



ISI POMPASI SİSTEMİNDE HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ DEFROST UYGULAMASI

Yasin USLU

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi Şafak ATAŞ**

**ISI POMPASI SİSTEMİNDE HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ DESFROST
UYGULAMASI**

Yasin USLU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi Şafak ATAŞ**

**KARABÜK
Ocak 2022**

Yasin USLU tarafından hazırlanan “ISI POMPASI SİSTEMİNDE HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ DEFROST UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi Şafak ATAŞ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 19.01.2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Yasin USLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISI POMPASI SİSTEMİNDE HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLÜ DESFROST UYGULAMASI

Yasin USLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi Şafak ATAŞ

Ocak 2022, 66 sayfa

Bu çalışmada, ısı pompalı ısı geri kazanım sistemlerinde sistem kışın ısıtma modundayken dış hava sıcaklığının çiy noktasın altına düşmesi ile evaporatör yüzeyinde yoğuşan su buharının buzlanmasının havalı güneş kolektörü desteği ile engellenmesinin kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bunun için Karabük ilinde kış mevsimi boyunca dış havanın güneşli ve 0°C ile 5°C arasında olduğu farklı günlerde ısıtma modunda deneyler yapılmıştır. Sistem için ısı pompalı bir ısı geri kazanım cihazına havalı güneş kolektörü dahil edilmiş ve hava, plakalı eşanjör üzerinden geçerek evaporatör yüzeyine teması sağlanmıştır. Sistem üzerinde belirlenen noktalardan termokupllar yardımı ile sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Güneş kolektörü üzerine düşen ışıyım miktarı ve sistem elektrik tüketimi ölçülmüştür. Farklı ölçüm noktalarından alınan değerler grafiklere aktarılmıştır ve yorumlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, güneş kolektörü çıkış sıcaklığı dış hava sıcaklığına göre ortalama 10 °C, ışınımın fazla olduğu saatlerde ise yaklaşık 20 °C'lere kadar arttığı görülmüştür. Hava akışı karlanmış evaporatör yüzeyine ulaştığında gün boyu ortalama 19,55 °C, ışınımın yüksek olduğu saatlerde ise 24,42 °C sıcaklık değerine ulaşmıştır. Bu sıcaklıktaki hava akışının devamlı olarak evaporatör yüzeyinden geçmesi ile karlanmayı engellemiş ve geciktirmiştir. Yapılan ölçümlerle elektrik tüketim değeri bir saatte 0,66 kWh olduğu hesaplanmıştır. Plakalı ısı geri kazanım cihazının ısı verimliliği ortalama %40 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Isı pompası, ısı geri kazanım, defrost, havalı güneş kolektörü.

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

HEAT PUMP SYSTEM DEFROSTING WITH AIR SOLAR COLLECTOR

Yasin USLU

Karabuk University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor

Assist. Prof. Dr. Safak ATAS

January 2022, 66 pages

In this study, the feasibility of preventing icing of condensed water vapor on the evaporator surface with the support of an air solar collector when the outdoor air temperature drops below the dew point when the system is in heating mode in winter in heat pump heat recovery systems was investigated.

For this, experiments were carried out in heating mode on different days when the outside air is sunny and between 0°C and 5°C during the winter season in Karabük. For the system, an air solar collector is included in a heat recovery device with a heat pump, and the air is contacted with the evaporator surface by passing over the plate heat exchanger. Temperature values were measured with the help of thermocouples from the points determined on the system. The amount of radiation falling on the solar

collector and the system electricity consumption were measured. Values taken from different measurement points were transferred to graphics and interpreted.

As a result of the experiments, it was observed that the solar collector outlet temperature increased by 10 °C on average compared to the outdoor temperature, and up to about 20 °C during the hours when the radiation was high. When the air flow reaches the snowy evaporator surface, it reaches an average temperature of 19.55 °C during the day and 24.42 °C during the hours when the radiation is high. As the air flow at this temperature passes through the evaporator surface continuously, frosting is prevented and delayed. With the measurements made, the electricity consumption value was calculated to be 0.66 kWh in an hour. The thermal efficiency of the plate heat recovery device was calculated as 40% on average.

Key Word : Heat pump, heat recovery, defrost, air solar collector.

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Şafak ATAŞ 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Karabük Üniversitesi Prof. Dr. İlhan CEYLAN 'a tez konusunun belirlenmesinde göstermiş olduğu destekten dolayı teşekkür ederim.

Test sonuçlarının alınmasında yardımlarını esirgemeyen, Semih AYDIN 'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımcı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR	3
BÖLÜM 3	12
ISI GERİ KAZANIM.....	12
3.1. ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ VE TÜRLERİ	12
3.1.1. Isı Geri Kazanım Sistemlerinin Görselleri	13
3.2. PLAKALI ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ	17
3.3. ISI POMPALI PLAKALI ISI GERİ KAZANIM CİHAZI.....	17
3.4. PLAKALI ISI GERİ KAZANIM CİHAZININ VERİM HESABI.....	18
3.4.1. Kış Çalışma Konumu Plakalı Isı Geri Kazanım Cihaz Verim Hesabı	18

Sayfa

3.4.2. Yaz Çalışma Konumu Plakalı Isı Geri Kazanım Cihaz Verim Hesabı	19
BÖLÜM 4	21
ISI POMPALARI.....	21
4.1. ISI POMPASI ÇEŞİTLERİ	22
4.2. ISI POMPASI SİSTEMİNİN ELEMANLARI	23
4.2.1. Kompresör.....	23
4.2.2. Kondenser (Yoğuşturucu).....	24
4.2.3. Evaporatör (Buharlaştırıcı)	25
4.2.4. Genleşme Elemanları	26
4.3. ISI POMPASI VERİMLİK HESABI	27
4.4. ISI POMPALARINDA BUZLANMA	27
4.4.1. Elektrikli Isıtıcı ile Defrost	28
4.4.2. Sıcak Gaz ile Defrost	29
4.4.3. Su ile Defrost	31
BÖLÜM 5	32
BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ	32
5.1. İdeal Çevirim	32
5.2. Gerçek Çevirim.....	34
BÖLÜM 6	36
GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ.....	36
6.1. HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN YAPISI.....	37

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	39
MATERYAL VE METOD	39
7.1. Materyal	39
7.2. Metot	42
7.3. Deney Seti Çalışma Prosedürleri	43
BÖLÜM 8	44
DENEYLER VE GRAFİKLER	44
8.1. SİSTEM COP HESABI	51
BÖLÜM 9	59
SONUÇLAR	59
9.1. ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Plakalı tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	13
Şekil 3.2. Tamburlu tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	14
Şekil 3.3. Termosifon tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	15
Şekil 3.4. Isı borulu tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	16
Şekil 3.5. Run-Around tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	17
Şekil 3.6. Isı pompalı tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	18
Şekil 3.7. Isı pompalı tip ısı geri kazanım cihazı gösterimi	19
Şekil 3.8. Isı geri kazanım cihazı kış çalışma konumu gösterimi	21
Şekil 3.9. Isı geri kazanım cihazı yaz çalışma konumu gösterimi	22
Şekil 4.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi gösterimi.....	23
Şekil 4.2. Hermetik tip kompresörün iç parçaları gösterimi	25
Şekil 4.3. Hava soğutmalı kondenser (yoğuşturucu) gösterimi	26
Şekil 4.4. Hava soğutmalı evaporatör (buharlaştırıcı) gösterimi	28
Şekil 4.5. Termostatik genleşme vanası gösterimi.....	29
Şekil 4.6. Elektrikli ısıtıcı ile defrost yöntemi gösterimi.....	31
Şekil 4.7. Dört yollu vana kullanarak sıcak gaz ile defrost yöntemi gösterimi	32
Şekil 4.8. Selenoid vana kullanarak sıcak gaz ile defrost yöntemi gösterimi.....	33
Şekil 4.9. Ilık su püskürtülerek defrost yöntemi gösterimi.....	34
Şekil 5.1. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası ideal çevriminin T-s diyagramı.....	36
Şekil 5.2. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası ideal çevriminin P-h Diyagramı.....	37
Şekil 5.3. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası gerçek çevriminin P-h Diyagramı.....	38
Şekil 6.1. Düz plakalı güneş kolektörü gösterimi	40
Şekil 6.2. Havalı güneş kolektörü kesit gösterimi	41
Şekil 6.3. Deneyde kullanılan havalı güneş kolektörü gösterimi.....	41
Şekil 7.1. Havalı güneş kolektörlü ısı pompalı ısı geri kazanım cihazı gösterimi	42
Şekil 7.2. Deney seti ve havalı güneş kolektörünün genel gösterimi.....	43
Şekil 8.1. Mahal Üfleme ve dış hava giriş sıcaklık değerleri.....	49
Şekil 8.2. Güneş kolektörü çıkış ve dış hava giriş sıcaklık değerleri.....	50

Sayfa

Şekil 8.3. Güneş kolektörü üzerine düşen ışınlım değerleri.....	51
Şekil 8.4. Güneş kolektörü çıkış, dış hava giriş sıcaklık ve ışınlım değerleri.....	52
Şekil 8.5. IGK çıkış (kondenser giriş) ve mahal üfleme sıcaklık değerleri	53
Şekil 8.6. IGK çıkış (kondenser Giriş), IGK giriş, IGK çıkış (evaporatör giriş) ve dış hava sıcaklık değerleri.....	54
Şekil 8.7. Güneş kolektör çıkış, IGK çıkış (evaporatör giriş) ve IGK egzoz çıkış sıcaklık değerleri	57
Şekil 8.8. Kondenser gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerleri.....	59
Şekil 8.9. Güneş kolektörü çıkış, IGK giriş ve dış hava sıcaklığı değerleri	60
Şekil 8.10. Evaporatör gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerleri.....	61
Şekil 8.11. Kompresör gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerleri	62
Şekil 8.12. Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazı elektrik tüketim değeri.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Isı Geri Kazanım Sistemleri Karşılaştırma Çizelgesi	13
Çizelge 7.1. Isı Pompalı IGK Cihazı Ekipmanları ve Teknik Özellikleri.....	41
Çizelge 7.2. Deney Seti Ekipmanları ve Kullanım Amaçları	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$^{\circ}\text{C}$: derece santigrat
kW	: kiloWatt
h	: özgül entalpi (kJ/kg)
H	: entalpi
m_R	: soğutkanın kütleli debisi (kg/h)
m_H	: hava debisi (kg/h)
\dot{Q}_y	: yoğunlaştırıcının çektiği ısı (kJ)
\dot{Q}_b	: buharlaştırıcının çektiği ısı (kJ)
W_{KOMP}	: kompresör gücü (W)
ΔT	: sıcaklık farkı
n_{ik}	: ideal kompresör verimi
\dot{W}_k	: gerçek kompresör verimi
\dot{W}_{ki}	: ideal kompresör işi
\dot{V}	: hacimsel debi (m^3/h)
ρ	: yoğunluk (kg/m^3)
Q_E	: buharlaştırıcı (evaporatör) gücü (W)
Q_K	: yoğuşturucu (kondenser) gücü (W)
P	: basınç (bar)
s	: entropi (kJ/kgK)
T	: Sıcaklık
\dot{m}	: kütleli debi (kg/h)
T_H	: yüksek ısı kaynağı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_L	: düşük ısı kaynağı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
v	: özgül hacim (m^3/kg)
kPa	: kilopascal

m : metre
cm : santimetre
 m^3 : metreküp
% : yüzde
kg : kilogram
kJ : kilojoule

KISALTMALAR

COP : Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
EGV : Elektronik Genleşme Valfi
TKIP : Toprak Kaynaklı Isı Pompası
ITK : Isıtma Tesir Katsayısı
ITKI : İdeal Isıtma Tesir Katsayısı
ITKC : Carnot Isıtma Tesir Katsayısı
TGV : Termostatik Genleşme Valif
STK : Soğutma Tesir Katsayısı
STKI : İdeal Soğutma Tesir Katsayısı
PIGK : Plakalı Isı Geri Kazanım
IGK : Isı Geri Kazanım
RH : Relative Humidity (bağıl nem)
EER : Enerji Verimlilik Oranı
HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Binalarda, enerji verimliliğini sağlayabilmek için enerji geri dönüşüm sistemlerinin verimi yüksek olmalıdır. Isıtma-soğutma, havalandırma yaparken enerjinin yoğun kullanıldığı binalarda ısı geri kazanım sistemleri kullanmak enerjiyi verimli kullanmakta etkili olabilir.

Isı geri kazanım cihazları temel olarak fanlar, plakalı ısı değiştirici, filtreler ve kanallardan oluşmaktadır. Bu sisteme ek olarak, mahal ısıtma-soğutmasında ortaya çıkan ek ısıtma yükünü karşılamak amacıyla sulu bataryalar, elektrikli ısıtıcılar, ısı pompası ve güneş kolektörleri entegre edilmektedir.

Isı geri kazanım cihazlarında, üfleme ve egzoz çıkışları arasına entegre edilen ısı pompası ile mahalde ek olarak bir kaynak kullanmadan ısıtma ve soğutma ihtiyacı karşılanmaktadır. Dönüş havasının plakalı ısı değiştirici üzerinde henüz üfleme sıcaklığına ulaşmamış taze hava ile ısı transferi yaparak ısı pompasının da verimini artırmaktadır.

Isı pompalarında genel olarak hava, su ve toprak ısı kaynağı olarak görülmektedir. Ek olarak güneş ve jeotermal enerji de ısı kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Isı kaynağı seçiminin kullanılacak coğrafya ve uygun iklim şartlarına uygun seçilmesi daha uygun olacaktır. Hava kaynaklı ısı pompaları, kış hava şartlarında ısıtma yaparken buharlaştırıcı yüzeyinde karlanma oluşacağından ve bu durumda sistem verimini etkileyeceğinden yıl boyu uzun kış ve düşük hava sıcaklıkları yaşayan coğrafyalardan kullanımı uygun olmayabilir. Böyle coğrafyalarda, yıl boyunca 7 ile 13°C arasında sabit sıcaklığı bulunan toprak ısı kaynağı olarak tercih edilebilir.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, havanın ve suyun ısıtılmasında kullanılmaktadır. Havalı güneş kolektörleri kullanarak dış hava sıcaklığını artırmak mümkün olmaktadır. Kolektör içerisinden geçen dış havanın, çıkıştaki sıcaklık değerini ısıyı soğuran yüzeyin koyuluk oranı, cam yüzeyin temizliği, güneş ışınımının yoğunluğu, temas yüzeyi oranı gibi birçok parametre etkilemektedir.

Bu çalışmada, Karabük ili kış hava şartlarında havalı güneş kolektörü destekli ısı pompası entegre edilmiş ısı geri kazanım cihazında buharlaştırıcı yüzeyinde oluşacak karlanmanın engellenmesi için defrost işlemi incelenmiştir.

Dış hava şartlarının düşük olduğu zamanlarda, sistemin sürekli defrost 'a giriyor olması sistem verimini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu da hava kaynaklı ısı pompalarının tercih edilebilirliğini sınırlamaktadır. Isı pompalarında yaygın olarak akışkanın 1-2 dakikalığına ters akışının sağlanması ile defrost gerçekleştirilmektedir. Bu da havası şartlandırılmak istenen mahale bir süreliğine soğuk hava üflenmesine neden olmaktadır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Dış hava sıcaklığının güneş kolektöründen geçtikten sonra 10 ile 15°C arasında sıcaklığının arttığı görülmüştür. Isı geri kazanım cihazına giriş yapan bu ısınmış hava, plakalı eşanjör ile hem taze hava ile ısı transferi gerçekleştirip mahale üflenmeden ön ısıtmaya tabi oluyor, hem de buharlaştırıcı yüzeyinden devamlı geçirilerek karlanmanın oluşması engellenmeye çalışılıyor. Karlanmanın oluşmaması da ısı pompası verimini olumlu yönde etkilediği gözlemleniyor. Işınımın az olduğu gün batımından sonra, havalı güneş kolektöründen gelen havanın sıcaklığının yetersiz kalması buharlaştırıcı yüzeyinde yeniden karlanma oluşma ihtimalini göstermektedir.

Yapılan benzer çalışmalar bölüm 2'deki literatür taramasında gösterilmiştir. Bölüm 3'ten başlayarak Bölüm 7'ye kadar sistemin teorik ve yapısal bileşenleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 7'de deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar ile ilgili teknik bilgileri paylaşılmıştır. Bölüm 8'de ise deney sonucunda elde edilen değerlerin grafiklere aktarılması ve sonuçların yorumlanması işlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ise Bölüm 9'da paylaşılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

Küçüka, 2006'daki çalışmasında dış hava sıcaklığına bağlı olarak ısıtma/soğutma kazançlarının değişkenlik gösterdiği ısı geri kazanım cihazlarının, Ankara, İstanbul, İzmir ve Antalya illeri için ısıtma/soğutma ve tasarım kapasitelerinin ne oranda değiştiğini incelemiştir. Ayrıca her saatte ölçülen dış hava sıcaklığı bölgelere ve çalışma saatlerine göre değişkenlik gösteren, yıllık toplam ısı kazancı miktarlarını hesaplamıştır ve ısı geri kazanım cihazlarının ekonomik kazancına değinmiştir. Sonuç olarak, ısı geri kazanım cihazı tercih edilmesi ile soğu yüküne oranla, toplam ısı yükündeki azalmanın daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Ankara ili gibi karasal iklim özellikleri taşıyan bölgelerde, ısıtma ve soğutma için yıllık toplam enerji kazancının daha yüksek olduğunu doğrulanmıştır [1].

Ekren, 2019'daki çalışmasında ısı pompası dahil edilmiş ısı geri kazanım cihazlarında, cihazların optimum tasarım kriterlerini ve verimini incelemiştir. Bu tasarım parametrelerini, üflenecek taze hava sıcaklığının emiş sıcaklığına eşit ve yaz için en çok 1°C büyük olması, dış hava sıcaklığının egzoz havası sıcaklığı ile eşit veya yaz için en çok 1°C büyük olması, mevcut ürünlerin en yüksek COP değerine karşılaştırılabilirliği, cihaz rotoru ve ısı pompası maliyetlerinin toplamının en az olması durumlarının birbiri ile ilişkileri gösterilmiştir. Devamlı kapasite kontrollü ve ısı pompalı havalandırma cihazının uygulanan şartlarda performansını analiz ettiğinde on/off çalışma durumuna göre sağlanan yıllık ortalama kazanç %49 'dur. Hava üfleme sıcaklıklarının ifade edilen tasarım kriterlerinde 1°C'lik toleranslarda olduğunu, performans katsayısının on/off çalışmadan daha yüksek olarak 7'lere ulaştığını gözlemlemiştir.

Deney sonucunda, ısı pompası destekli ısı geri kazanım havalandırma sistemlerinde tasarım parametreleri ve kontrol parametrelerinin birlikte göz önüne alındığında performans ve ekonomik anlamda fayda sağladığını belirlemiştir [2].

Yılmaz, 2006'daki çalışmasında hava kaynaklı ısı pompalarının soğuk iklim şartlarında kullanımı için önerilen tasarım ve modifikasyonları incelemiştir. İlave ısıtıcıların kullanılması, aşırı soğutma yapılması, düşük hava sıcaklığına uygun olan yağ kullanılması, kompresör ön ısıtma sisteminin geliştirilmesi, değişken/kademeli kapasiteli kompresör sistemlerinin kullanılması, dış ısı değiştirici kapasitesinin artırılması ve iç/dış ısı değiştirici devrelerinin optimize edilmesi, defrost sistemlerinin geliştirilmesi, ısı pompası çevrimleri için yeni soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması, CO₂ ısı pompasının kullanılması, birleşik ısı pompası sistemlerinin kullanılmasının etkilerine değinilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, düşük dış ortam sıcaklığında kompresörün güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kullanılan yağın viskozitesi vb. özelliklerinin soğuk bölgelerde kullanım için uygun olması gerektiğini, ilk çalışma esnasında kompresörü ısıtmak için önemli miktarda ısı kullanıldığından kompresör ön ısıtma sisteminin kullanılması ısı pompasının ısıtma kapasitesini arttırdığını, kompresörün yüksek hızlı ve yüksek güçlü çalışması yağın soğutucu akışkandan ayrışma mekanizmasının iyileştirilmesi sıvı enjeksiyon yöntemi kullanılarak kompresör deşarj sıcaklığının azaltılması vb. yöntemlerin kullanılması soğuk iklim bölgelerinde ısı pompasının performansını artırdığını, soğuk iklimlerde değişken/kademeli kapasiteli kompresör sistemlerinin kullanılması yüklerin uyumsuzluğunu engellemekte ve ısı pompasının ısıtma kapasitesini arttırdığını, defrost sistemlerinin geliştirilmesi sonucunda etkisiz defrost işlemi önlenmekte ve defrost süresinde azalma meydana geldiğini, soğutucu akışkan karışımlarının kapasite ayarlanmasına olanak tanınması, soğuk iklim bölgelerinde kullanılan ısı pompalarında yük uyumunu sağlamak, kısmi-yük ve mevsimsel performansı geliştirmek amacıyla kullanılabileceğini, CO₂'nin buhar sıcaklık basınç eğrisinin geleneksel soğutucu akışkanlarıninkinden daha düz olması, düşük sıcaklıklarda benzer kapasiteli geleneksel ısı pompalarından daha büyük kapasite sağlamakta ve bu durum CO₂ ısı pompalarını soğuk iklimlerde kullanım için cazip hale getirdiğini yorumlamıştır [3].

Güler, 2019'daki çalışmasında havalı güneş kolektöründen geçirilen dış hava sıcaklığının düşük olduğu günlerde ısı pompasının evaporatörünün üzerinden geçirilmesinin etkilerini incelemiştir. Çalışmasında sıcaklık, basınç, debi ve elektrik tüketimi gibi parametreler ve termodinamik hesaplamalar yardımıyla ısı pompası performansı deneysel ve teorik olarak analiz etmiştir.

