



**HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNDE
ALTERNATİF BİR DEFROST YÖNTEMİNİN
İNCELENMESİ**

**2025
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Gökhan KAMURAY

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

**HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNDE ALTERNATİF BİR
DEFROST YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ**

Gökhan KAMURAY

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

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

**KARABÜK
Ocak 2025**

Gökhan KAMURAY tarafından hazırlanan “HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNDE ALTERNATİF BİR DEFROST YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. 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. 07/01/2025

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Bahadır ACAR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Volkan KIRMACI (BARÜ)

.....

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

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.”

Gökhan KAMURAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNDE ALTERNATİF BİR DEFROST YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ

Gökhan KAMURAY

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ

Ocak 2025, 60 sayfa

Bu tez çalışmasında, artan dünya nüfusu ve iklim değişikliğinin etkileri sonucu enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik olarak soğutma sistemlerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Küresel ısınmanın ve çevresel tehditlerin arttığı bu dönemde, enerji tasarrufu sağlayan ve çevreye duyarlı ısıtma-soğutma sistemlerinin geliştirilmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Özellikle hava kaynaklı ısı pompalarının verimliliğini düşüren en önemli sorunlardan biri, evaporatör yüzeyinde oluşan buzlanmadır. Bu buzlanma, ısı transferini yavaşlatarak enerji tüketimini artırır ve sistemin performansını düşürür.

Çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılan çeşitli defrost yöntemleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Geleneksel yöntemlerin enerji tüketiminde ve verimlilikte yeterli iyileşmeyi sağlayamaması nedeniyle, alternatif bir defrost yöntemi geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, mikrodalga ışınları kullanılarak

evaporatör yüzeyinde oluşan buzlanmayı gidermeye yönelik yeni bir sistem tasarlanmış ve bu sistem üzerinde deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, evaporatör yüzeyinde oluşan buzun çözülme hızını artırmak amacıyla mikrodalga ve su püskürtme kombinasyonu kullanılmıştır. Mikrodalga destekli deneyler kıyaslanarak, sistemin enerji tüketimi ve buz çözme süreleri karşılaştırılmıştır. Mikrodalga 600-Watt gücünde çalıştığında alınan deneyde sistemin uzun bir süre stabil kaldığı, buzun kısmen eridiği tam çözünme gerçekleşmediği kaydedilmiştir. 800-Watt gücünde alınan deney ile 600-Watt gücünde alınan deney kıyaslandığında, evaporatör yüzeyinde buzlanma %228 oranında ve kompresör yüzeyinde buzlanma ise %3 oranında arttırılmış olmakla beraber erime süresi ise 900 saniyeden 360 saniyeye düşürülerek %150 oranında daha hızlı çözünme gerçekleştirilmiş ve kesintisiz ısıtma sağlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar, mikrodalga ışınlarıyla defrost işleminin, sistem durdurulmadan uygulanabildiğini ve enerji tüketimini düşürerek verimliliği artırdığını göstermiştir. Mikrodalga destekli defrost yönteminin geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve enerji açısından daha verimli olduğunu göstermektedir. Bu yöntem, buz çözme işleminin süresini kısaltarak ve enerji tüketimini azaltarak ev tipi buzdolabı evaporatörlerinde önemli bir potansiyele sahiptir. Elde edilen bulgular, bu yöntemin hava kaynaklı ısı pompalarında kullanım potansiyelini ortaya koymakta ve enerji verimliliği yüksek sistem tasarımı için yenilikçi bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Mikrodalga destekli defrost yöntemi, sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmamış, aynı zamanda sistemin kesintisiz çalışmasına da olanak tanımıştır. Bu durum, özellikle soğuk iklimlerde çalışan hava kaynaklı ısı pompalarının performansını önemli ölçüde iyileştirme potansiyeli taşımaktadır.

Anahtar Sözcükler : Defrost, Mikrodalga, Isı Pompası

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF AN ALTERNATIVE DEFROST METHOD IN AIR SOURCE HEAT PUMP SYSTEM

Gökhan KAMURAY

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy System Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Şafak ATAŞ

January 2025, 60 pages

This thesis investigates studies conducted on cooling systems to reduce energy consumption due to the increasing world population and the effects of climate change. In this era of global warming and increasing environmental threats, developing energy-efficient and environmentally friendly heating and cooling systems has become a critical necessity. One of the most significant issues that reduce the efficiency of air-source heat pumps is the formation of frost on the evaporator surface. This frost slows down heat transfer, increasing energy consumption and reducing system performance.

The study has conducted a detailed examination of various defrost methods commonly used in the literature. Due to the inability of traditional methods to provide sufficient improvement in energy consumption and efficiency, the need for

an alternative defrost method has arisen. For this purpose, a new system has been designed to remove frost formed on the evaporator surface using microwave radiation, and experimental analyses have been carried out on this system. Within the scope of experimental studies, a combination of microwaves and water spraying has been used to increase the melting rate of the ice formed on the evaporator surface. The effect of relative humidity on frosting has been investigated. By comparing microwave-assisted experiments, the energy consumption and defrost times of the system have been compared. In the experiment conducted at 600 Watts, it was observed that the system remained stable for a long time, the ice partially melted, and complete melting did not occur. When comparing the experiment conducted at 800 Watts with the experiment conducted at 600 Watts, it was observed that the frosting on the evaporator surface increased by 228% and the frosting on the compressor surface increased by 3%, while the melting time was reduced from 900 seconds to 360 seconds, resulting in a 150% faster melting and uninterrupted heating.

The experimental studies conducted have shown that the defrost process with microwave radiation can be applied without stopping the system and increases efficiency by reducing energy consumption. The microwave-assisted defrost method has been shown to be faster and more energy-efficient compared to traditional methods. This method has significant potential in household refrigerator evaporators by reducing the defrosting time and energy consumption. The findings reveal the potential of this method for use in air-source heat pumps and provide an innovative solution for designing highly energy-efficient systems. The microwave-assisted defrost method not only provides energy savings but also enables the continuous operation of the system. This has the potential to significantly improve the performance of air-source heat pumps, especially those operating in cold climates.

Key Word : Defrost, Microwave, Heat Pump

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren ve en önemlisi zamanımı asla esirgemeyen öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Şafak ATAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda bulunan ve önerileri ile bana farklı bakış açıları kazandıran değerli abilerim Taşkın YILMAZ'a ve Kağan Samet GÖK'e teşekkür ederim.

Çalışmamdan baştan sona her türlü yardımı sağlayan, projelerimde ve iş hayatımda yararlı olabilecek birçok bilgi ve deneyimini paylaşan Sn. İlker Yasin DUZCU'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca hem keyifli hem de sıkıntılı zamanları beraber geçirdiğim, arkadaşlıklarıyla bana her konuda destek veren ve yanımda olan Barutçuoğlu Bes Ailesi çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi çalışmalarım süresince de göstermiş oldukları büyük sabır ve özveriyle bana her konuda destek olan değerli aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	17
ISI POMPASI	17
3.1. ISI POMPASININ TANIMI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	17
3.1.1. İdeal Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi.....	18
3.1.2. Gerçek Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi	19
3.2. ISI POMPASI SİSTEMLERİ.....	20
3.2.1. Hava Kaynaklı Isı Pompası	21
3.2.2. Su Kaynaklı Isı Pompası.....	22
3.2.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompası	23
3.2.4. Soğurmalı Isı Pompası.....	24
3.2.5. Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası.....	25
3.2.6. Hibrit Isı Pompaları	26
3.3. KARLANMA ŞARTLARI	28
BÖLÜM 4	30

	<u>Sayfa</u>
SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DEFROST YÖNTEMLERİ.....	30
4.1. DEFROST (BUZ ÇÖZDÜRME) YÖNTEMLERİ	30
4.2. PASİF BUZ ÇÖZME YÖNTEMLERİ	31
4.3. AKTİF BUZ ÇÖZME YÖNTEMLERİ	31
4.3.1. Sıcak Gaz Bypass Defrost	31
4.3.2. Elektrikli Isıtıcılar İle Defrost.....	32
4.3.3. Isıtılmış Hava ile Defrost.....	33
4.3.4. Ultrasonik Titreşim ile Defrost.....	33
4.3.5. Sulu Defrost.....	33
4.3.6. Faz Değişim Materyalli Defrost	34
4.4. MİKRODALGA IŞINLARI İLE YENİ BİR DEFROST İŞLEMİ	35
 BÖLÜM 5	 39
MATERYAL METOT.....	39
5.1. DENEY DÜZENİĞİNİN TASARLANMASI.....	39
 BÖLÜM 6	 42
DENEYSSEL ÇALIŞMA	42
6.1. DIŞ ORTAM ŞARTLARINDA KOMPRESÖR DURDURULARAK DEFROST İŞLEMİ.....	43
6.2. MİKRODALGA AÇIK KONUMUNDA İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN 200 ML SU İLE ALINAN DEFROST İŞLEMİ	46
6.3. EVAPORATÖR YÜZEYİNE 50 ML SU PÜSKÜRTÜLEREK YAPILAN DEFROST İŞLEMİ.....	49
6.4. MİKRODALGA AÇIK KONUMUNDA İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN 200 ML SU VE 10 ML PÜSKÜRTÜLEN SU İLE 800 WATT GÜCÜNDE ALINAN DEFROST İŞLEMİ.....	51
 BÖLÜM 7	 54
SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
 ÖZGEÇMİŞ	 60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin şematik görüntüsü [15].	8
Şekil 2.2. İndüksiyon ısıtıcılı akümülatör ısıtma döngüsünün şeması [16].	9
Şekil 2.3. Boru çevrili fotoelektrik sensör kullanılan hava kaynaklı ısı pompası sisteminin şematik gösterimi [18].	10
Şekil 2.4. İkili sıcak gaz bypass defrost metodu kullanılan ısı pompasının şematik gösterimi [20].	11
Şekil 2.5. Deney düzeneğinin şematik diyagramı [21].	12
Şekil 2.6. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi [28].	15
Şekil 2.7. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi [29].	16
Şekil 3.3.1 Buz oluşum sürecinin şemasal gösterimi [13].	29
Şekil 4.1. Sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi [7].	32
Şekil 4.2. Buharlaştırıcı lameller üzerinde bulunan ısıtıcıların şematik gösterimi [13].	33
Şekil 4.3. Ilık su püskürtülerek defrost yöntemi gösterimi [38].	34
Şekil 4.4. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi [42].	35
Şekil 4.5. Elektromanyetik spektrumda dipol rotasyonu [29].	36
Şekil 4.6. Bir magnetronun şematik diyagramı [29, p. 23].	37
Şekil 4.7. Mikrodalga fırın bileşenleri [46].	37
Şekil 4.8. Deney sistemi şematik görüntüsü.	38
Şekil 5.1. Tasarlanan sistem görüntüsü.	39
Şekil 5.2. Kullanılan ölçüm araçları görüntüsü.	40
Şekil 6.1. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	44
Şekil 6.2. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	44
Şekil 6.3. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	45
Şekil 6.4. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi.	45
Şekil 6.5. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	47
Şekil 6.6. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	47
Şekil 6.7. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	48
Şekil 6.8. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi.	48
Şekil 6.9. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.	49

Sayfa

Şekil 6.10. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.....	50
Şekil 6.11. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.....	50
Şekil 6.12. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi....	51
Şekil 6.13. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.....	52
Şekil 6.14. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.....	52
Şekil 6.15. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.....	53
Şekil 6.16. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi....	53



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Kullanılan temel elemanlar	40
Çizelge 5.2. Kullanılan ölçüm araçları.....	41



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fosil yakıt kaynaklarının yakın tarihte tükeneceği, çevre kirliliğine neden olması ve maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynağı kullanan çevre koruma özelliklerine sahip, enerji verimliliği yüksek olan ısı pompası sistemleri günümüz dünyasında sık olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Isı pompası sistemleri, ısının bir ortamdan buharlaştırıcı aracılığıyla çekilmesi ve çekilen ısı miktarının yoğuşturucu tarafından ortama atılması ve bu işlemi tersine de yapabilen sistemlerdir. Isı pompalarının kullandıkları ısı kaynağına göre hava, su ve toprak kaynaklı olmak üzere çeşitleri vardır. Göllerden, nehirlerden, şebekelerden elde edilen sular ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Su kaynaklı sistemlerin dezavantajı yeraltı sularına erişimin zor olmasıdır. Toprak kaynaklı sistemlerin mevsimsel stabil sıcaklık değerleri ısı pompası uygulamalarına uygundur. Fakat toprak kaynaklı sistemlerin dezavantajı ise boru maliyetinin yüksek olmasıdır. Hava kaynaklı ısı pompaları ise devamlı gelişen teknolojisi ile iklimlendirme sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Hava kaynaklı ısı pompaları ısı kaynağı olarak dış ortam havasını kullanmaktadır. Dolayısıyla dış hava koşullarının çabuk değişkenliği sebebiyle performansları kararlı değildir. Hava kaynaklı ısı pompalarının soğuk iklim şartlarına sahip bölgelerde ek ısıtıcılar ile kullanılmaları gerekmektedir. Çünkü iç ortam ve dış ortamdaki sıcaklık farkı arttıkça sistemin COP değeri azalmaktadır. Ayrıca düşük dış hava sıcaklıklarında buharlaşma sıcaklığı suyun donma noktası altına düştüğünde veya bağıl nemin yüksek olduğu ortamlarda çalıştırıldığında ısı değiştirici yüzeyinde zamanla buzlanma meydana gelir. Zamanla biriken bu buz hava akışını engelleyerek, ısı transferini doğrudan etkileyip ısıtma kapasitesini ciddi şekilde düşürecektir. Buzlanma hava kaynaklı ısı pompalarında enerji tüketimini etkileyen en önemli problemlerden biridir. Enerji tasarrufuna yönelik yapılan araştırmalarda, defrost sürelerinde harcanan tüketimin, sistemin normal çalıştırıldığında harcadığı tüketime kıyasla daha büyük bir orana sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada

literatürde sıkça karşımıza çıkan defrost yöntemleri hakkında bilgiler verilmiş ve tüm bu bilgiler ışığında kurulan alternatif sistem ile karşılaştırmaları yapılmıştır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karaağaç vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel soğutma sistemlerden farklı olarak soğutma sisteminde donma sürecini azaltmak amacıyla fotovoltaik termal PV/T destekli sürdürülebilir soğutma sistemleri için buz çözme yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla yeni bir evaporatör tasarımı geliştirilmiş ve buz çözme işleminde kullanılmıştır. Deney boyunca 11 adet defrost işlemi gerçekleştirmişlerdir. Her defrost işlemi için ortalama 605 W ısı enerjisi kullanılırken ortalama defrost süresi 4 dakika olarak kaydedilmiştir. Deney boyunca ortalama defrost süresi ortalama 231 saniye iken son 7 defrost işleminde 188 saniyeye düşmüştür. Yapılan testler sonucunda tasarlanan sistemin kış şartlarında buz çözme işlemi yapabildiği görülmüştür. COP buz çözme sırasında ortalama %99 oranında artmıştır (Karaağaç, Ergün, Gürel, Ceylan, & Yıldız , 2022).

Li vd. (2020) yaptıkları çalışmada, dünyada yaygın olarak kullanılan Hava Kaynaklı Isı Pompaları (ASHP) için buzlanma şartlarında çalıştırıldığında, evaporatör yüzeyinde oluşan buzun çözülmesi için kullanılan yaygın T-T buz çözme yönteminden farklı olarak bir ASHP için optimal zaman noktasına dayalı yeni buz çözme başlatma yöntemi geliştirdiler. T-T buz çözme yönteminin kullanımına kıyasla, yeni buz çözme başlatma yönteminin ASHP ünitesinin ısıtma kapasitesini %36,79 ve COP katsayısını ise %27,85 oranında arttırmaya yardımcı olduğu görülmüştür (Zhaoyang, et al., 2020).

Wu vd. (2022) yaptıkları çalışmada, ASHP sistemi üzerinde frekans dönüştürme teknolojisini kullanarak evaporatör yüzeyindeki donma etkisini analiz etmişlerdir. Bu analizde sırasıyla değişken frekanslı ve sabit frekanslı kompresörler ile donatılmış neredeyse aynı iki ASHP sistemi karşılaştırılmıştır. Donma-buz çözme çemberinin tamamı 3 periyotta incelenmiştir.1. Buz çözme periyodu 2. Donmama periyodu

3. Donma periyodu. İncelemeler sonucunda tüm ısıtma sezonu boyunca değişken frekanslı üniteler daha uzun donma önleme süresine sahip oldukları görülmüştür ve bu da ünitelerin genel performansını %4 oranında arttırmıştır. Ortam sıcaklığı -10 °C ila 12 °C arasında olduğunda, değişken frekanslı ünitelerin buz çözme süresi sabit frekanslı ünitelerinkinin yalnızca %26'sıdır yani değişken frekanslı ünitelerin performansını %5 daha yüksek hale getirdiği görülmüştür. Sonuç olarak değişken frekanslı ünitelerin performans ortalamaları %9 oranında artmıştır (Chunling, et al., 2022).

Klingebiel vd. (2023) çalışmalarında, enerji verimli buz çözme yöntemlerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalarda 3 farklı buz çözme yöntemlerine değinilmiş ve verimlilik karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu yöntemler ters çevrimli buz çözme, elektrikli ısıtmalı buz çözme ve sıcak tuzlu su buzunun çözülmesidir. Yapılan incelemeler sonucunda %56-61 ile en verimli buz çözme yöntemi ters çevrimli buz çözme yöntemidir. 30 °C besleme sıcaklığına sahip elektrikli ısıtmalı buz çözme ile sıcak tuzlu buz çözme verimlilikleri %44-45 ile birbirlerine yakındır (Jonas, Muhab, Valerius, Christian, & Dirk, 2023).

Malik (2021) yapmış olduğu çalışmasında, evaporatör yüzeyindeki donma sorununu çözmek amacıyla yeni bir foto-kapasitif algılama tekniği ve ilaveli üretimle sensör ve buz çözme ısıtıcısından oluşan bir buz algılama-buz çözme sistemini (HFFDS) geliştirmiştir. Bu sistem don oluşumunu tespit edebilir, %5 yanılma payı ile 1,3 ila 8mm arasında buz kalınlığını ölçebilir ve kritik donma seviyesine eriştiğinde bir defrost tepkisini tetikleyebilir. HFDDS soğutma sistemleri için verimsiz kör/tek taraflı ve periyodik buz çözme yerine isteğe bağlı bir buz çözmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen bu sistem sonucunda geleneksel soğutma sistemlerine kıyasla %10 enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Hibrit sistemin uyarlanabilirliğinden dolayı herhangi bir ev tipi buzdolabına uygulanabileceği tespit edilmiştir (Malik, 2021).

Bansal vd. (2009) tarafından yazılan bu makalede, daha verimli bir buz çözme döngüsü tasarlamak hedefiyle bir buz çözme döngüsünün termal analizini sunmuşlardır. Bu analiz çeşitli sistemlerde bir defrost ısıtıcısından gelen enerji akışını belirlemek için geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem sonucunda 500 g don ve

normal defrost döngüsüne sahip bir dondurucu, donmayı eritmek için minimum donmaya kıyasla sırasıyla yaklaşık %30 ve %17,7 daha fazla enerji tüketecektir. Enerji tasarrufu yalnızca %12,3 olduğundan bu alanda iyileştirmeye gerek olduğu gözler önüne serilmiştir (Bansal, Fothergill, & Fernandes, 2009).

