlenme gibi çevresel etkiler de artmaktadır. İklim değişikliğinin en önemli etkeni olarak sera gazı emisyonları dikkat çekmekte ve bu bağlamda Kyoto Protokol'ü gibi çeşitli uluslararası çalışmalar yapılmaktadır [87].

### **2.3.1 Enerji Depolama Sistemleri**

Enerji mekanik, elektriksel ve ısıl olmak üzere çeşitli formlarda depolanabilir.

#### **2.3.1.1 Mekanik Enerji Depolama**

Mekanik enerji depolama sistemleri; hidrolik enerji depolama, sıkıştırılmış hava ile enerji depolama ve volan ile enerji depolama sistemleri olarak gruplandırılır. Sıkıştırılmış hava ve hidrolik enerji depolama sistemlerinden büyük ölçekli enerji depolamalarda faydalanılmaktadır. Ancak volanlar daha çok orta ölçekli enerji depolama sistemleri için uygundur. Depolama ucuz ve fazla güç üretimi sırasında gerçekleşir ve güç üretiminin yetersiz kaldığı durumlarda sisteme aktarılır [41].

#### **2.3.1.2 Elektrik Enerjisi Depolama**

Bataryalar ile enerji depolama elektrik enerjisini depolamak için bir seçenek oluşturmaktadır. Batarya bir doğru akım devresine bağlanarak şarj edilir ve deşarj

edilirken depolanmış kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Bataryaların kullanım alanı ihtiyaç fazlası güçlerin depolanarak daha sonra kullanımı, yüklerin ayarlanması ve rüzgar türbini ile fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin depolanmasıdır. En çok kullanılan batarya tipleri kurşun asit ve Ni-Cd'dir [41].

### **2.3.1.3 Isıl Enerji Depolama (IED)**

IEDS'i bina düşük ısıtma ve soğutma enerjisi talebi olduğunda pik ısı yük durumu için ısıyı depolayarak gerekli enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Isıl sistemlerle entegre edilmiş IEDS, ısı enerjinin verimli kullanılmasını ve değişken enerji taleplerinin karşılanmasını sağlamaktadır [34].

### **2.3.2 IED Yöntemleri**

IEDS'i boyutları, uygulanan depolama sistemi ve IED materyallerine bağlı olarak, herhangi bir uygulama için düşük sıcaklıkta kısa veya uzun süre için ısı depolanabilir. GE miktarı ve gereksinim duyulan enerji miktarı arasındaki farkın az olması durumunda, kısa süreli depolama uygulanır. Mevsimlik olarak gereksinim duyulan enerji miktarının GE ile karşılanması için uzun süreli IED uygulanarak, toplam enerji gereksiniminin karşılanmasında GE katkısının artmasına imkân verir. Enerjinin en düşük maliyetle sağlanmasına ve süreye bağlı olarak kısa veya uzun süreli depolamaya karar verilir [41].

IED yönteminin seçimi esas olarak, IED süresi, ekonomik uygulanabilirlik ve işletme şartlarına bağlıdır. Herhangi bir uygulama için depolama yönteminin belirlenmesi, IED'nin etkinlik ve ekonomikliği sisteminin tasarımına bağlıdır. IDS'nin tasarımında aşağıdaki etkenler dikkate alınır [36];

1. IED materyalinin birim kütle veya hacminin ısı depolama kapasitesi,
2. IED, geri kazanma sıcaklığı ve yöntemi,
3. IED ve geri kazanma işlemleri için enerji gereksinimi,
4. Sıcaklık gradyanı,
5. Sistem bileşenlerinin boyutlandırması,
6. Isı deposu malzemesi, şekli boyutları ve düzenlemesi,

7. Depolama ünitesinin yalıtımı ve ısı kayıplarının kontrolü,
8. Depolanan enerjinin kullanılacağı ortamın özellikleri,
9. Sistemin toplam maliyeti,

IEDS'leri ileri düzeyde, verimli enerji sistemleri elde edebilmek amacıyla yararlanılabilecek gelişmiş teknolojilerden biridir. Temel olarak üç tip IEDS vardır. Bunlar; duyulur, gizli ve kimyasal IEDS'leridir (Şekil 2.8). Duyulur IEDS ısı depolama malzemesinin sıcaklığının değiştirilmesi ile enerji depolar. GID sistemlerinde ısının depolanması veya bırakılması ise faz değişimi sırasındaki füzyon reaksiyonu (erime / katılaşma) ile gerçekleşir. FDM'lerle GID, faz değişim sırasında yüksek yoğunlukta ve yüksek miktarda IED'ya düşük sıcaklık ve hacim değişimi göstererek imkân verir. Termokimyasal enerji depolarında ise enerji kimyasal ayrışma reaksiyonu ile depolanır. Enerjinin bırakılması ise bu reaksiyonun tersinin gerçekleştirilmesi ile sağlanır [62]. Bu çalışmada GID sisteminden alınan veriler kullanıldığı için GID sistemi daha detaylı olarak açıklanmıştır.

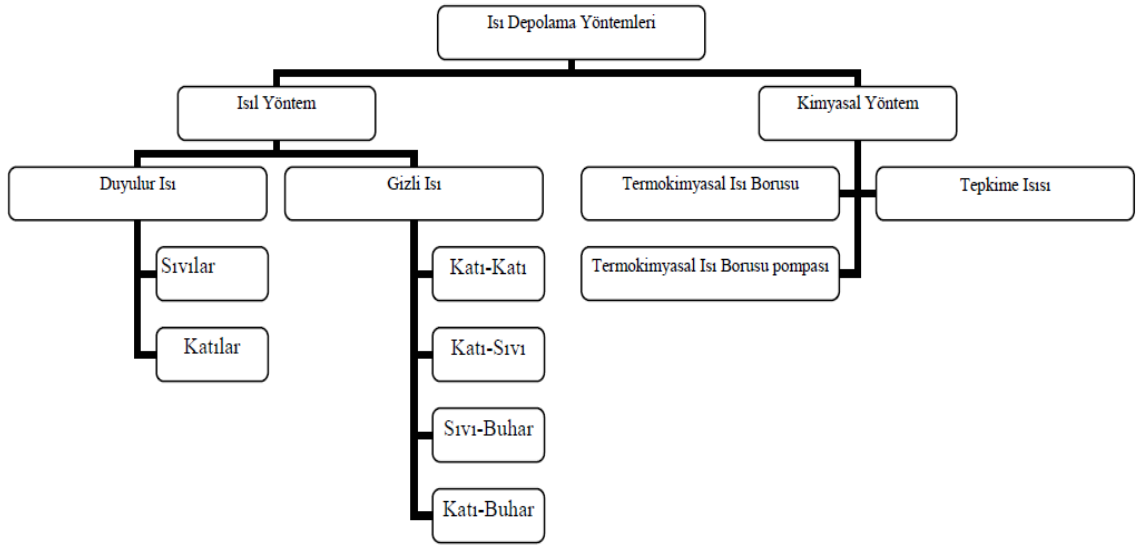
### 2.3.3 Gizli Isı Depolama (GID)

Enerjinin bir kimyasal maddede faz değişimi yoluyla ısı halinde depolanmasıdır. DID'dan farklı olarak, enerji depolanması veya enerji çekilmesi durumunda madde faz değiştirir ve sıcaklığı sabit kalır.

GID sistemi ısı depolama malzemesinin katıdan sıvıya veya sıvıdan gaza faz değişimi sırasında ve bunun tersi durumlarda ısı absorpsiyonu veya desorpsiyonu yapması olarak ifade edilir. FDM'li bir GID sisteminin depolama kapasitesi eşitlik (2.9) ve (2.10)'daki gibi ifade edilir [41, 87, 88, 89].

$$Q = \int_{T_i}^{T_M} m c_p dT + m a_m (\Delta h_m) + \int_{T_m}^{T_f} m c_p dT \quad (2.9)$$

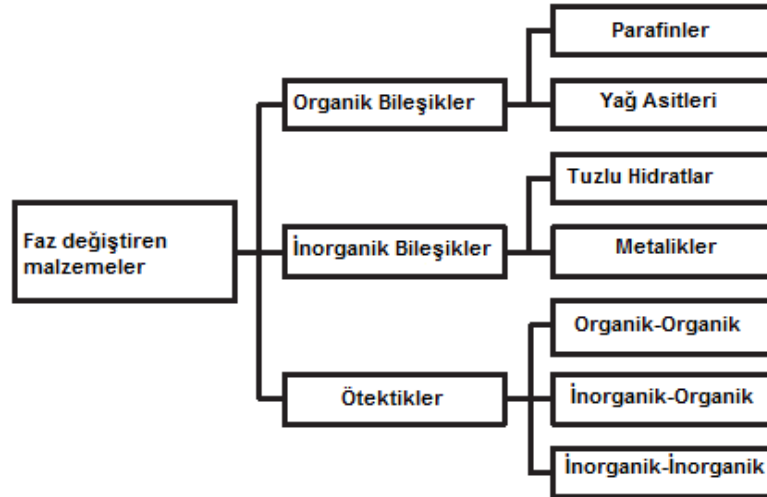
$$Q = m \left[ c_{sp} (T_m - T_i) + a_m (\Delta h_m) + c_{lp} (T_f - T_m) \right] \quad (2.10)$$



Şekil 2.8 Isı depolama yöntemlerinin sınıflandırması

### 2.3.3.1 Faz Değiştiren Malzemelerin (FDM) Sınıflandırılması

Faz değişim şekline göre, katı-katı FDM'ler, katı-sıvı FDM'ler ve sıvı-gaz FDM'ler şeklinde üç grupta toplanır. Bunların içinde katı-sıvı FDM'ler IED için en uygun olanıdır. Kat-sıvı FDM'ler organik, inorganik FDM'ler ve ötektikler olarak üç grupta incelenmektedir (Şekil 2.9) [56].



Şekil 2.9 FDM'lerin Sınıflandırması

### 2.3.3.2 FDM Seçim Kriterleri

Uygun FDM seçimi karmaşık ancak IED'nin etkinliği bakımından bir o kadar da önemlidir. Potansiyel FDM uygulamaya bağlı olarak uygun ergime sıcaklığına, yüksek füzyon (faz değişim) ısısına ve ısı iletkenliğe sahip olmalıdır. Bazı FDM'lere ait ergime sıcaklıkları ve faz değişim entalpileri Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Ergime sıcaklıklarından görüleceği üzere binalarda GID sistemleri için en uygun FDM'ler parafin, yağ asitleri, tuzlu hidratlar ve ötektik karışımlar olarak görülmektedir [87].

Çizelge 2.1 FDM'lerden beklenen özellikler

Termodinamik Özellikler	İstenilen aralıkta ergime sıcaklığına sahip olması
	Birim hacim başına yüksek füzyon gizli ısısı
	Yüksek ısı iletkenlik
	Yüksek özgül ısı ve yoğunluk
	Depolama problemini önlemek için faz değişimi sırasında düşük hacimsel değişim ve buhar basıncı
	Uygun ergime
Kinetik Özellikler	Hızlı soğumayı önlemek için yüksek çekirdeklenme hızı
	Isıl depodan yeterli ısı talebini karşılamak için yüksek kristalleşme hızı
Kimyasal Özellikler	Tersinir ergime / katılaşma çevrimi
	Kimyasal kararlılık
	Çok sayıda faz değişimi sonrası bozulma olmaması
	Korozif olmaması
	Toksik, Alevlenebilir ve patlayıcı bir malzeme olmaması
Ekonomik Özellikler	Uygun fiyat
	Geniş ölçekte kullanılabilirlik

Çizelge 2.2 Bazı FDM'lerin ergime sıcaklık aralıkları ve faz değişim entalpileri

BAZI FDM'lerin Sıcaklık Aralıkları			
Sıcaklık Aralığı (°C)	Malzeme	Geçiş Sıcaklığı (°C)	Füzyon Isısı (kJ/kg)
0-100	Su	0	335
	Parafin	20-60	140-280
	Tuz Hidratı	30-50	170-270
100-400	AlCl <sub>3</sub>	192	280
	LiNO <sub>3</sub>	250	370
	Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	360	314
400-800	50LiOH / 50LiF	427	512
	KClO <sub>4</sub>	527	1253
	LiH	699	2678
800-1500	LiF	868	932
	NaF	993	750
	MgF <sub>2</sub>	1271	936
	Si	1415	1654

Yukarıda bahsedilen IDS'leri içerisinde GID sistemleri, yüksek ısı depolama kapasitesi ve faz değiştiren malzemenin faz değiştirme sıcaklığına bağlı olarak sabit sıcaklıkta ısı depolama yapması, bu ısı depolama tekniğini avantajlı hale getirmektedir. GID sistemlerinde faz değişimi katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz, sıvı gaz veya tersi şekillerde olabilmektedir.

Katı-katı faz değişimlerinde ısı, malzemenin bir kristal formdan farklı bir kristal forma dönüşmesi sırasında depolanır. Katı-katı dönüşümde gizli ısı kapasitesi ve hacim değişimleri genellikle düşük olmaktadır. Bu tür faz değiştiren malzeme kullanılan sistemler ısı deposu seçiminde ve tasarımda esneklik sağlamaktadır. En çok tercih

edilen malzemeler organik katı pentaeritrol çözeltisi (ergime sıcaklığı; 188°C, füzyon gizli ısı; 323 kJ/kg ), pentagliserin (ergime sıcaklığı; 81°C, füzyon gizli ısı; 216 kJ/kg ),  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  (ergime sıcaklığı; 578°C, füzyon gizli ısı; 214 kJ/kg ) ve  $\text{KHF}_2$  (ergime sıcaklığı 196°C, füzyon gizli ısı; 135 kJ/kg ).

Katı-gaz ve sıvı-gaz faz değişimleri daha yüksek gizli ısıya sahip olsa da faz değişimi sırasında büyük hacimsel değişimler göstermesi ve bundan dolayı depolama zorluğu bu depolama malzemelerinin kullanım potansiyellerini azaltmaktadır. Büyük hacimsel değişimler depolama sistemlerini kompleks ve pratik olmayan bir hale getirmektedir. Katı-sıvı faz dönüşümü yapan malzemeler sıvı gaz dönüşümü yapan malzemelere göre daha düşük gizli ısıya sahip olsa da hacimsel olarak daha düşük değişimler göstermesi kullanımlarında avantaj sağlamaktadır. IDS'lerinde katı-sıvı geçişi yapan malzemelerin ekonomik olarak uygun olduğu kanıtlanmıştır. Bu malzemelerin kullanıldığı sistemlerde ısı transfer ortamı olarak faz değiştiren malzemelerin kullanılması uygun değildir. Isı değiştiricinin yer aldığı ayrı bir ısı transfer ortamı tasarlanarak bu yolla ısı kaynağından FDM'ye ve FDM'den ısı transfer edilecek ortama ısı transferi gerçekleştirilir.

Isı değiştirici, FDM'nin düşük ısı yayılım göstereceği şekilde tasarlanmalıdır. FDM'nin depolanacağı ısı depoların FDM'nin faz değişimi sırasındaki hacimsel değişimi göz önünde bulundurularak özel hacimsel tasarımı gerçekleştirilmesi gerekir. Bu ısı depoların hacimsel değişimi tolere edebilecek şekilde ve FDM ile uyumlu olması gerekir [56, 61, 66].

GID sistemlerinin yukarıda sayılan sebeplerden dolayı aşağıdaki üç özelliği taşıması gerekir.

- İstenilen sıcaklık aralığında erime noktasına sahip FDM
- Uygun ısı değiştirici yüzeyi
- FDM ile uyumlu ısı deposu

GID sistemlerinin gelişimi ve verimli hale gelmesi uygun FDM, depo malzemesi ve ısı değiştirici seçimi ile ancak mümkün olabilir.

### HİBRİD ENERJİLİ ISITMA UYGULAMALARI

Hibrid enerjili ısıtma uygulamaları, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin performansını önemli ölçüde arttırmaktadır. Uzun yıllardır çeşitli uygulamalarda IP'ları ve güneş kolektörlerinden yararlanılmaya çalışılmaktadır. Buna ilaveten bu sistemlerle yapılan mahal iklimlendirmesi yanında özellikle düşük sıcaklıkta enerjiye ihtiyaç duyan kurutma, sera ısıtması, havuz ısıtması, çeşitli prosesler ve soğutma gibi uygulamalar son dönemlerde yaygınlaşmıştır.

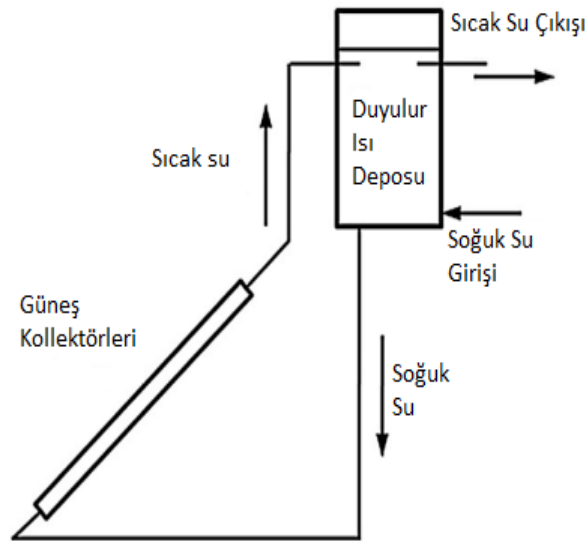
IP daha önceki bölümde de bahsedildiği gibi düşük sıcaklıktaki bir kaynaktan ısı çekerek belli oranda kompresöre iş verilmesi kaşılığında daha yüksek sıcaklıktaki bir kaynağa ısı aktaran sistemlerdir. IP'ları, düşük ısı kaynağı diğer bir deyişle rezervuar olarak ortam havası, toprak, şartlandırılmış hava, deniz veya göl suları gibi çok çeşitli kaynaklardan faydalanabilmektedir. Ancak rezervuar sıcaklığının yüksek olması IP'nın performansını önemli ölçüde arttırmaktadır. Genleşme valfinden geçirilerek sıcaklığı düşürülen soğutucu akışkanın ısı alışverişi yaptığı ortamla arasındaki sıcaklık farkının fazla olması ;

- Soğutma uygulamalarında düşük sıcaklık kaynağından daha fazla ısı çekilmesini,
- Kompresöre giren akışkan sıcaklığının daha yüksek olmasını, böylece kompresörün çektiği elektrik enerjisinin azalmasını,
- Aynı miktarda kompresör işi ile yüksek sıcaklık kaynağına daha fazla ısı bırakılmasını,

sağlamaktadır. Diğer bir deyişle hem ısıtma hem soğutma uygulamaları için IP'nın performans katsayısının (COP) artmasını sağlamaktadır. Bahsedilen bu şartı sağlamak

için özellikle deniz, göl gibi su kaynakları veya toprak, IP uygulamalarında düşük sıcaklık kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu kaynaklar büyük rezervuarlar oluşlarından dolayı birer ısı deposu gibi davranmaları ve sıcaklıklarında uzun periyodlar boyunca önemli dalgalanmalar olmaması, kullanımlarındaki önemli avantajlardır.

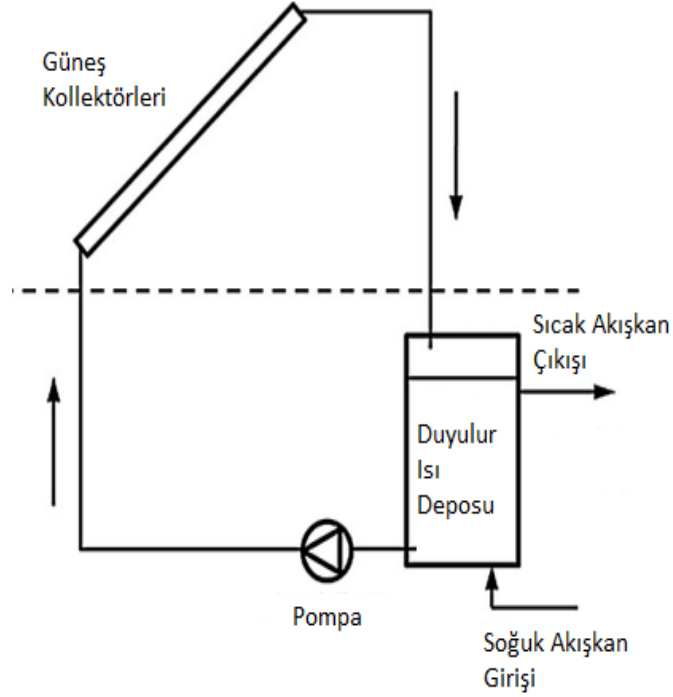
Diğer yandan GE de ısıtma sistemlerinde faydalanılan önemli bir enerji kaynağıdır. Güneş kolektörleri gelen güneş ışınımını toplayarak kazandığı enerjiyi ısı transfer akışkanına aktarmaktadır. Bu yolla çeşitli mahal ısıtma, sera ısıtma, kurutma ve sıcak su eldesi mümkün olmaktadır. Güneş kolektörleri ile ısıtma sistemleri pratik uygulamalar olmalarının yanında maliyetlerinin de düşük olması tüm dünyada yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Güneş kolektörü sistemlerinde en yaygın uygulama kolektörde toplanan enerjinin ısı transfer akışkanı vasıtasıyla bir DID'na aktarılması şeklinde gerçekleşir. DID'na enerji aktarımı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görüldüğü gibi doğal veya zorlamalı yolla gerçekleştirilebilir. Doğal dolaşimli sistemlerde akışkan hareketi ısı etkisiyle oluşan basınçtan kaynaklanır. Zorlamalı akışta ise akışkanı basınçlandıracak bir pompa kullanılır.



Şekil 3.1 Doğal dolaşimli GE sistemleri [61]

DID sistemlerinde ısı depolama malzemesi olarak genellikle su kullanılır. Bu sistemlerde suyun sıcaklığının artırılması ile ısı depolanır ve GE'nin olmadığı veya yetersiz olduğu zaman dilimlerinde depolanan ısının soğurulması ile enerji talebi karşılanır. Ancak güneş kolektörü ile ITA'nın sıcaklığını yüksek değerlere çekmek kullanılan kolektör sayısını arttırma zorunluluğunu ortaya çıkarır. Bu durum hem geniş kolektör yerleşim

alanı gerektiren, hem de maaliyeti artıran bir unsurdur. Dolayısıyla kullanılan kollektör sayısının az olması duyulur olarak su ile depolanan enerji miktarının düşük olması sonucunu doğurur.



Şekil 3.2 Zorlamalı dolaşimli GE sistemleri [61]

DID sistemlerinin yerine GID sistemleri kullanılması güneş kollektörleri ile depolanabilecek enerji miktarını arttıracaktır. Bunun sebebi bu sistemlerde düşük sıcaklıkta FDM kullanılması ve bu malzemelerle faz değişim (erime) esnasında depolanabilecek önemli miktarda füzyon ısısıdır. Isının soğurulması durumunda da FDM'nin ters yönlü faz değişimi (katılaşma) sonucunda önemli miktarda gizli ısı ortaya çıkmaktadır. GID ile düşük sıcaklıkta daha fazla enerji depolanabilirken aynı zamanda IED süresi de artmaktadır [87, 88, 89].

Yukarıda bahsedilen GE ve IP sistemlerinin bir IED ünitesi ile birlikte hibrid bir sistem olarak ısıtmada uygulanabilirliği son dönemde yaygın olarak araştırılan bir konu durumundadır. Bu araştırmalar IPS'lerinin düşük sıcaklık kaynağı olarak GE'ni kullanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sistemlerde incelenen IDS'leri ise enerjiyi depolayarak IP performansının, GE olmadığı zaman dilimlerinde yüksek tutulmasını sağlamaktadır. Literatürde bu tür hibrid sistemlerle ilgili yapılan ve olumlu sonuçlar

alınan çalışmalar yer almaktadır. Bölüm 3.1'de bu çalışmalarla ilgili özet ve değerlendirmeler verilecektir.

### **3.1 GE Destekli IPS'leri**

Enerji ihtiyacının önemli bir miktarını oluşturan ısıtma ve soğutma yükleri aktif ve pasif GE sistemleri ile karşılanabilmektedir. GE'nin ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılabilmesi uygun fiyatlı ve yüksek verimli sistem tasarımları ile mümkün olmaktadır. IP ve GE sistemlerine bazı tasarım ve düzenlemeler yapılarak kombine bir şekilde çalışmaları sağlanabilmektedir. Bu şekilde yapılan tasarımlar klasik konvansiyonel tip HKIP'ına göre daha yüksek performans göstermektedir.

GE destekli IP'nin sağladığı en önemli avantaj kış aylarında IP'na çevre havasına göre daha yüksek sıcaklıkta bir ısı kaynağı sağlamasıdır. Bu şekilde IP performans katsayısı artış göstermektedir. Öte yandan güneş kolektöründen sürekli olarak ısı çekilmesi kolektör sıcaklığını çevre sıcaklığına düşürmektedir. Kolektör sıcaklığının düşük olması kolektörden çevreye olan ısı kayıplarının azalmasını bu da kolektör veriminin artmasını sağlamaktadır [90, 91].

GE destekli IP'ları direkt ve endirekt genleşmeli olmak üzere genelde iki grupta incelenir. Direkt genleşmeli tipte güneş kolektörü IP'nin buharlaştırıcısı olarak tasarlanır. Isı transfer akışkanın güneş kolektörü üzerine monte edilen çeşitli formdaki kanallardan geçerek kolektörden ısı çeker [90, 91]. Endirekt genleşmeli tipte ise IP ve GE kaynaklı IDS kombine bir şekilde çalışır. Bu tür sistemlerde kolektörlerde dolaşan su veya havanın kazandığı enerji IP'na bir ısı değiştirici vasıtasıyla aktarılır. Endirekt sistemler aynı zamanda toprak kaynaklı destekli olarak da kullanılabilir [42].

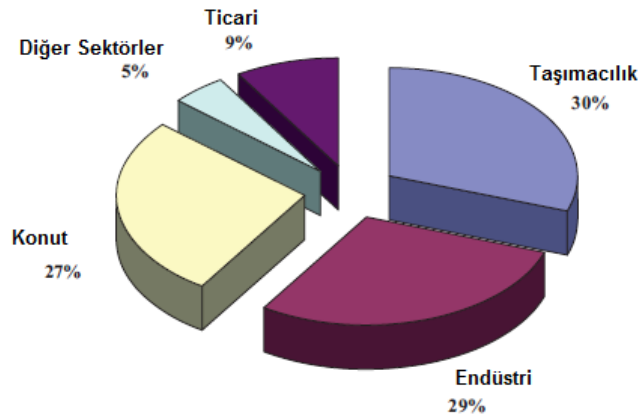
#### **3.1.1 GE Destekli IPS'lerinde GID Uygulamaları**

IDS'leri ileri düzeyde, verimli enerji sistemleri elde edebilmek amacıyla yararlanılabilecek gelişmiş teknolojilerden biridir. IDS birçok alanda uygulama alanı bulabilmesine rağmen, özellikle mahal ısıtmasında GE ve IP sistemleri ile birlikte hibrid bir şekilde kullanılabilirliğinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bunun sebebi hızla

artan yapılaşma ve insan sayısıdır. Binalarda enerji talebi ve buna bağlı olarak IED'nin artan önemi Bölüm 3.1.2'de irdelenecektir

### 3.1.2 Yeşil Binalar ve IDS Uygulamaları

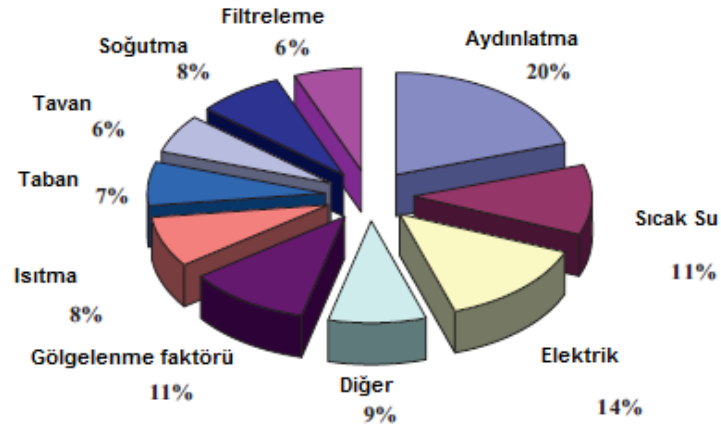
Enerji üretim ve tüketimi dünya çapında ekonomik gelişimin her aşamasında enerjinin korunması ve verimli kullanılması için hayati önem taşımaktadır. Global enerji tüketimi ekonomik ve çevresel gelişim ile bağlantılıdır. Bu sebeple enerji tüketimi faktörü enerji tasarruflu ve verimli sistemlerin tasarımını ve çevresel faktörleri dikkate almayı zorunlu kılar. Ekonomik gelişime bağlı olarak enerjinin temel tüketim alanları yapılaşma ve çevresel gelişim, ticari, endüstri, ulaşım ve konutlar olarak görülmektedir. Son yıllarda yapılaşmaya olan talep hızla artmakta ve bu talebin karşılanabilmesi için gerçekleşen çok büyük ebattaki binalar enerji tüketimi üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Birincil enerji tüketiminde gelişmiş ülkelerde %27 ile konutlar başı çekmektedir. Elektrik enerjisinin %70'lik tüketim payı ve sera gazı içeren atmosferik emisyonların %40'lık bölümü de konutlardan kaynaklanmaktadır. Binalarda enerji değişken zamanlardaki enerji tüketimi ve enerji kayıplarının tespiti; enerji verimi yüksek binalar için zorunluluk durumundadır [86-88].



Şekil 3.3 Sektörel bazda enerji tüketim payları [88]

Binalardaki enerji kullanımının verimli düzeyde tutulması için son yıllarda akıllı bina yönetim sistemleri, aydınlatma, havalandırma, soğutma ve hava şartlandırma, ısıtma gibi alanlarda mühendislik disiplinleri gelişmiştir. Bu yolla konutlarda oturan kişiler için uygun ısı ortamı, kaliteli mahal havası, yeterli aydınlatma gibi koşullar sağlanarak gerekli konfor şartları elde edilmektedir. Enerji verimliliği artırma teknikleri kullanılması

ilk yatırım maliyetlerini arttırsa da uzun vadede sağladığı düşük enerji tüketimi ile ilk yatırım maliyetini karşılamakta ve karlılık sağlamaktadır. Özetle iyi tasarlanmış bir bina konutta yaşayan kişilerin konfor talebini minimum enerji tüketimi ile sağlayabilecek yapıdır (Şekil 3.4) [88].



Şekil 3.4 Binalarda ortalama enerji tüketim ve enerji kaybı payları [88]

---

### TERMODİNAMİK ANALİZ

#### 4.1 Termodinamik Analiz Yöntemleri

Termodinamik analiz, var olan enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması amacıyla enerji ve ısı mühendisliği biliminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Termodinamik bilimi; temel olarak birinci ve ikinci yasa olarak bilinen iki temel yasadandır. Termodinamik analiz ifadesi bir sistemin termodinamiğinin birinci ve ikinci yasasına göre analizini içermektedir.

Termodinamiğinin birinci yasası enerjinin niceliğiyle ilgilidir. Enerjinin var veya yok edilemeyeceğini vurgular. Enerji termodinamik bir özelliktir ve bir etkileşim sırasında enerji bir şekilden başka şekle dönüşebilir. Ancak var olan toplam enerji miktarı değişmez. Birinci yasa, bir hal değişimi sırasında enerjinin hesabını tutmak için bir yöntem ortaya koyar. Enerji sistem sınırlarından ısı veya iş olarak geçebilir. Enerji geçişi, sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkından dolayı oluyorsa ısı geçişi olarak, eğer sıcaklık farkı olmuyorsa ise iş olarak tanımlanır.

Termodinamiğinin ikinci yasası, hal değişimlerinin hangi yönde gerçekleşebileceğini belirler ve enerjinin niceliğinin yanında niteliğinin de olduğunu ve gerçek proseslerde enerjinin kalitesinin azalma yönünde eğilim gösterdiğini vurgular. Bir sisteme giren toplam enerjinin bir bölümü; sistemdeki sürtünme, yanma reaksiyonu, entropi oluşumu vb. tersinmezliklerden dolayı yok olur ve giren enerjinin niteliği, yani iş yapabilirlilik yeteneğinde azalma meydana gelir. Bundan dolayı literatürde

termodinamiğin ikinci yasasına kullanılabilir enerji, kullanılabilirlik, yararlı enerji veya ekserji isimleri verilmektedir [92, 93].

Bir sistemin ekserjisi referans çevreyle tersinir bir proseste dengeye gelinceye kadar yapabileceği maksimum iş olarak tanımlanabilir. Ekserji analizi; enerji atıklarının ve kayıpların yerini, tipini ve büyüklüğünü doğru bir şekilde tespit ettiğinden dolayı enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması açısından yararlı bir analiz yöntemidir. Dinçer ve Çengel yaptıkları çalışmada 'enerji ve ekserji' terimlerini karşılaştırılmış [92], bu karşılaştırma Çizelge 4.1'de ifade edilmiştir.

Çizelge 4.1 Enerji ve ekserji terimlerinin karşılaştırması [92, 93]

Enerji	Ekserji
Sadece enerji aktarımına ve maddenin parametrelerine bağlıdır ancak çevresel parametrelere bağlı değildir.	Maddenin parametrelerine , enerji akımına ve çevresel parametrelere bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerlere sahiptir.	Çevre şartlarında sifira eşittir.
Tüm prosesler için termodinamiğin birinci yasası ile analiz edilir.	Sadece tersinir proseslerde termodinamiğin birinci yasası ile analiz edilir.
Tüm prosesler için termodinamiğin ikinci kuralı ile sınırlıdır.	Tersinir prosesler için sınırlı değildir.
Hareket üretme yeteneğidir.	İş üretme yeteneğidir.
Tüm proseslerde her zaman korunur ve yoktan var vardan yok edilemez.	Sadece tersinir proseslerde her zaman korunur, ancak gerçek (tersinmez) proseslerde kayıplara ve yıkıma uğrar.
Sadece miktarın bir ölçüsüdür.	Entropi oluşumundan dolayı oluşan kayıpları göz önüne aldığından hem miktarın, hem de kalitenin bir ölçüsüdür.

## 4.2 Kütlenin Korunumu İlkesi

Kütlenin korunumu ilkesi genel ifade olarak eşitlik (4.1)'deki gibi ifade edilir.

$$\dot{m}_g - \dot{m}_ç = \Delta m_{KH} \quad (4.1)$$

Burada  $\Delta m_{KH} = m_{son} - m_{ilk}$ , hal değişimi boyunca toplam kütledeki değişimi gösterir. Ayrıca zamana bağlı olarak eşitlik (4.2)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\dot{m}_g - \dot{m}_\zeta = \frac{dm_{KH}}{dt} \quad (4.2)$$

Burada  $\dot{m}_g$  ve  $\dot{m}_\zeta$  kontrol hacmine giren ve çıkan kütle oranlarını,  $\frac{dm_{KH}}{dt}$  ise kontrol hacmi sınırlarındaki kütle değişim oranını gösterir. (4.1) ve (4.2) numaralı eşitlikler kütlelen korunumunu ifade edip hal değişimi sırasında herhangi bir kontrol hacmi için uygulanabilir.