Analiz sonucunda, havalı güneş kolektörünün verimi %53 olarak bulunmuştur. Sisteminin ITK değeri 4,93 olarak bulunmuştur. Ek olarak ısı pompası sisteminde havalı güneş kolektörünün tercih edilmesi elektrik tüketiminde %4,3 lük bir düşüş meydana getirdiğini gözlemlemiştir. Düşük dış ortam sıcaklıklarında evaporatör sıcaklığının havalı güneş kolektörü yardımıyla artırılması kompresörde tüketilen elektrik miktarını azalttığını saptamıştır. Havalı güneş kolektörünün ısı pompası sistemine dahil edilmesi ile havalı güneş kolektörle ısı pompası ve havalı güneş kolektörle ısıtma sisteminin standart ısı pompasına kıyasla ITK performans katsayıları %23,5 ve %22 oranında arttığını elde etmiştir [4].

Ertaş, 2011'deki bildirisinde cihaz defrost 'a girdiğinde ortaya çıkan enerji kaybının en aza indirilmesi için, sistemin uygulama ve tasarımında kullanılabilecek bazı önleyici kriter ve çözüm önerilerini ele almıştır.

Soğutucu katalogunda verilen soğutma kapasiteleri donmayan yüzeyler için uygundur. Dondurulmamış yüzeyler üzerinde de testler yapılmıştır. Öte yandan, buzla testi yöneten standartlar ve uygulamalar da vardır. Hesaplama verilen kapasite koşulları dikkate alınmalıdır. Defrostunun yedek soğutma kapasitesi gerektirip gerektirmediği kontrol edilmeli ve soğuk oda operatörünün defrost kayıplarını azaltmak için eğitim ve çabalarına bağlı olduğu anlaşılmıştır [5].

Muslu, 2017'deki çalışmasında ülkemizde üretilen ısı pompası destekli HRV üniteleri Balıkesir yaz ve kış koşullarında çalıştırılmış ve farklı sıcaklıklarda performans ölçümleri yapılmıştır. Bu nedenle HRV cihazının ısı pompası fonksiyonunun eklenmesi ile iki cihazın ortak bir noktada buluşması cihazın verimini arttırmaktadır. Bu iki cihazın birlikte çalıştırılmasıyla HRV ve ısı pompasının avantajları birleştirilir.

İç ortamın taze hava ihtiyacı karşılanırken oluşacak ısı kaybının önüne geçilerek iç ortamın termal rahatsızlığının önüne geçildiğini gözlemlemiştir [6].

Dikici, 2005'te yapmış olduğu çalışmada hava kaynaklı ısı pompası ile Elâzığ ilinde boş bir odanın ısıtılmasında elde edilen ölçümleri incelemiştir. Deneyle, Aralık-Şubat 2002 ile 2003 arasındaki ısıtma mevsiminde gerçekleştirilmiştir. Sistemin performans katsayısı, enerji analizi, ekserji analizi ve ekonomik analizi yapılmaktadır.

Analiz sonucunda, ocak ayındaki sistem performans katsayısının diğer aylara göre daha düşük olmasının nedeni, deney gününde yoğun kar yağışı nedeniyle evaporatör yüzeyinde çok fazla kar oluşmasıdır. Hava kaynaklı ısı pompası sonuçlarına bakıldığında, dış ortam sıcaklığı ile birlikte iç ortam sıcaklığının ve performans katsayısının arttığı elde etmiştir [7].

Çakır, 2011'deki çalışmasında farklı çalışma şartlarında havadan havaya bir ısı pompasının termodinamik performans analizini incelemek için Erzurum ilinde deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneyinde, hava debisini ve hava sıcaklığını belli aralıklarla değiştirmiştir, ortaya çıkan verileri kayıt altına almıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak termodinamiğin birinci kanunu ve ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Hava kaynaklı ısı pompasının etkenlik kat sayısı (COP) ve ekserji verimi farklı şartlar için belirlenmiş ve aralarındaki ilişkiyi gözlemlemiştir.

Deneyle sonucunda, farklı ısı yükleri için veya ısı yük değişken olan ortamlarda ısı pompasının tercih edilmesinin doğru bir yaklaşım olduğunu belirlemiştir. Elde edilen verilerden de anlaşılacağı üzere havadan havaya ısı pompalarının performans ve kapasiteleri buharlaştırıcı/yoğuşurucu hava debisi ve sıcaklığının değişmesi yolu ile kolayca değiştirilebilmekte olduğunu yorumlamıştır [8].

Dong, 2011 yılındaki çalışmasında hava kaynaklı ısı pompasının, dış hava sıcaklığının donma noktası ve çiylenme noktasının altında olduğu durumlarda evaporatör yüzeyinde oluşan buzlanmayı çözmek için ters akışlı defrost yönteminin sistem verimliliğinin analizini yapmıştır. Bunun için bir deney seti hazırlamıştır.

Yapılan çalışma sonunda, defrost için sağlanan toplam ısının %78,1'nin iç ortam havasından geldiğini ve %59,4'ünün defrost için kullanıldığı görülmektedir. Maksimum defrost verimliliğinin %60,1'e kadar çıkabileceğini saptamıştır. Ancak bu işlemin mahal ortamındaki ısı konforu düşürdüğünü belirtmiştir [9].

Şevik, 2011'de yapmış olduğu çalışmasında hava kaynaklı ısı pompası ve güneş kolektörü destekli ısıtma ve kurutma uygulamasını tasarlamıştır. Tasarımındaki enerji ihtiyacı ısı pompası ve güneş kolektörü ile karşılanmıştır. PID (Oransal-Integral-Türevsel) kontrol mantığı ile daha enerji girişi ile daha kaliteli kurutulmuş ürün elde edilebileceğinin enerji analizini gerçekleştirmiştir.

Analiz sonunda, sistemin Türkiye şartlarında sera ısıtmasında ve havalandırma sistemlerine de entegre edilerek enerji giderlerinin düşürülebileceği kanısına varılmıştır [10].

Çomaklı, 1993'deki çalışmasında Karadeniz bölgesinde bina ısıtması için güneş kolektörü destekli ısı pompasının performansını araştırmıştır. Deneyler 30 m² güneş kolektörleri ile 75 m² oda için uygulanmıştır. Deneyleri Aralık-Mayıs aylarında gerçekleştirmiştir. Üç farklı deney düzeneği incelemiştir. Bunlar, seri, paralel ve çift kaynaklı ısı pompası sistemlerini içermektedir. Deneyden elde ettiği verileri kolektör verimliliği, ısı pompası etkenlik katsayısı, depolama verimliliği ve enerji tüketimini hesaplamak için kullanmıştır.

Deneyler sonunda, kolektör verimini %70, ısı pompası COP değerini %4,5, sistem COP değerini %4,0 ve depolama verimliliğini %60 olarak bulmuştur. Karadeniz bölgesinde genelde bulutlu günler yaşandığından paralel ısı pompası sistemi mahal ısıtmak için daha uygun olabileceği kanısına varmıştır [11].

Bakırcı, 2006'daki çalışmasında Erzurum ilinde güneş kolektörlü ısı pompası sisteminin performansını incelemiştir.

İncelemeleri sonunda, ocak ayında, yoğurturucudan çıkan su sıcaklığının yaklaşık 40°C olduğunu gözlemlemiştir. Bu ısının yerden ısıtma uygulaması için yeterli olduğu

kanısına varmıştır. Yıl genelinde soğuk iklime sahip Erzurum ili için güneş kolektörlü ısı pompası sisteminin, diğer ısıtma sistemlerine alternatif olarak kullanılabilceğini belirtmiştir [12].

Özgener, 2004 yılındaki çalışmasında sera ısıtması için güneş kolektörü destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performans analizini yapmıştır. Çalışmada 50 metre dikey 32 mm çapında zemin ısı eşanjörü kullanılmıştır. Ölçümler Türkiye'nin İzmir şehrinde 20 Ocak ile 31 Mart tarihleri arasında ısıtma modunda yapılmıştır. Analiz sonucunda, sadece toprak kaynaklı ısı pompası merkezi ısıtma sisteminin, ortam sıcaklığı düşükse, seranın toplam ısı kaybını karşılayamadığını gözlemlemiştir. Güneş kolektörü destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin ısıtma yükünün kolayca kontrol edilebilmesi durumunda, Türkiye'de Akdeniz ve Ege Bölgelerinde en iyi yöntem olarak kullanılabilceğini belirlemiştir [13].

Shen, 2018'de yapmış olduğu çalışmasında hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin defrost yöntemlerini incelemiştir. Yaygın olarak kullanılan ters çevrimli ve sıcak gaz bypassla defrost yöntemlerinin dışında, PCM-HE yöntemini kullanarak defrost sistemini analiz etmeye çalışmıştır.

Analiz sonucunda, hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinde PCM-HE kullanımı defrost performansını iyileştirmekte olduğunu ve ilerleyen günlerde kullanımının daha yaygın olacağını söylemiştir [14].

Wei, 2020'deki çalışmasında buhar enjeksiyonlu bir hava kaynaklı ısı pompasının defrost özelliklerin üzerine deneysel ve teorik araştırma gerçekleştirmiştir.

Yapılan çalışma sonunda, defrost sırasında enjeksiyon oranının %0-10,08 olduğunu gözlemlemiş ve bu da defrost süresini %7,75 oranında kısaltmıştır. Defrost verimliliği $-7,7^{\circ}\text{C}$ dış hava sıcaklığında %54,11'e ulaştığını gözlemlemiş. Buhar enjeksiyonunun bu çözme hızı üzerindeki etkisinin buharlaşan erimiş don aşamasında olduğunu gözlemlemiştir. Deneysel sonuçlarında, defrost aşamasında ve eriyen don aşamasında kompresöre biraz soğutucu akışkan enjekte edilebileceğini anlamışlardır. Buhar

enjeksiyonu miktarının arttığını gözlemlemiş ve yüksek enjeksiyon basıncı farkı nedeniyle buharlaşan erimiş don aşamasında defrost hızını artırdığını saptamıştır [15].

Zhang, 2015’de yapmış olduğu çalışmasında konut tipi ısı ve enerji geri kazanım cihazlarının defrost döngüsünün termal etkisinin deneysel ve teorik araştırmasını yapmıştır.

HRV ve ERV cihazlarının defrost döngüsünün termal etkisini TRNSYS kullanarak simülasyon üzerinden analiz etmiştir. Cihazların ısı verimliliklerini kış şartlarında, ısıtım uygulamaları ve hava geçirmez ortamda simule etmiştir. HRV cihazının yıllık defrost döngüsünün ERV ’den 3,5 kat daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Soğuk günlerde kullanılan HRV cihazı defrost süresi boyunca iç mekânın hava kalitesini önemli ölçüde bozabileceği kanısına varmıştır [16].

Zogou, 1996’daki çalışmasında iklim koşullarının toprak kaynaklı ısı pompası uygulaması üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, Avrupa’nın Güney ve Kuzey bölgelerindeki şehirler örneklenmiştir. Akdeniz’in daha sıcak iklim koşullarında, toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının bina enerji tüketiminde önemli ölçüde tasarrufa yol açacağını göstermiştir.

Bina enerji tüketiminin azaltılması için konut tipi ısı pompası sistemleri kullanılmalı ve farklı iklim koşulları için uygun hale getirilmesi gerektiğini analiz etmiştir. İklim koşullarının ısı pompası sistemlerinin performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir [17].

Kegel, 2012 yılındaki çalışmasında Kanada Montreal’deki 210 m²’lik üç farklı konutta iki güneş destekli ısı pompası sisteminin performans analizini incelemiştir.

İncelemeleri sonucunda, güneş destekli hava kaynaklı ısı pompalarının, toprak kaynaklı ısı pompalarına kıyasla %34’lük bir enerji tasarrufuna sahip olduğunu gözlemlemiştir. Güneş destekli hava kaynaklı ısı pompası enerji tasarrufu ve yatırım maliyeti olarak iyi sonuçlar ortaya koyduğundan, su kaynaklı ısı pompaları aynı performansı yakalayamadığı belirlenmiştir [18].

Liu, 2017'deki çalışmasında ısı pompasında defrost kontrolünün sulu güneş kolektörü sistemi ile deneysel analizini gerçekleştirmiştir. Sistemde, gündüz güneş ısını depolayan sistem geceleri defrost kontrolü için kullanılmıştır ve deneysel analizleri yapılmıştır. Yapılan analizde, geleneksel ters çevrimli defrost yöntemine göre neredeyse %82 daha yüksek bir COP değerine sahip olduğu elde edilmiştir [19].

Mengjie, 2018 yılındaki çalışmasında 2000'den 2017 yılına kadar hava kaynaklı ısı pompaları için donma geciktirme ve defrost araştırmalarındaki gelişmeleri incelemiştir. Çalışmada 12 adet donma geciktirme önlemi, 5 adet defrost yöntemini ele almıştır. Farklı çalışmalar arasındaki açıklar bulunmuş ve öneriler sunulmuştur.

İncelemelerde, 12 adet donma geciktirme önlemi için, giriş havasının atık ısı ile ön ısıtma yapılması şiddetle tavsiye edildiğini gözlemlemiştir. 5 adet ters çevrimli defrost yöntemi incelendiğinde işlemin her zaman 60-90 dakika bir veya iki yardımcı parametreye bağılı olarak başlatıldığını belirtmiştir [20].

Zhiyi, 2008'deki çalışmasında defrost performansı için önemli bir bileşen olan akümülatör yerine, bir soğutucu akışkan şarj kompensatörlü yeni bir ısı pompası defrost sistemi geliştirmiştir.

Kompensatörlü iyileştirilmiş donma sisteminin beklendiği gibi çalıştığını ve defrost sırasında emme-basma basınçlarının kompresör gücünün eskisinden çok daha büyük olduğu kanısına varmıştır [21].

Wang, 2005'deki çalışmasında ısı pompasının kış şartlarında ısıtma yaparken evaporatör yüzeyindeki buzlanmayı engellemek için yeni bir yöntem uygulamışlardır. Bu yöntemde hava evaporatör yüzeyine temas etmeden önce katı adsorban ile nemini almayı denemişlerdir. Adsorban yatak, aktif karbon kaplamalı zeolit plakalardan yapılmıştır. Her zeolit plakanın her iki tarafı çok ince bir aktif karbon ve sodyum silikat karışımı tabakası ile kaplanmıştır.

Çalışma sonunda, bu sistemin sadece havadaki nemi azaltmakla kalmadığını yüzeyden geçen havayı da ısıtmakta olduğunu, böylelikle buzlanmanın çözüldüğünü ve kışın ısı pompası performansının arttığı görülmüştür [22].

Zhang, 2012'deki çalışmasında hava kaynaklı ısı pompasında buzlanmayı önlemek için yeni bir yöntem demişlerdir. Bu yöntemde, entegre katı kurutuculu bir hava kaynaklı ısı pompası ile havanın nemini alarak donmayı engellemeye çalışılmıştır. Kurutucunun desorpsiyon işlemi sırasında, rejenerasyon havasının duyulur ısını ve gizli ısını geri kazanmak için rejenerasyon kurutucu kaplı ısı değiştirici ve buharlaştırıcı arasında döndürülür. -7°C $-5,5^{\circ}\text{C}$ kuru termometre sıcaklığında donma koşullarına bağlı olarak %60 %80 bağıl nemde sayısal bir simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma sonunda, performans katsayısının (COP) 3,3 ile 3,8 arasında olduğunu ve sıcak gazla buz çözme yönteminin kullanıldığı sistemden %5 ile %30 daha yüksek olduğunu analiz etmiştir [23].

BÖLÜM 3

ISI GERİ KAZANIM

Isı geri kazanım sistemlerindeki temel prensip, iç ortamdan emilen egzoz havasının dış ortama atılmadan önce adyabatik bir sistem yardımı ile dış ortamdan alınan ve mahale üflenecek havaya enerjisinin aktarılmasına dayanmaktadır. Böylelikle mahal hava kalitesini artırırken, aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Dünyada enerji kaynaklarının tükeniyor olması, tüketilen enerjinin daha verimli kullanılmak istenmesi gibi nedenler bu sistemleri tercih edilebilir kılmaktadır. Günümüzde, birçok havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamak için bu sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır ve sistem verimlilikleri yüksektir.

3.1. ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ VE TÜRLERİ

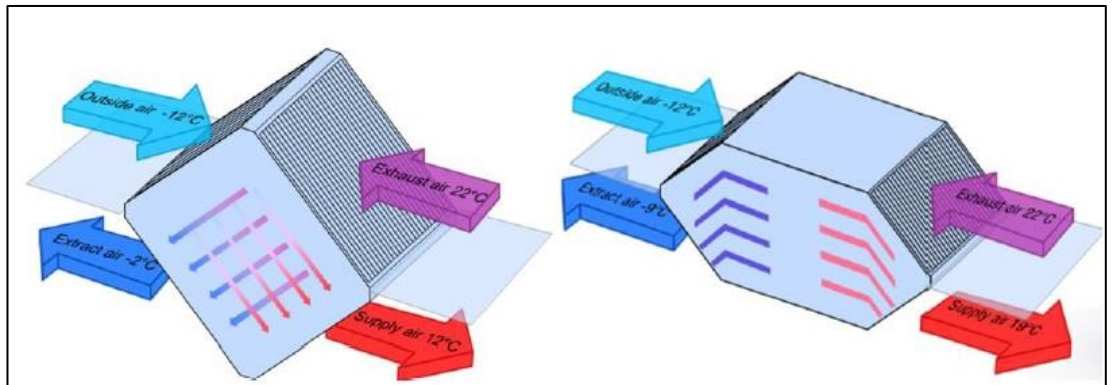
Isı geri kazanım havalandırma sistemleri, birçok farklı uygulamada ve türde karşımıza çıkmaktadır. Soğuk dış ortam havasının şartlandırılmadan mahale üflenmesi hem konfor şartını bozmakta hem de enerji kaybına yol açmaktadır. Standart aspiratör cihazlarının tamamı bu etkiyi oluşturmaktadır. Sadece ortamdaki havayı dışarıya atmak olumsuz etkiyi devam ettirecektir. Bu sistemler vantilatör ve aspiratör fanını birlikte barındırmaktadır böylelikle ısı değiştirici sayesinde ısı ve enerji kazanımı sağlamaktadır. Konut, ofis, okul, iş merkezi, spor salonları, vs. gibi her mevsim taze hava ihtiyacı bulunan uygulamalarda sistem verimliliği, enerji tasarrufu ve mahal hava kalitesini artırmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Havalandırma – İklimlendirme klima cihazlarının birçoğunda ısı ve enerji kazanımı sağlamak için ısı geri kazanım sistemlerinin farklı varyasyonları kullanılmaktadır. Üretim aşamasında klima santrallerine dahil edilmektedir. Çizelge 3.1’de ısı geri kazanım sistemlerinin çeşit ve türleri gösterilmektedir

Çizelge 3.1. Isı geri kazanım sistemleri karşılaştırma çizelgesi

	Hava Akış Yöntemleri	Sistem Avantajları	Sistem Dezavantajları
Plakalı Tip	- Ters Akışlı - Çapraz Akışlı - Paralel Akışlı	- Hareketli Elaman Yok - Basınç Kaybı Düşük - Kolay Temizlenebilir	- Gizli Isı Transferi Sadece Hygroscope Tiplerde Mümkün
Tamburlu Tip	- Ters Akışlı - Paralel Akışlı	- Gizli Isı Transferi - Yüksek Debi - Basınç Kaybı Düşük	- Soğuk Dış Ortam Şartları Servis İhtiyacını artırma ihtimali - Havaların Birbirine Karışması Mümkün
Isı Borulu Tip	- Ters Akışlı - Paralel Akışlı	- Kısıtlı Hareketli Eleman - Fan Yeri Kritik Değil	- Verimlilik - İlk Yatırım Maliyeti - Basınç Kaybı - Sınırlı Sayıda Üretici
Bataryalı Tip	- Ters Akışlı - Paralel Akışlı	- Taze ve Egzost Havası Birbirinden Ayrı - Fan Yeri Kritik Değil	- Yüksek Verimlilik İçin Hassas ve Doğru Tasarım İhtiyacı
Termosifon Tip	- Ters Akışlı - Paralel Akışlı	- Hareketli Elaman Yok - Taze ve Egzost Havası Birbirinden Ayrı - Fan Yeri Kritik Değil	- Verimlilik - İlk Yatırım Maliyeti - Basınç Kaybı - Sınırlı Sayıda Üretici
İkiz Kuleler	- Ters Akışlı - Paralel Akışlı	- Ayrı Hava Akışlarından Gizli Isı Transferi - Mikrobiyolojik Temizliğe Uygun	- Sınırlı Sayıda Üretici
Isı Pompalı	- Ters Akışlı - Çapraz Akışlı - Paralel Akışlı	- Verimlilik - Enerji Tasarrufu	- İlk Yatırım Maliyeti - Evaporatör Yüzeyi Buzlanma

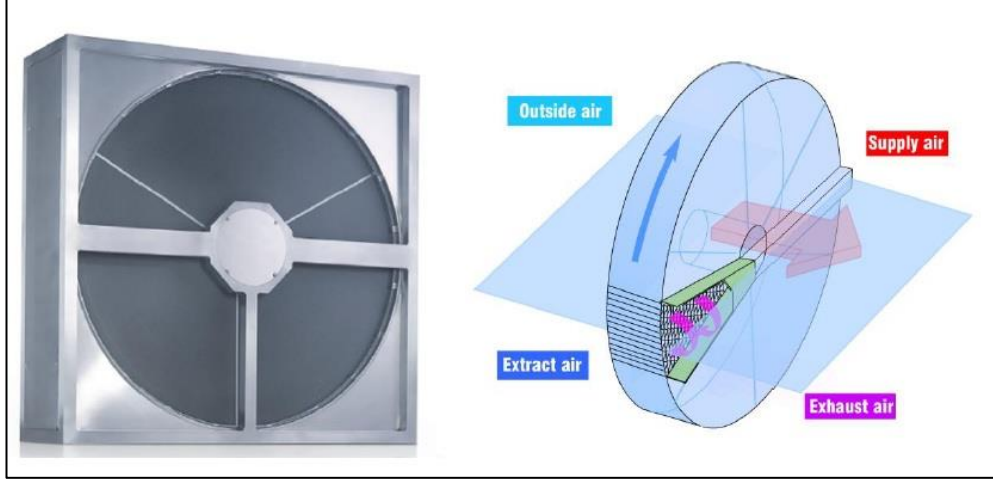
3.1.1. Isı Geri Kazanım Sistemlerinin Görselleri

Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6'da Çizelge 3.1'de tarif edilen ısı geri kazanım sistemlerine ait gösterimlerdir.



