



**EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA  
FARKLI BUZ ÇÖZME (DEFROST)  
UYGULAMALARININ DENEYSEL VE TEORİK  
ANALİZİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**Dorukhan DEMİR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA FARKLI BUZ ÇÖZME (DEFROST)  
UYGULAMALARININ DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ**

**Dorukhan DEMİR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Emrah DENİZ**

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

**KARABÜK  
Kasım 2023**

Dorukhan DEMİR tarafından hazırlanan “EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA FARKLI BUZ ÇÖZME (DEFROST) UYGULAMALARININ DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr.Emrah DENİZ

.....

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.07/11/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Ali Etem GÜREL (DÜZCE UNİ)

(ONLINE)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇELİK (KBÜ)

.....

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.”*

Dorukhan DEMİR

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA FARKLI BUZ ÇÖZME (DEFROST) UYGULAMALARININ DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ**

**Dorukhan DEMİR**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makina Mühendiliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**Kasım 2023, 79 sayfa**

Günümüzde, dünya nüfusundaki hızlı artış ve yaşam standartlarının iyileştirilmesi, enerji tüketiminin büyük oranda artmasına sebep olmuştur. Bu noktada, sınırlı ve değerli olan enerji kaynaklarının ekonomik kullanımı ve çevresel olumsuz etkilerinin önlenmesine hizmet etmesi açısından atık enerjinin geri kazanımı önemli bir konu haline gelmiştir. Atık enerjiden geri kazanılan ısı doğrudan tekrar sistemlere ek enerji sağlamak amacıyla kullanılabilirken diğer yandan da depo edilerek ihtiyaç durumuna göre sistemlerde kullanılabilmektedir. Enerjinin kullanılıyor olduğu sistem özelliklerine göre değişik tasarımlara sahip olabilen ısı geri kazanım sistemleri arasında, ısı enerjisinin depolanarak tekrar kullanılabilmesine olanak veren, FDM hem gizli hemde duyulur ısı depolama özellikleri sebepleriyle yıllar içinde büyük ilgi görmüşlerdir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre konutlar dünyadaki enerji kullanımının yaklaşık %30'undan sorumludur. Ayrıca, konutlar tarafından tüketilen elektrik enerjisi, küresel elektrik tüketiminin %55'ini oluştururken, bunun %7.27'si ise sayısı iki milyarı bulan ev tipi soğutucu ve dondurucular tarafından tüketilmektedir. Bu miktar küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %4'üne tekabül etmekte olup, ev tipi soğutucular ve dondurucular tarafından tüketilen enerjinin ekonomik kullanımı ve çevresel olumsuz etkilerinin azaltılması konuları önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir.

Yapılan çalışmada, ev tipi soğutucu ve dondurucuların enerji tüketim miktarları ve kabiniçi sıcaklık dalgalanmalarında önemli bir faktör olan buz çözme (defrost) sistemleri konularında yapılan çalışmalara katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, ev tipi soğutucu ve dondurucuların görevlerini yerine getirdikleri esnasında dışarıya atık olarak verilen ısıнын bir miktarının hazırlanan deney sistemine yerleştirilen bir FDM içerisinde depo edilmesi sağlanmıştır. Çalışmaların ilk aşamasında, FDM yapısı içerisinde depo edilen enerjinin öncelikle sistem elemanlarının çalışma özelliklerine, enerji tüketimine ve bunun çevresel etkileri incelenmiştir. Çalışmanın diğer aşamalarında ise, çeşitli soğutma yükleri altında FDM bünyesinde depo edilen enerjinin defrost işlemlerine etkileri farklı yapılarıdaki uygulamalar ile deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışmada denenen her farklı sistem yapısı için deneysel çalışmalar ile elde edilen veriler yardımıyla enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel analizler yapılarak sistemler birbirleriyle kıyaslamalı olarak değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler** : Soğutma, buz çözme (defrost), atık ısı, faz değıştiren malzeme, COP

**Bilim Kodu** : 91408

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYSIS OF DIFFERENT DEFROSTING APPLICATIONS IN DOMESTIC REFRIGERATORS**

**Dorukhan DEMİR**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Emrah DENİZ**

**November 2023, 79 pages**

Today, the rapid increase in the world population and the improvement of living standards have led to a significant increase in energy consumption. At this point, waste energy recovery has become an important issue in terms of the economic use of limited and valuable energy resources and the prevention of negative environmental impacts. While the heat recovered from waste energy can be used directly to provide additional energy to the systems, on the other hand, it can be stored and used in systems according to the need. Among the heat recovery systems that can have different designs according to the characteristics of the system in which the energy is used, Phase Change Materials (FDM), which allow heat energy to be stored and reused, have attracted great interest over the years due to both latent and sensible heat storage properties.

According to the International Energy Agency (IEA), households are responsible for

around 30% of the world's energy use. In addition, residential electricity accounts for 55% of global electricity consumption, of which 7.27% is consumed by the two billion household refrigerators and freezers. This amounts to about 4% of global electricity consumption, making the economical use of energy consumed by household refrigerators and freezers and reducing their negative environmental impact an important area of study.

In this study, it is aimed to contribute to the studies on the energy consumption of domestic refrigerators and freezers and defrosting systems, which are an important factor in cabinet temperature fluctuations. For this purpose, the heat given out as waste during the operation of domestic refrigerators and freezers was stored in an FDM placed in the experimental system. In the first stage of the study, the effects of the energy stored in the FDM structure on the operating characteristics of the system elements, energy consumption and its environmental effects were examined. In the following stages of the study, the effects of the energy stored in the FDM on the defrosting processes under various cooling loads were examined experimentally and theoretically with applications in different structures. With the help of the data obtained from the experimental studies, energy, exergy, economic and environmental analyzes were performed for each different system structure tested in the study and the systems were evaluated by comparing them with each other and recommendations were made.

**Keywords:** Refrigeration, defrosting, waste heat, phase change material, COP

**Science Code:** 91408

## 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, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım sayın hocam Prof. Dr. Emrah DENİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın çeşitli aşamalarında değerli katkılar sağlayan Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü, Sanayi Analizleri ve İşbirlikleri Dairesi Başkanı İbrahim KÜTÜK'e, Dr. Öğr. Üyesi Cihan MIZRAK'a, Öğr. Gör. İlyas TÜFEKLİ, Soğutma Teknisyeni Salih DİNÇSOY'a, Mak. Müh. Muhammet Ufuk UÇAR'a ve Dr. Mahade Omran Ali Abdulla'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni hep destekleyen ve her an yanımda olan anneme ve babama tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                       | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| KABUL.....                                                            | ii    |
| ÖZET. ....                                                            | iv    |
| ABSTRACT.....                                                         | vi    |
| TEŞEKKÜR.....                                                         | viii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                     | ix    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                  | xi    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                               | xiii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                  | xiv   |
| <br>                                                                  |       |
| BÖLÜM 1 .....                                                         | 1     |
| GİRİŞ .....                                                           | 1     |
| <br>                                                                  |       |
| BÖLÜM 2 .....                                                         | 4     |
| LİTERATÜR TARAMASI.....                                               | 4     |
| 2.1. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DEFROST ÇALIŞMALARI.....                   | 4     |
| 2.2. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE FAZ DEĞEİŞTİREN MALZEME<br>KULLANIMI ..... | 16    |
| <br>                                                                  |       |
| BÖLÜM 3 .....                                                         | 22    |
| DENEY SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZLERİ .....                            | 22    |
| 3.1. DENEY SİSTEMİ TASARIMI.....                                      | 26    |
| 3.2. TEORİK YAKLAŞIMLAR .....                                         | 35    |
| 3.2.1. Enerji Analizi.....                                            | 35    |
| 3.2.2. Ekserji Analizi .....                                          | 36    |
| 3.2.3. Soğutma Cihazlarında Enerji Tüketimi .....                     | 38    |
| 3.2.4. Çevresel ve Ekonomik Analiz .....                              | 38    |
| <br>                                                                  |       |
| BÖLÜM 4 .....                                                         | 41    |
| SONUÇLAR .....                                                        | 41    |

|                                                                                                  |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 4.1. FDM KULLANIMININ BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİ<br>ÇALIŞMA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ ..... | 42     |
| 4.2. FDM KULLANIMININ SICAK GAZ DEFROST SİSTEMİ ÇALIŞMA<br>ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ .....          | 52     |
| <br>BÖLÜM 5 .....                                                                                | <br>61 |
| SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....                                                               | 61     |
| <br>KAYNAKLAR .....                                                                              | <br>65 |
| <br>EK AÇIKLAMALAR A. ....                                                                       | <br>69 |
| SOĞUTUCU AKIŞKAN ŞARJI VE TARTI MEKANİZMASI.....                                                 | 69     |
| EK AÇIKLAMALAR B. ....                                                                           | 71     |
| ADAM VERİ TOPLAMA MODÜLÜ .....                                                                   | 71     |
| EK AÇIKLAMALAR C. ....                                                                           | 73     |
| SOĞUTUCU YÜKÜ GÜÇ AYAR CİHAZI.....                                                               | 73     |
| EK AÇIKLAMALAR Ç. ....                                                                           | 75     |
| SOĞUTUCU YÜKÜ GÖSTERGE CİHAZI.....                                                               | 75     |
| EK AÇIKLAMALAR D. ....                                                                           | 77     |
| BASINÇ SENSÖRLERİ.....                                                                           | 77     |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                   | 79     |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin şematik görüntüsü. ....                                                  | 22 |
| Şekil 3.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramları. ....                                      | 23 |
| Şekil 3.3. Defrost yöntemlerinin sınıflandırılması. ....                                                                    | 24 |
| Şekil 3.4. Deney sistemine ait şematik görüntü .....                                                                        | 28 |
| Şekil 3.5. Deney sistemi ve ölçüm elemanlarının yerleşimleri. ....                                                          | 29 |
| Şekil 3.6 . Soğutma kabini içerisine yerleştirilen selilözik pedlerin görüntüsü .....                                       | 29 |
| Şekil 3.7. Elektrikli ısıtıcılı defrost sisteminin şematik görüntüsü. ....                                                  | 30 |
| Şekil 3.8. Kompresör çıkışından beslenen sıcak gazlı defrost işlemine ait şematik görüntü. ....                             | 31 |
| Şekil 3.9. Yoğuşturucu girişinden beslenen sıcak gazlı defrost işlemine ait şematik görüntü. ....                           | 32 |
| Şekil 3.10. FDM kullanılan elektrikli ısıtıcılı defrost işlemine ait şematik görüntü. ....                                  | 33 |
| Şekil 3.11. FDM kullanılan sıcak gazlı defrost işlemine ait şematik görüntü .....                                           | 34 |
| Şekil 3.12. FDM kullanılan yoğuşturucu girişinden beslenen sıcak gazlı defrost işlemine ait şematik görüntü. ....           | 34 |
| Şekil 4.1. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin COP-soğutma yükü değişimi .....                                      | 42 |
| Şekil 4.2. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin COP-soğutma yükü değişimi .....                                      | 43 |
| Şekil 4.3. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin kompresör tüketimlerinin soğutma yüklerine bağlı değişimi. ....      | 44 |
| Şekil 4.4. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin kompresör işlerinin soğutma yüklerine bağlı değişimi .....           | 45 |
| Şekil 4.5. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin soğutma yüklerine göre yoğuşturucu kapasitelerinin değişimi .....    | 46 |
| Şekil 4.6. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin soğutma yüklerine göre buharlaştırıcı kapasitelerinin değişimi ..... | 46 |
| Şekil 4.7. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin soğutma yüklerine göre ekserji verimlerinin değişimi .....           | 47 |
| Şekil 4.8. FDM kullanılmayan sistemde soğutma yüküne bağlı kompresör çıkış sıcaklıklarındaki değişim .....                  | 48 |
| Şekil 4.9. FDM kullanılan sistemlerde soğutma yüküne bağlı kompresör çıkış sıcaklıklarındaki değişim .....                  | 49 |

## **Sayfa**

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.10. Elektrikli ısıtıcılı FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerde defrost sürelerinin zamana bağlı değişimi.....                 | 50 |
| Şekil 4.11. FDM kullanılmayan defrost yöntemlerinin defrost sürelerine etkileri ....                                                        | 53 |
| Şekil 4.12. Kompresör çıkışından yapılan by-pass ile yapılan defrost işleminde FDM kullanımının etkileri .....                              | 54 |
| Şekil 4.13. Kompresör çıkışından yapılan by-pass bağlantısı ile yapılan defrost işleminde soğutma yükünün defrost süresine etkileri .....   | 54 |
| Şekil 4.14. Yoğuşturucu girişinden yapılan by-pass ile yapılan defrost işleminde FDM kullanımının etkileri .....                            | 55 |
| Şekil 4.15. Yoğuşturucu girişinden yapılan by-pass bağlantısı ile yapılan defrost işleminde soğutma yükünün defrost süresine etkileri ..... | 56 |
| Şekil 4.16. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde defrost süresinin zamana göre değişimi .....                                               | 57 |
| Şekil 4.17. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde soğutma yükünün defrost süresine etkileri .....                                            | 57 |
| Şekil 4.18. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde kabiniçi sıcaklık artışları .....                                                          | 58 |
| Şekil 4.19. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde kabiniçi sıcaklık artışlarının soğutma yüküne bağlı değişimi.....                          | 59 |
| Şekil 4.20. FDM kullanılan defrost işlemleri esnasında kompresör tüketiminin zamana bağlı değişimi .....                                    | 60 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. FDM'lerin sahip olmaları gereken özellikler.....                                                        | 26 |
| Çizelge 3.2. Çalışmalarda kullanılan ölçüm sensör ve cihazlarına ait özellikler .....                                | 28 |
| Çizelge 3.3. Çeşitli elektrik üretim kaynaklarının sera gazı emisyonlarının karşılaştırılması .....                  | 39 |
| Çizelge 4.1. Ev tipi soğutma sistemlerinde FDM kullanımının yıllık küresel CO <sub>2</sub> salımına etkileri .....   | 51 |
| Çizelge 4.2. FDM kullanılan defrost yöntemlerinin, FDM kullanılmayan EHD yöntemine göre sağlayacağı avantajlar ..... | 60 |
| Çizelge Ek A.1. Soğutucu akışkan şarjı ve tartı mekanizması.....                                                     | 70 |
| Çizelge Ek B.1. Adam veri toplama modülü .....                                                                       | 72 |
| Çizelge Ek C.1. Soğutucu yükü güç ayar cihazı .....                                                                  | 74 |
| Çizelge Ek Ç.1. Soğutucu yükü gösterge cihazı .....                                                                  | 76 |
| Çizelge Ek D.1. Basınç sensörleri.....                                                                               | 78 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|           |                               |                                        |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------------|
| $A$       | : yüzey alanı                 | (m <sup>2</sup> )                      |
| $\dot{E}$ | : ekserji oranı               | (W)                                    |
| $h$       | : özgül entalpi               | (kJ kg <sup>-1</sup> )                 |
| $I$       | : akım                        | (A)                                    |
| $k_f$     | : karın ısı iletim kat sayısı | (W/mK)                                 |
| $\dot{m}$ | : kütle akış oranı            | (g s <sup>-1</sup> )                   |
| $\eta$    | : verim                       | (%)                                    |
| $p_f$     | : karın yoğunluğu             | (kg/m <sup>3</sup> )                   |
| $\dot{P}$ | : güç                         | (W)                                    |
| $P$       | : basınç                      | (bar)                                  |
| $P_L$     | : alçak basınç                | (bar)                                  |
| $P_H$     | : yüksek basınç               | (bar)                                  |
| $\dot{Q}$ | : ısı transfer oranı          | (W)                                    |
| $R$       | : belirsizlik fonksiyonu      |                                        |
| $S$       | : özgül entropi               | (kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ) |
| $T$       | : sıcaklık                    | (°C)                                   |
| $V$       | : hacim                       | (m <sup>3</sup> )                      |
| $\dot{W}$ | : iş                          | (W)                                    |
| $w$       | : boyut faktörü               |                                        |

## KISALTMALAR

|                   |                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------|
| ASHRAE            | : Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Derneği |
| CFC               | : Kloroflorokarbon                                 |
| COP               | : Soğutma Tesir Katsayısı                          |
| GWP               | : Küresel Isınma Potansiyeli                       |
| HCFC              | : Hidronkloroflorokarbon                           |
| HFC               | : Hidroflorokarbon                                 |
| N                 | : Azot                                             |
| ODP               | : Ozon Tüketme Potansiyeli                         |
| SO <sub>2</sub>   | : Kükürtdioksit                                    |
| UA                | : Bobin Alanı Isı Transfer Katsayısı               |
| CO <sub>2</sub> e | : Karbondioksit Eşdeğeri                           |
| FDM               | : Faz Değiştiren Malzeme                           |
| EHD:              | : Elektrikli Isıtıcılı Defrost                     |
| COD:              | : Kompresör Çıkışından Sıcak Gaz Defrost           |
| CID:              | : Yoğuşturucu Girişinden Sıcak Gaz Defrost         |
| EHD-PCM           | : FDM'li Elektrikli Isıtıcılı Defrost              |
| COD-PCM           | : FDM'li Kompresör Çıkışından Sıcak Gaz Defrost    |
| CID-PCM           | : FDM'li Yoğuşturucu Girişinden Sıcak Gaz Defrost  |

## ALT İNDİSLER

|     |                     |
|-----|---------------------|
| buh | : buharlaştırıcı    |
| el  | : elektrik          |
| gen | : genel             |
| ıd  | : ısı değiştiricisi |
| in  | : giriş             |
| iz  | : izantropik        |
| kb  | : kılcal boru       |

|      |                    |
|------|--------------------|
| kç   | : kar çözdürme     |
| komp | : kompresör        |
| mek  | : mekanik          |
| o    | : referans değer   |
| out  | : çıkış            |
| r    | : soğutucu akışkan |
| top  | : toplam           |
| yık  | : yıkım            |
| yoğ  | : yoğunlaştırıcı   |



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Fosil yakıtlara kıyasla güvenli, düşük karbonlu ve ucuz büyük ölçekli enerji alternatiflerinden yoksun olan günümüz dünyası, enerji üretiminin büyük bir miktarının sera gazı emisyonlarına neden olması ve yüz milyonlarca insanın yeterli enerjiye ulaşımının mümkün olmaması gibi iki önemli sorun ile karşı karşıyadır. Bu sorunların aşılabilmesi, potansiyel yeni alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını bir zorunluluk haline getirmektedir.

Dünya çapında 2019 yılı içerisindeki enerji tüketiminin kaynaklarına göre kullanım oranları; %40.4 petrol, %19.7 elektrik, %16.4 gaz, ve %10.4 biyo-yakıtlar ve atıklar, %9.5 kömür ve %3.6 ise diğer kaynaklar şeklinde gerçekleşmiştir [1]. Sektörlere göre dünya nihai elektrik tüketimi ise; 9566 TWh endüstriyel uygulamalarda, 6072 TWh konutsal kullanım amacıyla, 4849 TWh ticari ve kamu hizmetleri, 420 TWh taşımacılık ve 1940 TWh diğer uygulamalar amacıyla kullanılmıştır [2]. Söz konusu veriler dünya çapında tüketilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %26.57'sinin evlerde tüketildiğini göstermektedir.