### 4.3 Termodinamiğin I. Yasası [85, 94, 95]

Termodinamiğin I. yasası enerjinin korunumunu ifade etmektedir. Enerji bir kontrol hacminin sistem sınırından ısı veya iş formunda transfer olabilir. Buna göre eşitlik (4.3)'te de görüleceği üzere kontrol hacmine giren toplam enerji ile çıkan toplam enerji arasındaki fark kontrol hacmindeki enerji değişimine eşittir.

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\zeta = \sum \Delta \dot{E}_{sistem} \quad (4.3)$$

#### 4.3.1 Sürekli Akışlı Açık Sistemler [85, 94, 95]

Sürekli akışlı açık sistemlerde birim zamanda kontrol hacmine giren kütle, çıkan kütleyle eşit olduğundan kontrol hacmi içerisinde zamana bağlı kütle miktarında bir değişim olmaz. Sürekli akışlı açık sistemler için kütle dengesi eşitlik (4.4)'te verilmiştir.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (4.4)$$

Benzer şekilde düzgün akışlı dengeli açık sistemlerde, eşitlik (4.5)'te verildiği üzere giren enerji çıkan enerjiye eşit olduğundan kontrol hacmi içerisindeki enerjide de değişim olmaz.

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta \quad (4.5)$$

#### 4.3.2 Kütle İle Enerji Aktarımı

Sürekli akışlı açık bir sistemde sistemin toplam enerjisi  $H$  (entalpi),  $KE$  (kinetik enerji) ve  $PE$  (potansiyel) enerjilerin toplamı şeklinde ifade edilir. Bir kontrol hacminin sistem sınırından debisi  $\dot{m}$  olan bir akış ile transfer olan toplam enerji miktarı eşitlik (4.6)'da görülmektedir.

$$\dot{E} = H + KE + PE = \dot{m} \left[ h + \frac{v^2}{2} + gz \right] \quad (4.6)$$

Çoğu zaman yükseklik değişimi ya çok az ya da sıfırdır, dolayısıyla potansiyel enerji sıfır kabul edilebilir. Yine pek çok durumda akışkanın hız değişimine bağlı olarak gerçekleşen enerji değişimi iç enerjiye göre çok küçük olduğundan kinetik enerji sıfır kabul edilebilir. Potansiyel ve kinetik enerji ihmal ediliyorsa eşitlik (4.6), eşitlik (4.7) haline gelir.

$$\dot{E} = \dot{m} h \quad (4.7)$$

Entalpi, Mollier tarafından ısı miktarı veya toplam ısı olarak adlandırılmıştır. Entalpi terimi birim kütle için eşitlik (4.8) ile ifade edilebilir.

$$h = u + Pv \quad (4.8)$$

Başka bir deyişle sistemin entalpi değeri, iç enerji ile basınç hacim çarpımının (akış işinin) toplamıdır.

#### 4.3.3 Sürekli Akışlı Açık Sistemde Enerji Dengesi [85, 94, 95]

Akışkanın birim kütlelerinin enerjisi (kJ/kg) olarak;

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{v^2}{2} + gz \quad (4.9)$$

Bir sisteme kütle ile olan enerji aktarımının yanında ısı ve iş yoluyla da enerji aktarımı gerçekleşmektedir. Buna göre, sürekli akışlı açık bir sistem için enerjinin korunumu eşitlik (4.10-12)'de verilmiştir.

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\phi \quad (4.10)$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum \dot{m}_g \theta = \dot{Q}_\zeta + \dot{W}_\zeta + \sum \dot{m}_\zeta \theta \quad (4.11)$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum \dot{m}_g \left[ h + \frac{v^2}{2} + g z \right] = \dot{Q}_\zeta + \dot{W}_\zeta + \sum \dot{m}_\zeta \left[ h + \frac{v^2}{2} + g z \right] \quad (4.12)$$

#### 4.3.4 Termodinamik Sistemlerin 1. Yasa Verimi

Verim ifadesi genel olarak bir termodinamik sistemden elde edilmek istenen değerin bu amaç doğrultusunda sisteme verilmesi gereken değere oranı olarak eşitlik (4.13) ifadesi ile gösterilir.

$$\eta = \frac{\text{amaçlanan değer}}{\text{harcanan değer}} \quad (4.13)$$

#### 4.4 Termodinamik Sistemlerin 2. Yasa Analizi [85, 94, 95]

Daha önce bahsedildiği üzere termodinamiğin birinci yasası enerjinin korunumuna dikkat çekmektedir. Enerji, bir hal değişimi sırasında korunan bir özelliktir. Ancak termodinamiğin 1. yasası hal değişimlerinin yönü için herhangi bir kısıtlama getirmemiştir. Termodinamiğin 2. yasası bir hal değişiminin bir yönde gerçekleşirken ters yönde gerçekleşemeyeceğini ifade etmektedir. Bunun sebebi bir hal değişiminin belirli bir yönde gerçekleşmesi sırasında oluşan entropi üretimi ve buna bağlı ortaya çıkan tersinmezliklerdir. Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını sağlaması gerekmektedir.

Termodinamiğin ikinci yasası enerjinin niceliğinin (büyüklük) yanında niteliğinin (kalitesinin) de önemini vurgulamaktadır. Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niteliğiyle ilgilenmeksizin enerjinin niceliği ve bir formdan başka bir forma dönüşmesiyle ilgilenir. Ancak enerjinin form değişimi sırasında her ne kadar miktarının değişmeyeceği birinci yasa ile ifade edilse de kalitesinin azaldığı, buna göre kullanılabilirliğinin azaldığı ikinci yasa ile ortaya konmuştur. Bu yasaya göre yüksek sıcaklıktaki bir enerjinin aynı miktarda fakat daha düşük sıcaklıktaki bir enerjiye göre daha büyük bir miktarı işe dönüştürülebilmektedir. Bundan dolayı yüksek sıcaklıktaki enerji düşük sıcaklıktaki enerjiye göre daha kaliteli bir enerji türüdür. Termodinamiğin

ikinci yasa ısı makineleri ve soğutma makineleri gibi mühendislik sistemlerinin teorik verim sınırlarının belirlenmesinde de kullanılır.

#### **4.4.1 Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimi [85, 94, 95]**

Termodinamiğin ikinci yasasına göre hiçbir ısı makinasının yüzde yüz verime sahip olamayacağı belirtilmiştir. Bunun sebebi tersinmezliklerdir. Eğer bir hal değişimi belirli bir yönde gerçekleştikten sonra çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleşebilseydi, diğer bir deyişle her iki yöndeki hal değişimi sonunda net ısı ve iş etkileşimi sıfır olsaydı bu tür bir hal değişimi tersinir olarak ifade edilirdi. Ancak gerçekte termodinamiğin ikinci yasasında bu şartlar sağlanamamakta ve hal değişimleri tersinmez olarak ifade edilmektedir. Tersinmezlik sebepleri olarak sürtünme ve gazların kontrolsüz genişlemesi en önemli iki unsur olarak sayılabilir.

Bir hal değişimi esnasında bir sistemin yapabileceği en fazla iş tersinir iş olarak tanımlanır. Hal değişimi sonucunda ulaşılan hal çevre şartları ise elde edilen tersinir iş 'ekserji' olarak ifade edilir.

Belirli iki hal arasında gerçekleşen hal değişimindeki en fazla iş eldesi, tersinir halde gerçekleşir. Bu nedenle iş potansiyeli belirlenirken tersinmezlikler göz önüne alınmaz. En çok işi elde edebilmek için, hal değişimi sonunda sistemin ölü halde olması gerekir.

Bir sistemin ölü halde olması, çevresi ile termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü haldeki bir sistem, çevresinin sıcaklığı ve basıncındadır (çevresi ile ısı ve mekanik dengededir), çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjiye sahip değildir (hızı ve bir referans noktasına göre yüksekliği sıfırdır) ve çevresi ile tepkimeye girmez (kimyasal olarak korunmuştur). Aynı zamanda sistem ve çevresi arasında dengelenmemiş manyetik, elektrik ve yüzeysel gerilme etkileri yoktur. Ölü haldeki bir sistemin özellikleri  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $h_0$ ,  $u_0$  ve  $s_0$  özelliklerinde olduğu gibi sıfır alt indisi ile gösterilir ve ölü haldeki kullanılabilirliği sıfırdır.

#### **4.4.2 Tersinmezlik**

Bir hal değişimi sonunda elde edilebilecek tersinir iş ile ( $W_{tr}$ ), gerçekte elde edilen iş ( $W_y$ ) arasındaki fark tersinmezlik olarak ifade edilir ve 'I' ile gösterilir. Tersinmezlik

sürtünme, gazların ani genişmesi gibi faktörlere bağlı entropi üretimiyle ilişkilidir. Bir sistemin tersinmezliği Guy-Stodola teoremiyle (eşitlik 4.14) gibi ifade edilmektedir;

$$I = W_{tr} - W_y = T_0 S_{üretim} \quad (4.14)$$

#### 4.4.3 Entropi [85, 94, 95]

Entropi kavramı bir sistemin mikroskopik düzeyde düzensizliğini temsil eden bir büyüklüktür. Sistemdeki entropi üretiminin artması tersinmezliklerin artması anlamına gelmektedir ki bu da sistemin faydalı iş yapma kapasitesinin azalması anlamına gelir. Entropinin tanımı Clasius eşitsizliğiyle (eşitlik 4.15) ifade edilmektedir;

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (4.15)$$

Kelvin-Planck ifadesine göre tek bir çevrim gerçekleştirerek çalışan bir sistem, tek bir IED ile ısı alışverişinde bulunarak net iş üretemez. Dolayısıyla sistem sınırından olan toplam ısı geçişinin pozitif olması olanaksızdır. Mutlak sıcaklık ise pozitif değerli olduğundan yukarıdaki ifade tersinir veya tersinmez tüm termodinamik çevrimler için geçerlidir. Hem sistemde, hem tersinir makinada herhangi bir tersinmezlik olmaması durumunda ise toplam ısı geçişi pozitif olmayacağı gibi negatif değerde de olmayacak, sıfıra eşit olacaktır. Dolayısıyla içten tersinir durum için entropi ifadesi denklem (4.16) halini alacaktır;

$$\oint \left[ \frac{\delta Q}{T} \right]_{içten, tr} \leq 0 \quad (4.16)$$

Çevrim boyunca toplamı sıfıra eşit olan bu ifade hal değişiminin izlediği yoldan bağımsız, hale bağlı bir özelliktir ve entropi (S) olarak adlandırılmaktadır. Entropinin matematiksel ifadesi eşitlik (4.17)'de verilmiştir.

$$dS = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{içten, tr} \quad (4.17)$$

Bir hal değişimi sırasında sistemin entropi değişimi bu formülün integralinin alınmasıyla eşitlik (4.18) şekline elde edilir;

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{içten,tr}} \quad (4.18)$$

Bu ifadenin integral hesabı zor bir işlemdir. Q değerinin T'ye bağlı bir değişken olması ve değişken sıcaklıklarda nasıl bir değişim gösterdiğinin belirlenmesindeki güçlüktür. Sabit sıcaklıktaki içten tersinir hal değişimleri için entropi değişimi ifadesi eşitlik (4.19)'daki gibidir. Burada  $T_0$  çevre sıcaklığını gösterir.

$$\Delta S = \frac{Q}{T_0} \quad (4.19)$$

Entropinin tanımı ifadesi ve Clasius ifadesinin bir ortak sonucu olarak entropinin artışı ilkesi diye adlandırılan bir eşitsizlik ortaya çıkmaktadır. Bu eşitsizlik denklem (4.20) veya (4.21) şeklinde gösterilir. Toplam entropi değişimi sistem ve çevresinin entropi değişimlerinin toplamına eşittir.

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (4.20)$$

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0 \quad (4.21)$$

Bir hal değişimi sırasında sistem ve çevrenin toplam entropi değişimi sıfır ise hal değişimi tersinir, sıfırdan büyük olduğu durumda tersinmezdir. Bir sistemdeki ısı enerji artışı ve tersinmezlik yaratan sürtünmeler entropi artışına sebep olan faktörlerdir. Kapalı bir sistemdeki toplam entropi artışını veren ifade eşitlik (4.22)'de verilmiştir. Burada  $Q_R$  sistem ile çevresi arasındaki ısı transfer miktarını,  $T_R$  ise referans çevre sıcaklığını gösterir.

$$\Delta S_{\text{toplam}} = m(s_2 - s_1) + \sum \frac{Q_R}{T_R} \quad (4.22)$$

Bir kontrol hacmindeki entropi üretimini veren ifade sistem çalışma koşullarına bağlı farklılıklar göstermektedir. Kontrol hacminin birden çok IED'yla ısı alışverişinde bulunması durumunda birim zamanda entropi üretimi eşitlik (4.23)'teki gibi, düzgün akışlı açık bir sistem durumunda eşitlik (4.24)'teki gibi ifade edilir. Sürekli akışlı açık sistemler için eşitlik (4.25) ifadesi kullanılır.

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \frac{dS_{KH}}{dt} + \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \quad (4.23)$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = (\dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_1 s_1)_{KH} + \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \quad (4.24)$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_\zeta s_\zeta - \sum \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}_R}{T_R} \quad (4.25)$$

Sadece çevre ile ısı alışverişinde bulunan bir giriş ve bir çıkışa sahip sürekli akışlı açık sistem için eşitlik (4.26) şekline dönüşür. Burada  $T_{\text{çevre}} = T_0$ 'dır.

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m} (s_\zeta - s_g) + \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \geq 0 \quad (4.26)$$

Tersinmez hal değişimi için entropi üretimi üstte verildiği gibi (4.26) eşitsizliği olarak ifade edilir. Hal değişiminin tersinir olması durumunda eşitlik kullanılır.  $S_{\text{üretim}}$ 'in sıfırdan küçük olması durumu hal değişiminin gerçekleşemeyeceğini ifade eder. Üretilen entropiye bağlı hal değişimi gerçekleşme şekli aşağıdaki ifadeyle sınıflandırılır:

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} ;$$

$$\Delta S_{\text{toplam}} > 0 \quad \text{Tersinmez hal değişimi}$$

$$\Delta S_{\text{toplam}} = 0 \quad \text{Tersinir hal değişimi}$$

$$\Delta S_{\text{toplam}} < 0 \quad \text{Gerçekleşmesi olanaksız hal değişimi}$$

Entropi bir özellik olmasından dolayı T-s bağıntıları ile diğer özelliklerle ilişkilendirilebilir. Bu bağıntılar eşitlik (4.27) ve (4.28)'deki gibidir.

$$T ds = du + P dv \quad (4.27)$$

$$T ds = dh + v dP \quad (4.28)$$

Sıkıştırılmaz maddelerin hal değişimi sırasındaki entropi miktarındaki değişim eşitlik (4.29)'da saf maddeler için (4.30)'de verilmiştir.

$$s_2 - s_1 = c_{\text{ort}} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (4.29)$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 \quad (4.30)$$

#### 4.4.4 Ekserji Türleri ve Ekserji İfadeleri [85, 94, 95]

Bir sistemin sahip olduğu toplam ekserji fiziksel, kinetik, potansiyel ve kimyasal ekserji olarak dört bölümden oluşur. Toplam ekserjiyi veren ifade denklem eşitlik (4.31)'deki gibidir.

$$Ex = Ex_{PH} + Ex_{KE} + Ex_{PE} + Ex_{CH} \quad (4.31)$$

Fiziksel ekserjinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel ifade eşitlik (4.32)'de verilmiştir.

$$Ex_{PH} = (U - U_0) + P_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0) \quad (4.32)$$

Kinetik ekserjiyi veren ifade eşitlik (4.33)'te

$$Ex_{KE} = \frac{1}{2} m v^2 \quad (4.33)$$

Potansiyel ekserji veren ifade eşitlik (4.34)'te

$$Ex_{PE} = m g z \quad (4.34)$$

Kimyasal ekserjiyi veren ifade (4.35)'te verilmiştir. Burada  $Ex_R$  kimyasal bileşenlerin standart reaksiyon ekserjisini,  $Ex_N$  kimyasal bileşenlerin molar kesrine ve çevre şartlarına bağlı kimyasal ekserjisini verir.

$$Ex_{CH} = Ex_R + Ex_N \quad (4.35)$$

Sistemin toplam ekserjisi ve ekserji değişimleri incelenirken yukarıda bahsedilen ekserji türlerinin toplam ekserji üzerindeki etki oranları sistemin tasarımına, çalışma şekline, akışkan hızlarına, gerçekleşen kimyasal olaylara bağlı olarak farklılıklar gösterir. Bu çalışmada fiziksel ekserjinin diğer ekserji türlerine göre sistem ekserjisini etkileyen en temel parametre olmasından dolayı sadece fiziksel ekserji incelenmiştir. Buna göre birim kütle için fiziksel ekserji değeri sistemin kapalı bir sistem olması durumunda  $\phi$  ve açık olması durumunda  $\psi$  ile gösterilmiştir. Kapalı bir sistemde birim kütle için fiziksel ekserji eşitlik (4.36) ile açık bir sistemde ise eşitlik (4.37) ile ifade edilir. Eşitliklerde yer alan sıfır(0) indisi çevre halini belirtir. Burada  $\phi$  ve  $\psi$  ifadelerinin birimleri (kJ/kg)'dir.

$$\phi = (u - u_0) + P_0 (v - v_0) - T_0 (s - s_0) \quad (4.36)$$

$$\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (4.37)$$

Bir sistemin fiziksel ekserji değişimine eşitlik (4.36) ve (4.37)'de verilen akış ekserjileri yanında sistem sınırında gerçekleşen iş ve ısı geçişi de etki etmektedir. Sistem sınırında gerçekleşen iş aktarımının ekserjisi kendisine eşittir. Sistem sınırından içeriye veya sistem sınırından dışarıya ısı aktarımı olması durumunda ısı transferi kaynaklı ekserji ısının kendisiyle, evre sıcaklığı ve sistem sıcaklığına bağlı carnot veriminin çarpılmasıyla elde edilir. İş ekserjisi eşitlik (4.38)'de ısı ekserjisi ise (4.39)'da verilmiştir.

$$Ex_w = W \quad (4.38)$$

$$Ex_q = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (4.39)$$

#### 4.4.5 Yakıt-Ürün Prensibi ve II. Yasa Verimi

Herhangi bir sistemin verimini hesaplamak için sisteme verilenlere karşılık, sistemden elde edilenleri de ele almak gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle elde edilen değeri (ürün) bu amaçla harcanan değer (yakıt) ile oranlamak gerekir. İncelenen bir sisteme iş, ısı ve akış şekliyle farklı şekillerde ve miktarlarda enerji girip çıkabilir. Bu ifadenin uygulanmasında en önemli nokta yakıt ve ürün olarak sisteme girip çıkanları doğru belirlemektir. Örneğin pompa, fan, kompresör gibi enerji tüketen cihazlar, akışkanların şartlandırılması için kullanılırlar ve bu cihazlara verilen elektrik enerjisi yakıt olarak ifade edilir. Öte yandan ısı değiştirici sistemlerinde bir akışkandan ötekine ısı aktarımı amaçlanır. Bu işlem gerçekleştirilirken primer devre olarak kabul edilen ısı aktaran akışkandan kazanılan enerji yakıt, sekonder devredeki akışkanın kazandığı enerji ise üründür. Yakıt-ürün prensibine göre yakıt değeri ürün değerinden hiçbir zaman büyük olmaz ve bu durum verim ifadesini ortaya çıkarır.

1. yasa verimini incelemek mühendislik sistemlerinin performansını belirlemede yetersiz kalmaktadır. Bir sistemin veriminin incelenmesinde sisteme iş, akış ve ısı olarak giren ve çıkan ekserjilerin belirlenmesi gerekir. Bu yolla sistemdeki tersinmezlikler de ele alınmiş olacak ve ideal bir prosese göre performansı karşılaştırılabilecektir. Buna göre yakıt-ürün prensibine göre 2. yasa verimi eşitlik (4.40)'ta verildiği şekilde hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{Ex_{\text{ürün}}}{Ex_{\text{yakıt}}} \quad (4.40)$$

#### 4.4.6 Ekserji Kaybı ve Yıkımı

Termodinamiğin 1. yasası kütlenin ve enerjinin korunumuna dayanarak geliştirilmiş bir ifadedir. Bu ilkeler ile ele alınan herhangi bir proseste var olan kütle ve enerjinin varken yok edilemeyeceği yokken de var edilemeyeceğini belirtir. Ancak termodinamiğin 2. yasasında ele alınan ekserji ifadesi korunamayan bir değerdir. Bir sistemde başlangıçta var olan ekserji başka bir sisteme veya çevreye doğru ekserji kaybına uğramaktadır. Diğer yandan sistemdeki tersinmezlikler ise ekserji yıkımı diye adlandırılan ekserji kaybından bağımsız bir ifadeyi ortaya çıkarır. Diğer bir ifadeyle ekserji yıkımı sistemdeki tersinmezliklerin bir ölçütüdür. Ekserji yıkımı bir prosesin gerçekleşmesi sırasında, çevre sıcaklığına ve üretilen entropiye bağlı yok edilen ekserjiyi belirtir. Bu ifade tersinmezliklerin olmadığı ideal prosesler dışında tüm sistemlerde vardır ve eşitlik (4.41)'de gösterildiği üzere çevre sıcaklığı ve entropi üretiminin çarpımıyla elde edilir.

$$I = Ex_{\text{yıkım}} = T_0 S_{\text{üretim}} \geq 0 \quad (4.41)$$

Bir sistemin ekserji dengesi yakıt - ürün prensibine bağlı eşitlik (4.42)'de verildiği gibi yazılabilir. Bu denklem yardımıyla proses esnasında gerçekleşen ekserji yıkımın ve ekserji kaybı belirlenebilir.

$$Ex_{\text{yakıt}} = Ex_{\text{ürün}} + Ex_{\text{yıkım}} + Ex_{\text{kayıp}} \quad (4.42)$$

### SİSTEMİN ANALİZİ

Bu çalışmada; Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde deneysel amaçlı kurulmuş Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi (YYEE) ısıtma sistemi incelenmiştir. Çalışma kapsamında sistem bünyesinde yer alan IP, güneş kolektörleri, gizli ısı deposu, akümülatör tankı ve duvardan ısıtma soğutma sisteminin enerjetik ve ekserjetik analizi yapılmıştır. Sistem elemanlarının genel özellikleri Bölüm 2'de , bu elemanların birlikte kullanıldığı hibrit ısıtma sistemlerin genel özellikleri ve bu konudaki literatür özeti Bölüm 3'te verilmiştir. Analizde kullanılan bağıntılar ise Bölüm 4 kapsamında incelenmiştir.

YYEE, YTÜ "Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenen "Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası, Isıl Enerji Depolama Sistem Bileşenleri ile Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma Amaçlı Oluşturulacak Bileşik Yenilenebilir Enerji Sisteminin Modelleme ve Analizlerinin Gerçekleştirilmesi, Deneysel Olarak İncelenmesi" isimli projenin bütçesiyle hazırlanmış olan bir mahaldir. YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi'ndeki İstanbul Kız Liseliler Kız Öğrenci Yurdu'nun yanında iki katlı ve toplam 46 m<sup>2</sup> taban alanına sahip konteyner şeklinde bir yapıdır.

#### 5.1 Sistemin Tanıtılması

Çalışma kapsamında incelenen deney düzeneği güneş kolektörleri, IP, GID ve DISS olmak üzere dört temel bileşenden meydana gelmektedir. YYEE (Şekil 5.1) bünyesinde kurulu sistem, içerisinde bulunduğu prefabrik yapının, aynı zamanda yan tarafında

bulunan İstanbul Kız Liseliler Kız Öğrenci Yurdu'nun ısıtma soğutma ihtiyaçlarını karşılamaktadır.



Şekil 5.1 Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi (YYEE)

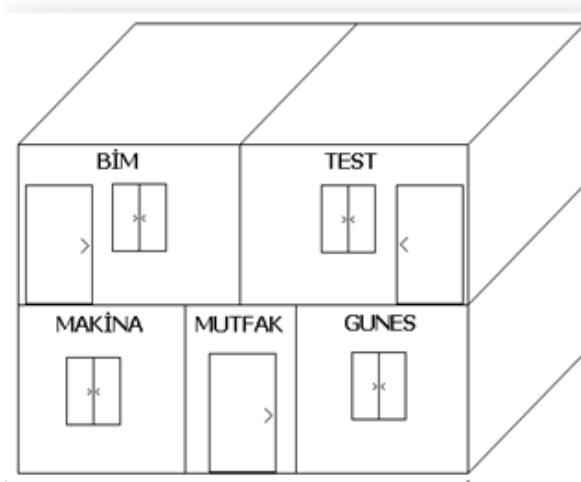
İncelenen sistem Güneş Kollektörleri-GID, GID-IP, IP-Akümülatör Tankı, Akümülatör Tankı-DISS şeklinde dört kapalı devreden oluşmaktadır. Sistemde ayrıca akışkan dolaşımını sağlamak amacıyla 3 adet 120 W, 1 adet de 100 W gücünde pompa yer almaktadır. Çalışma kapsamında IP tek bir bileşen olarak ele alınıp IP devresinin analizi yapılmamıştır. Deney düzeneğinde IP buharlaştırıcısına alternatif ısı kaynağı olarak GID incelenmiş olup toprak devresi ele alınmamıştır. Çalışmanın ana konusunu oluşturan GID şarj (ısı yüklenmesi) ve deşarj (ısı çekilmesi) şeklinde iki ayrı çalışma şartında incelenmiştir. Bu bağlamda GID şarj periyodunda güneş kollektörünün ve GID şarjının analizleri yapılmıştır. GID deşarj periyodunda ise IP, akümülatör tankı, DISS ve GID deşarjının analizleri yapılmıştır.

Sistemde şarj sürecinde GID'nu besleyen her biri 1,62 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip 2 adet düzlemsel güneş kollektörü kullanılmıştır. Sistem kuruluşunda toplam 3 adet kollektör olmasına rağmen 1 kollektörün arızalı olmasından dolayı deneysel çalışma süresince 2 adet düzlemsel güneş kollektöründen faydalanılmıştır.

Deşarj sürecinde ise GID'ndan çekilen ısı, IP'nın eşanjörüne aktarılır. Bu eşanjör ısıyı çeker ve soğutucu akışkanın gaz fazına gelmesini sağlar. Gaz halindeki soğutucu akışkanının sıcaklığı ve basıncı, kompresörde sıkıştırma işlemiyle yükseltilir ve akışkan yoğuşturucuya geçer. Burada yoğuşma gerçekleşirken ortaya çıkan ısı Akümülatör

Tankı-DISS devresine iletilir. Soğutucu akışkan da kısılma vanasından geçerek çevrimi sürdürür. Akümülatör tankı bir denge tankı olup sistemde aynı zamanda eşanjör görevi de görmektedir. IP'ndan kazanılan enerjinin DISS'ne iletilmesi bunun yanında ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması bu sistem elemanı vasıtasıyla sağlanmaktadır.

YYEE beş odadan oluşan bir yapıdır. Verilerin toplanması ve analizlerin yapılmasını kolaylaştırmak amacıyla bu odalara isim verilmiş olup odaların yapı üzerindeki yerleşimi Şekil 5.2'de görülmektedir.

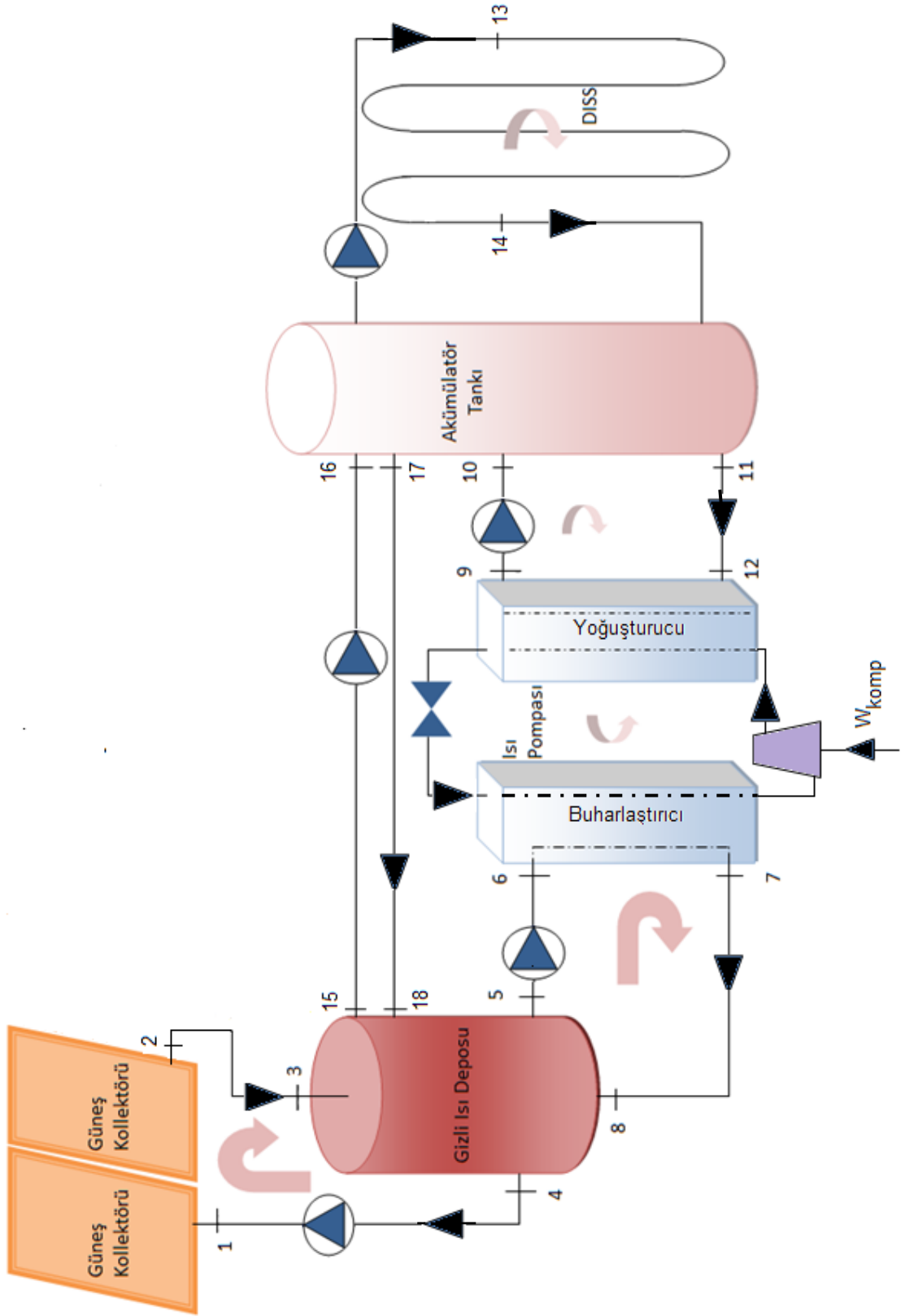


Şekil 5.2 Odaların isimlendirilmesi [67]

Bu çalışmada oluşturulan hibrid ısıtma sisteminin mahal ısıtmada kullanılabilirliği incelenmiştir. Sistemde GID'dan faydalanarak hem güneş enerjisinden faydalanabilirliğin artırılması, hem ısı pompasının performansının artırılması aynı zamanda da mahal değişken ısı yük taleplerini herhangi ilave bir sisteme ihtiyaç duymadan karşılayabilecek sürdürülebilir bir sistem elde edilmesi amaçlanmıştır. Sistem elemanlarına ait teknik bilgiler ilgili kısımlarda verilmiştir.

YYEE'nin ısıtma ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklı hibrid ısıtma sistemi kullanılmıştır. Sistem temel olarak daha önce de belirtildiği gibi 4 devreden oluşmaktadır (Şekil 5.3).

Hibrid ısıtma sisteminin performansını yüksek tutmak amacıyla; devrelerde bulunan pompalar on/off kontrol düzeneğiyle donatılmış olup, değişken iklim koşullarına, mahal ısı yüklerine ve depolanan ısı enerjisi miktarlarına göre çalışıp durmaktadırlar. Sistem kontrol düzeneği ile ilgili bilgi Bölüm 5.1.1'de verilmiştir.



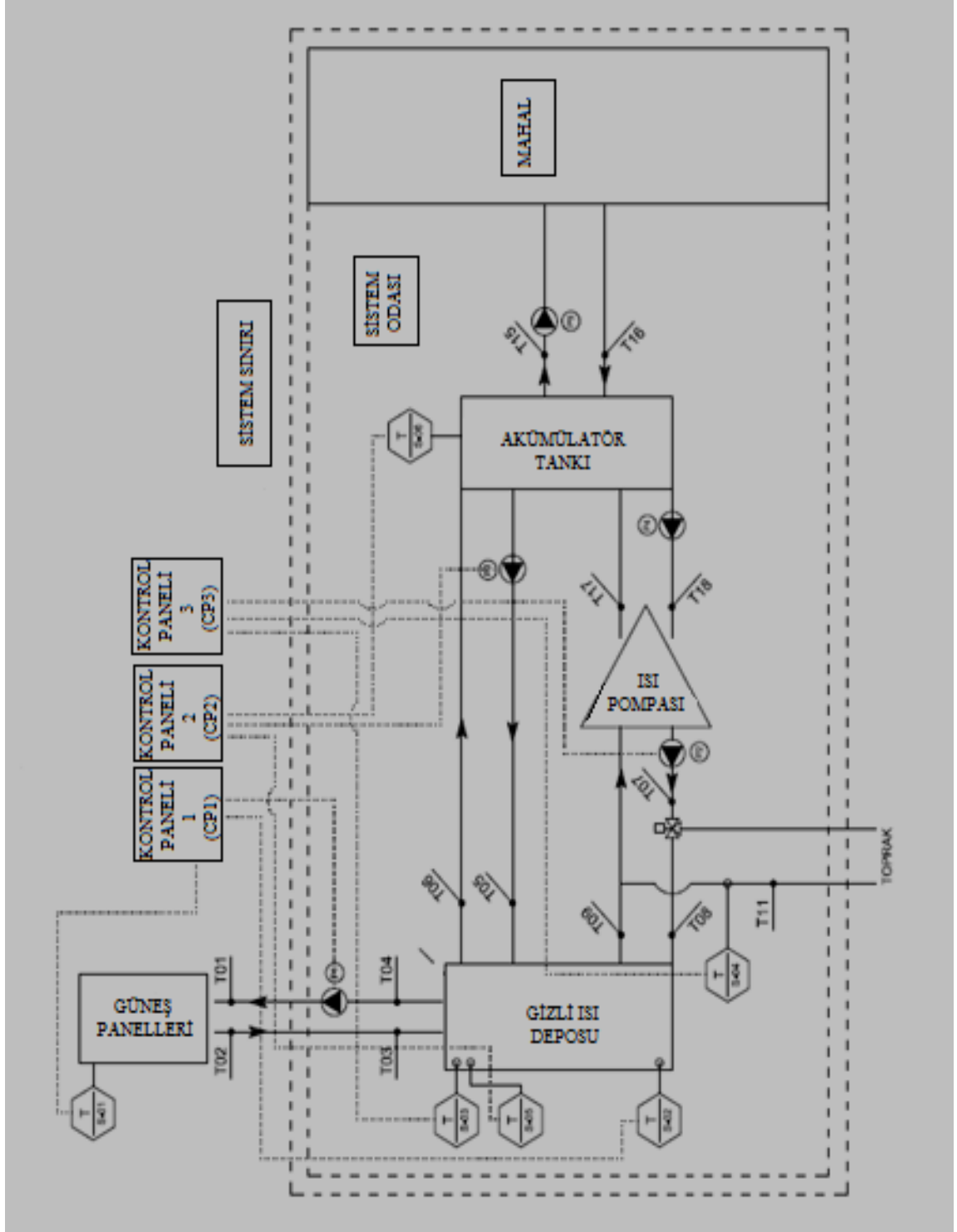
Şekil 5.3 Sistem şeması

### 5.1.1 Sistem Kontrolü ve Veri Toplama Düzenegi

Sisteme yerleştirilen sensörler ve data loggerler vasıtasıyla sistemden anlık olarak veri toplama ve değerlendirme yapılabilir. Sistemde beş datalogger ile yirmibir noktadan veri toplanmaktadır. Aynı zamanda HelioTerm Tele Control Programı ile IP'na ait tüm veriler anlık olarak kaydedilebilmektedir. Sistem karmaşık bir yapıda olduğu için otomatik kontrollü olarak çalışmaktadır. Sistem kontrol komutları Şekil 5.4'te kontrol şeması ise Şekil 5.5'te verilmiştir. CP1 olarak adlandırılan kontrol paneli, güneş kollektörü-GID hattındaki pompayı, CP2 olarak adlandırılan kontrol paneli GID-Akümülatör tankı hattındaki pompayı, CP3 olarak adlandırılan panel ise IP-GID/Toprak hattındaki pompayı kontrol etmektedir. Bu hattaki kontrolde toprak hattı ve GID deposundan anlık sıcaklık ölçümleri yapılarak üç yollu vananın açılıp kapanmasıyla yüksek sıcaklıkta olan kaynaktan ısı çekilmesi sağlanmaktadır. Bu yolla IP'nın performansını arttırmak amaçlanmıştır.