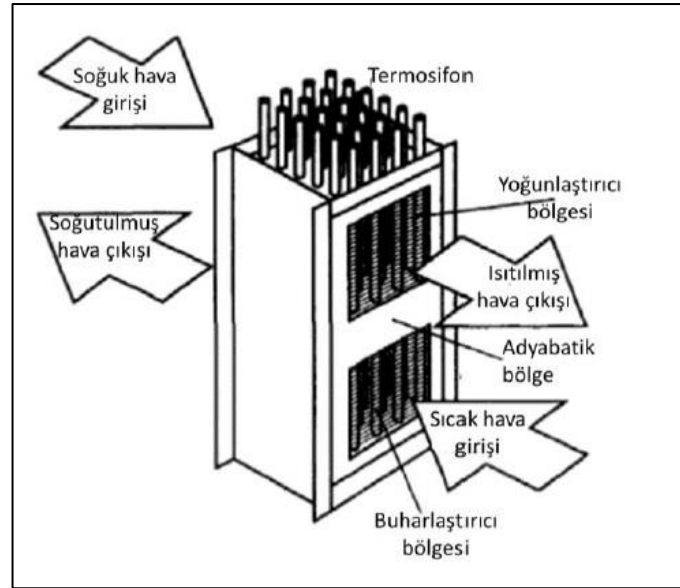
Şekil 3.1. Plakalı tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [24].

Plakalı ısı eşanjöründe, iki hava akımı bir yüzey ile birbirinden ayrılır ve ısı transferi doğrudan yüzeyi oluşturan plakaların kalınlığı boyunca gerçekleşir. Bu işlem sırasında iki hava akımı birbirine karışmaz [24].



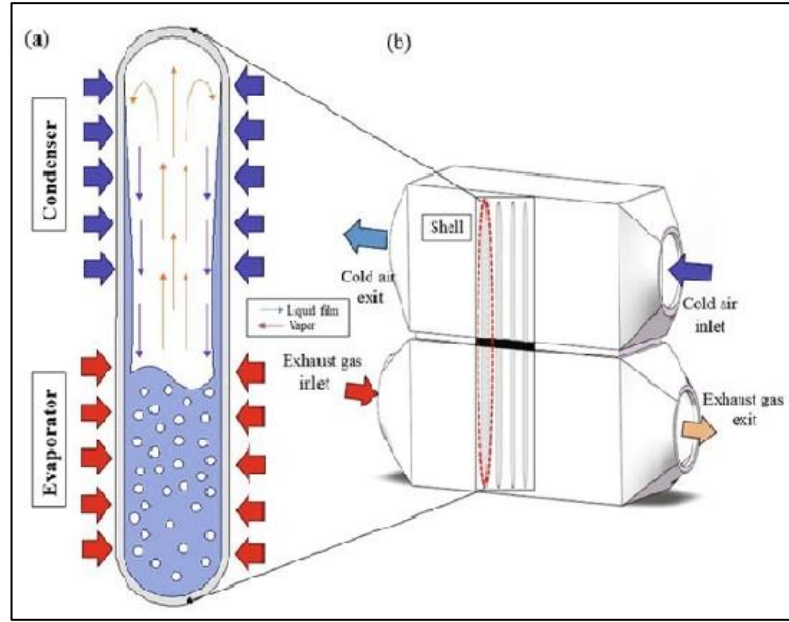
Şekil 3.2. Tamburlu tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [24].

Rotorlu ısı geri kazanım ünitelerinde çarkın geçtiği birinci bölümdeki havadan alınan ısı önce dolgu üzerinde depolanır ve ikinci bölümde havaya aktarılır. Dolgu, havanın geçmesine izin veren ince duvarlı, delikli hava kanallarından oluşur [24].



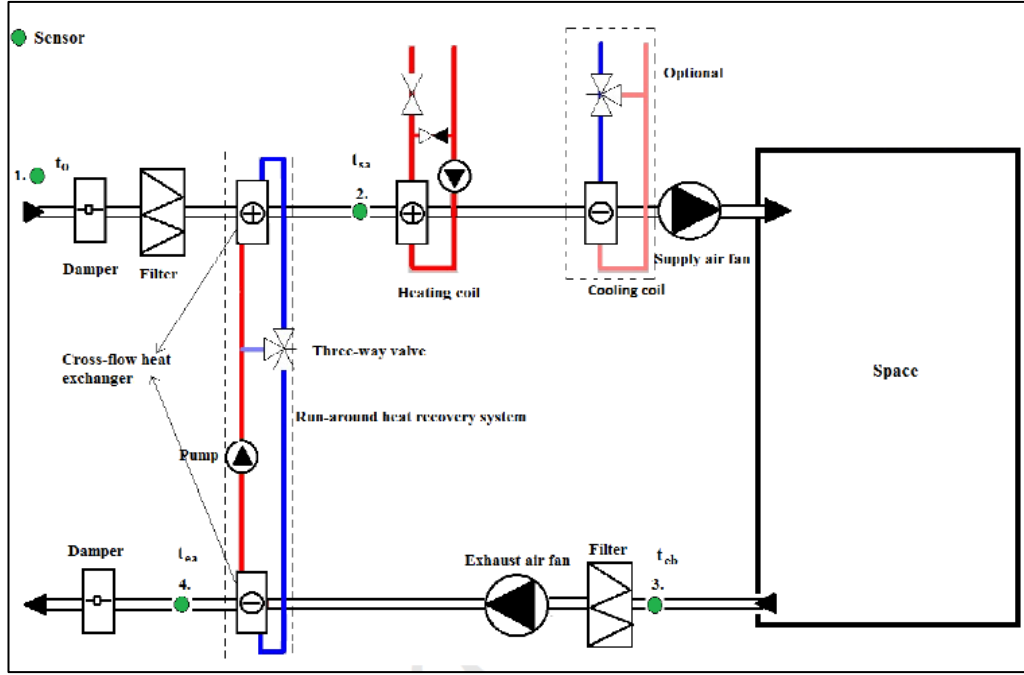
Şekil 3.3. Termosifon tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [25].

Dikey bir borudaki belirli bir miktar sıvı emilip sızdırmaz hale getirildiğinde dışarıdan ısıtıldığında sıvı buharlaşmaya başlar ve oluşan buhar borunun üst ucuna doğru hareket eder. Borunun üst ucuna ulaşan buhar yoğunlaşır ve ısıyı borunun dışına ve sıvı faza yayar. Sıvı faza giren sıvı yerçekimi etkisi ile borunun alt ucuna geri döner ve böylece çevrimi tamamlar [25].



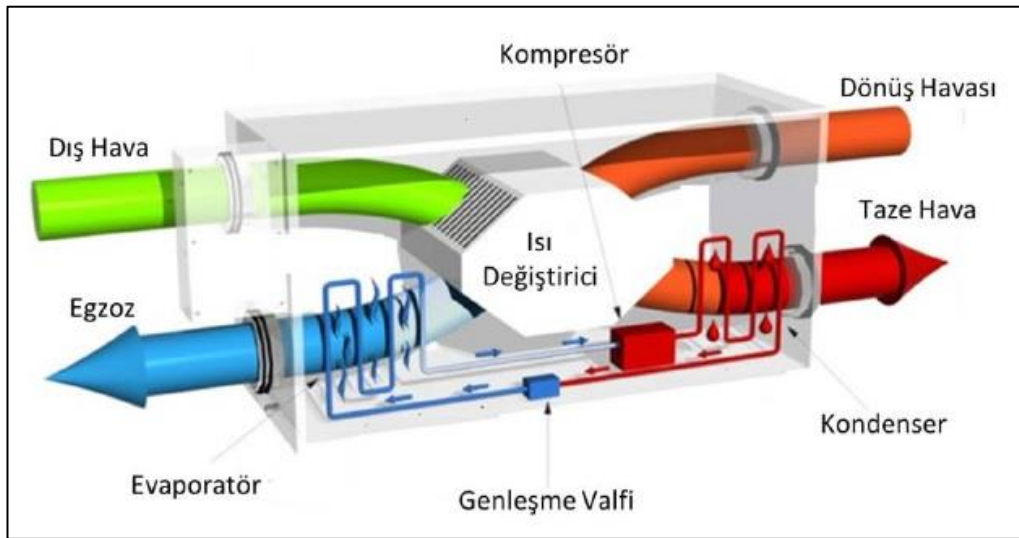
Şekil 3.4. Isı borulu tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [26].

Isı boruları evaporatör, adyabatik ve kondenser olarak adlandırılan üç temel parçadan oluşan farklı ısı transfer cihazlarıdır. Sıvının bir kısmının emildikten sonra doldurularak hazırlandığı, kapalı bir ortamdaki sıvının faz değişimine dayanan bir ısı eşanjörü çeşididir. Isı geri kazanımı için çeşitli ısı eşanjörleri kullanılmaktadır ve ısı borulu ısı geri kazanım sistemleri son yıllarda geniş bir popülerite kazanmıştır [28].



Şekil 3.5. Run-Around tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [27].

Taze hava tarafında ve egzoz tarafında gaz-sıvı kanatlı borulu eşanjör bataryaları, sirkülasyon pompası ve bağlantı borularından oluşan basit bir sirkülasyonlu ısı geri kazanım sistemi, batarya ile gerektiğinde üç yollu vana arasında sıvı transferini sağlar. Isıtma modunda (kış işletimi) egzoz bobininde sıvı ısıtılırken egzoz havası soğutulur, sıvı taze hava bobininde soğutulurken taze hava ısıtılır [29].



Şekil 3.6. Isı pompalı tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [30].

Sistemde, emiş havasından çıkan atık ısının ısı pompası tarafından emilen besleme havasına aktarılmasıyla elde edilir. Evaporatörden geçen sıcak havanın akışı da kompresörün verimini arttırır [30].

3.2. PLAKALI ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

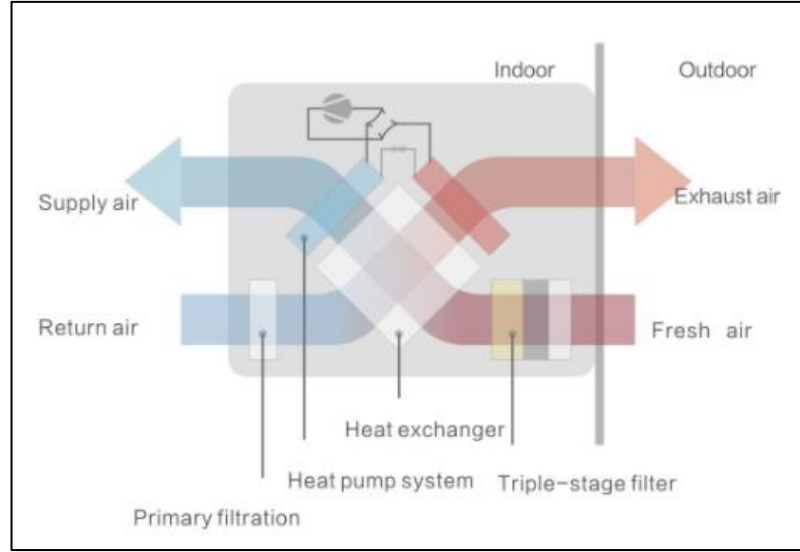
Sıcaklık farkı bulunan iki hava akımı bir yüzey yardımı ile birbirinden ayrılır, mahalden emilen hava ile taze dış ortam havasını birbirine karıştırmadan ısı transferi gerçekleştiren mekanik cihazlardır. Plakalı ısı değiştircilerin alüminyum, plastik ve işlenmiş kâğıttan türleri mevcuttur. Genel olarak, dayanıklılık, düşük maliyet, hava akımının tamamen ayrımı, düşük basınç kaybı, yüksek verim ve yüksek ısı transferinden dolayı alüminyum tip plakalar tercih edilmektedir.

Sistem Avantajları;

1. Düşük Kurulum ve alıştırma Maliyeti
2. Hava Akımının Birbirinden Tamamen Ayrımı
3. Hareketli Parçaların Olmaması
4. Her Tür Kullanıma Uygun
5. Değişik Dış Ortam şartları İçin Uygun Malzemeler
6. Düşük Basınç Kaybı
7. Temizlenmesi Kolay ve Minimum Bakım
8. Hijyenik

3.3. ISI POMPALI PLAKALI ISI GERİ KAZANIM CİHAZI

Isı pompalı ısı geri kazanım cihazları, vantilatör ve aspiratör fanları, alüminyum plakalı eşanjör, evaporatör, kondenser ve kompresör ısı pompası elemanlarında oluşmaktadır. Kullanım amacı, yüksek iç hava kalitesi elde etmek ve enerji tasarrufu sağlamak için tasarlanmıştır. şekil 3.7' de ısı pompalı tip ısı geri kazanım cihaz tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Isı pompalı tip ısı geri kazanım cihazının gösterimi [31].

Havadan havaya çapraz akışlı alüminyum plakalı ısı değiştirici yardımı ile ısı kazancını sağlarken, ısı pompası sayesinde iç ortam havasını da iyileştirerek taze hava ihtiyacını karşılamış olur. Standart plakalı ısı geri kazanım cihazlarında kış aylarında 10-12 °C sıcaklığında üfleme havası elde edilmektedir. Bu havayı direkt olarak mahal ortamına üfleme konforsuz bir durum oluşturmaktadır. Bu tür durumlarda çözüm olarak elektrikli ısıtıcı ve sulu bataryalar kullanılmaktadır. Isı pompası sayesinde oda havası şartlarında üfleme sıcaklığı elde etmek mümkündür.

3.4. PLAKALI ISI GERİ KAZANIM CİHAZININ VERİM HESABI

Günümüzde enerji ve sistem verimliliği gün geçtikçe daha da önem arz etmektedir. Bir sistemin tercih edilebilirliğini de yüksek enerji ve sistem verimliliği sağlamaktadır. Havadan-havaya ısı geri kazanım cihazlarının verimliliğini duyuşur ısı, nem miktarı, hava debisi, hava hızı, plakalı eşanjör kesiti, plakalı eşanjör boyu, plakalar arası mesafe gibi değişkenlere bağlı olabilir.

3.4.1. Kış Çalışma Konumu Plakalı Isı Geri Kazanım Cihaz Verim Hesabı

Aşağıda verim hesabı gösterilen cihazın kış konumunda çalışma prensibi Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

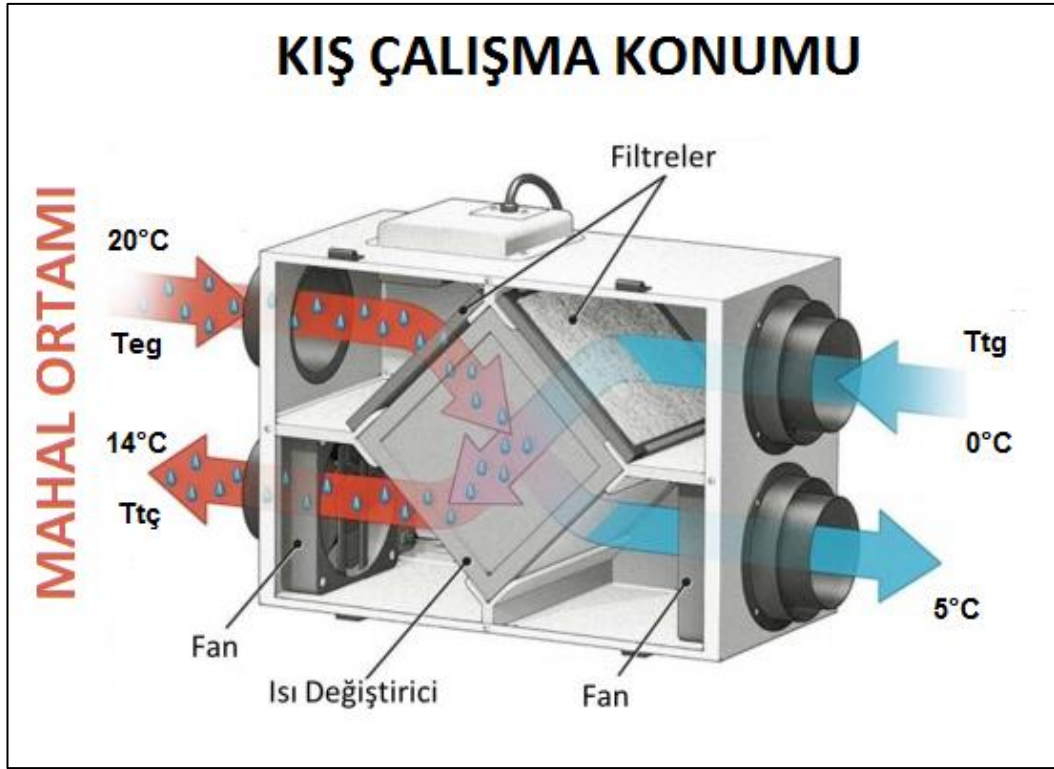
$$\eta = \frac{Tt_{\text{ç}} - Tt_{\text{g}}}{Te_{\text{g}} - Tt_{\text{g}}} \quad (3.1.)$$

η : Isıl Verim

$Tt_{\text{ç}}$: Taze Hava Çıkış Sıcaklığı (°C Cinsinden)

Tt_{g} : Taze Hava Giriş Sıcaklığı (°C Cinsinden)

Te_{g} : Egzoz Hava Giriş Sıcaklığı (°C Cinsinden)



Şekil 3.8. Isı geri kazanım cihazı kış çalışma konumu gösterimi [30].

3.4.2. Yaz Çalışma Konumu Plakalı Isı Geri Kazanım Cihaz Verim Hesabı

Aşağıda verim hesabı gösterilen cihazın yaz konumunda çalışma prensibi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

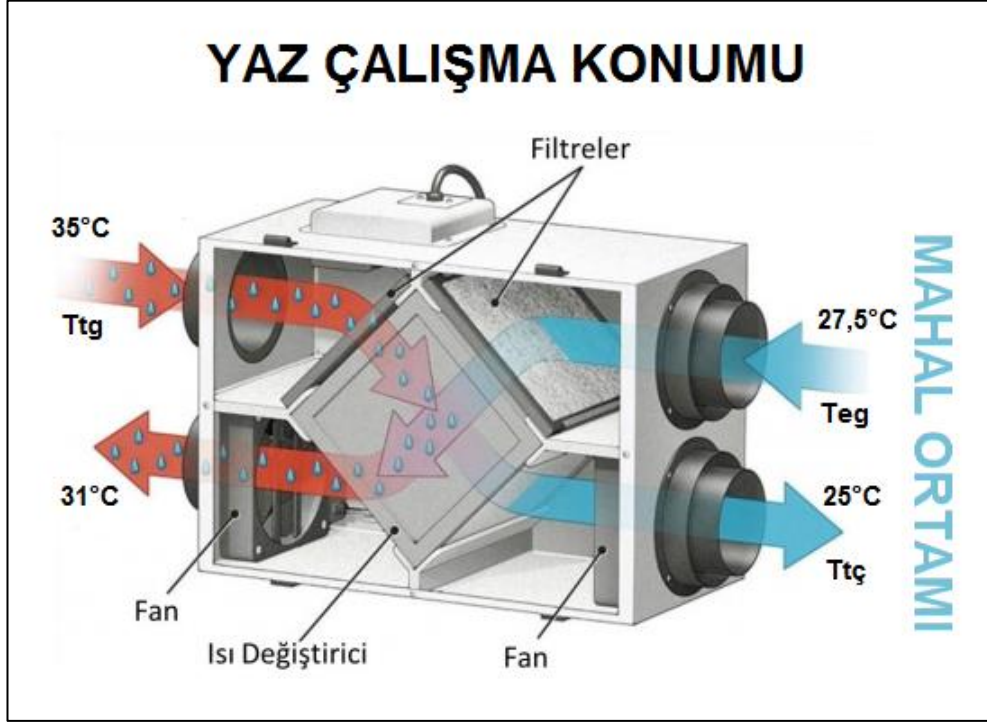
$$\eta = \frac{Tt_g - Te_g}{Tt_g - Tt_c} \quad (3.2.)$$

η : Isıl Verim

Tt_c : Taze Hava Çıkış Sıcaklığı (°C Cinsinden)

Tt_g : Taze Hava Giriş Sıcaklığı (°C Cinsinden)

Te_g : Egzoz Hava Giriş Sıcaklığı (°C Cinsinden)



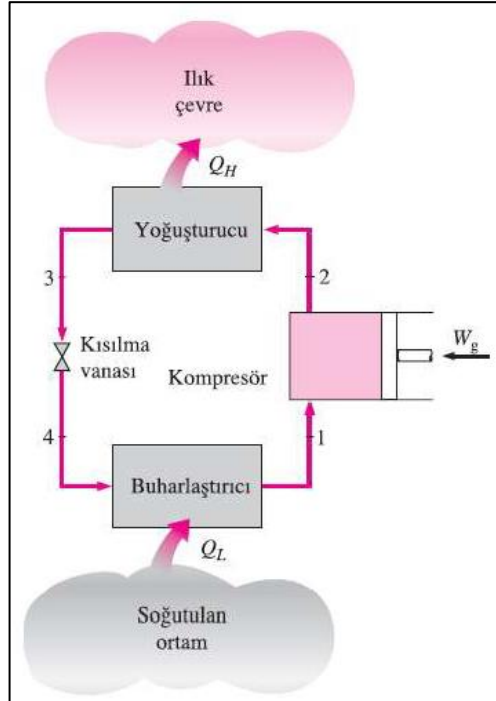
Şekil 3.9. Isı geri kazanım cihazı yaz çalışma konumu gösterimi [30].

BÖLÜM 4

ISI POMPALARI

Isı pompası, enerjiyi bir kaynaktan diğerine aktaran bir cihazdır. Enerji kaynağı hava, su veya toprak olabilir. Isıtma yaparken, enerjisini çekmiş olduğu kaynağı soğutur, soğutma yaparken ise ısıtır. Buradaki çevrim, gazın faz değişimi ile enerjiyi çekme ve taşıma ile tamamlanır. Bilindiği üzere termodinamiğin 1. yasasında enerji vardan yok, yoktan da var edilemez, sadece biçim değiştirebilir ya da bir yerden bir yere taşınabilir. Isı pompası da adını ısı enerjisini bir yerden bir yere taşımasından veya pompalamasından alır.