Gümüş (2009) deneysel çalışmalarında, evsel buzdolabı mevcut kar çözme yöntemlerinin yerine kullanılabilir alternatif kar çözme uygulamaları ile kar çözmeden kaynaklanan enerji tüketiminin azaltılmasının araştırmıştır. Mevcut elektrikli ısıtıcı ile kar çözme yerine sıcak sıvı, sıcak gaz ve ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözme uygulamalarını deneysel olarak irdelemiştir. Tasarlanan sistemlerin uygulanabilirlikleri, üstünlükleri ve katkılarını farklı çıkarımlarla ele almaya çalışmıştır. Sonuç olarak, alternatif sıcak gaz ile kar çözme yöntemi için 3 farklı prototip çalışmaları gerçekleştirmiş ve sistemin kar çözme sürelerini 350-400 dk arasında bulmuştur. Orijinal yöntemin ortalama 30 dk arasında olduğu bilindiğinden bu sürenin kabul edilemeyecek kadar fazla olduğunu görmüştür. Sıcak sıvı ile kar çözme yöntemi deneysel çalışmalarından ise ısı kütlesi sıcaklığının artırılması ile kar çözme süresinin kısaldığını belirlemiştir. Sıcak gaz ile kar çözme işleminde ise buzdolabın soğutma etkinlik katsayısını 1,82 olarak makul olduğunu sonucuna varmıştır (Gümüş, 2009).

Mader ve Thybo (2012) yaptıkları çalışmada, evaporatör yüzeyindeki buz oluşumunu, paralel evaporatör geçişlerini ayrı ayrı besleyen aktif bir dağıtım vanası kullanarak çözmeye çalışmışlardır. Bu vana ile tekli evaporatör devreleri düzenli şekilde kapatılır. Kapalı devrede soğutucu akışkan buharlaşmazken, serpantin yüzey sıcaklığı yükselir ve hava sıcaklığı 0 °C'nin üzerinde olduğu sürece ortam havasının akıllı evaporatördeki buzu çözer. Donma ve buz çözme davranışı, 21,1 °C iç ortam sıcaklığı ve 1,67 °C dış sıcaklık ve %81,8 bağıl nem ile ara kompresör hızında test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda ölçümlerin doğruluğu standart tarafından verilen değerlere uygun olduğu görülmüştür (Mader & Thybo, 2012).

Mahade (2021) yüksek lisans tezinde, geleneksel defrost yöntemlerinden farklı olarak defrost işlemi için sıvı soğutucu akışkan kullanarak sistemin enerji tüketimini azaltmayı ve soğutma performansını arttırmayı amaçlamıştır. Bu amaç ile soğutma

sisteminde iki evaporatör ve bir dört yollu valf kullanmıştır. Ayrıca sistemde aşırı soğutma yaptırarak verimliliği de artırmaya yönelik çalışmıştır. Çalışmalar neticesinde, harici bir güç kaynağı kullanmadan soğutucu akışkandan yayılan enerjiyi kullanarak defrost işleminin gerçekleştirebildiği görülmüş ve verimliliği %12 arttırmıştır. Yeni defrost yönteminin elektrikli ısıtıcı defrost yöntemine göre basınç değerlerinin daha stabil olduğu kaydedilmiştir. Yıllık CO2 emisyon miktarı ise %10,7 daha düşüktür (Investigation of the effects of a novel defrost method on cooling system performance, 2021).

Khaled (2021) yapmış olduğu çalışmasında, split klima sistemlerinde konfor şartlarına göre ısıtma ve soğutmaya sağlamaya yardımcı olan 4 yollu valfin eksikliklerine değinerek, 4 yollu vanaya alternatif çözüm olarak sistemde dört yollu iki geçişli ve basınç şartlarına sağlayan popet tip hidrolik valf kullanmıştır. Çalışmanın deneysel sonuçlarından yola çıkarak, buharlaşma sıcaklığını yükselterek ve ard arda yoğuşma sıcaklığını arttırarak defrost döngüsü etrafında sistem performansında düzelme olduğu sonucuna varmıştır (Defrosting Methods of Air Conditioner Systems of Split Air Conditioner, 2021).

Wang vd. (2018) deneysel çalışmalarında, yaygın olarak kullanılan buz çözme yöntemlerini iyileştirmeye yönelik çalışmışlardır. Sıvı soğutucu akışkan ile defrost sürecinin kontrolünü amaçlamışlardır. Bu sebeple buz çözme işlemi otomatik olarak kontrol etmek için hava basıncı farkından yararlanmışlardır. Kullandıkları hava basıncı farkı kontrol cihazının ölçüm aralığı 0,20-2 mbardır. Deneyleri sonucunda ise hava basıncı farkı 0,5 mbardan yüksek olduğunda defrost işlemi başardıkları görülmüştür. Soğuk hava depolama sıcaklığı 0°C, 5°C, 10°C, 15°C olduğunda gaz dönüş sıcaklıklarını 1,4°C ve 7,4°C olarak kaydetmişlerdir (Wang, Zang, Li, & Li, Investigation of Control Process in Liquid Refrigerant Defrosting System, 2018).

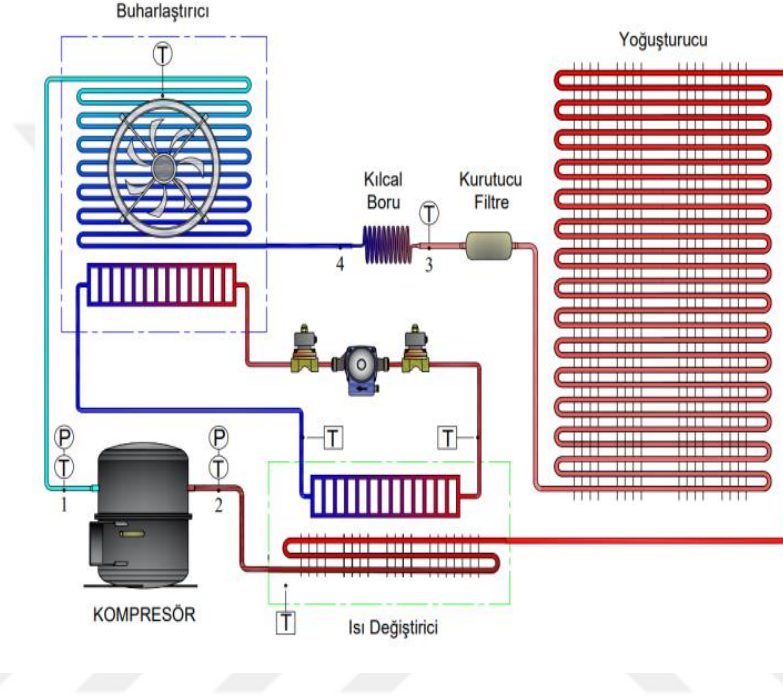
Amer ve Wang (2017) birlikte havalandırma, ısıtma, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinden geçerli olan bütün defrost yöntemlerini araştırdılar. Kullanılan aktif ve pasif yöntemlerin üstünlüklerini, eksikliklerini testlerle karşılaştırdılar. Yapılan testler sonucunda hidrofobik yüzeylerinin buz çözme performansının hidrofilik ve

kaplanmamış olan yüzeylerden daha etkili olduğunu gösterdiler. Düşük frekanslı salınımın buz çözemeyeceği, ultrasonik salınımın ise buz çözmede etkili olduğunu kaydettiler. Sıcak gaz ters çevrim yönteminin ise diğer sistemlerden kurulum maliyetinin daha yüksek fakat verimliliği ve performansının daha iyi olduğunu gördüler (Amer & Wang, 2017).

Karakaş (2021) çalışmasında buharlaştırıcı üzerinde ve kanat aralarında oluşan buzlanma sorununa alternatif çözüm olan ultrasonik titreşim ile buz çözme yöntemini araştırmıştır. Yaptığı araştırmalar için bir takım deneysel çalışmalar yapmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda, ultrasonik titreşimin buharlaştırıcı kızgınlığına olan etkisini gözlemleyememiştir fakat nemlendirici katkısıyla ciddi bir artışı kaydetmiştir. Buz oluşumunda ortam sıcaklığından ziyade bağıl neminin daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ultrasonik titreşim uygulanan soğutma çevriminin, toplam enerji tüketiminin fan ve nemlendirici uygulanan çevrimden %6,96, sadece fan uygulanan çevrimden ise %7,06 daha fazla olduğunu kaydetmiştir (Karakaş, 2021).

Wang vd. (2018) deneysel çalışmalarında sıvı soğutucu akışkanlı defrost sistemi üzerinde durmuşlardır. Ancak sistem, modern soğuk hava depolarında uygulanması ve tanıtılması için çok karmaşıktır. İşletme zorluğu sorununu çözmek için, defrost başlangıcı, defrost sonu, drenaj süresi ve iki hava soğutucunun başlatılması arasındaki zaman farkı dahil olmak üzere kontrol deneyleri gerçekleştirildi. Sonuçlar, sıvı soğutucu akışkanlı defrost sisteminin hava basınç farkı 0,5 mbar'dan yüksek olduğunda defrosta başladığını gösterdi. Çıkış, buharlaşma yüzeyinin alt 1/3 kısmının orta kısmına yerleştirilmelidir. Ölçüm basınç tüpü, kanatçığı 20 mm yerleştirdi ve nozul buharlaşma borusuna dikti. Deneysel ortam sıcaklığı 30°C ve don kütlesi 3 kg idi. ED'deki gaz dönüş sıcaklığı, soğuk depolama sıcaklığı sırasıyla 0°C, 5°C, 10°C, 15°C ve 20°C olduğunda sırasıyla 3.0°C, 4.0°C, 5.0°C, 6.4°C ve 7.4°C idi. DT, ıslak sıkıştırmayı önleyebilen 140s ile 180s arasında kontrol edildi. TDTACS'yi elde etmek için, ilk buz çözme için manuel kontrol benimsenebilir. (Wang, Zang , Li, & Li, Investigation of Control Process in Liquid Refrigerant Defrosting System, 2018).

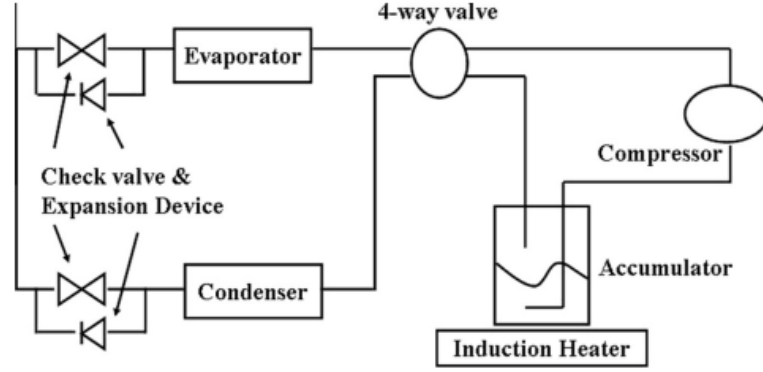
Kütük (2022) çalışmasında, buz çözme yöntemlerine alternatif bir sistem tasarlayarak kondenserden dış ortama atılan ısıyı değerlendirerek enerji tüketimini indirgemeyi ve sistem performansını arttırmayı amaçlamıştır.



Şekil 2.1. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin şematik görüntüsü (Kütük, 2022).

Tasarlanan sistem kullanılarak hem elektrikli ısıtıcı yerine hem de yoğuşturucu atık ısısının buz çözme işleminde kullanımları deneysel ve teorik olarak çalışmalarında incelemiştir. Yoğuşturucudan dış ortama atılan ısının bir kısmının değerlendirilerek buzdan ayırıştırma işleminde kullanılmasına yönelik kompresör çıkışına içerisinde parafin türü FDM bulunan bir ısı değiştirici yerleştirmiştir. Soğutma sistemine uygulanacak soğutma yükü 0W olduğunda FDM kullanılmayan sistem lehine %0,1'lik COP atışı gözlemlemiş olsa dahi, soğutma yüklerinin 25, 50 ve 75W olduğu durumlarda FDM kullanılan sistem lehine sırasıyla %11,24, %8,27 ve %0,47 oranında atışı gözlemlemiştir (Kütük, 2022).

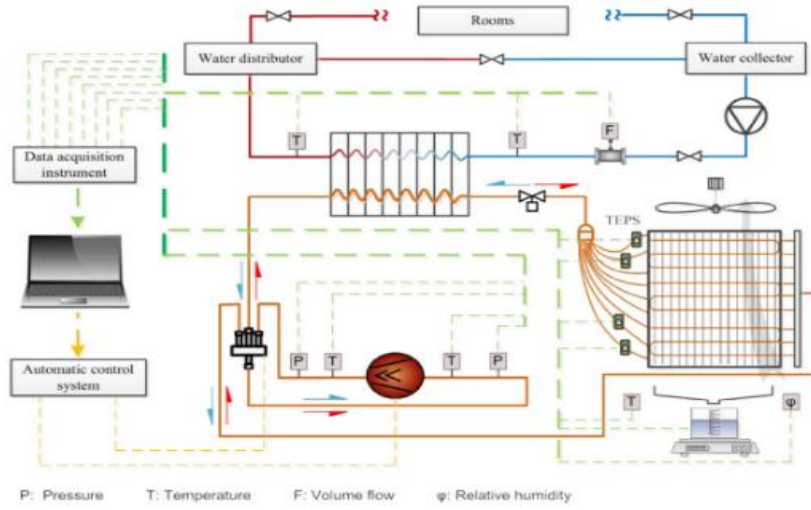
Kim vd. (2015), yaptıkları çalışmada, havadan-havaya ısı pompasının dış ısı eşanjöründeki buzlanmayı kaldırmak için çift sıcak gazlı baypaslı buz çözme (DHBD) sistemini tasarlamışlardır.



Şekil 2.2. İndüksiyon ısıtıcılı akümülatör ısıtma döngüsünün şeması (Kim, Choi, & Kim, A combined Dual Hot-Gas Bypass Defrosting method with accumulator heater for an air-to-air heat pump in cold region, 2015).

Tasarlanan sistemi, ters çevrimli buz çözme yöntemi ile karşılaştırarak birtakım bulgular elde etmişlerdir. DHBD ve akümülatör ısıtma yöntemi ile geliştirilen sistemin ters çevrim sistemine kıyasla buz çözme süresini %15 azalttığını kaydetmişlerdir (Kim, Choi, & Kim, A combined Dual Hot-Gas Bypass Defrosting method with accumulator heater for an air-to-air heat pump in cold region, 2015).

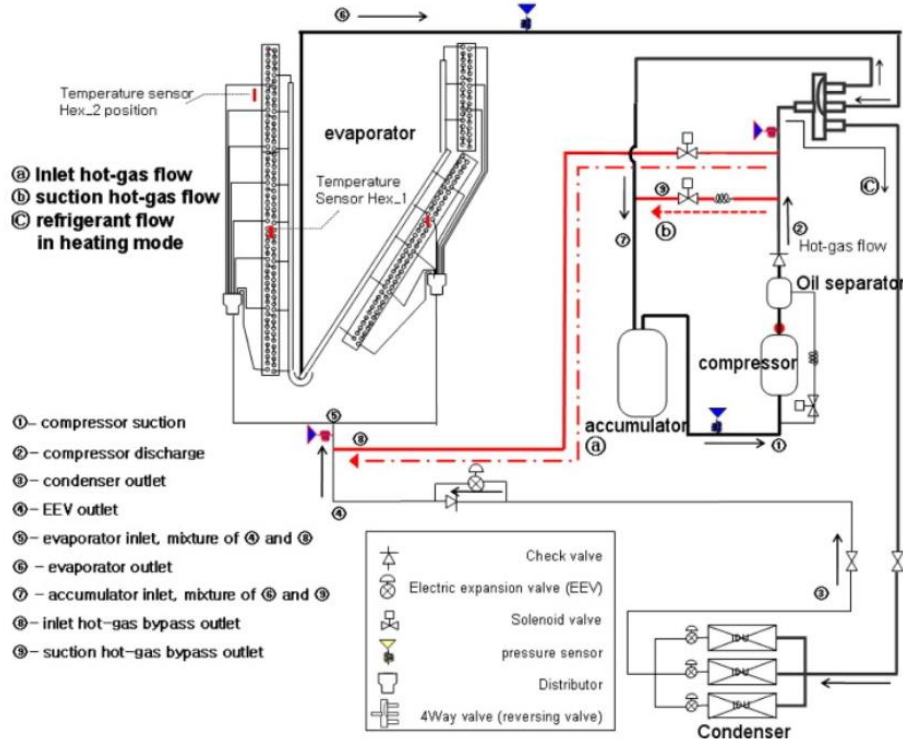
Ge vd. (2016), yaptıkları çalışmada, hava kaynaklı ısı pompalarının buz çözme doğruluğunu geliştirmek için tüp ile çevrili fotoelektrik sensörler (TEPS) uygulayarak yeni bir defrost kontrol yöntemi geliştirdiler.



Şekil 2.3. Boru çevrili fotoelektrik sensör kullanılan hava kaynaklı ısı pompası sisteminin şematik gösterimi (Ge, Sun, Wang, Zhu, Li, & Liu, Field test study of a novel defrosting control method for air-source heat pumps by applying tube encircled photoelectric sensors, 2016).

Ön çalışma yapmak üzere Çin'in Pekin şehrinde iki ısıtma sezonu boyunca bir saha testi gerçekleştirdiler. Test sonuçları çevresel koşullar farketmeksizin TEPS yönteminin buz çözme işlemini başlattığını gözlemlədiler. TEPS yönteminin ardışık ve sabit çevre şartları altında buz çözmeyi kontrol etmek için iyi bir sistem olduğu kaydedilmiştir. Buz çözmenin gerekli olmadığı durumlarda TEPS yöntemi her zaman yerinde kararlar alırken, buz çözme için boşa harcanan işi %62,2 oranında azalttığı ve COP katsayısını %4,1 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir (Ge, Sun, Wang, Zhu, Li, & Liu, Field test study of a novel defrosting control method for air-source heat pumps by applying tube encircled photoelectric sensors, 2015).

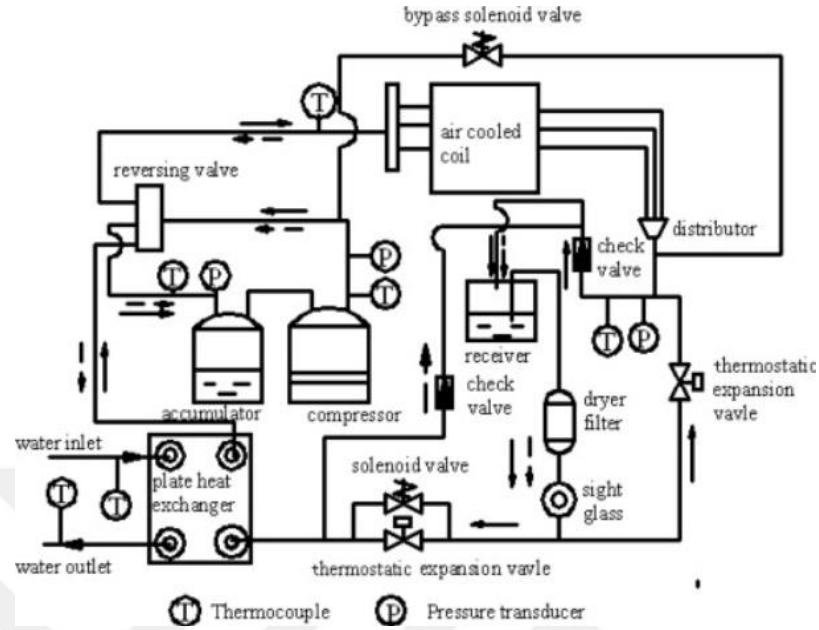
Choi vd. (2011), havadan havaya ısı pompası sistemi üzerinde yeni bir ikili sıcak gaz bypass defrost metodu ile deneysel bir çalışma yapmışlardır. İkili sıcak gaz bypass defrost metodu denmesinin sebebi; kompresörden gelen iki adet bypass hattının ısı değıştiricisinin hem giriş hem de çıkış hattına bağlanmasıdır. Şekil 'de yeni defrost metodunun uygulandığı ısı pompasının şeması verilmiştir.



Şekil 2.4. İkili sıcak gaz bypass defrost metodu kullanılan ısı pompasının şematik gösterimi (Choi , Kim, Kang, & Kim, 2011).