CP1	EĞER } $VE T_{s-01} - T_{s-02} < 85 \text{ }^\circ\text{C}$ } ► P1 (AÇIK) EĞER } $VE T_{s-01} - T_{s-02} < 6 \text{ }^\circ\text{C}$ }
	EĞER } $VE T_{s-01} - T_{s-02} < 3 \text{ }^\circ\text{C}$ } ► P1 (KAPALI) EĞER } $VE T_{s-01} < 7 \text{ }^\circ\text{C}$ }
CP2	EĞER } $VE T_{s-03} \leq 35 \text{ }^\circ\text{C}$ } ► P2 (AÇIK) EĞER } $VE T_{s-03} - T_{s-04} > 2 \text{ }^\circ\text{C}$ }
	EĞER } $T_{s-03} - T_{s-04} \leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$ } ► P2 (KAPALI)
CP3	EĞER } $VE T_{s-03} \leq 35 \text{ }^\circ\text{C}$ } ► P3 (AÇIK) EĞER } $VE T_{s-03} - T_{s-04} > 2 \text{ }^\circ\text{C}$ }
	EĞER } $T_{s-03} - T_{s-04} \leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$ } ► P3 (KAPALI)

Şekil 5.4 Sistem kontrol komutları



Şekil 5.5 Sistem kontrol şeması

## 5.1.2 Sistem Elemanları

İncelenen sistemi oluşturan güneş kolektörleri, IP, GID, DISS ve akümülatör tankına ait teknik özellikler bu kısımda anlatılacaktır.

### 5.1.2.1 Güneş Kolektörleri

Deney düzeneğinde 2 adet herbiri 1.62 m<sup>2</sup> alana sahip kolektör kullanılmış olup toplam kolektör yüzey alanı 3,24 m<sup>2</sup>'dir. Güneş kolektörlerinin verilen özelliklerine (Çizelge 5.1) bağlı olarak kolektörden elde edilen ısı kazanç eşitlik (5.1) ve kolektör verimi eşitlik (5.2) ile hesaplanabilmektedir. Burada I<sub>t</sub>; m<sup>2</sup>'ye gelen W cinsinden güneş ışınımını, T<sub>o</sub>; çevre sıcaklığını vermektedir. Güneş ışınımı ve çevre sıcaklığı değerleri sistemde yer alan sensörler vasıtasıyla ölçülebilmektedir. τα; kullanılan güneş kolektörüne ait geçirgenlik ve yutma katsayılarının çarpımıyla elde edilmiş olup cam örtü geçirme-yutma katsayısı olarak ifade edilmektedir ve kolektör yüzeyine gelen ışınımın ne kadarının kolektör tarafından kazanıldığıнын bir ölçütüdür. Geçirme-yutma katsayısı 0-1 arasında bir değerdedir. F<sub>R</sub> ise güneş kolektörü eşanjör ısı verimini ifade etmektedir ve gerçek haldeki faydalı enerjinin yutucu yüzeyin her noktasının akışkan sıcaklığında olması durumundaki faydalı enerjiye oranıdır. U<sub>L</sub> ifadesi W/m<sup>2</sup>K cinsinden kolektör malzemesine bağlı kolektör toplam ısı kayıp katsayısını vermektedir. Eşitlik (5.2)'de ilk kısım güneş enerjisinden kazanılabilecek enerjiyi ikinci kısım ise çevreye kaybedilecek enerjiyi vermektedir. Q<sub>u</sub> ifadesi kolektörlerden kazanılabilecek faydalı (net) enerji miktarını ifade etmektedir. Eşitlik (5.4) ise kolektörden sağlanacak net enerji kazancının kolektör yüzeylerine gelen toplam güneş enerjisine oranlanmasıyla kolektör veriminin eldesini veren ifadedir.

$$Q_u = A_{koll} F_R \left[ I_t \left( (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_o) \right) \times 3.6 \right] \quad (5.1)$$

$$\eta_{koll} = \frac{Q_u}{A_{koll} I_t} \quad (5.2)$$

Kullanılan güneş kolektörleri alüminyum olup düz plakalı tiptedir. Güneş kolektörlerine ait teknik özellikler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kollektör Fiziksel Özellikleri

Sembol	Fiziksel Özellik	Değeri	Birimi
s	Panel Eğim Açısı	43	°C
A	Azimut Açısı	0	°
n <sub>koll</sub>	Kollektör Adedi	2	adet
f <sub>koll</sub>	1 adet Kollektörün Alanı	1,62	m <sup>2</sup>
A <sub>koll</sub>	Toplam Kollektör Alanı	3,24	m <sup>2</sup>
F <sub>R</sub>	Kollektör Eşanjör Isı Verimi Katsayısı	0,86	-
U <sub>L</sub>	Kollektör Toplam Isı Kayıp Katsayısı	6,9	W/(m <sup>2</sup> K)
(τα)	Ortalama Geçirme Yutma Katsayısı	0,8	-
η <sub>koll-GID</sub>	Kollektörden Depoya Isı Aktarım Verimi	0,85	-

Güneş kolektörleri GID'na seri olarak bağlanmış olup kapalı bir çevrim şeklinde güneş kolektörlerinden kazanılan enerji gizli ısı deposuna aktarılmaktadır. Güneş kolektörlerinden GID'na enerji aktarımı yaklaşık 0.85 verimle gerçekleşmektedir. Devre üzerinde akışı sağlayan 100 W gücünde bir pompa mevcuttur. Devrede yer alan pompa kontrol sistemi tarafından çalıştırılıp durdurulmaktadır. Pompanın çalışması veya durması (5.3) ve (5.4)'te verilen eşitsizliklere bağlı gerçekleşmektedir;

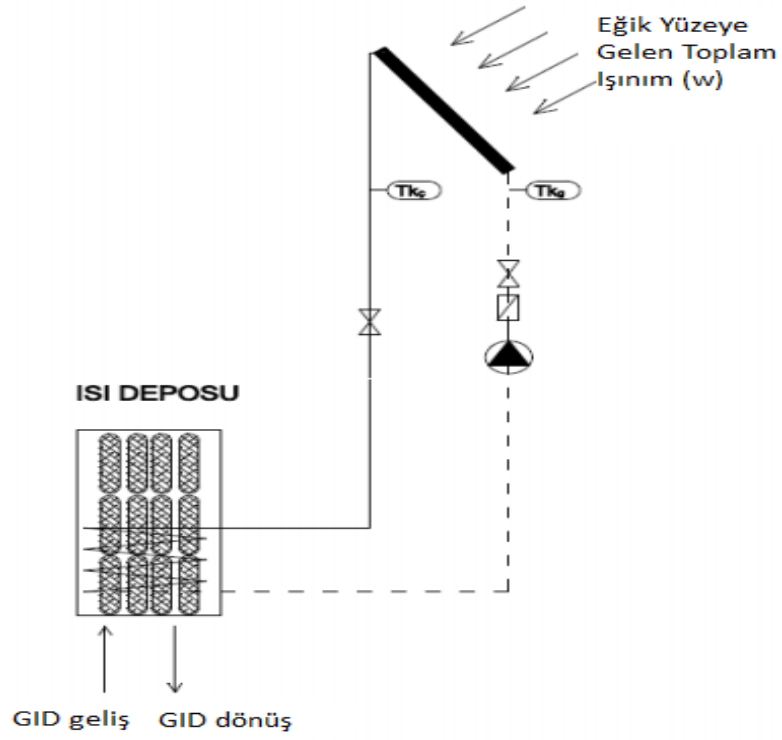
$$T_{koll} > T_{GID} + 3^{\circ}C \quad \text{Çalıştır} \quad (5.3)$$

$$T_{koll} \leq T_{GID} + 3^{\circ}C \quad \text{Durdur} \quad (5.4)$$

Sistemde yer alan kolektörlere ait görünüm Şekil 5.6'da, güneş kolektörlerinin şematik çalışma prensibi ise Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.6 Sistemde yer alan güneş kollektörleri



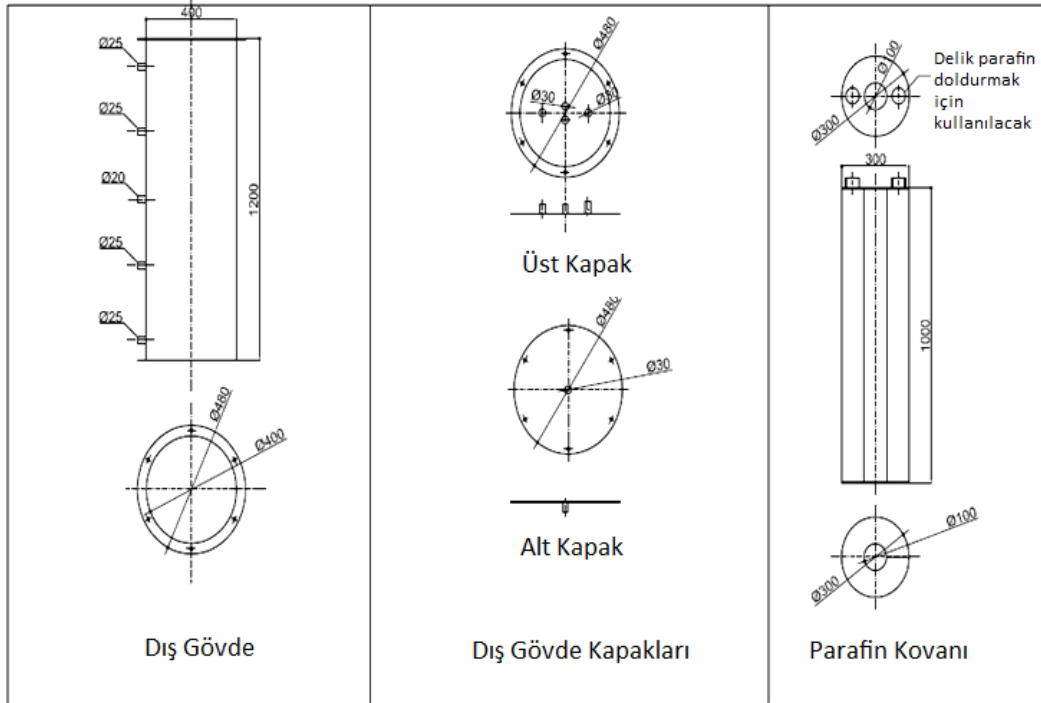
Şekil 5.7 Kollektör-GID devre şeması

#### 5.1.2.2 Gizli Isı Deposu (GID)

Sistemde kullanılan GID çelik malzemeden yapılmış, ısı kazançlarını arttırmak amacıyla siyaha boyanmıştır. GID güneş kollektörlerinden kazanılan ısının depolandığı sistem elemanıdır. Burada depolanan enerji IP'na kazandırılarak IP'nın performansının artırılması amaçlanmıştır. Bundan dolayı GID tüm sistem performansı üzerinde en önemli etkiye sahip sistem elemanı durumundadır.

Sistemde GID malzemesi olarak Türkiye’de kolayca bulunabilen 42-44°C sıcaklık aralığında faz değiştiren parafin kullanılmıştır. Parafin 0.22 m<sup>3</sup> hacminde bir dış gövde içerisine yerleştirilmiş 0.063 m<sup>3</sup> hacmindeki parafin kovani içerisinde yer almaktadır. GID’nun geri kalan hacmi ITA olarak kullanılan 70 l hacminde su ile doludur.

ITA’nın dolaşımı parafin kovani ile dış gövde arasında yer alan boşlukta gerçekleşmektedir. Isı transfer yüzeyini arttırmak için parafin kovani ortasında 0.1 m çapında boşluk mevcuttur. GID teknik izimi Şekil 5.8’de GID’na ait izolasyon yapılmadan önceki görünümler Şekil 5.9’da, izolasyonlu görünümü ise Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.8 GID’su teknik izimi



Şekil 5.9 GID izolasyonsuz görünümleri



Şekil 5.10 Sistemde kullanılan GID izolasyonlu görüntüsü

### 5.1.2.3 Isı Pompası (IP)

IP devresi tümü IP ünitesi içerisinde yer alan buharlaştırıcı, kısılma vanası, yoğuşturucu ve kompresörden meydana gelmektedir. IP cihazı, HELIOTERM firmasına ait HP08S10W-R-WEB modeli olup teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. IP devresinde soğutucu akışkan olarak R410 A kullanılmaktadır. Soğutucu akışkanın devre içerisinde dolaşımı scroll tip kompresör ile sağlanmaktadır. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu üniteleri çelik saçtan imal edilmiş olup izolasyonludur. IP’nın sistemdeki görünümü Şekil 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 IP cihazı katalog verileri

Maksimum Sıcaklığı : 55°C	Maksimum İşletim Basıncı : 40 bar
Cihaz Isıtma Kapasitesi: 8,13 kW	Cihaz Soğutma Kapasitesi: 6,43 kW
Isıtma Sezonu Su Rejimi: 35/30°C	Soğutma Sezonu Su Rejimi: 18/23°C
COP <sub>H</sub> : 4.78	COP <sub>C</sub> : 3.78
Soğutucu Akışkan:R410 A	Cihazın Tükettiği Enerji: 1.7 kW



Şekil 5.11 Sistemde kullanılan HELIOTERM marka IP'na ait görünüm

#### 5.1.2.4 Akümülatör Tankı

Sistemde kullanılan akümülatör tankı IP'dan elde edilen mahal ısı yükü fazlası ısının depolanması amacıyla kullanılan duyulur ısı depolama tankıdır.



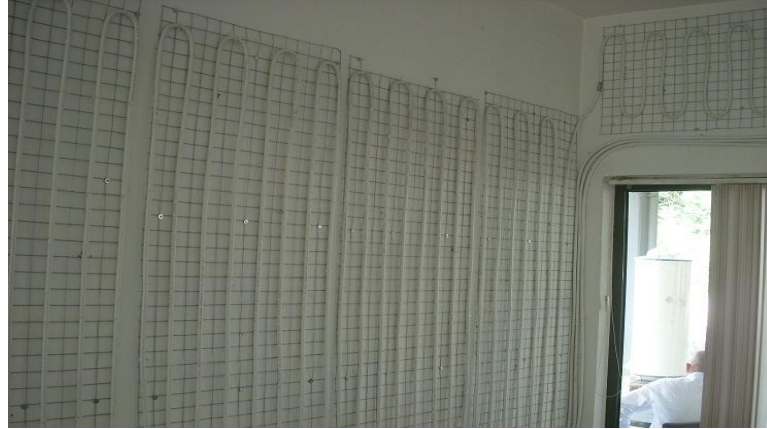
Şekil 5.12 Sistemde kullanılan akümülatör tankına ait görünüm

Akümülatör tankının sistemdeki görevi ısıtma amaçlı hazırlanmış suyun sürekli olarak hazır bulunmasını sağlamaktır. Akümülatör tankı ayrıca IP ile DISS arasında ısı aktarımını gerçekleştiren bir ısı değiştirici niteliğindedir. 500 l hacminde çelik malzemedan yapılmış tank silindirik şekillidir. İçerdiği akışkandan çevreye olan ısı kayıplarını düşürmek amacıyla izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. Akümülatör tankına ait görünüm Şekil 5.12’de verilmiştir.

#### 5.1.2.5 Duvardan Isıtma-Soğutma Sistemi (DISS)

Çoğunlukla kullanılan radyatörlü ısıtma sistemlerinde radyatöre gelen su sıcaklığı 80-90°C aralığındadır. Oda içerisinde radyatörlerin bulunduğu bölge çabuk ısınır ve sıcak hava hızla odanın üst kısımlarına yükselir. Bu sistemlerde tavan aşırı derecede ısınırken taban sıcaklığı istenilenden daha soğuk kalır. Homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanamadığından iyi bir ısınma gerçekleşemez ve fazla miktarda enerji tüketimi olur. DISS kullanıldığında ise boruların içinden geçen suyun sıcaklığı 35-45°C arasındadır. Oda içerisindeki duvarlara dağıtılan borular, ısıyı odanın her tarafına eşit olarak yayar. Mahalde 22-23°C mertebesinde homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanır [67].

Sistemde kullanılan duvar panelleri akümülatör tankından kazanılan ısıyı mahale aktaran ve dağıtan elemanlar olarak ısı değiştirici niteliğinde çalışmaktadır. Paneller sistem tarafından ısıtılıp soğutulan her bir odanın ısı kayıp ve kazançları belirlenerek tasarlanmış ve döşenmiştir. Panellerin mahal duvarındaki görünümü Şekil 5.13’te verilmiştir. Çizelge 5.3’te uygulama yapılan mahaller ve duvar paneli olarak döşenmiş olan boru serpantinlerin uzunlukları gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Sistemde kullanılan DISS panellerinin görünümü

Çizelge 5.3 DISS Panellerine ait boru uzunlukları [67]

Odalar	Yön	Panel Alanı (m <sup>2</sup> )	Panel Ölçüsü (mm <sup>2</sup> )	Panel Adedi	PE Boru (m)	Toplam PE Boru (m)	
Oda I (Güneş)	KD	0,65	50x130	1	7	7	
		1,50	75x200	1	15	15	
	KB	1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
	GB	1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
	GD	1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
			<b>15,65</b>				<b>142</b>
	Oda II (Test)	KD	0,65	50x130	1	7	7
1,50			75x200	1	15	15	
KB		1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
GB		3,00	150x200	1	25	25	
		3,00	150x200	1	25	25	
GD		1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
			<b>17,15</b>				<b>152</b>
Oda III (Bim)		KD	0,65	50x130	1	7	7
	1,50		75x200	1	15	15	
	KB	1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
	GB	3,00	150x200	1	25	25	
		3,00	150x200	1	25	25	
	GD	1,50	75x200	1	15	15	
		3,00	150x200	1	25	25	
			<b>17,15</b>				<b>152</b>
	Salon	KD	3,36	60x140	4	11	44
KB		11,97	190x70	9	17	153	
GB		0,84	60x70	2	5	10	
		5,32	190x70	4	17	68	
GD		9,31	190x70	7	17	119	
İD		3,36	60x140	4	11	44	
			<b>34,16</b>				<b>438</b>

## **5.2 Yöntem**

Çalışmada ele alınan sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performansları incelenmiştir. Bölüm 5.1.1’de anlatılan anlatıldığı üzere sistem elemanlarına yerleştirilmiş sensörler vasıtasıyla anlık olarak sistem elemanlarına ve ısı transfer akışkanlarına ait fiziksel özellikler toplanabilmektedir. Toplanan veriler DALİ ve TELECONTROL programları vasıtasıyla bilgisayar ekranında görüntülenebilmekte ve kayıt alınabilmektedir.

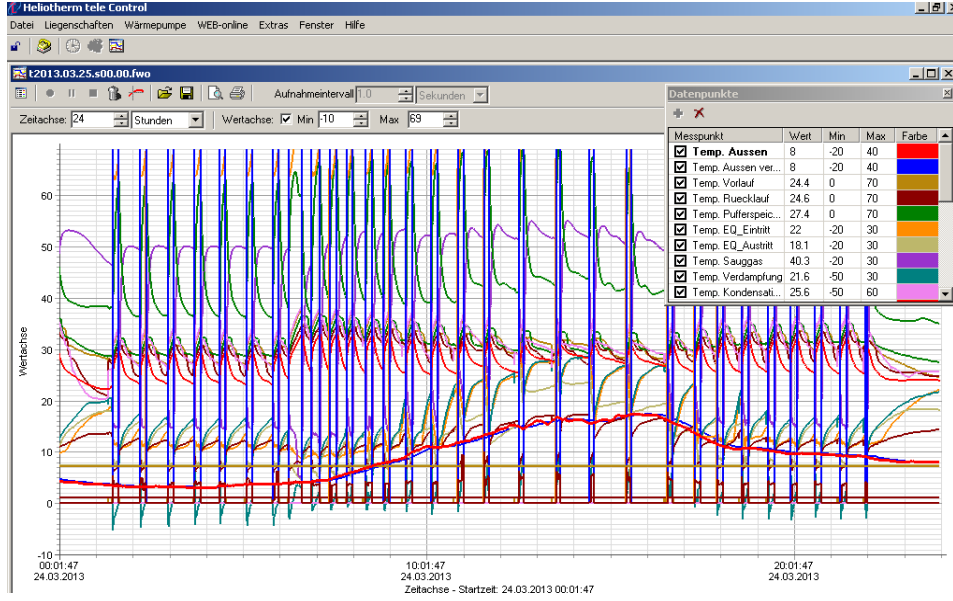
Yapılan analiz GID’nun şarjı ve GID’nun deşarjı olmak üzere iki ana bölüm içermektedir. Bunun sebebi bu iki sistemin birbirinden bağımsız çalışması ve kontrolünün ayrı ayrı gerçekleşmesidir. GID’na ısı yüklenmesi (şarj) sürecinde GID ve güneş kollektörlerinin analizi DALİ programından alınan verilerle sistemin geri kalanının analizi ise her iki programdan alınan verilerin birleştirilmesiyle yapılmıştır. Sistemde bulunan pompalar otomatik kontrolle çalıştığından dolayı incelenen sistem kesintili çalışan bir sistemdir. Ancak veri toplama cihazlarından elde edilen veriler sürekli ve anlık olduğu için pompaların çalışma zamanları belirli koşullara bağlı olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak incelenen sistem elemanlarına ait veriler Microsoft Excel Programı’nda toplanıp, çalışma zamanlarına bakılarak süzölmüştür. Sistem elemanlarına ait oluşturulan kütle, enerji ve ekserji denklilikleri programda oluşturulan akım numaralarına uygulanarak sonuçlar ve grafikler elde edilmiştir.

### **5.2.1 Kullanılan Programlar**

#### **5.2.1.1 Telecontrol Programı**

Telecontrol programı IP üreticisi olan Helioterm Firması’na ait olup dili Almanca’dır. Yapılan çalışmada IP çevrimi incelenmediği için, programdan buharlaştırıcıya GID tarafından ısı aktaran ve buharlaştırıcıdan, akümülatör tankı tarafından ısı çeken akışkana ait fiziksel değerlerin belirlenmesinde faydalanılmıştır. Ancak programın veri kaydedişi .fwo uzantılı xml dosyası biçimindedir. Dolayısıyla verilerin Microsoft Excel Programı’na aktarılması için önce .txt formatına dönüştürülmesi gerekmiştir. Programda saniye, dakika ve saat bazlı veri kaydedilebilmekte ve anlık olarak grafik

vasıtasıyla sistem değişkenlerine ait değerler incelenebilmektedir. Telecontrol Programının analiz sırasında oluşan arayüzü Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5.14 Helioterm Telecontrol programı arayüzü

### 5.2.1.2 Dali Programı

Dali programı ısıtma sisteminin çeşitli noktalarına yerleştirilmiş sensörlerden toplanan verilerin bilgisayar ekranında görüntülenmesini sağlamaktadır. Dali Programı arayüzüne ait ekran görüntüsü Şekil 5.15'te verilmiştir.

Cihazlar	Tarih	Saat	IP-TOP	GID-BT	Depo-Üst	DIS-ORTAM	MAH-BT
0901-00026 (001)	20.05.2013	20:10:18	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
0907-01932 (005)	20.05.2013	20:10:19	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
1004-01052 (002)	20.05.2013	20:10:20	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
0100-41051 (004)	20.05.2013	20:10:21	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
1105-02390 (003)	20.05.2013	20:10:22	24.7	26.3	27.2	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:23	24.7	26.3	27.2	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:24	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:25	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:26	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:27	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:28	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:29	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:30	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:31	24.7	26.3	27.2	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:32	24.7	26.3	27.2	23.7	24.5
	20.05.2013	20:10:33	24.7	26.3	27.1	23.7	24.5

Şekil 5.15 Dali veri toplama programı arayüzü

Beş ayrı arayüzle yapılandırılmış programda ölçüm alınan yirmi noktanın belirli bölümleri görüntülenebilmektedir. Program vasıtasıyla sistem bileşenlerine ait verilerin yanında güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı ve oda sıcaklıklarına ait veriler de anlık olarak veri kaydı yapıp Microsoft Excel formatında veriler kaydedilebilmektedir. Geniş bir veritabanına sahip programda uzun süreli kayıt yapılabilmekte, kaydedilen veriler anlık, dakikalık veya saatlik olarak görüntülenebilmektedir.

### 5.2.1.3 Microsoft Excel

Sistem elemanlarına ait hesaplamaların ve analizin gerçekleştirilmesi amacıyla Microsoft Excel Programı kullanılmıştır. Dali programından yapılan kayıtların Microsoft Excel formatında oluşu, verilerin çokluğu ve süzülme gereksinimi bunun yanında programın elde edilen sonuçları grafiksel olarak görselleştirme özelliği analizin gerçekleştirilmesi için uygun koşulları sağlamıştır. Program kullanılarak sistem elemanlarına ait denklemler girilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra sonuçlara bağlı grafikler elde edilmiştir. GID şarj süreci için oluşturulmuş Microsoft Excel arayüzü Şekil 5.16'da, güneş kollektörüne ait arayüz Şekil 5.17'de, deşarj süreci için oluşturulmuş arayüz ise Şekil 5.18'de verilmiştir.

ok Edilen	Süretilen	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	
			mita(kg/s)	Cita	Wpumpa	Qtr max	Qtr=mita*Cita*(Tita.giriş-Tita.çıkış)	Qkayıp=(Tfdm-To)/Reş	n	Depolanan Enerji(w)	w-kw	Dep
11.47	0.04	0.05	4.18	120.00	1399.46		744.88	114.73	0.85	744.88	1270.00	
12.46	0.04	0.05	4.18	120.00	1467.18		767.45	114.73	0.85	767.45	1270.00	
12.97	0.05	0.05	4.18	120.00	1512.32		767.45	114.73	0.85	767.45	1270.00	
12.71	0.05	0.05	4.18	120.00	1512.32		744.88	114.73	0.85	744.88	1270.00	
12.69	0.05	0.05	4.18	120.00	1534.90		722.30	112.96	0.84	722.30	1270.00	
13.46	0.05	0.05	4.18	120.00	1580.04		744.88	112.96	0.85	744.88	1270.00	
14.80	0.05	0.05	4.18	120.00	1647.76		790.02	111.19	0.86	790.02	1270.00	
15.90	0.06	0.05	4.18	120.00	1715.47		812.59	111.19	0.86	812.59	1270.00	
16.16	0.06	0.05	4.18	120.00	1738.04		812.59	112.96	0.86	812.59	1270.00	
16.36	0.06	0.05	4.18	120.00	1783.19		790.02	112.96	0.86	790.02	1270.00	
16.02	0.06	0.05	4.18	120.00	1783.19		767.45	111.20	0.86	767.45	1270.00	
15.67	0.06	0.05	4.18	120.00	1783.19		744.88	112.96	0.85	744.88	1270.00	
16.17	0.06	0.05	4.18	120.00	1828.33		744.88	111.20	0.85	744.88	1270.00	
15.55	0.06	0.05	4.18	120.00	1805.76		722.30	112.96	0.84	722.30	1270.00	
15.18	0.05	0.05	4.18	120.00	1805.76		699.73	112.96	0.84	699.73	1270.00	
17.28	0.06	0.05	4.18	120.00	1896.05		767.45	112.96	0.85	767.45	1270.00	
19.76	0.07	0.05	4.18	120.00	2008.91		835.16	111.20	0.87	835.16	1270.00	
21.29	0.08	0.05	4.18	120.00	2099.20		857.74	109.43	0.87	857.74	1270.00	
24.14	0.09	0.05	4.18	120.00	2189.48		948.02	111.20	0.88	948.02	1270.00	
26.37	0.09	0.05	4.18	120.00	2257.20		1015.74	109.43	0.89	1015.74	1270.00	
33.94	0.12	0.05	4.18	120.00	2302.34		1444.61	107.67	0.93	1444.61	1270.00	
37.34	0.13	0.05	4.18	120.00	2347.49		1647.76	107.67	0.93	1647.76	1270.00	
40.20	0.14	0.05	4.18	120.00	2392.63		1828.33	107.67	0.94	1828.33	1270.00	
41.89	0.15	0.05	4.18	120.00	2415.20		1963.76	105.90	0.95	1963.76	1270.00	
38.37	0.14	0.05	4.18	120.00	2370.06		1692.90	105.90	0.94	1692.90	1270.00	
31.78	0.11	0.05	4.18	120.00	2212.06		1422.04	105.90	0.93	1422.04	1270.00	
25.28	0.09	0.05	4.18	120.00	2031.48		1173.74	105.90	0.91	1173.74	1270.00	
20.74	0.07	0.05	4.18	120.00	1872.48		1015.74	105.90	0.90	1015.74	1270.00	

Şekil 5.16 GID şarj süreci analizi-Microsoft Excel arayüzü

Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1 Tk(kollektör sic.) Q		Exi.sı=Q*(1-(To/Tk))	Ex.giren	Ex.çıkın	Δex.	ψgüneş isınnı	Akollektör l top	Ex. Güneş isınnı	ηi kollekt.	Saat	Panel Verimi	Panelen Elde E	
447	291.0	24.88225802	1.094437718	24.2267	36.00442	11.77772	0.936047741	4.86	135.8	617.7802768	0.02	11.46:00	0.59
448	291.0	25.06557212	1.110644903	24.81933	35.15037	10.33104	0.936070727	4.86	137.0	623.2546117	0.02	11.47:00	0.51
449	290.9	24.89580872	1.095980462	24.2782	35.98544	11.70724	0.936070727	4.86	139.3	633.7180103	0.02	11.48:00	0.57
450	291.0	25.06557212	1.110644903	24.81933	36.83008	12.01075	0.936070727	4.86	143.0	650.5504341	0.02	11.49:00	0.57
451	291.1	25.23533552	1.125402407	25.36632	38.54809	13.18177	0.936070727	4.86	145.5	661.9236934	0.02	11.50:00	0.60
452	291.2	25.40509893	1.140252888	25.91915	38.54809	12.62894	0.936070727	4.86	147.0	668.7476491	0.02	11.51:00	0.57
453	291.2	25.2178482	1.123834932	25.31351	37.70342	12.38991	0.936047741	4.86	147.8	672.370581	0.02	11.52:00	0.56
454	291.3	25.54776092	1.152408755	26.37895	39.47376	13.09481	0.936047741	4.86	147.8	672.370581	0.02	11.53:00	0.58
455	291.4	25.73107503	1.168627713	26.98757	39.44067	12.4531	0.936047741	4.86	149.3	679.1943691	0.02	11.54:00	0.54
456	291.4	25.73107503	1.168627713	26.98757	39.44067	12.4531	0.936047741	4.86	155.0	705.1247636	0.02	11.55:00	0.52
457	291.5	26.08415254	1.200582926	28.18892	42.09876	13.90985	0.936070727	4.86	159.8	726.9787369	0.02	11.56:00	0.55
458	291.6	26.25391594	1.215897047	28.77095	42.09876	13.32782	0.936070727	4.86	164.0	746.0858125	0.02	11.57:00	0.51
459	291.6	26.25391594	1.215897047	28.77095	43.01028	14.23933	0.936070727	4.86	158.0	718.7899901	0.02	11.58:00	0.56
460	291.6	26.25391594	1.215897047	28.77095	43.93131	15.16037	0.936070727	4.86	150.3	683.7603514	0.02	11.59:00	0.63
461	291.6	26.76320615	1.262826617	30.56275	44.8776	14.31485	0.936093713	4.86	140.0	636.9181626	0.02	12.00:00	0.62
462	291.8	26.76320615	1.262826617	30.56275	44.8776	14.31485	0.936093713	4.86	139.8	636.0082795	0.02	12.01:00	0.62
463	291.9	26.94652025	1.279771665	31.21686	44.84237	13.6255	0.936093713	4.86	144.5	657.3905321	0.02	12.02:00	0.57
464	291.9	26.94652025	1.279771665	31.21686	44.84237	13.6255	0.936093713	4.86	147.3	670.1288953	0.02	12.03:00	0.56
465	291.9	27.12983436	1.297268521	31.88899	45.76286	13.87387	0.936116699	4.86	165.3	752.0368393	0.02	12.04:00	0.50
466	291.8	27.11628365	1.296003888	31.83988	45.79845	13.95857	0.936116699	4.86	186.3	847.5769097	0.02	12.05:00	0.45
467	291.9	27.11628365	1.295559973	31.82867	46.73192	14.90325	0.936093713	4.86	247.0	1123.705615	0.01	12.06:00	0.36
468	292.0	27.28604706	1.311440367	32.44629	48.65947	16.21318	0.936093713	4.86	252.5	1148.7274	0.01	12.07:00	0.38
469	292.1	27.28604706	1.310991453	32.43487	50.60721	18.17234	0.936070727	4.86	180.0	818.8746723	0.02	12.08:00	0.59
470	292.2	27.45581046	1.326958518	33.05808	53.62536	20.56728	0.936070727	4.86	152.5	693.7688196	0.03	12.09:00	0.77
471	292.3	27.62557386	1.343017475	33.68711	54.65031	20.96321	0.936070727	4.86	144.8	658.7391808	0.03	12.10:00	0.82

Şekil 5.17 Güneş kollektörü analizi-Microsoft Excel arayüzü

AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI
1 Yoğuşma Sic. mgid-ip	mtpod-ip	mip	mip-bt	mip-bt-duv.	mgid-koll.	Cpsu	CpR410	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7	Ex8	Ex9	Ex10
1480	308.3	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.007754	0.003470469	3.572482	1.289675	0.01707	0.00512	2.821003	0.006969
1481	308.4	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.00741	0.003143837	3.58882	1.291975	0.014109	0.006969	2.861367	0.005118
1482	308.9	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.006126	0.003250553	3.601993	1.294238	0.020298	0.005118	2.92386	0.006008
1483	309.3	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.005974	0.003359026	3.612088	1.296515	0.017064	0.006008	3.00817	0.005132
1484	309.5	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.00483	0.003038877	3.620642	1.298805	0.014109	0.011532	3.093604	0.005136
1485	309.9	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.004695	0.003038877	3.628448	1.300339	0.011434	0.010284	3.158416	0.005136
1486	310.1	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.004053	0.002734552	3.63371	1.302651	0.007946	0.018851	3.223857	0.005136
1487	310.5	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.003571	0.001999931	3.637467	1.30422	0.005969	0.022274	3.266746	0.005136
1488	310.9	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.00044	0.12929462	3.453331	1.265673	0.134028	0.109495	2.212437	0.005136
1489	307.8	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.008988	0.014094033	3.535136	1.279776	0.134028	0.021981	2.673227	0.005136
1490	308.2	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.00774	0.009471201	3.572645	1.285514	0.094532	0.009026	2.694219	0.005136
1491	308.7	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.007397	0.006626378	3.596064	1.290738	0.061792	0.001272	2.754014	0.005136
1492	309.1	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.00674	0.005186925	3.610931	1.294465	0.038228	3.54E-05	2.856589	0.005136
1493	309.4	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.006115	0.003920821	3.621926	1.297472	0.021981	0.002872	2.939918	0.005136
1494	309.6	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.005812	0.003032496	3.631643	1.299783	0.007929	0.011507	2.98101	0.005136
1495	310	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.005375	0.002348509	3.63774	1.301301	0.002259	0.024055	3.044646	0.005136
1496	310.4	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.003682	0.002081795	3.642133	1.303589	0.003528	0.027911	3.130475	0.005136
1497	310.8	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.002312	0.002535136	3.643898	1.305121	0.021973	0.009088	3.217422	0.005136
1498	310.8	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.001328	0.099842401	3.458571	1.270041	0.002253	0.008997	2.115939	0.005136
1499	307.1	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.010911	0.0083853	3.526367	1.281192	0.067596	0.000317	2.469604	0.005136
1500	307.9	0.477	0.477	0.035	0.57	0.27	0.07	4.18	1.472	0.010108	0.006159261	3.563092	1.286188	0.040456	0.000318	2.488933	0.005136

Şekil 5.18 GID deşarj süreci analizi- Microsoft Excel arayüzü

## 5.2.2 Yapılan Kabuller

- Yapılan analiz 14.04.2013-04.05.2013 tarihleri arasında kayıt alınan verilerle yapılmıştır.
- Sistemde gerekli izolasyonlar yapılmış olmasına rağmen sistem elemanlarından çevreye ısı kayıpları olduğu kabul edilmiştir.