Basit buhar sıkıştırırmalı ısı pompası çevrimi ve elemanları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi gösterimi [32].

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimleri günümüzde en yaygın şekilde kullanılan soğutma makineleridir. Dört ana elemanı bulunmaktadır: evaporatör, kondenser, kompresör ve genişleme elemanıdır. Sistemin temel prensibi, soğutucunun kompresöre doymuş buhar olarak girmesi ve kondenser akışkanın enerjisini doymuş sıvı hale gelene kadar kaynağa (hava, su, toprak) aktarır, sonra soğutucu akışkan genişleme elemanı yardımı ile evaporatörde istenilen soğutma basıncına göre kısılarak ısıyı soğutulan kaynaktan çekerek tekrar buhar fazına geçmesidir.

4.1. ISI POMPASI ÇEŞİTLERİ

Isı pompaları, kullanım amacı ve ısı kaynağına göre birçok türde karşımıza çıkmaktadır.

Isının Çekildiği Kaynağa Göre Isı Pompası Çeşitleri;

1. Hava Kaynaklı
2. Su Kaynaklı
3. Toprak
4. Güneş Enerjisi
5. Jeotermal
6. Atık Isı Kaynakları (Baca Gazları, Egzoz Gazları vs.)

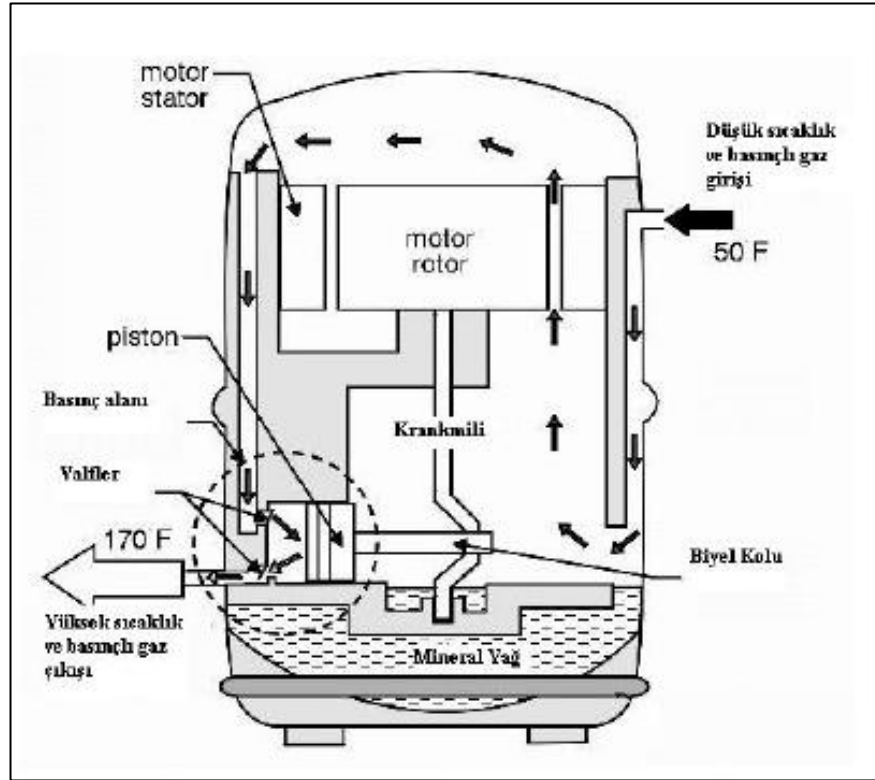
Günümüzde, konutlarda yaygın olarak havandan havaya ısı pompaları kullanılmaktadır. AVM, Okul, İş Merkezi, vb. yapılarda sudan-havaya ısı pompası çeşitleri daha çok tercih edilmektedir. Dış hava şartlarının yıl genelinde düşük olduğu bölgelerde ise topraktan havaya ısı pompası kullanımı görülebilir, bunun nedeni yıl boyunca toprak altındaki ısıyı değişken olmamasıdır. Atık ısı kaynaklı sistemleri daha çok endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Güneş enerjili ve jeotermal sistemler günümüzde yenilenebilir kaynaklara yönelim neticesinde tercih edilmektedir.

4.2. ISI POMPASI SİSTEMİNİN ELEMANLARI

4.2.1. Kompresör

Pratikte, buharlaştırıcıdan çıkan buharı yoğuşma basıncına kadar sıkıştıran, ısı yüklenmesini ve sıvı hale geçmesini, soğutucu akışkanın sistem içerisinde dolaşımını sağlayan elemanlara kompresör adı verilir. Kompresörler genellikle; santrifüj, pistonlu, turbo, scroll ve vidalı olarak imal edilirler.

Sistemde pistonlu hermetik tip kullanılmıştır, kompresörün iç yapısı Şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Hermetik tip kompresörün iç parçaları gösterimi [33].

Pistonlu kompresörün çalışma prensibi, bir silindir içerisinde pistonun ileri geri hareketi sonucu gazı sıkıştırmasına dayanmaktadır. Pistonlu kompresörler açık tip ve hermetik olarak iki gruba ayrılmaktadır. Santrifüj kompresörler, özel şekil verilmiş yuvasında birçok kanadı olan, yüksek hızlı çarklarının dönüşü ile gazı sıkıştırıp kızgın

buhar fazına geçmesine neden olur. Scroll kompresörlerde, iç içe sarmal geçmiş iki spiral levha mevcuttur. Bu levhalardan biri dururken diğerinin hareket etmesi ile soğutucu akışkanın basıncını ve ısınımsını yükseltir. Vidalı kompresörler, biri erkek diğeri dişi iki vida şeklinde milin aynı andan dönmesi ile soğutucu akışkanın basıncını ve ısınımsını yükseltir.

4.2.2. Kondenser (Yoğuşturucu)

Yoğuşturucular, kompresörden çıkan aşırı ısınmış soğutucu akışkanın soğutularak sıvı buhar fazına aktarıldığı elemandır. Burada soğuk akışkan atmosferik hava, su veya toprağa üç grupta incelemek mümkündür.

Sistemde hava soğutmalı kondenser (yoğuşturucu) kullanılmıştır, Şekil 4.3' de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Hava soğutmalı kondenser (yoğuşturucu) gösterimi [40].

Hava soğutmalı kondenserler tipik olarak kanatlı borularla yapılır. Soğutucu akışkan borulardan geçer ve hava dışarı çıkar. Bu tip kondenser özellikle küçük soğutma yükleri için tercih edilir ve yeterli soğutma suyunun olmadığı durumlarda hava tarafındaki ısı transfer katsayısının düşük olması nedeniyle soğutma yükleri için çok geniş alanlara ihtiyaç duyulur. Bakımları ve kullanımları kolay olsa da hava

sıcaklığının gün içinde ve mevsimlere göre değişmesi nedeniyle otomatik kontrol zorlaşmaktadır [34].

4.2.3. Evaporatör (Buharlaştırıcı)

Soğutucu akışkanı buharlaştırarak soğutulacak ortamdan ısı çekebilen bir elementtir. Pratikte, soğutucu kaynağına, çalışma koşullarına, soğutulacak sıvının ve havanın sirkülasyon moduna, soğutucu akışkan kontrolü tipine ve uygulamaya bağlı olarak farklı konfigürasyon ve boyutlarda birçok evaporatör tipi vardır.

Genel olarak evaporatörler, demir, çelik, pirinç, bakır veya alüminyum gibi ısıl iletkenliği yüksek malzemelerden yapılır. Zamanla yüzeyde birikebilecek kirliliklerin neden olduğu yüksek ısı direnci nedeniyle malzemenin ısı transferi azaltılabilir. Hava soğutucularında dış yüzeylerde toz ve buz birikebilir, su soğutması durumunda tortular, yağ filmleri veya soğutucu sirkülasyonun bir kuvvet uyguladığı iç yüzeylerde tortu birikimi önemli ısı direnci. Örneğin, evaporatörün yüzeyinde biriken 10 mm kalınlığındaki buz tabakası, temiz bir yüzeye kıyasla ısı transferini yarı yarıya azaltır. Şekil 4.4' de hava soğutmalı evaporatör (buharlaştırıcı) gösterilmiştir.

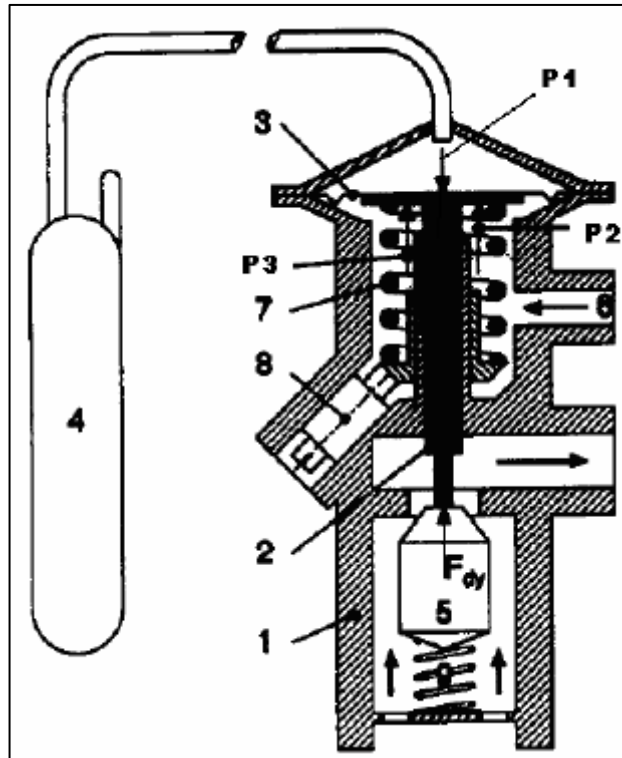


Şekil 4.4. Hava soğutmalı evaporatör (buharlaştırıcı) gösterimi [41].

4.2.4. Genleşme Elemanları

Genleşme elemanları temelde, evaporatöre (buharlaştırıcıya) gidecek olan akışkan miktarını belirlemektedir.

Aynı zamanda basınç düşürücü olarak da tanımlanabilirler. Pratikte, elektronik, sabit basınçlı ve termostatik olmak üzere üç tip genleşme elemanı kullanılır. Termostatik genleşme valfleri ise içten dengelemeli ve dıştan dengelemeli olarak ikiye ayrılır. Ev tipi buzdolapları ve derin dondurucular gibi küçük soğutma kapasitelerinde kısma valfleri yerine kılcal borular (kılcal damarlar) kullanılmaktadır. Bu boruların iç çapları, soğutucu akışkan yüküne bağlı olarak 0,80.13 mm arasında değişmekte olup, uzunlukları evaporatörün basıncına bağlı olarak ayarlanmaktadır [25]. Şekil 4.4.' de termostatik genleşme vanasına ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Termostatik genleşme vanası gösterimi [35].

(1) Vana Gövdesi, (2) Vana İğnesi, (3) Diyafram, (4) Termostatik Duyarga, (5) Tapa, (6) Dış Genleşme Yuvası, (7) Kızgınlık Ayar Yay, (8) Kızgınlık Ayar Vidası, (9) Tapa Destek Yay [35].

Genleşme Valfi Çeşitleri;

1. Elektronik Genleşme Valfleri
2. Isı-Motor Kontrollü
3. Elektromanyetik
4. Darbe Modulusyonlu
5. Adım-Motor Kontrollü
6. Sabit Basıncılı Genleşme Valfleri
7. Termostatik Genleşme Valfleri

4.3. ISI POMPASI VERİMLİK HESABI

Isı pompasının verimi, etkinlik katsayısı ile ifade edilir ve COP_{IP} olarak gösterilir. Bir ısı pompasının bir birim enerji harcayarak, kaç biri ısı ürettiğini bildiren bir değerdir. Isı pompasının COP değeri ne kadar yüksekse, o ısı pompasının verimi o ölçüde yüksek ve enerji tüketimi de aynı ölçüde düşük olduğu anlamına gelir [32].

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde Edilmek İstenen Değer}}{\text{Harcanması Gereken Değer}} \quad (4.1.)$$

$$COP_{IP} = \frac{Q_{Kondenser}}{W_{Kompresör}} \quad (4.2.)$$

Hava kaynaklı ısı pompaları dış havayı ısı kaynağı olarak kullanır ve hava donma noktasının altına indiğinde verimleri büyük oranda azalmaktadır.

4.4. ISI POMPALARINDA BUZLANMA

Dış havanın çiy noktası sıcaklığının altına düştüğü durumlarda, buharlaştırıcı yüzeyindeki su buharı karlanmaya başlar, bu durum buzlanma olarak adlandırılmaktadır. Buharlaştırıcı yüzeyindeki buzlanma sistem verimliliğini olumsuz etkilediğinden istenmeyen bir durumdur. Aksi durumlarda kanatçıklar arasında donan su, çok kısa bir sürede hava geçişini kısıtlayarak soğutma işleminin devam etmesine

engel olacaktır. Bu durumu aşmak için, defrost olarak adlandırılan farklı yöntemler uygulanmaktadır.

Defrost Yöntemleri;

1. Elektrikli Isıtıcı ile Eritme
2. Sıcak Gaz ile Eritme
3. Su ile Eritme
4. Oda Havaıyla Eritme
5. Isıtılmış Hava ile Eritme

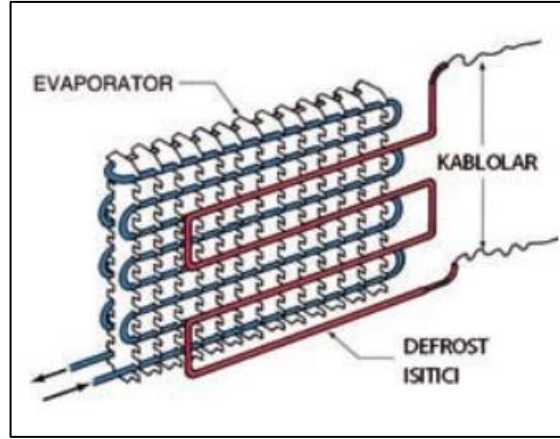
Defrost süresi, her bir odanın ve saklanan ürünün durumuna, kullanılan evaporatöre, lamel aralığına vb. bağlı olarak farklılık gösterir. Operatörler bunu doğrulamalı ve doğru defrost süresini uygulamalıdır. Günümüzde özel PLC kontrol sisteminde yüzey sıcaklığı sensör ile kontrol edilmekte ve saat yardımıyla optimum evaporatör defrost süresi sağlanmaktadır [36].

Buharlaştırıcı yüzeyinde karlanma başladığında, elektrikli ısıtıcı devreye girerek buzlanmayı engeller. Burada elektrikli ısıtıcının gücü buharlaştırıcının soğutma yüküne göre belirlenir.

4.4.1. Elektrikli Isıtıcı ile Defrost

Batarya üzerindeki kanatçıkların içindeki özel ısıtıcı boşluklarına ısıtıcılar yerleştirilerek defrost sağlanır. Bu işlem manuel veya otomatik olarak kontrol edilebilir. Kullanılacak olan elektrikli ısıtıcı gücü buharlaştırıcı soğutma değerine göre farklılık gösterebilir.

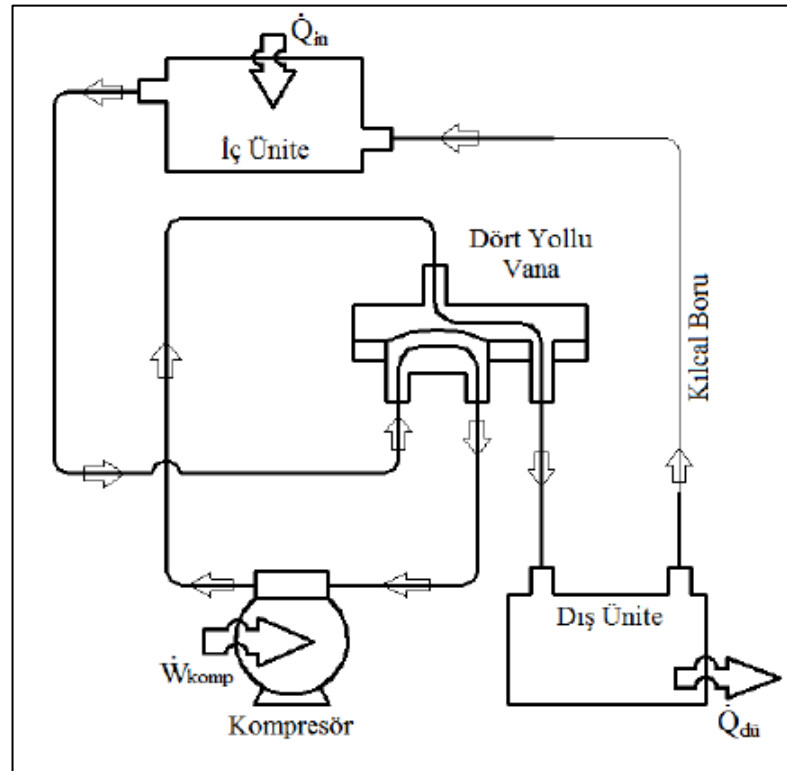
Elektrikli defrost yönteminde hafif defrost (E1 Tip) ve ağır defrost (E2 Tip) sistemleri bulunur. Buharlaşma sıcaklığı -10°C 'a kadar olan uygulamalarda hafif defrost sistemi, buharlaşma sıcaklığının daha düşük olduğu uygulamalarda ise ağır defrost sistemi uygulanır [36]. Şekil 4.6.' da elektrikli ısıtıcı ile defrost yöntemine ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Elektrikli ısıtıcı ile defrost yöntemi gösterimi [36].

4.4.2. Sıcak Gaz ile Defrost

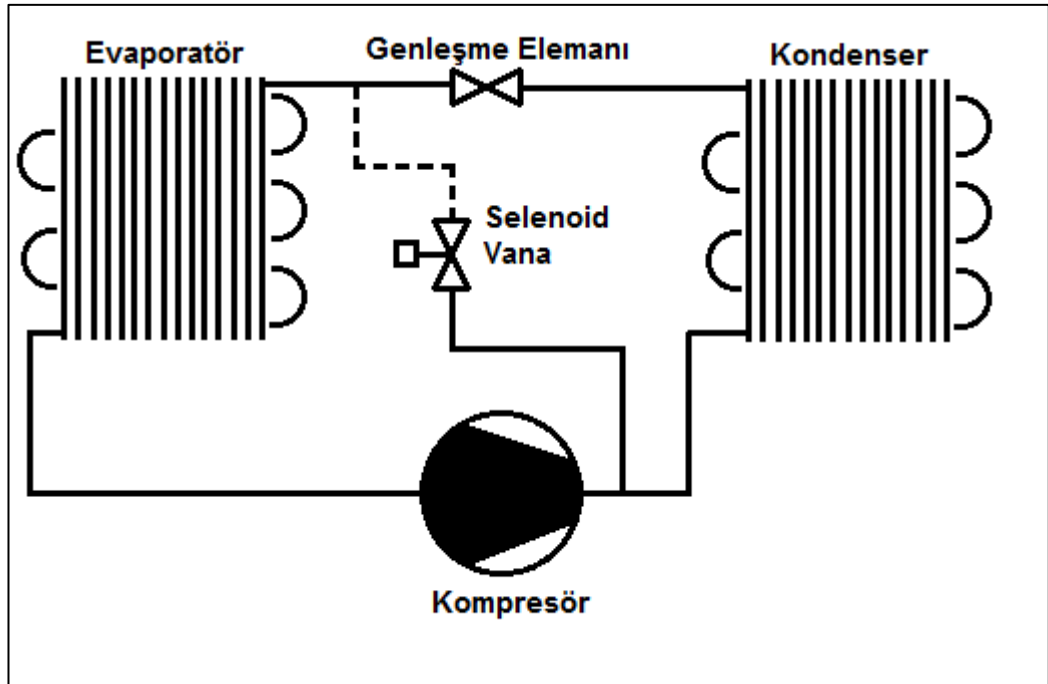
Bu yöntemde ise, kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkanın yoğuşturucu yerine doğrudan buharlaştırıcıya gönderilmesi ile buzlanma engellenmektedir. Şekil 4.7.' de dört yollu vana kullanarak sıcak gaz ile defrost yöntemine ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Dört yollu vana kullanarak sıcak gaz ile defrost yöntemi gösterimi [36].

Kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkan, 4 yollu vananın ters akış sağlaması ile yoğunlaştırıcıya gidecek olan kızgın buhar, buharlaştırıcı içerisinden geçirilerek yüzeydeki karlanma çözülür. Bu durumda, ısı pompası sisteminde kayıplara yol açar ve kış şartlarında mahale soğuk hava üflenmesi gibi bir istenmeyen durum ortaya çıkmaktadır.

Diğer bir gazlı defrost uygulaması ise, selenoid vana yardımı ile sağlanmaktadır. Şekil 4.8’ de gösterilmektedir.



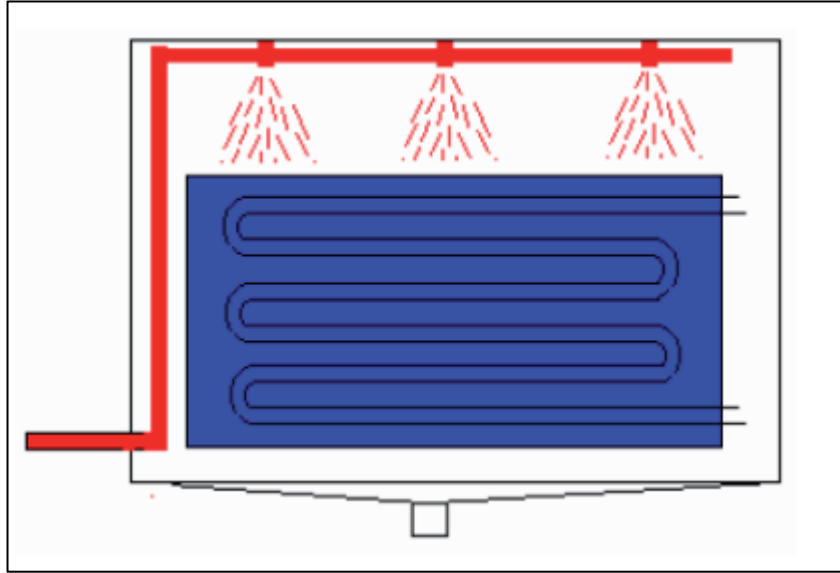
Şekil 4.8. Selenoid vana kullanarak sıcak gaz ile defrost yöntemi gösterimi.