Ayrıca deneyde yeni defrost metodu geleneksel sıcak gaz bypass ve ters çevrim defrost metotları ile karşılaştırılmıştır. İkili sıcak gaz bypass metodunun ilave bypass hattı sayesinde geleneksel sıcak gaz bypass metoduna kıyasla daha yüksek kompresör çıkış basıncı sağlanmış ve buz çözme süresi %36 azalmıştır. Ters çevrim metodu ile karşılaştırıldığında buz çözme süresinin benzer olduğu fakat enerji verimliliğinin %13 daha iyi olduğu görülmüştür. Deney sonucunda yeni yöntemin geleneksel sıcak gaz bypass ve ters çevrim defrost metotlarına göre daha iyi performans verdiği belirtilmiştir (Choi , Kim, Kang, & Kim, 2011).

Huang vd. (2009), 55 kW gücünde havadan suya ısı pompasında ters çevrim ve sıcak gaz bypass defrost metotlarını karşılaştırmışlardır. Deneyler; sıcak gaz bypass metodunun ters çevrim defrost metodundan daha uzun sürdüğünü fakat iç ortama soğuk üfleminin olmaması ve iç ortam sıcaklık dalgalanmasının daha az olması yönüyle sıcak gaz bypass metodunun ters çevrim metodundan daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca sıcak gaz bypass metodu kolaylığının ters çevrim metodundan daha iyi olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.5’de sistemin şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Deney düzeneğinin şematik diyagramı (Huang, Li, & Yuan, 2009).

Dong vd. (2012), bir hava kaynaklı ısı pompası üzerinde ters çevrim defrost metodunu uygulayarak defrost verimliliğini, ısı kaynaklarını ve enerji tüketimlerini değerlendirmişlerdir. Dört yollu vana kullanılarak yapılan defrost işleminde yeterli ısıyı sağlamak ve defrost süresini kısaltmak için iç ortam fanı çalıştırılmıştır. Bu durum; iç ortam konforunun olumsuz etkilenmesine ve iç ortam hava sıcaklığının ortalama 4,7°C düşmesine neden olmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, maksimum defrost verimliliğinin %60,1'e çıkabildiğini, toplam tüketilen enerjinin %59,4'ünün buzları eritmek için kullanıldığını, defrost için sağlanan toplam ısının %71,8'inin iç ortam havasından elde edildiğini rapor etmişlerdir (Dong, Deng , Jiang , Xia, & Yao, 2012).

Song vd. (2018), hava kaynaklı ısı pompalarında donmayı geciktirme ve buz çözme konusunu detaylı incelemiştir. Don geciktirme önlemlerini sistemin dışında ve sistemin içinde olmak üzere iki grupta özetlemiştir. Sistemin dışında olan don geciktirme önlemleri; ortam hava parametrelerini değiştirme (giriş havası nemini azaltılması, giriş havası ön ısıtması, dış ünite giriş hava hızının artırılması), ek önlemler ile buzun yok edilmesi (ultrasonik titreşim tekniği, hava jeti tekniği);

sistemin içinde olan don geciktirme önlemleri; dış ünitenin yapısını en uygun hale getirme (kanat ve boru geometrisinin ayarlanması, kanat tipinin ayarlanması, kanat yüzeyini kaplama işlemi), sistem ayarı ve optimizasyonu (buhar enjeksiyon tekniği, iki aşamalı teknik, dış ısıtma kaynağı ekleme, soğutucu akışkan dağıtımının ayarlanması) şeklinde sıralanır. Hava kaynaklı ısı pompalarında defrost metotlarını ise; kompresör kapatma, elektrikli ısıtma, sıcak su püskürtme, sıcak gaz bypass ve ters çevrim defrost metodu olarak beşe ayırmışlardır. Yapılan araştırmalar ve incelemeler sonucunda giriş havasının atık ısı ile ön ısıtılmasının ve yeni malzemelerle kanat yüzey işleminin tavsiye edildiğini göstermektedir. Sınıflandırılan defrost yöntemleri arasında en çok değerlendirilen ise ters çevrim defrost metodu olmuştur (Song, Chen , Mao, & Wang , 2018).

Joppolo vd. (2012), DC elektrik alanının donma koşulları altında kanatlı ve borulu evaporatörün performansı üzerindeki etkisini konu alan bir deneysel çalışma yapmışlardır. Elektrik alanının, donma kütlesini ve hava tarafı basınç düşüşünü azaltırken soğutma kapasitesini arttırdığı ve kararsız fan çalışmasını geciktirdiği sonucuna varılmıştır ve elektrohidrokinamik tekniğinin kullanımının hava kaynaklı ısı pompaları ve soğutma sistemleri için faydalı sonuçlar sağlayabileceği rapor edilmiştir (Joppolo, Molinaroli, Antonellis, & Merlo, 2012).

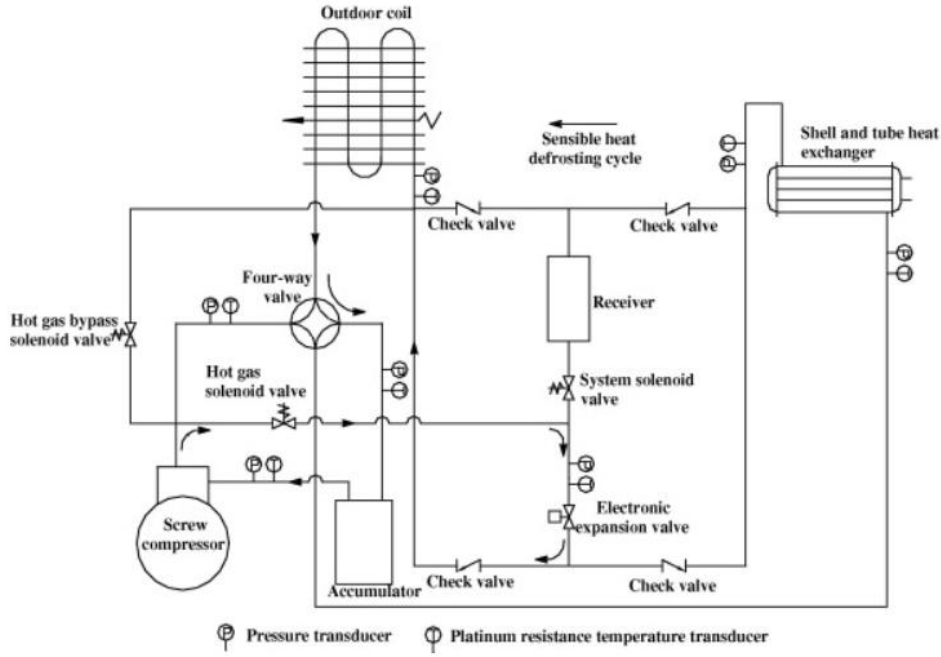
Tan vd. (2014), kanatlı borulu bir evaporatör için yeni bir defrost metodu olarak aralıklı çalışma mekanizmasına dayanan ultrasonik rezonans defrost metodunu deneysel bir çalışma yaparak incelemiştir. Deneyde 28 kHz ve 60 W'lık ultrasonik dönüştürücü kullanılmıştır ve ultrasonik rezonans defrost metodu doğal donma koşulu, aralıklı titreşim modu ve sürekli titreşim modu olarak farklı modlarda incelenmiştir. Tek seferde sürekli sabit frekanslı ultrasonik dönüştürücü kullanılarak tüm buz kristallerinin çözülmediğini, bu nedenle aralıklı ultrasonik rezonansın daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir (Tan, Tao, Xu, Zhang, Wang , & Luo , 2014).

Yin vd. (2012), soğuk hava deposu için hava bypass sirkülasyonlu ve elektrikli ısıtıcı ile yeni bir defrost metodu üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneyde kullanılan elektrikli ısıtıcı hem kanatçıkların içine hem de evaporatör önüne monte edilmiştir ve beş defrost durumu incelenmiştir. Defrost sırasında sirküle olan hava

defrost hızını iyileştirmeye yardımcı olmuştur ancak depolama sıcaklığında dalgalanmaya yol açmıştır. Geleneksel elektrik ısıtıcı defrost metoduna göre bu yeni metodun defrost süresi %62,1, defrost enerji tüketimi %61 ve sıcaklık dalgalanması %70,1 azaltılmıştır. Ayrıca buz çözme verimliliği %77,6'ya kadar çıkmıştır. Bu yöntemde kanatçıkların içine gömülen elektrikli ısıtıcı ile bypass kanalı ve klima santrali odasında hava sirkülasyonunun olması en uygun durum olarak belirlenmiştir (Yin, Yang, Chen, & Zhang, 2012).

Kurtboğan (2020) yüksek lisans tezinde, enerji verimliliğini geliştirmek için faz değiştiren malzeme (FDM) kullanılan soğutma sisteminin deneysel analizini yapmıştır. Bir soğuk oda içerisine FDM seçimi yapıp sisteme olan etkileri incelenmiştir. Deneysel olarak NaCl ve NH₄Cl olarak geliştirilen FDM'lerin COP değerleri sırası ile 2,1 ve 2,25 olarak hesaplanmıştır. Böylece sisteme FDM eklenmesiyle %5,5 ve %13 COP iyileştirmeleri elde edilmiştir. Ayrıca FDM kullanımının kompresör dur-kalk sayısını azaltarak kompresörün ömrünü uzatmaya katkı sağladığı gözlemlenmiştir (Kurtboğan, 2020).

Liang vd. (2010), yazdıkları makalede 160 kW soğutma kapasitesine sahip hava kaynaklı ısı pompası için yeni bir buz çözme yöntemi olarak geleneksel ters çevrim defrost metoduna alternatif hassas ısı ile defrost metodunu önermişlerdir. Şekil 2.6'da tasarladıkları sistemin şematik gösterimi verilmiştir. Hassas ısı defrost işlemi sırasında akışı düzenleyerek kontrol etmek için elektronik genişleme vanası kullanılmıştır. Isı pompası defrost metoduna geçtiğinde sistem selenoid valfi kapatılarak sıcak gaz selenoid valfi açılmış ve elektronik genişleme valfi hassas ısı defrost metodunun kontrol stratejisini gerçekleştirmiştir (Liang, Zhang, Li, & Chen, 2010).

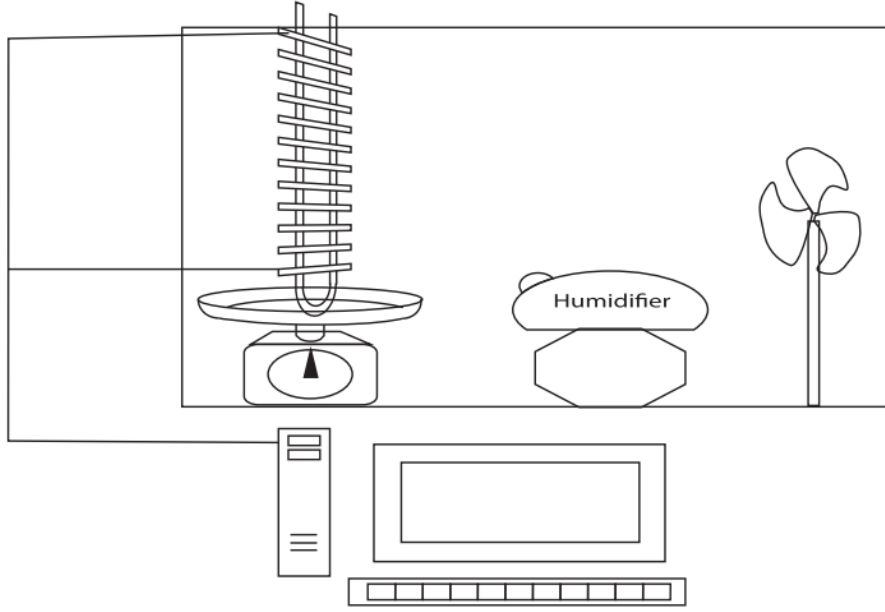


Şekil 2.6. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi (Liang, Zhang, Li, & Chen, 2010).

Isı pompasında ısıtma kaynağı için su sıcaklığı 45°C/40°C (gidiş/dönüş) ve ortam sıcaklıkları 7°C/6°C (KTS/YTS) olduğu durumda hassas ısıda defrost deneyleri gerçekleştirildi. Deneyler sonucunda hassa ısı defrost metodunun ters çevrim defrost metoduna göre sistemi daha güvenilir hale getirdiği, daha küçük sıcaklık dalgalanmaları yarattığı, toplam defrost süresinin daha kısa olduğu gösterilmiştir (Liang, Zhang, Li, & Chen, 2010).

Kım (2012) yazdığı makalede, ev tipi buzdolabı evaporatörlerinde buz çözme işlemi için geleneksel elektrikli ısıtıcı yöntemlerine alternatif olarak mikrodalga defrost yönteminin etkinliğini araştırmıştır. Geleneksel yöntemlerde, buzdolabının iç sıcaklığını yükselten ve ardından tekrar düşürülmesi gereken ek enerji tüketimine yol açan elektrikli ısıtıcılar kullanılmaktadır. Mikrodalga radyasyonu, havayı doğrudan ısıtmadan buzu çözebileceği için daha verimli bir seçenek sunmaktadır. Çalışmasında, kontrollü sıcaklık ve kütlede buz oluşumu sağlanan küçük bir alüminyum evaporatörde mikrodalga fırın kullanılarak defrost deneyleri

gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.7. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi (Kım, 2012).

Mikrodalga radyasyonunun buz çözme sürecindeki etkisi, buza uygulanan sıcaklık ve magnetronun konumu gibi faktörler değiştirilerek incelenmiştir. Ayrıca, Monte Carlo simülasyonları ile iki boyutlu bir slotta erimenin homojenliği araştırmıştır.

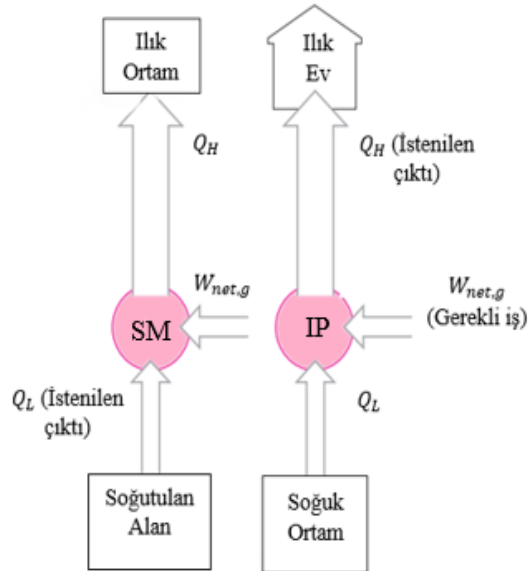
Mikrodalga defrost yönteminin geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve enerji açısından daha verimli olduğunu göstermektedir. Bu yöntem, buz çözme işleminin süresini kısaltarak ve enerji tüketimini azaltarak ev tipi buzdolabı evaporatörlerinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Kım, 2012).

BÖLÜM 3

ISI POMPASI

3.1. ISI POMPASININ TANIMI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Isı aktarımı, doğada herhangi bir cihaza gerek duymadan azalan sıcaklık yönünde yani yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru gerçekleşmektedir. Fakat bu işlemin ters yönde gerçekleşmesini sağlayan soğutma makineleri veya ısı pompaları olarak adlandırılan özel cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Soğutma makinesinin amacı soğutulan ortamdan ısı çekmektir, ısı pompasının amacı ise ılık ortama ısı vermektir. Bu cihazlarda soğutucu akışkan adı verilen bir iş akışkanı kullanılır. Şekil 3.1’de soğutma makinesine ve ısı pompasına ait bir şematik gösterim verilmiştir.



Şekil 3.1. Soğutma makinesi ve ısı pompasının şematik gösterimi (Çengel & Boles, 2004).

Bu cihazların verimi, etkinlik katsayısı (COP) ile ifade edilir ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$COP_{SM} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{net,g}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad (3.1)$$

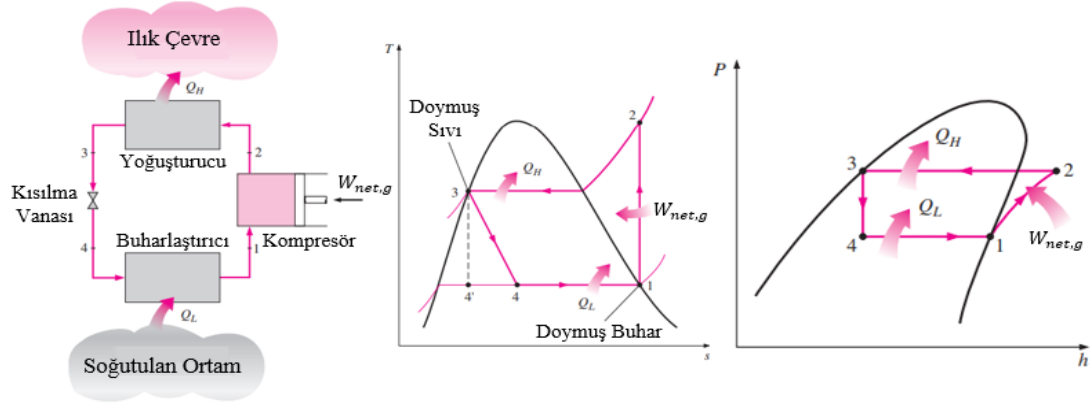
$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{net,g}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki Şekil 3.1’de gösterildiği gibi Q_L soğutulan ortamdaki çekilen ısı miktarını, $W_{net,g}$ cihaza verilmesi gereken net işi ve Q_H ortama verilen ısı miktarını göstermektedir. Bir soğutma makinesi ve ısı pompasının etkinlik katsayısı her zaman 1’den büyüktür.

Yukarıdaki Şekil 3.1’de gösterildiği gibi Q_L soğutulan ortamdaki çekilen ısı miktarını, $W_{net,g}$ cihaza verilmesi gereken net işi ve Q_H ortama verilen ısı miktarını göstermektedir. Bir soğutma makinesi ve ısı pompasının etkinlik katsayısı her zaman 1’den büyüktür.

3.1.1. İdeal Buhar Sıkıştırma Soğutma Çevrimi

Soğutma makineleri, iklimlendirme sistemleri ve ısı pompalarında en yaygın kullanılan soğutma çevrimi, buhar sıkıştırma soğutma çevrimidir. Standart bir buhar sıkıştırma soğutma çevrimi; kompresör, kondenser (yoğuşturucu), genişleme elemanı (kısıma vanası) ve evaporatör (buharlaştırıcı) adı verilen 4 ana elemandan oluşur. Çevrimin şematik gösterimi, T-s ve P-h diyagramları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin şematik gösterimi, T-s ve P-h diyagramı (Çengel & Boles, 2004).

Yukarıdaki şekilde gösterilen buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi dört hal değişiminden oluşur:

- 1-2 Kompresörde izantropik sıkıştırma
- 2-3 Yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı verilmesi
- 3-4 Genleşme cihazında kısılma
- 4-1 Buharlaştırıcıda sabit basınçta ısı alınması

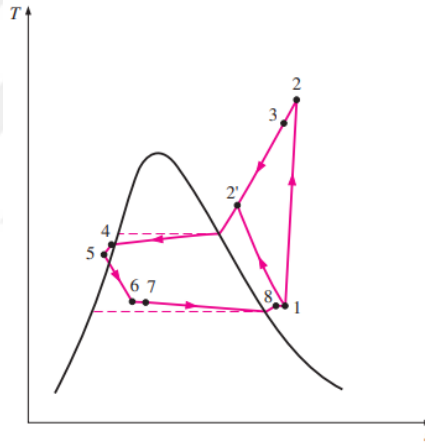
İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre 1 halinde doymuş buhar olarak girerek izantropik olarak kondenser basıncına sıkıştırılır. Soğutucu akışkan 2 halinde kızgın buhar olarak kondensere girerek çevreye ısı verilmesiyle 3 halinde doymuş sıvı olarak çıkar. Doymuş sıvı olarak 3 halinde bulunan soğutucu akışkan genişleme vanasından geçirilerek evaporatör basıncına kadar kısıılır. Daha sonra soğutucu akışkan 4 halinde düşük kuruluk derecesinde sıvı-buhar karışımı olarak buharlaştırıcıya girerek soğutulan ortamdaki ısı alınmasıyla tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan evaporatörden doymuş buhar halinde çıkarak kompresöre geri dönerek çevrimi tamamlar.