- GID analizinde ısı depolama malzemesi olarak parafin ve su birlikte ele alınmıştır.
- Sistemde bulunan IP tek bir sistem elemanı olarak ele alınmıştır. IP çevrimi incelenmemiştir.
- IP'nin toprak hattı ile çalıştığı periyotlar incelemeye alınmamıştır. Çalışmada GID'ndan enerji çekilen çalışma periyotlarına ait veriler kullanılmıştır.
- IP kesintili olarak belirli periyotlarla çalışmakta olup çalışma sürelerinin genellikle 10 dak. civarında olduğu gözlemlenmiştir.
- Akümülyasyon tankı 500 l kapasiteli olup 222 kg ağırlığındadır ve paslanmaz çelikten imal edilmiştir.
- GID silindirik olup ısı kayıplarını azaltmak için 20 mm kalınlığında izolasyon malzemesi ile izole edilmiştir.
- Sistemde 3 adet 1,62 m<sup>2</sup>'lik kollektör yer almaktadır. Ancak kollektörlerden bir tanesininin arızalı olması nedeniyle, çalışmanın sağlıklı gerçekleşmesi amacıyla arızalı kollektör devreye alınmamış analizler 2 kollektöre göre yapılmıştır.
- Şarj devresindeki sirkülasyon pompası 100 W, deşarj devresindekiler 120 W gücündedir.

### 5.2.3 Parametreler

#### 5.2.3.1 Sabitler

- Sistemde incelenen devrelerdeki su debileri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Devrelerde dolaşan su debileri

Devre İsmi	Debi Miktarı (kg/s)
GID-Güneş Kollektörleri	0.054
GID-Isı Pompası	0.477
Isı Pompası-Aküümülyasyon Tankı	0.57
Aküümülyasyon Tankı-DISS	0.27

- Suyun özgül ısısı 4.18 kJ/kg olarak alınmıştır.
- Toplam kollektör alanı 3,24 m<sup>2</sup> olarak alınmıştır.
- Ekserji analizinde çevre referans sıcaklığı anlık olarak ölçülen verilerden alınmıştır. Çevre basıncı 1 atm olarak alınmıştır.

### 5.2.3.2 Değişkenler

Sistemde ölçülen sıcaklıklar Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Sistemde ölçülen sıcaklıklar

Ölçülen Sıcaklık	Devre İsmi
Güneş kollektörü giriş-çıkış sıcaklıkları	GID-Güneş Kollektörü
GID giriş çıkış sıcaklıkları	GID-Güneş Kollektörü
GID giriş çıkış sıcaklıkları	GID-IP
GID su sıcaklığı	-
GID parafin sıcaklığı	-
IP buharlaştırıcı giriş-çıkış sıcaklıkları	GID- IP
IP yoğuşturucu giriş-çıkış sıcaklıkları	IP-Akümülatör Tankı
Akümülatör tankı giriş çıkış sıcaklıkları	IP-Akümülatör Tankı
Akümülatör tankı giriş çıkış sıcaklıkları	Akümülatör Tankı-DISS
Akümülatör tankı su sıcaklığı	-
DISS giriş-çıkış sıcaklıkları	Akümülatör Tankı-DISS

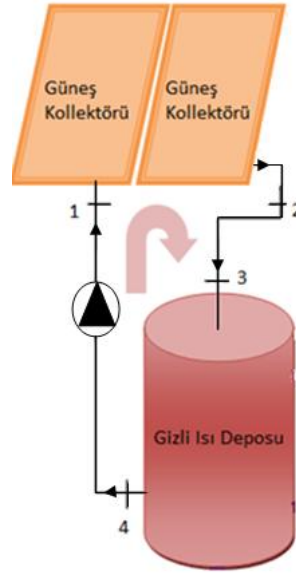
### 5.3 Isıtma Süreci Analizi

Sistemin ısıtma süreci sistemin iki ayrı çalışma periyodu gözönüne alınarak belirlenmiştir. Yapılan analiz;

- Güneş kolektörü-GID devresinde yer alan pompanın çalışmasına bağlı olarak gerçekleşen GID şarj (ısı yüklenmesi) çevrimi
- GID sıcaklığının toprak sıcaklığından yüksek olması şartıyla çalışan üç yollu vananın açılmasına bağlı gerçekleşen GID deşarj (ısı soğurulması) çevrimi

### 5.3.1 GID Şarj Çevrimi Analizi

GID şarj çevrimi iki bölümde analiz edilmiştir. Birinci bölümde Güneş kolektörleri ikinci bölümde GID incelenmiştir. GID şarj çevriminde incelenen devre Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 GID şarj devresi

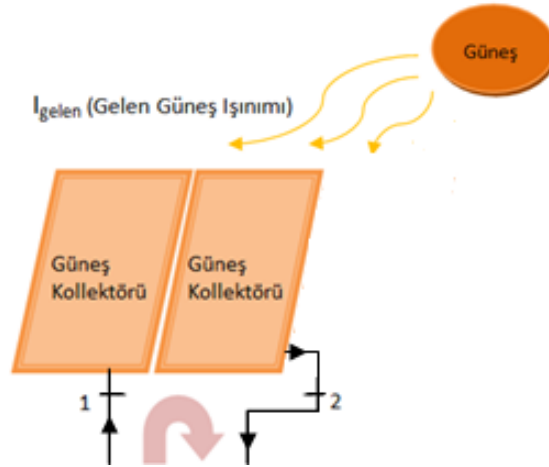
#### 5.3.1.1 Güneş Kolektörleri Analizi

Bu bölümde güneş kolektörleri kütle, enerji ve ekserji denklilikleri yazılarak güneş kolektörlerindeki enerji ve ekserji dağılımları belirlenmiş, 1. ve 2. yasa verimleri analiz edilmiştir. İncelenen sistem elemanına ait çalışma şeması Şekil 5.20'de verilmiştir.

#### Kütle Dengesi

Güneş kolektörü Şekil 5.17'de görüleceği üzere bir giriş bir çıkışa sahip bir sistemdir. Bu koşula güneş kolektörü kütle dengesi eşitlik (5.5)'teki gibidir.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (5.5)$$



Şekil 5.20 Güneş kollektörü çalışma şeması

### Enerji Dengesi

Güneş kollektörü enerji dengesi toplam kollektör yüzey alanına gelen GE ve sisteme giriş çıkış yapan bir ve iki numaralı akımlara bağlı olarak yapılmıştır. Enerji dengesi analiz edilirken kollektörde birikecek enerji miktarı da dikkate alınmıştır. Buna göre kollektör enerji dengesi eşitlik 5.6 ve 5.7'deki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan} + \dot{E}_{kayıp} + \dot{E}_{biriken} \quad (5.6)$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_{güneş} = \dot{E}_2 + \dot{Q}_{kayıp} + \dot{E}_b \quad (5.7)$$

Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.8) halini almaktadır.

$$\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_2 - T_1) + \dot{Q}_{kayıp} = \dot{E}_{güneş} + \dot{E}_b \quad (5.8)$$

### Ekserji Dengesi

Güneş kollektörü ekserji dengesi toplam kollektör yüzey alanına gelen güneş ışınımı ekserjisi ve sisteme giriş çıkış yapan bir ve iki numaralı akımların akış ekserjisine bağlı olarak yapılmıştır. Ekserji dengesi analizinde kollektörde birikecek ekserji miktarı da dikkate alınmıştır. Buna göre kollektör ekserji dengesi eşitlik (5.9) ve (5.10)'daki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{E}x_{giren} = \dot{E}x_{çıkan} + \dot{E}x_{kayıp} + \dot{E}x_{yıkım} + \dot{E}x_{biriken} \quad (5.9)$$

$$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_{\text{güneş}} = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_k + \dot{E}x_y + \dot{E}x_b \quad (5.10)$$

Denklemden güneş kolektöründen gerçekleşecek ısı kaybı eşitlik (5.11)'de;

$$\dot{E}x_{\text{kayıp}} = \sum \left( 1 - \left( \frac{T_0}{T_k} \right) \right) \dot{Q}_k \quad (5.11)$$

Güneş ışınlamı ekserjisi eşitlik (5.12) ile;

$$\dot{E}x_{\text{güneş ışınlamı}} = A_{\text{kolektör}} \cdot I_{\text{toplam}} \cdot \psi_{\text{güneş ışınlamı}} \quad (5.12)$$

Güneş ışınlamının kullanılabilirliği eşitlik (5.13) ile;

$$\psi_{\text{güneş ışınlamı}} = 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T} \right)^4 - \left( \frac{4}{3} \right) \left( \frac{T_0}{T} \right) \quad (5.13)$$

Güneş kolektörüne giren ve çıkan akışkanların ekserjileri eşitlik (5.14) ve eşitlik (5.15) ile verilmiştir.

$$\dot{E}x_{\text{ITA,giren}} = \dot{m}_{\text{ITA}} \cdot c_{\text{ITA}} \cdot \left[ (T_{\text{g,ITA}} - T_0) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_{\text{g,ITA}}}{T_0} \right) \right] \quad (5.14)$$

$$\dot{E}x_{\text{ITA,çıkan}} = \dot{m}_{\text{ITA}} \cdot c_{\text{ITA}} \cdot \left[ (T_{\text{ç,ITA}} - T_0) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_{\text{ç,ITA}}}{T_0} \right) \right] \quad (5.15)$$

Buradan kolektöre giren ve çıkan akışkanların akış ekserjileri farkı eşitlik (5.16) ile bulunabilir.

$$\Delta \dot{E}x_{\text{ITA}} = \dot{E}x_{\text{ç,ITA}} - \dot{E}x_{\text{g,ITA}} = \dot{m}_{\text{ITA}} \cdot c_{\text{ITA}} \cdot \left[ (T_{\text{ç,ITA}} - T_{\text{g,ITA}}) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_{\text{ç,ITA}}}{T_{\text{g,ITA}}} \right) \right] \quad (5.16)$$

## I. Yasa Verimi

Güneş kolektörü I. yasa verimi akışı sağlayan pompaya verilen enerji dikkate alınmadan toplam verim şeklinde, dikkate alınarak da net verim şekline ifade edilebilir. Buna göre güneş kolektörü toplam verimi eşitlik (5.17)'de net verimi ise eşitlik (5.18)'daki gibi ifade edilmektedir.

$$\eta_{\text{top}} = \frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_1}{\dot{E}_g} \quad (5.17)$$

$$\eta_{\text{net}} = \frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_1}{\dot{E}_g + \dot{W}_p} \quad (5.18)$$

## II. Yasa Verimi

Güneş kolektörü II. yasa verimi akışı sağlayan pompanın ekserjisi dikkate alınmadan toplam verim olarak ve dikkate alınarak net verim şeklinde ifade edilmiştir.

Buna göre güneş kolektörü toplam II. yasa verimi eşitlik (5.19) ve akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.20) halini alır.

$$\eta_{\text{II,top}} = \frac{\dot{E}x_2 - \dot{E}x_1}{\dot{E}x_g} \quad (5.19)$$

$$\eta_{\text{II,toplam}} = \frac{\dot{m}_{\text{ITA}} \cdot c_{\text{ITA}} \cdot \left[ (T_2 - T_1) - T_0 \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \right]}{A_{\text{kolektör}} \cdot I_{\text{toplam}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T_{\text{güneş}}} \right)^4 - \left( \frac{4}{3} \right) \left( \frac{T_0}{T_{\text{güneş}}} \right) \right)} \quad (5.20)$$

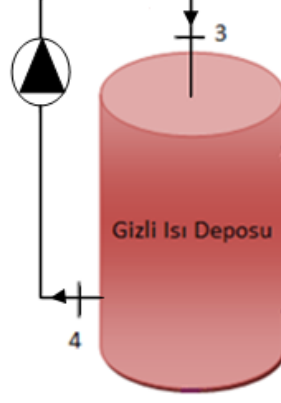
Net II. yasa verimi ise eşitlik (5.21) ve akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.22) şeklinde ifade edilmektedir.

$$\eta_{\text{II,net}} = \frac{\dot{E}x_2 - \dot{E}x_1}{\dot{E}x_g + \dot{W}_p} \quad (5.21)$$

$$\eta_{\text{II,net}} = \frac{\dot{m}_{\text{ITA}} \cdot c_{\text{ITA}} \cdot \left[ (T_2 - T_1) - T_0 \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \right]}{A_{\text{kolektör}} \cdot I_{\text{toplam}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T_{\text{güneş}}} \right)^4 - \left( \frac{4}{3} \right) \left( \frac{T_0}{T_{\text{güneş}}} \right) \right) + \dot{W}_p} \quad (5.22)$$

### 5.3.1.2 GID Şarj Analizi

GID şarj (ısı yüklemesi) analizinde GID'nun güneş kolektörü ile enerji yüklenmesi prosesi incelenmiştir. Dolayısıyla sistem Şekil 5.21'de gösterildiği gibi tek giriş ve çıkışlı olarak ele alınmıştır.



Şekil 5.21 GID şarj periyodu çalışma şeması

### Kütle Dengesi

GID'nun üç ve dört numaralı akımlar dikkate alınarak kütle dengesi eşitlik (5.23)'deki gibi yazılabilir;

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (5.23)$$

### Enerji Dengesi

GID enerji dengesi sisteme giriş çıkış yapan üç ve dört numaralı akımların enerjisi, gerçekleşen ısı kaybı ve depolanacak enerji miktarı dikkate alınarak eşitlik (5.24) ve eşitlik (5.25)'teki gibi yazılabilir.

$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan} + \dot{E}_{kayıp} + \dot{E}_{depolanan} \quad (5.24)$$

$$\dot{E}_3 = \dot{E}_4 + \dot{Q}_{kayıp} + \dot{E}_d \quad (5.25)$$

### Ekserji Dengesi

GID ekserji dengesi sisteme giriş çıkış yapan üç ve dört numaralı akımların ekserjisi, gerçekleşen ekserji kaybı, depolama sırasındaki ekserji yıkımı ve depolanacak ekserji miktarı dikkate alınarak eşitlik (5.26) ve eşitlik (5.27)'daki gibi yazılabilir.

$$\dot{E}x_{giren,ITA} - \dot{E}x_{çıkan,ITA} = \dot{E}x_{depolanan,FDM} + \dot{E}x_{kayıp,çevre} + \dot{E}x_{yıkım} \quad (5.26)$$

$$\sum_g \dot{m}\psi - \sum_ç \dot{m}\psi - \dot{E}x_{yıkım} = \dot{E}x_{depolanan} + \sum \left( 1 - \left( \frac{T_0}{T_k} \right) \right) \dot{Q} \quad (5.27)$$

GID'na şarj sırasında giren ve çıkan akışkanların ekserjisi sırasıyla eşitlik (5.29)'da ve eşitlik (5.30)'da verilmiştir.

$$\dot{E}x_{giren,ITA} = \dot{m}_{ITA} \cdot \left[ (h_g - h_0) - T_0 (s_g - s_0) \right] \quad (5.29)$$

$$\dot{E}x_{çıkan,ITA} = \dot{m}_{ITA} \cdot \left[ (h_ç - h_0) - T_0 (s_ç - s_0) \right] \quad (5.30)$$

Buradan GID'na giren ve çıkan akışların ekserji farkı eşitlik (5.31)'daki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \Delta \dot{E}x_{ITA} &= \dot{m}_{ITA} \cdot \left[ (h_g - h_0) - T_0 (s_g - s_0) \right] - \dot{m}_{ITA} \cdot \left[ (h_ç - h_0) - T_0 (s_ç - s_0) \right] \\ &= \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_g - T_ç) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_g}{T_ç} \right) \right] \end{aligned} \quad (5.31)$$

Şarj sırasında faz değiştiren malzemede (FDM) depolanacak ekserji miktarı ekserji kaybı da dikkate alınarak eşitlik (5.32)'daki gibi bulunur.

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{depolanan,FDM} &= \dot{Q}_{FDM} \left( 1 - \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) - \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] \\ &= \left[ \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_g - T_ç) \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] - \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] \end{aligned} \quad (5.32)$$

GID'nun şarjı esnasında;

FDM'nin kazandığı ısı = ITA tarafından transfer edilen ısıya eşit (eşitlik 5.33) olacaktır.

Buna göre;

$$\dot{Q}_{FDM} = \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_{g,ITA} - T_{ç,ITA}) \quad (5.33)$$

Buradan eşitliğin genel hali (5.34)'deki gibi;

$$\begin{aligned} &\dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_{g,ITA} - T_{ç,ITA}) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_{g,ITA}}{T_{ç,ITA}} \right) \right] \\ &= \left[ \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_{g,ITA} - T_{ç,ITA}) \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] + \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] + \dot{E}x_{yıkım} \end{aligned} \quad (5.34)$$

akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.35) halini alır.

$$\begin{aligned}
& \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_3 - T_4) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_3}{T_4} \right) \right] \\
& = \left[ \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_3 - T_4) \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] + \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] + \dot{E}x_{yıkım}
\end{aligned} \tag{5.35}$$

### I. Yasa verimi

GID I. yasa verimi, devrede akışkanın dolaşımını sağlayan pompaya verilen enerji miktarı katılmadan toplam enerji verimi olarak eşitlik (5.36)'daki gibi, pompaya verilen enerji miktarı katılarak da net enerji verimi olarak eşitlik (5.37)'deki gibi ifade edilir.

$$\eta_{\text{toplam}} = \frac{E_d}{E_3 - E_4} \tag{5.36}$$

$$\eta_{\text{net}} = \frac{E_d}{E_3 - E_4 + W_p} \tag{5.37}$$

### II. Yasa Verimi

GID II. yasa verimi, devrede akışkanın dolaşımını sağlayan pompanın ekserjisi hesaba katılmadan toplam ekserji verimi ve pompanın ekserjisi hesaba katılarak da net ekserji verimi olarak iki farklı yaklaşımla ifade edilmiştir.

GID toplam II. yasa verimi eşitlik (5.38) şeklinde yazılırsa;

$$\eta_{\text{II, toplam}} = \frac{\dot{E}x_{\text{depolanan, FDM}}}{\dot{E}x_3 - \dot{E}x_4} \tag{5.38}$$

Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.39) şeklini alır.

$$\eta_{\text{II, toplam}} = \frac{\dot{Q}_{FDM} \left( 1 - \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) - \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right]}{\dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_3 - T_4) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_3}{T_4} \right) \right]} \tag{5.39}$$

GID net II. yasa verimi eşitlik (5.40) şeklinde ifade edilebilir;

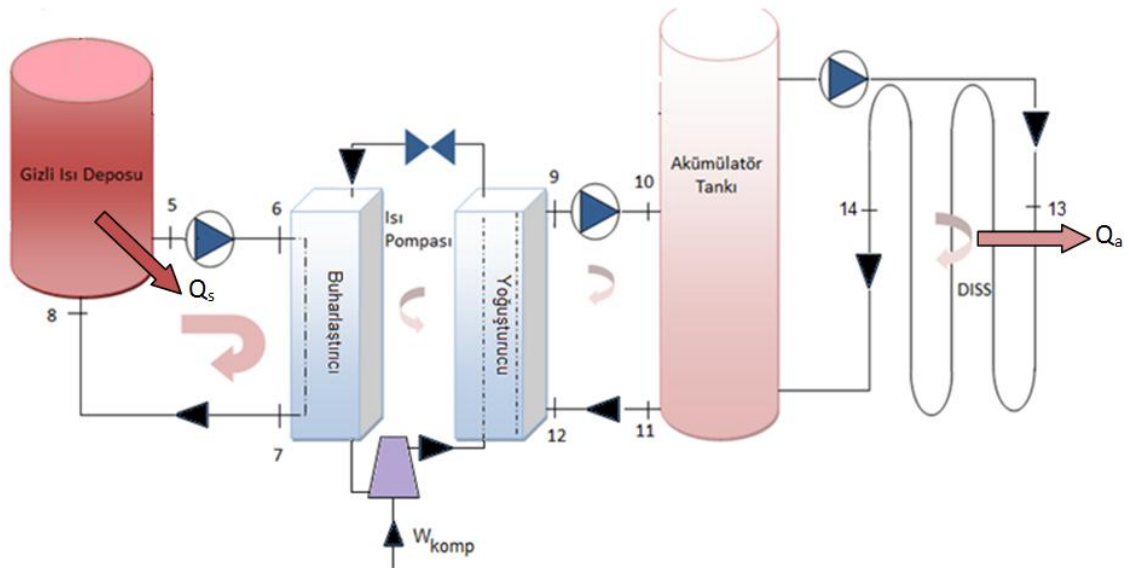
$$\eta_{II,net} = \frac{\dot{E}x_{depolanan,FDM}}{\dot{E}x_3 - \dot{E}x_4 + \dot{W}_p} \quad (5.40)$$

Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.41) şeklini alır.

$$\eta_{II,net} = \frac{\dot{Q}_{FDM} \left( 1 - \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) - \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right]}{\dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_3 - T_4) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_3}{T_4} \right) \right] + \dot{W}_p} \quad (5.41)$$

### 5.3.2 GID Deşarj Çevrimi Analizi

GID deşarj devresi GID devresinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Bu bölümde GID'nun deşarjı (ısı çekilmesi) sırasında IP, Akümülatör tankı-DISS devresi ve GID için denklıklar yazılacak ve verim ifadeleri elde edilecektir. Ana sistem şemasında görülen GID-akümülatör tankı devresi GID sıcaklığı 60°C ye ulaştığı zaman doğrudan deşarjın gerçekleşmesi amacıyla sistemde yer almaktadır. Ancak deneysel çalışma süresince GID sıcaklığı bu sıcaklığa ulaşmadığı için bu devre çalışmamış dolayısıyla bu devre için analiz yapılmamıştır. Sistemin Bölüm 5.3.2 dahilinde incelenen kısmı Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.22 GID deşarj çevrim şeması

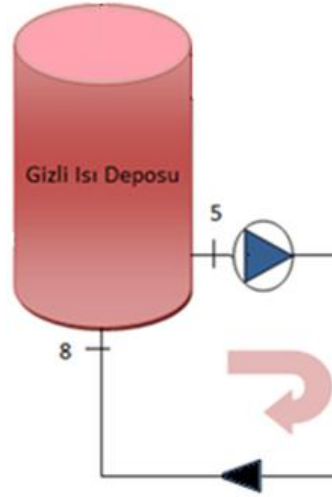
### 5.3.2.1 GID Deşarj Analizi

GID deşarj (ısı soğurulması) analizinde IP'nın GID'ndan enerji soğurması prosesi incelenmiştir. Dolayısıyla sistem Şekil 5.23'te gösterildiği gibi tek giriş ve çıkışlı olarak ele alınmıştır.

#### Kütle Dengesi

GID'nun beş ve sekiz numaralı akım numaraları dikkate alınarak kütle dengesi eşitlik (5.42)'deki gibi yazılabilir;

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_8 \quad (5.42)$$



Şekil 5.23 GID deşarj periyodu çalışma şeması

#### Enerji Dengesi

GID enerji dengesi sisteme giriş çıkış yapan beş ve sekiz numaralı akımların enerjisi, gerçekleşen ısı kaybı ve FDM tarafından sağlanan enerji miktarı dikkate alınarak eşitlik (5.45) ve eşitlik (5.46)'daki gibi yazılabilir:

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{kayıp} + \dot{E}_{sağlanan} = \dot{E}_{çıkan} \quad (5.43)$$

$$E_8 - \dot{Q}_{kayıp} + E_{sağlanan} = E_5 \quad (5.44)$$

$$\left[ \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_{ç,ITA} - T_{g,ITA}) \right] = \dot{E}_{sağlanan} - \dot{Q}_{kayıp} \quad (5.45)$$

$$\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_5 - T_8) = \dot{E}_s - \dot{Q}_k \quad (5.46)$$

### Ekserji Dengesi

GID ekserji dengesi sisteme giriş çıkış yapan beş ve sekiz numaralı akımların ekserjisi, gerçekleşen ekserji kaybı, soğurma sırasındaki ekserji yıkımı ve FDM tarafından sağlanan ekserji miktarı dikkate alınarak eşitlik (5.47)'deki gibi yazılabilir.

$$\sum_{\zeta} \dot{m} \psi - \sum_g \dot{m} \psi = \dot{E}_{x_{sağlanan}} - \sum \left( 1 - \left( \frac{T_0}{T_k} \right) \right) \dot{Q}_{kayıp} - \dot{E}_{x_{yıkım}} \quad (5.47)$$

FDM'nin deşarj sırasında sağladığı ekserji eşitlik (5.48) ile;

$$\dot{E}_{x_{sağlanan,FDM}} = \left[ \dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_{\zeta,ITA} - T_{g,ITA}) \right] \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] \quad (5.48)$$

Isı deposundan çevreye olan ekserji kaybı eşitlik (5.49) ile;

$$\dot{E}_{x_{kayıp}} = \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] \quad (5.49)$$

GID'na giren ve çıkan akışların ekserjileri eşitlik (5.50) ve eşitlik (5.51) ile;

$$\dot{E}_{x_{g,ITA}} = \dot{m}_{ITA} \cdot \left[ (h_{g,ITA} - h_0) - T_0 (S_{g,ITA} - S_0) \right] \quad (5.50)$$

$$\dot{E}_{x_{\zeta,ITA}} = \dot{m}_{ITA} \cdot \left[ (h_{\zeta,ITA} - h_0) - T_0 (S_{\zeta,ITA} - S_0) \right] \quad (5.51)$$

Buradan giren ve çıkan akışların taşıdığı ekserji farkı eşitlik (5.52) ile elde edilebilir.

$$\Delta \dot{E}_{x_{ITA}} = \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_{\zeta,ITA} - T_{g,ITA}) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_{g,ITA}}{T_{\zeta,ITA}} \right) \right] \quad (5.52)$$

Buradan eşitlik genel haliyle eşitlik (5.53) halini alır.

$$\begin{aligned} & \left[ \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_{\zeta,ITA} - T_{g,ITA}) \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] - \dot{Q}_{kayıp} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] \\ & = \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_{\zeta,ITA} - T_{g,ITA}) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_{\zeta,ITA}}{T_{g,ITA}} \right) + T_0 \cdot \dot{S}_{üretilen} \right] \end{aligned} \quad (5.53)$$

Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.54) elde edilir.

$$\begin{aligned} & \left[ \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot (T_5 - T_8) \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] - \dot{Q}_{kayıp} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{FDM}} \right) \right] \\ & = \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_5 - T_8) - T_0 \cdot \ln \left( \frac{T_5}{T_8} \right) + T_0 \cdot \dot{S}_{\text{üretilen}} \right] \end{aligned} \quad (5.54)$$

### I. Yasa verimi

GID deşarjının I. Yasa verimi, devrede akışkanın dolaşımını sağlayan pompaya verilen enerji miktarı katılmadan, toplam enerji verimi olarak eşitlik (5.55)'deki gibi, pompaya verilen enerji miktarı katılarak da net enerji verimi olarak eşitlik (5.56)'daki gibi ifade edilmiştir.

$$\eta_{I_{\text{toplaml}}} = \frac{\dot{E}_5 - \dot{E}_8}{\dot{E}_s} \quad (5.55)$$

$$\eta_{I_{\text{net}}} = \frac{\dot{E}_5 - \dot{E}_8}{\dot{E}_s + \dot{W}_p} \quad (5.56)$$

### II. Yasa Verimi

GID II. yasa verimi, devrede akışkanın dolaşımını sağlayan pompanın ekserjisi hesaba katılmadan toplam ekserji verimi olarak ve pompanın ekserjisi hesaba katılarak da net ekserji verimi olarak ifade edilmiştir.

Buna göre GID toplam II. yasa verimi eşitlik (5.57) şeklinde ifade edilir.

$$\eta_{II_{\text{toplaml}}} = \frac{\dot{E}x_{\dot{c},ITA} - \dot{E}x_{\dot{g},ITA}}{\dot{E}x_{\text{sağlanan}}} \quad (5.57)$$

Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.58) elde edilir.

$$\eta_{II_{\text{toplaml}}} = \frac{\dot{E}x_5 - \dot{E}x_8}{\dot{E}x_s} \quad (5.58)$$

GID net II. yasa verimi, yakıt ürün prensibine göre paydaya  $W_p$  eklenirse eşitlik (5.59)'daki gibi bulunur.

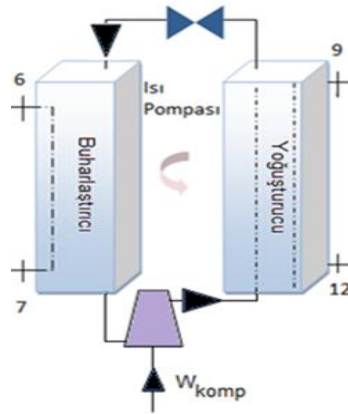
$$\eta_{II_{net}} = \frac{\dot{E}X_{\zeta,ITA} - \dot{E}X_{g,ITA}}{\dot{E}X_{sağlanan} + \dot{W}_p} \quad (5.59)$$

Akım numaraları yerlerine yazılırsa eşitlik (5.60) elde edilir.

$$\eta_{II_{net}} = \frac{\dot{E}X_5 - \dot{E}X_8}{\dot{E}X_{sağlanan} + \dot{W}_p} \quad (5.60)$$

### 5.3.2.2 Isı Pompası (IP)

IP enerji analizinde IP buharlaştırıcısında ve yoğuşturucusunda ısı alışverişini gerçekleştiren akışkanlar incelenmiştir. Sistem iki giriş, iki çıkışlıdır. Bunun yanında sistemde bulunan kompresörde  $W_k$  işi yapmaktadır. IP'na ait çevrim şeması Şekil 5.24'te verilmiştir.



Şekil 5.24 IP çevrim şeması

### Kütle Dengesi

Isı pompası kütle dengesi Şekil 5.21'de görüldüğü gibi iki giriş ve iki çıkışlı bir sistem olarak yazılırsa eşitlik (5.61) elde edilir.

$$\dot{m}_6 + \dot{m}_{12} = \dot{m}_7 + \dot{m}_9 \quad (5.61)$$

## Enerji Dengesi

IP'na altı ve yedi akım numaralarının taşıdıkları enerji farkı giren enerji, dokuz ve oniki numaralı akımların taşıdığı enerji farkı çıkan enerji olarak alınırsa IP enerji dengesi eşitlik (5.62)'deki gibi ifade edilir.

$$\dot{E}_{giren} + \dot{W}_{kompresör} = \dot{E}_{çıkan} + \dot{Q}_{kayıp} \quad (5.62)$$

Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.63) ;

$$\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_6 - T_7) + \dot{W}_k = \dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_9 - T_{12}) + \dot{Q}_k \quad (5.63)$$

şeklinde elde edilir.

## Ekserji Dengesi

IP'na altı ve yedi numaralı akımların taşıdıkları akış ekserjilerin farkı giren ekserji, dokuz ve oniki numaralı akımların taşıdıkları ekserji farkı çıkan ekserji olarak alınırsa IP ekserji dengesi eşitlik (5.64) şeklinde;

$$\dot{E}x_{giren} + \dot{W}_{kompresör} = \dot{E}x_{çıkan} + \dot{E}x_{kayıp} + \dot{E}x_{yıkım} \quad (5.64)$$

Akım numaraları yerine yazılırsa da eşitlik (5.65) ;

$$\begin{aligned} & \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_6 - T_7) - T_0 \ln \left( \frac{T_6}{T_7} \right) \right] + \dot{W}_k \\ & = \dot{m}_{ITA} c_{ITA} \left[ (T_9 - T_{12}) - T_0 \ln \left( \frac{T_9}{T_{12}} \right) \right] + \dot{Q}_k \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{ip}} \right) \right] + \dot{E}x_y \end{aligned} \quad (5.65)$$

şeklinde elde edilir.