Bu yöntemde, kompresör çıkışı ile evaporatör girişi arasına selenoid vana kullanılarak bir bypass hattı oluşturulur. Evaporatör yüzeyinde karlanma oluştuğunda, sistem defrosta geçecek ve selenoid vana yardımı ile kompresörden çıkan kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkanı direkt olarak evaporatöre gönderecektir. Böylelikle serpantin yüzeyindeki karlanma çözülecek ve sonrasında sistem tekrardan eksi haline geri dönecektir. Bu yapılan işlemin genelde kısa tutulması istenmektedir, uzun sürelerde devam etmesi sistem verimini düşürecek ve aynı zamanda sıcak gazın yoğunlaşması ciddi kompresör hasarlarına neden olacaktır.

Yaygın kullanılan gazlı defrost yöntemlerinden biri ise, çift evaporatör kullanılarak yapılmaktadır. Yani sistem yardımcı bir evaporatör bulunmaktadır. Bir evaporatör defrostta iken diğeri asli görevini yerine getirmektedir [25].

4.4.3. Su ile Defrost

Bu sistemde, buharlaştırıcı kanatçıkları üzerine nozullar yardımı ile ılık su püskürtülerek buzlanma engellenmiş olur. Burada eriyen karlanma su birikintisi oluşturabilir. Bu su birikintisi, bir drenaj hattı ile tahliye edilmelidir. Ekonomik defrost yöntemlerinden biridir [25]. Şekil 4.9.' da ılık su püskürtülerek defrost yöntemine ait çizim gösterilmiştir



Şekil 4.9. Ilık su püskürtülerek defrost yöntemi gösterimi [36].

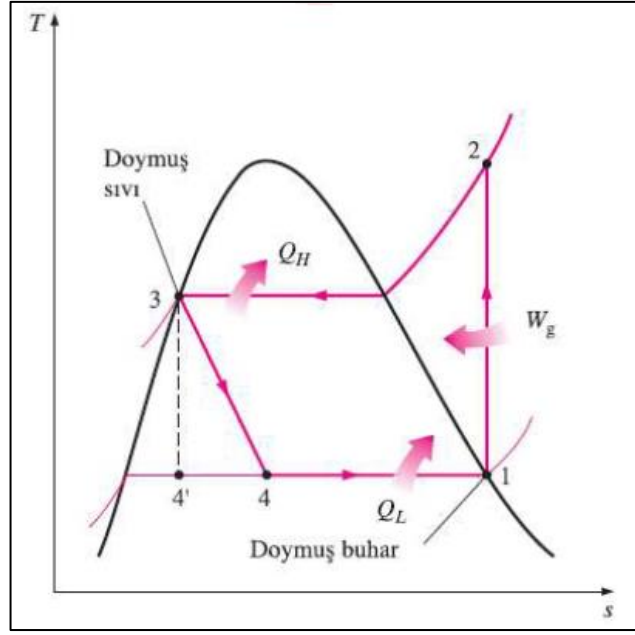
BÖLÜM 5

BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Günümüzde ısı pompaları birçoğu buhar sıkıştırırmalı çevrim prensibine göre çalışmaktadır. Isı enerjisinin, soğuk enerji kaynağından sıcak ısı kaynağına geçişi farklı türlerde gerçekleşmektedir. Soğutma makinaları için kullanılan en yaygın yöntemdir.

5.1. İdeal Çevirim

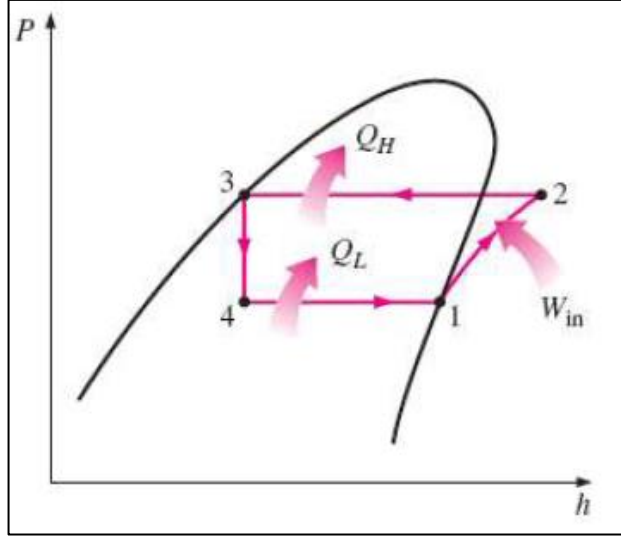
Bir kompresörde çevrimin gerçekleşmesi için, sisteme verilen bir dış kuvvet tarafından enerji sağlanmalıdır. İzotropik sıkıştırma ile sıcaklık yükselir ve aşırı ısıtılmış buhar oluşur. Kondensere giden kızgın buhar, içerdiği enerjiyi geri kazanarak sabit basınçta yoğuşarak ortamın ısınmasını sağlar. Burada amaca ulaşılmıştır ve döngüyü tamamlamak için bir sonraki bölüme ihtiyaç vardır. Yüksek basınçlı sıvı genişleme valfine ulaşır ve düşük basınca düşerek evaporatör durumuna ulaşır. Ortam sıcaklığı, evaporatöre ulaşan sıvının sıcaklığından daha yüksektir ve çevrim, sıvıya ısı transferi ile sona erer [32]. Şekil 5.1.' de buhar sıkıştırırmalı ısı pompası ideal çevriminin T-s diyagramına ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Buhar sıkıştırımlı ısı pompası ideal çevriminin T-s diyagramı [32].

(1-2) Kompresörde izentropik sıkıştırma, (2-3) Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı geçişi, (3-4) Genleşme vanasında sabit entalpide genişleme, (4-1) Buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ısı geçişini sembolize etmektedir. Bundan sonra çevrim yeniden başlar ve döngüye girer [32].

İdeal bir soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar olarak girmektedir. Burada soğutucu akışkan izentropik olarak yoğuşturucu basıncına kadar sıkıştırılır. Bu sıkıştırmadan sonra soğutucu akışkan kızgın buhar fazına geçecektir ve ortam sıcaklığından çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşacaktır. Daha sonra soğutucu akışkan 2 halinde yoğuşturucuya girer ve ısısını bulunduğu ortama atarak 3 halinde doymuş sıvı olarak çıkar. Akışkan, genleşme elemanı üzerinden geçirilerek buharlaştırıcı basıncına kadar düşürülür. Bu işlemde sonra akışkan sıcaklığı, soğutulmak istenen ortamın altında bir değerde olacaktır. Daha sonra doymuş sıvı buharlaştırıcıya girerek ortamdaki ısıyı çekerek tamamıyla buhar fazına geçer. Doymuş buhar olarak tekrar kompresöre girer ve bu şekilde çevrimi tamamlar [32]. Şekil 5.2.'de buhar sıkıştırımlı ısı pompası ideal çevriminin P-h diyagramına ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası ideal çevriminin P-h diyagramı [32].

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimlerini çözümlmek için en sık kullanılan diagraımlardan biri de P-h diagraıdır. Bu diagraı üzerinde 4 hal değışimi de görülebilmektedir. Buradaki buharlaştırmacı ve yoğuşturucuyu ifade eden çizgiler ısı aktarımları ile doğru orantılıdır [32].

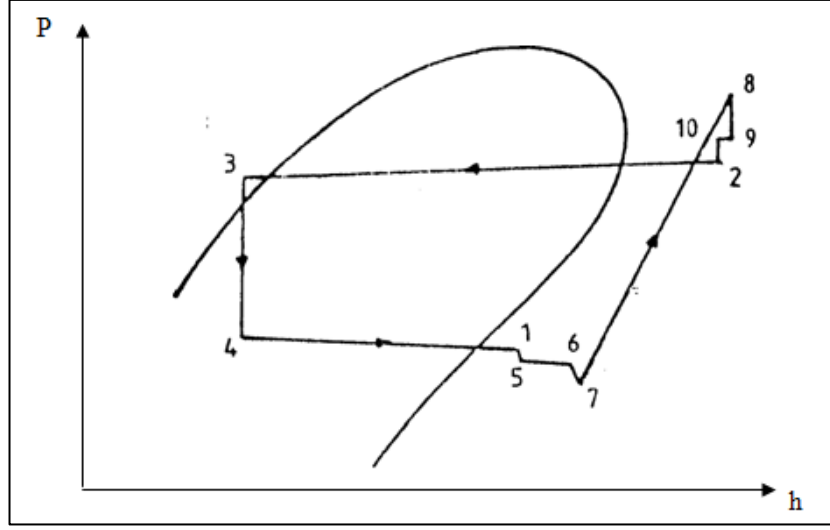
Soğutma Makinası ve Isı Pompası Etkenlik Katsayısı;

$$COP_{SM} = \frac{q_L}{w_{net,g}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (5.1.)$$

$$COP_{IP} = \frac{q_H}{w_{net,g}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (5.2.)$$

5.2. Gerçek Çevirim

Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi, ideal çevrimden biraz farklıdır. Bu fark, döngüyü oluşturan faktörlerin tersinmezliğinden kaynaklanmaktadır. Bahsedilen tersinmezliğin kaynakları, akışkanın sürtünmesi ve ortam ile ısı alışverişidir. Teorik buhar sıkıştırma çevrimi, gerçek sistemlere tam olarak uygulanamaz. Bunun nedeni basınç düşüşü, akışkan sürtünmesi, mekanik sürtünme ve dış ortam ile ısı alışverişi ile ifade edilebilir [32]. Şekil 5.3.' de buhar sıkıştırırmalı ısı pompası ısı pompası gerçek çevriminin P-h diagraımına ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Buhar sıkıştırırmalı ısı pompası gerçek çevriminin P-h diyagramı [25].

(1) noktasında evaporatörden çıkan soğutucu (1-5) arasındaki emiş hattındaki basınç düşüşü nedeniyle basıncı düşer. Ortamdan soğutucu akışkana ısı aktarımı nedeniyle, emme valfindeki basınç kaybı nedeniyle sıcaklık (5-6) aralığında yükselir ve (6-7) aralığında düşer. Soğutucu kompresöre (7) noktasından girer, (8) noktası kompresörün izotropik verim değerine bağlı olarak değişir, genellikle eski ve daha az verimli kompresörlerde bu değer sağa kayar ve güç kompresörü tüketimi artar). Tahliye valfinden basınç düşer, orta (9-10) sıcaklık ortama ısı kaybı nedeniyle düşer, orta (10-2) basınç düşer çünkü egzoz borularındaki basınç düşer. Soğutucu akışkan yoğuşturucuya (2) noktasından girer ve yoğuşturucu borularındaki sürtünme nedeniyle basınç biraz düşer. Soğutucu madde (3) noktasındaki kondansatörü terk eder ve gaz keleşine girer. (3) kısma sırasında, soğutucu akışkan genişledikçe basıncı ve sıcaklığı düşer. Gerçek çevrimde sabit entalpide kısma meydana gelmez. Soğutucu akışkan (4) noktasından evaporatöre girer, ortamdan ısı çeker ve (1) noktasından evaporatörden kızgın buhar olarak çıkar. Kondenserde olduğu gibi buharlaşma sırasında borulardaki sürtünmeden dolayı evaporatörde basınç kaybı meydana gelir [25].

BÖLÜM 6

GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ

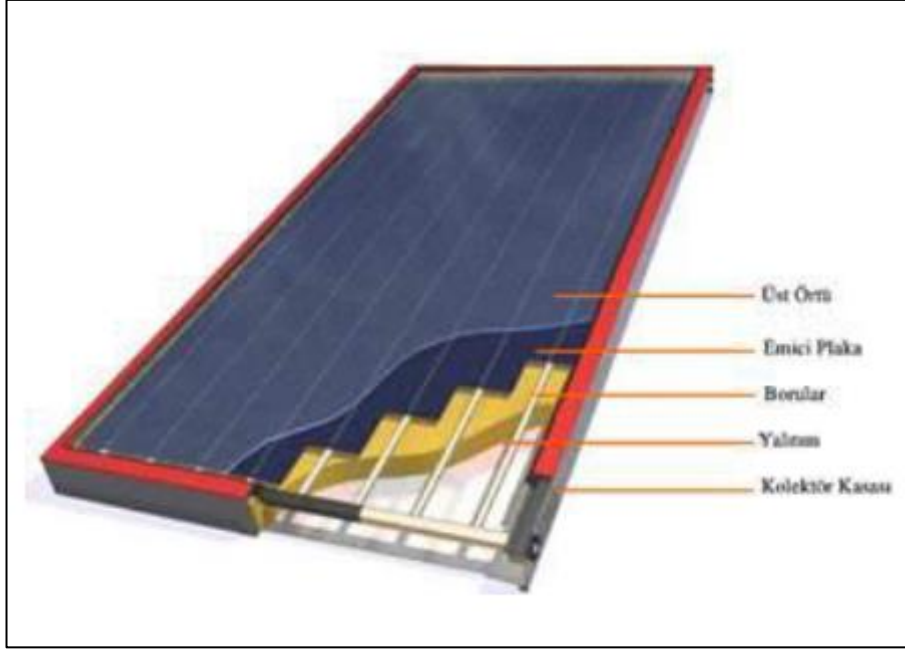
Güneş kolektörleri, güneş enerjisini soğuran ve sonrasında bu enerji ısı olarak aktaran elemanlardır. Güneş enerjisinden elde edilen ısı ile sıcak su ve ortam ısıtması uygulamaları yapılmaktadır. Günümüzde düzlemsel ve vakum tüplü olmak üzere iki türüne rastlamaktayız. Güneş kolektörleri, buldukları coğrafyaya göre ışınımaları en yüksek seviye alacak şekilde montaj edilmektedir. İçerinden geçen sıcaklık yaklaşık 100°C'lere kadar ulaşmaktadır.

Soğurucu plaka, güneş kolektörünün önemli parçalarından biridir. Bu plakalar aldıkları enerjiyi içlerinden geçen sıvıya vererek sıvının sıcaklığını artırır. Sıvı sıcaklığı artırılırsa, sıvı, kullanım amacına bağlı olarak depolanacak ve kullanılacak veya yeniden sirküle edilecektir [37]. Şekil 6.1' de güneş kolektörünün görseli yer almaktadır.

Güneş Kolektörü Sistemleri;

1. Tabi Dolaşımli Sistemler
2. Pompalı Sistemler
3. Açık Sistemler
4. Kapalı Sistemler

Kullanım türü ne olursa olsun güneş kolektörlerinde temel prensip, güneşten gelen ışınımaları kullanarak ısıya dönüştürmektir. Bu da güneş enerjisi nedir sorusunu anlamlı hale getirmektedir. Şekil 6.1.' de düz plakalı güneş kolektörü gösterilmiştir.

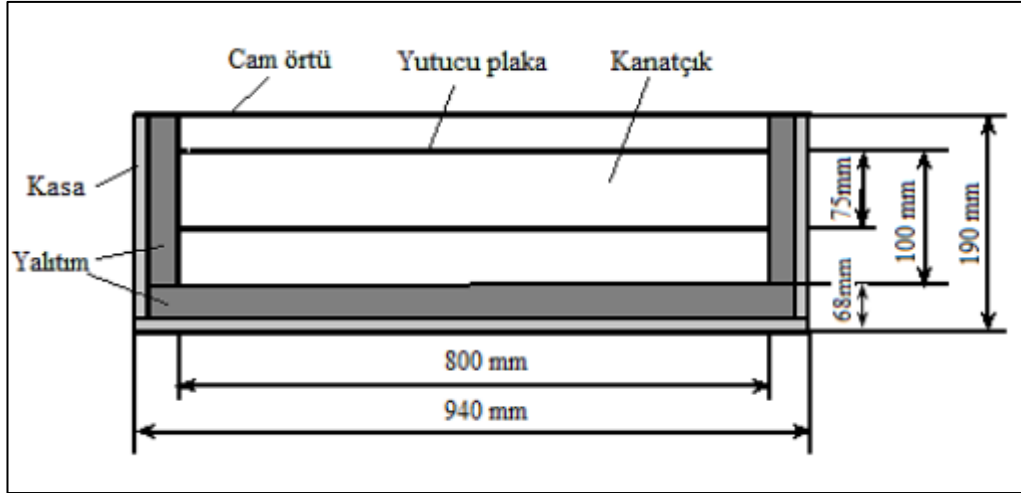


Şekil 6.1. Düz plakalı güneş kolektörü gösterimi [38].

Güneş radyasyonu cam yüzeyden geçer, siyah emici yüzeye yüksek emicilikle çarpar ve bu enerjinin çoğu kâğıt folyo tarafından emilir. Daha sonra depolama veya kullanım için sıvı tüpe aktarılır [38].

6.1. HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN YAPISI

Havalı güneş kolektörleri temelde güneş enerjisini soğurup, içerisinden geçen havaya aktaran elemanlardır. Havalı güneş kolektörlerini tasarlarken, güneş ışınlarını soğurabileceği siyah bir zemin, soğurucu plakadan havaya geçen ısı miktarını artırmak içinse kanatçıklar eklenmelidir. Böylece daha geniş bir yüzey alanı ile havanın temas oranını artırarak daha fazla ısı transferi gerçekleştirilmiş olur. Şekil 6.2' de havalı güneş kolektörünün kesit görseli gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Havalı güneş kolektörü kesit gösterimi [39].

Kolektör içerisinde geçen havanın debisini düşürmek veya kolektör içerisinde geçiş süresini uzatmak güneşten soğurulan ısının, havaya aktarılmasında ısı transferini artıracaktır. Şekil 6.3’ de deney setinde kullanılan havalı güneş kolektörü gösterilmiştir.



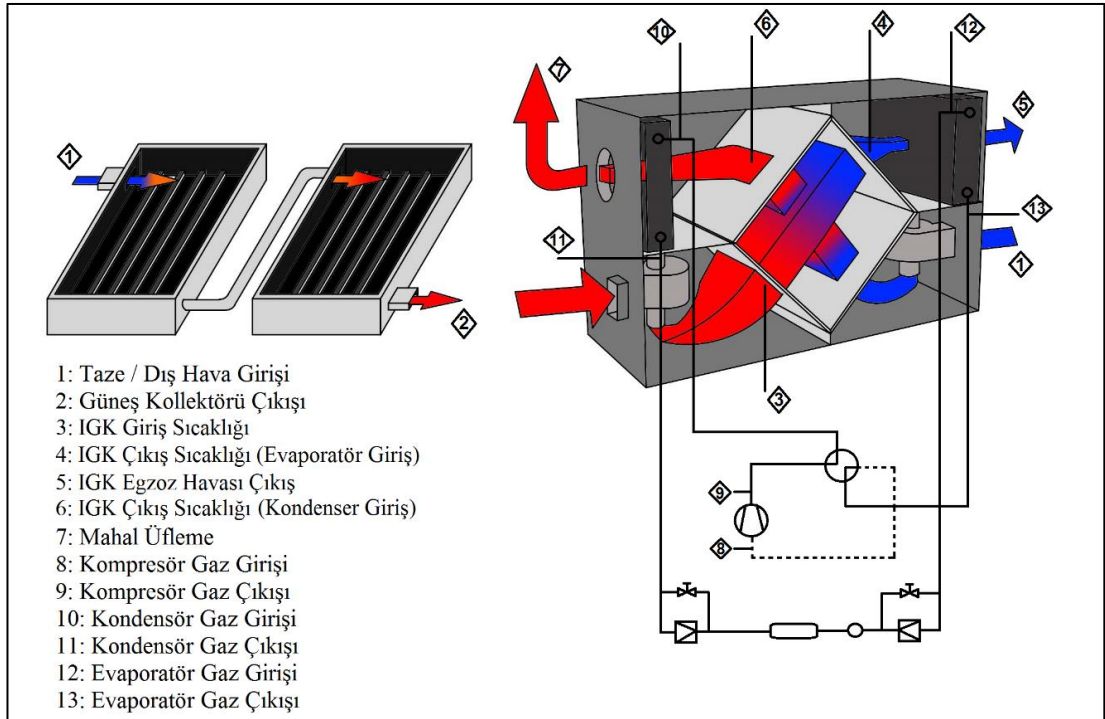
Şekil 6.3. Deneyde kullanılan havalı güneş kolektörü gösterimi.

BÖLÜM 7

MATERYAL VE METOD

7.1. Materyal

Deneysel düzeneği, mahal hava şartını sağlayabilen ısı geri kazanım cihazı, entegre edilmiş ısı pompası ve havalı güneş kolektöründen oluşmaktadır. Sistem Karabük İli kış şartlarında ısıtma konumundayken, havalı güneş kolektörü ile ısı pompasının buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan karlanma engellenmiş ısı pompasının yükü azaltılarak ve sistem verimi yükseltilmiştir. Şekil 7.1’ de deneysel düzeneğin görseli gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Havalı güneş kolektörlü ısı pompalı ısı geri kazanım cihazı gösterimi.

Şekil 7.2’ de deney düzeneğinin ve havalı güneş kolektörünün genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Deney seti ve havalı güneş kolektörünün genel gösterimi.

Sistemdeki ısı pompası kompresör, yoğuşturucu, genleşme elemanı ve buharlaştırıcıdan oluşmaktadır. Sıcaklık bilgileri, sistem üzerinde belli noktalara yerleştirilmiş termokupllar ile datalogger kullanılarak izlenmiştir. Havalı güneş kolektörünün üzerine gün içerisinde düşen güneş ışınımını ve hızını ölçmek için ışınım cihazı ve tüm sistemin elektrik tüketimini gözlemlemek için bir elektrik sayacı kullanılmıştır. Isı pompalı ısı geri kazanım cihazında kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri Çizelge 7.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Isı pompalı IGK cihazı ekipmanları ve teknik özellikleri.