3.1.2. Gerçek Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimi

Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ideal olan çevrime göre farklılıklar gösterir. Bu farklılıklar çevrimi oluşturan elemanlardaki tersinmezliklerden meydana gelir. Tersinmezliğin iki kaynağı, basıncın düşmesine neden olan akışkanın sürtünmesi ve çevreyle yapılan ısı alışverişidir. İdeal çevrimde sıkıştırma işlemi içten tersinir ve adyabatik yani izantropiktir, akışkan kompresöre doymuş buhar olarak girer, doymuş sıvı olarak kondenserden çıkar.

Fakat gerçek uygulamalarda soğutucu akışkanın halini hassas bir şekilde kontrol etmek mümkün olmayacağı için kompresöre kızgın buhar halinde girmesi sağlanır, sürtünme etkileri, ısı geçişi bulunur, borularda basınç kaybı oluşur, soğutucu akışkan kondenserden doymuş sıvı olarak çıkamayacağı için akışkana aşırı soğutma işlemi uygulanır.

Şekil 3.3'de gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin T-s diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.3. Gerçek buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin T-s diyagramı (Çengel & Boles, 2004).

3.2. ISI POMPASI SİSTEMLERİ

Son zamanlarda adını dünyaya sıkça duyuran ve artan enerji tüketimlerine çözüm bulmak adına üretilen ısı pompaları, enerjii harici ısı kaynaklarından (hava, su vb.) faydalı ısıya dönüştürüp daha sonra konut ve ticari binalarda alan ısıtma, soğutma veya sıcak su temini için kullanılan, ıyı bir yerden alıp diğerine elektrik veya mekanik enerji kullanarak aktaran cihazlardır. Isı pompaları, yıl boyunca ısıtma ve soğutma yaparak ve kullanım sıcak suyu sağlayarak termal konfor sağlar. Isı

pompası sistemleri; hava, su, toprak, soğurmalı, güneş destekli ve hibrit sistem olarak gruplandırılır (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021). Şekil 3.4’de ısı pompası sistemleri türleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Isı pompası sistemleri (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021).

3.2.1. Hava Kaynaklı Isı Pompası

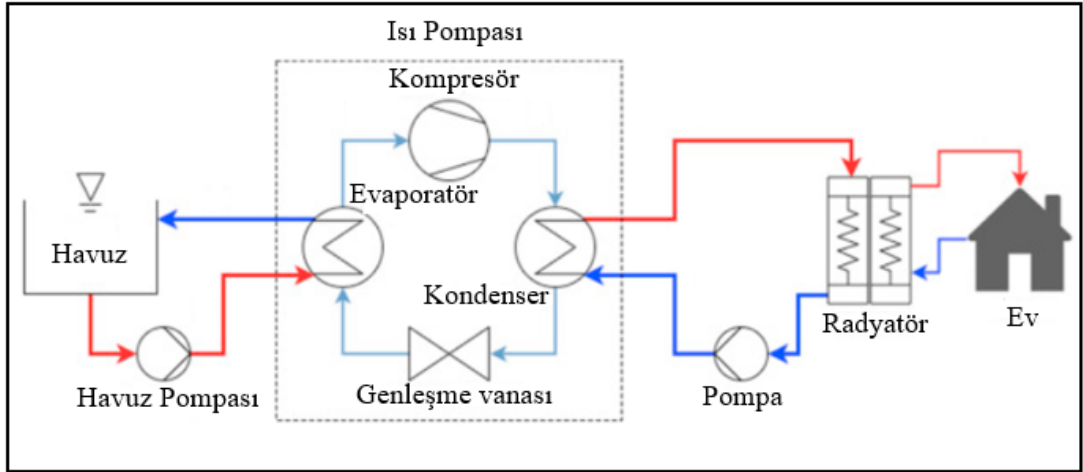
Düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı olarak doğada en kolay bulunan havanın kullanıldığı hava kaynaklı ısı pompaları; ısıtma, soğutma yapan veya sıcak su elde eden sistemlerdir. Çevre havasından elde edilen enerji yük tarafında havaya (fancoil) veya suya (radyatör, yerden ısıtma, boyler) aktarılarak ısının alınıp verildiği ortama göre havadan-havaya ve havadan-suya ısı pompaları olarak adlandırılır (Saçkan, 2018). Hava kaynaklı ısı pompasının genel bir şeması Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Fakat en büyük dezavantajı; hava sıcaklığının düşük, bağıl nemin yüksek olduğu dış ortam şartlarında ısı değiştiricisinde donma olayının gerçekleşmesidir.



Şekil 3.5. Genel bir hava kaynaklı ısı pompası (Özyirmidokuz, 2010).

3.2.2. Su Kaynaklı Isı Pompası

Su kaynaklı ısı pompaları; göl, gölet, nehir, havuz, deniz gibi yer üstü veya yer altı suları gibi su kütlelerini ısı kaynağı olarak kullanır. Yer altı suları yerin 10 m ve altında neredeyse sabit sıcaklığa (4-10°C) sahiptir. Dezavantajı, yeraltına gömülen ısı değiştiricilerin korozyona neden olmasıyla beraber suyun kalitesi düşmektedir. Ayrıca sondaj ve bakım maliyetinin yüksek olması kullanımı zorlaştırmaktadır. Yer üstü suları ise mevsimlere göre değişiklik gösterir ama çevre havasına göre daha kararlı bir yapıya sahiptir. Dezavantajı, kışın sıcaklıkların 0°C'ye kadar düşmesi sebebiyle sistem elemanlarının donma ve kirlenme riskinin oluşmasıdır. Bunu önlemek amacıyla bu sistemler kapalı devre olarak tasarlanabilirler (Saçkan, 2018). Şekil 3.6'da su kaynaklı bir ısı pompası sistemi verilmiştir.

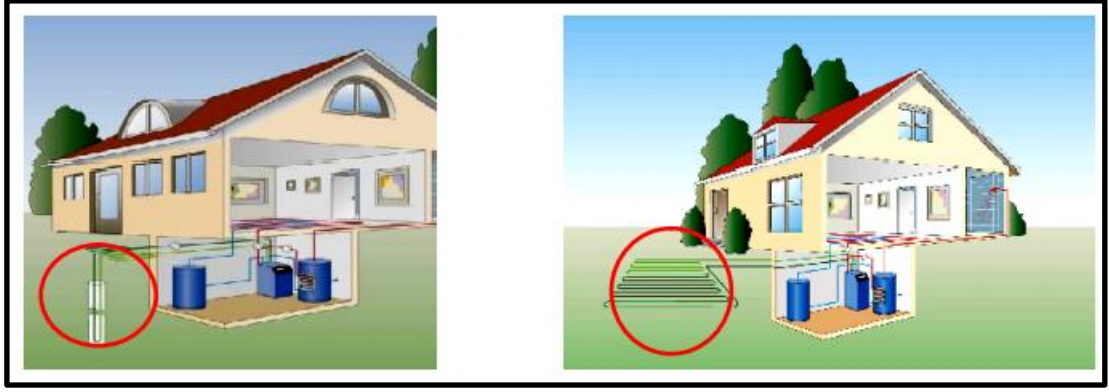


Şekil 3.6. Su kaynaklı bir ısı pompası sistemi (Cardemil, Schneider , Behzad , & Starke, 2021).

Hava kaynaklı ısı pompalarına kıyasla su kaynaklı ısı pompaları daha az karbon emisyonu üretir, su kütlesi sıcaklığının havaya göre daha az dalgalanması sayesinde ortam sıcaklığı koşulları performanslarını önemli ölçüde etkilemez. Fakat su kaynaklı ısı pompalarının konutların yakınında büyük su kütlelerinin ve depolama tanklarının gerekliliği nedeniyle uygulamaları sınırlıdır (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021).

3.2.3. Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Toprak kaynaklı ve jeotermal ısı pompaları ısı kaynağı olarak yerin altında doğal olarak depolanan ısı enerjisini kullanır. Aşırı kış koşullarına sahip bölgeler için uygundur (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021). Toprak sıcaklığı hava sıcaklığına göre daha karardır ve karasal iklimlerde kullanım sağlar. Toprak alanı, yapısı, bileşimi, yoğunluğu, nem miktarı, boruların uygulama derinliği gibi faktörler bu ısı pompalarında önemli rol oynar. Dezavantajları; ilk yatırım maliyetinin yüksekliği, toprak özelliklerinin zamana bağlı değişmesi, boruların yerleştirilmesindeki (dikey ve yatay borulama) güçlükler ve arıza durumunda müdahalenin zor olmasıdır (Saçkan, 2018). Aşağıda Şekil 3.7’de toprak kaynaklı ısı pompası sistemi verilmiştir.

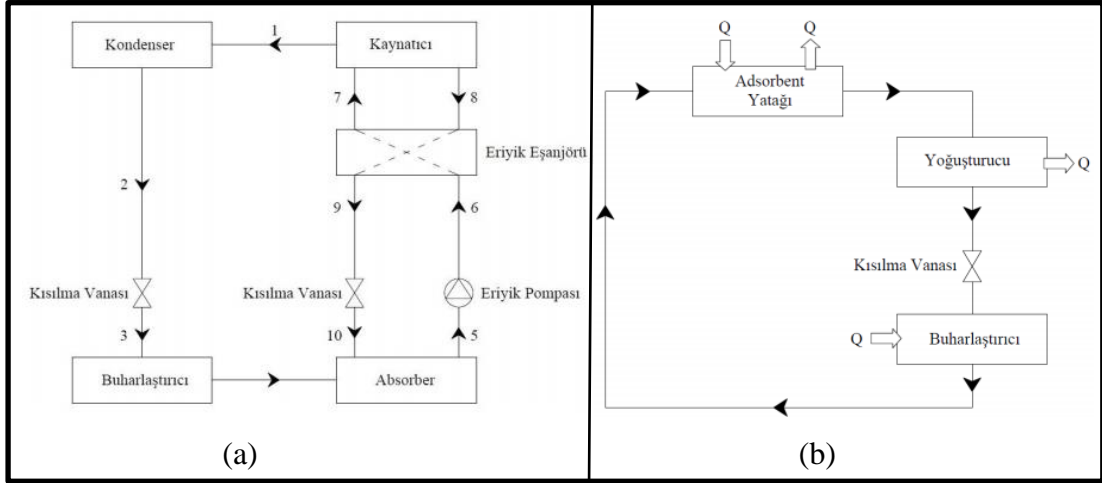


Şekil 3.7. Toprak kaynaklı ısı pompası (Özyirmidokuz, 2010).

3.2.4. Soğurmalı Isı Pompası

Soğurmalı ısı pompaları düşük dereceli ısı kaynaklarından örneğin atık ısıdan gelen termal enerjiyi kullanarak çalışan cihazlardır. Aralarındaki tek farkın termodinamik çevrim olduğu adsorpsiyonlu ve absorpsiyonlu ısı pompaları bu kategoriye girer. Absorpsiyonlu ısı pompalarında sıvı soğutucu akışkanlar kullanılır. Adsorpsiyonlu ısı pompaları endüstriyel tesislerde atık ısıyı değerlendirmek için kullanılır. Hedef atık ısıyı kullanmak ise bu sistemler ilk seçenek olarak değerlendirilir (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021).

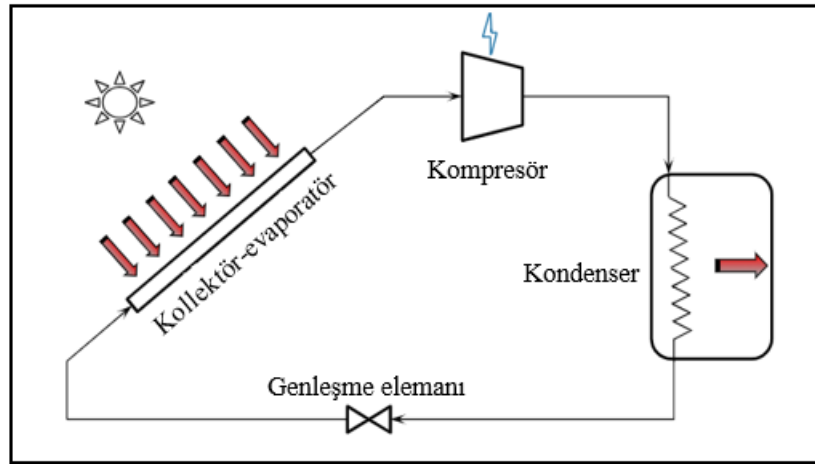
Absorpsiyonlu ısı pompasında yutucu (absorbent) ve soğutucu akışkan olmak üzere iki akışkan dolaşır ve sistemde kaynatıcı, yoğuşturucu, buharlaştırıcı absorber ve eriyik eşanjörü bulunur (Şekil 3.8). Absorpsiyon, sıvı-gaz akışkanın diğer bir sıvı-katı maddenin içine difüzyonu olarak tanımlanır. Adsorpsiyon ise gaz-sıvı maddenin sıvı-katı haldeki başka maddenin yüzeyi ile fiziksel veya kimyasal etkileşme olayıdır. Adsorpsiyonlu ısı pompası sisteminde adsorbent, adsorbent yatağı, yoğuşturucu, buharlaştırıcı, kısılma vanası ve adsorbat bulunur (Şekil 3.8) (Saçkan, 2018).



Şekil 3.8. Absorpsiyonlu ısı pompası (a), Adsorpsiyonlu ısı pompası (b) (Saçkan, 2018).

3.2.5. Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası

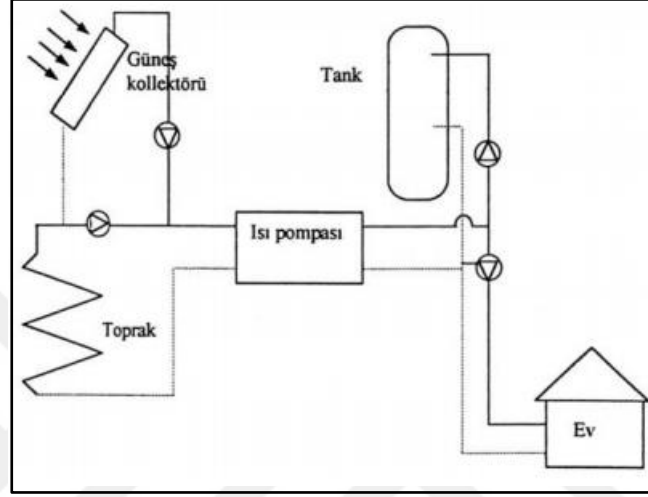
Doğrudan genişmeli güneş destekli ısı pompaları kollektör-buharlaştırıcı, kompresör, kondenser ve genişleme elemanından oluşur (Şekil 3.9). Kollektör-buharlaştırıcı geleneksel düz plakalı güneş kollektörüne kıyasla daha basit ve ucuzdur (Shi, Aye, Li, & Du, 2019).



Şekil 3.9. Doğrudan genişmeli güneş destekli ısı pompası (Shi, Aye, Li, & Du, 2019).

Günel enerjisi destekli ısı pompaları, evsel alan ısıtma ve sıcak su gereksinimleri gibi ısı talebini karşılayabilen verimli ve güvenilir sistemlerdir. Güneşin aralıklı olması

sebebiyle sistemin performansı olumsuz etkilenebilir. Bu yüzden bu sistemlere ek ısı kaynağı eklenerek kullanılabilir. Güneş ışınımının bölgede kalıcı olması koşuluyla güneş teknolojileriyle birleştirilen ısı pompaları daha yüksek COP değerlerine sahiptir. Buna güneş enerjisi destekli bir toprak kaynaklı ısı pompası sistemi örnek verilebilir (Şekil 3.10) (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021).

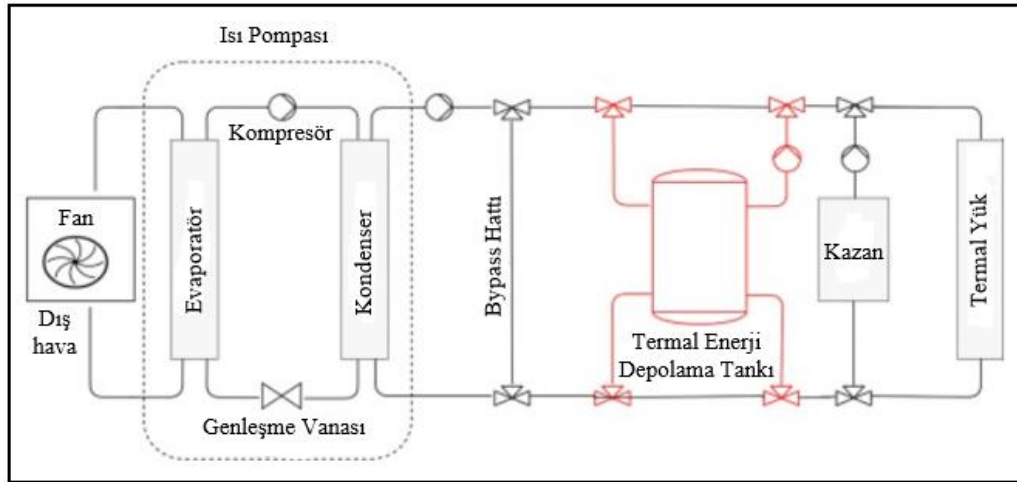


Şekil 3.10. Güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompası sistemi (Saçkan, 2018).

3.2.6. Hibrit Isı Pompaları

Hibrit ısı pompası sistemleri, ısı pompaları ile gaz kazanları veya elektrikli ısıtıcılar gibi geleneksel ısıtma sistemlerinden oluşur. Bu sistemler emisyonları azaltırken evsel ısıtma ve sıcak su ihtiyacını sağlamak için idealdir (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021).

Hibrit sistemler, düşük sıcaklıklarda tek değerlikli sistemlerin verimliliğini artırabilen sistemlerdir. Termal enerji depolamanın kullanımı ile bu sistemlerin çalışması daha verimli hale getirilerek hem işletim maliyeti hem de enerji tüketimi azaltılabilir. Hava kaynaklı ısı pompası ile gaz kazanından oluşan ve termal enerji depolama tankı kullanılan bir hibrit ısı pompası sisteminin şeması Şekil 3.11’de gösterilmiştir (D’Ettore, Conti, Schito, & Testi, 2019).



Şekil 3.11. Hibrit ısı pompası (D'Ettore, Conti, Schito, & Testi, 2019).

Isı pompası sistemlerinin temel özellikleri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

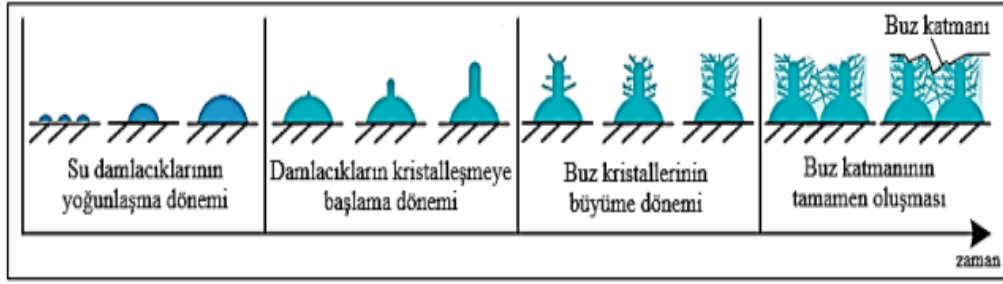
Çizelge 3.1. Isı pompalarının temel özellikleri (Gaur, Fitiwi, & Curtis, 2021).