Konutlarda enerji verimliliğinin artırılması, CO<sub>2</sub> emisyonlarını en aza indirmeye yönelik en uygun maliyetli önlemlerden biridir. Nüfus artışı ve ekonomik kalkınma, artan enerji kullanımı ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının arkasındaki temel itici güçlerdir. Konutlarda kullanılan elektrik enerjisi, soğutma (%28), aydınlatma (%18), yıkama ve kurutma (%16), ofis ekipmanları (%12), yemek pişirme (%11), eğlence (%10), klima (%2) ve diğer uygulamalar (%3) amaçlarıyla kullanılmaktadır [3]. Bir başka bakış açısı ile, konutlarda kullanılan soğutucu ve dondurucular diğer çeşitli ev aletleriyle karşılaştırıldığında önemli miktarda enerji tüketirler ve bu miktar küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %4'üne tekabül eder [4].

Soğutucu ve dondurucular diğer cihazlarla karşılaştırıldığında nispeten yüksek enerji tüketimleri nedeniyle, mevcut araştırmalar esas olarak kompresör, ısı değiştirici, soğutucu akışkan ve yalıtımın tasarımını değiştirerek bu sistemlerin enerji verimliliğini artırmaya odaklanmıştır. Buna bağlı olarak yapılan çalışmalar neticesinde, soğutucu ve dondurucuların enerji verimliliklerinde sürekli bir iyileşme görülmekte ve son yıllarda gelişen kompresör ve kontrol teknolojileri ile bu sistemlerin enerji tüketimleri yaklaşık %65 oranında azaltılmıştır [4]. Konut tipi buzdolabı ve dondurucular, bir evde 7 gün 24 saat çalışan tek üründür. Bu sistemlerin enerji sınıfı, kompresör tipi, hacmi, duvar kalınlıkları gibi tasarım özelliklerine göre belirlenmektedir. Öte yandan ortam sıcaklığı, oda nemi, tüketici alışkanlıkları gibi dış parametreler de enerji tüketiminde önemli rol oynamaktadır. Kapı açılma sıklığı ve süresi, sıcaklık ayarı, dolaptaki yiyecek miktarı gibi tüketici alışkanlıkları da bu sistemlerin enerji tüketimini ve ısıl davranışlarını etkiler.

Konut tipi buzdolapları ve dondurucular zaman içerisinde lüks olmaktan çıkıp günlük yaşamın bir zorunluluğu haline gelmiştir. Dünya çapında her yıl yaklaşık 200 milyon buzdolabı satılmakta ve yıllık pazar geliri yaklaşık olarak 100 milyar ABD dolarından fazla olmaktadır. Buna ek olarak, günümüzde dünya çapında kullanılan konut tipi soğutucu ve dondurucu sayısı iki milyarı bulmuştur [3].

Ev tipi buzdolapları ve dondurucular son yıllarda pek çok akademik çalışmanın temel analiz odağı haline gelmiştir. Bu araştırmalar esas olarak soğutma döngüsü, defrost stratejileri, enerji verimliliği ve modellemedeki potansiyel iyileştirmeleri konu almaktadır.

Buhar sıkıştırmaya dayalı konut tipi sistemlerin buharlaştırıcılarında büyük miktarda buz biriktiğinde ısı geçiş miktarı azalır ve soğutma kapasiteleri düşer. Dolayısıyla, buharlaştırıcı yüzeyindeki buz birikimi sistemin enerji sarfiyatının artmasına ve kabin içi sıcaklıklarında dalgalanmalara neden olabilmektedir. Bu sistemlerde rezistans elemanlar defrost tekniği olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu tip elemanların hem avantajları hem de dezavantajları vardır. En büyük dezavantajlarından biri, çalışması sırasındaki yüksek enerji tüketiminin yanı sıra bu yöntemin kabin içi sıcaklık artışına sebep olmasıdır [5].

Yapılan bu çalışma, ev tipi buzdolabı ve dondurucular kullanılan ve tüketilen enerjide önemli bir paya sahip olan rezistans tip defrost yöntemine alternatif olarak geliştirilen FDM kullanılan sıcak gazlı defrost yönteminin kapsamlı bir araştırmasını içermektedir. Geliştirilen yöntem ile hem defrost süresinin kısaltılması hemde sistemin atık ısısından faydalanarak enerji sarfiyatının azaltılması hedeflenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek amacıyla tasarlanarak imal edilen sistemin çalışma özellikleri kapsamlı deneysel çalışmalar ile incelenmiş ve elde edilen veriler yardımıyla enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel analizler yapılarak geliştirilen sistemin çeşitli yönlerden özellikleri ve literatüre katkıları sunulmuştur.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Genel olarak, günümüzde en yaygın kullanılan soğutma yöntemlerinin başında gelen buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin çalışma özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi konularında oldukça fazla sayıda çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar da ise odaklanılan en önemli unsurlar, enerji tüketimlerinin düşürülmesi ve soğutma ihtiyacının hızla karşılanabilmesi konularıdır.

Yapılan çalışmada, soğutma sistemlerinin enerji tüketimlerinde önemli bir faktör olan defrost uygulamalarında harcanan enerji miktarının ve süresinin düşürülmesi ile kabin içi sıcaklık dalgalanmaları sebebiyle oluşabilecek kayıpların engellenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, ev tipi bir soğutucu üzerinde bazı yapısal değişiklikler yapılarak ve FDM eklenerek sistemin farklı çalışma koşulları altındaki çalışma özellikleri incelenmiştir.

#### 2.1. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE DEFROST ÇALIŞMALARI

Wang ve arkadaşları, soğutma sistemlerinde defrost uygulaması sırasında soğutma kabinleri içerisinde fazladan ısı yük oluştuğundan bahsettikleri çalışmalarında, bu yükün sıcaklık dalgalanmalarına yol açarak kabin içerisindeki gıdalarda kalite kaybına yol açacağını ve ek bir enerji sarfıyatı oluşacağını belirtmişlerdir. Bu sorunun çözülebilmesi amacıyla, kompresör kararlılığının iyileştirilmesi ve enerji tasarrufu sağlanması amacıyla yeni bir defrost sistemi geliştirmişlerdir. Hazırlanan deneysel sistemde, defrost işleminde elektrikli ısıtıcı kullanımı ve ters çevrim metodu ile defrost uygulamaları deneysel olarak incelenmiştir. Defrost işlemi sırasında buharlaştırıcı yüzeyine bir elektromotor hareketiyle ısı yalıtım perdesi örtülerek buharlaştırıcı ile kabin arasında ısı yalıtım etkisi oluşturulmuştur. Elektrikli ısıtıcı ile yapılan deneylerde enerji tüketimi %20 oranında düşmüş, kabin içi sıcaklık dalgalanması 7°C azalmış ve

%18,4 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ters çevrim metodu ile yapılan deneylerde ise, defrost süresinin %19, enerji tüketiminin %27,2 oranında azaldığı tespit edilmiştir [6].

Hoffenbecker ve diğerleri yaptıkları çalışmada, endüstriyel bir hava soğutmalı buharlaştırıcıdaki buzlanmanın sıcak gaz defrostu ile giderildiği sırada ısı ve kütle transferinin etkilerini inceleyebilmek için matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelde buzlanmanın giderilmesi için gereken defrost süresi, defrost sırasında şartlandırılmış alana geri aktarılan duyulur ve gizli ısı yüklerinin tahmini yapılmakta, gerçek defrost döngüleriyle kıyaslanmaktadır. Gerçek şartlarda defrost deneyleri -21°C’de bir dondurucu ile yapılmıştır ve defrost işlemi 8 saatte bir kompresörden çıkan sıcak akışkanın buharlaştırıcıya selonid valf yardımıyla gönderilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan model ve deney sistemi karşılaştırıldığında defrost süresi 10 dakika 45 saniye olarak hesaplanırken, deney sisteminde bu süre 10 dk olarak görülmüştür. 10 dk 45 s içerisinde buharlaştırıcıya 271.1 MJ enerji sağladığı matematiksel modelde tahmin edilmiş ve bunun sadece %43,7’si buzı çözmekte kullanılmıştır. Kalan enerji, soğutma ekipmanı üzerinde artan bir yük olarak kalmaktadır. Deney sonuçlarına bakıldığında düşük soğutucu akışkan sıcaklıklarında defrost verimliliği, buzı eritmek için geçen süreye bağlıdır. 10°C’lik bir soğutucu akışkan farkı buz kalınlıklarında incelenmiştir. %10 buz kalınlığında defrost verimi 0.3, %20 buz kalınlığında ise 0.38 olarak tespit edilmiştir. Buradaki verim artışı, buzı eritmek için gereken enerji miktarının evaporatörde depolanan enerjiden daha fazla olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Buz kalınlığı %30’a yükseldiğinde, defrost verimi 0,32’ye düşer, çünkü defrost döngüsünün tamamlanması için daha uzun süre geçmiş, konvektif ve evaporatif kayıplar meydana gelmiştir [7].

Jeong ve diğerleri yaptıkları çalışmada, ev tipi buzdolaplarında enerji tüketimini azaltmak için buharlaştırıcı oluşan buzun giderilmesi sırasında harcanan enerjinin azaltılması konusunda defrost ısıtıcılarının güç optimizasyonuna bağlı deney sistemi geliştirmişlerdir. Deneylerde defrost sırasında buharlaştırıcı sıcaklığının gözlenmesi, buzlanma miktarının tespiti ve defrost veriminin hesaplanması ayrı olarak incelenmiş ve raporlanmıştır. Buharlaştırıcıda buzlanmanın giderilmesi için 85W iletken ve 200W radyant tipte iki farklı ısıtıcı kullanılarak sırasıyla buharlaştırıcının üstüne ve altına

yerleştirilmiştir. Isıtıcıların güç kontrolleri trasformatör yardımıyla yapılmıştır. Buzlanma miktarının tespiti amacıyla eriyik su toplayıcılar kullanılarak tartılmıştır. Buharlaştırıcı yüzeyine ise sıcaklık dağılımının gözlenmesi amacıyla 24 adet termokupl yerleştirilmiştir. Bu çalışmada, aşırı ısıyı en aza indirmek için buharlaştırıcı sıcaklık dağılımı ölçülerek ısı dağılımı belirlenmiştir. Normal güç altında defrost sırasında buharlaştırıcının altındaki sıcaklığın aşırı derecede arttığı uygun güç optimizasyonu yapılarak tüm buharlaştırıcı boyunca tek tip bir sıcaklık dağılımının sağlanmasının öneminden bahsedilmiştir. Defrost başladıktan sonra buharlaştırıcının altındaki sıcaklığın hızla yükseldiği defrost işleminin aksine, optimum defrost sırasında tüm buharlaştırıcı sıcaklığının tüm yüzeyinde eşit olarak arttığı tespit edilmiştir. Güç optimizasyonu sayesinde toplam defrost süresinin 1148 saniyeden 908 saniyeye düştüğü ve buz çözme verimliliğinin %6,7'ye kadar arttığı görülmüştür [8].

Özkan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ev tipi buzdolabında bulunan finli tüp buharlaştırmalarda buzlanma oluşumunu ve buzun çözülmesi işleminin deneysel olarak incelemesi yapılmıştır. Teorik olarak analitik bir model geliştirilmiş ve oluşan buzun erime süresi hesaplanarak gerçek çevrim ile kıyaslama yapılması hedeflenmiştir. Deneyler 23 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Buharlaştırmada buzlanmanın kontrollü bir şekilde yüklenmesi amacıyla buzdolabının içine su dolu bir kap yerleştirilmiş ve buharlaşan suyun miktarı kabın altına yerleştirilen ölçek yardımıyla tespit edilmiştir. Kompresör %100 yükte çalıştırılarak soğutma işlemi 5 saat sürdürülmüştür. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı -25°C olduğunda buz oluşumunun iğnemi yapı olduğu, -35°C gibi daha düşük sıcaklıklara düştüğünde daha yoğun kaba kütlesi olan buzlanmalar görülmüştür. 5 saatlik çalışma sonunda kompresör devre dışı bırakılmış ve defrost ısıtıcısı devreye alınmıştır. Defrost işleminin teorik ve deneysel ölçüm verilerinin karşılaştırılması sonucunda geliştirilen matematiksel modelin %5 hata oranı ile benzerlik oluşturduğu söylenmiştir [9].

Bansal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ev tipi bir dondurucuda defrost döngüsünün ısı analizini yaparak, elektrikli ısıtıcıdan gelen ısınnın dondurucu bölmesindeki dağılımı ve defrost döngüsünün güç tüketimi üzerinde incelemeler yapmışlardır. Teorik çalışmalar soğutma sisteminde buz çözme işleminin yapıldığı ve yapılmadığı deneyler gerçekleştirilerek desteklenmiştir. Deney sisteminde 380 L hacminde tek

sıcaklıklı dikey dondurucu kullanılmış 105g R134A soğutucu akışkanı sisteme şarj edilmiştir. Ortam havası 20 °C'de ve %65 bağıl nemde tutulmuştur. Defrost işleminde 450 W gücünde radyant elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. 12 saat soğutma işlemi yapıldıktan sonra buz çözme işlemi yapılmıştır. Buharlaştırıcıda 500g buz oluşmuş ve minimum buz oluşumu gözlenmiş durumlar için defrost işlemi gerçekleştirilmiş ve süreleri sırayla 22 ile 10 dk olarak ölçülmüştür. Deneysel ve teorik sonuçlar değerlendirildiğinde defrost ısıtıcısı testi, radyan defrost ısıtıcısının kullanım için en iyi seçenek olmadığını göstermektedir. Radyant ısıtıcının ulaştığı sıcaklıklar, buharlaştırıcı üzerindeki donları eritmek amacıyla gereksiz yere yüksek olmaktadır. Bu çalışma içerisinde, buz miktarı ve defrost işlemine bağlı olarak kompresörün açık kalma süreleri belirlenmiştir. defrost işlemi sonrasında kabin içerisinde kalan ısı yükü sebebiyle en uzun kompresör açık kalma süresi görülmüştür [10].

Cho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, üç buharlaştırıcıyı bulunan bir soğutma sisteminin, kompresörün durdurulması ve sıcak gaz bypass yöntemleri ile defrost sırasında performansını incelemişlerdir. Deneylerde her bir buharlaştırıcı için elektronik genişleme valfi (EEV) kullanılarak, defrost işlemlerinde farklı genişleme valfi açıklıkları oluşturularak optimum açıklık belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada sıcak gaz ile defrost yöntemiyle kompresörün durdurulması yönteminin kıyaslaması yapılarak yöntemlerin avantajları belirlenmiştir. Soğutucu akışkan olarak sistemde R22 kullanılmıştır. Sıcak gaz yöntemiyle yapılan deneylerde üç buharlaştırıcı için ayrı ayrı defrost yapılır ve bu sırada diğerleri soğutma işlemine devam etmektedir. Böylelikle kabin içerisindeki soğutma devam ederek sıcaklık dalgalanmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Defrost gerçekleşen buharlaştırıcının elektronik genişleme valfleri %50, 75 ve %100 açıklık değerlerinde ayarlanıp çeşitli deneyler yapılırken diğer iki buharlaştırıcının valfleri defrost sırasında %50 açıklıkta tutulmuştur. Buharlaştırıcılarda 80 dakikalık aralıklarla defrost işlemlerini gerçekleştirilmiş ve toplamda bu işlem 240 dakikada tamamlanmıştır. Defrost işlemi defrost buharlaştırıcısı çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığının 20°C'nin üzerine çıktığında manuel olarak tamamlanmıştır. Deneyler sonucunda tüm buharlaştırıcılar için, genişleme valfi açıklığının artması ile defrost süresinin azaldığı tespit edilmiştir. EEV açıklığının %75'ten %100'e çıkarılması sonucunda kompresör çıkış basıncı 55 kPa'dan 85 kPa'a yükseldiği ölçülmüştür. Bunun nedeninin daha fazla soğutucu akışkanın doğrudan

defrost buharlaştırıcısına girmesinden kaynaklı olduğu söylenmiştir. Kompresörün durdurularak soğutma işlemi yapılmayan defrost yönteminde 240 dakikalık normal bir soğutma sonrasında, soğutma sistemi 40, 60 ve 80 dakika kapatılarak optimum kapatma periyodu belirlenmiştir. Defrost işlem sistemin soğutma kapasitesi maksimum değerin %10 altına düştüğünde başlatılmıştır. Soğutma sistemlerinde defrost işlemi gerçekleşirken kabin içerisindeki sıcaklık dalgalanmasının belirli bir noktada tutulmasının önemi bahsedilmiş ve bahsedilen iki yöntem için değerler verilmiştir. Kompresörün durdurulduğu çalışmalarda soğutma işlemi yapılmamakta ve buzun erimesi beklenmektedir. Bu sırada 8°C bir sıcaklık farkı ölçülürken sıcak gaz yönteminde bu değer 1°C ölçülmüştür. Her bir buharlaştırıcıda sıralı bir şekilde defrost gerçekleşirken bir yandan soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yüzen sıcak gaz ile defrost yönteminin nispeten daha yüksek bir güç tüketimine sahip olduğu görülmekte ancak buna bağlı olarak soğutulan kabin içerisinde sabit bir sıcaklığın korunabileceği tespit edilmiştir. Defrost yöntemlerinin performansını karşılaştırmak için de soğutma yükü faktörü, iş yükü faktörü ve kısmi yük faktörü belirlenerek hesaplamalar yapılmıştır [11].

Şeker ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, zorunlu konveksiyon altında çalışan ev tipi buzdolaplarında kullanılan kanatlı borulu ısı eşanjörleri için matematiksel model geliştirmişlerdir. Moleküler difüzyon, kütle ve ısı transferi, donma ısıl iletkenliği ve don yoğunluğunu artıran su buharı miktarının tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen model ile havanın kararsız ısı ve kütle transfer katsayıları, soğutucu akışkan tarafının ısı transfer katsayısı, hava-don tabakası ara yüzey sıcaklığı, eşanjörün yüzey verimi ve eşanjör yüzeyinde biriken donun kütsel debisi hesaplanmıştır. Isı değıştiricinin toplam iletkenliği ve basınç düşüşü, farklı hava giriş sıcaklıkları, bağıl nem, hava kütle akış hızı ve soğutucu akışkan sıcaklıkları için rapor edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, giriş havası sıcaklıklarındaki artışın toplam ısı transfer katsayısını ve don kalınlığını arttırdığı belirlenmiştir. Bağıl nemin artması, hava kütle debisinin artması basıncın düştüğünü ve don kalınlığının arttığını göstermiştir. Buzlanmanın en başında don oluşumu, toplam ısı transfer alanının artmasına neden olur. Ancak zaman geçtikçe don, bir yalıtkan gibi davranmaya başlar. Oluşan bu buzlanmanın, fandan kaynaklanan enerji tüketimini arttıracak ve buharlaştırıcı üzerinden geçecek olan hava miktarını da azaltacağı söylenmiştir [12].