## I. Yasa Verimi

IP enerji verimi eşitlik (5.66)'daki gibi ifade edilebilir. Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.67) halini alır.

$$\eta_i = \frac{\dot{E}_{çıkan}}{\dot{E}_{giren} + \dot{W}_{kompresör}} \quad (5.66)$$

$$\eta_I = \frac{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_9 - T_{12})}{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_6 - T_7) + \dot{W}_{\text{kompresör}}} \quad (5.67)$$

## II. Yasa Verimi

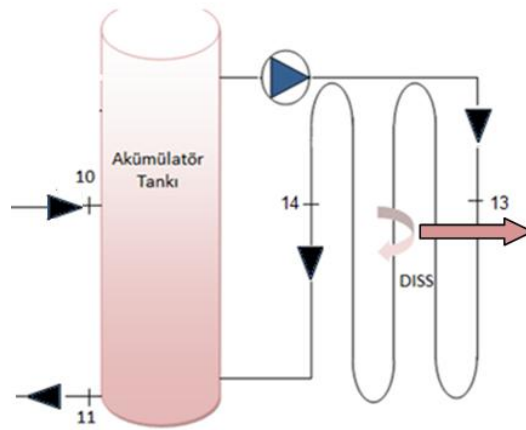
IP ekserji verimi eşitlik (5.68) 'deki gibi ifade edilebilir. Akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.69) halini alır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{\text{çıkan}}}{\dot{E}x_{\text{giren}} + \dot{W}_{\text{kompresör}}} \quad (5.68)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} \left[ (T_9 - T_{12}) - T_0 \ln \left( \frac{T_9}{T_{12}} \right) \right]}{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} \left[ (T_6 - T_7) - T_0 \ln \left( \frac{T_6}{T_7} \right) \right] + \dot{W}_k} \quad (5.69)$$

### 5.3.2.3 DISS-Akümülatör Tankı Devresi

Bu bölümle ilgili yapılan analizde DISS ve akümülatör tankı tek bir sistem elemanı olarak ele alınmıştır. Akümülatör tankı sadece ısı depolama amaçlı değil sistemde bir ısı değiştirici olarak da kullanıldığı için analizde akümülatör tankına giriş, çıkışı ve DISS giriş çıkışı sistem sınırları olarak belirlenmiş analiz buna göre yapılmıştır. Devre şeması Şekil 5.25'te verilmiştir.



Şekil 5.25 Akümülatör tankı-DISS devresi

## Kütle Dengesi

Akümülatör Tankı-DISS devresi kütle giriş çıkışı sadece akümülatör tankı tarafından olmaktadır. DISS kapalı çevrim olduğu için herhangi bir kütle giriş çıkışı meydana gelmemektedir. Buna göre kütle dengesi eşitlik (5.70) şeklinde elde edilir.

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} \quad (5.70)$$

## Enerji Dengesi

Devrede enerji Akümülatör tankının IP'ndan enerji aktarımı olurken bu enerjinin  $Q_a$  kadarı DISS sistemiyle ısıtma amaçlı olarak mahale aktarılmaktadır. Devrede akışı sağlamak amacıyla pompaya elektrik enerjisi verilmektedir. Buna göre devre enerji dengesi eşitlik (5.71)'deki gibi ifade edilir.

$$\dot{E}_{giren} + \dot{W}_{pompa} = \dot{Q}_{depolanan} + \dot{Q}_{aktarılan} + \dot{Q}_{kayıp} \quad (5.71)$$

Buradan akım numaraları yerine yazılırsa eşitlik (5.72) elde edilir,

$$\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_{10} - T_{11}) + \dot{W}_p = \dot{Q}_{depolanan} + \dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_{13} - T_{14}) + \dot{Q}_{kayıp} \quad (5.72)$$

## Ekserji Dengesi

Benzer şekilde ekserji dengesi yazılırsa eşitlik (5.73) aşağıdaki gibi elde edilir,

$$Ex_{giren} + W_{pompa} = Ex_{depolanan} + Ex_{çıkan} + Ex_{kayıp} + Ex_{yıkım} \quad (5.73)$$

Akım numaraları yerine yazılarak eşitlik (5.74) elde edilir.

$$\begin{aligned} & \dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_{10} - T_{11}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{10}}{T_{11}} \right) \right] + \dot{W}_p \\ & = \dot{E}x_d + \dot{m}_{ITA} c_{ITA} \left[ (T_{13} - T_{14}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{13}}{T_{14}} \right) \right] + \dot{Q}_{kayıp} \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{at}} \right) \right] + \dot{E}x_y \end{aligned} \quad (5.74)$$

## I. Yasa Verimi

DISS ile mahale aktarılan enerjinin, akümülatör tankına aktarılan enerji ve pompa işinin toplamına oranı I. yasa verimini verir. Eşitlik (5.75);

$$\eta_I = \frac{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_{13} - T_{14})}{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} (T_{10} - T_{11}) + \dot{W}_p} \quad (5.75)$$

## II. Yasa Verimi

DISS ile mahale aktarılan ekserjinin, akümülatör tankının kazandığı ekserji ve pompa işi toplamına oranı II. yasa verimini verir. Buna göre II. yasa verimi eşitlik (5.76) ile hesaplanır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}_{ITA} c_{ITA} \left[ (T_{13} - T_{14}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{13}}{T_{14}} \right) \right]}{\dot{m}_{ITA} \cdot c_{ITA} \cdot \left[ (T_{10} - T_{11}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{10}}{T_{11}} \right) \right] + \dot{W}_p} \quad (5.76)$$

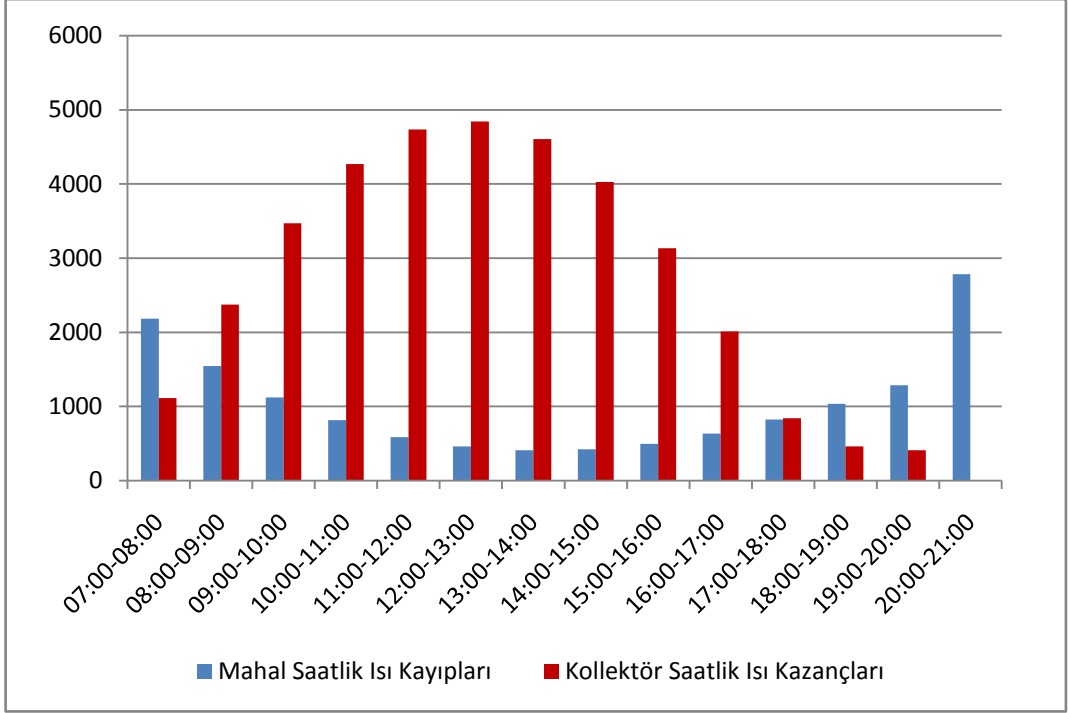
### ANALİZ SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

Yapılan analiz nümerik ve deneysel olarak iki bölümü kapsamaktadır.

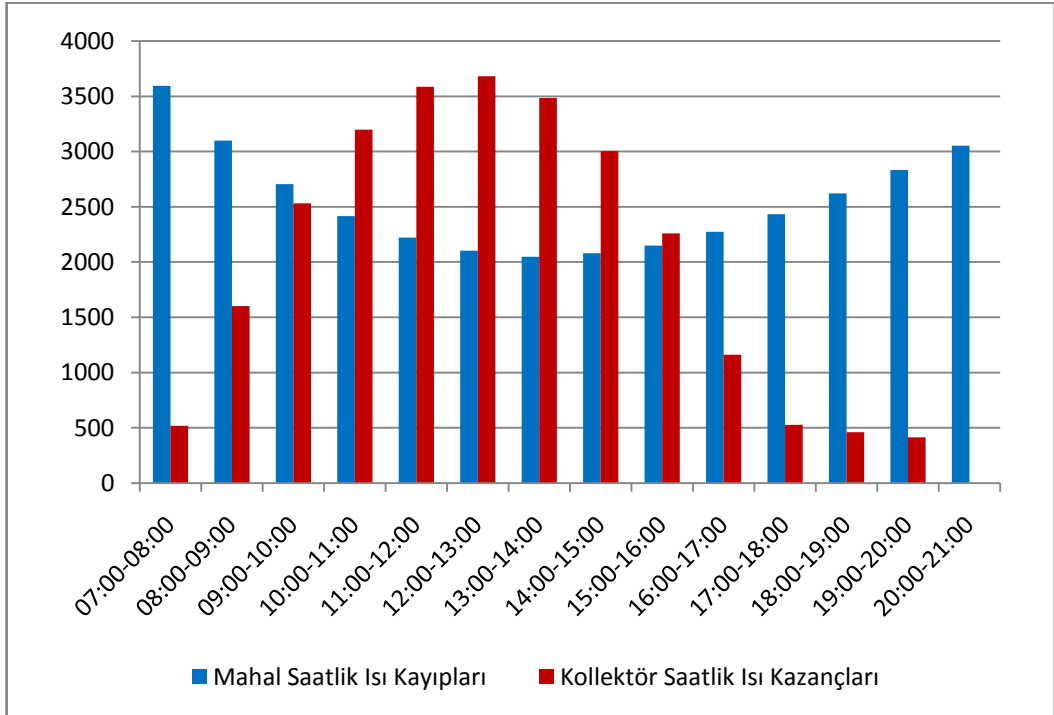
- Analizin birinci bölümünde teorik olarak sistemde yer alan GID'nun kullanılabilirliği araştırılmış ve özellikle ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde GID'ndan faydalanabilirliğin yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Analizin ikinci bölümünde birinci bölümde elde edilen olumlu sonuçlardan yola çıkarak gizli ısı depolamalı birleşik yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma sisteminin enerjetik ve ekserjetik performansı araştırılmıştır.

#### 6.1 GID'nun Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

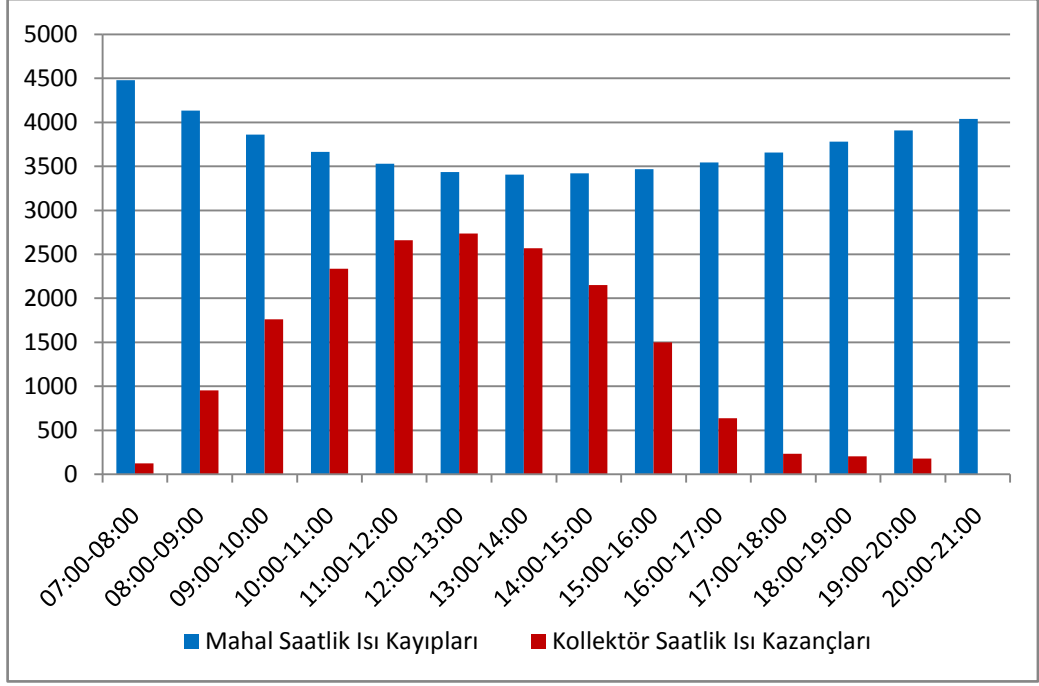
Çalışmada Ekim 2012 – Mart 2013 aylarını kapsayan 6 aylık ısıtma sezonu incelenmiştir. Bu amaçla, incelenen aylara ait gün içerisindeki ortalama saatlik güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinden faydalanılmıştır. Bu verilerden faydalanarak her ay için gün içerisindeki saat bazında mahal ısı yüküne karşılık kollektörlerden elde edilebilecek ısı yükü verileri elde edilmiş ve depolanabilecek ısı miktarı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma sistemlerinde GID'nun kullanımının uygunluğu aylık bazda değerlendirilmiştir.



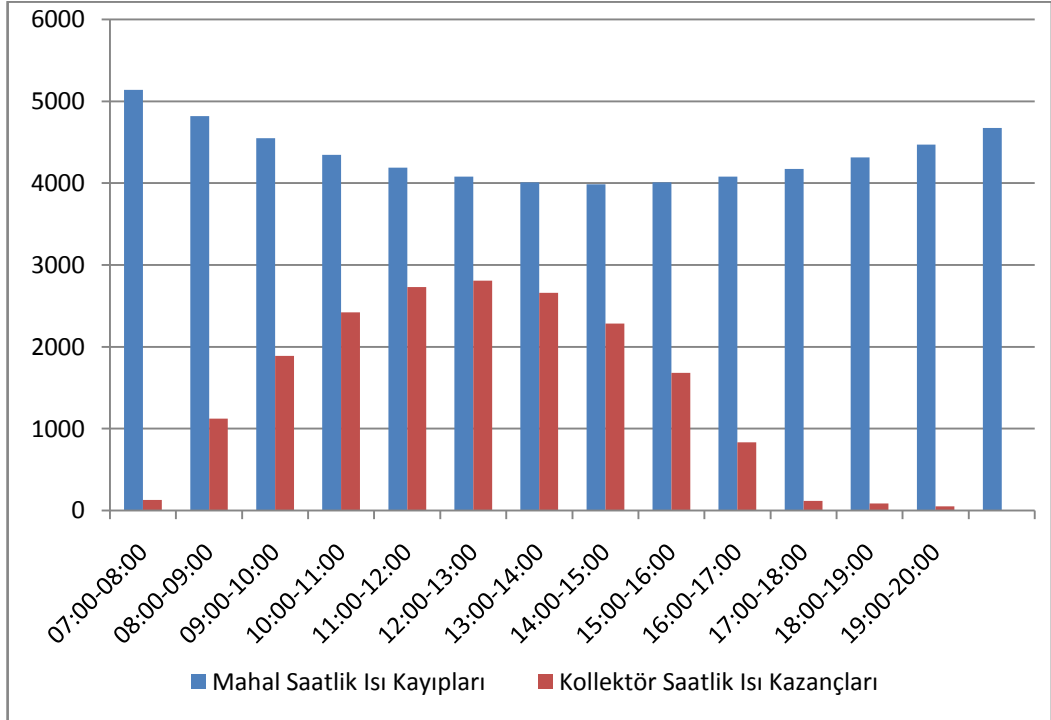
Şekil 6.1 Ekim (2012) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği



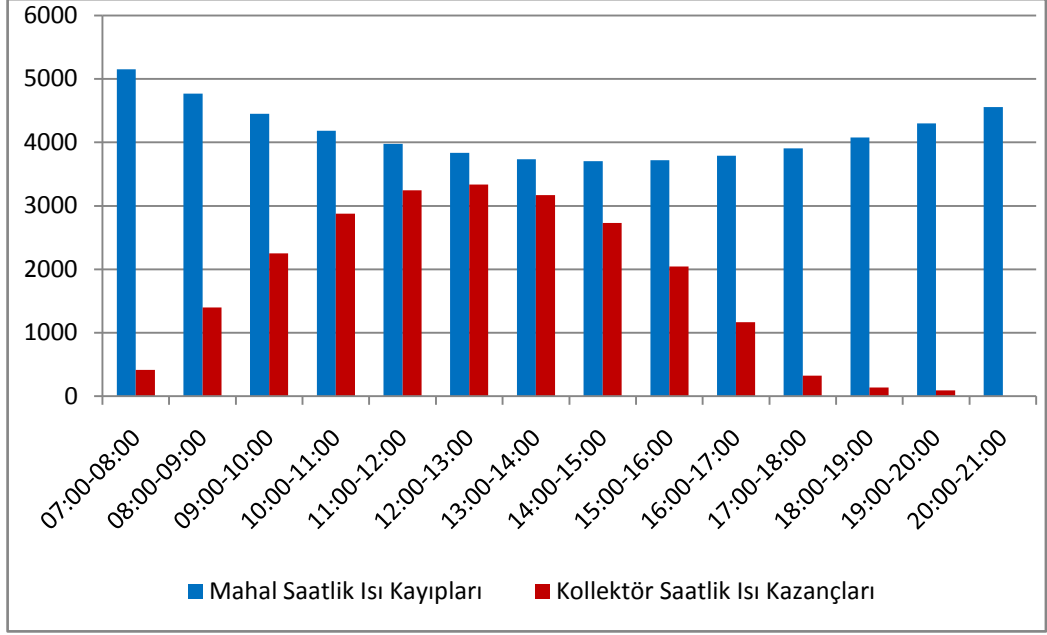
Şekil 6.21 Kasım (2012) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği



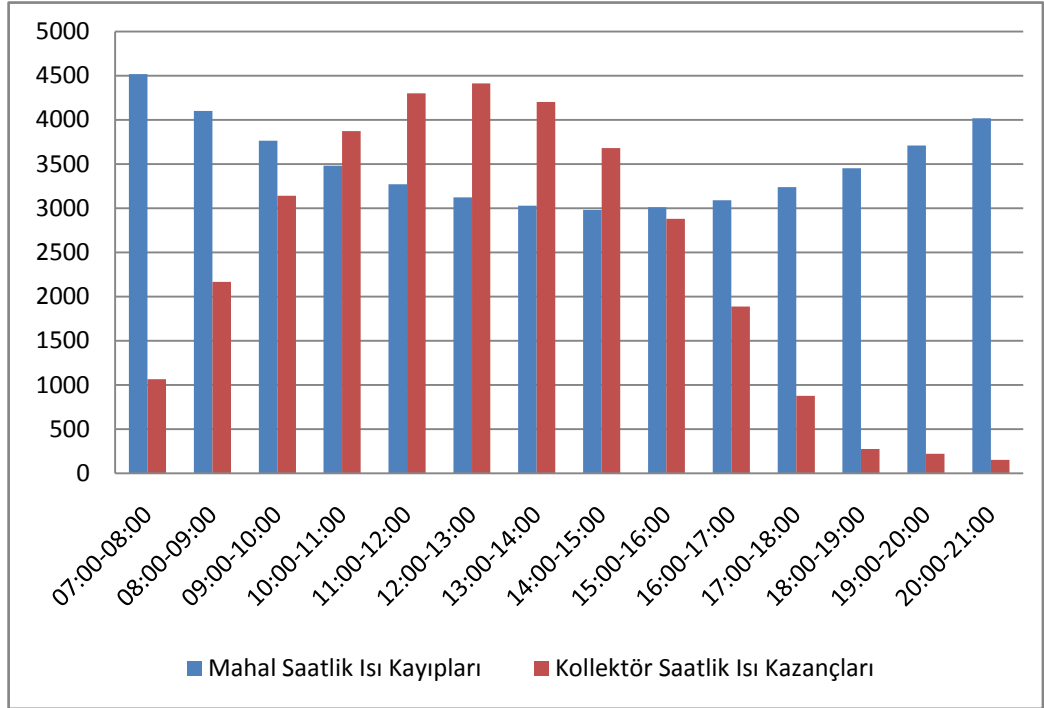
Şekil 6.3 Aralık (2012) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği



Şekil 6.4 Ocak (2013) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği



Şekil 6.5 Şubat (2013) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği



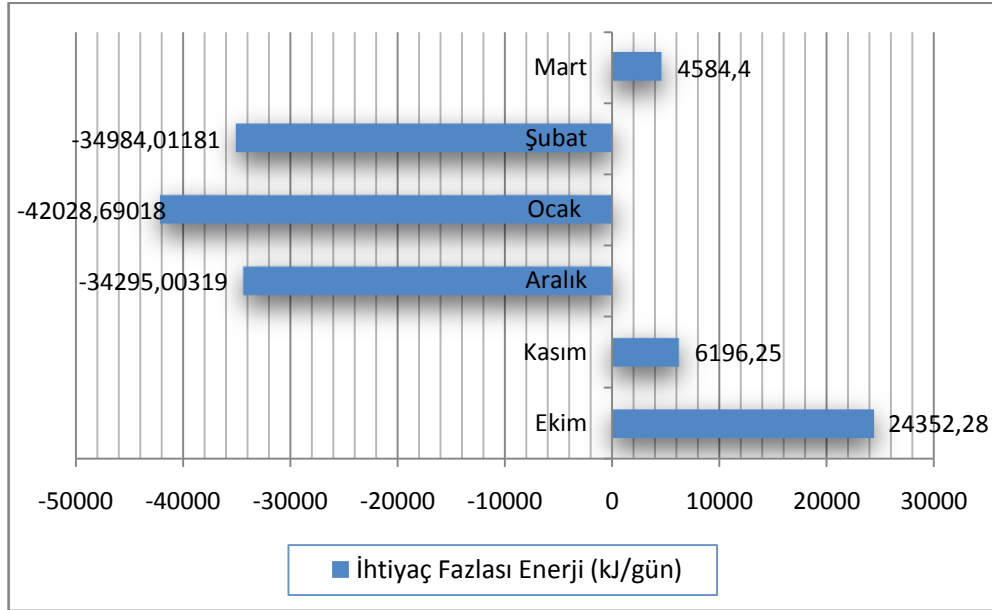
Şekil 6.6 Mart (2013) Ayı, kollektör ısı kazançları-mahal ısı kayıpları grafiği

Şekil 6.1-6.6'da verilen grafiklerde; gün içerisinde saat bazında mahal ısı yükü-kollektör ısı kazancı değerleri gösterilmiştir. Bu bağlamda edinilen sonuçlara göre Aralık 2012 – Şubat 2013 aylarını kapsayan 3 aylık dönemde mahal ısı yükünün fazla olması sebebiyle kollektörlerden elde edilen enerji ile depolama yapmak uygun görülmemektedir. Ancak

sonbahar ve ilkbahar dönemi periyodunda yer alan Ekim, Kasım ve Mart aylarında özellikle 10:00-15:00 saat dilimleri arasında ısı depolamadan faydalanabilecektir. Akşam saatlerinde mahal ısı yükü arttığı zaman dilimlerinde kullanılabilir ihtiyaç fazlası ısı enerji bulunmaktadır.

### 6.1.1 İhtiyaç Fazlası Depolanacak Enerji Miktarının Belirlenmesi

Aylara göre gün içerisinde toplanan ihtiyaç fazlası, depolanabilecek enerji miktarları Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere özellikle Ekim ayında bunun yanında Kasım ve Mart aylarında önemli miktarda depolanabilecek enerji ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.7 Aylara göre gün içerisinde elde edilen ihtiyaç fazlası depolanabilecek enerji miktarları

### 6.1.2 Sonuç

Bu bölümde Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi (YYEE)’nin güneş kolektörleri ile ısıtılmasında IEDS’nin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre;

- ✓ Bu sistemle Aralık 2012 – Şubat 2013 aylarını kapsayan 3 aylık en soğuk kış döneminde, mahal ısı yükünün fazla olması sebebiyle, kolektörlerden elde edilen enerjinin depolanarak kullanılması uygun değildir.

- ✓ Ekim 2012, Kasım 2012 ve Mart 2013 aylarında ise özellikle 10:00-15:00 saat dilimleri arasında ısı depolamadan faydalanabilmektedir. Bu sistem akşam saatlerinde mahal ısı yükünün arttığı zaman dilimlerinde kullanılabilir ısı enerji sağlanmaktadır.
- ✓ Çalışma sonuçları Mart 2013 ayında günlük ortalama 4584,4 kJ ihtiyaç fazlası depolanabilecek enerji miktarı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak YYEE'de bulunan yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma sisteminin 14.03.2013 - 03.04.2013 tarihleri arasındaki çalışma sürecinin enerjetik ve ekserjetik performansı deneysel olarak incelenmiştir.

## **6.2 Isıtma Sistemi Enerjetik ve Ekserjetik Analizi**

Bu bölümde Bölüm 5'te verilen eşitliklere bağlı olarak incelenen kontrol hacimleri için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. 14.03.2013-03.04.2013 arasında elde edilen verilere bağlı elde edilen sonuçların grafiksel ifadeleri ve sonuçların irdelenmesi yine bu bölüm kapsamında yer almaktadır.

İncelenen kontrol hacimlerine ait enerji analizi şarj ve deşarj periyodu olmak üzere iki bölümde incelenmiştir. Bu kapsamda şarj periyodunda güneş kolektörleri ve GID (şarj), deşarj periyodunda ise GID (deşarj), IP ve akümülatör tankı-DISS devresi incelenmiştir.

### **6.2.1 Şarj Süreci Analizi**

Bu bölümde güneş kolektörleri ve GID, termodinamiğin I. ve II. Yasasına göre incelenmiştir.

#### **6.2.1.1 Güneş Kolektörleri Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri**

Gizli ısı deposunun şarjı sürecinde incelenen güneş kolektörlerine ait sonuçlar enerji analizi, ekserji analizi ve verim başlığı altında üç bölümde verilmiş ve değerlendirilmiştir.

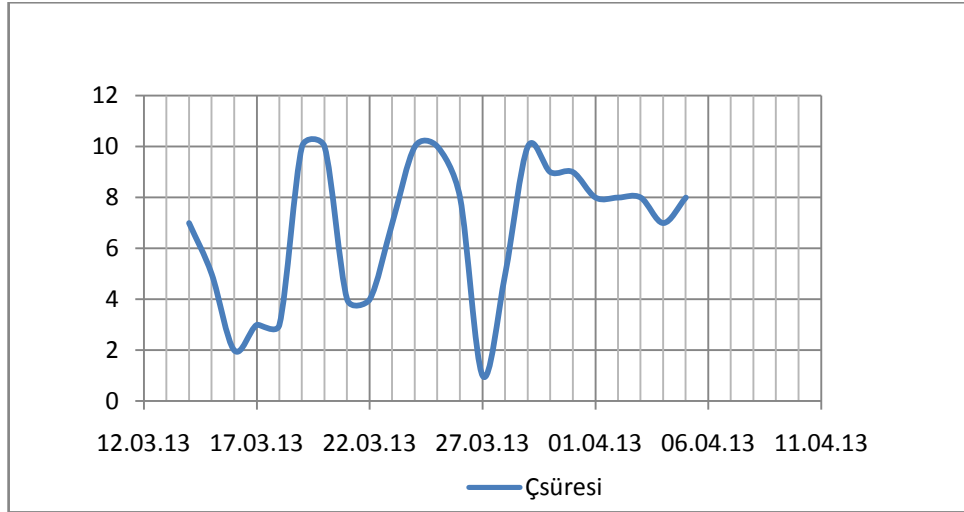
## Enerji Analizi

Güneş kolektörlerinin I. yasaya göre yapılan analizine ait sonuçlar Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu çizelgede kullanılan  $\zeta_{\text{süresi}}$ ; kolektör-GID devresinde bulunan pompanın her bir gün için saat cinsinden toplam çalışma süresini,  $I$ ; İstanbul şartlarında  $W$  cinsinden  $m^2$  ye gelen güneş ışınımını,  $E_{\text{giren}}$ ; güneş kolektörlerine gelen toplam ışınım enerjisini,  $E_{\text{kazanılan}}$ ; güneş kolektörlerinde dolaşan ısı transfer akışkanının kazandığı enerjiyi,  $Q_{\text{kayıp}}$ ; kolektörlerden çevreye olan ısı kaybını ve  $E_{\text{biriken}}$  ise soğurulamayıp kolektörde biriken enerjiyi ifade etmektedir.

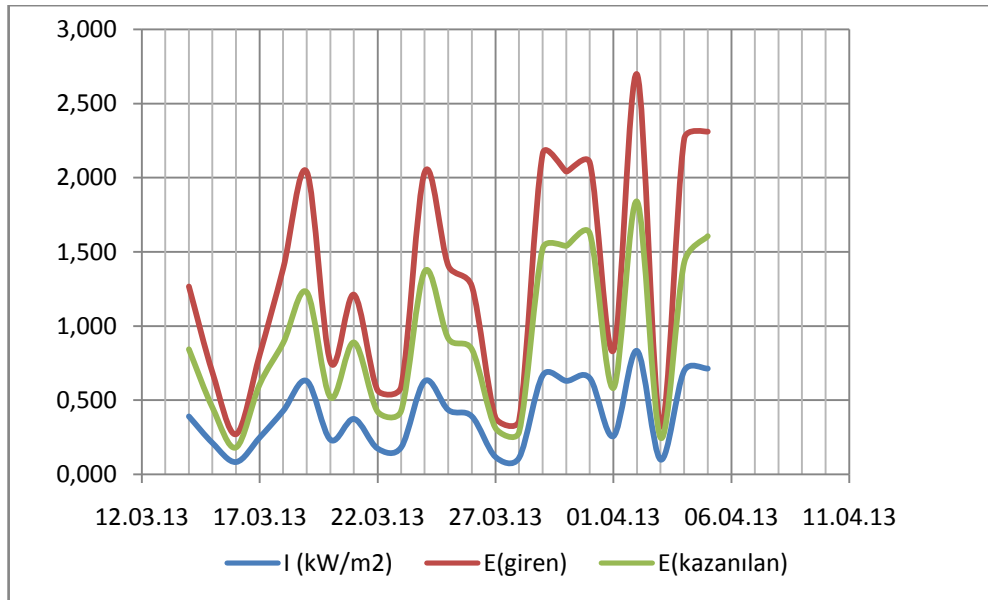
Çizelge 6.1 Güneş Kolektörü I. yasa analizi sonuçları

Tarih	$\zeta_{\text{süresi}}$ [h]	$I$ (kW/m <sup>2</sup> )	$E_{\text{giren}}$ (kW)	$E_{\text{kazanılan}}$ (kW)	$Q_{\text{kayıp}}$ (kW)	$E_{\text{biriken}}$ (kW)
14.03.13	7	0,391	1,267	0,844	0,214	0,209
15.03.13	5	0,212	0,687	0,451	0,169	0,067
16.03.13	2	0,084	0,272	0,183	0,064	0,025
17.03.13	3	0,249	0,807	0,608	0,159	0,040
18.03.13	3	0,429	1,390	0,888	0,246	0,256
19.03.13	10	0,629	2,038	1,228	0,272	0,538
20.03.13	10	0,234	0,758	0,520	0,174	0,065
21.03.13	4	0,374	1,212	0,890	0,244	0,078
22.03.13	4	0,175	0,567	0,424	0,115	0,028
23.03.13	7	0,183	0,593	0,430	0,143	0,019
24.03.13	10	0,629	2,038	1,370	0,276	0,392
25.03.13	10	0,434	1,406	0,916	0,252	0,238
26.03.13	8	0,391	1,267	0,843	0,221	0,203
27.03.13	1	0,118	0,382	0,313	0,064	0,005
28.03.13	5	0,113	0,366	0,288	0,077	0,001
29.03.13	10	0,667	2,161	1,523	0,316	0,322
30.03.13	9	0,630	2,041	1,541	0,318	0,183
31.03.13	9	0,648	2,100	1,623	0,315	0,161
01.04.13	8	0,258	0,836	0,583	0,186	0,067
02.04.13	8	0,832	2,696	1,839	0,355	0,502
03.04.13	8	0,100	0,324	0,248	0,052	0,024
04.04.13	7	0,698	2,262	1,428	0,319	0,515
05.04.13	8	0,713	2,310	1,606	0,332	0,372
Genel Ort.	6,783	0,400	1,295	0,895	0,212	0,187

Kollektör-GID devresinin çalışma süresinin günlük değişimi Şekil 6.8'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere günlük çalışma süresi 1-10 saat arasında değişen geniş bir aralıktadır. Bunun sebebi gelen güneş ışınımının, çevre sıcaklığının ve GID'nda depolanmış durumda olan enerji miktarının gün bazında gösterdiği önemli değişimlerdir.



Şekil 6.8 GID-kollektör devresinin günlük toplam çalışma süreleri



Şekil 6.9 Işınım şiddetine bağlı kollektör yüzeylerine gelen toplam enerji ve kollektörden enerji eldesinin günlük değişimi

Şekil 6.9'da ise günlük ortalama m<sup>2</sup> ye gelen güneş ışınımı, güneş kollektörleri toplam yüzeyine gelen ışınım enerjisi ve kollektörden gerçekleşen enerji kazancı verilmiştir.

Tablodan görüleceği üzere günlük ortalama güneş ışınımı değeri  $84 \text{ W/m}^2$  ile  $832 \text{ W/m}^2$  arasında gün bazında önemli dalgalanmalar göstermektedir. Buna bağlı olarak analiz sonuçlarına göre kolektörden elde edilen enerji kazancı  $0,183 \text{ kW}$  ile  $1,839 \text{ kW}$  arasında değişmektedir. Öte yandan kolektörlere gelen toplam enerji ile kolektörlerden kazanılan enerji miktarları gün bazında paralelik göstermektedir. Sistemde kullanılan kolektör miktarının artırılması güneş enerjisinden faydalanabilirliği arttıracaktır.