Isı Pompası Sistemleri	Kurulum Maliyeti	Ort. COP Değerleri	Avantajları	Dezavantajları
Hava Kaynaklı Isı Pompası	En Düşük	3	Basit operasyon, Düşük bakım maliyeti, Yüksek COP, Düşük birincil enerji tüketimi	Dış ünite don oluşumu, Ortam sıcaklığına göre COP değişmesi Soğutucu sızıntısı ve gürültü kirliliğine neden olması
Su Kaynaklı Isı Pompası	Düşük	4,5	Yüksek verim, Ortam koşullarından etkilenmemesi	Çevrede su kütlesi veya depolama tankı gerektirmesi, Kurulum için yasal izin gerektirmesi, Su kirliliğine ve jeolojik felaketlere neden olabilmesi
			Büyük enerji tasarrufu sağlaması, Yüksek COP, Düşük geri ödeme süresi	Kurulum maliyetinin fazla olması, COP değerinin toprak sıcaklığından etkilenmesi,

Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Orta	3,5-4	ile emisyonları azaltması, Geniş ve güvenilir bir ısı kaynağı kullanması, Aşırı kış mevsimi koşullarında çalışabilmesi	Kontrol edilmeyen ısı transfer sıvılarının olması, Yer altı suyu sıcaklığını bozması,
Soğurmalı Isı Pompası	Yüksek	1,8	Kanalizasyon ve tuzlu sudan atık ısı kullanılması,	Düşük COP
Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası	Düşük ila Çok yüksek	Bireysel ısı pompası COP değerinden daha yüksek	Emisyonları azaltabilmesi, Daha yüksek COP edilmesi, Şebeke elektrik tüketimini düşürmesi	%50 Ek kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyması

3.3. KARLANMA ŞARTLARI

Soğutma sistemleri bazı bulunduğu ortamlarda veya ortamda ki şartlarda, uzun süreler boyunca sürekli olarak çalıştığında ısı değiştiricisi yüzeylerinde zamanla yalıtkan görevi gören buz veya don tabakası oluşturur. Bu tabaka ısı geçişi üzerinde olumsuz bir etki yaparak sistemin görevini sağlıklı bir şekilde yerine getirememesine ve bunun sonucunda da sistemin arızalanmasına neden olur. Buz oluşum sürecinin daha iyi anlaşılması için buzlanma aşamalarının şematik gösterimi Şekil 3.3.1’de verilmiştir. Buzun kristal yapısı, buharlaştırıcı yüzeyinde pürüzlülük oluşturarak yüzey alanını artırır. Başlangıçta yüzey alanındaki bu artış ısı transferini artırarak buharlaştırıcının soğutma kapasitesini yükseltir (Karakaş, 2021).



Şekil 3.3.1 Buz oluşum sürecinin şemasal gösterimi (Karakaş, 2021).

Oluşan buzun birtakım faktörlerle yakından ilgisi vardır. Bu faktörlerin ilki dış ortam sıcaklığıdır. Soğuk dış hava sıcaklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı suyun donma noktasının altına düştüğünde karlanma kaçınılmazdır. Diğer bir faktör ise bağıl nemdir. Buharlaştırıcı yüzeyinin ortam sıcaklığından düşük olmasından dolayı, ortamda bulunan nem tanecikleri yüzeye yapışır ve daha sonra faz değiştirir. Faz değiştiren nem tanecikleri bir süre sonra karlanmaya neden olur. Sonuç olarak karlanma, sıcaklık farkları nedeniyle buharlaştırıcının soğuk yüzeyi ile havadaki su buharı arasında temas başladığında karlanma gerçekleşir. Sistemin verimli ve kesintisiz olarak çalışması için oluşan buzun çözülmesi gerekir.

BÖLÜM 4

SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DEFROST YÖNTEMLERİ

Hava kaynaklı ısı pompalarının en önemli sorunlarından bir tanesi, buharlaştırıcı yüzeyinde zamanla biriken buzlanmadır. Buzlanma, sıcaklık farkları sebebiyle buharlaştırıcının soğuk yüzeyi ile havada bulunan su buharı arasında temas başladığında oluşur. Oluşan bu buzlanma soğutma sisteminin performansını olumsuz şekilde etkileyebilir ve ciddi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle sistemin sürekli ve verimli bir şekilde çalışmasının sağlanması için buz çözme işleminin sistematik olarak yapılması gerekmektedir. Buharlaştırıcıdaki buzun uzaklaştırılması veya eritme işlemine buz çözme (defrost) denir. Günümüzde yaygın olarak birtakım yöntemler uygulanmaktadır (Bulut, 2023).

4.1. DEFROST (BUZ ÇÖZDÜRME) YÖNTEMLERİ

Oda soğutucularda, 0 °C'nin altındaki buharlaşma sıcaklıklarında kar eritme (defrost) sistemi mutlaka bulunmalıdır. Aksi halde kanat aralarında donan su, kısa sürede hava hareketini azaltarak (hatta tamamen durdurarak) soğutma işleminin devamına engel olur. Kanat aralarının geniş tutulması bir dereceye kadar karlanma süresinin uzun olmasına yardım eder. Evaporatör buharlaşma sıcaklığı düştükçe kanat aralığı artırılmalıdır (Onat & İsa, 2017).

Defrost yöntemleri pasif ve aktif yöntemler olarak iki bölüme ayrılır. Pasif yöntemler ek bir enerjiye gerek duymayan yöntemlerdir. Amaç bir enerji tüketimi olmadan buzlanmayı yavaşlatmaktır. En çok kullanılan pasif buz çözme yöntemleri şunlardır; yüzey kaplama, yüzey pürüzsüzlüğü, yüzey geometrilerinin doğru seçimi, kapalı çevrimdir (Demir, 2023).

4.2. PASİF BUZ ÇÖZME YÖNTEMLERİ

Buz önleyici kaplama gibi yüzeyin özelliklerini değiştirerek kullanılan pasif defrost metotlarından hidrofilik, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler, sodyum hidroksit karışımı ile hazırlanır. Bu yüzeyler damlacık ve yüzey arasındaki açıya göre adlandırılır. Bunlar buzlanmanın oluşmasını yavaşlatabilir ve yüzeyin suya karşı viskozitesini artırır. Ek olarak defrost süresini kısaltarak enerji sarfiyatını azaltır (Demir, 2023).

Kapalı çevrimde ise evaporatörün bulunduğu mahalin 1°C'den yüksek olduğu şartlarda soğutma sisteminin durdurularak kendiliğinden buzun çözülmesi işlemidir. Erime tamamlandığında kompresör çalıştırılarak soğutmaya devam edilir. Düşük maliyeti ve kolaylığı nedeniyle en fazla tercih edilen yöntemlerdendir. Ama bu yöntemin dezavantajı ise fazla zaman kaybı ve ısıtmanın bir süre durmasıdır.

4.3. AKTİF BUZ ÇÖZME YÖNTEMLERİ

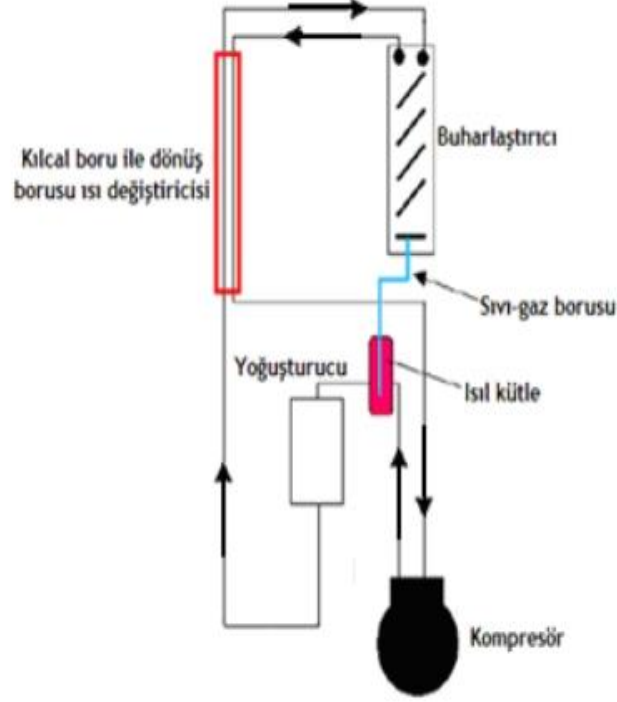
Literatürde bilinen sıkça rastladığımız aktif defrost yöntemleri ise şunlardır;

- Sıcak Gaz Bypass Defrost
- Elektrikli Isıtıcılar ile Defrost
- Isıtılmış Hava ile Defrost
- Ultrasonik Titreşim ile Defrost
- Sulu Defrost
- Faz Değişim Materyali ile Defrost

4.3.1. Sıcak Gaz Bypass Defrost

Aktif buz çözme yöntemlerinden olan Sıcak gaz ile defrost yönteminde kompresör basma hattından gelen yüksek sıcaklık ve basınçtaki, kızgın buhar halindeki akışkan kondensere girmeden ek bir selenoid vanalar sayesinde kontrollü bir şekilde buharlaştırıcıya yönlendirilir. Bu yöntemde, akışkanın yeterli seviyede gelmesi defrost süresini oldukça kısaltır ve ısıtma performansını iyileştirir. Fakat

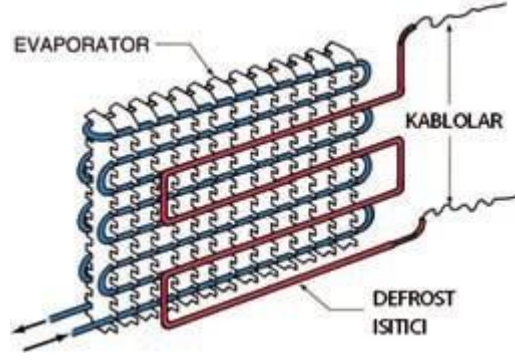
buharlaştırıcıya verilen sıcak gazın ısısını atarak yoğuşması, kompresöre sıvı girmesi ciddi hasarlara sebebiyet verebilir. Bunun olması kabul edilemez bir durumdur. Bu sebeple ek bir buharlaştırıcı gereklidir (Bulut, 2023).



Şekil 4.1. Sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Gümüş, 2009).

4.3.2. Elektrikli Isıtıcılar İle Defrost

Aktif buz çözme yöntemlerinden olan elektrikli ısıtıcılar ile defrost yöntemi küçük ve orta kapasitedeki sistemlerde karşımıza çokça çıkmaktadır. Buharlaştırıcı serpantinleri üzerinde tasarlanmış boşluklara elektrikli ısıtıcılar yerleştirilerek buz çözme işlemi gerçekleştirilir. Isıtıcıların gücü soğutma sisteminin kapasitesine göre seçilmeli ve lameller üzerine düzgün konumlandırılmalıdır. Defrost işlemi zaman röleleri veya manuel olarak kontrol edilir. Oluşan buz katmanının yoğun olması defrost işlemini uzatmaktadır. Bu da enerji tüketimini arttırır. Ayrıca sistem bu işlemlerde durdurulduğu için ısıtma olumsuz etkilenmektedir (Uslu, 2022).



Şekil 4.2. Buharlaştırıcı lameller üzerinde bulunan ısıtıcıların şematik gösterimi (Karakaş, 2021).

4.3.3. Isıtılmış Hava ile Defrost

Aktif buz çözme yöntemlerinden olan ısıtılmış hava ile defrost yöntemleri yaygın olarak sıcak iklim bölgelerinde buharlaştırıcının bulunduğu mahalin 4°C büyük olduğu sistemlerde kullanılır. Buharlaştırıcı fanları bir termostat yardımıyla kontrol edilmekte olup yüzey sıcaklığı 0°C üzerine çıkartılmasıyla defrost işlemi durdurulur. Bu yöntem basit ve etkilidir, fakat özel kabin ihtiyacı ister ve ortamın aşırı ısınmasına sebep olur (Karaağaç, Ergün, Gürel, Ceylan, & Yıldız , 2022).

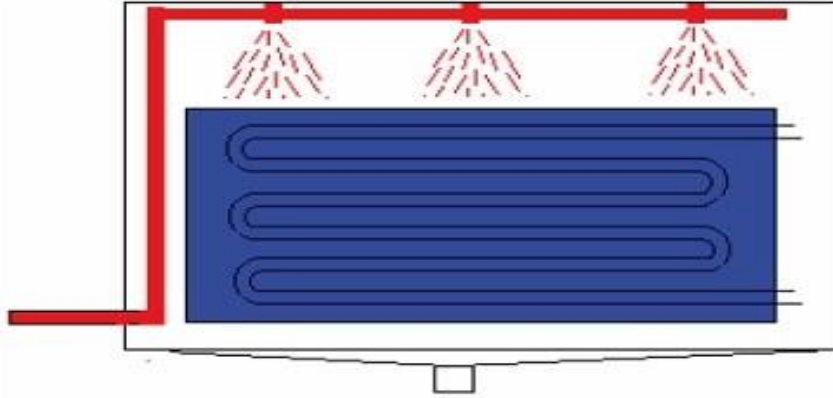
4.3.4. Ultrasonik Titreşim ile Defrost

Aktif buz çözme yöntemlerinden olan ultrasonik titreşim ile defrost yöntemi buz katmanının büyümesini yavaşlatmak için sıkça kullanılır. Yüksek ve orta frekanslı ultrasonik titreşimlerin evaporatör yüzeyindeki buz oluşumunu önemli ölçüde geciktirdiği esası üzerine kurulu bir yöntemdir. Günümüzde ultrasonik titreşimlerin defrost işleminde kullanılması bilinen diğer yöntemlere göre daha azdır (Kütük, 2022).

4.3.5. Sulu Defrost

Aktif buz çözme yöntemlerinden olan sulu defrost yöntemi literatürde bilinen yöntemlere göre ekonomik ve en hızlı defrost yöntemidir. Bu yöntemde fanlar durdurulur ve buharlaştırıcı yüzeyine sıcak su püskürtülür. Fakat püskürtülen suyun

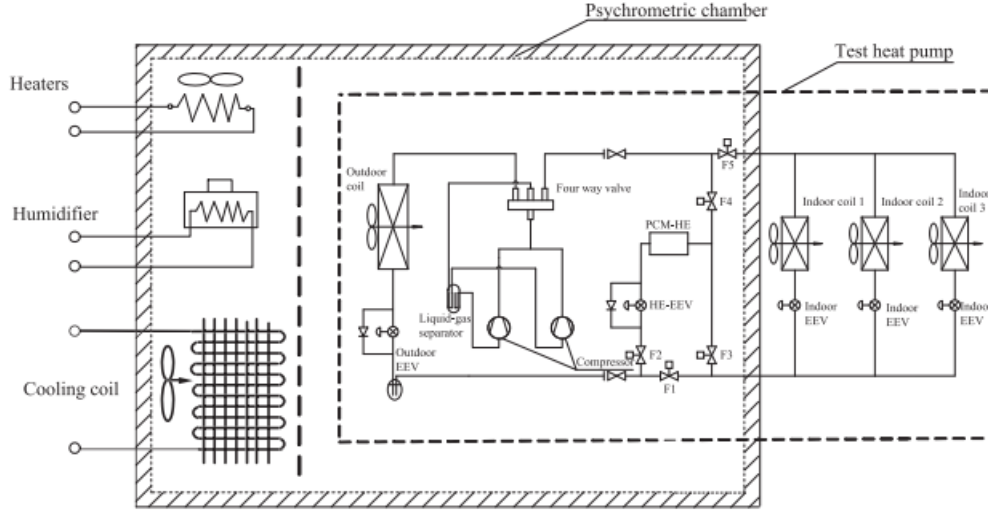
tahliye edilmesi oldukça önemlidir. -40°C 'ye kadar bu sistem yaygın olarak kullanılmaktadır. Suyun hazırlanması ve kontrolünün sağlanması önem arz etmektedir (Karaağaç, Soğutma Sistemlerinde Fotovoltaik Termal Modül Destekli Defrost Uygulaması, 2022).



Şekil 4.3. Ilık su püskürtülerek defrost yöntemi gösterimi (Onat & İsa, 2017).

4.3.6. Faz Değişim Materyalli Defrost

Bu defrost metodunun amacı; ters çevrim ve sıcak gaz bypass defrost metotlarında uzun süren buz çözme ve soğutucu akışkan dolaşımı sorunları ile başa çıkmaktır. Defrost işlemi sırasında düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkanı ısıtmak için ısı kaynağı olarak, ısıtma işlemi sırasında sistem COP değerini arttırmak için subcooler olarak davranan bu ısı değiştirici sisteme eklenmiştir. Sonuç olarak faz değişim materyalli ısı değiştiricilerin defrost sürecini iyileştirmenin iyi bir yol olduğunu belirtmişlerdir. Dong vd. (2015), faz değişimi termal depolamaya dayalı bir ters çevrim defrost metodunu hava kaynaklı ısı pompası üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Defrost süresi normal ters çevrim metoduna göre %60 azaltılıp, ısıtma-yeniden başlama süresi %43 kısaltılmıştır. Bahsedilen sistem Şekil'de gösterilmiştir (Dong, Li, Yao, Jiang , & Tian, 2015).

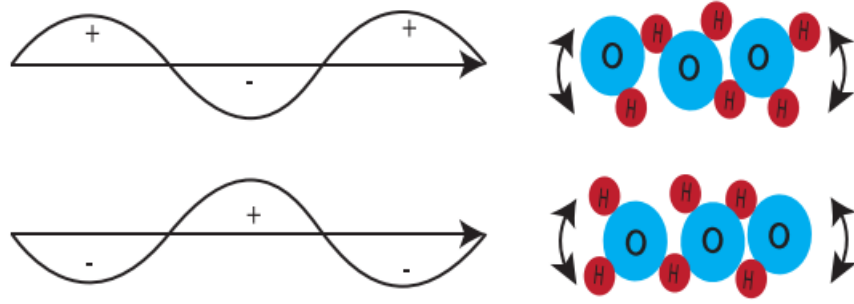


Şekil 4.4. Tasarlanan sistemin şematik gösterimi (Dong, Li, Yao, Jiang , & Tian, 2015).

4.4. MİKRODALGA IŞINLARI İLE YENİ BİR DEFROST İŞLEMİ

Mikrodalga teknolojisi ilk olarak 1921’de mikrodalga kaynağının Hill tarafından bulunması ile hayatımıza girmiştir. II. Dünya Savaşı sırasında Randall ve Boot tarafından İngiliz ordusunun radar takımlarına devamlı bir mikrodalga enerjisi kaynağı üretmek amacıyla yaptıkları çalışmada magnetronun keşfinden sonra mikrodalga enerjisi 1934 yılında, radar (radio detection and ranging) amacıyla Amerikalı deniz subayları Furth ve Tucker tarafından kullanılmıştır. Randall ve Boot sayesinde bulunan magnetronların, Raytheon firması tarafından kopyası yapılmış ve elektrik mühendisi olan Spencer tarafından da daha fazla üretim için magnetron geliştirilmiştir. 1946 yılında radar araştırması yapan Spencer tarafından magnetron adlı vakum tüpü üzerinde çalışırken yiyeceklerin ısıtılabilirdiği görülmüştür (Kutson, Marth , & Wagner , 1987).

Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. Mikrodalgalar, su veya gıdalar gibi dielektrik malzemelerde, Şekil 4.5’te gösterildiği gibi dipol dönüşü ile üretilen moleküler sürtünmeler yoluyla ısı üretir.



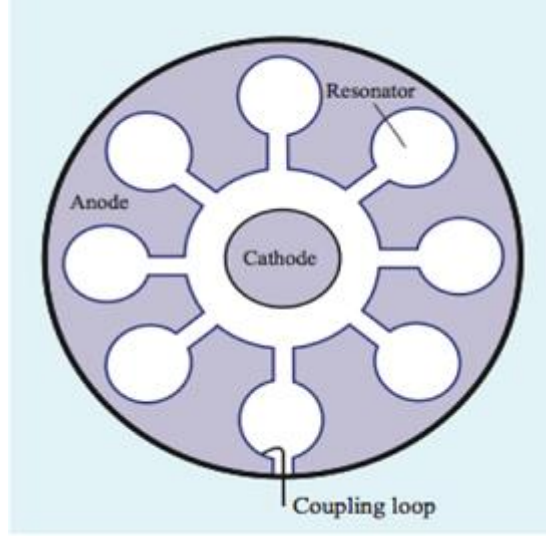
Şekil 4.5. Elektromanyetik spektrumda dipol rotasyonu (Kım, 2012).

Mikrodalga fırınların uluslararası konvansiyonları 2,45 GHz civarında frekanslara sahiptir, yani $\lambda = 12.23\text{cm}$. Birçok metalin kırılma indisi, bu frekans civarında %100'e yakın bir yansıtma verir. Bir mikrodalga fırında, elektriksel olarak dipolar su molekülleri mikrodalga enerjisinin çoğunu emer. Bununla birlikte, buzda su molekülleri sabit konumlarda bir kristal kafes içinde tutulur (Kım, 2012).