Sistemde Kullanılan Ekipmanlar	Teknik Özellikler
Aspiratör / Vantilatör	- Tür: Santrifüj - Hava Debisi: 585-2110 m ³ /h - Elektrik: 230V/ 225W / 7uF / 50Hz - Basınç Kaybı: 0-550 Pa - Maksimum Çalışma Sıcaklığı: -40/+80°C
Filtre	- G2 Sentetik Elyaf Kaset Filtre
Kondenser	- Isı Transfer Yüzeyi 3.7 m ²
Evaporatör	- Isı Transfer Yüzeyi 2.5 m ²
Termostatik Genleşme Valfi	- R134A, MOP+14°C - İçten Dengelemeli
Kompresör	- Soğutucu Akışkan: R134A - Elektrik: 220-240V / 50-60Hz / 1/3Hp - Soğutma Kapasitesi: 219W - Tür: Hermetik Pistonlu
Soğutucu Akışkan	- R134A
Drayer	- 15 Gr
Gözetleme Camı	- Uyumlu Olduğu Akışkan: HCFC ve HFC - Çalışma Sıcaklığı: -40/+80°C - Maksimum Çalışma Basıncı: 3.5 MPa
Dört Yollu Vana	- Uyumlu Olduğu Akışkan: HCFC ve HFC - Çalışma Sıcaklığı: -40/+80°C - Maksimum Kapasite: 1,5 – 400 kW - Elektrik: 220-240V / 1Phz
Alüminyum Plakalı Çapraz Akışlı Eşanjör	- Ölçü: 40 x 40 mm

Deney setinde kullanılan ekipmanlar ve kullanım amaçları Çizelge 7.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Deney seti ekipmanları ve kullanım amaçları.

Deney Seti Ekipmanları	Kullanım Amacı
Havalı Güneş Kolektörü	Güneş ışınımını absorbe ederek, içerisinden geçen taze/dış havanın enerji tüketmeden sıcaklığını artırmak için kullanılmıştır.
Isı Pompalı Isı Geri Kazanım Cihazı	Mahale üflenmek istenilen hava şartını sağlamak için, taze/dış havanın sıcaklığını önce plakalı eşanjör yardımı ile sonra ısı pompası yardımı ile istenilen seviyeye getirmek için kullanılmıştır.
Alüminyum Flexible Hava Kanalı	Havanın, havalı güneş kolektöründen ısı geri kazanım cihazına, ısı geri kazanım cihazından mahale taşınmasını sağlamak için kullanılmıştır.
Data Logger	Termokupl'lardan algılan sıcaklık değerlerini analiz ederek farklı günlerde yapılan deneyleri raporlamak için kullanıştır.
Termokupl	Belirlenen noktalardan sıcaklık algılamamızı sağlayan kablo tipi iletkenlerdir.
Manometre	Isı pompası sistem gaz basıncını deneyler boyunca takip ve dengeli tutmak için kullanılmıştır.
Elektrik Sayacı	Deney düzeneği elektrik tüketimini kW/h cinsinden izlemek amacıyla kullanılmıştır.
Güneş Işınımı Ölçüm Cihazı	Havalı güneş kolektörü üzerine gün içerisinde farklı zamanlarda düşen güneş ışınımını W/m ² cinsinden izlemek amacıyla kullanılmıştır.

7.2. Metot

Isı geri kazanım cihazının aspiratörü yardımı ile dış ortamdan emilen hava önce güneş kolektörünün iki plakası içerisinden geçirilir, burada taze havanın sıcaklığı belli bir değere kadar yükselir. Sonrasında plakalı ısı geri kazanım içerisinden geçerken taze hava ile ısı transferi yapmaktadır. Evaporatör üzerinden geçirilerek dış ortama egzoz

havası olarak tahliye edilir. Isı geri kazanım cihazının vantilatörü yardımı ile dış ortamdan emilen taze dış hava, plakalı eşanjörden geçerken güneş kolektöründen gelen hava ile ısı transferi gerçekleştirmektedir. Son olarak, kondenser üzerinden geçerek mahale üflenir.

1. Şekil 7.1 üzerinde gösterilen 13 noktadan termokupllar ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Bu sıcaklık değerleri datalogger ile kayıt edilmiştir.
2. Şekil 7.2 de gösterilen güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınları, ışıyım cihazı ile ölçülmüştür.
3. Sistem elektrik tüketimi elektrik sayacı ile kWh cinsinden ölçülmüştür.

7.3. Deney Seti Çalışma Prosedürleri

Havalı güneş kolektörü ve ısı pompalı ısı geri kazanım cihazı kullanılarak, Karabük ilinde cihaz kış modunda iken ortam havalandırması yapılmıştır. Havalı güneş kolektöründen geçirilen taze dış ortam havası, ısı transferi ile sıcaklığını yükseltilmiştir. Plakalı eşanjör içerisinde geçilirken, kondenser üzerinden geçirilecek havaya, sıcaklığının bir kısmını transfer etmiştir. Bu durumda egzoz edilecek havanın sıcaklığı halen dış ortam havasına göre yüksek olduğundan, evaporatör yüzeyinden tahliye edilirken havanın temas ettiği yüzeylerde karlanmanın engellendiği görülmüştür.

Ortam havası şartlandırılacak mahal için üfleme sıcaklığı yeterliyse güneş kolektörü ile eğer yeteriz kalıyor ise ısı pompası devreye sokularak yeterli sıcaklıktaki üfleme havasına ulaşılmaya çalışılmıştır.

Kış hava şartlarında, ısı pompası sistemi kış modunda ısıtma yaparken hava şartlarının çiy noktasının altına düşmesiyle evaporatör yüzeyinde oluşacak karlanma güneş kolektöründen gelen ısıtılmış dış ortam havası, serpantin yüzey üzerinden geçirilerek karlanma engellenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 8

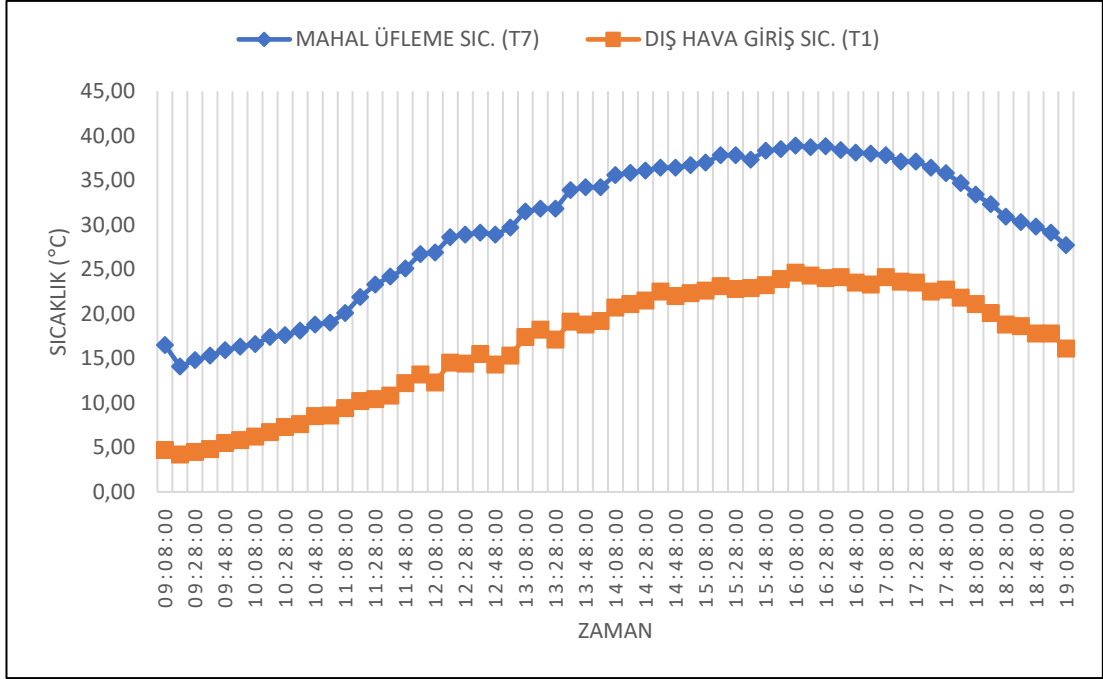
DENEYLER VE GRAFİKLER

Deneyle, Karabük ili kış mevsiminde sistem ısıtma modundayken deney seti üzerinde belirlenmiş noktalardan termokupllar yardımı ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Deneyle, uygun hava şartlarının sağlandığı günlerde sabah saat 09:00 ile akşam 19:00 arasında gerçekleştirilmiştir. 10 dakikalık aralıklar ile grafiklere aktarılmıştır.

Deneyle, dış hava sıcaklığının kış şartlarında düşük olduğu bir günde, dış ortam havası güneş kolektöründen geçirilerek ısı geri kazanım cihaza girmeden sıcaklığı yükseltilmiştir. Sıcaklığı yükselmiş dış ortam havası ısı geri kazanım cihazına giriş yapmıştır ve plakalı eşanjörde mahale üflenecek taze hava ile ısı transferi yaparak sıcaklığının bir miktarını aktarmış evaporatör üzerinden geçerek tahliye edilmiştir.

Deneyle devam ederken evaporatör üzerinden geçen hava akımının ısı pompası sistemini çapraz akışlı defrosta sokmadan tahliye edilecek havanın sahip olduğu sıcaklık ile serpantin yüzey üzerindeki karlanmayı engellediğini gözlemlemek istenmiştir.

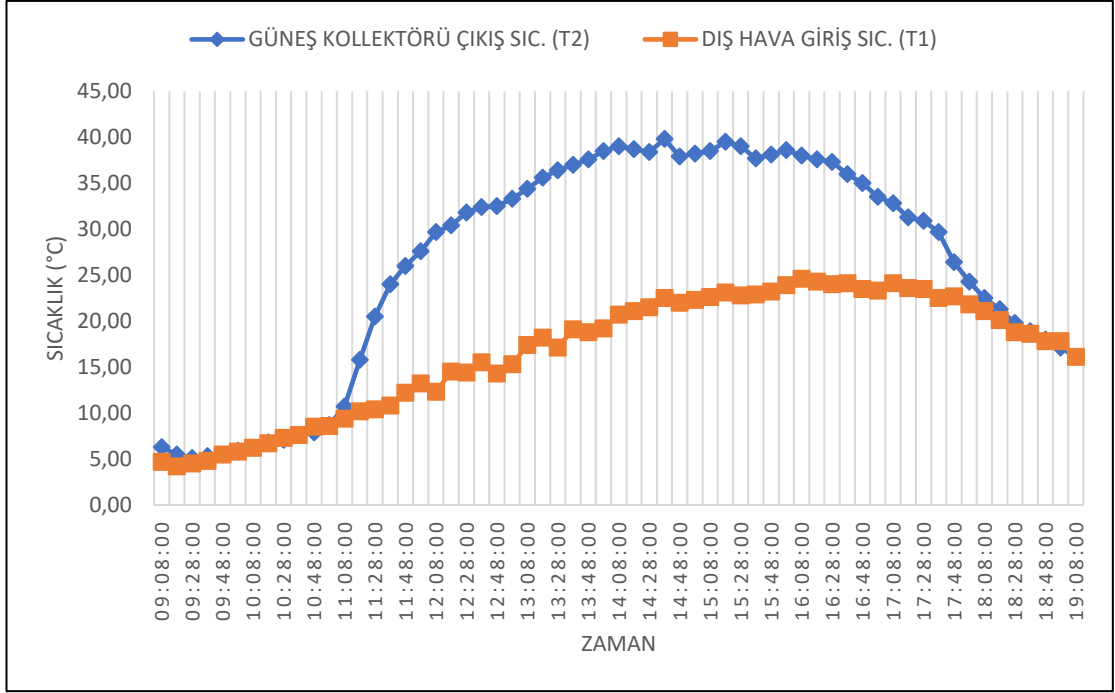
Şekil 8.1' de mahal üfleme ve dış hava giriş sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Mahal üfleme ve dış hava giriş sıcaklık değerleri.

Şekil 8.1’ de gösterildiği üzere, mahale üflenecek dış ortamdan alınan taze havanın sıcaklığı, güneş kolektörü ve ısı pompası kullanarak artmıştır. Işınımın az olduğu sabah ve akşam saatlerinde yaklaşık 10 °C, ışınımın fazla olduğu saatlerde ise yaklaşık 15 °C artış olmuştur.

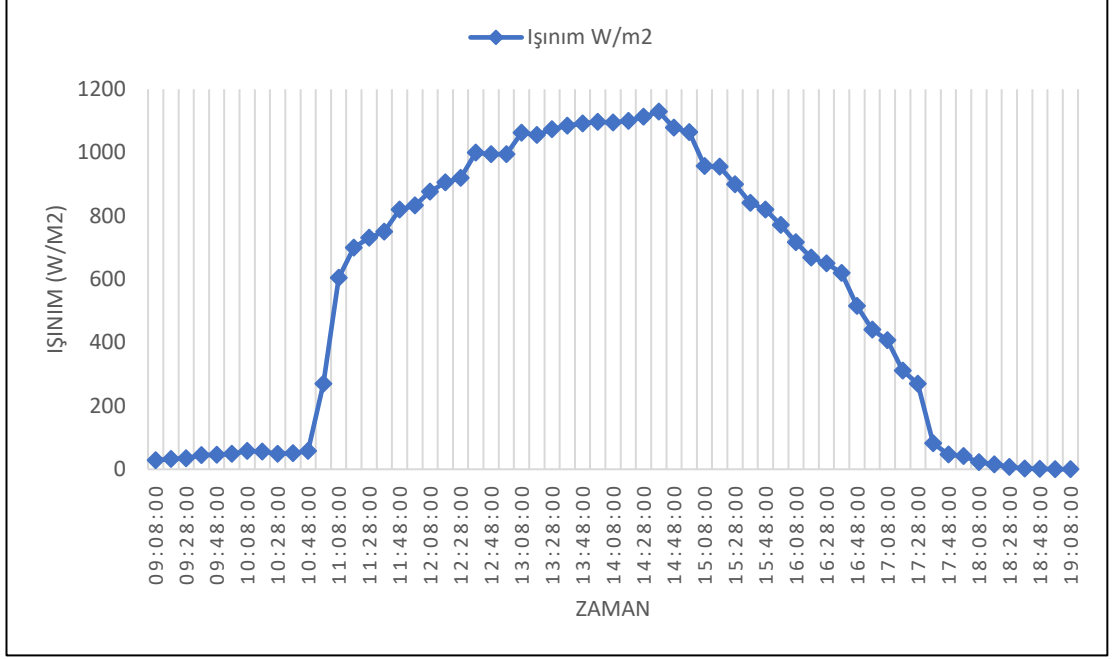
Şekil 8.2’ de güneş kolektörü çıkış ve dış hava giriş sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Güneş kolektörü çıkış ve dış hava giriş sıcaklık değerleri.

Şekil 8.2’ de görüldüğü üzere, güneş kolektörü içerisinde geçen taze/dış ortam havasının, ışıınının fazla olduğu öğle saatlerinde yaklaşık 20 °C, ışıının artmaya başladığı ve gün batımında ise yaklaşık 10 °C artırmıştır. Bu aşamada sıcaklık artışı sağlanırken bir enerji tüketimi olmamıştır. Havanın kolektör içerisinde daha uzun kalması, temas yüzeyinin artması, ışıınını absorbe eden yüzeyde kullanılan malzemenin cinsinin sıcaklık farkını arttıracakı düşünülmektedir.

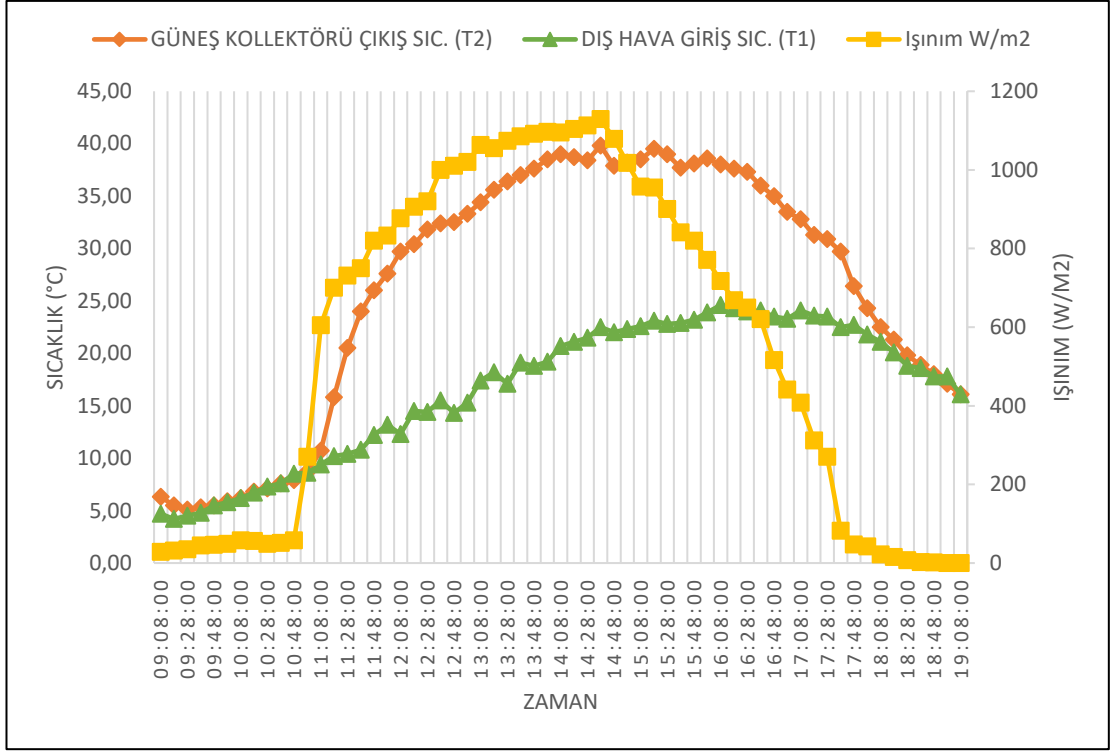
Şekil 8.3’ de güneş kolektörü üzerine düşen ışıının değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Güneş kolektörü üzerine düşen ışınlm değerleri.

Şekil 8.3' de görüldüğü üzere güneş kolektörü üzerine düşen ışınlm yoğunluğu, güneşin tam tepede olduğu saatlerde başlayıp, gün batımına kadar azalarak devam etmiştir. Işınım miktarı yükseldikçe güneş kolektörü çıkış ve dış hava sıcaklık farkı artmıştır. Işınımın azaldığı akşam saatlerinde dış hava sıcaklığının da düşmesi ile sistemin enerji tüketimi artışa geçmiştir. Gün içerisinde düşen ışınlmlar W/m^2 cinsinden belli aralıklar ile ışınlm cihazı ile ölçülmüş ve değerler grafiğe aktarılmıştır.

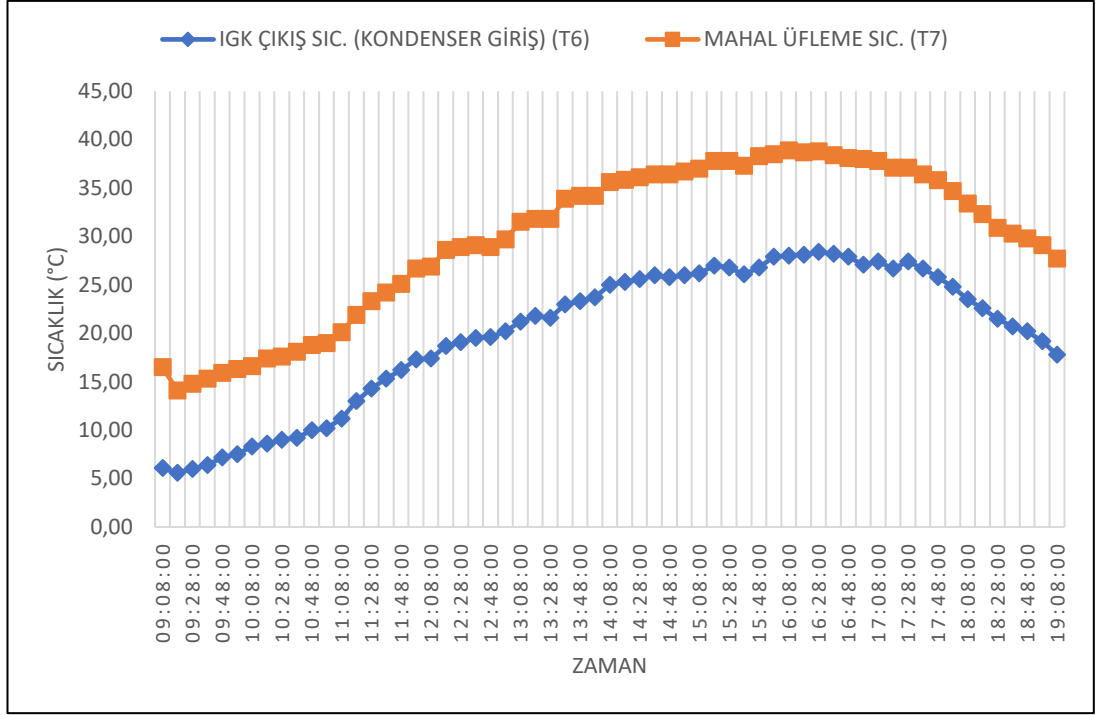
Şekil 8.4' de güneş kolektörü çıkış, dış hava giriş sıcaklık ve ışınlm değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Güneş kolektörü çıkış, dış hava giriş sıcaklık ve ışınım değerleri.

Şekil 8.4' de görüldüğü üzere dış hava şartları mevsim normallerindeyken ışınımın arttığı öğle saatlerinde dış hava sıcaklığı yükselmiştir. Işınımın artış gösterdiği saatlerde güneş kolektörü içerisinden geçen havanın sıcaklığı kolektör çıkışında ölçümlendiğinde yaklaşık 15 °C daha fazladır. Böylelikle defrost işlemi sırasındaki kayıplar ve ısı pompası ile ısıtma yaparken tüketilecek enerjinin düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Işınımın düşüş gösterdiği akşam saatlerinde ise dış hava ve kolektör çıkış sıcaklığı birbirine çok yaklaşmış ve ısıtma ihtiyacı ısı pompası ile karşılanmıştır. Sistem defrost geçtiği durumlarda ise dört yollu vana yardımı ile sistem bir süreliğine tersine çalıştırılmak durumunda kalınabilir.