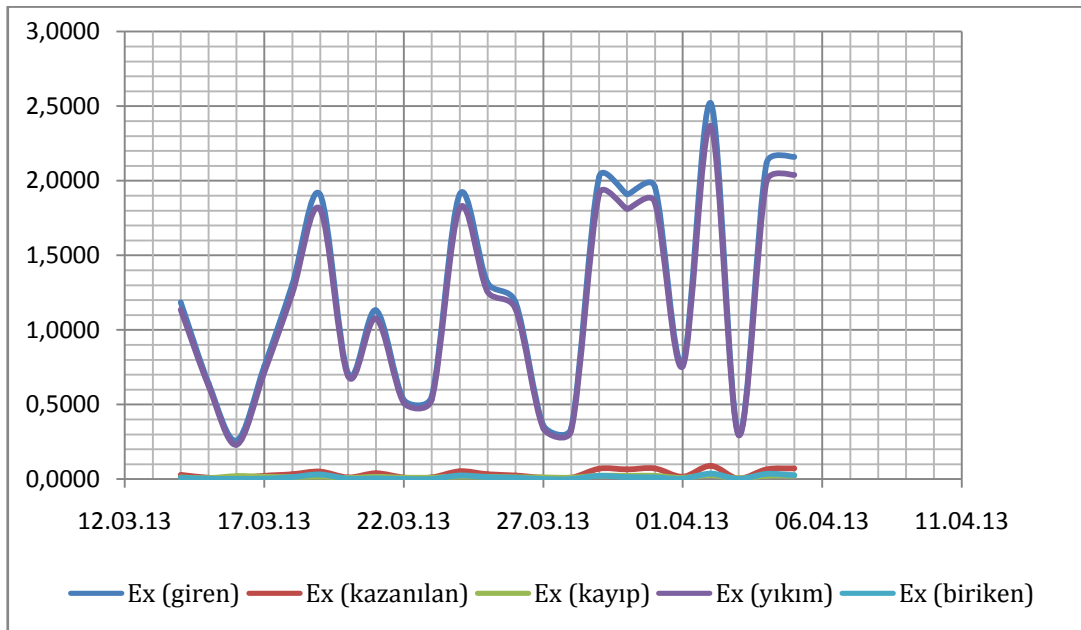
### Ekserji Analizi

Çizelge 6.2 Güneş kolektörü II. yasa analizi sonuçları

Tarih	$Ex_{giren}$ (kW)	$Ex_{kazanılan}$ (kW)	$Ex_{kayıp}$ (kW)	$Ex_{yıkım}$ (kW)	$Ex_{biriken}$ (kW)
14.03.13	1,184	0,027	0,011	1,136	0,009
15.03.13	0,642	0,008	0,006	0,625	0,002
16.03.13	0,256	0,005	0,020	0,229	0,001
17.03.13	0,755	0,022	0,015	0,715	0,002
18.03.13	1,300	0,031	0,014	1,241	0,013
19.03.13	1,907	0,050	0,017	1,809	0,031
20.03.13	0,707	0,010	0,007	0,688	0,002
21.03.13	1,132	0,037	0,015	1,075	0,004
22.03.13	0,530	0,010	0,009	0,510	0,001
23.03.13	0,554	0,012	0,010	0,531	0,001
24.03.13	1,906	0,051	0,017	1,814	0,023
25.03.13	1,318	0,032	0,014	1,258	0,013
26.03.13	1,185	0,024	0,011	1,140	0,009
27.03.13	0,358	0,009	0,010	0,339	0,000
28.03.13	0,343	0,008	0,010	0,325	0,001
29.03.13	2,024	0,069	0,022	1,910	0,021
30.03.13	1,909	0,065	0,022	1,811	0,012
31.03.13	1,960	0,072	0,022	1,855	0,010
01.04.13	0,780	0,015	0,008	0,754	0,002
02.04.13	2,520	0,089	0,027	2,366	0,037
03.04.13	0,302	0,003	0,004	0,294	0,001
04.04.13	2,116	0,065	0,023	1,993	0,034
05.04.13	2,159	0,071	0,024	2,038	0,025
<b>Genel Ort.</b>	<b>1,211</b>	<b>0,034</b>	<b>0,014</b>	<b>1,150</b>	<b>0,011</b>

Güneş kolektörlerinin II. yasaya göre yapılan analizine ait sonuçlar Çizelge 6.2’de verilmiştir. Tabloda verilen  $Ex_{giren}$ ; kolektör yüzeyine gelen toplam ekserjiyi,  $Ex_{kazanılan}$ ; ısı transfer akışkanının kolektörden olan ekserji kazancını,  $Ex_{kayıp}$ ; kolektörlerden çevreye olan ekserji kaybını,  $Ex_{yıkım}$ ; kolektörlerde gerçekleşen ekserji yıkımını,  $Ex_{biriken}$  ise soğurulamayıp kolektörde biriken ekserjiyi ifade etmektedir.

Şekil 6.10 güneş kolektörlerine ait ekserji değerlerinin günlük değişimini göstermektedir. Kolektörlerde ekserji yıkımının çok yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi kolektör yüzeylerine gelen yüksek sıcaklıktaki güneş ışınımının yüksek kullanılabilirlik değerine karşılık kolektörden elde edilen kullanılabilirliğin çok düşük değerde olmasıdır. Kolektör yüzeyine gelen toplam ekserji 256-2520 W aralığında değişim gösterirken kolektörden elde edilen ekserji 3,4-72,1 W aralığında kalmıştır.



Şekil 6.10 Güneş kolektörlerine ait ekserji değerlerinin günlere göre değişimi

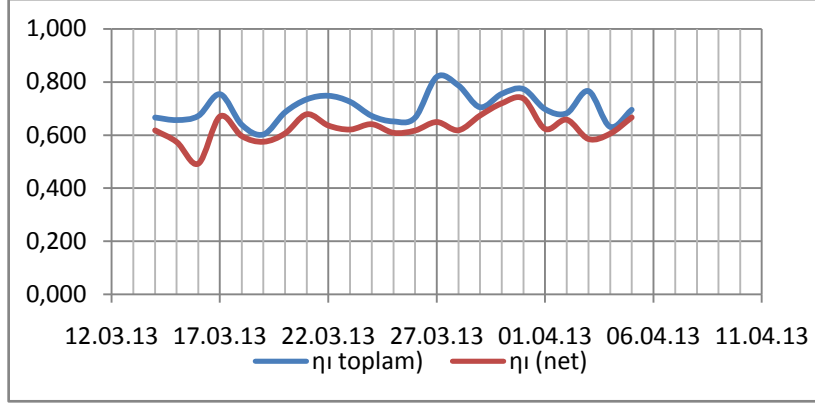
### Verimler

Çizelge 6.3’te güneş kolektörlerinin enerji ve ekserji verimleri verilmiştir. Her iki verimde toplam verim ( $\eta_{toplam}$ ) ve net verim ( $\eta_{net}$ ) şeklinde iki farklı şekilde elde edilmiştir. Toplam verim ifadesi kolektör-GID devresinde suyun dolaşımını sağlayan pompaya verilen enerji ( $W_p$ ) hesaba katılmadan net verim ise hesaba katılarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.3 Güneş kolektörlerinin günlere göre toplam ve net verimleri

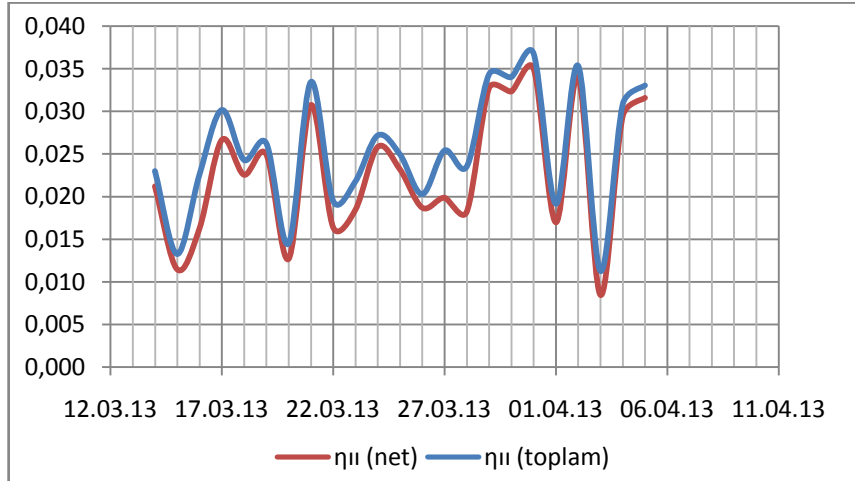
Tarih	$W_{\text{pompa}}$ (kW)	$\eta_{\text{I toplam}}$	$\eta_{\text{I net}}$	$\eta_{\text{II toplam}}$	$\eta_{\text{II net}}$
14.03.13	0,100	0,666	0,617	0,023	0,021
15.03.13	0,100	0,657	0,573	0,013	0,011
16.03.13	0,100	0,672	0,492	0,023	0,016
17.03.13	0,100	0,754	0,671	0,030	0,027
18.03.13	0,100	0,639	0,596	0,024	0,023
19.03.13	0,100	0,603	0,574	0,026	0,025
20.03.13	0,100	0,686	0,606	0,014	0,013
21.03.13	0,100	0,734	0,678	0,033	0,031
22.03.13	0,100	0,748	0,636	0,019	0,016
23.03.13	0,100	0,725	0,621	0,022	0,018
24.03.13	0,100	0,672	0,641	0,027	0,026
25.03.13	0,100	0,651	0,608	0,025	0,023
26.03.13	0,100	0,665	0,617	0,020	0,019
27.03.13	0,100	0,819	0,649	0,025	0,020
28.03.13	0,100	0,787	0,618	0,024	0,018
29.03.13	0,100	0,705	0,674	0,034	0,033
30.03.13	0,100	0,755	0,720	0,034	0,032
31.03.13	0,100	0,773	0,738	0,037	0,035
01.04.13	0,100	0,697	0,623	0,019	0,017
02.04.13	0,100	0,682	0,658	0,035	0,034
03.04.13	0,100	0,765	0,585	0,011	0,008
04.04.13	0,100	0,631	0,605	0,031	0,029
05.04.13	0,100	0,695	0,666	0,033	0,032
Genel Ort.	0,100	0,704	0,629	0,025	0,023

Şekil 6.11’de ise güneş kolektörlerinin toplam ve net enerji veriminin gün bazında değişimi görülmektedir. Grafikten görüleceği üzere toplam ve net verim birbirine yakın değerlerde seyretmektedir. Ancak toplam verim ifadesi pompa işi katılmadığı için net verime göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Güneş kolektörleri en yüksek toplam enerji verimi ile 27 Mart 2013 günü en yüksek net enerji verimi ile 31 Mart 2013 günü çalışmıştır.



Şekil 6.11 Güneş kolektörleri toplam ve net enerji veriminin günlere göre değişimi

Şekil 6.12’de güneş kolektörlerinin toplam ve net ekserji veriminin gün bazında değişimi görülmektedir. Toplam ve net ekserji verimleri çalışma süreci boyunca çoğunlukla %1-4 aralığında kalmıştır. Bu da güneş ışınımından elde edilen kullanılabilirliğin düşük olduğunu göstermektedir. Güneş ışınımı ekserjisinin sistemdeki pompa işine oranla çok büyük olması toplam ve net verim değerlerinin birbirine çok yakın değerde olmasını sağlamıştır. Daha önce yapılan çalışmalar kolektördeki akışkan dolaşım hızının artırılmasının kolektör ekserji verimlerini olumlu etkilediğini göstermektedir. Bu bağlamda kolektör-GID devresinde kullanılan pompa gücünün artırılmasının ekserji verimini artıracığı öngörülmektedir.



Şekil 6.12 Güneş kolektörleri toplam ve net enerji veriminin günlere göre değişimi

Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilen enerji ve ekserji verimleri karşılaştırıldığında enerji verimi ortalamalarının ekserji verimi ortalamalarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu fark güneş ışınımından gerçekleşen enerji kazançlarının, akışkana

aktarılan kullanılabilirliğe göre önemli derecede yüksek değerlerde olduğunu ortaya koymaktadır.

### 6.2.1.2 GID Sistemi Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri

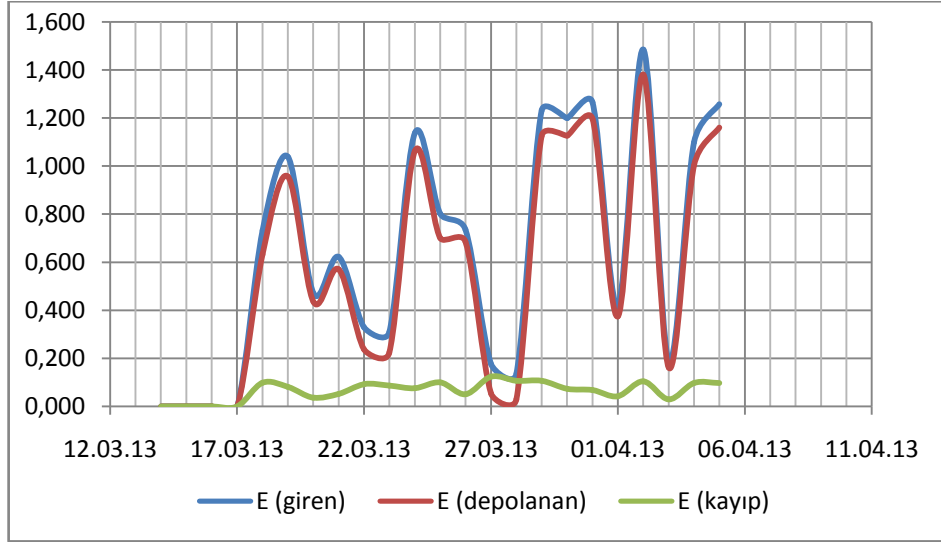
Çizelge 6.4 GID'na ait enerji dağılımları

Tarih	Çsüresi [h]	T <sub>ort</sub> [°C]	E <sub>giren</sub> [kW]	E <sub>depolanan</sub> [kW]	E <sub>kayıp</sub> [kW]
14.03.13	7	290,000	0.568	0.520	0.048
15.03.13	5	287,260	0.345	0.293	0.052
16.03.13	2	276,150	0.644	0.459	0.184
17.03.13	3	278,033	0.390	0.255	0.136
18.03.13	3	285,467	0,732	0,633	0,098
19.03.13	10	288,440	1,039	0,957	0,081
20.03.13	10	288,660	0,471	0,435	0,036
21.03.13	4	290,175	0,622	0,570	0,052
22.03.13	4	284,550	0,329	0,237	0,092
23.03.13	7	282,057	0,309	0,223	0,086
24.03.13	10	286,660	1,138	1,063	0,075
25.03.13	10	283,120	0,802	0,701	0,100
26.03.13	8	287,988	0,735	0,685	0,050
27.03.13	1	280,000	0,176	0,053	0,123
28.03.13	5	280,640	0,135	0,029	0,106
29.03.13	10	285,730	1,232	1,126	0,106
30.03.13	9	291,822	1,200	1,127	0,073
31.03.13	9	294,922	1,265	1,196	0,068
01.04.13	8	292,725	0,417	0,374	0,042
02.04.13	8	291,975	1,485	1,381	0,104
03.04.13	8	292,238	0,190	0,161	0,029
04.04.13	7	290,371	1,099	1,003	0,097
05.04.13	8	291,538	1,258	1,161	0,097
<b>Genel Ort.</b>	<b>6,783</b>	<b>286,979</b>	<b>0,770</b>	<b>0,690</b>	<b>0,080</b>

Güneş kolektörlerinden kazanılan enerjinin genel ortalamasına bakıldığında 0.895 kW olduğu, GID'na aktarılan miktarın ise 0,770 kW olduğu görülmektedir. Buna göre güneş kolektörlerinden kazanılan enerji %86 verimle GID'na aktarılmıştır. Çizelge 6.4'te GID'na aktarılan bu enerjinin dağılımı ifade edilmiştir. Ayrıca çizelgede GID şarj sürelerinin günlük değişimi ve günlük ortalama dış hava sıcaklıkları ifade edilmiştir.

## Enerji Analizi

Şekil 6.13'te verilen GID'na giren enerji miktarı ve bu enerjinin dağılımına bakıldığında GID'nda depolanan miktarın kayıp enerjiye göre önemli ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. GID'na giren enerjinin çok büyük bölümü depolanabilmiştir. GID'na aktarılan enerji miktarı ise günlere göre 0,18-1.5 kW aralığında değişmiştir.



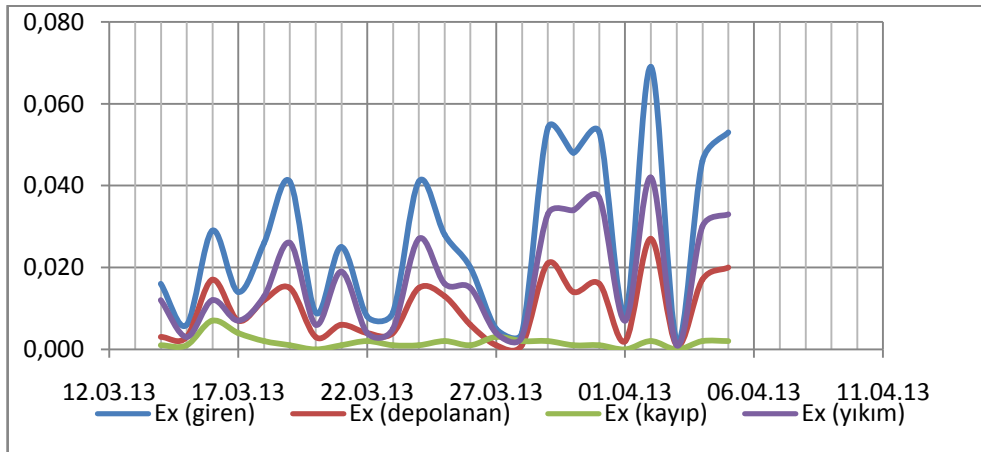
Şekil 6.13 GID'na giren enerji miktarı ve dağılımı

## Ekserji Analizi

Güneş kolektörlerinde suyun kazandığı ekserjinin genel ortalamasına bakıldığında 34,5 W değerinde olduğu görülmektedir. GID'na anlık aktarılan ekserji miktarı ise 27 W olmuştur. Buna göre çalışma periyodu süresince kolektörlerden GID'na ekserji aktarım verimi ortalama %78,2 şeklinde gerçekleşmiştir. Çizelge 6.5'te verilen GID'na giren ekserjinin dağılımına bakıldığında, enerji dağılımının aksine depolanabilen ekserji miktarlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi GID'suna ısı yüklenmesi sırasında ısıl depoda gerçekleşen entropi üretimi ve buna bağlı ortaya çıkan ekserji yıkımıdır. Şekil 6.14'te GID'nda elde edilen ekserji dağılımlarının günlük değişimleri ve genel ortalamaları görülmektedir. GID'nda ekserji yıkımı değerlerinin Nisan 2013 ayının ilk günlerinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Bunun sebebi dış hava sıcaklıklarının bu dönemde en yüksek değerine ulaşmış olmasıdır. GID'nda depolanabilen ekserji değerleri çalışmanın gerçekleştirildiği süreç içerisinde 1-27 W arasında değişmiştir.

Çizelge 6.5 GID'ndaki ekserji dağılımları

Tarih	Ex <sub>giren</sub> (kW)	Ex <sub>depolanan</sub> (kW)	Ex <sub>kayıp</sub> (kW)	Ex <sub>yıkım</sub> (kW)	W <sub>Pompa</sub> (kW)
14.03.13	0,016	0,003	0,001	0,012	0,1
15.03.13	0,006	0,003	0,001	0,003	0,1
16.03.13	0,029	0,017	0,007	0,012	0,1
17.03.13	0,014	0,007	0,004	0,007	0,1
18.03.13	0,026	0,012	0,002	0,013	0,1
19.03.13	0,041	0,015	0,001	0,026	0,1
20.03.13	0,009	0,003	0,000	0,006	0,1
21.03.13	0,025	0,006	0,001	0,019	0,1
22.03.13	0,008	0,004	0,002	0,004	0,1
23.03.13	0,009	0,004	0,001	0,005	0,1
24.03.13	0,041	0,015	0,001	0,027	0,1
25.03.13	0,028	0,013	0,002	0,016	0,1
26.03.13	0,020	0,006	0,001	0,015	0,1
27.03.13	0,005	0,001	0,003	0,004	0,1
28.03.13	0,004	0,001	0,002	0,003	0,1
29.03.13	0,054	0,021	0,002	0,033	0,1
30.03.13	0,048	0,014	0,001	0,034	0,1
31.03.13	0,053	0,016	0,001	0,037	0,1
01.04.13	0,009	0,002	0,000	0,007	0,1
02.04.13	0,069	0,027	0,002	0,042	0,1
03.04.13	0,002	0,001	0,000	0,001	0,1
04.04.13	0,046	0,017	0,002	0,030	0,1
05.04.13	0,053	0,020	0,002	0,033	0,1
Genel Ort.	<b>0,027</b>	<b>0,010</b>	<b>0,002</b>	<b>0,017</b>	<b>0,1</b>



Şekil 6.14 GID'ndaki ekserji dağılımının günlere göre değişimi

## Verimler

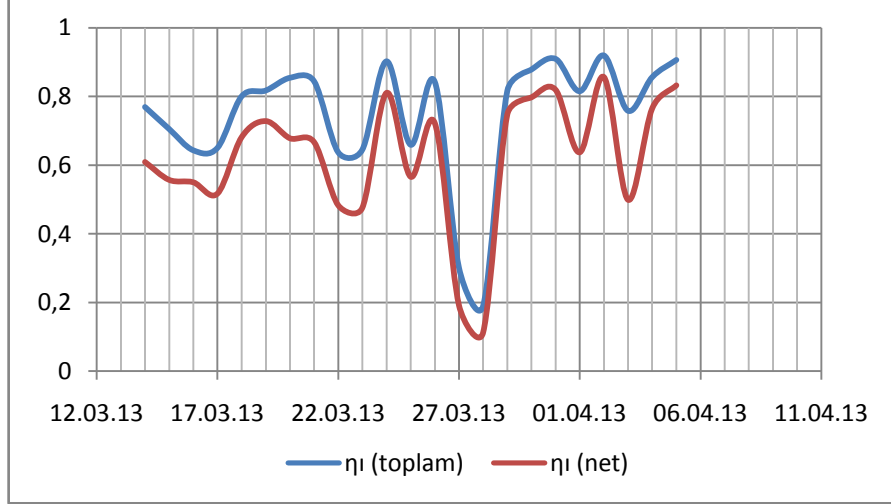
GID'nun güneş kolektörlerine benzer şekilde elde edilen net ve toplam verimleri Çizelge 6.6'da görülmektedir. Çizelgede çalışma süreci için elde edilen hem I. yasaya, hem de ikinci yasaya ait verimler verilmiştir. Son satırlarda ise verimlere ait genel ortalama değerler yer almaktadır.

Çizelge 6.6 GID şarj sürecindeki toplam ve net verimler

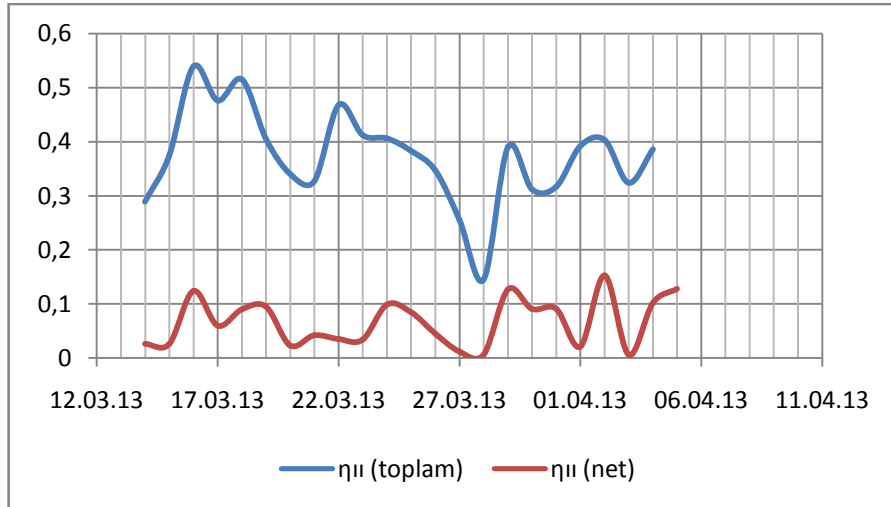
Tarih	$\eta_{\text{toplam}}$	$\eta_{\text{net}}$	$\eta_{\text{IItoplam}}$	$\eta_{\text{IInet}}$
14.03.13	0,769	0,609	0,289	0,026
15.03.13	0,705	0,557	0,375	0,026
16.03.13	0,643	0,55	0,539	0,124
17.03.13	0,650	0,517	0,476	0,060
18.03.13	0,800	0,681	0,515	0,090
19.03.13	0,817	0,728	0,405	0,095
20.03.13	0,854	0,678	0,340	0,023
21.03.13	0,844	0,667	0,327	0,042
22.03.13	0,637	0,483	0,468	0,035
23.03.13	0,645	0,476	0,412	0,034
24.03.13	0,902	0,810	0,406	0,099
25.03.13	0,659	0,566	0,383	0,085
26.03.13	0,842	0,722	0,347	0,045
27.03.13	0,301	0,192	0,256	0,012
28.03.13	0,190	0,113	0,145	0,006
29.03.13	0,816	0,747	0,390	0,127
30.03.13	0,878	0,797	0,312	0,091
31.03.13	0,909	0,819	0,317	0,091
01.04.13	0,815	0,637	0,392	0,021
02.04.13	0,919	0,856	0,403	0,153
03.04.13	0,758	0,499	0,324	0,006
04.04.13	0,856	0,765	0,386	0,102
05.04.13	0,906	0,832	0,399	0,128
Genel Ort.	0,74	0,62	0,37	0,07

Şekil 6.15'te GID'na ısı yüklenmesi sürecindeki enerji verimlerinin Şekil 6.16'da ise ekserji verimlerinin günlere göre değişimi görülmektedir. 28 Nisan 2013 tarihinde dış hava sıcaklığının önemli ölçüde düşüş göstermesi GID'ndan çevreye olan enerji ve

ekserji kaybını önemli ölçüde arttırmış bu da hem enerji verimini hem de ekserji verimini belirgin şekilde azaltmıştır. GID'nda depolanan kullanılabilirliğin düşük olması II. yasa verimi ifadesine pompa işi de katıldığı zaman önemli bir düşüşe sebep olmaktadır. GID toplam ekserji veriminin genel ortalaması %37 iken net ekserji veriminin genel ortalaması %7'dir.



Şekil 6.15 GID toplam ve net enerji veriminin günlere göre değişimi



Şekil 6.16 GID toplam ve net ekserji veriminin günlere göre değişimi

### 6.2.2 Deşarj Süreci Analizi

Bu bölümde GID'ndan ısı soğurulması süreci için GID (deşarj), IP ve akümülatör tankı-DISS sonuçları enerji, ekserji ve verim ifadeleriyle incelenmiştir.

### 6.2.2.1 GID Sistemi Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri

#### Enerji

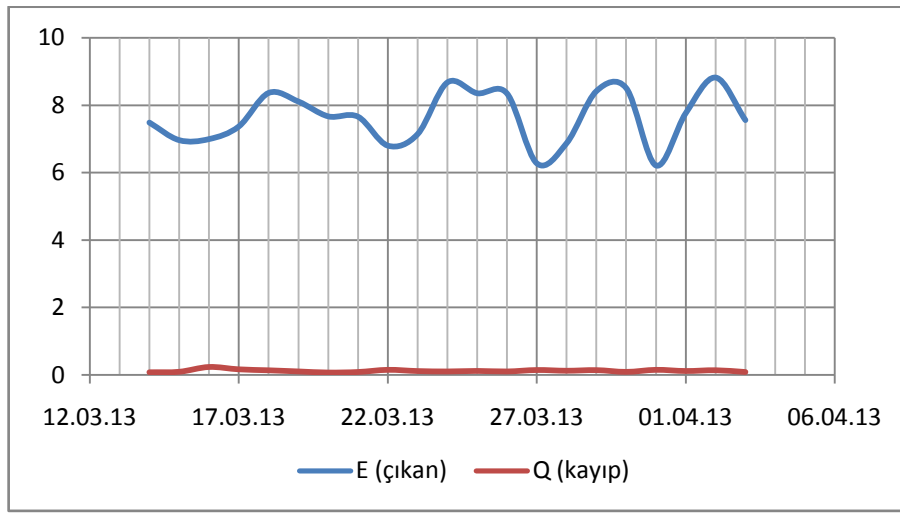
GID'ndan ısı soğurulması (deşarj) sürecinde sistemin günlük çalışma süresi dakika cinsinden ve günlük çalışma sayıları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Ayrıca günlük ortalama çevre sıcaklıkları, GID'ndan çekilen ısı miktarı ve çevreye olan ısı kayıpları aynı çizelgede görülebilmektedir.

Çizelge 6.7 GIDdeşarj sürecine ait enerji dağılımları ve çalışma süreleri

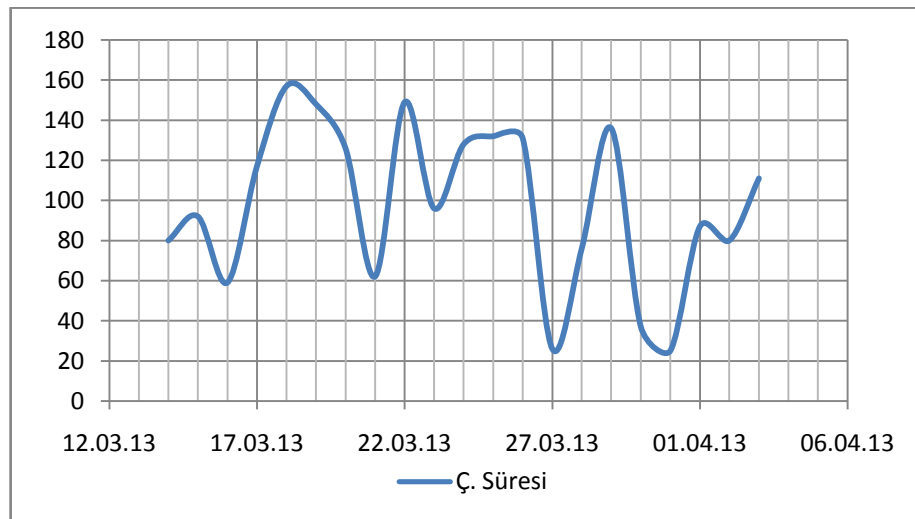
Tarih	Çsüresi (dak)	Çsayısı	T <sub>dış ortam</sub> (K)	E <sub>çıkan</sub> (kW)	Q <sub>kayıp</sub> (kW)	W <sub>pompa</sub> (kW)
14.03.13	80	8	289,0	7,488	0,078	0,12
15.03.13	92	9	285,9	6,966	0,092	0,12
16.03.13	59	5	276,0	6,997	0,233	0,12
17.03.13	117	12	277,3	7,372	0,164	0,12
18.03.13	157	21	278,0	8,369	0,136	0,12
19.03.13	148	18	287,2	8,113	0,103	0,12
20.03.13	126	17	286,0	7,673	0,071	0,12
21.03.13	62	8	288,8	7,663	0,086	0,12
22.03.13	149	20	281,8	6,803	0,150	0,12
23.03.13	96	12	279,2	7,144	0,113	0,12
24.03.13	128	16	285,7	8,682	0,102	0,12
25.03.13	132	14	282,1	8,36	0,118	0,12
26.03.13	131	14	283,0	8,354	0,102	0,12
27.03.13	26	3	280,0	6,277	0,144	0,12
28.03.13	76	8	280,0	6,875	0,123	0,12
29.03.13	136	16	285,6	8,423	0,141	0,12
30.03.13	37	5	287,7	8,513	0,090	0,12
31.03.13	25	3	288,4	6,213	0,149	0,12
01.04.13	87	11	290,0	7,771	0,115	0,12
02.04.13	80	10	289,5	8,826	0,138	0,12
03.04.13	111	11	290,2	7,562	0,085	0,12
Genel Ort.	97,86	11,48	284,4	7,692	0,121	0,120

Şekil 6.17'de GID'ndan soğurulan günlük ortalama enerji miktarlarının değişimi görülmektedir. GID'na ısı yükleme sürecine bakıldığında enerji miktarının düşük

seviyede olduğu (0,8-1,5 kW arası) ancak Şekil 6.17'ye bakıldığında bu değer 6,2-8,8 kW arasında olduğu görülmektedir. Buna karşın GID günlük toplam şarj süreleri ile deşarj sürelerine bakıldığında şarj süresinin deşarja göre çok daha uzun olduğu görülmüştür. Bu durum GID'nun kollektörlerden elde edilen düşük yoğunluktaki enerjinin depolanmasına ve enerji talebinin arttığı zaman dilimlerinde yüksek yoğunlukta soğurulmasına imkan vererek, sistem performansını arttırdığını ortaya koymaktadır. Günlük deşarj sürelerine bakıldığında (Şekil 6.18) bu sürenin 25-157 dak. arasında değiştiği görülmektedir. Genel ortalama deşarj süresi ise 97,8 dak. olarak hesaplanmıştır. Şarj süresi için ise bu değer 402 dak. olarak belirlenmiştir.

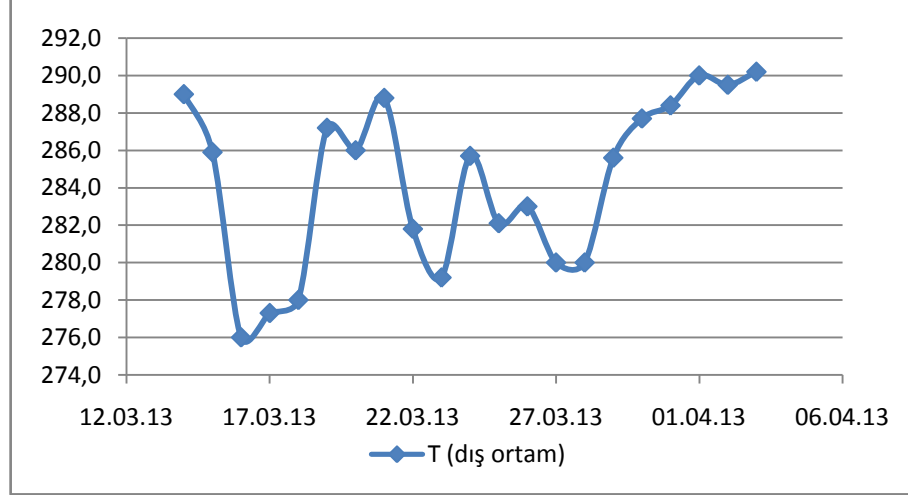


Şekil 6.17 GID'ndan soğrulan enerji ve ısı kaybı miktarının günlük değışimi



Şekil 6.18 Deşarj sürelerinin günlük değışimi

Şekil 6.19’da verilen dış ortam sıcaklıklarının günlük değişimine bakıldığında deşarj sürelerine göre zıt bir eğilim göstermektedir. Bu durum dış ortam sıcaklığının düşüşüne bağlı olarak enerji talebinin arttığını göstermektedir. GID’nun sistemde yer alması, sistemin sağladığı enerji ile mahal enerji talebi arasındaki arz talep dengesinin sağlanması açısından önem arz etmekte ve sistemin verimliliğini arttırmaktadır.



Şekil 6.19 Dış ortam sıcaklıklarının günlük değişimi

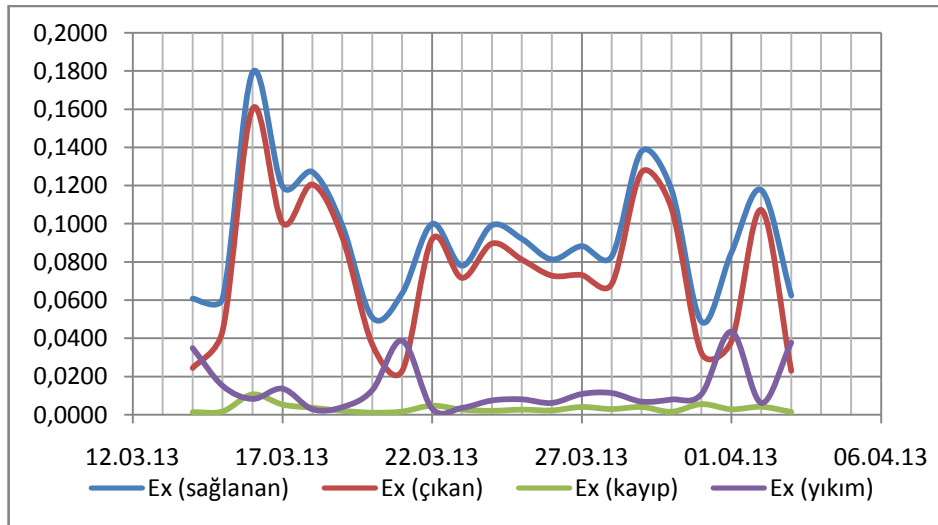
### Ekserji

GID’nun deşarjına ait ekserji dağılımları Çizelge 6.8’de verilmiştir. Sırasıyla FDM’nin ekserjisindeki toplam değişim, ITA’nın kazandığı ekserji, GID’ndan çevreye olan ekserji kaybı ve GID’nda gerçekleşen ekserji yıkımı çizelgede görülebilmektedir.