Mikrodalga fırının en önemli bileşenlerinden biri olan magnetron, doğru akımlı elektrik enerjisini mikrodalgalara dönüştürerek ısıtmayı gerçekleştirir.

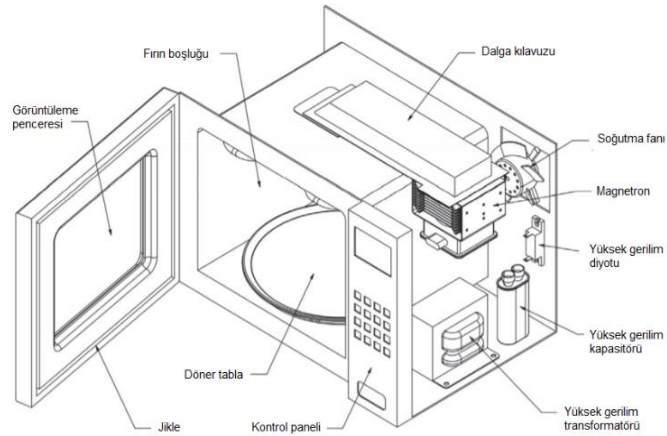
Magnetronlar ekseninde silindirik içi boş bir anotla birlikte katot bulunan dairesel simetrik tüplerdir. Oyukların birine giren anten mikrodalga enerjisini magnetrondan alarak sabitlenmiş dalga kılavuzuna gönderir. Dalga kılavuzu; mikrodalga üretildikten sonra dalganın fırına verilmesini ve ısıtılacak maddeye yönlendirilmesini sağlayan büyük içi boş tüplerdir.

Magnetron elektronların katottan anoda doğru akışını kontrol ederek çalışır. Şekil 4.6'te magnetron yapısı verilmiştir.



Şekil 4.6. Bir magnetronun şematik diyagramı (Kım, 2012, s. 23).

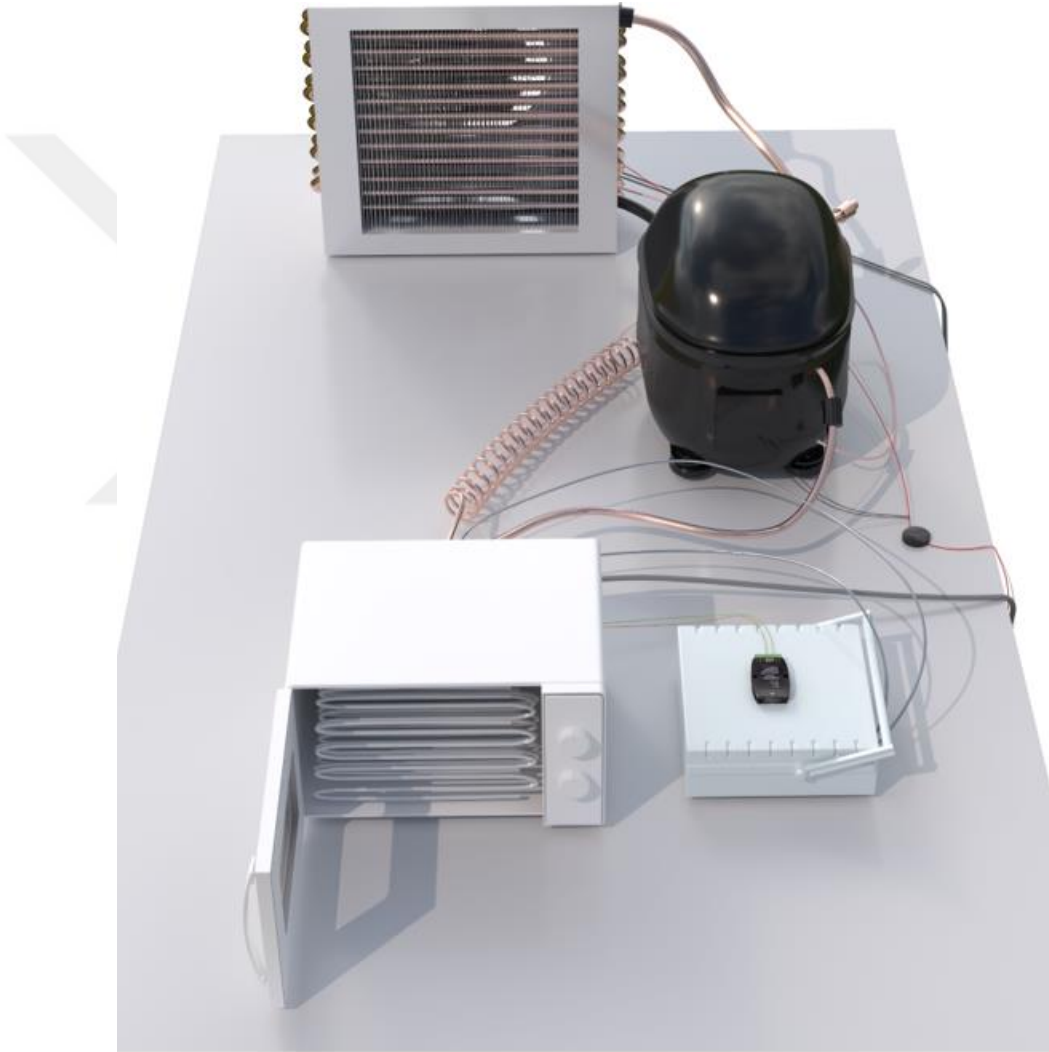
Sıcaklık artışı katottaki moleküler hareket ile hızlanır ve elektronlar kaymaya başlar. Elektron bulutunun sürekli dönme hareketi her oyukta artı yükleri oluşturur. Anodun oyuklarında alternatif akım oluşur. Bu sayede oluşan elektromanyetik dalga anten ile dışarı verilir. Magnetronun ürettiği yüksek enerji bu anten yardımıyla dağıtıcılara aktarılır ve dağıtıcılar dalgaları fırın boşluğuna taşır (Erdem, 2007). Magnetronlar %60-65 verimle çalışır. Dağıtıcılar fan biçiminde olup fırın boşluğuna gönderilen mikrodalga enerjisini dağıtmak amacıyla kullanılır ve düzgün bir enerji dağılımı sağlarlar (Öztürk, 2014). Mikrodalga fırın bileşenleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Mikrodalga fırın bileşenleri (Cooper, 2020).

Mikrodalga sözcüğü ayrıca elektromanyetik dalga boyunun 1 metreden kısa olduğu anlamına gelir. Mikrodalgalar genellikle 300 ila 300.000 MHz frekans aralığında olan elektromanyetik dalgalardır. Mutfak tipi olarak kullanılan mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekansları uygun ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu frekansın seçimi suyun rezonans frekansı değeri olmasıdır (Kartal, 2011).

Bu çalışmada kullanılan deney setinin elemanları şekilde gösterilmektedir.



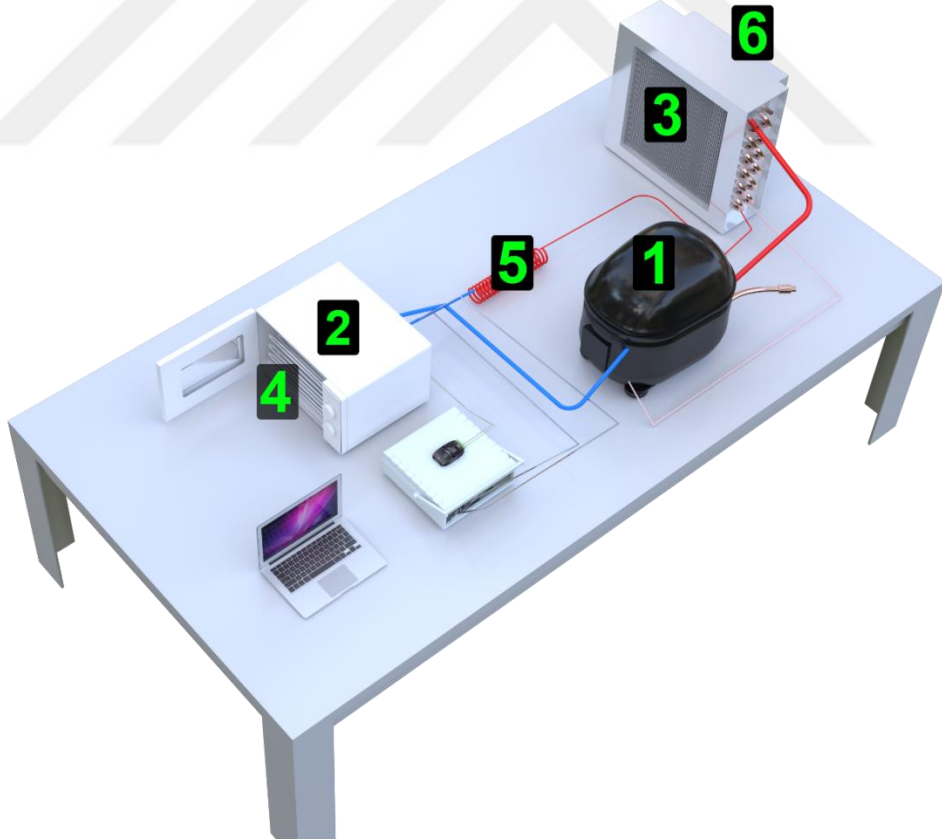
Şekil 4.8. Deney sistemi şematik görüntüsü.

BÖLÜM 5

MATERYAL METOT

5.1. DENEY DÜZENEĞİNİN TASARLANMASI

Yapılan bu çalışmada, hava kaynaklı ısı pompalarının evaporatör yüzeyinde oluşan buzlanmanın, tasarlanan mikrodalgalı bir sistem ile giderilmesi üzerinde çalışılmıştır. Deneysel sistemin soğutma çevrimi Şekil 5.1 de gösterilmiştir. Sistemin sızdırmazlık ve kaçak testi yapılmıştır. Sistemde R-134a soğutucu akışkan gazı kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Tasarlanan sistem görüntüsü.

Şekil 5.1 de gösterilen numaralandırılmış sistemin çevrim elemanları ise Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kullanılan temel elemanlar.

Deney Seti Ekipmanları	
1.	Kompresör
2.	Mikrodalga
3.	Kondenser
4.	Evaporatör
5.	Kılcal Boru
6.	Kondenser Fanı

Deneysel çalışmada kullanılan ölçüm araçları ise Şekil 5.2 de verilmiştir.



Şekil 5.2. Kullanılan ölçüm araçları görüntüsü.

Çizelge 5.2 de ise kullanılan ölçüm araçları tanıtılmıştır.

Çizelge 5.2. Kullanılan ölçüm araçları.

Sistem Ölçüm Elemanları	Kullanım Amacı
1. Elektrik Sayacı- Alfatech	Deney düzeneği elektrik tüketimini kW/h cinsinden izlemek amacıyla kullanılmıştır.
2. Dijital Termo-Higrometre- Testo 625	Ortam havasının nemini ve sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır.
3. Data Logger- Ordell marka UDL200-05/20	Termokupl'lardan algılan sıcaklık değerlerini analiz ederek farklı günlerde yapılan deneyleri raporlamak için kullanılmıştır.
4. Termokupl	Seçilen noktalardan sıcaklık algılamamızı sağlayan kablo tipi iletkenlerdir.
5. 1/128 mm Kumpas	Deney esnasında oluşan karlanmaları ölçmek için kullanılmıştır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada yapılan deneyler numaralandırılarak açıklanmıştır.

Birinci deneyde 2 saatlik soğutma yapılarak sistem sürekli rejim haline getirildikten sonra, evaporatör yüzeyindeki karlanma bir kumpas yardımıyla ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Daha sonra kompresör durdurularak yani kapalı konumuna alınarak evaporatör yüzeyinde oluşmuş olan karlanmanın kendiliğinden ortam şartlarında ne kadar sürede eridiği gözlemlenmiş ve termokupl ile alınmış sıcaklık değerleri data logger aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır.

2. deneyde ise sistem 2 saat çalıştırılıp sürekli rejim haline getirildikten sonra oluşan karlanmayı mikrodalga ile eritmek amaçlanmıştır. Fakat daha öncesinde yapılan deneyler sonucunda edinilen bilgilerden yola çıkılarak bu deneyi gözlemlemek için mikrodalga içerisine ek bir su koyulması gerekmektedir. Eğer böyle yapılmaz ise mikrodalga içerisinde yayılan fotonlar ark oluşumuna sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla mikrodalga içerisine 200 ml su konularak karlanma ölçülmüş daha sonra soğutma sistemi durdurulmadan, mikrodalga çalıştırılmıştır. Sıcaklık değerleri termokupl ile alınmış, data logger ile bilgisayara aktarılmıştır. Deney sonunda çözünmeler kısmen görülmüştür.

3. deneyde, 1 ve 2'nci deneylerden alınan sonuçlar yorumlanarak buzlanmayı daha da arttırıp çözünmeyi ise hızlandırmak hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle evaporatör yüzeyine 1 saat soğutmanın ardından soğutma devam ederken su püskürtülerek buzlanma oluşumunun arttırılması istenmiştir. 2 saat soğutma ardından oluşan buzlanmanın daha önceki soğutmalara göre daha fazla olduğu kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

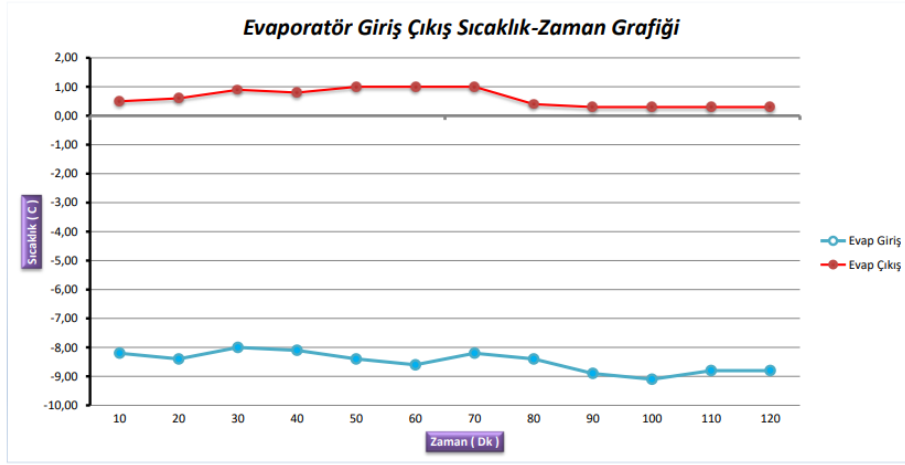
Sonrasında ise oluşan buz katmanına tekrar su püskürtülerek dış ortam şartlarında kendiliğinden erimeye bırakılmıştır. Su püskürtülerek alınan deneyin 1.nci deneydeki karlanmaya göre daha fazla olduğu ve çözünmeye etkisinin daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.

4.deneyde ise önceden alınan deneylerden bilgiler harmanlanarak hem kesintisiz ısıtma hem de defrost işlemini başarıyla sonuçlandırma amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan deneyde sistem çalıştırdıktan 1 saat sonra evaporatör yüzeyine 10 Ml su püskürtülerek karlanmayı daha çok arttırmış, soğutma işlemine 1 saat daha devam edilerek mikrodalga içerisine 2.deney ve başarısız deneylerden yola çıkılarak 200 Ml su konulmuş ve ark oluşumunu ortadan kaldırarak fotonların evaporatör yüzeyindeki karlanmaya doğrudan yönelmesi hedeflenmiştir. Daha sonra mikrodalga tam kapasite çalıştırılarak sistem durdurulmadan evaporatör yüzeyindeki buzun tamamen eridiği kayıt altına alınmıştır.

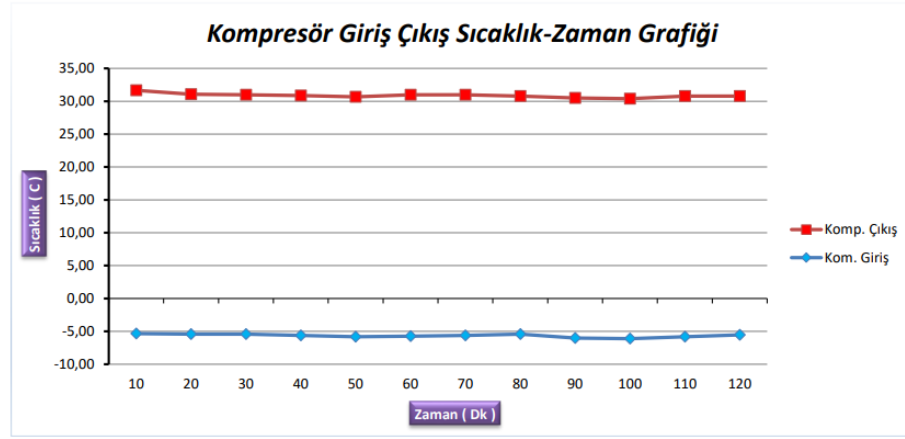
Deney sisteminde soğutucu akışkan gazı olarak R-134a kullanılmıştır. Deneyler ortam şartları değiştirilmeden aynı değerlerde alınmıştır. Deney sisteminde uygulanan her deney için sistem sürekli rejim haline getirilmiştir ve minimum 2 saat soğutma yapılmıştır. Deney sistemi boyunca elektrik tüketimleri bir sayaç yardımıyla ayrı ayrı hesaplanarak değerlerin Excel ortamında grafikleri çıkartılmıştır.

6.1. DIŞ ORTAM ŞARTLARINDA KOMPRESÖR DURDURULARAK DEFROST İŞLEMİ

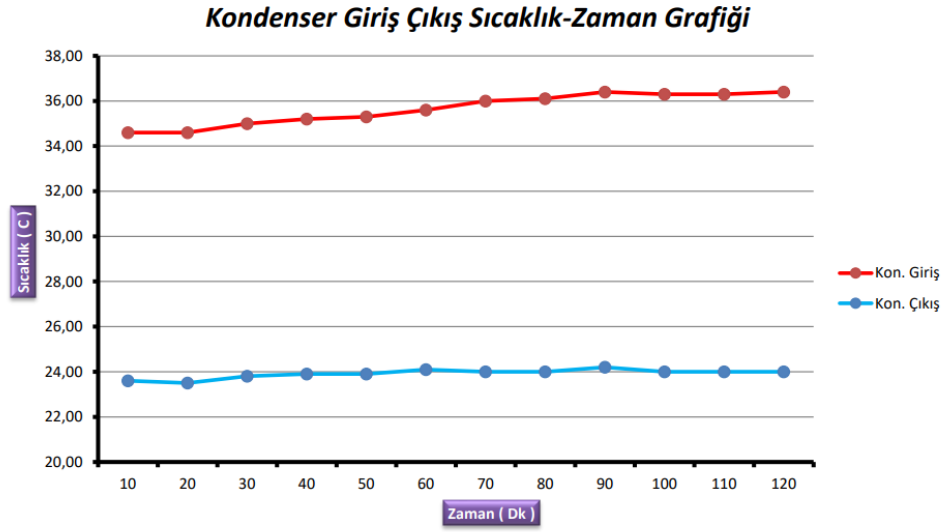
Çalışmada bir termo-higrometre yardımıyla deney öncesi ortam şartları, sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi %44,2 ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Deney sistemi 2 saat çalıştırılarak sistem sürekli rejim haline alınmıştır. Daha sonra evaporatör yüzeyinde ve kompresör girişte oluşan buz kalınlığı 1/128 mm lik bir kumpas yardımıyla sırasıyla 10 mm den 11,25 mm ve 13,70 mm olarak ölçülmüştür. Devamında kompresör kapalı moduna alınarak dış ortam şartlarında kendiliğinden ne kadar sürede eridiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmamızda elde edilen verilerin Excel programı yardımıyla grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 6.1. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

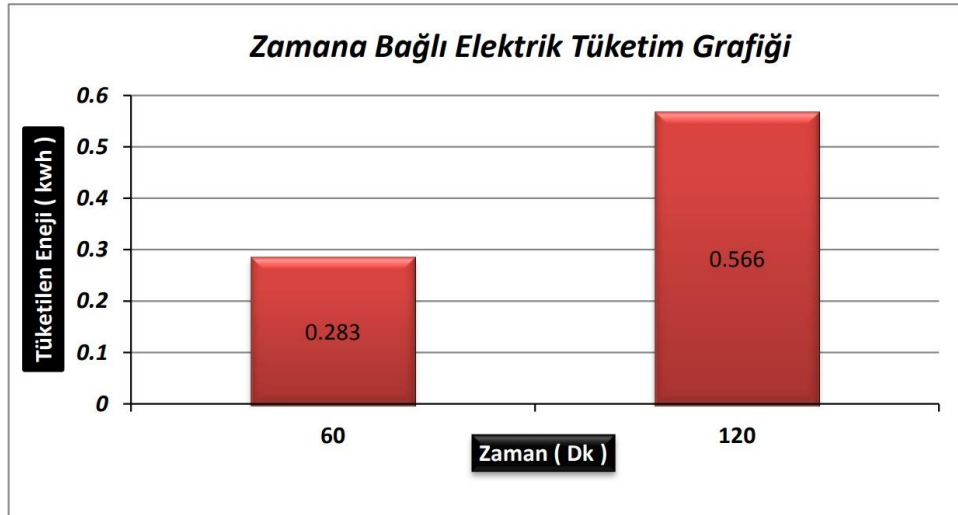


Şekil 6.2. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.