Nethaji ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ev tipi buzdolaplarında soğutma kapasitesinin artırılması ve enerji tasarrufu sağlanması amacıyla yeni bir yöntem test etmişlerdir. Buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buz, yapılan defrost işleminin ardından su olarak dondurucu kabininin dışına atılmaktadır. Geliştirilen sistemde su, kompresör kabuğunun üzerine damlalar halinde damlatılır ve kompresörden ısı çekilir. Bu işlem kompresör yağını soğutur ve motorun sürtünme kayıplarıyla sargı sıcaklığını azaltır. Sargı sıcaklığının düşmesi kompresörün amper değerini düşüreceği öngörülmüş ve kompresörün enerji tüketiminin azalacağı söylenmiştir. Deneysel çalışma için hazırlanan sistemde hermetik kompresör kullanılmış, 110 gr R134a soğutucu akışkanı sisteme şarj edilmiştir. Soğutma kapasitesi 150 W olan sistemde defrost işlemi periyodik olarak 6 saatte bir elektrikli ısıtıcı ile yapılmıştır. Damla soğutma sistemi etkinleştirilmeden önce ve etkinleştirildikten sonra deney verileri kıyaslanmak için kaydedilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda geliştirilen sistemle kompresör gövde sıcaklığının 66,2 °C'den 61,9 °C'ye düştüğü tespit edilmiştir. Akım tüketiminde ise %21'lik bir azalma olmuştur. Damla soğutmalı sistemin COP değerinin 1,45 ve normal kompresör çalışma COP değerinin 1,3 olduğu hesaplanmış, COP'nin %10,3 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Tasarlanan bu sistemle ortalama aylık enerji tüketimi 40,9 kwh olmuş ve aylık %9,7 enerji tasarrufu sağlanmıştır [13].

Dopazo ve arkadaşları, bir soğuk hava deposu buharlaştırıcısında oluşan buzun sıcak gaz metoduyla gerçekleştirilmesi işlemini tahmin etmek ve değerlendirmek için simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Soğutma sonrasında gerçekleşen defrost prosesini altı aşamada incelemişlerdir. Soğutucu akışkanın giriş sıcaklığı, basıncı, kütle akışı, buharlaştırıcı geometrisi, buz kalınlığı, çevredeki havanın bağıl nemi ve sıcaklığı çözümlenecek fonksiyonlarda girdi olarak kullanılmıştır. Model sonuçları, R507 soğutucu akışkan kullanılan, kabin içi sıcaklığı -15 °C, nem oranı %70 ve buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı -28 °C olarak ölçülen bir soğutma sisteminin defrost sırasında kaydedilen verileri ile karşılaştırılmıştır. Modelde hesaplanan defrost süresi 14 dk 3 sn belirlenmiştir. Karşılaştırma sonucunda hata payı %2,5 dan az olmuştur. Simülasyon sonucunda soğutucu akışkan kütle akış hızı azaldıkça defrost süresinin azaldığı tespit edilmiştir [14].

Melo ve arkadaşları, ev tipi buzdolaplarında elektrikli ısıtıcı ile defrost yöntemini deneysel olarak incelemişlerdir. Geliştirilen test cihazında üç farklı elektrikli ısıtıcı tipi kullanılmıştır. Defrost verimliliğinin farklı çalışma modlardaki durumunun tespit edilmesi amacıyla üç farklı çalışma modu belirlenmiş ve her tip ısıtıcı için ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Dağıtılmış Alüminyum borulu, kalrod ve cam tüp elektrikli ısıtıcıları ile tümleşik, kademeli ve titreşimli güç modları ile defrost prosesi gerçekleştirilmiştir. Tümleşik modda ısıtıcı tüm defrost işlemi boyunca açık tutulmuş ve en yayın yöntem olduğu söylenmiştir. Kademeli güç yöntemi defrost periyodu sırasında ısıtıcı gücünün kademeli olarak azaltılmasıyla yapılmıştır. Titreşimli güçte ise her zaman nominal güçle, bir açma-kapama döngüsünde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda titreşimli modun, tümleşik moddan daha yüksek ancak kademeli moddan daha düşük olan defrost verimleri sağladığı gözlemlenmiştir. Kademeli modda defrost işlemi gerçekleşirken diğer ısıtıcılarla elde edilen verim değerleri çok yakın olmasına rağmen cam tüp ısıtıcı yaklaşık %48 ile en yüksek verimi sağlamıştır. Tüm deney sonuçlarına bakıldığında ise kalrod ısıtıcının defrost veriminin diğer tiplerle elde edilen değerlere çok yakın olduğu ve montaj kolaylığı ile düşük maliyetli olduğu göz önüne alındığında, gerçek uygulamalarda kullanılabilir olduğu söylenmiştir [15].

Knabben ve arkadaşları, kanatlı buharlaştırıcıda oluşan buzlanmanın soğutma kapasitesi üzerindeki etkisini tahmin etmek için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Oluşturulan test cihazı ile matematiksel modelin doğrulanması sağlanmış ve defrost işleminin geliştirilmesine katkı sağlanmıştır. Test cihazı, HFC-134a buhar sıkıştırıcı soğutma döngüsü, 430 L'lik bir soğutma kabini, nemlendirme sistemi, sıcaklık ve nem kontrollü iklimlendirme odasından oluşmaktadır. Soğutma sonrasında buharlaştırıcının yan uçlarına kıyasla orta kısmında buzun daha yoğun bir şekilde biriktiği görülmüştür. Standart kullanılan defrost ısıtıcıları buharlaştırıcı yüzeyinde eşit olarak dağılmıştır ancak buz, buharlaştırıcı boyunca parabolik bir şekle göre birikmiştir. Yapılan deneyler sonucunda buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzu 235 W gücünde tek bir elektrikli ısıtıcı ile gidermek yerine, 175 W ve 60 W gücünde iki eş zamanlı ısıtıcı kullanılarak giderilebileceği önerilmiştir. Böyle bir alternatifle, defrost işleminin yaklaşık 3,67 dakika sürdüğü ve ideale yakın bir defrost verimine ulaşıldığı tespit edilmiştir [16].

Yin ve arkadaşları, soğuk hava deposu buharlaştırıcısındaki buzlanmanın giderilmesi için kullanılan hava bypass sirkülasyonu ve elektrikli ısıtıcıya dayalı yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. İki farklı defrost ısıtıcısı ve farklı hava sirkülasyon modları ile beş pratik yöntem önerilmiş ve test edilmiştir. Isıtıcılardan biri buharlaştırıcı üzerinde gömülüdür diğeri ise buharlaştırıcı öncesi hava kanalı içindedir. Hava sirkülasyonu elektronik valfler ile sağlanmış uygulanacak moda göre hava akışına yön verilmiştir. Defrost işlemi sırasında, bypass kanalı tarafından gelen hava dış ısıtıcıda yada gömülü ısıtıcıda ısınarak buharlaştırıcı üzerindeki buzun çözülmesine yardımcı olmaktadır. Buharlaştırıcı arasında gömülü ısıtıcı çalıştığında hava dışında kendi yaydığı ısı ile doğrudan buzun erimesine de katkıda bulunmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda önerilen beş mod içerisinde en uygunu defrost modu gömülü tip ısıtıcı ile bypass kanalında ve klima santralinde havanın dolaştığı yöntem olmuştur. Bu yöntemin geleneksel elektrikli defrost yöntemiyle kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya göre yeni önerilen yöntemde kabin içi sıcaklık dalgalanması %70,1 azalmış, defrost süresi %62,1 kısalmış buna bağlı olarak toplam enerji tüketimi %65,2 azalmıştır. Defrost verimliliği hakkında da geleneksel yöntemin 2.93 katı olarak %77,6'ya ulaştığı belirlenmiştir [17].

Amer ve arkadaşları, soğutma endüstrisi için uygulanabilir defrost yöntemlerini aktif ve pasif yöntemler olarak ayırmış ve her yöntemi incelemişlerdir. Pasif yöntemlerle enerji gerektirmeden yüzey morfoloji kullanılarak buzlanmanın önüne geçilebileceği söylenmiştir. Mikro oluklu, donmaya karşı kaplamalı, hidrofilik, hidrofobik ve süperhidrofolik yüzeyler pasif yöntemlerdir. Elektrohidrokinamik (EHD), ultrasonik titreşim, sıcak gaz, ters çevrim, elektrikli ısıtıcı, kurutucu nem gidericiler ve kontrol stratejileri de aktif yöntemlerde detaylı araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda mikro yivli yüzeylerin defrost sırasında erimeye belirli bir katkısı olduğu görülmüştür. Süperhidrofolik kaplama, buzlanmanın gecikmesinde etkili olmuştur. Hidrofobik yüzeyler için defrost performansı, hidrofilik ve kaplanmamış yüzeylerden daha iyi olmuştur. EHD uygulamalarında test sonuçları alternatif akım kullanımının doğru akımdan daha üstün olduğunu göstermektedir. Ultrasonik titreşim yöntemi, etkili bir don giderme sağlamış ve don oluşumunu önemli ölçüde geciktirmiştir. Elektrikli ısıtıcı kullanımı defrost tepkisi yüksek fakar enerji tüketimi oldukça yüksek olmuştur. Sıcak gaz ve ters çevrimin ilk kurulum maliyeti yüksektir ancak, COP ve enerji

tüketimleri diğer yöntemlerden daha üstün olduğu söylenmiştir. Soğutma sistemlerinde verimliliği arttırmak için FDM'ler araç olarak kullanılabilirliği önerilmiştir [18].

Abdulla ve arkadaşları, soğut odalar için yeni bir defrost yöntemi geliştirmişler ve deneysel çalışma yapmışlardır. Defrost için gereken enerjinin azaltılması, soğutma verimliliğini artırılması ve sıcaklık dalgalanmalarının azaltılması için, soğutucu akışkandan gelen ısıyı iki buharlaştırıcı ve dört yollu bir valf kullanarak buharlaştırıcının buzunun çözülmesi amaçlanmıştır. Defrost işlemi evaporatörler arasında sırayla gerçekleşmiş böylece kesintisiz soğutma işlemi sağlanmıştır. Enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel (4E) analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yeni yöntemin harici bir güç kaynağı gerektirmeden defrost işlemini gerçekleştirdiği ve soğutma verimliliğini %12 oranında artırabildiği görülmüştür. Kabin içi sıcaklık dalgalanmalarında %60 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Yeni yöntemin yıllık güç tüketimini 2783,7 kWh'ten 2496,6 kWh'e düşürdüğünü hesaplamıştır [19].

Vitor ve arkadaşları, bir buzdolabının defrost sürecini kontrol etmek ve iyileştirmek amacıyla yeni bir algoritma geliştirmiş ve deneysel olarak test etmişlerdir. Algoritma ile önerilen yöntem ekstra bir ekipman gerektirmemiş, defrost prosesine katkı sağlamak için mevcut sensörler güncellenerek yeni yöntemle uyarlanmıştır. Ortam koşullarının don birikimi üzerindeki etkisini tahmin edebilmek için bu mevcut sensörler kullanılmıştır. Doğru defrost süresinin tespiti için birinci denklemde buzdolabı kapısının toplam açık kalma süresi ile değişken bir katsayının çarpılmasıyla kompresör açıkken eşdeğer süresi hesaplanmıştır. İkinci denklemde ise katsayının değişimini sağlamış ve algoritmanın uyarlanabilirliğini garanti etmiştir. Bu uyarlanabilirlik, ortam sıcaklığındaki ve kapı açıklıklarındaki değişiklik yapılan deneylerle geleneksel defrost yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Defrost ısıtıcısı olarak 100 W gücünde kalrod ısıtıcısı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda geleneksel yöntemde 14 defrost için 4 saat 30 dakika ısıtıcı çalışma süresi belirlenmiş, uyarlanabilir yeni yöntemde ise 2 defrost için 32 dakikalık ısıtıcı çalışma süresi belirlenmiştir. Kapının açık olduğu testte, uyarlanabilir defrost ile 5 defrost, 2 saat 30 dakika ısıtıcı çalışma süresi, geleneksel yöntemde ise 8 defrost için 3 saat 50 dakika ısıtıcı çalışma süresi ölçülmüştür. Bu iki test için güç tüketiminde sırasıyla %0,8 ve %2,6'lık bir azalma gözlemlenmiştir.

Değerlendirilen tüm durumlarda buzdolabının enerji verimliliğinin arttığı sonucuna varılmıştır [20].

Gümüş ve arkadaşları, buzdolaplarında kullanılan defrost yöntemlerinden bahsetmiş ve deneysel çalışmalarla karşılaştırmalar yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada, enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yöntemlerin uygulanabilirliği tartışılmıştır. Deneyler üç farklı yöntem için R600a soğutucu akışkanını kullanan ev tipi bir buzdolabında gerçekleştirilmiştir ancak sistemin çalışma süresi hakkında bilgi verilmemiştir. Sıcak gaz yöntemi, sıcak sıvı yöntemi ve ters akış yöntemi ile defrost işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak gaz yönteminde defrost süresi 350 dk ile 450 dk arasında ölçülmüştür. Standart defrost yöntemi olan elektrikli ısıtıcı yönteminde bu süre 30 dk olmaktadır. Bu yüzden sıcak gaz yöntemi süresini kabul edilebilir olmadığı söylenmiştir. Sıcak sıvı yönteminde ısı termal kap içerisinde ısınan akışkan buharlaştırıcı yüzeyine bir pompa yardımıyla gönderilmiş ve defrost işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle %9 oranında enerji tasarrufu yapılabileceği hesaplanmıştır. Ters çevrim yönteminde ise defrost süresi elektrikli ısıtıcı ile benzer sonuçlar vermiştir. Ancak teorik ve deneysel hesaplamalarda ters çevrim süreci hakkında net bir sonuç elde edilememiş bu yüzden uygulanabilirliği hakkında karar verilememiştir [21].

Tudor ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, buharlaştırıcıda oluşan buzlanmanın giderilmesi için yeni bir elektrik alan yönteminden bahsetmiş ve deneysel bir çalışma ortaya koymuşlardır. Dielektrik bariyer deşarjı (DBD) olarak adlandırılan yeni teknik, elektrotlar aracılığıyla yüksek voltajlı, alternatif akımın uygulanması yoluyla buharlaştırıcı kanatçıklarında ısı üretilmesine dayanmaktadır. Bu çalışmada, tekniğin temel çalışma prensipleri anlatılmış, geleneksel elektrikli defrost tekniğiyle kıyaslaması yapılmış, avantajları ve sınırlamaları belirtilmiştir. Atmosferik basınçta çalıştırılan ve en az bir elektrotun bir dielektrik bariyer ile kaplandığı boşluklarda oluşan elektrik boşalmalarına dielektrik bariyer boşalmaları denir. Yapılan deneylerde buzlanmanın olduğu iki kanat arasındaki boşluğa yerleştirilen tel elektrotlara 700-3000 Hz frekans aralığında 7-12 kV AC gerilimler uygulandığında erime gerçekleştirilmiştir. Kanatlar 2-3 dakika içinde buzdan temizlenmiş, ısı olarak yalıtkan don tabakası kaldırılmış ve kanatlar arasında hava akışı tekrar sağlanmıştır. Çalışma

koşulu olan gerilim ve frekansa ulaşıldığında, elektrot telin çevresinde ince, sabit, mavi bir ışık oluştuğu gözlemlenmiştir. Buzun erimesi, dielektrik bariyer deşarjındaki enerjinin dağılımı nedeniyle lokalize olmuştur. Elektrotun arasında bulunduğu her iki tarafındaki kanatçıklardaki buz erimiş, ancak bu kanatların diğer tarafındaki buzlar erimemiştir. Bu lokalize erimeyle deşarjın buz tabakasını katman katman erittiği sonucuna varılmıştır. Doğrudan kanat üzerinde ısı oluşturan bu yöntemle buharlaştırıcı dışına bir ısı kaybı olmayacak, buzdolabındaki gıdaların sıcaklığı artmayacak ve bu da gıda kalitesini artıracaktır. Yapılan deneylerde DBD defrost ve elektrikli ısıtıcı ile defrost teknikleri için gerekli defrost güç tüketim seviyelerini karşılaştırılmıştır. Buzun tamamını çözmek için elektrot başına 7 W güç gerektirmektedir. DBD işlemi için gereken enerji yaklaşık 0,6 MJ/m olarak hesaplanmıştır. Elektrikli defrost tekniği, buharlaştırıcının buzunu çözmek için 15-20 dakika boyunca yaklaşık 300 W güç gerektirmiştir. Bu nedenle, elektrikli defrost için enerji gereksinimleri yaklaşık 1.0 MJ/m olmuştur. Hesaplanan veriler doğrultusunda DBD eritme tekniğinin, her defrost döngüsü sırasında buharlaştırıcının metresi başına yaklaşık 0,4 MJ tasarruf sağladığı sonucuna varılmıştır [22].

Malik ve arkadaşları, buzdolaplarında verimliliğin artırılması amacıyla yeni bir hibrit don algılama ve defrost sistemi geliştirmişlerdir. Don algılama sensörü, bir buharlaştırıcının yüzeyindeki don birikimini kesin olarak tespit etmek için fotoelektrik ve kapasitif algılama tekniklerinin yeni bir kombinasyonundan oluşturulmuştur. Kapasitif modül, grafit bazlı elektriksel olarak iletken polimer matris kompozit ilave edilerek üretilmiştir. Grafit bazlı kapasitif modül, soğutma işlemi sonrasında düşük güçlü elektrik dirençli defrost ısıtıcısı olarak kullanılmıştır. Soğutma sistemi öncesinde algılama sensörü sonrasında defrost ısıtıcısı olarak kullanıldığından kapasitif modül defrost sırasında algılama yapamamıştır. Bu yüzden geliştirilen bu hibrit sistemde diğer sensörler defrost sırasında da algılama yaparak don kalınlığını takip eder defrost işlemini sonlandırır. Yapılan deneyler sonucunda kapasitif modülün 12 W güç kullanarak yaklaşık 200 saniyede 3 mm kalınlığında buz tabakasını erittiği tespit edilmiştir. Bu sürede defrost işlemi sırasında 2,4 kJ enerji kullanılmıştır [23].

Rijing ve arkadaşları, ev tipi buzdolaplarında defrost performansını artırmak için yöntemler geliştirmişler ve deneysel çalışma yapmışlardır. Buharlaştırıcı üzerindeki

buzun elektrikli ısıtıcı ile çözülmesi sırasında oluşan buz yapısına bağlı olarak homojen bir erime olmamıştır. Bu yüzden tek bir ısıtıcı yerine buzlanmanın yüzeydeki yoğunluğuna göre çalışacak ekstra bir ısıtıcı uygulaması yapılmıştır. Burada don-ısı uyumu sağlamak için orijinal 180 W ısıtıcının yanı sıra buharlaştırıcının orta yüksekliğine ekstra bir U şeklinde 60 W kalrod ısıtıcı yerleştirilmiştir. Defrost sırasında ısıtıcıdan kabin içerisine geçen ısıнын önüne geçilebilmesi için 4 W gücünde ve 2 s de işlevini yerine getiren bir kapak tasarımı geliştirilmiştir. Bu kapak defrost başladığında kapatılmış ve kabin içi sıcaklık dalgalanmasının önüne geçilmek amaçlanmıştır. Deney sisteminde kullanılan buzdolabında 62 g R600a soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Kompresörün 43 saatlik çalışmasından sonra defrost başlatılmış, buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 7,0°C'ye ulaştığında sonlandırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda orijinal buzdolabının defrost süresi 34,9 dk olarak ölçülmüştür. Sadece kapak ile yapılan deneylerde sürede 1,2 dakikalık azalma ile defrost için doğrudan enerji tüketimi 0,003 kWh azalmıştır. Kapak ve ek ısıtıcı ile yapılan deneyde ise 30,4 dk defrost süresi ölçülmüş toplam enerji tüketimi 0.120 kWh olmuştur. 60 W ısıtıcının harcadığı ekstra enerji, süre ve geri kazanım döngüsünde enerji tüketimindeki düşüş ile fazlasıyla telafi edildiği söylenmiştir. Sonuç olarak buharlaştırıcı yüzeyindeki buzun senkrize bir şekilde homojen çözülmesi sağlanmış, mekanik kapak ile de kabin içi sıcaklık dalgalanmasının giderilerek defrost süresi kısaltılmıştır [24].