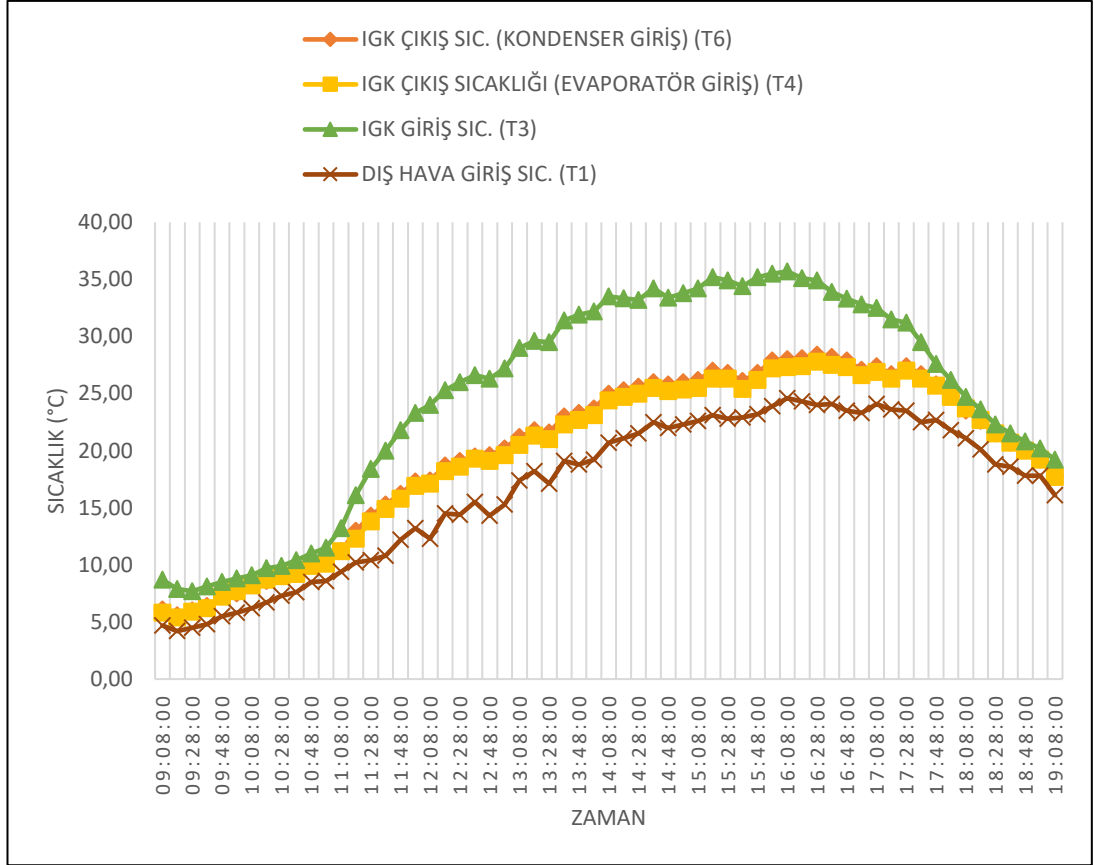
Şekil 8.5' de IGK çıkış (kondenser giriş) ve mahal üfleme sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.5. IGK çıkış (kondenser giriş) ve mahal üfleme sıcaklık değerleri.

Şekil 8.5’ de görüldüğü üzere dış hava sıcaklığının düşük olduğu ancak ışıınının fazla olduğu saatlerde güneş kolektöründen gelen ısınmış hava, plakalı eşanjörde taze/dış ortam havası ile ısı transferi gerçekleştirmiştir. Taze hava sıcaklığına, kondenser yüzeyinden geçmeden plakalı eşanjör yardımı ile bir ön ısıtma yapılmıştır. Sonrasında kondenser yüzeyinden geçirilip mahale üflenmiştir. Bu ön ısıtma ile ısı pompasının mahalde istenilen sıcak havaya ulaşması için harcanacak enerji miktarı düşürülmüştür. Işınının azaldığı saatlerde güneş kolektöründen gelen havanın sıcaklığı düştüğünden, ışıının miktarı düştükçe mahale üflenilen havanın sıcaklığının da azalmıştır. Şekil 8.5’ deki T6 ve T7 değerleri arasındaki sıcaklık farkı, üfleme havasının kondenser yüzeyinden geçerken ısı transferi yapmasından dolayı ortaya çıkmıştır.

Şekil 8.6’ da IGK çıkış (kondenser giriş), IGK giriş, IGK çıkış (evaporatör giriş) ve dış hava sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.6. IGK çıkış (kondenser giriş), IGK giriş, IGK çıkış (evaporatör giriş) ve dış Hava sıcaklık değerleri.

Şekil 8.6’da görüldüğü üzere dış havanın düşük olduğu saatlerde güneş kolektörü desteği ile dış hava sıcaklığı yükseltilmiş ve ısı geri kazanım cihazına giriş yapmıştır. Grafikten de anlaşıldığı gibi plakalı eşanjörde ısı transferi tamamlandıktan sonra, mahale üflenecek hava ile evaporatör üzerinden geçerek tahliye edilecek hava sıcaklığının birbirine gün boyunca çok yakın olmuştur. Haliyle gün boyunca evaporatör üzerindeki karlanmayı engellemeye yeterli olduğuna karar verilmiştir.

Işınımın yüksek olduğu 10:48 ile 17:48 saat aralığındaki sıcaklık ölçüm değerlerinin ortalamasından yola çıkılarak ısı geri kazanım cihazı verim hesabı yapılmıştır. Verim hesabı basamakları eşitlik 8.1’de gösterilmiştir.

$$\eta = \frac{T_6 - T_1}{T_3 - T_1} \quad (8.1)$$

η = Isı geri kazanım cihazı verimi

T_1 = Dış Hava Giriş Sıcaklığı

T_3 = IGK Giriş Sıcaklığı

T_6 = IGK Çıkış Sıcaklığı (Kondenser Giriş)

$$\eta = \frac{\text{IGK Çıkış Sıcaklığı (Kondenser Giriş)} - \text{Dış Hava Giriş Sıcaklığı}}{\text{IGK Giriş Sıcaklığı} - \text{Dış Hava Giriş Sıcaklığı}}$$

$$\eta = \frac{19,95 - 16,68}{24,76 - 16,68}$$

$$\eta = 0,40$$

Şekil 8.6'dan da anlaşılacağı gibi, yapılan deneyde cihaz kış çalışma modunda iken güneş kolektöründen gelen hava, önce plakalı eşanjörden sonrasında ise evaporatör üzerinden geçerek ısı transferi gerçekleştirmektedir. Bu işlem sonucunda yeterli sıcaklıktaki hava evaporatöre devamlı temas ettiğinden sistem uzun süre defrosta geçmemiştir.

8.1. SİSTEM COP HESABI

Isı pompası sisteminde, sistemin performans katsayısı veya COP 'si gerekli olan enerji için sağlanan faydalı ısıtım veya soğutmanın oranıdır. Daha yüksek COP değerleri, daha yüksek verimlilik, daha düşük enerji tüketimi ve dolayısıyla daha düşük işletme maliyetleri anlamına gelir.

Isıyı taşımak için harcanan enerji, ısıyı dönüştürmek için harcanan enerjiden daha düşüktür. Bu durumdan dolayı ısı pompaları, klima santralleri ve soğutma sistemleri birden fazla COP 'ye sahip olabilirler. Eşitlik 8.4' de deney setine ait COP_{WS} ve Q_{IP} değerleri hesaplanmıştır.

$$Q_{ISITMA} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (8.2)$$

$$Q_{ISITMA} = \dot{V} \times \rho \times C_p \times (T_7 - T_1)$$

$$Q_{ISITMA} = 0,33 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,004 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (29,81 - 16,68)$$

$$Q_{ISITMA} = 5,22 \text{ kW}$$

$$\Sigma W = 0,66 \text{ kWh} \quad (8.3)$$

$$COP_{WS} = \frac{Q}{\Sigma W} = \frac{5,22}{0,66} = 7,9 \quad (8.4)$$

$$Q_{IP} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (8.5)$$

$$Q_{IP} = \dot{V} \times \rho \times C_p \times (T_7 - T_6)$$

$$Q_{IP} = 0,33 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,004 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (29,81 - 19,95)$$

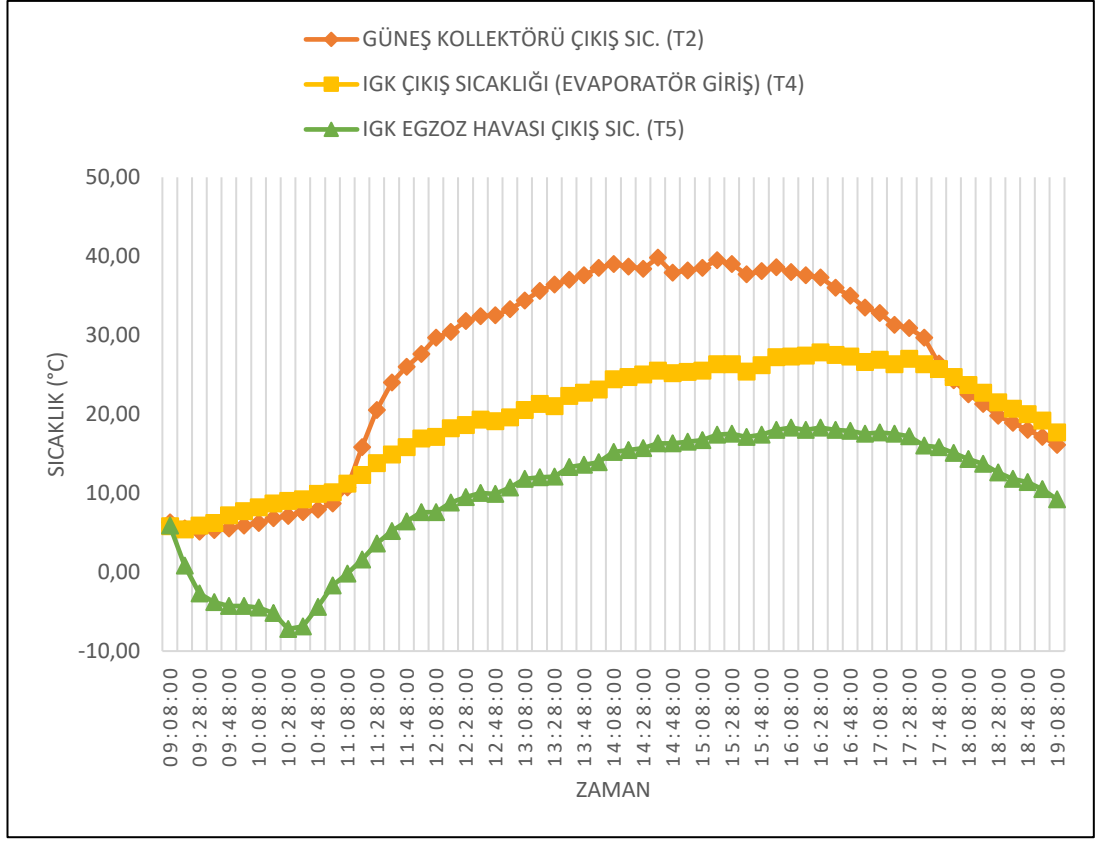
$$Q_{IP} = 3,92 \text{ kW}$$

$$\Sigma W = 0,66 \text{ kWh} \quad (8.6)$$

$$COP_{IP} = \frac{Q}{\Sigma W} = \frac{3,92}{0,66} = 5,93 \quad (8.7)$$

Sistem gün boyu aktif olarak çalıştırıldığında, ısıtımın yüksek olduğu 10:48 ile 17:48 saat aralığındaki elektrik tüketimi yatayda seyretmiştir. Elektrik sayacı ile yapılan ölçümde belirtmiş olduğumuz saatlerde ortalama elektrik tüketimi 0,66 kWh' tir. Gün boyu alınan ölçümlerde ise elektrik tüketiminin yatayda seyretmektedir. Elektrik tüketiminin gün boyu birbirine yakın değerlerde olması, evaporatör yüzeyinde karlanma olsa dahi sistemin performansını etkilemediğini göstermektedir. Eğer serpantin yüzeydeki karlanma ısı transferini azaltmış olsaydı, sistem yeteri kadar ısı çekemeyecek ve mahal de istenilen konfor şartının sağlanabilmesi için kompresör daha fazla enerji tüketmek durumunda kalacaktır. Güneş kolektörü yardımı ile bu evaporatör yüzeyindeki karlanma engellenmiş olduğundan elektrik tüketiminin olumsuz etkilenmemiştir. Şekil 8.12.'de deney setinin gün boyu elektrik tüketim değerleri gösterilmiştir.

Şekil 8.7' de güneş kolektör çıkış, IGK çıkış (evaporatör giriş) ve IGK egzoz çıkış sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



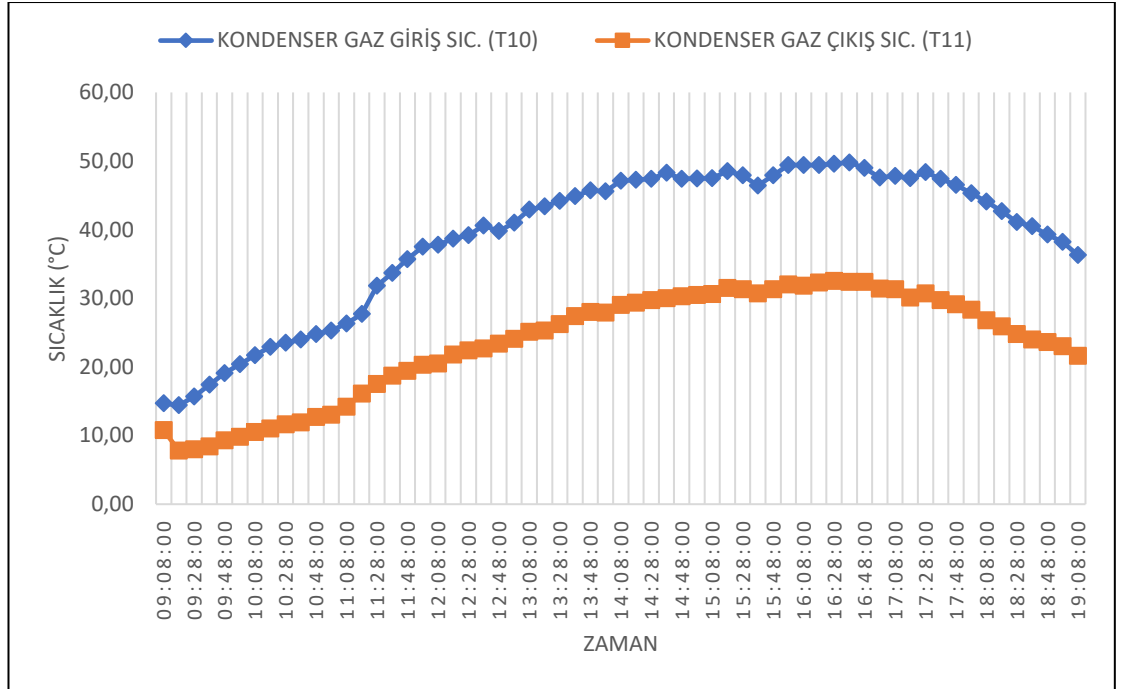
Şekil 8.7. Güneş kolektör çıkış, IGK çıkış (evaporatör giriş) ve IGK egzoz çıkış Sıcaklık değerleri.

Şekil 8.7’de görüldüğü üzere güneş kolektöründen çıkan sıcaklığı yükselmiş dış hava plakalı eşanjörde enerjisinin bir kısmını mahale üflenecek havaya transfer etmiştir, bu yüzden IGK egzoz sıcaklığı bir miktar düşmüştür. Kalan enerjisini ise evaporatör üzerinden geçerken karlanmayı engellemek için harcamıştır. Egzoz havası ısı geri kazanım cihazından tahliye edilirken izlediği yollardaki gerçekleştirdiği ısı transferlerinden dolayı kolektör çıkışındaki havanın sıcaklığı ile öğle saatlerinde yaklaşık 20 °C, ışıınının az olduğu saatlerde ise 3-5 °C farklar oluşmaktadır.

Kış mevsiminde mahalde ısıtma yaparken evaporatör yüzeyinde ve girişinde karlanma meydana gelmiştir. Dış ortamdan gelen havanın sıcaklığı güneş kolektörü yardımı ile yükseltilmiştir ve bu ısının bir kısmı kondenser üzerinden geçecek havaya transfer edilmiş, bir kısmı ise evaporatör yüzeyinden geçecek havaya transfer edilmiştir.

Bu işlem sonucunda evaporatör üzerindeki karlanma ve sisteminde defrosta geçişi engellenmiştir. Isı geri kazanım cihazından geçerek gelen havanın evaporatör yüzeyine çarptığı yerlerde karlanma olmadığı, tasarımsal olarak havanın çarpmadığı taraflarda ise karlanma olduğu görülmektedir. Aynı zamanda kondenser üzerinde geçecek hava dış ortam sıcaklığına göre yükselerek mahal için istenilen hava şartı daha düşük enerji harcanarak sağlanmıştır.

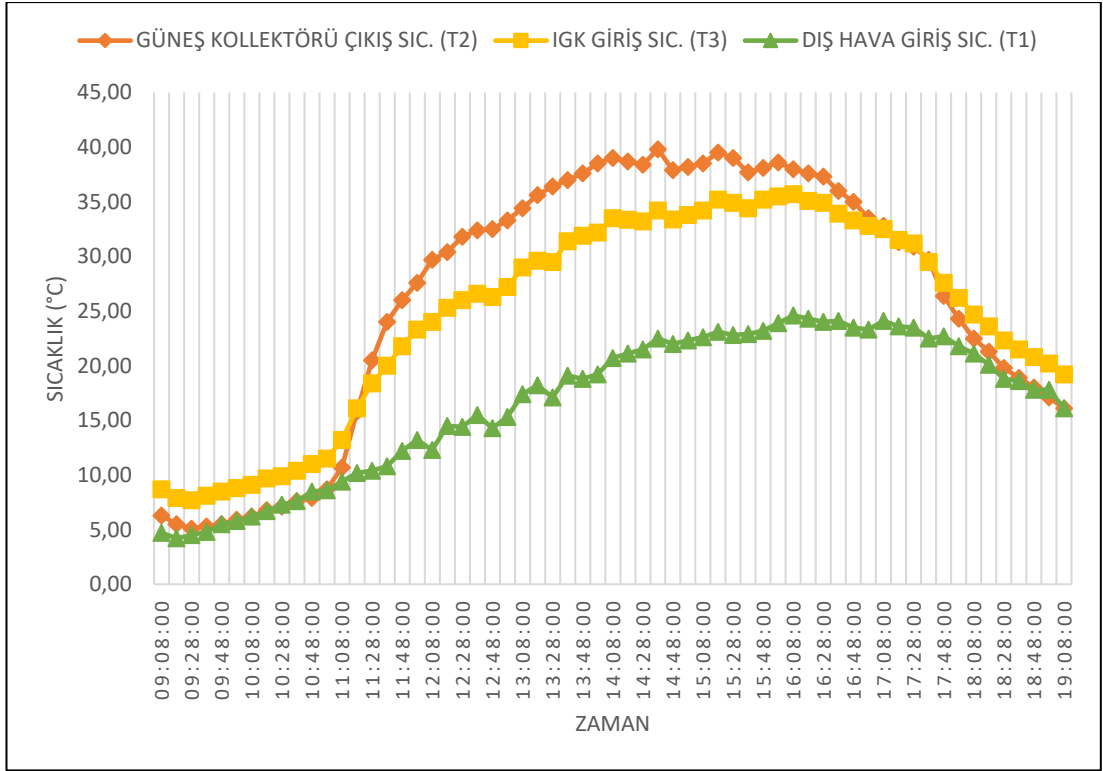
Şekil 8.8’ de kondenser gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.8. Kondenser gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerleri.

Şekil 8.8’ de görüldüğü üzere kondenser serpantininin gaz giriş ve çıkış sıcaklıkları izlenmiştir. Işınımın arttığı zaman diliminde gaz giriş ve çıkış sıcaklıklarının da giderek yükseldiği, ışınımın azalmaya başladığı akşam saatlerin de ise gaz giriş ve çıkış sıcaklıkları aynı oranda azalmıştır. Şekil 8.8’de görüldüğü üzere, gün boyu gaz giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı aynı oranda ilerlemiştir. Bu durum sistem enerji tüketiminin de gün boyu aynı oranda olduğunu göstermiştir.