Şekil 6.20’de verilen GID’na ait ekserji dağılımında, dış ortam sıcaklığına bağlı olarak GID’ndaki ekserji değişimi ve GID’ndan kazanılan ekserji de önemli değişimler meydana geldiği görülmektedir. Hava sıcaklığının düştüğü dönemlerde GID’ndan kazanılan ekserjinin arttığı ancak hava sıcaklığının arttığı dönemlerde ekserji yıkımının da artışına bağlı olarak kazanılan ekserji miktarının düştüğü görülmektedir.

Çizelge 6.8 GID deşarj sürecinde ekserji dağılımları

Tarih	Ex <sub>sağlanan</sub> (kW)	Ex <sub>çıkan</sub> (kW)	Ex <sub>kayıp</sub> (kW)	Ex <sub>yıkım</sub> (kW)	W <sub>pompa</sub> (kW)
14.03.13	0,060	0,024	0,001	0,035	0,120
15.03.13	0,061	0,044	0,002	0,015	0,120
16.03.13	0,179	0,160	0,010	0,008	0,120
17.03.13	0,119	0,100	0,005	0,013	0,120
18.03.13	0,127	0,120	0,003	0,003	0,120
19.03.13	0,099	0,093	0,002	0,004	0,120
20.03.13	0,050	0,036	0,001	0,013	0,120
21.03.13	0,063	0,023	0,001	0,038	0,120
22.03.13	0,099	0,092	0,005	0,003	0,120
23.03.13	0,078	0,071	0,002	0,003	0,120
24.03.13	0,099	0,089	0,002	0,007	0,120
25.03.13	0,092	0,081	0,003	0,008	0,120
26.03.13	0,081	0,072	0,002	0,006	0,120
27.03.13	0,088	0,073	0,004	0,010	0,120
28.03.13	0,082	0,068	0,003	0,011	0,120
29.03.13	0,138	0,127	0,004	0,007	0,120
30.03.13	0,117	0,108	0,001	0,008	0,120
31.03.13	0,048	0,032	0,005	0,011	0,120
01.04.13	0,084	0,038	0,002	0,044	0,120
02.04.13	0,117	0,107	0,004	0,006	0,120
03.04.13	0,062	0,023	0,001	0,038	0,120
Genel Ort	<b>0,093</b>	<b>0,075</b>	<b>0,0033</b>	<b>0,014</b>	<b>0,120</b>



Şekil 6.20 GID'nun deşarj sürecinde ekserji dağılımlarının günlük değişimleri

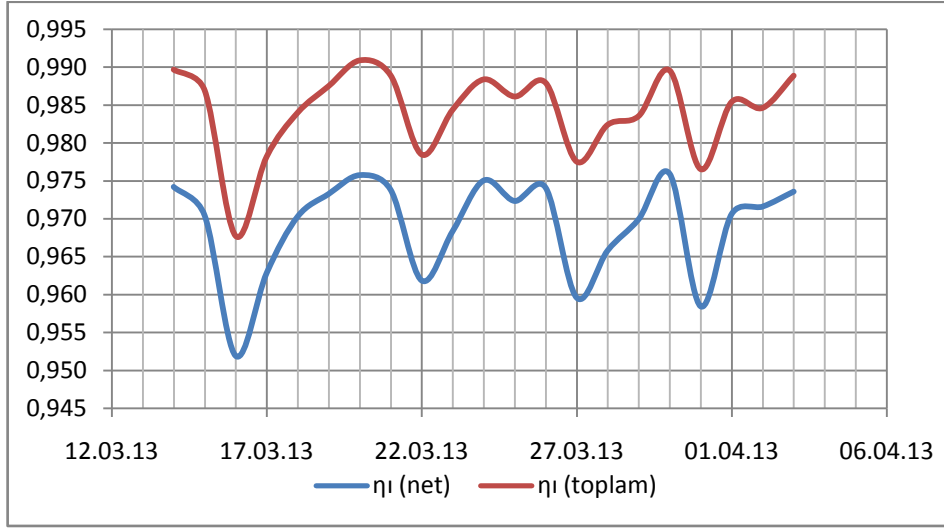
## Verimler

Çizelge 6.9 GID deşarj periyoduna ait verimler

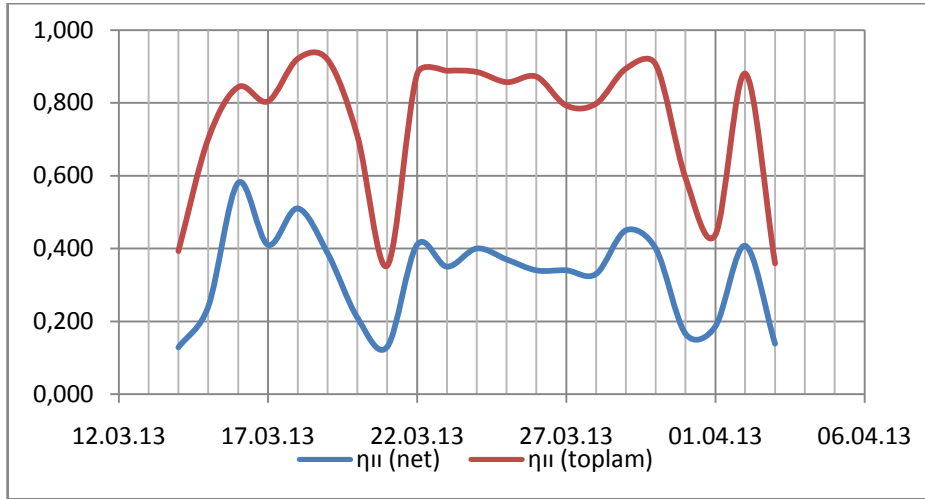
Tarih	$\eta_{I_{net}}$	$\eta_{II_{net}}$	$\eta_{I_{toplam}}$	$\eta_{II_{toplam}}$
14.03.13	0,974	0,129	0,990	0,393
15.03.13	0,970	0,240	0,987	0,701
16.03.13	0,952	0,580	0,968	0,843
17.03.13	0,963	0,410	0,978	0,804
18.03.13	0,970	0,510	0,984	0,921
19.03.13	0,973	0,388	0,988	0,919
20.03.13	0,976	0,210	0,991	0,710
21.03.13	0,974	0,130	0,989	0,353
22.03.13	0,962	0,410	0,978	0,879
23.03.13	0,968	0,350	0,984	0,888
24.03.13	0,975	0,400	0,988	0,885
25.03.13	0,972	0,370	0,986	0,857
26.03.13	0,974	0,340	0,988	0,872
27.03.13	0,960	0,340	0,978	0,793
28.03.13	0,966	0,330	0,982	0,798
29.03.13	0,970	0,450	0,984	0,894
30.03.13	0,976	0,400	0,990	0,905
31.03.13	0,958	0,166	0,977	0,593
01.04.13	0,971	0,186	0,985	0,438
02.04.13	0,972	0,407	0,985	0,881
03.04.13	0,974	0,138	0,989	0,359
Genel Ort.	0,969	0,328	0,984	0,747

Çizelge 6.9'da GID deşarj sürecine ait toplam ve net verimler verilmiştir. II. yasa verimlerine bakıldığı zaman toplam ve net verim arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Ancak I .yasa verimlerinde toplam ve net verim değerleri birbirine yakın değerlerdedir.

Şekil 6.21 ve Şekil 6.22 GID deşarj sürecinin günlere bağlı değişimini göstermektedir. Toplam enerji verimi genel ortalaması %98 iken toplam ekserji verimi genel ortalaması %74 olmuştur. Diğer yandan net verimlere bakıldığında bu değerler sırasıyla %96 ve %32 mertebesindedir. Şarj sürecindeki ekserji verimlerinde ise bu değerlerin altında verimler ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi GID'ndan ekserji soğurulması sürecinde ortaya çıkan ekserji yıkımının kazanılan ekserjiye göre düşük olmasıdır.



Şekil 6.21 GID deşarj periyodu toplam ve net enerji verimlerinin günlere göre değişimi



Şekil 6.22 deşarj periyodu toplam ve net ekserji verimlerinin günlere göre değişimi

### 6.2.2.2 IP Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri

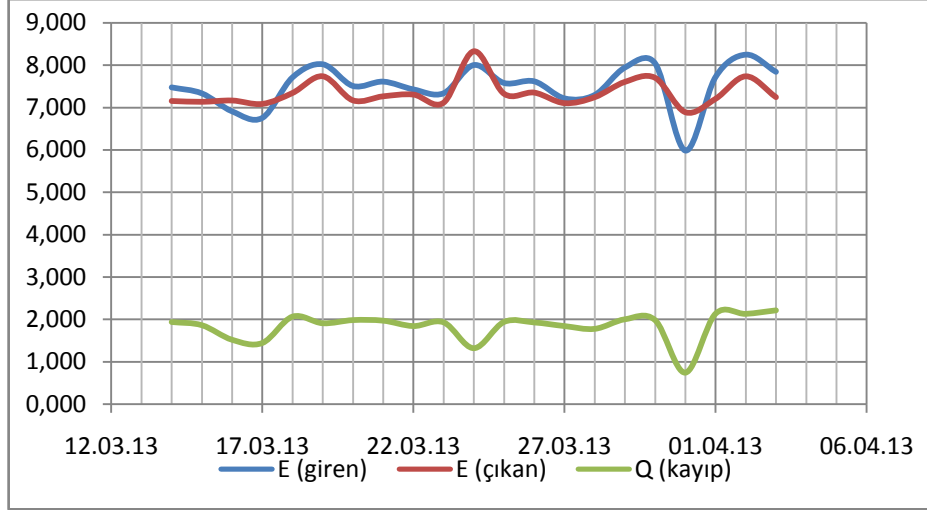
#### Enerji

IP enerji değerlerine ait sonuçlar Çizelge 6.10'da verilmiştir. Bakıldığı zaman IP'na giren ve çıkan enerji miktarlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görölmektedir. IP'nda yoğuşturucu sıcaklığının 220-230 K aralığında olmasından dolayı IP'dan sistem odasına olan ısı kayıpları yüksek değerlerdedir.

Çizelge 6.10 IP enerji dağılımları ve kompresör işi

Tarih	E <sub>giren</sub>	E <sub>çıkan</sub>	W <sub>komp</sub>	Q <sub>kayıp</sub>
14.03.13	7,473	7,154	1,624	1,943
15.03.13	7,332	7,135	1,670	1,868
16.03.13	6,910	7,166	1,780	1,524
17.03.13	6,755	7,086	1,779	1,447
18.03.13	7,709	7,343	1,704	2,070
19.03.13	8,017	7,738	1,634	1,914
20.03.13	7,506	7,169	1,651	1,988
21.03.13	7,609	7,265	1,631	1,975
22.03.13	7,426	7,305	1,727	1,848
23.03.13	7,335	7,114	1,715	1,936
24.03.13	7,999	8,328	1,654	1,325
25.03.13	7,577	7,325	1,693	1,945
26.03.13	7,615	7,352	1,669	1,932
27.03.13	7,215	7,104	1,737	1,848
28.03.13	7,295	7,244	1,731	1,782
29.03.13	7,940	7,605	1,672	2,007
30.03.13	8,038	7,701	1,650	1,987
31.03.13	5,986	6,890	1,651	0,748
01.04.13	7,717	7,205	1,626	2,138
02.04.13	8,244	7,737	1,629	2,136
03.04.13	7,839	7,244	1,625	2,219
Genel Ort.	7,502	7,343	1,679	1,837

IP'nda Şekil 6.23'te enerji değerlerinin günlük değişimleri verilmiştir. IP'na buharlaştırıcı yoluyla aktarılan ısının yoğunlaştırıcıdan atılan ısıyla yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu değerler çalışma süreci boyunca genellikle 7-8 kW aralığında değişmiştir. IP'dan sistem odasına olan ısı kayıplarının ise ortalama 1.83 kW olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 6.23 Isı pompasında enerji dağılımlarının günlere göre değişimi

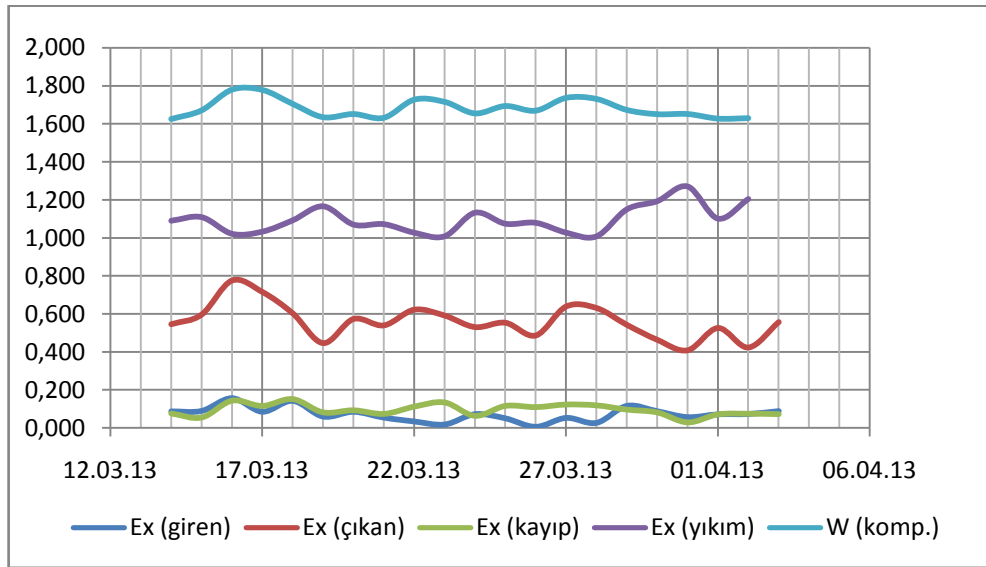
### Ekserji

Çizelge 6.11 IP ekserji dağılımları

Tarih	$Ex_{giren}$ (kW)	$Ex_{çıkan}$ (kW)	$Ex_{kayıp}$ (kW)	$Ex_{yıkım}$ (kW)	$W_{komp}$ (kW)
14.03.13	0,087	0,545	0,076	1,090	1,624
15.03.13	0,089	0,596	0,055	1,109	1,670
16.03.13	0,157	0,776	0,144	1,021	1,780
17.03.13	0,085	0,716	0,116	1,032	1,779
18.03.13	0,143	0,603	0,152	1,092	1,704
19.03.13	0,060	0,446	0,082	1,166	1,634
20.03.13	0,085	0,573	0,093	1,070	1,651
21.03.13	0,054	0,539	0,074	1,072	1,631
22.03.13	0,034	0,622	0,112	1,027	1,727
23.03.13	0,018	0,591	0,134	1,008	1,715
24.03.13	0,072	0,530	0,064	1,132	1,654
25.03.13	0,050	0,553	0,116	1,074	1,693
26.03.13	0,006	0,486	0,110	1,079	1,669
27.03.13	0,053	0,639	0,123	1,027	1,737
28.03.13	0,027	0,631	0,119	1,008	1,731
29.03.13	0,116	0,542	0,096	1,150	1,672
30.03.13	0,088	0,463	0,082	1,193	1,650
31.03.13	0,057	0,408	0,029	1,271	1,651
01.04.13	0,072	0,526	0,071	1,101	1,626
02.04.13	0,073	0,423	0,075	1,205	1,629
03.04.13	0,089	0,557	0,073	1,084	1,625
Genel Ort..	0,072	0,560	0,095	1,096	1,679

Çizelge 6.12’de verilen IP ekserji dağılımları IP’nın kullanılabilirliği önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymaktadır. IP’na giren ve çıkan ekserjilere bakıldığında artış olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Çizelge 6.11’de verildiği üzere giren ve çıkan enerjiler birbirlerine yakın değerlerde olmasına rağmen akışkan sıcaklıkları arasında IP’ndan kaynaklı önemli bir artış olmasıdır. Buradan IP’nın enerji açısından sisteme önemli bir etkisi olmamasına rağmen kullanılabilirliği artırma açısından sistemde önemli bir rolü olduğu sonucu çıkmaktadır.

Şekil 6.24’ten görüleceği üzere kompresörün ekserjisinin IP’nın diğer bileşenlerine göre yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Büyük çoğunluğu kompresörde gerçekleşen ekserji yıkımı da ortalama 1-1,2 kW gibi yüksek değerlerdedir. Çalışma sürecinde IP’na ortalama 0,07 kW’ın altında giren ekserji değerleri, ortalama 0,56 kW değerine yükseltilmiştir.



Şekil 6.24 Isı pompası ekserji dağılımlarının günlük değişimi

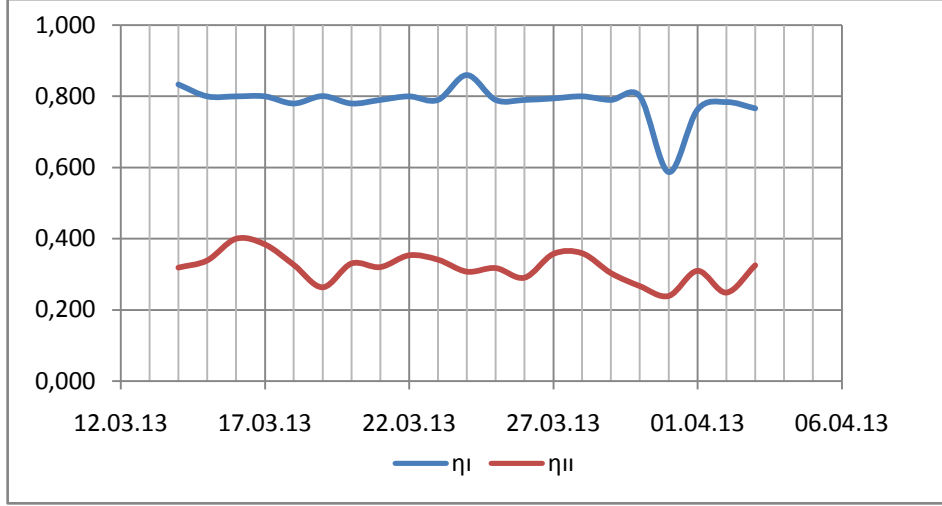
### Verimler

IP verimleri ve COP değerleri Çizelge 6.12’de verilmiştir. Çalışma sürecinde IP performans katsayısı (COP) genel ortalaması 4,38 olurken enerji ve ekserji verimleri 0,78 ve 0,32 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.12 Isı pompası verim ve COP değerleri

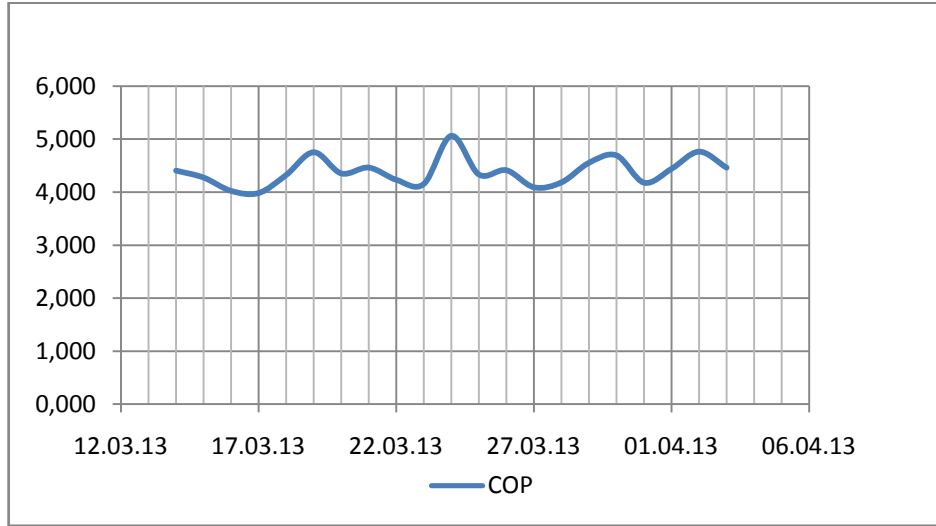
Tarih	COP	$\eta_I$	$\eta_{II}$
14.03.13	4,403	0,834	0,319
15.03.13	4,272	0,800	0,339
16.03.13	4,020	0,800	0,400
17.03.13	3,980	0,800	0,384
18.03.13	4,320	0,780	0,327
19.03.13	4,750	0,801	0,263
20.03.13	4,350	0,780	0,330
21.03.13	4,460	0,790	0,320
22.03.13	4,230	0,800	0,353
23.03.13	4,150	0,790	0,341
24.03.13	5,060	0,860	0,307
25.03.13	4,330	0,790	0,317
26.03.13	4,410	0,790	0,290
27.03.13	4,088	0,794	0,357
28.03.13	4,180	0,800	0,359
29.03.13	4,550	0,790	0,303
30.03.13	4,690	0,800	0,267
31.03.13	4,175	0,587	0,239
01.04.13	4,437	0,763	0,310
02.04.13	4,760	0,784	0,248
03.04.13	4,459	0,766	0,325
Genel Ort.	4,384	0,786	0,319

Şekil 6.25'te verilen IP enerji ve ekserji verimleri incelendiğinde her ne kadar enerji verimlerinin ekserji verimlerine göre yüksek olduğu görülse de IP'nın sisteme ekserjetik katkısının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ancak IP'nda gerçekleşen ekserji yıkımı ve ısı kayıplarının azaltılması sistemin enerji ve ekserji verimini iyileştirecektir.



Şekil 6.25 IP verimlerinin günlere göre değişimi

IP'na ait COP değerleri çalışma süresince günlük önemli değişimler göstermemekle birlikte 4-5 arasında değişmiştir.



Şekil 6.26 Isı pompası COP değerlerinin günlere göre değişimi

### 6.2.2.3 Akümülatör Tankı-DISS Devresi Enerji-Ekserji Analizi ve Verimleri

#### Enerji

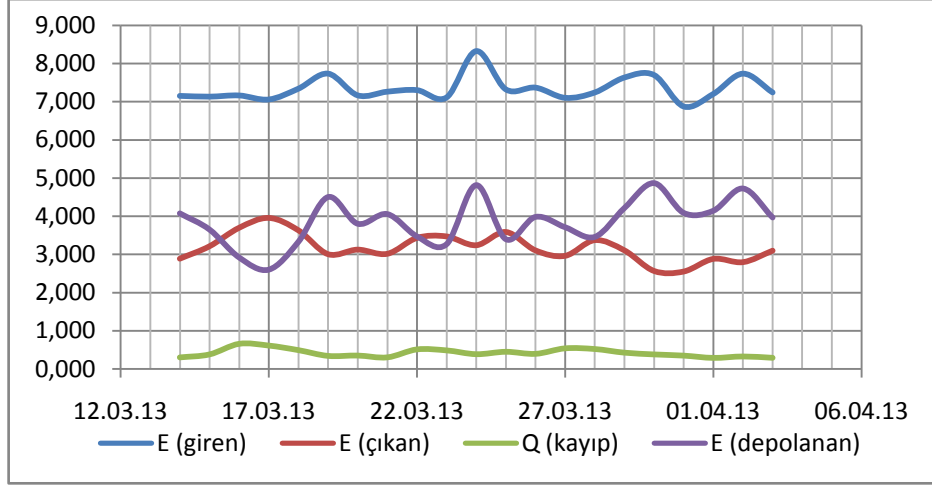
Akümülatör tankı-DISS devresine bakıldığında akümülatör tankı hacminin büyük olmasının devreye giren enerjinin önemli miktarının tankta depo edilmesini sağladığı görülmektedir. Bu durum mahal ısı talebinin sürekli olarak karşılanabilmesi için hazır sıcak su bulunmasını sağlamakta IP çalışma süresini ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltmaktadır. Ancak DISS akümülatör tankı devresinde dolaşan su debisinin arttırılması akümülatör tankından soğurulacak enerji miktarının artmasını sağlayarak

daha dengeli bir enerji dağılımı sağlayacaktır. Akümülatör-DISS devresine ait enerji dağılımları Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13 Akümülatör tankı - DISS devresi enerji dağılımları

Tarih	E <sub>giren</sub> (kW)	E <sub>çıkan</sub> (kW)	E <sub>depolanan</sub> (kW)	Q <sub>kayıp</sub> (kW)	W <sub>pompa</sub> (kW)
14.03.13	7,154	2,890	4,077	0,308	0,120
15.03.13	7,135	3,213	3,655	0,387	0,120
16.03.13	7,166	3,696	2,926	0,664	0,120
17.03.13	7,060	3,955	2,607	0,619	0,120
18.03.13	7,343	3,632	3,333	0,499	0,120
19.03.13	7,738	3,007	4,502	0,348	0,120
20.03.13	7,169	3,126	3,806	0,357	0,120
21.03.13	7,265	3,017	4,058	0,310	0,120
22.03.13	7,305	3,432	3,475	0,518	0,120
23.03.13	7,114	3,471	3,271	0,492	0,120
24.03.13	8,328	3,241	4,814	0,393	0,120
25.03.13	7,325	3,587	3,402	0,456	0,120
26.03.13	7,371	3,105	3,984	0,402	0,120
27.03.13	7,104	2,964	3,714	0,546	0,120
28.03.13	7,244	3,374	3,462	0,528	0,120
29.03.13	7,636	3,106	4,217	0,433	0,120
30.03.13	7,701	2,568	4,866	0,387	0,120
31.03.13	6,877	2,553	4,089	0,355	0,120
01.04.13	7,205	2,884	4,145	0,296	0,120
02.04.13	7,737	2,799	4,725	0,333	0,120
03.04.13	7,244	3,098	3,968	0,298	0,120
Genel Ort.	7,344	3,177	3,862	0,425	0,120

Akümlatör tankı-DISS devresindeki enerji dağılımının günlere göre değişimi incelendiğinde devreye giren enerjinin büyük bölümünün depolandığı ve mahale aktarıldığı görülmektedir. Akümülatör tankı izoleli olduğundan sistem odasına olan ısı kayıpları çalışma süresince ortalama 0,42 kW olmuştur. Şekil 6.27'den görüleceği üzere 28 Mart 2013 tarihinden itibaren dış ortam sıcaklıklarında artış meydana geldiği için DISS devresinden mahale aktarılan enerji miktarı düşüş gösterirken depolanan enerjinin payı artmıştır.



Şekil 6.27 Akümülatör tankı-DISS devresi enerji dağılımlarının günlük değişimleri

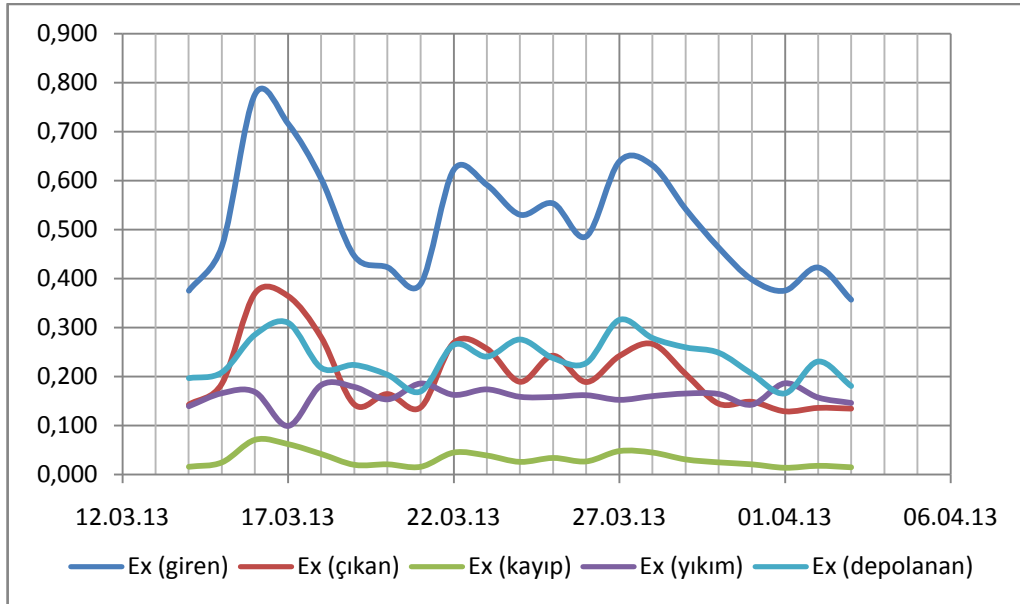
### Ekserji

Çizelge 6.14 Akümülatör-DISS devresinde ekserji dağılımları

Tarih	$Ex_{giren}$ (kW)	$Ex_{çıkan}$ (kW)	$Ex_{depolanan}$ (kW)	$Ex_{kayıp}$ (kW)	$Ex_{yıkım}$ (kW)	$W_{pomp}$ (kW)
14.03.13	0,375	0,143	0,197	0,016	0,140	0,120
15.03.13	0,466	0,186	0,209	0,025	0,166	0,120
16.03.13	0,776	0,371	0,286	0,071	0,169	0,120
17.03.13	0,716	0,364	0,310	0,062	0,099	0,120
18.03.13	0,603	0,280	0,218	0,042	0,183	0,120
19.03.13	0,446	0,143	0,224	0,020	0,179	0,120
20.03.13	0,423	0,164	0,204	0,021	0,154	0,120
21.03.13	0,389	0,137	0,170	0,016	0,186	0,120
22.03.13	0,622	0,269	0,265	0,045	0,163	0,120
23.03.13	0,591	0,257	0,241	0,039	0,174	0,120
24.03.13	0,530	0,190	0,276	0,026	0,159	0,120
25.03.13	0,553	0,243	0,238	0,034	0,159	0,120
26.03.13	0,486	0,189	0,228	0,027	0,162	0,120
27.03.13	0,639	0,242	0,316	0,048	0,153	0,120
28.03.13	0,631	0,267	0,279	0,045	0,160	0,120
29.03.13	0,542	0,206	0,260	0,031	0,166	0,120
30.03.13	0,463	0,145	0,249	0,025	0,165	0,120
31.03.13	0,398	0,149	0,206	0,021	0,143	0,120
01.04.13	0,376	0,129	0,166	0,014	0,187	0,120
02.04.13	0,423	0,136	0,231	0,018	0,158	0,120
03.04.13	0,357	0,135	0,181	0,015	0,146	0,120
Genel Ort.	<b>0,515</b>	<b>0,207</b>	<b>0,236</b>	<b>0,031</b>	<b>0,160</b>	<b>0,120</b>

Akümülatör tankı – DISS devresinde 120 W'lık pompa ve ITA ile devreye giren toplam ekserjinin dağılımı Çizelge 6.14'te verilmiştir. Genel olarak sisteme giren toplam ekserjinin kayıp miktarının düşük olduğu ancak ekserji yıkımının yüksek olduğu görülmektedir. Devreye giren ortalama 0,515 kW'lık ekserjinin 0,23 kW'lık kısmı depolanırken 0,20 kW'lık kısmı mahale aktarılmıştır. Çalışma süresince ekserji yıkımı ortalama 0,16 kW olarak hesaplanmıştır.

Akümülatör–DISS devresindeki ekserji dağılımlarına (Şekil 6.28) bakıldığında devreye giren ekserjinin 0,35-0,77 kW aralığında değiştiği buna karşın mahale aktarılan ekserjinin 0,12-0,37 kW aralığında, depolanan ekserjinin ise 0,17-0,31 kW aralığında değiştiği görülmektedir. Devrede meydana gelen ekserji değerlerindeki bu değişimler dış ortam sıcaklıklarına bağlı ısı talebinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.28 Akümülatör-DISS devresi ekserji dağılımlarının günlere göre değişimi

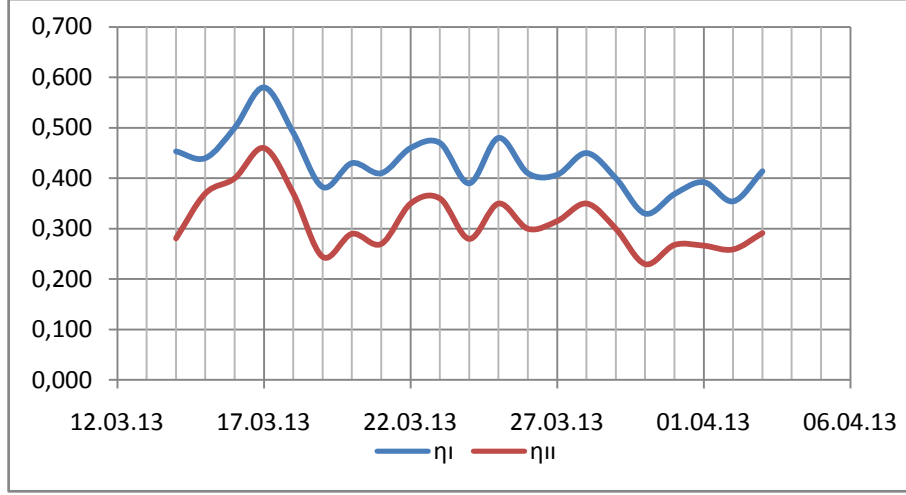
### Verimler

Akümülatör tankı–DISS devresi verimlerine bakıldığında her iki verimin de düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi analizde akümülatörde biriken enerjinin hesaba katılmamasıdır. Ancak yakıt- ürün prensibine göre mahale aktarılan enerji ve ekserji ile birlikte akümülatörde biriken miktarlarda ürün olarak düşünülürse enerji ve ekserji verimleri genel ortalaması sırasıyla 0,94 ve 0,69 olarak bulunmaktadır. Sonuç itibariyle akümülatörde biriken enerji kayıp olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir.

Çizelge 6.15 Akümülatör- DISS devresi verimleri

Tarih	$\eta_I$	$\eta_{II}$
14.03.13	0,453	0,281
15.03.13	0,440	0,370
16.03.13	0,500	0,400
17.03.13	0,580	0,460
18.03.13	0,490	0,370
19.03.13	0,383	0,244
20.03.13	0,430	0,290
21.03.13	0,410	0,270
22.03.13	0,460	0,350
23.03.13	0,470	0,360
24.03.13	0,390	0,280
25.03.13	0,480	0,350
26.03.13	0,410	0,300
27.03.13	0,407	0,315
28.03.13	0,450	0,350
29.03.13	0,400	0,300
30.03.13	0,330	0,230
31.03.13	0,369	0,268
01.04.13	0,392	0,267
02.04.13	0,354	0,259
03.04.13	0,414	0,292
Genel Ort.	0,429	0,315

Mahale aktarılan enerji ve ekserjilerin IP tarafından devreye aktarılan enerji ve ekserji değerlerine oranı akümülatör –DISS devresine ait verimleri ifade etmektedir. Şekil 6.29 bu değerlerin günlük değişimlerini göstermektedir. 17 Nisan 2013 tarihinde dış ortam sıcaklığının çalışma sürecindeki en düşük değerde olması, bu tarihte mahale aktarılan ısının en yüksek ortalamaya ulaşmasına ve akümülatörden elde edilen verimlerin artmasına neden olmuştur.