Şekil 6.3. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

Bu çalışmamızda tüketilen elektrik bir sayaç yardımıyla hesaplanarak değerlerin Excel ortamında grafiği çıkartılmıştır.



Şekil 6.4. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi.

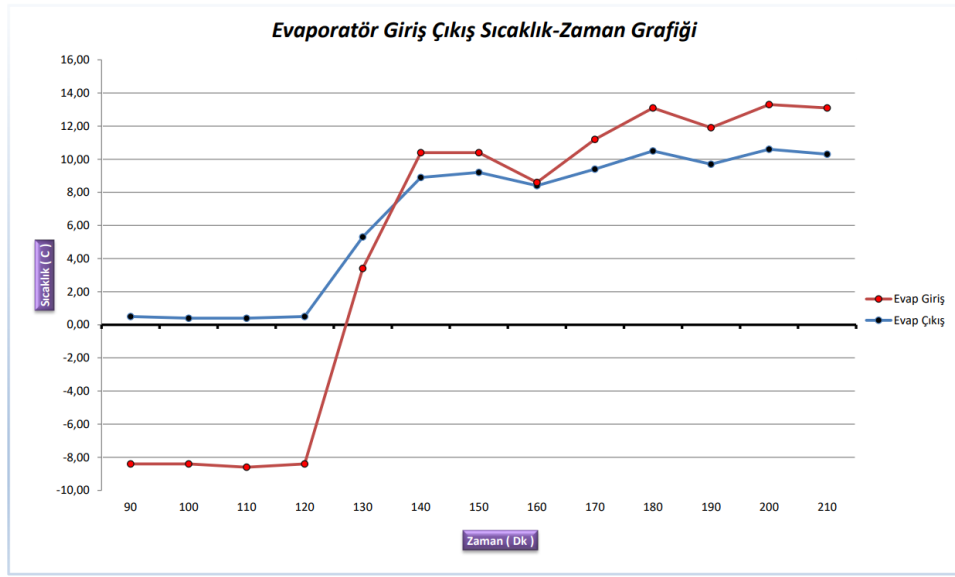
Kompresör durdurulduktan sonra evaporatör yüzeyindeki karlanmanın dış hava şartları ile tamamen erimesi 240 sn olarak gözlemlenmiştir. Aynı zamanda

evaporatör yüzeyi ve kompresör girişindeki erime ise 324 sn olarak kayıt altına alınmıştır.

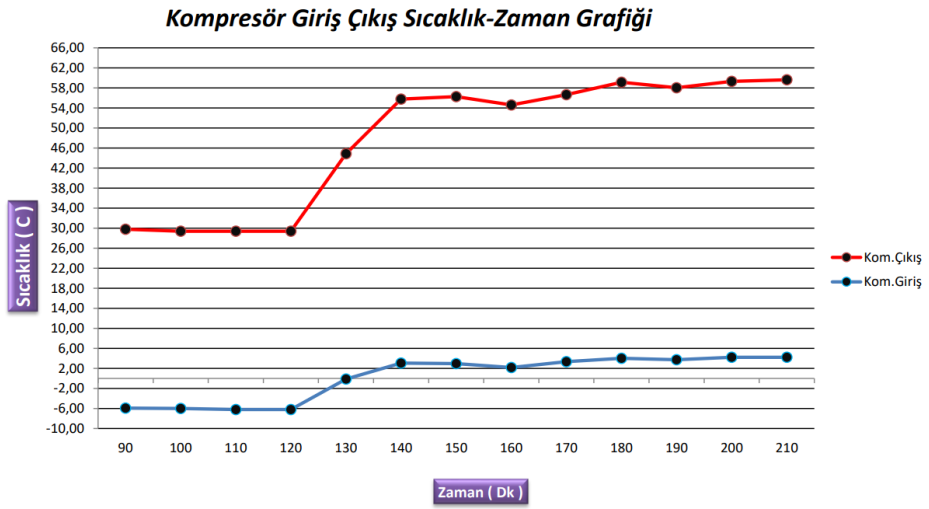
6.2. MİKRODALGA AÇIK KONUMUNDA İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN 200 ML SU İLE 600 WATT GÜCÜNDE ALINAN DEFROST İŞLEMİ

Bu çalışmamızda bir termo-higrometre yardımıyla deney öncesi ortam şartları, sıcaklığı 20 °C, bağıl nemi %53,3, çığ noktası sıcaklığı 11,7 °C ve yağ termometre sıcaklığı 15,3 °C ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Soğutma sistemi 2 saat çalıştırılarak sistem sürekli rejim haline alındıktan sonra sistem çalışır iken karlanmanın mikrodalga ile çözdürülmesi amaçlanmıştır. Fakat daha öncesinde yapılan deneyler sonucunda edinilen bilgilerden yola çıkılarak bu deneyi gözlemlenmek için mikrodalga içerisine ek bir su koyulması gerekmektedir. Eğer böyle yapılmaz ise mikrodalga içerisinde yayılan fotonlar ark oluşumuna sebebiyet vermekte ve yangına yol açabilmektedir. Dolayısıyla mikrodalga içerisine 200 ml su konulmuştur. Daha sonra evaporatör yüzeyinde ve kompresör girişte oluşan buz kalınlığı 1/128 mm'lik bir kumpas yardımıyla sırasıyla 10 mm'den 11,25 mm ve 14,25 mm olarak ölçülmüştür. Sonrasında ise sistem çalışır vaziyette iken mikrodalga çalıştırılarak sayısal veriler alındı. Mikrodalga gücü 600-Watt olarak ayarlanıp sistem üzerindeki etkisi izlenmiştir. Evaporatör giriş çıkış sıcaklıklarının düşüşünün gözlemlenmesi sonucunda suyun bittiği anlaşılmış ve sisteme 160 ve 190'ncü dakikalarda toplamda 400 ml daha su takviyesi yapılmıştır. Yapılan gözlemler neticesinde evaporatör çıkış sıcaklığının uzun süre stabil kalmasından dolayı deney durdurulmuştur. İzlenimler sonucunda kompresör girişinin tamamen eridiği, evaporatör yüzeyinin ise kısmen eridiği görülmüştür.

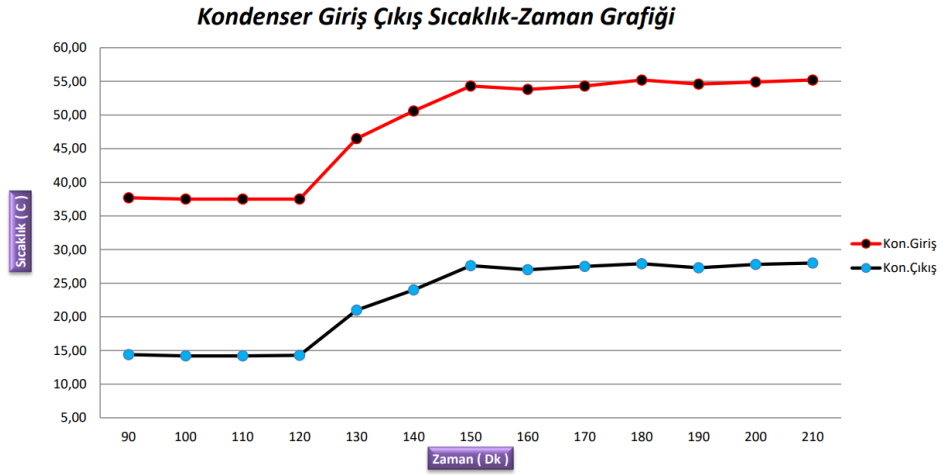
Bu çalışmamızda elde edilen verilerin Excel programı yardımıyla grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 6.5. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

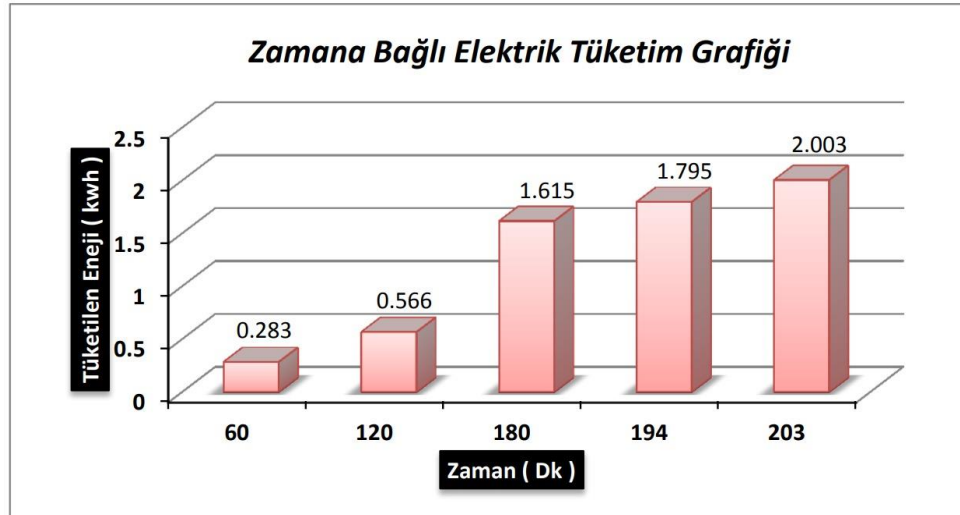


Şekil 6.6. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.



Şekil 6.7. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

Bu çalışmamızda tüketilen elektrik bir sayaç yardımıyla hesaplanarak değerlerin Excel ortamında grafiği çıkartılmıştır. Soğutma sisteminin 1 Saatlik elektrik tüketimi 0,283 kW/h dir. Sistem 2 saat sonunda 0,566 kW/h elektrik tüketmiştir. Mikrodalga 600-Watt gücünde devreye alındıktan sonra 1 saat sistem ile birlikte çalıştığında ikisi birlikte toplam 1,049 kWh elektrik tüketmiştir. Deney süresince toplam 3 saat 23 dk sistemde çalışılmış ve total olarak 2,003 kWh enerji sarfiyatı harcanmıştır.



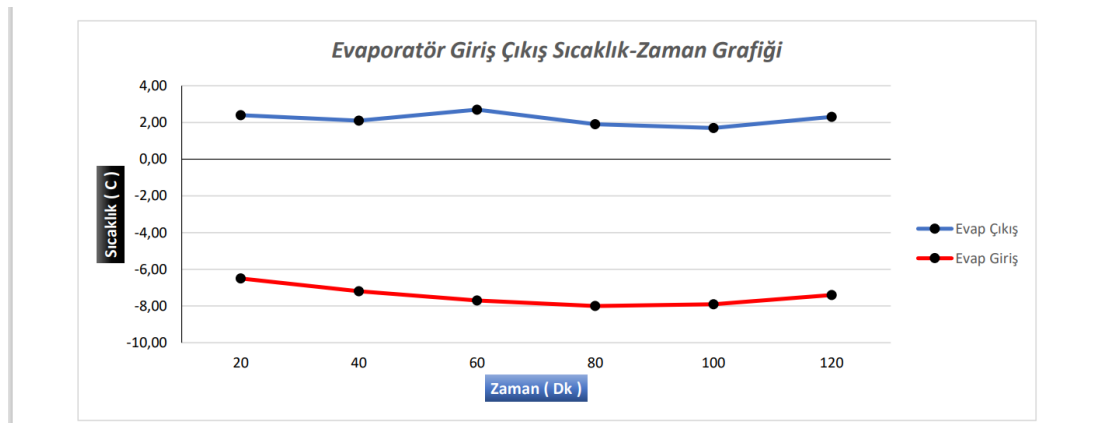
Şekil 6.8. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi.

Karlanmanın etkisi evaporatör ve kompresör girişinde tamamen olmakla birlikte evaporatör yüzeyinde ise sadece magnetrona yakın yerlerde tamamen, yüzeylerinde ise kısmen çözündüğü görülmüştür.

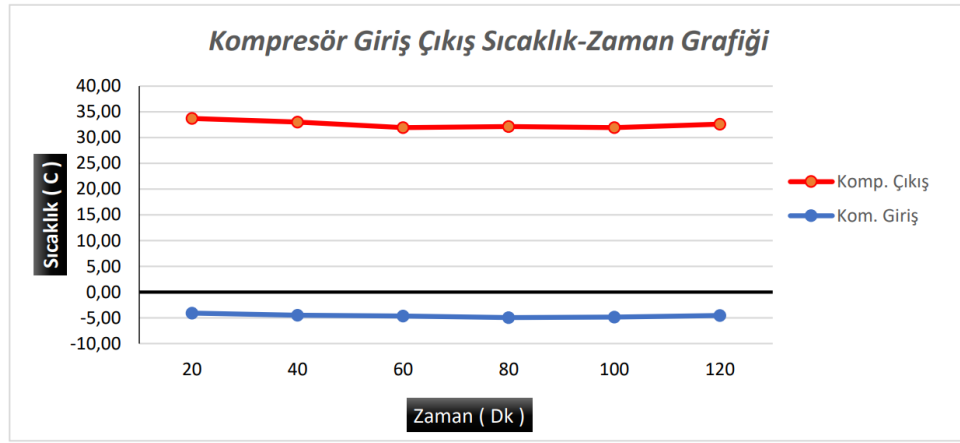
6.3. EVAPORATÖR YÜZEYİNE 50 ML SU PÜSKÜRTÜLEREK YAPILAN DEFROST İŞLEMİ

Bu çalışmada da bir termo-higrometre yardımıyla deney öncesi ortam şartları, sıcaklığı 21,5 °C, bağıl nemi %49,5, çığ noktası sıcaklığı 15 °C ve yaş termometre sıcaklığı 10,6 °C ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. 1 ve 2'nci deneylerden alınan sonuçlar yorumlanarak bu çalışmanın yapılması uygun görülmüştür. Buzlanmanın daha da arttırılıp çözünmenin ise hızlandırılması hedeflenmiştir. Bu hedef dolayısıyla 1 saatlik soğutmanın ardından evaporatör yüzeyine ve kompresör girişine 25 ml olmak üzere su püskürtülmüştür. Daha sonra 1 saat daha soğutma yapılmasının ardından evaporatör yüzeyinde ve kompresör girişinde oluşan buz kalınlığı 1/128 mm lik bir kumpas yardımıyla sırasıyla 10 mm'den 14,3 mm ve 15,10 mm olarak ölçülmüştür. 2.nci saatin sonunda aynı miktarda tekrar su püskürtülerek kompresör kapatılarak dış ortam şartlarında kendiliğinden erimeye bırakılmıştır.

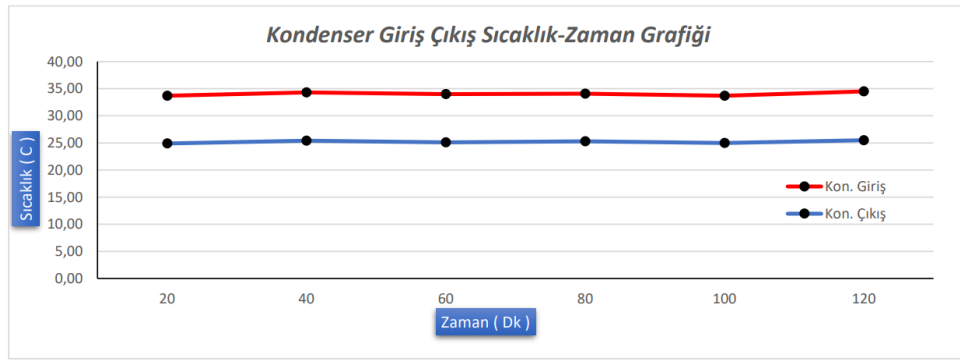
Bu çalışmamızda elde edilen verilerin Excel programı yardımıyla grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 6.9. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

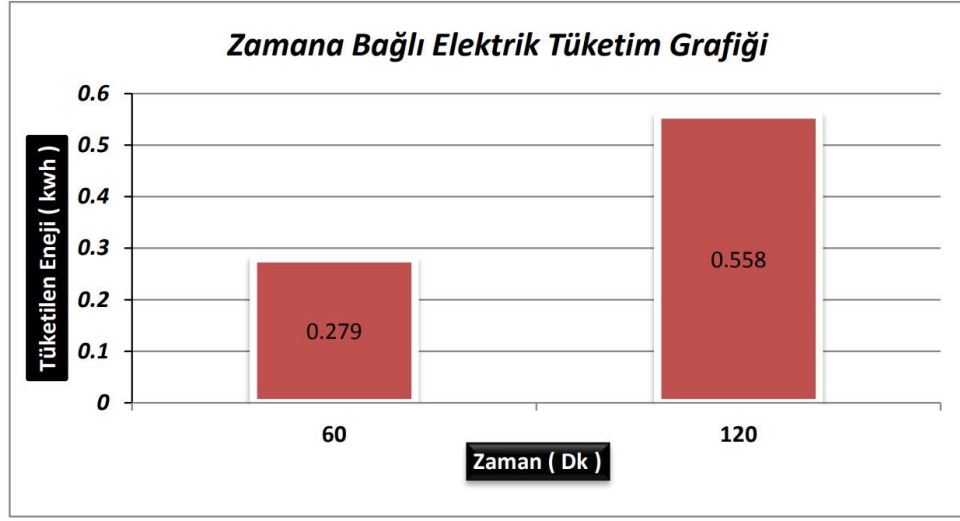


Şekil 6.10. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.



Şekil 6.11. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

Bu çalışmamızda tüketilen elektrik bir sayaç yardımıyla hesaplanarak değerlerin Excel ortamında grafiği çıkartılmıştır.



Şekil 6.12. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi.

Kompresör durdurulduktan sonra evaporatör yüzeyinin 200 saniyede, kompresör girişinin ise 268 saniyede eridiği gözlemlenmiştir.