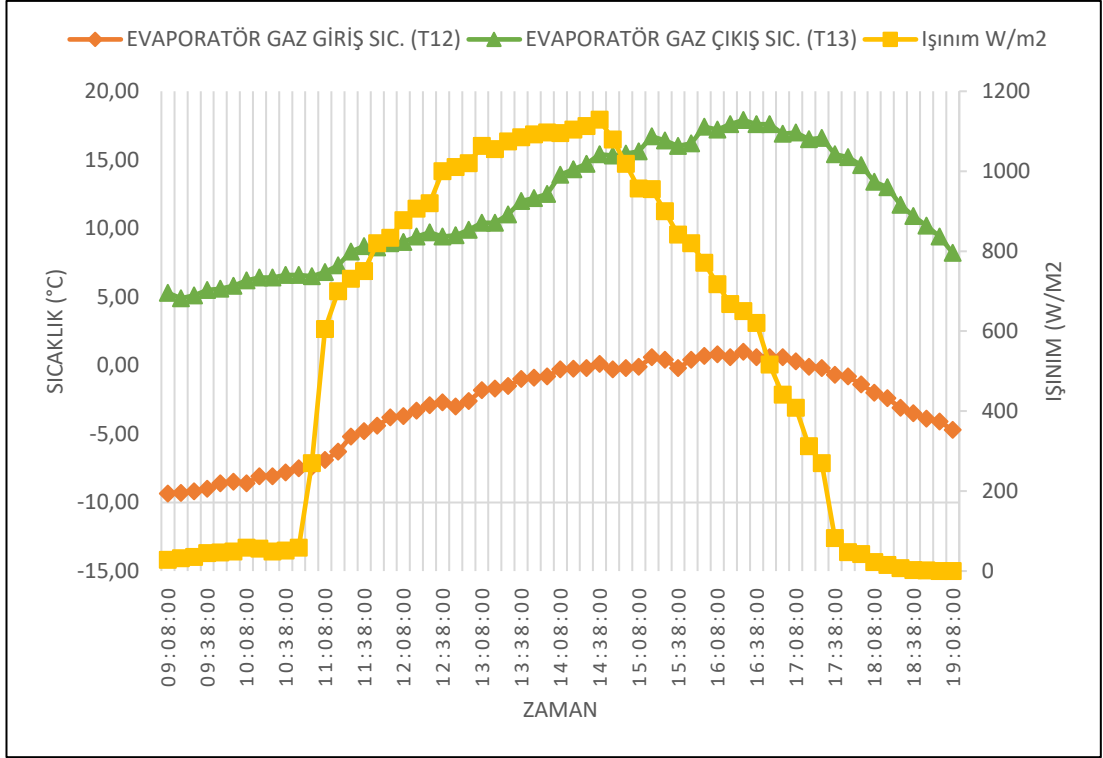
Şekil 8.9’ da güneş kolektörü çıkış, IGK giriş ve dış hava sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.9. Güneş kolektörü çıkış, IGK giriş ve dış hava sıcaklık değerleri.

Şekil 8.9’da görüldüğü üzere üç sıcaklık değeri de güneş ışıınının artış gösterdiği zamanlarda yükselmiş ve azaldığı noktalarda düşüş göstermiştir. Dış hava sıcaklığı kolektörden geçirildikten sonra çıkışında ölçülen değere göre sabah ve akşam saatlerinde 10 °C, ışıınının yüksek olduğu öğle saatlerinde ise 15 °C sıcaklığa kadar yükselmiştir, ancak ısı geri kazanım cihazına giriş yaparken yaklaşık 5-6 °C kayıplar yaşanmıştır. ışıınının azaldığı akşam saatlerinde ise bu kayıpların 0 °C’ye düşmüştür. Bunun nedeni ise güneş ışığından faydalanılmadığından dolayı dış hava sıcaklığı değişmeden ısı geri kazanım cihazına giriş yapmaktadır.

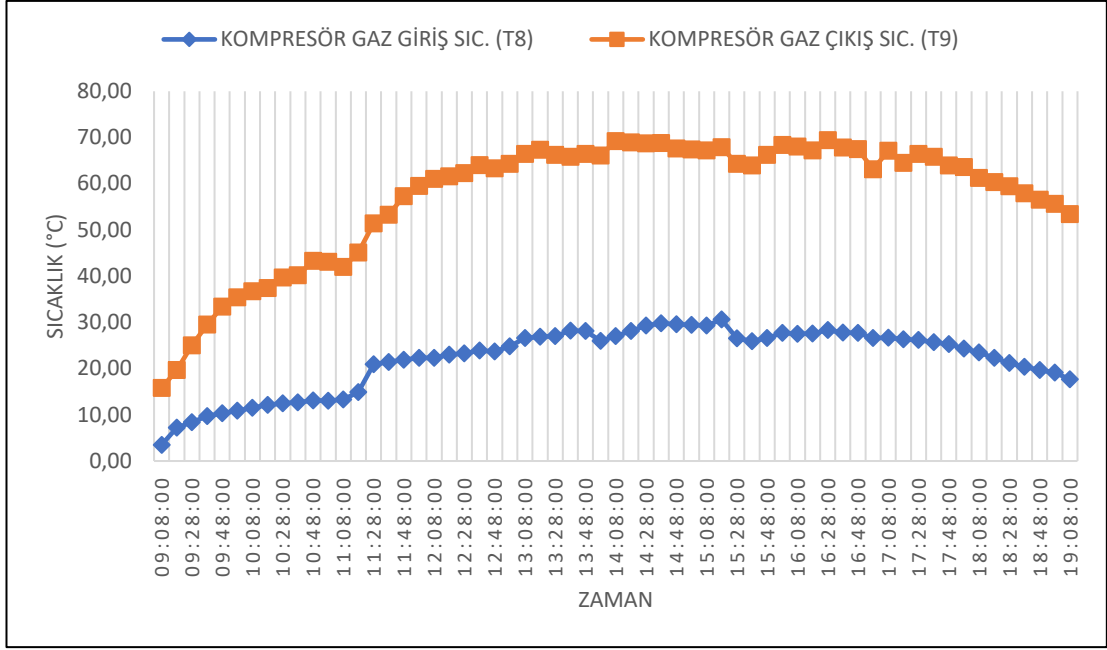
Şekil 8.10’ da evaporatör gaz giriş, gaz çıkış sıcaklık ve ışıınının değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.10. Evaporatör gaz giriş, gaz çıkış sıcaklık ve ışınım değerleri.

Şekil 8.10'da görüldüğü üzere evaporatör çıkış sıcaklığının ışınımın yüksek olduğu saatlerde daha fazladır. Evaporatör üzerinden geçen havanın sıcaklığı ışınımın fazla olduğu saatlerde daha yüksektir, bu durum da serpantin yüzey üzerinden daha fazla ısı çektiğini göstermiştir. Evaporatör yüzeyinden fazla ısı çekilmesi, soğutucu akışkanın daha yüksek sıcaklıklarda buhar fazına geçmesine etki etmiştir. Serpantin yüzey üzerinden geçen sıcak hava karlanmayı engellediğinden, evaporatör çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığı ışınım miktarı ile doğru orantıda ilerlemiştir.

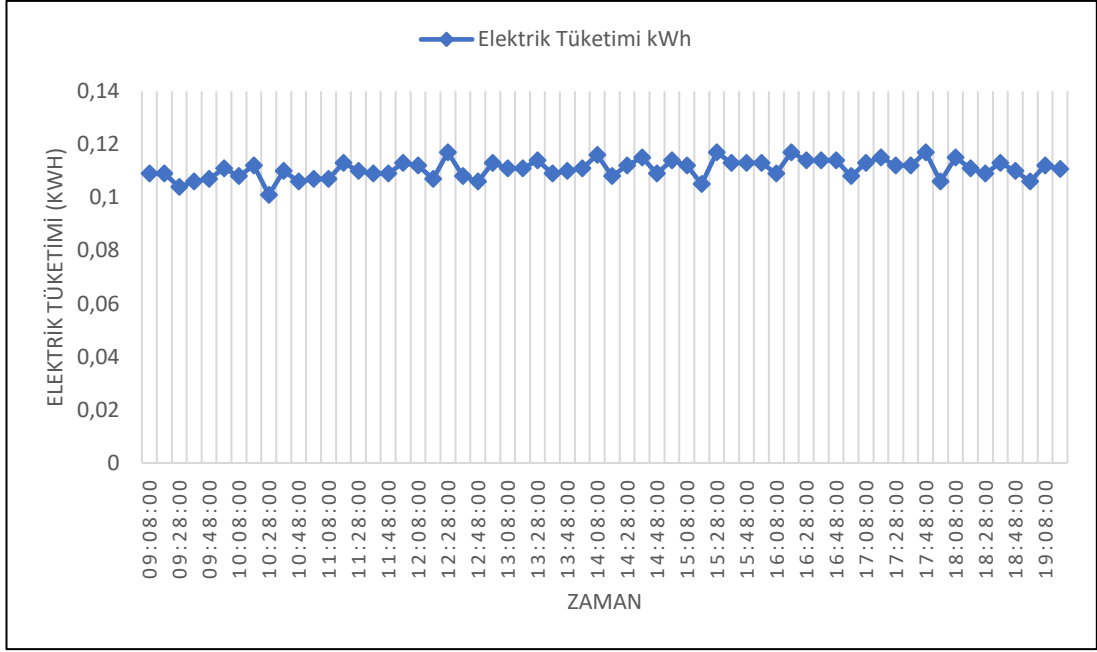
Şekil 8.11' de kompresör gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.11. Kompresör gaz giriş ve gaz çıkış sıcaklık değerleri.

Şekil 8.10’da görüldüğü üzere ışıının arttığı saatlerde gaz giriş ve çıkış sıcaklık değerleri yükselmiştir. Şekil 8.11’den de yola çıkarsak evaporatör üzerinden geçen hava sıcaklığı ışıının fazla olduğu saatlerde daha sıcaktır ve evaporatör çıkışında daha fazla buharlaşmaya neden olmaktadır. Bu da kompresör gaz giriş ve çıkış sıcaklık değerlerinin aynı oranda yükseldiğini bizlere göstermiştir. Evaporatör yüzeyindeki karlanmanın engellenmesi ile kompresöre girecek olan soğutucu akışkanın sistem defrosta geçmeden devamlı olarak buhar fazında kalması sağlanmıştır.

Şekil 8.12’ de ısı pompası destekli ısı geri kazanım cihazı elektrik tüketim değerlerinin deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 8.12. Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazı elektrik tüketim değeri.

Evaporatör yüzeyindeki karlanmanın engellenmesi ile sistem defrosta zorlanmamıştır. Bu durum da sistem elektrik tüketimini olumlu yönde etkilemiştir. Sistemin defrosta geçtiği durumlarda karlanmayı eritme işlemi enerji tüketimini artıracaktır. Şekil 8.12’de görüldüğü üzere ışıının olduğu zaman dilimlerinde sistem elektrik tüketimi doğrusal ilerlemiştir.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, ısı pompalı bir ısı geri kazanım cihazına eklenen havalı güneş kolektörü ile Karabük ili kış hava şartlarında mahalde ısıtma yapılmak istenirken havanın çiy noktası altına düşmesi ile evaporatör yüzeyinde oluşacak karlanma engellenmiştir.

Deneyleer için havanın en uygun olduğu zamanlar tercih edilmiştir. Genelde güneş ışınımının fazla dış hava sıcaklığının 0 °C'ye düştüğü günlerde deneyleer alınmıştır. Yapılan deneyleer arasında en iyi sonuçlar grafiklere işlenmiştir.

Deney sonucunda,

1. Güneş kolektörü çıkış sıcaklığı dış hava sıcaklığına göre ortalama 10 °C, ışınımın fazla olduğu saatlerde ise yaklaşık 20 °C'lere kadar artmıştır.
2. Hava akışı ısı geri kazanım cihazına doğru ilerlediğinde kolektör çıkışı ile ısı geri kazanım cihazına girişine göre 5-6 °C sıcaklık kayıpları yaşanmıştır.
3. Plakalı eşanjörde, mahale üflenecek taze hava ile ısı transferi tamamlandığında ortalama 5-6 °C, ışınımın yüksek olduğu zamanlarda ise 9-10°C sıcaklık farkı oluşmuştur.
4. Hava akışı karlanmış evaporatör yüzeyine ulaştığında gün boyu ortalama 19,55 °C, ışınımın yüksek olduğu saatlerde ise 24,42 °C sıcaklık değerine ulaştığı

görülmüştür. Bu sıcaklıktaki hava akışının devamlı olarak evaporatör yüzeyinden geçmesi karlanmayı engellemiş ve geciktirmiştir.

5. Işınımın yüksek olduğu 10:48 ile 17:48 saat aralığındaki sıcaklık ölçüm değerlerinin ortalamasından yola çıkılarak ısı geri kazanım cihazı verimi %40 hesaplanmıştır. Işınım miktarı arttıkça, plakalı eşanjör verimi azalmıştır. Işınım miktarı ile eşanjör verimi değerleri birbiri ile ters orantılıdır. Işınımın yüksek olduğu saatlerde ısı transfer oranı düşmektedir.
6. Elektrik sayacı ile yapılan ölçümde belirtmiş olduğumuz saatlerde ortalama elektrik tüketimi 0,66 kWh' tir. Gün boyu alınan ölçümlerde ise elektrik tüketiminin yatayda seyretmiştir. Elektrik tüketiminin gün boyu birbirine yakın değerlerde olması, evaporatör yüzeyinde karlanma olsa dahi sistemin performansını etkilemediğini göstermektedir.

9.1. ÖNERİLER

1. Güneş kolektörü çıkışındaki hava ısı geri kazanım cihazına ulaşana kadar ortalamada 2-3°C'lik ısı kaybı yaşamaktadır. Bu kayıp, aradaki kanal mesafesi kısaltılarak ve yalıtım yapılarak engellenebilir.
2. Dış hava, güneş kolektörü içerisinde daha uzun süre zaman geçirirse ısı geri kazanım girişinde daha yüksek sıcaklıkta hava ulaşacaktır. Bu da karlanmayı engellemek adına evaporatör yüzeyine daha sıcak hava üflenmesine neden olacaktır.
3. Plakalı eşanjörden çıkan hava IGK yan duvarlarına çarptığından dolayı evaporatör yüzeyine ulaştığında yüzeyin tamamına etki edememektedir. Evaporatör plakalı eşanjör çıkışına paralel olarak montajlanırsa çapraz akıştan çıkan hava kayıplara uğramadan doğrudan evaporatör yüzeyine ulaşacak ve etki ettiği alan genişleyecektir. Bu durum sistem performansını olumlu etkileyecektir.

4. Kış mevsiminde ısıtma amaçlı kullanılan ısı pompası sisteminin, gün boyu evaporatör yüzeyindeki karlanmayı önlemek amacı ile kullanılabilir. Sistem güneş giren bir yere bırakılması durumunda kolektör sistemin üst kısmına monte edilerek imalatı yapılırsa hermetik bir dizayn oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Küçüka, S., “Isı Geri Kazanım Cihazlarının Bazı Şehirlerdeki Yıllık Toplam Isıtma ve Soğutma Kazançları”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 93, s.13-19 (2006).
- [2] Ekren, O., Aktakka, S., Toksoy, M., “Isı Pompası Entegre Edilmiş Isı Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazlarının Tasarım Kriterleri”, *14.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan (2019).
- [3] Yılmaz, M., Erdoğan, S., Çomaklı, Ö., Dursun, B., “Hava Kaynaklı Isı Pompalarının Soğuk İklim Bölgelerinde Kullanımı İçin Önerilen Tasarım ve Modifikasyonlar”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:47, Sayı:559 (2006).
- [4] Güler, O., Ural, T., Keçebaş, A., “Bina Isıtılmasında Havalı Güneş Kolektörü Destekli Isı Pompası Kullanımı”, *14.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan (2019).
- [5] Ertaş, Erol., “Soğutma Sistemlerinde Defrost Kayıplarının Kontrolü Yolu ile Enerji Tasarrufu”, *10.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan (2011).
- [6] Muslu, M., “Isı Pompası Destekli Isı Geri Kazanım Cihazının Farklı Sıcaklıklardaki Performans Analizi” *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2017).
- [7] Dikici, A., Akbulut, A., Gülçimen, F., Akbulut, A., “Hava Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı, Enerji ve Ekserji Analizi” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 87, s.33-42 (2005).
- [8] Çakır, U., Çomaklı, “Hava Kaynaklı Bir Isı Pompasının Farklı Çalışma Şartları Altında Termodinamik Performans Analizi”, *10.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan (2011).
- [9] Dong, J., Deng, S., Jiang Y., Xia L., Yao Ya., “An experimental study on defrosting heat supplies and energy consumptions during a reverse cycle defrost operation for an air source heat pump”, *Applied Thermal Engineering*, 37, 370-387 (2012).
- [10] Şevik, S., Doğan, H., Aktaş, M., “Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Isıtma-Kurutma Sisteminin Modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, Cilt:14, Sayı:1, s.85-91 (2011).
- [11] Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K., Ayhan, T., “Solar-Assisted Heat Pump And Energy Storage For Residential Heating”, *Solar Energy Vol*, 51, No.5, pp. 357-366 (1993).

- [12] Bakırcı, K., Yüksel, B., “Güneş Enerjisiyle Çalışan Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 26, 2, 23-28 (2006).
- [13] Ozgener, O., Hepbasli, A., “Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study” *Building and Environment*, 40, 1040-1050 (2005).
- [14] Shen, J., Qian, Z., Xing, Z., Yu, Y., Ge, M., “A review of the defrosting methods of air source heat pumps using heat exchanger with phase change material”, *2nd International Conference on Energy and Power*, ICEP2018, 13-15 December, Sydney, Australia (2018).
- [15] Wei, W., Ni, L., Wang, W., Yao, Y., “Experimental and theoretical investigation on defrosting characteristics of a multi-split air source heat pump with vapor injection”, *Energy and Buildings* 217, 109938 (2020).
- [16] Zhang, J., Fung A.S., “Experimental and Numerical Investigation of the Thermal Impact of Residential Heat and Energy Recovery Ventilators”, *Energy and Buildings* 217, (2015).
- [17] Zogou, O., Stamatelos, A., “Effect of Climatic Conditions on the Design Optimization of Heat Pump Systems for Space Heating and Cooling”, *Energy Convers. Mgmt Vol. 39*, No. 7, pp. 609-622 (1998).
- [18] Kegel, M., Tamasauskas, J., Sunye, R., Langlois, A., “Assessment of a solar assisted air source assisted water source heat pump system in a Canadian household”, *Energy Procedia*, 30, 654-663 (2012).
- [19] Liu, T., Li, Z., He, G., “Experiments of a Heat Pump Water Heating System Using Stored Solar Energy to Defrost”, *The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016*, Energy Procedia 105, 1130-1135 (2017).
- [20] Mengjie, S., Shiming, D., Chaobin, D., Ning, Mao., Zhihua, W., “Review on improvement for air source heat pump units during frosting and defrosting”, *Applied Energy* 211, 1150-1170 (2018).
- [21] Zhiyi, W., Xinmin, W., Zhiming, D., “Defrost improvement by heat pump refrigerant charge compensating”, *Applied Energy* 85, 1150-1059 (2008).
- [22] Wang, S.W., Liu, Z.Y., “A new method for preventing HP from frosting”, *Renewable Energy* 30, 753-761 (2005).
- [23] Zhang, L., Fujinawa, T., Saikawa M., “A new method for preventing air-source heat pump water heaters from frosting”, *International Journal Of Refrigeration* 35, 1327-1334 (2012).
- [24] Altın, M., Aktakka, S., Günerhan, H., Karakoç, T.H., “Farklı İklim Bölgelerine Ait Isıtma-Soğutma Tasarım Sıcaklıklarının Dikkate Alınarak Bir Isı Geri Kazanım

Sisteminin Tasarımı”, *11.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan (2013).

[25] Tosun, H., Söylemez, E., Özşen, M., “Isı Borulu Isı Geri Kazanım ve Nem Alma Ünitesi”, *Friterm*, (2013).

[26] Wang, W., Cai, Y., Wang L, Liu, C., Zhao, F., Liu, D., “Thermo-hydrodynamic analytical model, numerical solution and experimental validation of a radial heat pipe with internally finned condenser applied for building heat recovery units”, *Energy Conversion and Management* **219**, 113041 (2020).

[27] Lu T., Lü X., Kibert C., Puttonen J., “The application of linear regression and the power law relationship of air-side heat transfer with field measurements to model the performance of run-around heat recovery systems”, *Energy and Buildings*, (2015).

[28] Sözen, A., Variyenli, H., Özdemir M.B., Gürü, M., Aytac, İ., “ Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers”, *Journal of the Energy Institute*, 89:414-424, (2016).

[29] Zaengerle, R., “Multi-Functional, High-Performance Run Around Energy Heat Recovery Systems in Cold Climate Zones”, *7th International Cold Climate HVAC Conference*, (2012).

[30] Açar, G., Akdemir, Ö., “Isı geri kazanım cihazlarında farklı tipte ısı değiştirici kullanımının incelenmesi”, *14.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 17-20 Nisan (2019).

[31] İnternet: Joyclima, “Fresh Air Heat Pump System Diagram”, <https://www.joyclima.com/hanging-type-zjxra-100.html> (2005).

[32] Çengel, Y. A., Boles, M. A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", *Bilimsel İzmir Güven Kitabevi*, İzmir, 471-480 (2008).

[33] Sariibrahimoğlu K., “Hermetik Kompresörler İçin İleri Yatak Malzemeleri Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2009).

[34] Sulatisky, M.T., Van Der Kamp, G., “Ground-Source Heat Pumps in the Canadian Prairies”, *ASHRAE Transactions*, 1, 96. 813-820 (1990).

[35] Akarsu A., “Genleşme Vanası Karakteristiğinin Soğutma Sistemi Performansına Etkisi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, Nisan (2008).

[36] İsa K., Onat A., “İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği”, *Friterm*, 1.Baskı, İstanbul, Eylül (2012).

[37] Tezcan, M., “Düzlemsel Güneş Kolektörleri ve Verim Hesaplamaları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Aralık (2001).

[38] Şener, M., “Etkin Bir Havalı Güneş Kolektörünün Tasarımı ve Optimizasyonu”, *Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Çorum, Aralık (2013).

[39] Darıcı, S., “Design, manufacture and thermal analysis of a single pass solar air collector at different mass flow rates”, *Journal of the Faculty of Engineering Architecture of Gazi University*, 35:3, 1187-1197 (2020).

[40] İnternet: Plastik Kapak Üreten Firmalar, “Soğutma Malzemeleri Fiyatları”, <http://plastikkapak.blogspot.com/2018/02/sogutma-malzemeleri-fiyatlar.html> (2018).

[41] İnternet: Tesisat ve Soğutma Okulu, “Evaporatörlerin Yapısı ve Çeşitleri”, <https://tesisatvesogutmaokulu.blogspot.com/2015/05/evaporatorlerin-yaps-ve-cesitleri.html> (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Yasin USLU; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Handan Hayrettin Yelkikanat Anadolu Teknik Lisesi Elektrik-Elektronik Bölümü'nden mezun oldu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2017 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2017 yılında Klimatechnik İthalat İhracat Ltd. Şirketi'nde satış mühendisi olarak iş hayatına atıldı. Bir süre burada çalıştıktan sonra, işletmeden ayrıldı. 2018 yılında Ges Teknik Klima Kontrol ve Otomasyon Sistemleri San. Tic. A. Ş. 'de proje satış mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı şirkette satış yöneticisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2022 yılında tamamlamıştır.