Yoon ve arkadaşları, ev tipi buzdolaplarında defrost verimliliğinin artırılması amacıyla bir algoritma geliştirmiş ve deneyler yapmışlardır. Defrost işlemi sırasında elektrikli ısıtıcı buzu eritmek için gerekli enerjiden daha fazla enerji harcamaktadır. Isıtıcı enerjisinin buzu çözme dışında kaybedilmesi defrost verimliliğini düşürmektedir. Bu sorunun çözülmesi amacıyla iletimli ve radyasyonlu ısıtıcıların kullanıldığı buzdolapları için üç farklı defrost ısıtıcı kontrol yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemler iki ısıtıcıyı aynı anda dalgalı güç ile çalıştırma, iki ısıtıcıyı ayrı ayrı dalgalı çalıştırma ve radyasyonlu ısıtıcı gücünün adım adım azaltılması yöntemi olarak sınıflandırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, tüm yöntemlerin dondurucu sıcaklığındaki artışı önlemede ve defrost verimini iyileştirmede geleneksel elektrikli yöntemlere göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yöntemler arasında en iyi performans, ayrı ayrı dalgalı güç modunda elde edilmiştir. Sıcaklık değişimi 5.0°C ölçülmüş ve defrost verimliliğinin %15 arttığı söylenmiştir [25].

Niu ve arkadaşları, soğuk depolama odası buharlaştırıcılarında oluşan buzun çözülmesi için yeni bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada çoklu buharlaştırıcılar kullanılmış ve sıcak akışkan defrostu yapılmıştır. Geliştirilen bu çoklu sistemde buharlaştırıcının birinde defrost uygulanırken diğerleri soğutma işlemi yapmaya devam etmektedir. Bu yöntemle soğutma işleminin kesintisiz olması amaçlanmıştır. Sistemin performansını incelemek için deney sistemi kurulmuştur. Dört buharlaştırıcılı bir soğutma odası tasarlanmış, sistemde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda defrost sürecinde kompresör güç girdisinde çok az değişiklik tespit edilmiş, sıcak akışkan ile defrostun ek güç tüketimi gerektirmediği belirtilmiştir. Sıcak sıvı defrost sırasında minimum soğutma kapasitesi 3,3kW olmuştur. Soğuk depolama sıcaklığı -10 °C ve havanın bağıl nemi sırasıyla %70 ve %90 olduğu koşullarda, COP maksimum 3,2 ve 3,1 değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen yeni sistemle don tabakası, sıcak akışkanın ısısı ile kaldırılabilir, ancak soğutma kapasitesi etkilenmez [26].

Karakaş ve arkadaşları, buharlaştırıcı üzerine uygulanan ultrasonik titreşimin buzlanmaya ve buharlaştırıcı kızgınlığına olan etkisini görebilmek amacıyla soğutma çevrimi üzerinde deneyler yapmışlardır. Çevrim elemanlarına ilave olarak buharlaştırıcı üzerine titreşim motoru yerleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda titreşimin buharlaştırıcı kızgınlığına etkisi olmamıştır. Deneyler titreşim kullanılan çevrimdeki enerji tüketiminin kullanılmayana göre toplam % 6,96 daha fazla olduğu söylenmiştir [27].

## **2.2. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KULLANIMI**

Lu ve arkadaşları, buzdolaplarında gıda kalitesinin korunması için yeni bir kombine raf geliştirmişler ve ısı transferinin yoğunlaştırılması için deneysel çalışma yapmışlardır. Defrost sırasında kabin içerisinde oluşan sıcaklık dalgalanmalarının gıda kalitesini etkilemesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda kabin içi raflarında ısı borulu ve FDM'li kombine bir raf tasarımı geliştirmişlerdir. Buharlaştırıcı üzerinde don birikmesi ile soğutma kapasitesinin azalacağı söylenmiş buna bağlı olarak da gıda sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir. Defrost işlemi sırasında ise soğutma sistemi

çalışmamakta, defrost ısıtıcısı ve dış ortamdan kabin içerisine ısı girişi olmaktadır. Bu tür sıcaklık değişim olaylarının gıda güvenliği üzerinde negatif etki edeceği söylenmiştir. Yapılan deneylerde FDM kabin raflarında kullanılmıştır. FDM olarak deiyonize sudan (%98) ve borakstan (%2) yapılan bir karışım kullanılmış ancak gizli ısı değeri hakkında bir bilgiye yer verilmemiştir. Deneyler ortam sıcaklığı 17 °C bir test odasında gerçekleştirilmiş ve defrost periyodu 6 saate bir yapılmıştır. FDM soğutma sırasında ısı kapasitesinden dolayı soğuk yüke maruz kalmış ve katı form oluşturmuştur. Defrost süresi boyunca sistemin durması ve kabinde oluşan fazla ısı yükünü telafi etmek için içinde depolanan bir miktar soğuk yükü serbest bırakmış ortamdaki fazla ısıyı emmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, FDM ile birlikte ısı borularının kullanılması, defrost süresi boyunca gıda sıcaklık artışını 1,5 °C azalttığı ve gıda sıcaklık homojenliğini iyileştirdiği görülmüştür. Homojen gıda sıcaklığı ve gıda kalitesinin iyileştirilmesi açısından avantajlar sunduğu bahsedilmiştir. Bu yeni raf tasarımı ile günümüzde kullanılan buzdolapları karşılaştırıldığında sistemin güç tüketimlerinde fark tespit edilmemiştir [28].

Cheng ve arkadaşları, ev tipi çift kapılı bir buzdolabında ısı depolamalı bir yoğuşturucu kullanarak enerji verimliliğini arttırmak için yeni bir tasarım geliştirmişlerdir. Sıradan kullanılan bir buzdolabının yan duvarlarındaki yoğuşturucu borularına FDM'nin sarılması yöntemiyle bir ısı depolaması yapılmıştır. Kullanılan buzdolabı 220 L kabin hacmine ve 72 gr izobüten (R600a) soğutucu akışkanına sahiptir. Buzdolabının genel ısı transfer performansını iyileştirmek için parafin, yüksek yoğunluklu polietilen ve genişletilmiş grafit ile hazırlanmış bir FDM kullanılmıştır. FDM'nin ısı iletim katsayısı 1.35 W/mK olarak ölçülmüş faz değişim sıcaklığının, yaklaşık olarak 25 °C ile 60 °C arasında değişen yoğuşma sıcaklığıyla eşleştiği sonucuna varılmıştır. Yeni buzdolabında kullanılan FDM'nin toplam kütlesi yaklaşık 0,5 kg'dır. Soğutma ve defrost işlemi yeni buzdolabı ve sıradan bir ev tipi buzdolabı için ayrı ayrı incelenmiş, sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda FDM'nin kullanılmasıyla yoğuşturucu sıcaklığı 2,3 °C, yoğuşturucu çıkış sıcaklığı 6,5 °C düşürülmüştür. Bu durum yeni buzdolabında daha düşük yoğuşma sıcaklığı ve daha büyük aşırı soğutma derecesi oluşturmuştur. Böylece, soğutma sisteminin verimliliğinin büyük ölçüde artırılabilir olduğu söylenmiştir. Yeni buzdolabının buharlaştırıcı sıcaklığı, sıradan buzdolabından yaklaşık 3 °C daha yüksek ölçülmüştür. Soğutma işlemi başladığında

kararlı duruma ulaşmak için başlangıç gücü azalmış ve geçen süre kısalmıştır. Test koşulları altında, yeni ve sıradan buzdolaplarının enerji tüketimleri sırasıyla 0,45 kWh ve 0,51 kWh olarak ölçülmüş bu da yeni buzdolabının yaklaşık %12 oranında enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermiştir [29].

Sonnenrein ve arkadaşları, gizli ısı depolama elemanlarının tel ve borulu kondansatörlere entegrasyonu yoluyla ev tipi buzdolaplarında güç tüketiminin azaltılması konusunda deneysel bir çalışma yapmışlardır. Güç tüketimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve optimum ısı iletim katsayısına sahip malzemenin belirlenmesi amacıyla su, parafin, kopolimer bağlı FDM ve farklı makro kapsüller kullanılmış ve sisteme yerleştirilebilirliği göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen buzdolabı tarafından yapısal kısıtlamalar nedeniyle, ısı depolama elemanı kalınlığı yaklaşık 4 mm ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, daha yüksek bir ısı depolama kapasitesi elde etmek için  $\omega \approx 0.1$  g/g grafit kütle fraksiyonuna ve 0.64 W/mK ısı iletim katsayısına sahip bir kopolimer FDM seçilmiş tel ve borulu yoğuşturucuya 500 g miktarında yerleştirilmiş 180 kJ/kg ısı depolama kapasitesi elde edilmiştir. Kondansere FDM'nin entegre edilmesiyle yapılan deneyler sonucunda güç tüketiminin %10'a kadar azaldığı tespit edilmiştir. Yoğuşturucu girişindeki maksimum sıcaklık 3 °C düşürülmüştür. Yoğuşturucu sıcaklığındaki azalma, düşük soğutucu akışkan basıncı ile birlikte buzdolabının COP değerinde bir artışa yol açtığı söylenmiştir [30].

Liu ve arkadaşları, by-pass çevrimi ile entegre edilmiş yeni bir tür ısı depolamalı defrost sistemi geliştirmişler ve bu sistem üzerinde dört farklı modda defrost işlemini test etmişlerdir. Deneysel çalışmada kullanılan ev tipi buzdolabında soğutucu akışkan olarak 63 gr R600a kullanılmıştır. Soğutma sisteminin güç tüketimi 0.86 kWh'dir. Isı depolaması için bir ısı değiştirici tasarlanmış ve yapılan hazne içerisine gizli ısı değeri 77,3 J/g, erime sıcaklığı 45 °C- 50 °C olan parafin malzemesi yerleştirilmiştir. Isıl depo kompresör çıkışında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan defrost işlemleri, elektrikli ısıtıcı ile, kompresör çıkışından by-pass yöntemi ile, akışkanın ısı depolama eşanjörü sonrasında bypass yöntemiyle buharlaştırıcıya gönderilmesiyle, kompresör çıkışı bypass sonrası buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın FDM'nin bulunduğu ısı eşanjörüne girerek kompresöre gitmesiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler buzlanmayı arttırmak amacıyla 3 cm kapak açıklığıyla yapılmıştır. 10 saatlik soğutma sonrasında anlatılan

bu farklı yöntemlerle defrost işlemi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bypass yöntemlerinde kompresöre sıvı soğutucu akışkan gitmesinin istenmediği bahsedilmiş ve son yöntem bu yüzden geliştirilmiştir. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 10 °C'ye ulaştığında defrost işlemi durdurulmuş ve defrost sonuçları gözlemlenmiştir. Elektrikli ısıtıcı ile defrost yönteminde 180 W gücünde ısıtıcı kullanılmış ve defrost prosesinin tamamı 30 dakika da gerçekleşmiştir. Diğer üç yöntem için yukarıda verilen yöntemler sırasında göre 20, 15 ve 10 dakika defrost süreleri ölçülmüştür. Deney sonuçları karşılaştırıldığında by-pass çevrimli ısı depolamalı defrost yönteminin defrost hızını etkili bir şekilde iyileştirdiği görülmüştür. Elektrikli defrost moduyla kıyaslandığında ise defrost sırasındaki güç tüketiminin %71 oranında azaldığı hesaplanmıştır. Hava soğutmalı ev tipi buz dolaplarının soğutma sistemi üzerinde bir ısı depolama teknolojisinin uygulanabilirliği belirtilmiştir [31].

Ezan ve arkadaşları, dikey bir içecek soğutucusunun evaproatör kabinine FDM entegre ederek soğutucu içerisindeki havanın enerji tüketimi, ısıl kararlılığı ve akış özelliklerini sayısal bir simülasyon ile incelemişler, deneysel verilerle sonuçları karşılaştırmışlardır. FDM olarak su kullanılmış ve özel bir plaka ile buharlaştırıcı arkasına yerleştirilmiştir. Deneylerde 2, 4, 6, 8 ve 10 mm FDM'nin levha kalınlıkları kullanılmıştır. Levha kalınlığının soğutma performansı ve iç sıcaklık homojenliği üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, FDM kalınlığının 4 mm'den 10 mm'ye yükseltilmesiyle kompresörün kapalı kalma süresi 221 dakikadan 494 dakikaya uzadığı ölçülmüştür. Kompresör çalışma süresi ise 86 dakikadan 202 dakikaya çıkmıştır. Sonuç olarak FDM levhasının uygulanmasıyla kompresör açık ve kapalı kalma sürelerine bağlı olarak hesaplanan çalışma süresi oranı azalmıştır. Minimum kompresör çalışma süresi oranı 6 mm kalınlığında FDM deneyinde gözlenmiştir [32].

Joybari ve arkadaşları, ev tipi buzdoplarında FDM'lerin uygulanması hakkında detaylı bir araştırma yapmışlar, literatürde karşılaşılan modelleme ve deneylerin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Uygulaması yapılmış FDM'ler özellikleriyle birlikte listelenmiştir. FDM'lerin soğutma sisteminde uygulanacağı yere ve kullanıldığı kalınlığa bağlı olarak avantajlarından bahsedilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda FDM kalınlığı arttıkça kompresörün kapalı süresinin artmış, yüksek COP değeri hesaplanmıştır. Ortam sıcaklığı arttığında daha düşük COP, daha kısa kompresör kapalı kalma süresi ve daha



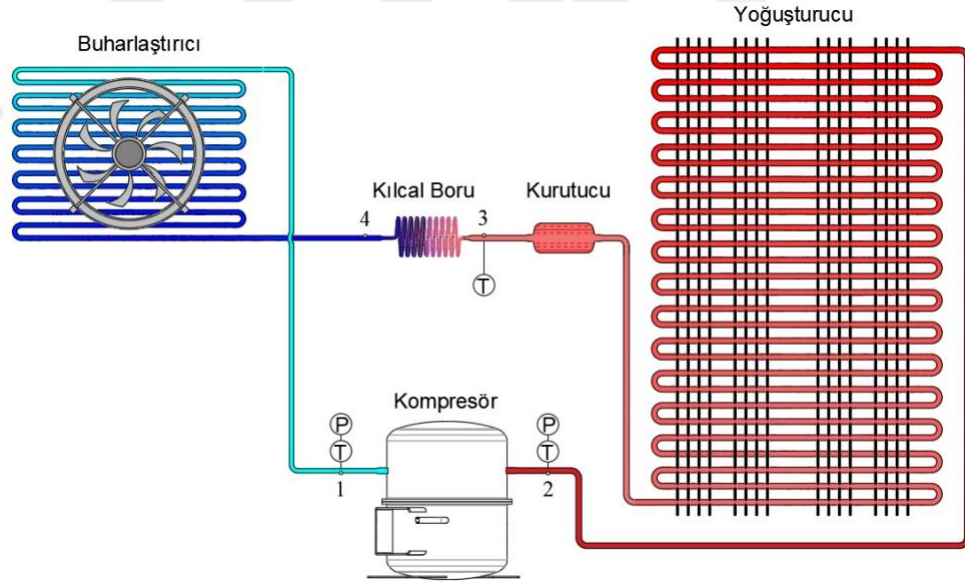
kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda defrost süresinin FDM kullanımıyla 2,5 dk kısaldığı tespit edilmiştir. Önerilen bu sistem için bir defrost döngüsü sırasında enerji tüketimi %8 ve kapı açma deneyleri sırasında %7 oranında azalmıştır. Defrost anında kabin içerisinde ısı yükleri artmakta buna bağlı olarak da ekstra enerji tüketimine neden olmaktadır. Ancak, FDM kullanımının bu ısı yükünü dengelediği ve daha düşük enerji tüketimine neden olduğu sonucunda varılmıştır [36].

Liu ve diğerleri yaptıkları çalışmada, su ısıtıcılı hava kaynaklı bir ısı pompası kompresöründe ısı depolaması kullanımı ve defrost yöntemlerinin karşılaştırılması için deneysel çalışmalarda bulunmuşlardır. Ters çevrim metodu, elektrikli defrost yöntemi ve ısı depolamasının kullanıldığı sıcak gaz yöntemi için deneyler yapılarak yöntemlerin kıyaslanması ve ısı depolamanın etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneyler -5 °C laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Defrost prosesi buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 2.6 °C'ye yükseldiğinde işlemler sonlandırılmış süreleri belirlenmiştir. Termal ısı depolama işlemi kompresörün dışına hazırlanmış bir ısı depolama tankında gerçekleşmektedir. Sıcak gaz ile buz çözme yöntemi sırasında kompresörün güvenliği düşünülerek kompresör giriş sıcaklığını artırmak ve sıvı emmesini önlemek için ısı depolama eşanjörü tasarımı yapılmıştır. FDM olarak toplam 3,5 kg 6:4 oranında gizli ısı 103 kJ/kg olan katı sıvı parafin karışımı kullanılmıştır. Katı parafinin erime noktası 48 °C iken yeni karışım ile FDM'nin erime noktası 17°C'ye düşürülerek kompresör ısı ısı için daha uygun hale getirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda buz çözme süreleri, ters çevrim yönteminde 110 s, elektrikli defrost yönteminde 350 s, FDM kullanılan ısı depolamalı sıcak gaz defrost yönteminde ise 100 s olarak ölçülmüştür. Kompresör tüketimi sıcak gaz yönteminde 43,6 kJ ölçülmüş, ters çevrim yöntemi tarafından tüketilen güce kıyasla %19,9, elektrikli yöntemle kıyasla ise %88,6 tasarruf edilmiştir. FDM'nin kompresör üzerinde kullanılması yaz aylarında kompresör sıcaklığında ciddi bir artış görülmüş bu nedenle bir su ısıtma tank tasarımı yapılarak kompresör sıcaklığının 8,8 °C azalmasını sağlanmıştır. Isı pompası olarak çalışan bu sistemde ise 2.5 saat sonunda 30 °C'de 10 L kullanım suyu elde edilmiştir [37].