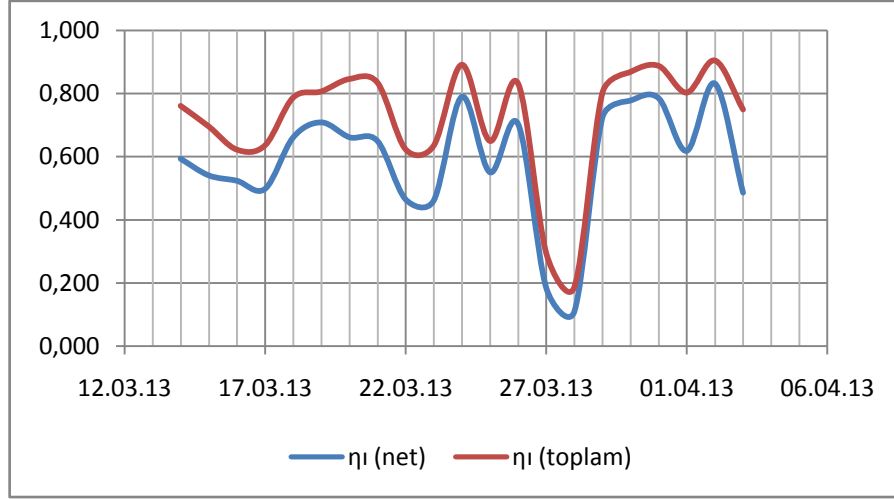
Şekil 6.29 Akümülatör-DISS devresi verimleri

### 6.2.3 Gizli Isı Deposu Genel Verimi

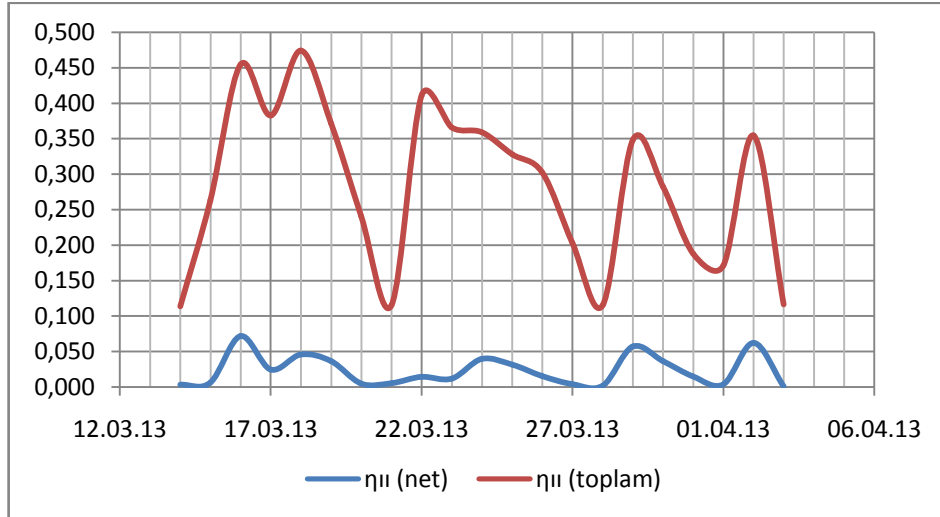
Çizelge 6.16 GID genel verimleri

Tarih	$\eta_{I_{net}}$	$\eta_{II_{net}}$	$\eta_{I_{toplam}}$	$\eta_{II_{toplam}}$
14.03.13	0,593	0,003	0,761	0,114
15.03.13	0,541	0,006	0,696	0,263
16.03.13	0,524	0,072	0,622	0,455
17.03.13	0,498	0,025	0,636	0,383
18.03.13	0,661	0,046	0,787	0,474
19.03.13	0,709	0,037	0,807	0,372
20.03.13	0,662	0,005	0,846	0,241
21.03.13	0,650	0,005	0,835	0,115
22.03.13	0,465	0,014	0,623	0,411
23.03.13	0,461	0,012	0,635	0,366
24.03.13	0,790	0,040	0,892	0,359
25.03.13	0,550	0,031	0,650	0,328
26.03.13	0,703	0,015	0,832	0,303
27.03.13	0,184	0,004	0,294	0,203
28.03.13	0,109	0,002	0,187	0,116
29.03.13	0,725	0,057	0,803	0,349
30.03.13	0,778	0,036	0,869	0,282
31.03.13	0,785	0,015	0,888	0,188
01.04.13	0,618	0,004	0,803	0,172
02.04.13	0,832	0,062	0,905	0,355
03.04.13	0,486	0,001	0,750	0,116
Genel Ort.	0,587	0,023	0,720	0,284

Jagedheeswaran, S. ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada ısı yüklemesi (şarj) ve ısı soğrulması (deşarj) farklı zaman dilimlerinde gerçekleşen GID sistemlerinde verim ifadesinin GID'nun şarjı vedeşarjındaki verimlerinin çarpımıyla elde edilebileceğini öne sürmüştür [35]. Buna göre Bölüm 6.2.1.2 ve 6.2.2.1'de verilen GID şarj vedeşarj verimlerinin birbiriyle çarpımı GID'nun Çizelge 6.16'da gösterilen genel verimlerini vermektedir.



Şekil 6.30 GID genel enerji verimlerinin günlere göre değişimi



Şekil 6.31 GID genel ekserji verimlerinin günlere göre değişimi

Şekil 6.30 ve Şekil 6.31'de ise net ve toplam enerji ve ekserji verimlerinin günlük değişimleri verilmiştir. Günlere göre dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışınımındaki önemli değişimler GID genel verimlerinde de önemli değişimlere neden olmuştur. Tüm günlere

göre ortalama verimlere bakıldığında net enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %58, ve %2,3, toplam ekserji verimleri ise %72 ve %28,4 olarak hesaplanmıştır. 28 Nisan 2013 tarihinde dış hava sıcaklığının azalması GID genel enerji veriminin ani düşüş göstermesine neden olmuştur. Ekserji verimleri de çalışma süresince gün bazında önemli değişimler göstermiştir.

#### 6.2.4 Kontrol Hacimlerinin Karşılaştırması

Sistemde incelenen kontrol hacimlerinde meydana gelen ısı kaybı, ekserji kaybı, ekserji yıkımları ve kontrol hacimlerinin verimleri Çizelge 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.17 Kontrol hacimleri karşılaştırması

Kontrol Hacmi	$Q_{kayıp}$ (kW)	$Ex_{kayıp}$ (kW)	$Ex_{yıkım}$ (kW)	$\eta_1$ (%)	$\eta_{II}$ (%)
Güneş Kollektörleri	0,212	0,014	1,150	0,630	0,023
GID (şarj)	0,080	0,002	0,017	0,620	0,070
GID (deşarj)	0,121	0,003	0,014	0,930	0,320
Isı Pompası	1,837	0,095	1,096	0,786	0,319
Akümülatör-DISS Devresi	0,425	0,285	0,143	0,429	0,315

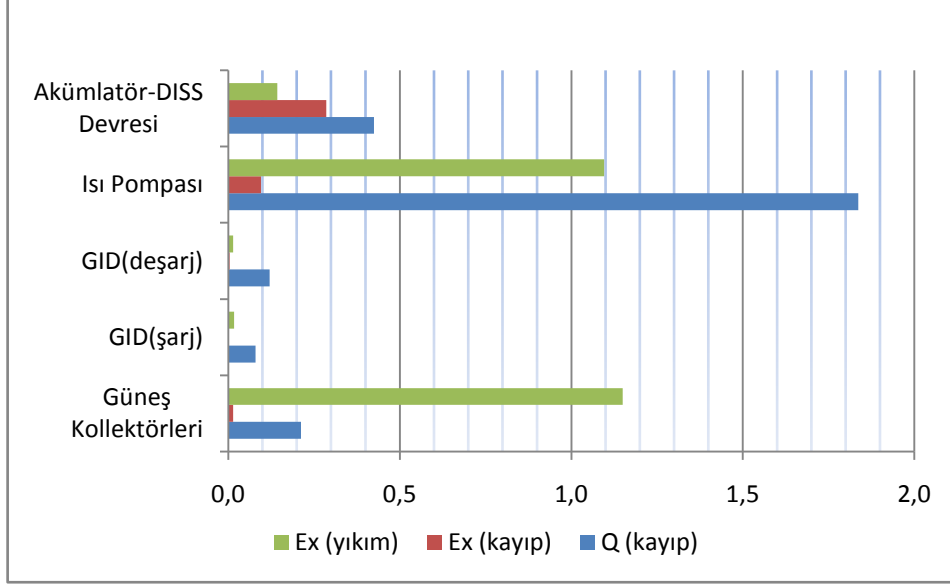
Şekil 6.32’e bakıldığında;

- ❖ Isı kaybının en yüksek oranda 1,83 kW ile IP’nda gerçekleştiği Akümülatör-DISS devresinde ise 0,42 kW ile onu takip ettiği görülmektedir.
- ❖ Buna karşın ekserji kaybının 0,28 kW ile akümülatör-DISS devresinde en yüksek değerdedir.
- ❖ Büyük bölümü 1,15 kW ile güneş kolektörlerinde ve 1,09 kW ile IP’nda olmak üzere sistemde ortalama toplam 2,42 kW ekserji yıkımı gerçekleşmiştir.

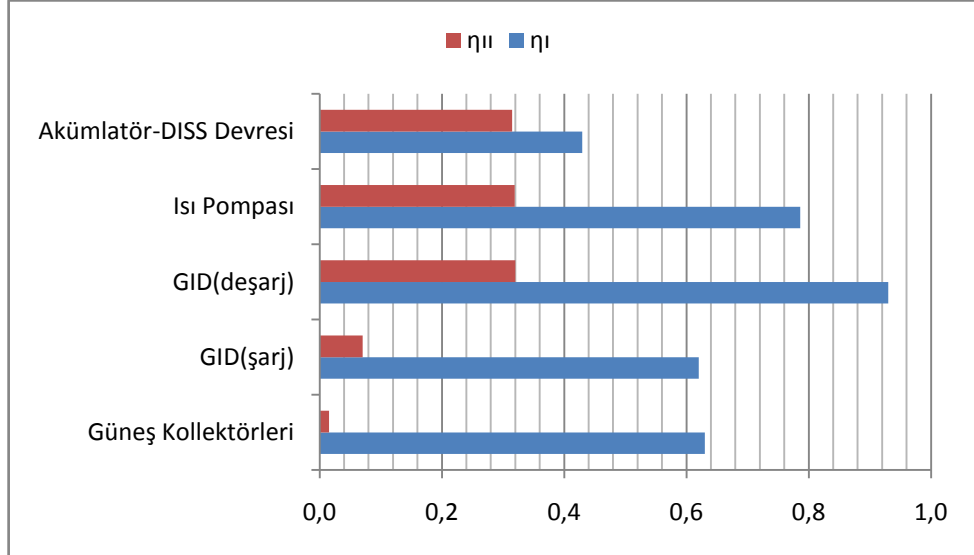
Şekil 6.33’de ise verilen kontrol hacimlerine ait enerji ve ekserji verimleri karşılaştırılmasında ;

- ❖ GID enerji veriminin, GID’ndan ısı soğurulmasında (deşarj) %93 olduğu görülmektedir. Bu süreçte IP enerji verimi ise %78 olarak gerçekleşmiştir.
- ❖ Ekserji verimleri karşılaştırıldığında isedeşarj sürecinde incelenen kontrol hacimlerinin birbirlerine yakın ekserji verimlerine (yaklaşık %32) sahip olduğu

görülmektedir. Ancak şarj sürecinde incelenen güneş kolektörleri %2,3 ve GID (şarj) %7 gibi düşük değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.32 Kontrol hacimlerine ait ısı kaybı, ekserji kaybı ve ekserji yıkımları



Şekil 6.33 Kontrol hacimlerine ait enerji ve ekserji verimleri

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Sistemin çalışması incelendiğinde;

Şarj sürecinde;

- Kollektörde kazanılan ortalama 0,895 kW'lık enerjinin 0,690 kW'ının GID'nda depolandığı belirlenmiştir. Bu sırada sisteme 0,10 kW'lık pompa işi verilmiştir.
- Kollektörde kazanılan 0,034 kW ekserjinin ise 0,01 kW 'ının GID'nda depolandığı belirlenmiştir. Bu sırada sisteme 0,10 kW'lık pompa işi verilmiştir.

Deşarj sürecinde;

- Gizli ısı deposundan kazanılan 7,69 kW'lık enerjinin 3,17 kW'ı mahale aktarılmış, çalışma periyodu sürecinde, mahal değişken ısı yüklerine bağlı olarak akümülatör tankında ortalama 3,86 kW enerji birikmiştir. Biriken bu enerji mahal ısı yükünün arttığı özellikle akşam saatlerinde IP'ndaki enerji tüketiminin önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır. Akümülatör tankı sistemde önemli bir denge elemanı durumundadır. Ancak boyutlarının küçültülmesi sistem performansına olumlu etki edecektir.
- Gizli ısı deposundan 0,075 kW'lık ekserji kazanılmış mahale 0,207 kW aktarıldığı hesaplanmıştır. Bu sırada sisteme 0,36 kW pompa işi ve 1.679 kW kompresör işi verilmiştir.

Buna göre sistemin şarj sırasındaki enerji ve ekserji verimleri sırasıyla 0,68 ve 0,53 olarak belirlenmiştir. Deşarj süreci için ise bu değerler 0,78 ve 0,29 olarak bulunmuştur.

Görüleceği üzere enerji verimleri ekserji verimlerine göre oldukça yüksek değerlerdedir. Güneş kollektörlerinden kazanılan ekserjinin düşük oluşu, IP ve akümülatör-DISS devresindeki ekserji yıkımlarının da yüksek değerde olması ekserji verimlerinin düşük olmasını sağlamıştır.

Sistemde kullanılan elemanlara bakıldığında;

- ❖ Güneş kollektörleri güneş enerjisinin olduğu zaman dilimlerinde sisteme enerji kazanımı sağlamaktadır.
- ❖ GID ise bu enerjiyi depolayarak güneş enerjisinin olmadığı zaman dilimlerinde kullanılabilmesini sağlamaktadır.
- ❖ Isı pompası GID'ndan kazanılan bu enerjinin kullanılabilirliğini arttırmaktadır.
- ❖ Akümülatör Tankı ise kullanılabilirliği artmış enerjinin ısıtma amaçlı hazır bulunmasını sağlayarak DISS'e aktarmaktadır.

Bu elemanların birlikte kullanımı Bölüm 6'da verilen şarj ve deşarj sürelerinden de görüleceği üzere sistemin daha düşük çalışma süreleri ile mahalın enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu da IP kompresöründe ve sistemde yer alan pompalardaki enerji tüketim maaliyetlerini düşürmektedir. Bunun yanında güneş ışınımı olduğu zaman dilimlerinde GE'ni depolayarak güneş ışınımı olmayan zaman dilimlerinde kullanmayı mümkün kılmaktadır.

Enerji talebinin her geçen gün arttığı buna karşılık arzının ise gün geçtikçe azaldığı günümüzde özellikle güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından en verimli şekilde faydalanmak bir zorunluluk durumuna gelmiştir. Enerji sistemlerinin verimlerini arttırmak için yapılan çalışmalar bu kaynaklardan faydalanabilmek için her ne kadar önem arzetsede enerjiyi depolamak ve istenilen zaman dilimlerinde kullanabilmek ülkemize hem ekonomik anlamda hem de enerji arz–talep dengesinin korunması anlamında büyük katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları ile IEDS'lerinin birlikte kullanıldığı hibrit teknolojiler üzerinde çalışılmaya ve geliştirmeye açık ve değer konular olarak görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- 
- [1] TC Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya’da ve Türkiye’de enerji görünümü, [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar/raporlar/Dunyada ve Turkiyede Enerji Görünümü.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar/raporlar/Dunyada_ve_Turkiyede_Enerji_Gorunumu.pdf), 4 Nisan 2013.
  - [2] Makina Mühendisleri Odası, (2012). Türkiye’de Enerji Görünümü, 588, Ankara.
  - [3] Kilkis, B., (1999). “Utilization of Wind Energy in Space Heating and Cooling with Hybrid HVAC Systems and Heat Pumps”, Energy and Buildings, 30:147-153.
  - [4] Utlu, Z., (1999). İzmir Koşullarında Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Modellemesi, YL Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
  - [5] Chiasson, A.D., Spitler, J.D., Rees, S.J. ve Smith, M.D.A, (2000). “Model Simulating The Performance of a Pavement Heating System Supplemental Heat Rejecter with Closed-Loop Ground-Source Pump Systems”, Journal of Solar Energy Engineering, 122:183-191.
  - [6] Hepbasli, A. ve Akdemir, O., (2004). “Energy and Exergy Analysis of a Ground Source (Geothermal) Heat Pump System”, Energy Conversion and Management, 45: 737-753.
  - [7] Kaygusuz, K., (2000). “Calculation of Required Collector Area of a Solar Assisted Series Heat Pump for Domestic Heating”, Energy Sources, 22:247-256.
  - [8] Hancioğlu, E. ve Hepbaşlı, A., (2001). “Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı pompalarının Tasarımı, Testi, Fizibilitesi”, V.Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi ve Sergisi, Teskon.
  - [9] Huang, B.J. ve Chyng, J.P., (1999). “Integral-Type Solar-Assisted Heat Pump Water Heater”, Renewable Energy, 16:731-734.
  - [10] Kuang, Y.H., Wang, R.Z. ve Yu, L.Q., (2003). “Experimental Study on Solar Assisted Heat Pump System for Heat Supply”, Energy Conversion and Management, 44:1089-1098.
  - [11] Yumrutas, R. ve Kaksa, O., (2004). “Experimental Investigation of Thermal Performance of a Solar Assisted Heat Pump System with an Energy Storage”, Int. J. Energy Res., 28:163-175.

- [12] Li, YW., Wang, RZ., Wu, JY. ve Xu, YX., (2007). "Experimental Performance Analysis on a Direct-Expansion Solar-Assisted Heat Pump Water Heater", *Applied Thermal Engineering*, 27:2858-2868.
- [13] Lohani, S., P. ve Schmidt, D., (2010). "Comparison of Energy and Exergy Analysis of Fossil Plant, Ground and Air Source Heat Pump Building Heating System", *Renewable Energy*, 35: 1275-1282.
- [14] Liang, C., Zhang, X., Li, X. ve Zhu, X., (2011). "Study On the Performance of a Solar Assisted Air Source Heat Pump System for Building Heating", *Energy and Buildings*, 43:2188-2196.
- [15] Bi, Y., Wang, X., Liu, Y., Zhang, H. ve Chen, L., (2009). "Comprehensive Exergy Analysis of a Ground Source Heat Pump System for Both Building Heating and Cooling Modes", *Applied Energy*, 86: 2560-2565.
- [16] Dghigh, R., Ruslan, H., M., Sulaiman, Y., M. ve Sopian, K., (2010). "Review of solar Assisted Heat Pump Drying Systems for Agricultural and Marine Products", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:2564-2579.
- [17] Arteconi, A., Hewitt. N. J. ve Polonara, F., (2013). "Domestic Demand-Side Management (DSM) : Role of Heat Pumps and Thermal Energy Storage(TES) systems", *Applied Thermal Engineering*, 51:155-165
- [18] Bakirci, K., Ozyurt, O., Comakli, K. ve Comali O., (2011). "Energy Analysis of a Solar-Ground Source Heat Pump System with Vertical Closed-Loop for Heating Applications", *Energy*, 36: 3224-3232.
- [19] Dikici, A. ve Akbulut, A., (2008). "Performance Characteristics and Energy–Exergy Analysis of Solar-Assisted Heat Pump System", *Building and Environment*, 43:1961:1972.
- [20] Akpınar, E., K. ve Hepbaşlı, A., (2007). "A New Comparative Study on Exergetic Assesment of Two Ground-Source (Geothermal) Heat Pump Systems for Residential Applications", *Building and Environment*, 39:1211-1217.
- [21] Ozgener, O. ve Hepbaşlı, A., (2005). "Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system", *Energy and Buildings*, 37:101-110.
- [22] Açıkgöz, Ö., Ağustos, H. ve Kıncay, O., (2008). "Hibrid Sistem - Güneş Enerjisi ve Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası", *Tesisat Dergisi*, 150:94-101.
- [23] Kıncay, O. ve Temir, G., (2003). "Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası–Bir Uygulama", *Termodinamik Dergisi*, 125:87-92.
- [24] Yang, WB., Shi, MH. ve Dong, H., (2006). "Numerical Simulation of the Performance of a Solar-Earth Source Heat Pump System", *Applied Thermal Engineering*, 26:2367-2376.
- [25] Badescu, V., (2002). "Model of a Solar Assisted Heat-Pump System for Space Heating Integrating a Thermal Energy Storage Unit", *Energy and Buildings*, 34:715-726.

- [26] Badescu, V., (2003). "Model of a Thermal Energy Storage Device Integrated in to a Solar Assisted Heat Pump System for Space Heating", *Energy Conversion and Management*, 44:1589-1604.
- [27] Badescu, V., (2003). "First And Second Law Analysis of a Solar Assisted Heat Pump Based Heating System", *Energy Conversion and Management*, 43:2539-2552.
- [28] Cervantes, G. J. ve Torres-Reyes, E., (2002). "Experimental on a Solar-Assisted Heat Pump and an Exergy Analysis of the System", *Applied Thermal Engineering*, 22:1289-1297.
- [29] Hawlader, M., N., A., Chou, S., K., Jahangeer, K., A., Rahman, S., M., A. ve Lau, K., W., (2003). "Solar Assisted Heat-Pump Dryer and Water Heater", *Applied Energy*, 74:185-193.
- [30] Urchueguía, J., F., Zacarés, M., Corberán, M., A., Martos, J. ve Witte, H., (2008). "Comparison Between the Energy Performance of a Ground Coupled Water to Water Heat Pump System and an Air to Water Heat Pump System for Heating and Cooling in Typical Conditions of the European Mediterranean Coast", *Energy Conversion and Management*, 49:2917-2923.
- [31] Dikici, A., Akbulut, A., Gülçimen, F. ve Akbulut, A., ( 2005). "Hava Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı, Enerji ve Ekserji Analizi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 87: 33-42.
- [32] Hernandez, P. ve Kenny, P., (2012). "Net energy analysis of domestic solar water heating installations in operation", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:170-177.
- [33] Uçar, A. ve İnallı, M., (2008). "Thermal and Economic Comparisons of Solar Heating Systems with Seasonal Storage Used in Building Heating", *Renewable Energy*, 33:2532-2539.
- [34] Koca, A., Öztop, F., H., Koyun, T. ve Varol, Y., (2008). "Energy and Exergy Analysis of a Latent Heat Storage System with Phase Change Material for a Solar Collector", *Renewable Energy*, 33:567-574.
- [35] Jagedheeswaran, S., Pohekar, D., S. ve Kousksou, T., (2010). "Exergy Based Performance Evaluation of Latent Heat Thermal Storage System: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:2580-2595.
- [36] Öztürk, H., H., (2005). "Experimental Evaluation of Energy and Exergy Efficiency of a Seasonal Latent Heat Storage System for Greenhouse Heating", *Energy Conversion and Management*, 46:1523-1542.
- [37] Alkilani, M., M., Sopian, K., Alghoul, A., M. ve Sohif, M., (2011). "Review of Solar Air Collectors with Thermal Storage Units", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:1476-1490.
- [38] Fabrizio, E., (2012). "Energy Reduction Measures in Agricultural Greenhouses Heating: Envelope, Systems and Solar Energy Collection", *Energy and Buildings*, 53:57-63.

- [39] Kousksou, T., Strub, F., Lasvignottes, C., J., Jamil, A. ve Bedecarrats, P., J., (2007). "Second Law Analysis of Latent Thermal Storage for Solar System", *Solar Energy Materials, and Solar Cells*, 91:1275-1281.
- [40] Aghbalou, F., Badia, F. ve Illa, J., (2006). "Exergetic Optimization of Solar Collector and Thermal Energy Storage System", *Heat and Mass Transfer*, 49:1255-1263.
- [41] Arda, K., (2006). *Güneş Enerjisinin Depolanması ve Isıl Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [42] Kenisarin, M. ve Mahkamov, K., (2007). "Solar Energy Storage Using Phase Change Materials", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11:1913-1965.
- [43] Hussain, M., M., Dinçer, İ. ve Zubair, M., S., (2004). "A Feasibility Study of Using Thermal Energy Storage In a Conventional air Conditioning System", *International Journal of Energy Research*, 28:1-13.
- [44] Argiriou, A., Klitsikas, N., Balaras, A., C. ve Asimakloupou, N., D., (1997). "Active Solar Space Heating of Residential Buildings in Northern Hellas – A Case Study", *Energy and Buildings*, 26:215-221.
- [45] Qi, Q., Deng, S. ve Jiang, Y., (2008). "A Simulation Study on a Solar Heat Pump Heating System with Seasonal Latent Heat Storage", *Solar Energy*, 82:669-675
- [46] Yumurtas, R. ve Ünsal, M., (2012). "Energy Analysis and Modeling of a Solar Assisted House Heating System with a Heat Pump and an Underground Energy Storage Tank", *Solar Energy*, 86: 983-993.
- [47] Benli, H. ve Durmuş, A., (2009). "Evaluaiton of Ground Source Heat Pump Combined Latent Heat Storage System Performance in Greenhouse Heating", *Energy and Buildings*, 41:220-228.
- [48] Han., Z., Zheng, M., Kong, F., Wang, F., Li, Z. ve Bai, T., (2008). "Numerical Simulation of Solar Assisted Ground-Source Heat Pump Heating System with Latent Heat Energy Storage in Severely Cold Area", *Applied Thermal Engineering*, 28:1427-1436.
- [49] Wang, X., Zheng, M., Zhang, W., Zhang, S. ve Yang, T., (2010). "Experimental Study of a Solar Assisted Ground –Coupled Heat Pump System with Solar Seasonal Thermal Storage in Severe Cold Areas", *Energy and Buildings*, 42:2104-2110.
- [50] Wang, H., Qi, C., Wang, E. ve Zhao, J., (2009). "A Case Study of Underground Thermal Storage in a Solar Ground Coupled Heat Pump System For Residential Buildings", *Renewable energy*, 34:307-314.
- [51] Fernandez-Seara, J., Pineiro, C., Dopazo, A., J., Fernandes, F. ve Sousa, B., X., P., (2012). "Experimental Analysis of a Direct Expansion Solar Assisted Heat pPump with iIntegral Storage Tank for Domestic Water Heating Under Zero Solar Radiation Conditions", *Energy Converison and Management*, 59:1-8.
- [52] Esen, M., (2000). "Thermal Performance of a Solar –Aided Latent Heat Storage for Space Heating by Heat Pump", *Solar Energy*, 69:15-25.

- [53] Wu, H., Wang, S. ve Zhu, D., (2007). "Effects of Impregnating Variables on Dynamic Sorption Characteristics and Storage Properties of Composite Sorbent for Solar Heat Storage", *Solar Energy*, 81:864-871.
- [54] Long, Y., J. ve Zhu, S., D., (2009). "Numerical and Experimental Study on Heat Pump Water Heater with PCM for Thermal Storage", *Energy and Buildings*, 40:666-672.
- [55] Henchoz, S., Buchter, F., Fevrat, D., Morandin, M. ve Mercangöz, M., (2012). "Thermoeconomic Analysis of a Solar Enhanced Energy Storage Concept Based on thermodynamic cycles", *Energy*, 45:358-365.
- [56] Sharma, A., Tyagi, V., V., Chen, R., C. ve Buddhi, D., (2009) "Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:318:345.
- [57] Çalışkan, H., Dinçer, İ. ve Hepbaşlı, A., (2012). "Thermodynamic Analysis and Assessments of Various Thermal Energy Storage Systems for Buildings", *Energy Conversion and Management*, 62:109-122.
- [58] Ezan, A., M., Özdoğan, M., Günerhan, H., Erek, A. ve Hepbaşlı, A., ( 2010). "Energetic and Exergetic analysis and assessment of a thermal energy storage (TES) unit for building applications", *Energy and Buildings*, 42:1896-2001.
- [59] Erek, A. ve Dinçer, İ., (2008). "An approach to entrophy analysis of a latent heat storage modul", *International Journal of Thermal Sciences*, 47:1077-1085.
- [60] Abedin, H., A. ve Rosen, A. M., (2012) "Closed and open thermochemical energy storage :Energy and Exergy based Comparisons", *Energy*, 41:83-92.
- [61] Pinel, P., Cruickshank, A., C., Morrison, B., I. ve Wills, A., (2011) "A Review of Available Methods for Seasonal Storage of Solar Thermal Energy in Residential Applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 15:3341-3359.
- [62] Bedecarrats, P., J., Lesvignottes, C., J., Strub., F. ve Dumas, P., J., (2009). "Study of a Phase Change Energy Storage Using Spherical Capsules . Part 1: Experimental Results", *Energy Conversion and Management* , 50:2527-2536.
- [63] Benli, H., (2011). "Energetic Performance Analysis of a Ground Source Heat Pump sSystem with Latent Heat Storage for a Greenhouse Heating", *Energy Conversion and Management*, 52:581-589.
- [64] Zalba, B., Marin, M., J., Cabeza, F., L. ve Mehling, H., (2003). "Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat transfer Analysis and Applications", *Applied Thermal Engineering*, 23:251-283.
- [65] Dinçer, İ., Dost, S. ve Li, X., (1997). "Performance Analysis of Sensible Heat Storage Systems For Thermal Applications", *International Journal of Energy Research*, 21:1157-1171.
- [66] Dinçer, İ., (2002). "Thermal Energy Storage Systems as a Key Technology in Energy Conversion", *International Journal of Energy Research*, 26:567-588.

- [67] Akbulut, U., (2012). Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Isıtma ve Soğutma Sisteminin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [68] Watson, R., D., ve Chapman, K., S., (2002). Radiant Heating and Cooling Handbook, Mc Graw-Hill, New York.
- [69] Kıncay, O. ve Karakoç, H., (2008). "Duvardan Isıtma-Soğutma Sistemleri ve Tasarım İlkeleri", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 25-33.
- [70] Imanari, T., Omori, T. ve Bogaki, K., (1999). "Thermal Comfort and Energy Consumption of the radiant Ceiling Panel System Comparison with the Conventional All-Air System", Energy and Buildings, 30:167-175.
- [71] Kanbur, B., B., Çalıkıran, C., Çubuk, H., Kaya, K. ve Atayılmaz, Ö., Ş., (2013). "Farklı Radyant Panel Konfigürasyonlarına Göre Elde Edilen Panel Isı Akılarının İncelenmesi", 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 17-20 Nisan 2013, İzmir, 89-105.
- [72] Solangi, H., K., Islam, R., M., Rahim, A. R ve. Fayaz, H., (2011). "A Review on Global Energy Policy", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:2149-2163.
- [73] Akova, İ., (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, 1. Baskı, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- [74] Yiğit., A., Atmaca, İ., (2010). Güneş Enerjisi, 1. Baskı, Alfa Kültürel Yayınları, İstanbul.
- [75] Kılıç, A., Öztürk, A., (1983). Güneş Enerjisi, 1. Baskı, Kipaş Yayıncılık, İstanbul.
- [76] Şenpınar, A., (2006). "Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması", Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 36-41.
- [77] Tian, Y. ve Zhao, Y., C., (2013). "A Review of Solar Collectors and Thermal Energy Storage in Solar Thermal Applications", Applied Energy, 104:538-553.
- [78] Medrano, M., S., C., Castell, A., Nogues, M., Mehling, H. ve Cabeza, F., L., (2008). "Energetic and Exergetic Analysis of a Domestic Water Tank with Phase Change Material", International Journal of Energy Research, 33:204-214.
- [79] Hellstrom, B., Adsten, M., Nostell, P., Karlsson, B. ve Weckelgard, E., (2003). "The Impact of Optical and Thermal Properties on the Performance of Flat Plate Solar Collectors", Renewable Energy, 28:331-344
- [80] Hepbaşlı, A., ve Hancıoğlu, E., (2000). "Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi", 5. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi, 521-564.
- [81] International Energy Agency (IEA)., (2003). Renewables Information 2003, France.
- [82] Utlu, Z. ve Hepbasli, A.,(2005). "Analysis of Energy and Exergy Use of the Turkish Residential-Commercial Sector", Building and Environment, 40:641-655.

- [83] Erdem, S., (2007). Villa Isıtmasında ve Soğuytmasında Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ekonomikliğinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [84] Elbir, A., (2010). Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Termodinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [85] Çengel Y. A., (1996). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, ISSN 9775-8431-91-9.
- [86] Benli, H. ve Durmuş, A., (2009). "Performance Analysis of a Latent Heat Storage System with Phase Change Material for New Designed Solar Collectors in Greenhouse Heating", Solar Energy, 83:2019-2119.
- [87] Zhou, D., Zhao, Y., C. ve Tian Y., (2012). "Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials in Building Applications", Applied Energy, 92, 593-605,
- [88] Paremshwaran, R., Kalaiselvam S., Harikrishnan, S. ve Elayaperumal, A., (2012). "Sustainable Thermal Energy Storage Technologies for Buildings; A Review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16:2394-2433.
- [89] Demirbaş, F. M., (2006) "Thermal Energy Storage and Phase Change Materials: An Overview", Energy Sources, 1:5-95.
- [90] Mohanraj, M., Jayaraj, S. ve Muraleedharan, C., (1999). "Performance Prediction of Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump Using Artificial Neural Networks", Applied Energy, 86:1442-1449.
- [91] Hawlader, A., N., M., Chou, K., S. ve Ullah, Z., M., (2001). "The Performance of a Solar Assisted Heat Pump Water Heating System", Applied Thermal Engineering, 21:1049-1065.
- [92] Dinçer, I. ve Çengel, Y. A., (2001). "Energy and Exergy Concepts and Their Roles In Thermal Engineering", Entropy, 3:116-149.
- [93] Ballı, Ö., (2008). Kojenerasyon Sistemlerinin Enerji, Kullanılabilirlik (Ekserji) ve Ekserji Ekonomik Analiz Yöntemleri Kullanılarak Performansının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [94] Çetinkaya, S., (2011). Termodinamik, 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [95] Sarıkaya, Y., (2012). Mühendislik Termodinamiği, 2. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Devrim AYDIN  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 15/07/1990 Güzelyurt/K.K.T.C  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : [devrimayd@yahoo.com](mailto:devrimayd@yahoo.com)

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Lefkoşa Türk Maarif Koleji	2007

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-...	İstanbul Aydın Üniversitesi	Arş. Görevlisi

## **YAYINLARI**

### **Bildiri**

1. Utlu, Z., Aydın, D., Kıncay, O., (2013). 'Yeşil Bina Uygulamalarında Gizli Isı Depolama Sistemlerinin Uydulanabilirliğinin Araştırılması', 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
2. Utlu, Z., Aydın, D., Kıncay, O., (2013). 'Investigating Utility of Latent Heat Storage Systems for Green Building Applications', 6<sup>th</sup> International Exergy, Energy and Environment Symposium, Rize.