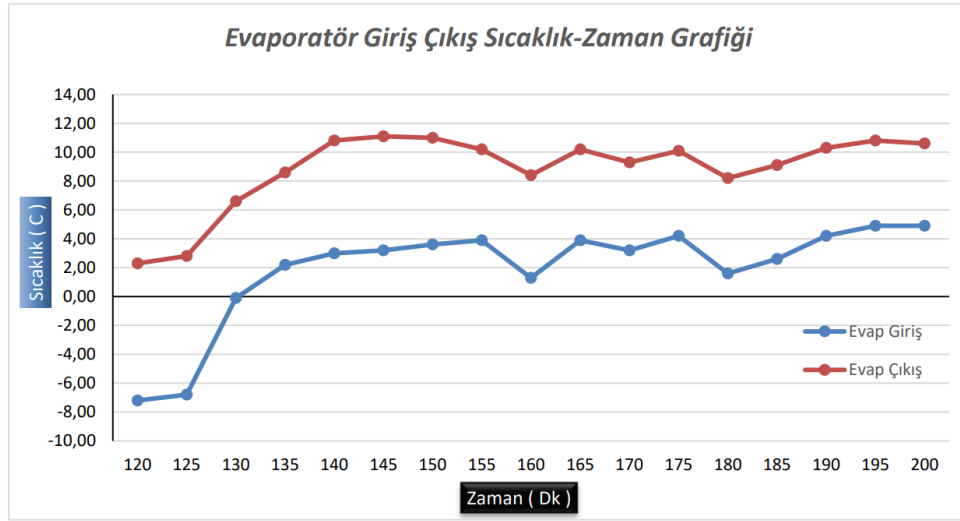
- Sonuç olarak sprey su sıkılarak defrost işlemleri ile kendiliğinden erimeyle defrost işlemleri kıyaslandığında, buzlanma evaporatör yüzeyinde %244 oranında artırılmış ve %16,66 daha hızlı çözülmüştür. Aynı şekilde kompresör yüzeyinde ise buzlanma %37,83 oranında artırılmış ve %17,28 oranında daha kısa sürede çözülmüştür.

6.4. MİKRODALGA AÇIK KONUMUNDA İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLEN 200 ML SU VE 10 ML PÜSKÜRTÜLEN SU İLE 800 WATT GÜCÜNDE ALINAN DEFROST İŞLEMİ

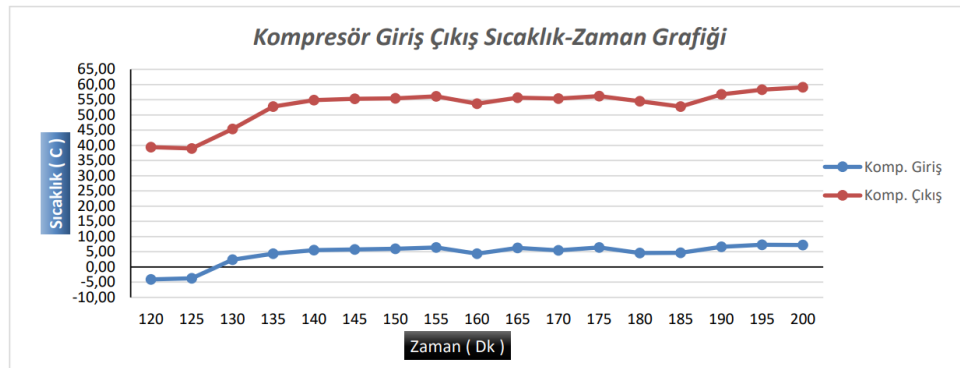
Çalışmamız öncesinde bir termo-higrometre yardımıyla deney öncesi ortam şartları, sıcaklığı 21,4 °C, bağlı nemi %55,5, çiğ noktası sıcaklığı 11,9 °C ve yağ termometre sıcaklığı 15,76 °C ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Yapılmış olan önceki deneyler bu çalışmanın yapılmasına dayanak oluşturmuştur. Bu çalışmada kesintisiz ısıtma ve tam erimenin gerçekleşmesi amaçlanmıştır. Bu hedef dolayısıyla 1 saatlik

soğutmanın ardından buzlanmanın daha çok olması için evaporatör yüzeyine ve kompresör girişine 10 Ml olmak üzere su püskürtülmüştür. Daha sonra 1 saat daha soğutma yapılmasının ardından evaporatör yüzeyinde ve kompresör girişte oluşan buz kalınlığı 1/128 mm lik bir kumpas yardımıyla sırasıyla 10 mm den 14,1 mm ve 14,4 mm olarak ölçülmüştür. 2.nci saatin sonunda içerisine 200 Ml su konularak, mikrodalga tam güçte devreye sokulmuştur.

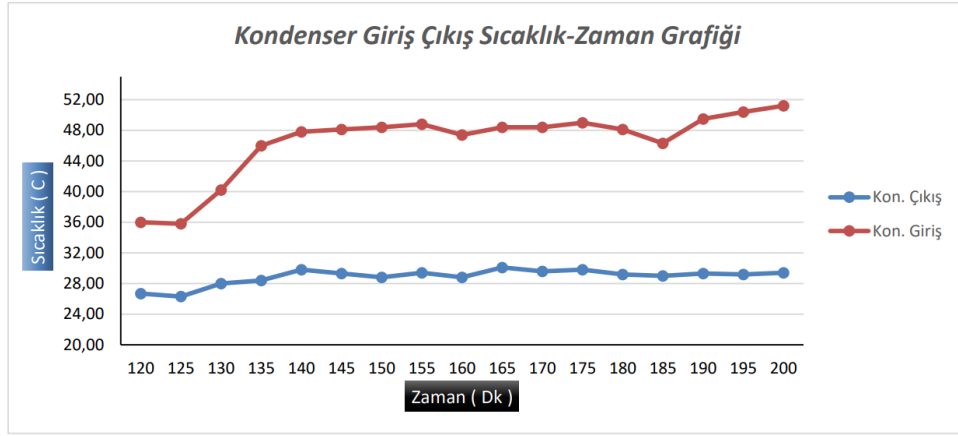
Bu çalışmamızda elde edilen verilerin Excel programı yardımıyla grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 6.13. Evaporatör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

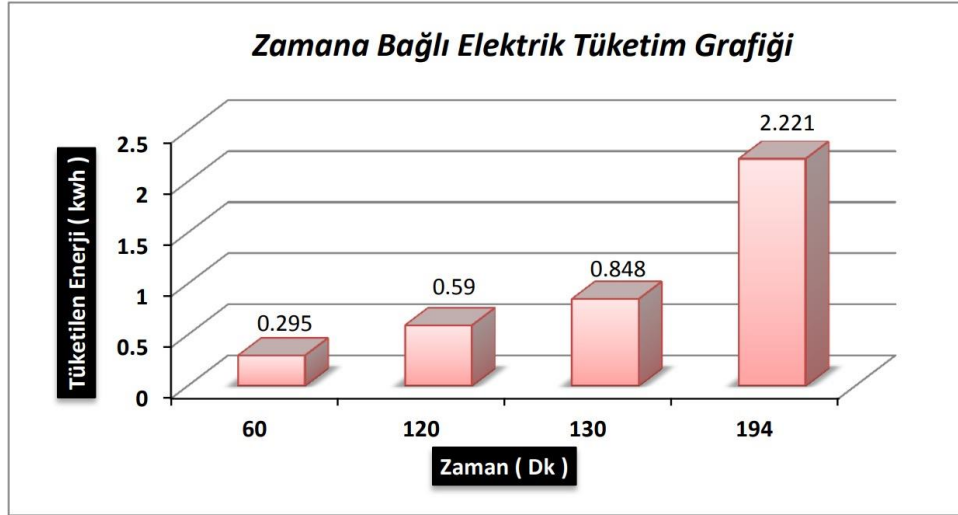


Şekil 6.14. Kompresör giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.



Şekil 6.15. Kondenser giriş çıkış sıcaklık-zaman grafiği.

Bu çalışmamızda tüketilen elektrik bir sayaç yardımıyla hesaplanarak değerlerin Excel ortamında grafiği çıkartılmıştır. Soğutma sisteminin 1 Saatlik elektrik tüketimi 0,295 kW/h dir. Sistem 2 saat sonunda 0,590 kW/h elektrik tüketmiştir. Mikrodalga 800-Watt gücünde devreye alındıktan 10 dakika sonra sistem ile birlikte çalıştığında ikisi birlikte toplam 0,258 kWh elektrik tüketmiştir. Deney süresince toplam 3 saat 14 dk sistem çalışılmış ve total olarak 2,221 kWh enerji sarfiyatı harcanmıştır.



Şekil 6.16. Deney süresinde tüketilen elektrik enerjisinin zamana bağlı değişimi.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmanın bu bölümünde elde edilen literatür taramasına ve bulgulara dayalı olarak sonuç ve öneriler yer almaktadır. Bu araştırma ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Bu tez çalışmasında, hava kaynaklı ısı pompalarının karşılaştığı en önemli sorunlardan biri olan buzlanma problemi, enerji verimliliğini arttırmaya yönelik yenilikçi bir defrost yöntemi kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Mikrodalga ışınlarının defrost işlemi üzerindeki etkisi detaylı deneylerle incelenmiş, farklı koşullar altında sistemin performansı değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar ile tasarlanan sistemin kış mevsiminde sistemin defrost işlemi yapılabildiği gösterilmiştir.

- Deney boyunca toplam 4 defrost işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işlemler için totalde 5,348 kWh güç harcanmıştır. Her soğutma için ortalama 0,566 kWh güç harcanmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda, mikrodalga ışınlarının evaporator yüzeyindeki kuru buzlanmayı etkilemediği, mikrodalga içerisinde ark oluşumuna sebebiyet vermekte olduğu görülmüş ve bu sebepten dolayı mikrodalga içerisine ek bir su yerleştirilmiştir.
- Sprey su sıkılarak defrost ile kendiliğinden erimeyle defrost deneyleri karşılaştırıldığında; evaporatör yüzeyine uygulanan su yardımıyla buz kalınlığı %244 oranında artırılıp aynı zamanda %16,66 oranında daha hızlı çözüldüğü ispatlanmıştır. Kompresör yüzeyinde ise buz kalınlığı %37,83 oranında artırıldıktan sonra %17,28 oranında daha hızlı sürede eridiği ispatlanmıştır. Bağlı nemin buzlanma üzerindeki temel sebep olduğu görülmüştür.

- 600 ve 800-Watt gücünde mikrodalga ile sistem beraber çalıştığında sırasıyla 1,049 kWh, 1,548 kWh enerji tüketildiği hesaplanmıştır.
- 600-Watt gücünde alınan deneyde sistemin uzun bir süre stabil kaldığı, buzun kısmen eridiği tam çözünme gerçekleşmediği kaydedilmiştir.
- 800-Watt gücünde alınan deney ile 600-Watt gücünde alınan deney kıyaslandığında, evaporatör yüzeyinde buzlanma %228 oranında ve kompresör yüzeyinde buzlanma ise %3 oranında arttırılmış olmakla beraber erime süresi ise 900 saniyeden 360 saniyeye düşürülerek %150 oranında daha hızlı çözünme gerçekleştirilmiş ve kesintisiz ısıtma sağlanmıştır.
- Mikrodalga destekli defrost yöntemi, sadece enerji tasarrufu sağlamakla kalmamış, aynı zamanda sistemin kesintisiz çalışmasına da olanak tanımıştır. Bu durum, özellikle soğuk iklimlerde çalışan hava kaynaklı ısı pompalarının performansını önemli ölçüde iyileştirme potansiyeli taşımaktadır. Sıcak gaz bypass ve elektrikli ısıtıcılar gibi geleneksel yöntemlere kıyasla, mikrodalga ile gerçekleştirilen defrost işleminin daha hızlı sonuç verdiği gözlemlenmiştir.
- Gelecekte yapılacak çalışmalarla, bu yöntemin farklı iklim koşullarında test edilmesi ve sistemin daha büyük ölçekli uygulamalarda değerlendirilmesi, mikrodalga destekli defrost yönteminin genel geçerliliğini artırabilir.
- Çalışmada kullanılan R-134a soğutucu akışkanlar yerine çevre dostu ve enerji fiyatları yüksek alternatif soğutucular ile benzer deneylerin yapılması, sistemin ekonomik olarak sürdürülebilirliği sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. O. Karaağaç, A. Ergün, A. E. Gürel, İ. Ceylan and G. Yıldız , "Assessment of a novel defrost method for PV/T system assisted sustainable refrigeration system," *Energy Conversion and Management*, 2022.
- [2] L. Zhaoyang, W. Wei, S. Yuying, L. Shimin, D. Shiming, L. Yao and W. Xu, "A novel defrosting initiating method for air source heat pumps based on the optimal defrosting initiating time point," *Energy & Buildings*, 2020.
- [3] W. Chunling, W. Zhichao, Y. Yingxia, Z. Wenyuan , L. Xiaofeng, X. Zhaowei and W. Yichao, "Field experimental research on retarding frosting and improving defrosting performance of air source heat pumps through variable frequency technology," *Journal of Building Engineering*, 2022.
- [4] K. Jonas, H. Muhab, V. Valerius, V. Christian and M. Dirk, "Efficiency comparison between defrosting methods: A laboratory study on reverse-cycle defrosting, and warm brine defrosting," *Applied Thermal Engineering*, 2023.
- [5] A. N. Malik, "Development of a novel hybrid frost detection and defrost system for refrigeration systems and its applications," Koç Üniversitesi Fen Bilimleri ve Mühendislik Yüksek Okulu Doktora Tezi, İstanbul, 2021.
- [6] P. Bansal, D. Fothergill and R. Fernandes, "Thermal analysis of the defrost cycle in a domestic freezer," *International Journal of Refrigeration* 33 (2010) 589–599, 2009.
- [7] E. Gümüş, "Soğutma sistemi buharlaştırıcılarında alternatif kar çözdürme yöntemleri ve uygulamaları," İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2009.
- [8] G. Mader and C. Thybo, "A new method of defrosting evaporator coils," *Applied Thermal Engineering*, 2012.
- [9] "Investigation of the effects of a novel defrost method on cooling system performance," Karabük Üniversitesi Lisansüstü Programlar Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2021.
- [10] "Defrosting Methods of Air Conditioner Systems of Split Air Conditioner," Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2021.
- [11] M. Wang, R. Zang, Y. Li and W. Li, "Investigation of Control Process in Liquid Refrigerant Defrosting System," *International Journal of Thermodynamics*, 2018.

- [12] M. Amer and C.-C. Wang, "Review of defrosting methods," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.
- [13] E. Ç. Karakaş, "İklimlendirme Sistemi Buhatlaştırıcılarında Ultrasonik Titreşim ile Buz Çözdürme Yönteminin İncelenmesi," *Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi*, Karabük, 2021.
- [14] M. Wang, R. Zang , Y. Li and W. Li, "Investigation of Control Process in Liquid Refrigerant Defrosting System," *International Journal of Thermodynamics*, 2018.
- [15] İ. Kütük, "Ev Tipi Soğutma Cihazlarında Kondenserden Atılan Isının Defrost İşleminde Kullanılmasının Modellenmesi," *Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi*, Karabük, 2022.
- [16] J. Kim, H.-J. Choi and K. C. Kim, "A combined Dual Hot-Gas Bypass Defrosting method with accumulator heater for an air-to-air heat pump in cold region," *Applied Energy*, 2015.
- [17] J. Kim, H.-J. Choi and K. C. Kim, "A combined Dual Hot-Gas Bypass Defrosting method with accumulator heater for an air-to-air heat pump in cold region," *Applied Energy* 147, 2015.
- [18] Y. Ge, Y. Sun, W. Wang, J. Zhu, L. Li and J. Liu, "Field test study of a novel defrosting control method for air-source heat pumps by applying tube encircled photoelectric sensors," *International Journal of Refrigeration*, 2016.
- [19] Y. Ge, Y. Sun, W. Wang, J. Zhu, L. Li and J. Liu, "Field test study of a novel defrosting control method for air-source heat pumps by applying tube encircled photoelectric sensors," *International Journal of Refrigeration* 66 (2016) 133–144, 2015.
- [20] H. Choi , B. Kim, D. Kang and K. Kim, "Defrosting method adopting dual hot gas bypass for an air-to-air heat pump," *Applied Energy*, 2011.
- [21] D. Huang, Q. Li and X. Yuan, "Comparison between hot-gas bypass defrosting and reverse-cycle defrosting methods on an air-to-water heat pump," *Applied Energy*, 2009.
- [22] J. Dong, S. Deng , Y. Jiang , L. Xia and Y. Yao, "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, 2012.
- [23] M. Song, A. Chen , N. Mao and Z. Wang , "Review on improvement for air source heat pump units during frosting and defrosting," *Applied Energy* 211, 2018.

- [24] C. Joppolo, L. Molinaroli, S. Antonellis and U. Merlo, "Experimental analysis of frost formation with the presence of an electric field on fin and tube evaporator," *International Journal of Refrigeration* 35, 2012.
- [25] H. Tan, T. Tao, G. Xu, S. Zhang, D. Wang and X. Luo , "Experimental study on defrosting mechanism of intermittent ultrasonic resonance for a finned-tube evaporator," *Experimental Thermal and Fluid Science* 52, 2014.
- [26] H. Yin, Z. Yang, A. Chen and N. Zhang, "Experimental research on a novel cold storage defrost method based on air bypass circulation and electric heater," *Energy* 37 (1), 2012.
- [27] D. Kurtboğan, "Experimental Analysis Of Refrigeration System Using Phase Change Material For Energy Efficiency Improvement," *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*, 2020.
- [28] C. Liang, X. Zhang, X. Li and Z. Chen, "Control strategy and experimental study on a novel defrosting method for air-source heat pump," *Applied Thermal Engineering* 30 (8-9), 2010.
- [29] J. W. Kim, "Analytical And Experimental Examination Of Microwave Defrosting Method On Commercial Refrigerator Evaporators," *University of Illinois Master of Science in Mechanical Engineering*, 2012.
- [30] Y. Çengel and M. Boles, *Thermodynamics, An Engineering Approach* 5th Edition, USA: McGraw-Hill, 2004, pp. 608-615 620-624.
- [31] A. Gaur, D. Fitiwi and J. Curtis, Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review, *Energy Research and Social Science*, 2021, pp. 71: 1-5.
- [32] Ö. Saçkan, *Deniz Suyu Kaynakli Isi Pompasi Sisteminin Termodinamik Analizi: Bir Otel Uygulaması*, Muğla: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018, pp. 19-23, 28-32.
- [33] M. Özyirmidokuz, *Hava Kaynakli Isi Pompasi Ve Ekserji Analizi*, Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, 2010, pp. 13-16.
- [34] J. Cardemil, W. Schneider , M. Behzad and A. Starke, Thermal analysis of a water source heat pump for space heating using an outdoor pool as a heat source, *Journal of Building Engineering*, 2021, pp. 3-33.
- [35] G. Shi, L. Aye, D. Li and X. Du, Recent advances in direct expansion solar assisted heat pump systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, pp. 349-350.
- [36] F. D'Ettore, P. Conti, E. Schito and D. Testi, Model predictive control of a hybrid heat pump system and impact of the prediction horizon on cost-saving potential and optimal storage capacity, *Applied Thermal Engineering*, 2019, pp. 524-526.

- [37] H. Bulut, Soğutma ve Klima Tekniği, Şanlıurfa, 2023.
- [38] A. Onat and K. İsa, İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Friterm, 2017.
- [39] D. Demir, "Ev Tipi Soğutma Cihazlarında Farklı Buz Çözme (defrost) Uygulamalarının Deneysel ve Teorik Analizi," Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2023.
- [40] Y. Uslu, Isı Pompası Sisteminde Havalı Güneş Kolektörlü Defrost Uygulaması, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Karabük, 2022, p. 27.
- [41] M. O. Karaağaç, Soğutma Sistemlerinde Fotovoltaik Termal Modül Destekli Defrost Uygulaması, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Karabük, 2022.
- [42] J. Dong, S. Li, Y. Yao, Y. Jiang and H. Tian, "Defrosting performances of a multi-split air source heat pump with phase change thermal storage," International Journal of Refrigeration 55, 2015.
- [43] K. Kutson, E. Marth and M. Wagner , "Microwave heating of food," Lebensmittel-Wissenschaft Technologie, 1987.
- [44] T. Erdem, "Ozonlu Su İle Yikanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması," Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2007.
- [45] S. Öztürk, "Muz Ve Kivinin Dielektrik Özelliklerinin Mikrodalga Ve Kızılötesi- Mikrodalga Kombinasyonu İle Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisi," Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2014.
- [46] N. Cooper, "Development of Packaging and Products for Use in Microwave Ovens," Woodhead, İngiltere, 2020.
- [47] A. S. Kartal, "Mikrodalga Ve Kuru Hava Yardimiyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi," İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi , 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan KAMURAY 2016 yılında Mersin Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimine başladı. 2018 yılında yatay geçişle Karabük Üniversitesine geçiş yaptıktan sonra mezun oldu. 2022 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisan eğitimine başladı.