## BÖLÜM 3

### DENEY SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZLERİ

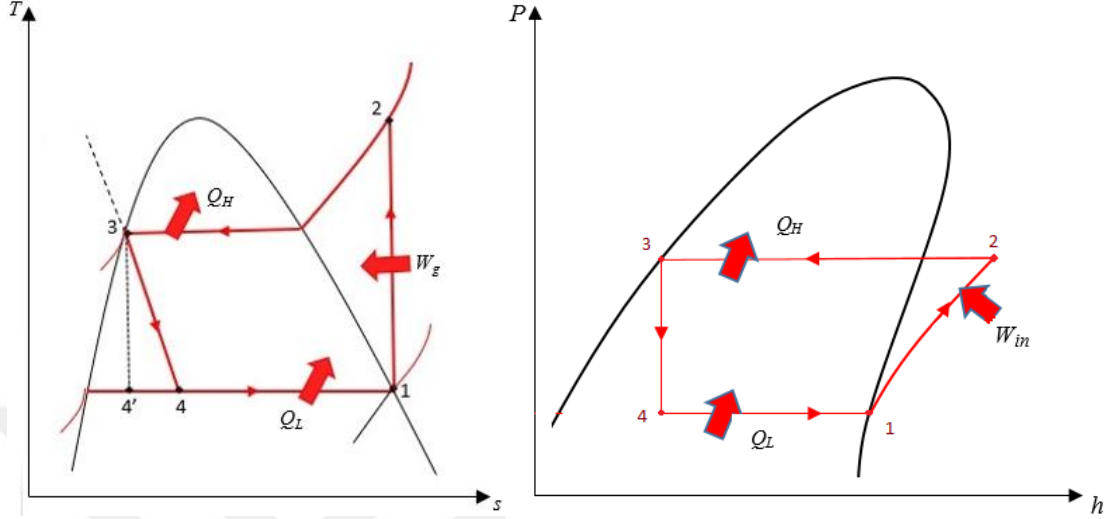
Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimleri, bir çalışma akışkanının faz değıştirmesi ve bu faz değışimi esnasında ısı alması veya ısı yayması prensibine göre çalışan oldukça yaygın kullanım alanlarına sahip yapılardır. Bu çevrimlerin en yaygın kullanım alanlarının başında buzdolapları, dondurucular ve klima sistemleri gelmektedir. İyi tasarlanmış bir buhar sıkıştırırmalı sistem uzun yıllar boyunca sorunsuz bir şekilde görevini yerine getirebilmektedir. Şekil 3.1’de bir buhar sıkıştırırmalı sistemin şematik görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin şematik görüntüsü [38].

Buhar sıkıştırırmalı sistemler; kompresör, yoğuşturucu, genişleme valfi ve buharlaştırıcı olmak üzere dört ana elemandan oluşmaktadırlar. Ayrıca, buhar sıkıştırırmalı sistemlerin kullanım alanlarına ve amaçlarına göre sistemlere bazı yardımcı elemanlar eklenerek

görevlerini sorunsuz yerine getirmeleri sağlanmaktadır. Şekil 3.2’de ideal buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemine ait P-h ve T-s diyagramları yer almaktadır.

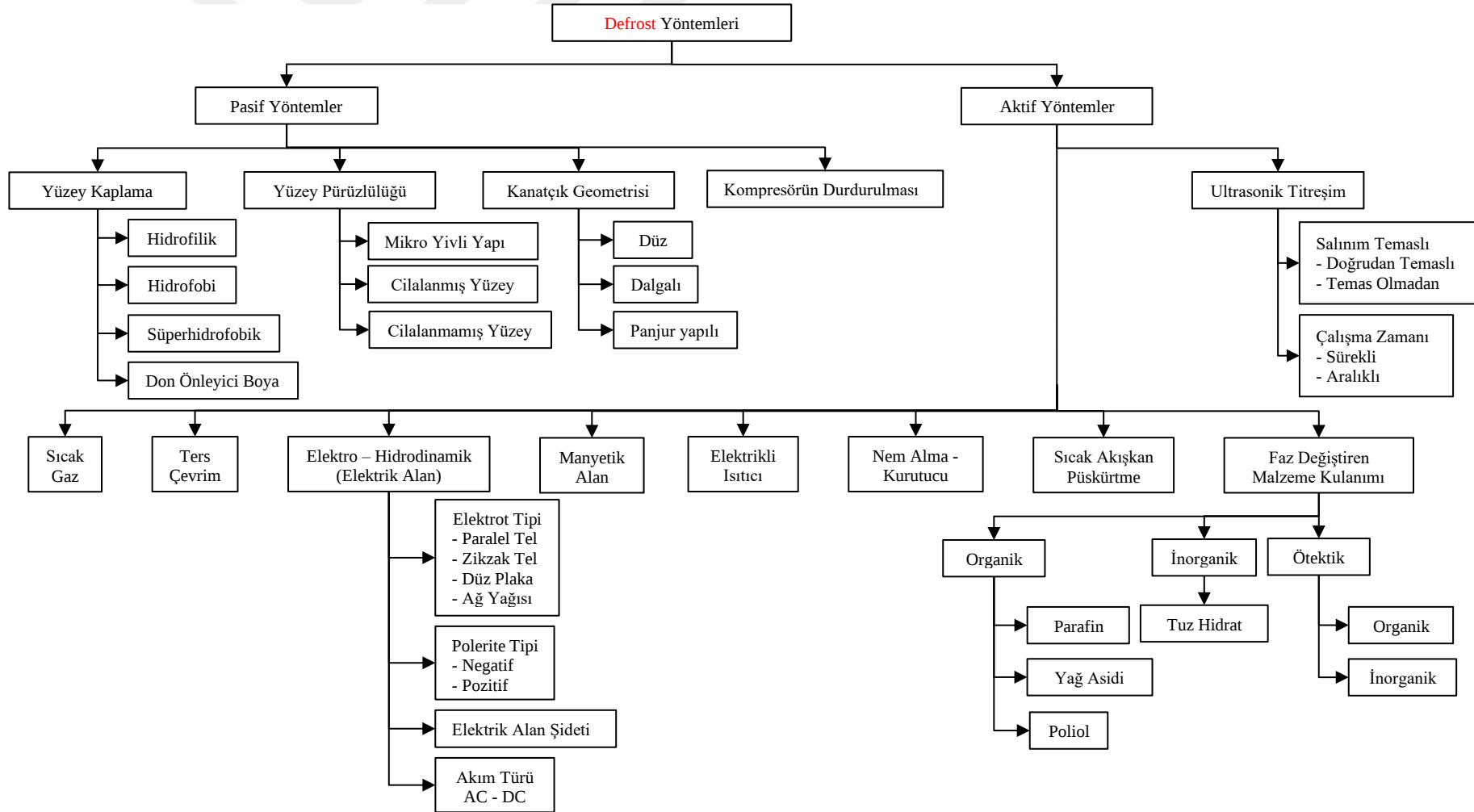


Şekil 3.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramları.

İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimlerinde doymuş buhar kompresör tarafından sıkıştırılarak (1-2) yoğuşatıcıya gönderilir. Yüksek basınç altında yoğuşatıcıda yoğuşarak ısısını kaybeden çalışma akışkanı genleşme valfinden geçerek düşük basınçlı buharlaştırıcı bölgesine ulaşır ve burada buharlaşarak çevreden veya temas ediyor olduğu yüzey veya maddelerden ısı alır ve tekrar kompresöre doymuş buhar olarak ulaşır.

Yapılan çalışmada, temel olarak rezistans tip defrost yöntemi ile sıcak gazlı defrost yöntemi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Ancak, çalışmanın orjinalitesini oluşturan husus, sıcak gazlı defrost yönteminde FDM kullanılması ve malzemenin defrost sürecine etkilerinin detaylı incelenmesidir.

Şekil 3.3’te çeşitli şekillerde kullanılabilen veya geliştirilmiş olan defrost yöntemlerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Defrost Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Yapılan çalışmalarda defrost amacına hizmet edecek önemli bir unsur olarak kullanılan FDM bünyesinde enerji depolayan ve depoladığı bu enerjiyi gerekli kullanım amaçları doğrultusunda geri veren yapılardır. Faz değişimleri sırasında bulundukları ortamdan alınan ısı gizli ısı olarak depolanır. Kimyasal özelliklerine göre FDM'ler organik, inorganik ve ötektik olarak ayrılmıştır. Kullanılacak ortama, sıcaklık aralığına göre bir çok FDM çeşiti bulunabilir.

Bulunabilirliği ve çeşitli fiziksel kimyasal özelliklere sahip olmaları bir çok sektörde kullanımını arttırmış durumdadır. Elektronik teknolojisi, tekstil, inşaat sektörlerinde ve enerji tasarrufu uygulamalarında sıkça karşılaşılmaktadır. İklimlendirme ve soğutma tarafında ise ısı enerjisinin depolanması ve bu enerjinin sonradan kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Konut tipi bir buzdolabında enerji tasarrufu ve verimliliğin artırılması konusunda literatürde bir çok çalışma yapılmış ve soğutma sırasında farklı FDM uygulamaları yapılmıştır. Buharlaştırıcıya yerleştirilen FDM kendisinin de soğutulmasıyla ekstra bir enerji harcatmış ancak soğutma tamamlandığında daha uzun bir kompresör kapalı kalma süresi sağlamıştır. Bu sayede kompresör daha az durup çalışma durumu yaşar ve daha düşük enerji tüketimi sağlanır. Elektrik kesintisi durumunda buharlaştırıcı görevi görerek yiyecek kalitesinin bozulmasının önüne geçilebilmektedir. Aynı çalışma içerisinde buharlaştırıcıda kullanılan FDM ile, yoğuşturucuda daha düşük sıcaklıklar elde edilerek sistem verimliliğini arttırmak amaçlanmıştır. FDM'nin soğutma çevrimindeki konumu itibariyle avantajlarına bakılarak kompresör ile yoğuşturucu arasında kullanımda %6, yoğuşturucu ile genleşme valfi arasında kullanımda ise %8 COP artışı olacağı belirlenmiştir. Çizelge 3.1'de FDM'lerin sahip olmaları istenen özellikler verilmiştir [33].

Çizelge 3.1. FDM’lerin sahip olması gereken özellikler [39]

| Termo-fiziksel özellikler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kimyasal Özellikler                                                                                                                                                                          | Ekonomik Özellikler                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Seçilen malzemenin uygun sıcaklıkta faz değişimine sahip olması</li> <li>Malzemenin yoğunluğuna oranla yüksek gizli ısı kapasitesine sahip olması</li> <li>Isı iletim katsayısının yüksek olması</li> <li>Hal değişimi esnasında hacimdeki değişimin düşük olması</li> <li>Katı sıvı dönüşümleri arasındaki sıcaklık farkının düşük olması</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hem eriyip hem donabilme özelliği</li> <li>Uzun ömürlü ve kimyasal bileşeninde bozulma olmaması</li> <li>Malzemenin çevreye duyarlı olması</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bütçe dostu olması</li> <li>Geri dönüşümünün kolay olması</li> <li>Malzemenin temin edilebilirliğinin kolay olması</li> </ul> |

### 3.1. DENEY SİSTEMİ VE TASARIMI

Yapılan çalışmada, konut tipi buzdolapları ve dondurucularda enerji tüketimini artıran ve sistem elemanlarından buharlaştırıcının performansını doğrudan etkileyen buzlanmanın giderilmesinde kullanılan farklı yöntemler deneysel olarak incelenmiştir. Bu inceleme ve gözlemler 85 gr R600a soğutucu akışkan ile çalışan bir ev tipi buzdolabında gerçekleştirilmiştir. Çift kabinli buzdolabının, üst kabini dondurucu bölümü ve alt kabin ise taze gıda bölümünden oluşmaktadır. Kullanılan buzdolabında 478 L net hacim ve 98 litre donmuş gıda bölümü hacmi vardır. 172 W güç tüketimi ile 0,77A akım çekme özelliklerine sahiptir ve günlük enerji tüketim değeri 0,968 kWh’dir. Buharlaştırıcıdaki buzun çözülmesi işi 271W gücünde ısıtıcı rezistanslı elektrikli ısıtıcı tarafından yapılmaktadır.

Ev tipi buzdolaplarında genellikle rezistanslı elektrikli defrost sistemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle yapılan defrost işlemleri sırasında ekstra elektrik tüketimi, kabin içerisinde sıcaklık dalgalanması gibi dezavantajlar görülmektedir. Sistem performansının geliştirilebilmesi ve farklı defrost yöntemlerinin uygulanabilirliğini test

etmek amacıyla kullanılan ev tipi buzdolabında amaçlarımız doğrultusunda bazı düzenlemeler yapılmıştır. Farklı çalışma özelliklerine sahip defrost yöntemleri üzerinde periyodik olarak her 8 saatte bir defrost işlemi yapılacak şekilde bir tasarım uygulanmıştır.

Buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin verimi, buzdolabı içerisine soğutma yükü oluşturacak gıda ve soğutularak saklanacak ürünlerin koyulmasıyla değişkenlik göstermektedir. Farklı soğutma yüklerinin soğutma sistemine etkilerini inceleyebilmek amacıyla buzdolabı içerisine seramik ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Bu ısıtıcıların soğutma yükü değerlerinin ayarlanması amacıyla, bir Vortice C 2,5 marka güç ayar cihazı kullanılmıştır. Elektrikli ısıtıcı ve sıcak gaz kullanılan defrost yöntemlerinde seramik ısıtıcılar yardımıyla 0, 25, 50 ve 75 W soğutma yüklerinde deneyler yapılmıştır. Her defrost sonrası sistem soğutmaya tekrar başladığında ise buzdolabı içerisine ısılatılmış selülozik petekler yerleştirilerek kabin içerisine yayılan su buharı temsil edilmiştir.

Kompresör çıkışına yerleştirilen içerisinde FDM bulunan bir ısı değiştirici yardımıyla bir ısı depolama alanı oluşturulmuş ve bu alana FDM olarak, gizli, ısı değeri 128,456 J/kg, ergime sıcaklığı 51-54 °C ve  $C_nH_{2n+2}$  kimyasal formülüne sahip parafin yerleştirilmiştir. Parafin burada yüksek sıcaklıktaki akışkanın ısını alarak sıvı forma geçmektedir. Yoğuşturucuya geçmeden gerçekleşen bu işlemde sistemde ekstra bir yoğuşturucu görevi gördürülmektedir. Her bir deney FDM'nin kullanılması ve kullanılmaması durumları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Sıcak gaz defrostu uygulamalarında kompresör durdurulmaz ve kızgın buhar formundaki soğutucu akışkan yoğuşturucuya gitmeden doğrudan buharlaştırıcının içine girer ve buharlaştırıcının yüzeyindeki buzlu yapı akışkanın ısını alarak erir. Bu yöntemi gerçekleştirebilmek için sisteme akışkanın gideceği yolların kontrol edileceği selenoid valfler yerleştirilmiştir.

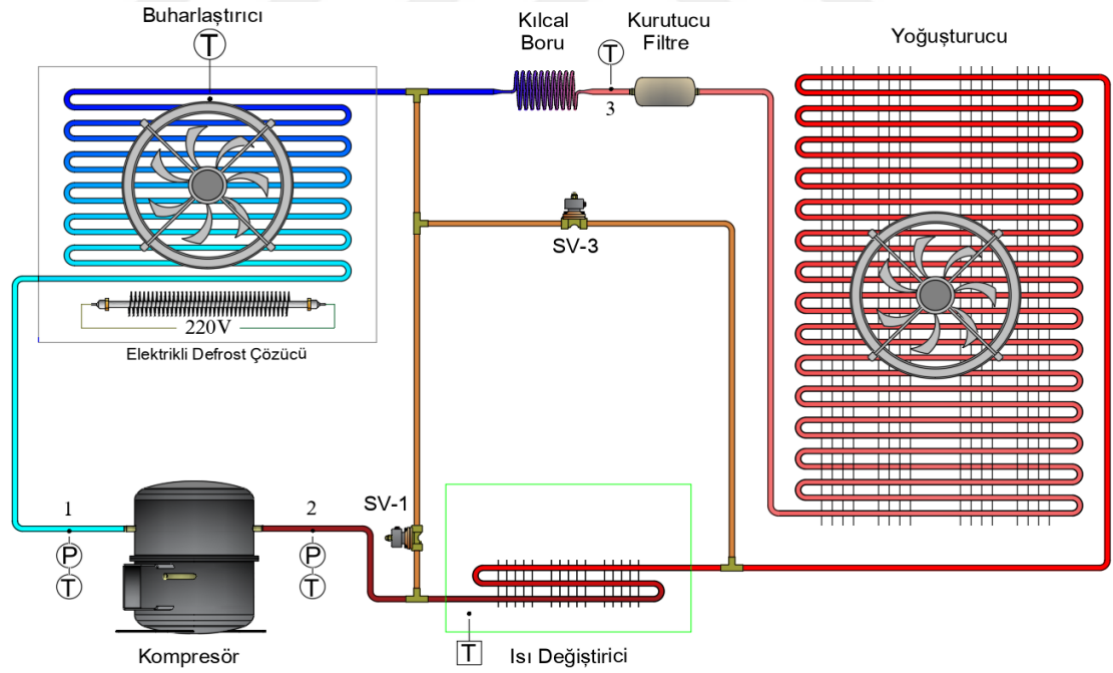
Soğutma başladığı andan itibaren defrost işlemi tamamlanıncaya kadarki süreçte önemli sıcaklık ve basınç değerleri sensörler yardımıyla ölçülmektedir. Sistemde gerekli sıcaklıkların ölçümü K tipi ısılıçiftler ile, basınçları ölçümü ise -1 ve 60 bar aralığında ölçüm yapabilen Testo i8 marka basınç sensörleri ile sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan ölçüm sensörleri ve cihazlarına ait özellikler Çizelge 3.2’de, verilmiştir.

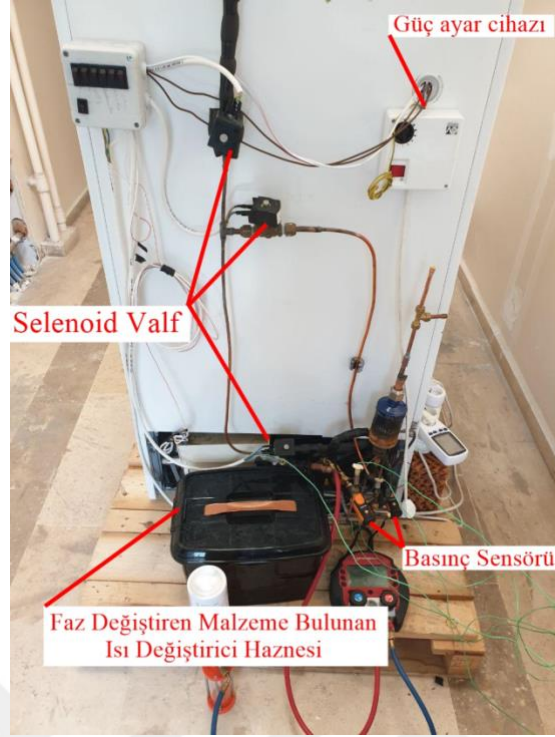
Çizelge 3.2. Çalışmalarda kullanılan ölçüm sensör ve cihazlarına ait özellikler.

| Ölçüm Cihazı   | Adı             | Ölçüm Aralığı | Hassasiyet |
|----------------|-----------------|---------------|------------|
| Sıcaklık       | K Tipi Isılçift | -40...375 °C  | %±0.1      |
| Basınç Sensörü | Testo 549i      | -1... 60 bar  | %±0.5      |
| Güç Ölçer      | Kohler          | 0.1...10 A    | %±1.0      |
| Hassas Terazi  | RES-100         | 0...100 kg    | %±0.5      |

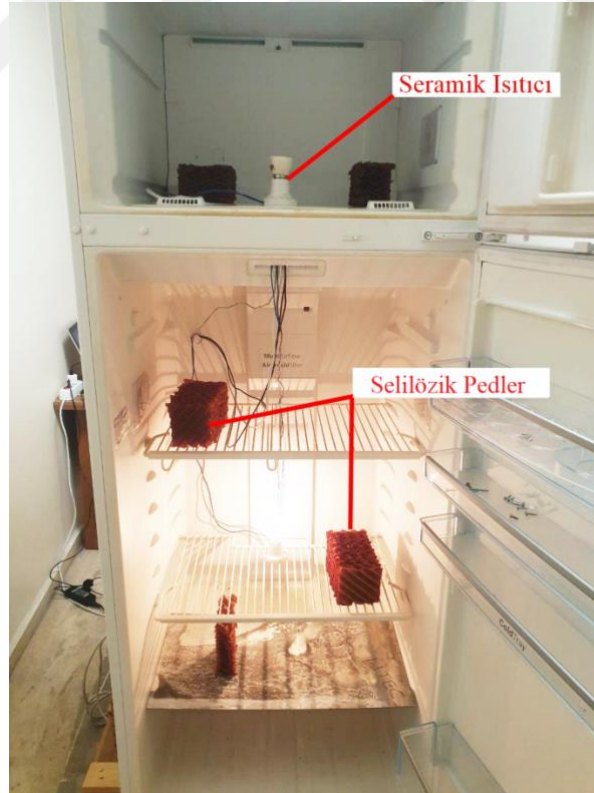
Çalışmalarda kullanılan deney sistemine ait şematik görüntü ve kullanılan ölçüm elemanlarının yerleşimleri Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Ayrıca, deney sistemi üzerinde yapılan değişiklikler ve ölçüm elemanlarının yerleşimleri Şekil 3.5’te, soğutma kabini içerisine yerleştirilen selilözik pedlerin görüntüsü ise Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.4. Deney sistemine ait şematik görüntü

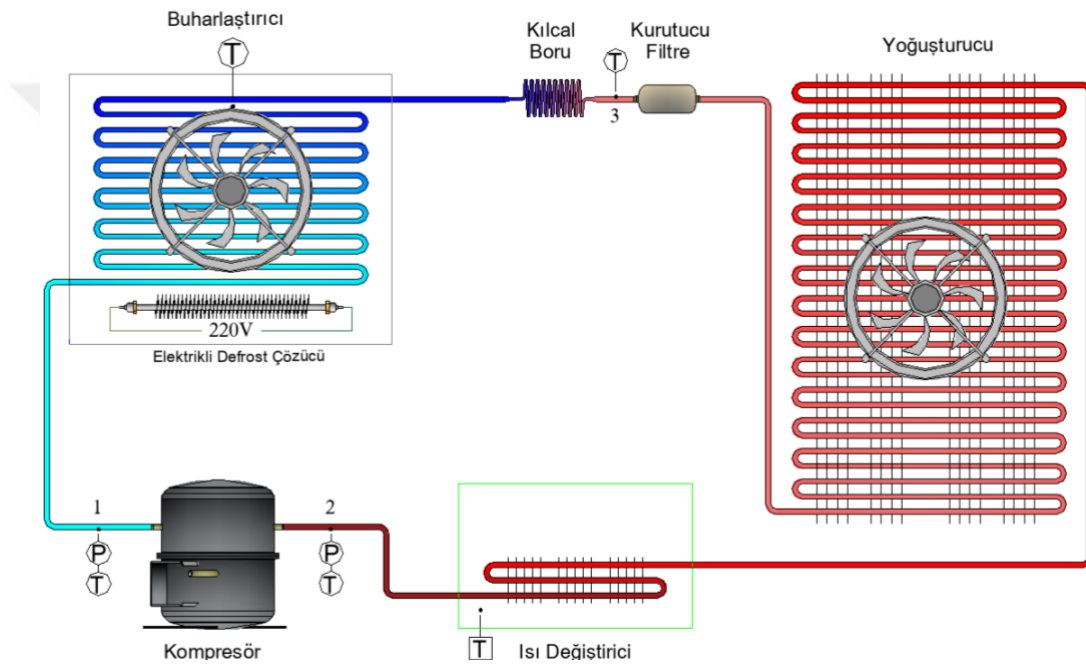


Şekil 3.5. Deney sistemi ve ölçüm elemanlarının yerleşimleri



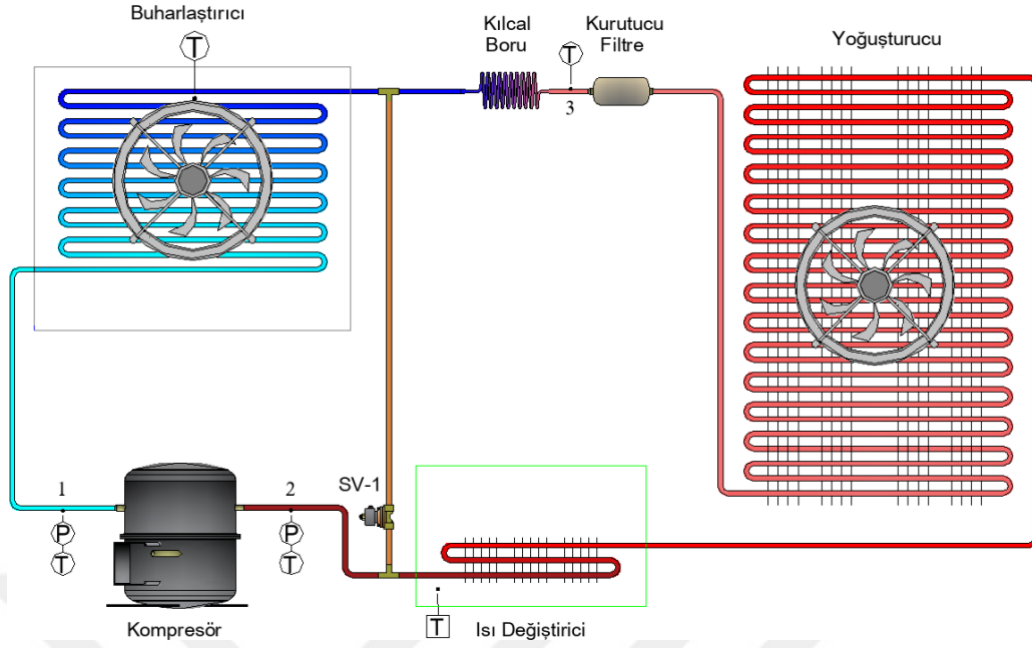
Şekil 3.6. Soğutma kabini içerisine yerleştirilen selilözik pedlerin görüntüsü

Yapılan çalışmaların ilk aşamasında, elektrikli ısıtıcı kullanılarak defrost işlemi yapılan standart bir ev tipi buzdolabının çalışma özellikleri ve defrost süresi ortaya konmuştur. Bu aşamada kullanılan soğutma sistemine ait şematik görüntü Şekil 3.7’de verilmiştir. Soğutma işlemi başladıktan 8 saat sonra kompresör durdurulmuş, buharlaştırıcı fanı kapatılmış ve elektrikli ısıtıcı devreye alınmıştır. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 8°C’ye ulaştığında ısıtıcı kapatılmıştır. Defrost işlemi bittiğinde 2 dakika sistem kapalı durmuş ve sonrasında soğutma işlemi için kompresör ile buharlaştırıcı fanı tekrar çalıştırılmıştır.



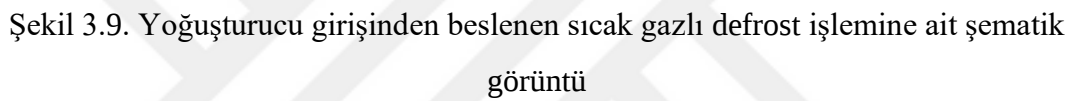
Şekil 3.7. Elektrikli ısıtıcılı defrost sisteminin şematik görüntüsü

Çalışmaların ikinci aşamasında, sıcak gazlı defrost işlemi yapılmış ve yapılan deneyde, kompresörde sıcaklığı artan soğutucu akışkan doğrudan buharlaştırıcıya gönderilmiştir. Defrost zamanı geldiğinde Şekil 3.8’de gösterilen kompresörün çıkışına yapılan yeni bağlantıda bulunan selenoid valf (SV1) açık konuma getirilerek akışkanın yönü değiştirilmiştir. Buharlaştırıcıdaki buz çözüldüğünde valf kapatılmış ve sistem soğutma işlemi yapmaya devam etmiştir.

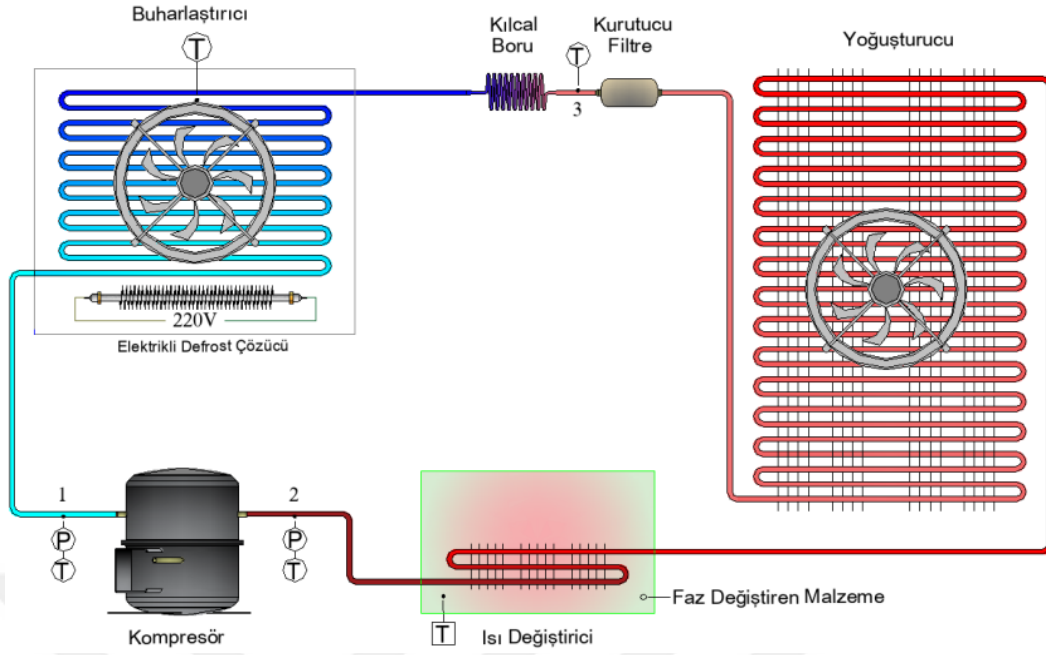


Şekil 3.8. Kompresör çıkışından beslenen sıcak gazlı defrost işlemine ait şematik görüntü

Çalışmaların üçüncü aşamasında, sisteme eklenen ısı değişicinin çıkışına yerleştirilen bağlantıdan akışkanın buharlaştırıcıya gönderilmesiyle sıcak gazlı defrost işlemi yapılmıştır. Şekil 3.9’da gösterildiği gibi ısı depolama haznesinde FDM kullanılmamıştır. Defrost zamanı geldiğinde selenoid valf (SV3) açık konuma getirilerek akışkanın yönü değiştirilerek, akışkanın yoğuşturucuya girmeden doğrudan buharlaştırıcıya gitmesi sağlanmıştır. Buharlaştırıcıdaki buz çözüldüğünde selenoid valf kapatılmış ve sistem soğutma işlemi yapmaya devam etmiştir.



32



Şekil 3.10. FDM kullanılan elektrikli ısıtıcılı defrost işlemine ait şematik görüntü

Çalışmaların beşinci aşamasında, sıcak gaz defrostu yapılan deneyde, kompresörde sıcaklığı artan soğutucu akışkan doğrudan buharlaştırıcıya gönderilmiştir. Şekil 3.11’de gösterildiği gibi, ikinci aşama çalışmalarından farklı olarak ısı değiştirici bulunan hazne içerisine FDM yerleştirilmiştir. Defrost zamanı geldiğinde kompresörün çıkışına yapılan yeni bağlantıda bulunan selenoid valf (SV1) açık konuma getirilerek akışkanın yönü değiştirilmiştir. Buharlaştırıcıdaki defrost işlemi tamamlandığında selenoid valf kapatılmış ve sistem soğutma işlemi yapmaya devam etmiştir.

Çalışmaların altıncı aşamasında, sisteme eklenen ısı değiştiricinin çıkışına yerleştirilen bağlantıdan akışkanın buharlaştırıcıya gönderilmesiyle sıcak gazlı defrost işlemi yapılmıştır. Üçüncü aşama çalışmalarından farklı olarak, Şekil 3.12’de gösterildiği gibi ısı değiştirici bulunan hazne içerisine FDM yerleştirilmiştir. Defrost zamanı geldiğinde selenoid valf (SV3) açık konuma getirilerek akışkanın yönü değiştirilmiş yoğuşturucuya girmeden buharlaştırıcıya gönderilmiştir. Buharlaştırıcıdaki buz çözüldüğünde selenoid valf kapatılmış ve sistem soğutma işlemi yapmaya devam etmiştir.



## 3.2. TEORİK YAKLAŞIMLAR

### 3.2.1. Enerji Analizi

Soğutma sistemlerinin performans katsayılarındaki değişim, kompresör izentropik verimi, yoğusturucu ve buharlaştırıcı sıcaklıkları gibi parametreler termodinamiğin birinci yasası kullanılarak analiz edilebilmektedir. Yapılan teorik analizlerde, bu bilgi çerçevesinde termodinamiğin birinci yasası her bir sistem elemanı için ayrı ayrı uygulanmıştır. Soğutucu akışkanın kütleli debisi ( $\dot{m}_r$ ) ile kompresör işi ( $W_c$ ); kompresör giriş-çıkışındaki entalpi değerleri, kompresörün mekanik-elektriksel verimi ( $\eta_{mek} \eta_{el}$ ) ve kompresör tarafından kullanılan güç ( $\dot{P}_{komp}$ ) kullanılarak Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımıyla hesaplanabilmektedir [40].

$$\dot{W}_{komp} = \dot{P}_{komp} \eta_{mek} \eta_{el} \quad (3.1)$$

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{W}_{komp}}{h_2 - h_1} \quad (3.2)$$

Benzer şekilde, diğer sistem elemanları olan buharlaştırıcı ve yoğusturucu kapasiteleri her iki elemana giren ve çıkan soğutucu akışkanın entalpi değerleri ve soğutucu akışkanın kütleli debisi yardımıyla Eşitlik 3.3 ve Eşitlik 3.4 kullanılarak hesaplanır.

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_r (h_7 - h_6) \quad (3.3)$$

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (3.4)$$

Soğutma sistemlerinde COP değeri, birim zamanda buharlaştırıcıdan alınan ısıнын bu işlemi gerçekleştirmek amacıyla kompresör tarafından harcanan güce oranı şeklinde bulunur.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{buh}}{\dot{P}_{komp}} \quad (3.5)$$

### 3.2.2. Ekserji Analizi

Ekserji, çevresel koşullarla bağlı olarak kullanılabilirliğin veya kalitenin bir ölçüsü olarak düşünülür. Yapılan ekserji analiziyle, sistemde kullanılan her bir eleman için tüm kayıplar tanımlanır. Bu sayede, kayıpların büyüklüğü, önem sırası ve tersinmezliklerin öğrenilmesi sağlanır. Ekserji analizinde enerji kayıplarının değerlendirilmesi termodinamiğin birinci kanunu yerine ikinci kanunu içeriğinde olan bir analiz yapısıdır.

Sürekli akış kontrol hacminin ekserji yıkımı Eşitlik 3.6’da gösterilmektedir.

$$\dot{E}_{x,yık} = \sum \dot{E}_{x,in} - \sum \dot{E}_{x,out} + \sum \left[ \dot{Q} \left( 1 - \frac{T_o}{T} \right) \right]_{in} - \sum \left[ \dot{Q} \left( 1 - \frac{T_o}{T} \right) \right]_{out} + \sum \dot{W}_{in} - \sum \dot{W}_{out} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6’nın sağ tarafındaki ilk iki madde akış ekserjisini temsil eder. Sonraki iki öge ısı transfer enerjisini ve son iki öge iş ekserjisini temsil eder. Bu çalışmadaki tüm denklemlerdeki “out” ve “in” alt endeksleri çıkış ve giriş koşullarını temsil etmektedir. Ayrıca, ortam sıcaklığı referans sıcaklık ( $T_o$ ) olarak ölçülmüştür. Sistemin her noktasındaki akış ekserjisi Eşitlik 3.7’de verildiği gibi hesaplanır:

$$\dot{E}_x = \dot{m}_r [h - h_o - T_o(S - S_o)] \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.8 ve 3.9, sistem ekserji analizinin her bir ögesi için ekserji yıkımını aşağıdaki gibi hesaplamak için kullanılmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,komp} = \dot{E}_{x,1} - \dot{E}_{x,2} + P_{komp} \quad (3.8)$$

$$\dot{E}_{x,yık,komp} = \dot{m}_r [(h_1 - T_o S_1) - (h_2 - T_o S_2)] + P_{komp} \quad (3.9)$$

Ekserji yıkımının genel ifadesini aşağıdaki gibi hesaplamak için Eşitlik 3.10 ve 3.11 kullanılmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,yoğ} = \dot{E}_{x,2} - \dot{E}_{x,3} - \left[ \dot{Q}_{yoğ} \left( 1 - \frac{T_o}{T_{yoğ}} \right) \right] \quad (3.10)$$

$$\dot{E}_{x,yık,yoğ} = \dot{m}_r[(h_2 - T_o S_2) - (h_3 - T_o S_3)] - \left[ \dot{Q}_{yoğ} \left( 1 - \frac{T_o}{T_{yoğ}} \right) \right] \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.12 ve 3.13'te sistem buharlaştırıcısının ekserji yıkımı hesaplanmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,buh} = \dot{E}_{x,6} - \dot{E}_{x,7} + \left[ \dot{Q}_{buh} \left( 1 - \frac{T_o}{T_{buh}} \right) \right] \quad (3.12)$$

$$\dot{E}_{x,yık,buh} = \dot{m}_r[(h_6 - T_o S_6) - (h_7 - T_o S_7)] + \left[ \dot{Q}_{buh} \left( 1 - \frac{T_o}{T_{buh}} \right) \right] \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.14 ve 3.15'te genişleme valfinin ekserji yıkımı hesaplanmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,kb} = \dot{E}_{x,5} - \dot{E}_{x,6} \quad (3.14)$$

$$\dot{E}_{x,yık,kb} = \dot{m}_r T_o (S_5 - S_6) \quad (3.15)$$

Isı değiştiricisinin ekserji yıkımını hesaplamak için Eşitlik 3.16 ve 3.17 kullanılmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,ıd} = (\dot{E}_{x,3} - \dot{E}_{x,4}) + (\dot{E}_{x,7} - \dot{E}_{x,1}) \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{x,yık,ıd} = \dot{m}_r \{ & (h_3 - T_o S_3) - (h_4 - T_o S_4) \} \\ & + \{ (h_7 - T_o S_7) - (h_1 - T_o S_1) \} \} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.18, sistem bileşenlerinin neden olduğu toplam ekserji tahribatını her bir bileşeni aşağıdaki gibi ekleyerek hesaplamak için kullanılır:

$$\dot{E}_{x,yık,top} = \dot{E}_{x,yık,komp} + \dot{E}_{x,yık,yoğ} + \dot{E}_{x,yık,buh} + \dot{E}_{x,yık,kb} + \dot{E}_{x,yık,ıeks} \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.19 sistemin genel ekserji verimini aşağıdaki gibi hesaplamak için kullanılır [19]:

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{\dot{E}_{x,6} - \dot{E}_{x,7}}{P_{\text{komp}}} \quad (3.19)$$

### 3.2.3. Soğutma Cihazlarında Enerji Tüketimi

Konut tipi buzdolabı ve dondurucuların enerji tüketimlerinin tespit edilebilmesi amacıyla Eşitlik 3.20 kullanılabilmektedir.

$$E = (24) (P) (RT) \quad (3.20)$$

Eşitlik 3.20’de; E, Wh/24h cinsinden enerji tüketimini, P, gücü, RT ise, buzdolabı veya dondurucunun çalışma süresinin toplam süreye oranını ifade etmektedir. RT değeri, Eşitlik 3.21’de verilen ifade ile hesaplanabilmektedir [41].

$$\text{Çalışma Süresi Oranı (RT)} = \text{Sistemin Devrede Kaldığı Süre} / \text{Toplam Süre} \quad (3.21)$$

### 3.2.4. Çevresel ve Ekonomik Analiz

Enerji tüketen her sistemde olduğu gibi konut tipi buzdolapları ve dondurucuların da ilk etapta gıdaları uygun şartlarda uzun süre muhafaza edebilmeleri görevini tam anlamıyla yerine getirmeleri ve bu işlevlerini yerine getirirken düşük seviyede enerji tüketim değerlerine sahip olmaları istenir. Bu sistemlerin yerine getirmeleri beklenen bu iki önemli unsurun yerine getirilebilmesinin, sistemlerin işletme maliyetlerinin düşürülmesine de önemli katkıları olacaktır.

Özellikle, dünyadaki toplan sayısı yaklaşık iki milyarı bulan ve küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %4’üne tekabül eden bir tüketim miktarına sahip olan ve yedi gün yirmidört saat kullanıcılara hizmet eden konut tipi buzdolabı ve dondurucular gibi elektrik tüketen sistemlerin çalışma özelliklerinin iyileştirilmesi oldukça önemli bir çalışma alanıdır. Bu sistemler ve sistemleri oluşturan kompresör, ısı değiştirici, fan ve

soğutucu elemanlar ile kontrol sistemleri konularında yapılan yeni çalışmalar ile yıllık enerji tüketim değerlerinin düşürülmesinde önemli yol kat edilmiştir. Ancak, günümüz dünyasının karşı karşıya kaldığı oldukça önemli etkilere sahip olan küresel ısınma sorunu ve buna bağlı olarak ortaya çıkan çevresel etkiler, canlı yaşamını önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, konut tipi buzdolapları ve dondurucuların küresel ısınmaya katkılarının en aza indirilebilmesi amacıyla yapılan çalışmalara hız kesmeden devam edilmesi oldukça önemli bir konudur.

Günümüzde, kullanılan elektrikliğin miktarının yanında hangi kaynaktan üretildiği de önemli bir konudur. Elektrikliğin üretiminde kullanılan enerji kaynağına göre çevreye yayılacak CO<sub>2</sub> miktarları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Ancak, çizelgede verilen CO<sub>2</sub> miktarlarına iletim ve dağıtım kayıpları da eklendiğinde, elektrik üretiminin ne kadar önemli çevresel sorunlara sebep olabileceği görülecektir. Çizelge 3.3.'de verilen sayısal veriler, enerji kaynağı olarak fosil kökenli enerji kaynakları kullanımının çevreye vermekte olduğu büyük zararı özetlemektedir. Fosil kökenli enerji kayları yerine hızla düşük karbon salınımına sahip olan enerji kaynaklarına yönelmek önemli bir zarurettir.

Çizelge 3.3. Çeşitli Elektrik Üretim Kaynaklarının Sera Gazı Emisyonlarının Karşılaştırılması [42].

| Teknoloji                  | Ortalama               | Düşük | Yüksek |
|----------------------------|------------------------|-------|--------|
|                            | tCO <sub>2</sub> e/GWh |       |        |
| <b>Linyit</b>              | <b>1054</b>            | 790   | 1372   |
| <b>Kömür</b>               | <b>888</b>             | 756   | 1310   |
| <b>Petrol</b>              | <b>733</b>             | 547   | 935    |
| <b>Doğalgaz</b>            | <b>499</b>             | 362   | 891    |
| <b>Güneş Enerjisi (PV)</b> | <b>85</b>              | 13    | 731    |
| <b>Biokütle</b>            | <b>45</b>              | 10    | 101    |
| <b>Nükleer</b>             | <b>29</b>              | 2     | 130    |
| <b>Hidroelektrik</b>       | <b>26</b>              | 2     | 237    |
| <b>Rüzgar</b>              | <b>26</b>              | 6     | 124    |

Yapılan çalışmanın çevresel analizi, karbon salınımının fiyatlandırılması esas olarak yapılmıştır. Karbon salınım miktarı kWh başına yaklaşık olarak izelge 3.3'ten tespit edilerek, iletim (%40) ve dağıtım kayıplarıda (%20) dikkate alınarak yaklaşık olarak hesaplanmış ve buna ek olarak, uluslararası karbon fiyatı ortalama 14.5\$/tCO<sub>2</sub> olarak alınmıştır.



## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR

Küresel enerji tüketiminde sahip oldukları pay dolayısıyla önemli bir yere sahip olan ev tipi soğutucu ve donduruculardan, çalışma özelliklerinden dolayı, sürekli olarak çevreye bir enerji atığı söz konusu olmaktadır. Bu enerjinin sisteme tekrar faydalı enerji olarak dahil edilebilmesi amacıyla FDM'lerin kullanılabileceği literatürdeki bazı çalışmalar ile gösterilmiştir. Günümüz dünyasında sayısı iki milyarı bulan ev tipi soğutucu ve dondurucuların enerji tüketim miktarlarında önemli bir yere sahip olan buzçözme işleminde sağlanacak geliştirmeler ile enerji sarfiyatlarında ortaya çıkacak düşüş küresel bağlamda önemli bir yere sahip olacaktır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu sistemlerin uygulanabilir yapılar ile geliştirilebilmeleri de önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir.

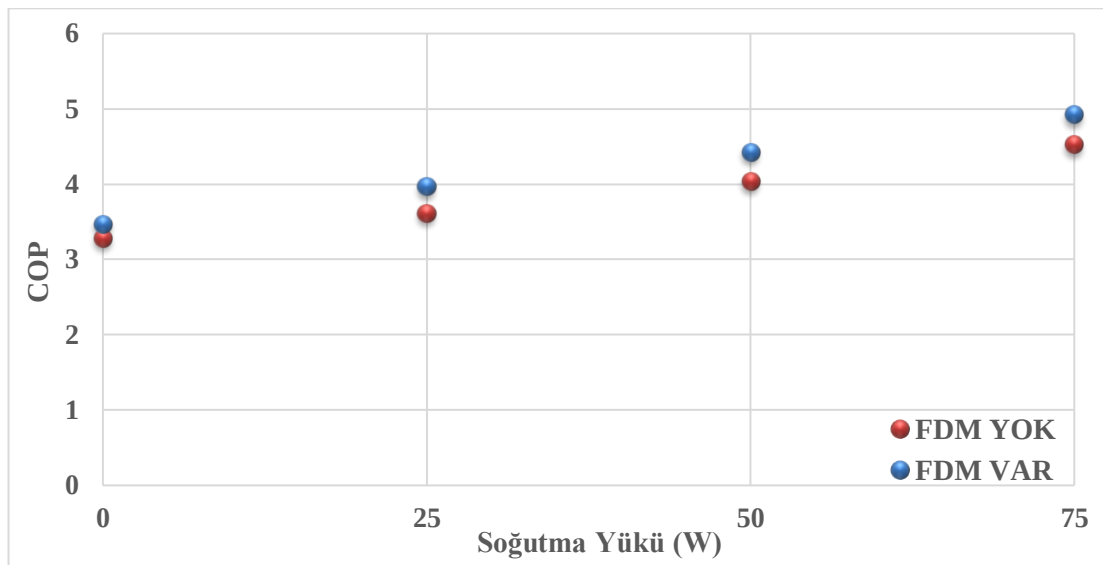
Bu bağlamda, literatürde yapılmış çalışmalara katkı sağlamayı da hedefleyerek yapılan bu çalışmada, FDM bünyesinde depo edilen enerjinin farklı yapılardaki defrost yöntemlerinde kullanılabilirliği deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın önceliği sadece enerji tüketiminin düşürülmesi değil, aynı zamanda soğutma kabini içerisindeki sıcaklık dalgalanmaları dolayısıyla ortaya çıkabilecek gıda kalitesindeki düşüşün de önüne geçilmesi ve tüm bu işlemlerin yapılması esnasında çevresel ve ekonomik fayda sağlanabilmesi öncelikler arasında olmuştur.

FDM bünyesinde depo edilen enerjinin farklı yapılardaki defrost yöntemlerinde kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada, elde edilen verilen sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla yapılan denerler hem FDM kullanılan hemde FDM kullanılmayan şartlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan deneyler çeşitli soğutma yüklerinde gerçekleştirilerek sistemin enerji, ekserji analizleri, defrost süreleri ve kabin içi sıcaklık dalgalanmaları kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

#### 4.1. FDM KULLANIMININ BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİ ÇALIŞMA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

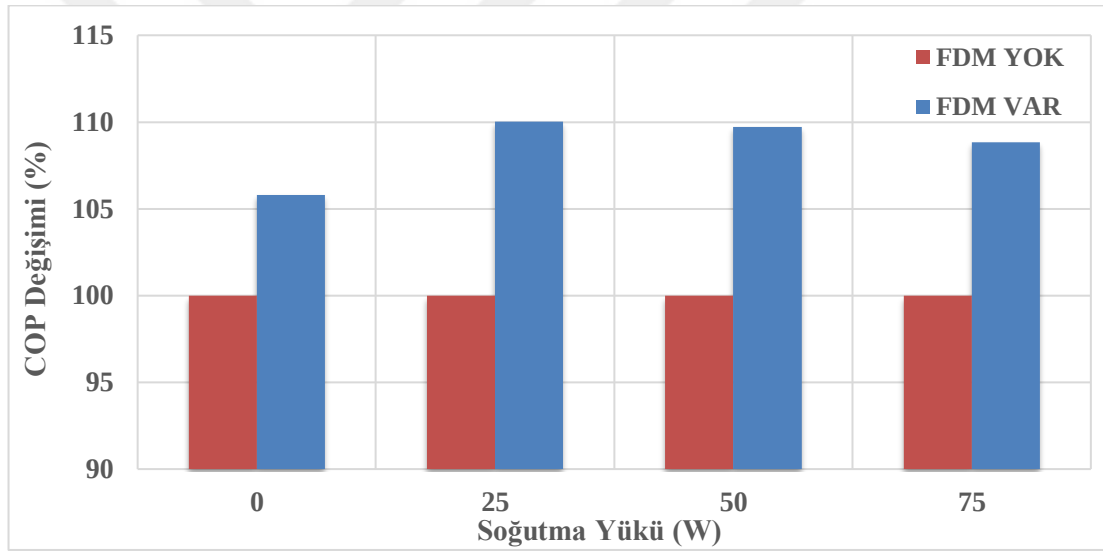
Soğutma çevriminde FDM kullanılan ve kullanılmayan durumları şematik olarak ifade eden Şekil 3.7 ve Şekil 3.10, deneysel çalışmalarda kullanılan sistemlerin tamamen aynı özelliklerde olduğu görülmektedir. Şekil 3.7’den farklı olarak Şekil 3.10’da gösterildiği gibi soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan sıcaklığının en fazla olduğu kompresör ile yoğuşturucu arasına FDM yerleştirilmiş ve kompresörden çıkan soğutucu akışkanın yoğuşturucuya girmeden önce bir miktar yoğuşması sağlanmıştır. Bu sayede, FDM bir taraftan sistemin atık ısısının bir miktarını depo ederken diğer taraftan da sistemde ek bir yoğuşturucu görevi yapmış ve sistemin yoğuşturucu kapasitesinin artmasına yardımcı olmuştur. Bu duruma bağlı olarak, buharlaştırıcı kapasitesi ve COP değeri de artış, kompresör işinde ise düşüş gerçekleşmiştir.

Çalışmalarda kullanılan sistem termostat kontrolünden bağımsız olarak deney süresince sürekli çalıştırılmıştır. Dolayısıyla, sistemin çalışma süresi bir parametre olmadığı için, soğutma yükündeki ve kompresör çalışma süresindeki artışın neden olabileceği COP değerinde herhangi bir düşüş tespit edilmemiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, FDM kullanılan ve kullanılmayan her iki durumda da uygulanan soğutma yüküne bağlı olarak COP değerlerinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin COP-soğutma yükü değişimi.

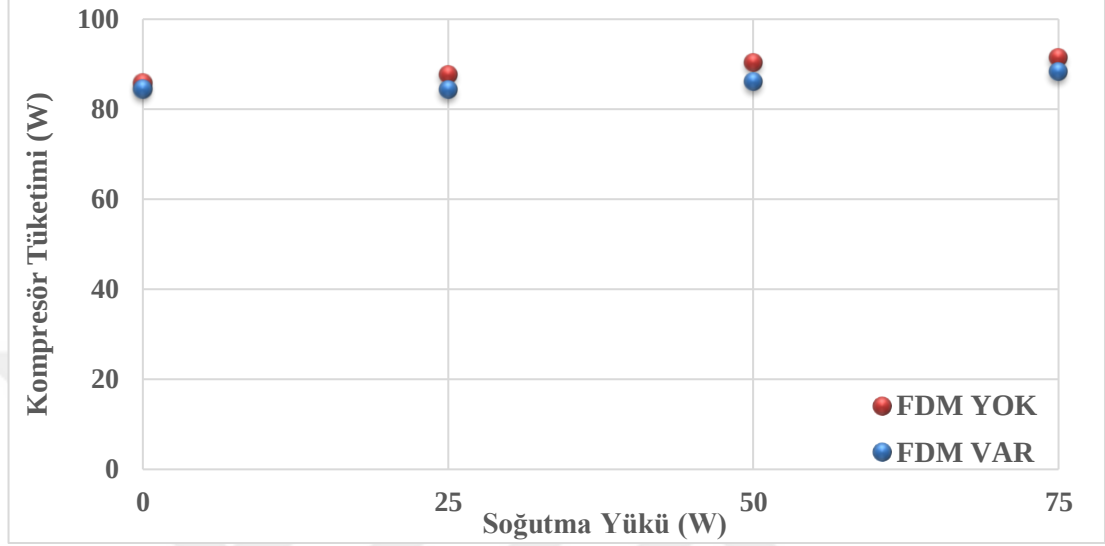
Şekil 4.2’de FDM kullanılmayan sistemin deney sonuçları referans noktası (%100 olarak verilmiştir) olarak kabul edilerek FDM kullanılan deneyin COP değerleri kıyaslanmıştır. Farklı soğutma yüklerine bağlı olarak hesaplanan COP değerleri incelendiğinde en düşük artış (%5,81) ek bir soğutma yükü olmadığı (0W) koşulda görülmüştür. Yapılan çalışmada, 25 W soğutma yükünde %10.02, 50 W soğutma yükünde %9.7, ve 75W soğutma yükünde ise %8.82 artış olduğu belirlenmiştir. Literatürde, FDM’nin kompresör ve yoğuşturucu arasında kullanıldığı uygulamalara bakıldığında, COP değerinde ortalama %6’lık bir artış gözlemlendiği ifade edilirken, geliştirilen tasarımlarla bu değerlerin daha da üzerine çıkılabileceği ifade edilmiştir. Dolayısıyla, yapılan çalışma ile elde edilen COP değerlerinin literatürde verilen değerler ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.2. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin COP-soğutma yükü değişimi.

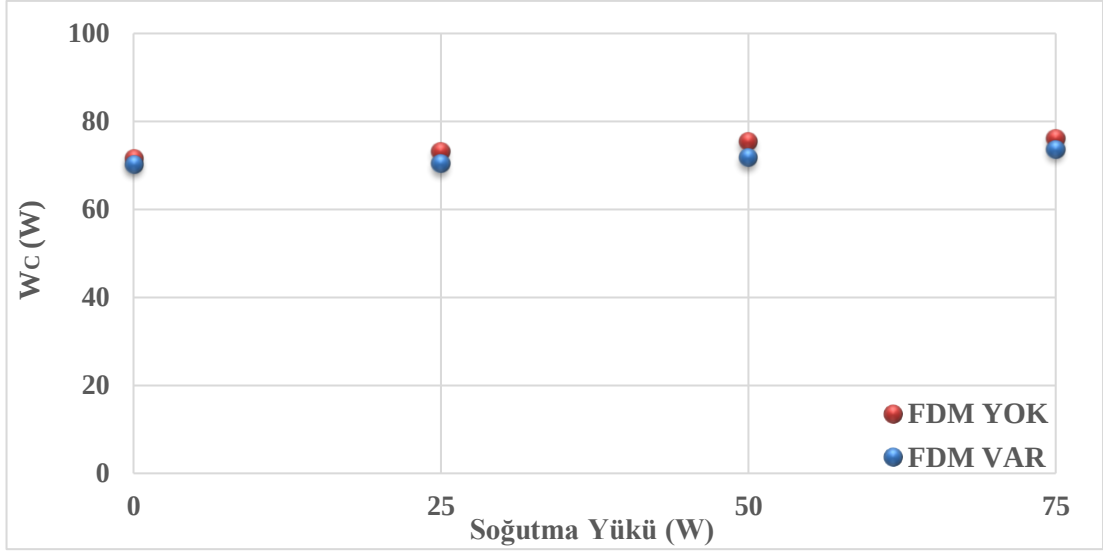
Yapılan çalışmada, soğutma çevrimi esnasında kompresörün tükettiği güç periyodik olarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerde FDM kullanılarak ilave bir yoğuşturucu oluşturulmuş ve bu sayede sistemden ısının uzaklaştırılması kolaylaştırılmıştır. Bu duruma bağlı olarak, kompresörün basma hattı basıncının ve dolayısıyla da kompresörün enerji tüketiminin de düştüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.3’te FDM’nin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda soğutma yüklerine bağlı olarak kompresör tüketimleri verilmiştir. FDM kullanılan deney sonuçlarına bakıldığında geleneksel yöntemle çalışan bir buzdolabına kıyasla soğutma yükü olmadığı (0W) deneylerde %1.54, 25W soğutma yükünde %3.91, 50W soğutma yükünde %5 ve 75W soğutma

yükünde %3.39 oranlarında bir düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca, soğutma sisteminde uygulanan soğutma yükü miktarına bağlı olarak kompresör tüketiminde de artış söz konusu olmuştur.



Şekil 4.3. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin Kompresör Tüketimlerinin soğutma yüklerine bağlı değişimi.

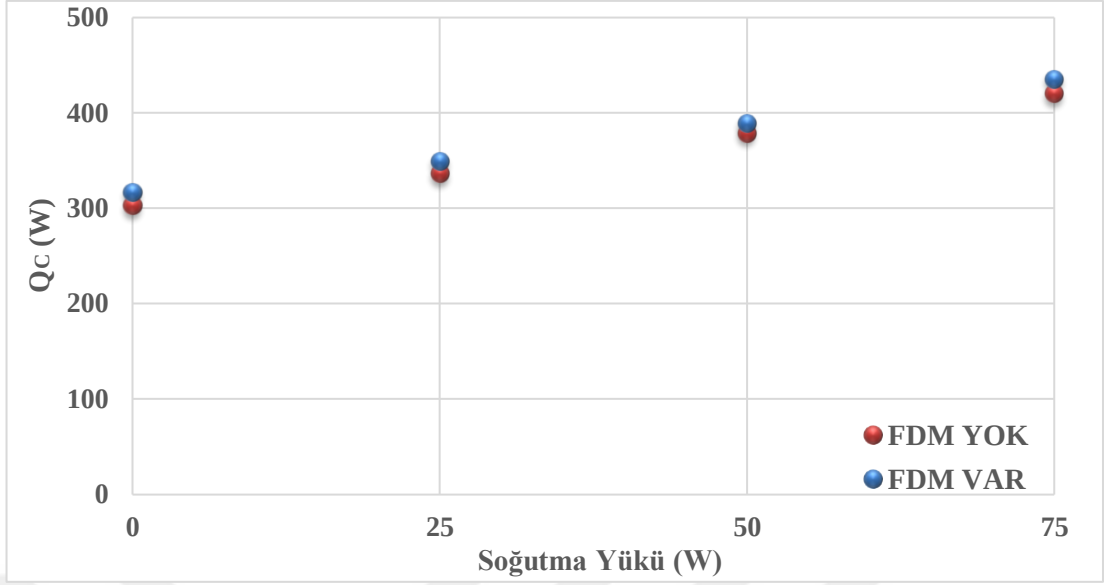
Soğutma sistemi performansındaki iyileşmeyi doğrudan etkileyen parametrelerden biri kompresörün yaptığı iştir. FDM kullanılarak yapılan deneyler, geleneksel yöntemle çalışan ısı depolaması olmayan sistem deneyleriyle kıyaslandığında kompresör işinde bir düşüş görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda ek soğutma yüküne bağlı olarak ulaşılmış kompresör işi değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. FDM kullanımıyla, kompresör işinde; sistemde ek bir soğutma yükü olmadığı durumda %1,83, 25W soğutma yükünde %3,91, 50W soğutma yükünde %5, 75W soğutma yükünde ise %3,39 oranlarında bir düşüş olduğu görülmüştür.



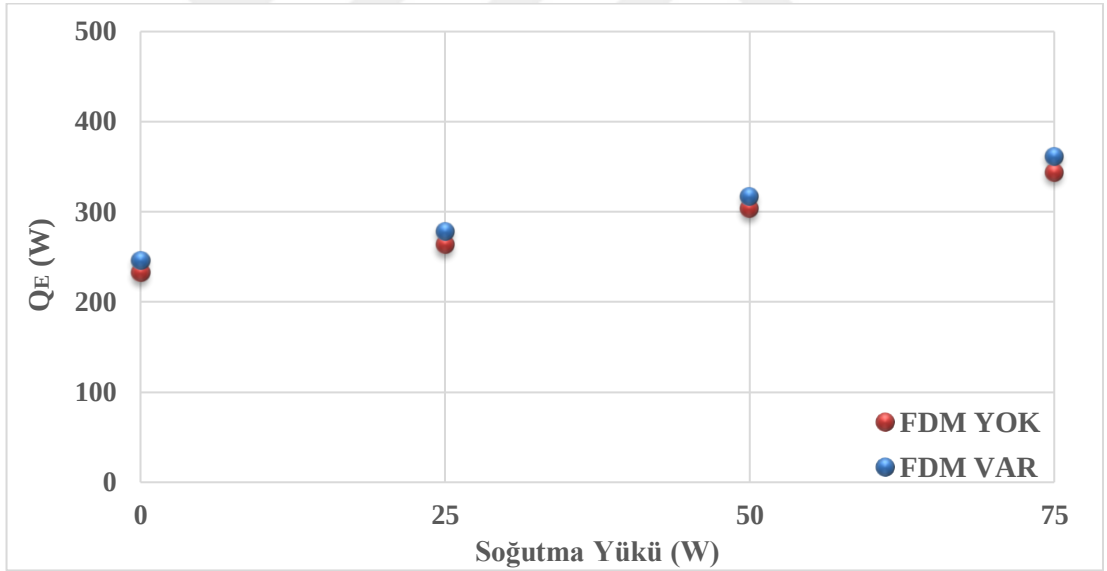
Şekil 4.4. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin kompresör işlerinin soğutma yüklerine bağlı değişimi.

Kompresör ile yoğuşturucu arasına yerleştirilmiş ısı depolama sistemi ek bir yoğuşturucu görevi görerek soğutucu akışkanın daha fazla ısı atmasına yardımcı olmaktadır. Yoğuşma sırasında daha fazla ısı atılması durumu yoğuşturucu kapasitesinde doğrudan bir artışa neden olmuştur. Şekil 4.5'te FDM kullanımının soğutma yüküne bağlı olarak hesaplanan yoğuşturucu kapasitesi değerleri verilmiştir. Soğutma yükündeki artışa bağlı olarak yoğuşturucu kapasitelerinde de aynı paralellikte bir artış görülmüştür. Yoğuşturucu kapasitelerinde ( $Q_c$ ) en yüksek değerler FDM kullanılmış deneylerde elde edilmiş ve bu değerler sırasıyla; soğutma yükü olmadığı deneylerde (0W) 0,3162kW, 25W soğutma yükünde 0,3481kW, 50W soğutma yükünde 0,3879kW ve 75W soğutma yükünde ise 0,4349kW olarak belirlenmiştir.

Yoğuşturucudan atılan ısı miktarının FDM kullanılan deneylerde artması buharlaştırıcı tarafından kabin içerisinden alınan ısı miktarının da artmasına sebep olmuştur. Şekil 4.6'da soğutma yüküne bağlı olarak buharlaştırıcı kapasitesindeki ( $Q_E$ ) değişimler verilmiştir. Buharlaştırıcı kapasitesinde FDM kullanılmasıyla yoğuşturucu kapasitesiyle benzerlik gösteren bir artış söz konusu olmuş ve buharlaştırıcının kabin içerisinden ısıyı çekmesi kolaylaştırılmıştır. Bu noktada, soğutma yükünün artmasıyla buharlaştırıcı kapasitelerinin artmış olduğu da gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin soğutma yüklerine göre yoğunlaştırıcı kapasitelerinin değişimi.

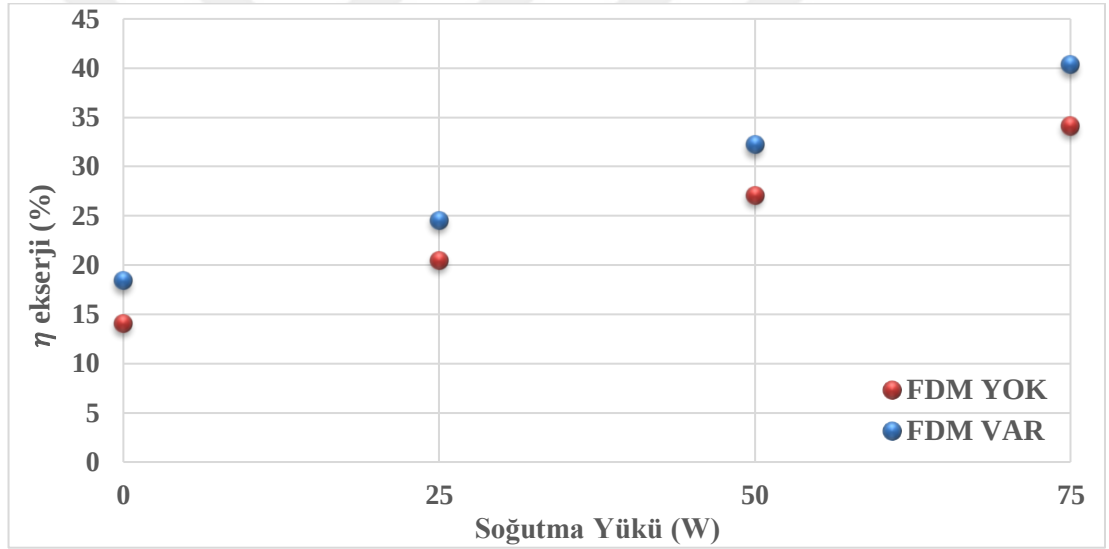


Şekil 4.6. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin soğutma yüklerine göre buharlaştırıcı kapasitelerinin değişimi.

Şekil 4.7’de farklı soğutma yüklerine bağlı olarak FDM kullanılması ve kullanılmaması durumlarının ekserji verimi ( $\eta_{\text{ekserji}}$ ) değerleri verilmiştir. FDM’nin sistemde kullanılması ekserji veriminde doğrudan bir artışa sebep olsa da bu artış 0 ve 25W soğutma yüklerine kıyasla 50W ve 75W soğutma yüklerinde daha belirgin olmuştur.

FDM kullanılmayan geleneksel sistemlerde, soğutma yükü olmayan deneyde (0W) %14,01 ve 25W soğutma yükü olan deneyde ise %20,45 ekserji verimi hesaplanmıştır. FDM'nin kullanılmasıyla bu değerler 0W için %18,33 25W soğutma yükü için ise %24,47 olarak ölçülmüştür.

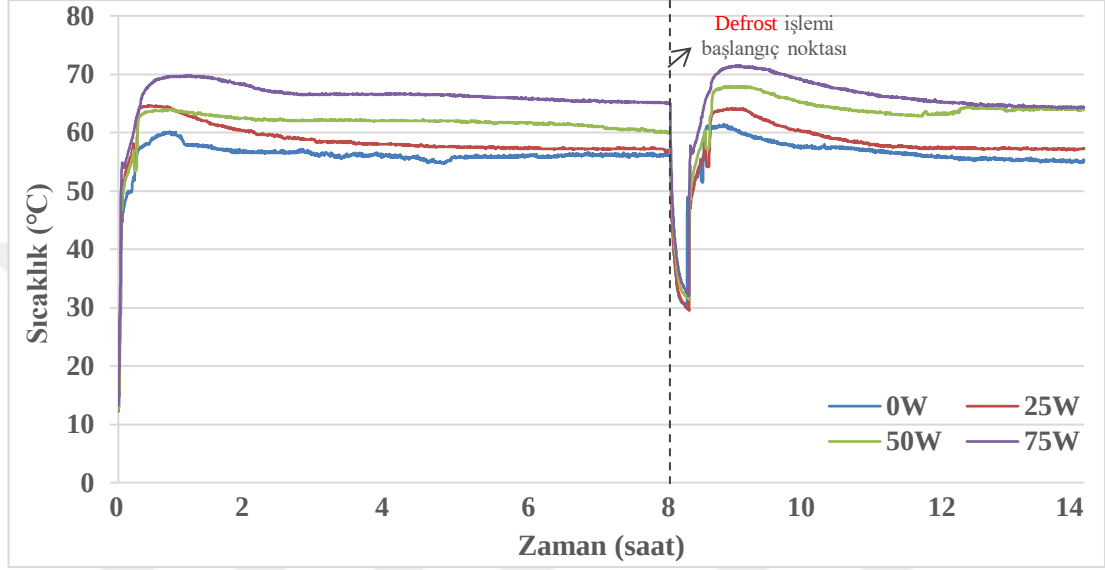
Şekil 4.7'de soğutma yükünün artmasıyla ekserji verimindeki artışın yükseldiği, verim değerlerinin birbirlerinden uzaklaştığı görülmüştür. Kabin içerisine uygulanan soğutma yükleri ekserji verimini doğrudan etkilemiştir. Bunun sonucunda, FDM kullanılması ve kullanılmaması durumlarına bakıldığında ekserji veriminde, 50W soğutma yükü kullanılan deneyde %5,14 ve 75W soğutma yükü kullanılan deneyde ise %6,21 oranında bir fark ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.7. FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerin soğutma yüklerine göre ekserji verimlerinin değişimi.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da sırasıyla FDM kullanılmayan ve kullanılan çalışmalarda uygulanan soğutma yüküne bağlı olarak kompresör çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklıklarının zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Şekil 4.8'de çalışmanın başlangıcında yaklaşık 15 °C olan akışkan sıcaklıkları oldukça kısa bir sürede yaklaşık 50 °C civarına kadar artış göstermiştir. Ancak, FDM kullanılan çalışmalarda deney başlangıç anında akışkan sıcaklığındaki artış kısıtlı kalmıştır.

FDM kullanılmayan şartlarda, uygulanan soğutma yüküne bağlı olarak kompresör çıkış sıcaklığı da artış göstermiştir. Çalışmanın ilerleyen sürecinde sistemin rejime girmesi ile yüksüz şartlarda 56°C olan kompresör çıkış sıcaklığı, 25W soğutma yükünde 57.5°C, 50W yükte 62°C ve 75W yükte 66°C değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

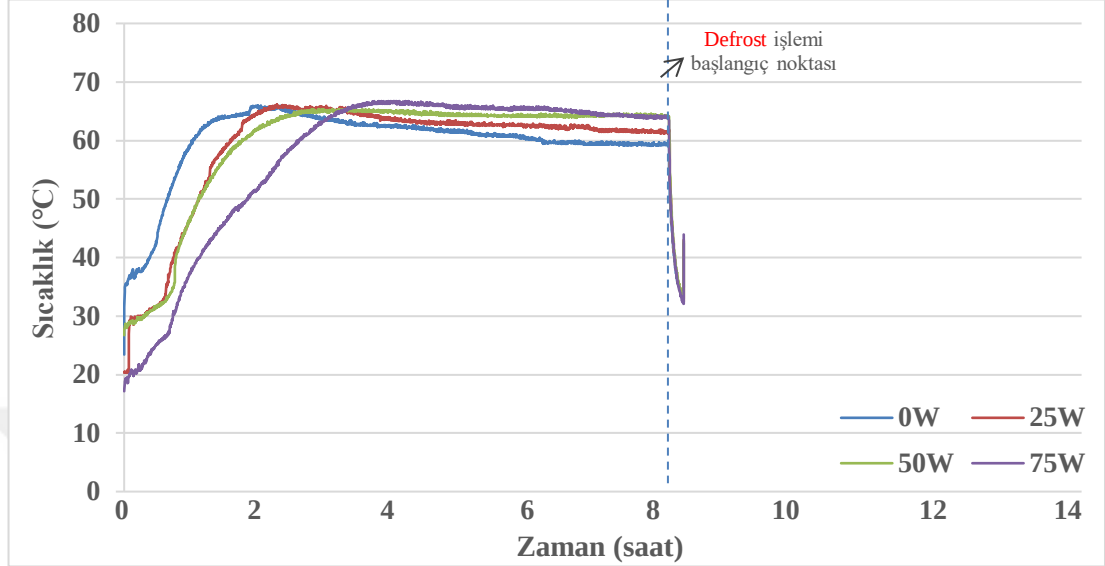


Şekil 4.8. FDM kullanılmayan sistemde soğutma yüküne bağlı kompresör çıkış sıcaklıklarındaki değişim.

FDM kullanılan çalışmalarda beklenenin aksine bir durum gerçekleşerek, düşük soğutma yüklerinde kompresör çıkış sıcaklığında hızlı bir artış gözlenirken yüksek soğutma yüklerinde ise bu artış çok daha yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Deneyin ilerleyen sürecinde sistemin rejime girmesi ile beklenen gerçekleşerek soğutma yüküyle doğru orantılı olarak yüksüz şartlarda 59.5°C olan kompresör çıkış sıcaklığı, 25W soğutma yükünde 61.5°C, 50W yükte 64.1°C ve 75W yükte 64.2°C değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

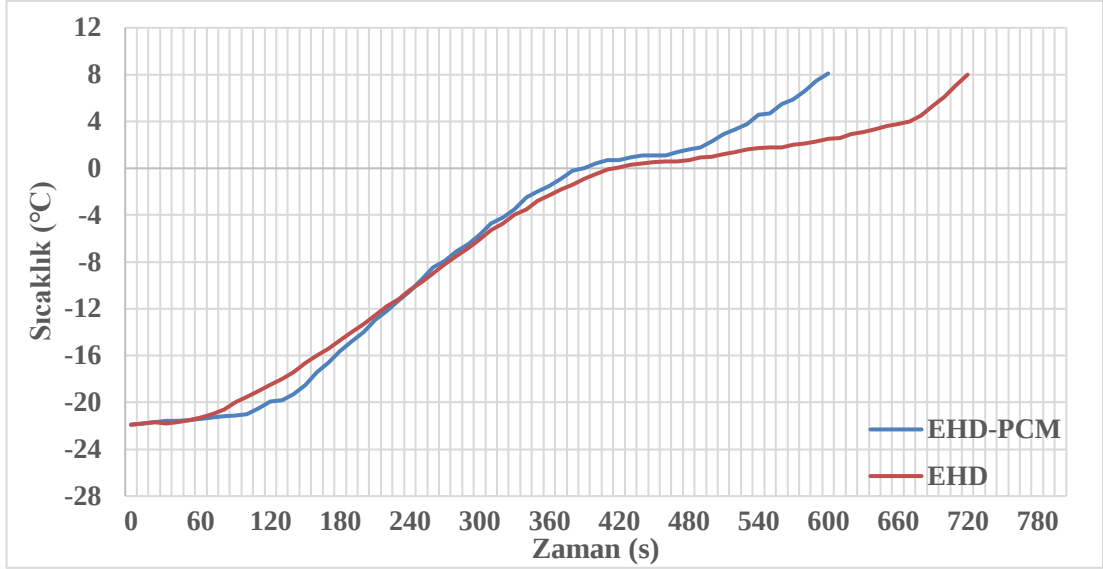
FDM kullanılan deneylerde kompresör çıkış sıcaklığındaki yavaş artışın sebebinin FDM tarafından akışkanın sahip olduğu ısının hem duyulur hemde gizli ısı şeklinde depolanıyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu süreç içerisinde, kompresör çıkış basıncı da FDM kullanılmayan şartlara nazaran daha düşük

seviyelerde gerçekleşmiş ve bu durum kompresör işinin bu süreçte daha düşük seviyelerde kalmasını sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.9. FDM kullanılan sistemlerde soğutma yüküne bağlı kompresör çıkış sıcaklıklarındaki değişim.

FDM'nin kullanıldığı deneylerde, kullanılmayan geleneksel soğutuculara göre defrost verimliliğinin arttığı dolaysıyla da tüm sistemin enerji verimliliğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda, soğutma çevrimine entegre edilen FDM ile defrost sırasında geçen sürenin de kısaldığı görülmüştür. Şekil 4.10'da elektrikli ısıtıcı ile defrost işlemi yapılan deneylerde FDM'nin kullanılması ve kullanılmaması durumuna bağlı olarak defrost sürelerinin zamana bağlı grafiği verilmiştir. Ek soğutma yükünün olmadığı (0W) deneyde standart ev tipi bir buzdolabının defrost süresi 720s, FDM yerleştirilmiş yeni sistemin defrost süresi 600s olarak tespit edilmiştir. Soğutma sisteminde FDM kullanımı ile soğutma sisteminin defrost süresinde 120s kısalma görülürken, 25W soğutma yükünde 110s, 50W soğutma yükünde 100s, 75W soğutma yükünde ise fark 150s olarak tespit edilmiştir. Defrost süresindeki düşüş doğrudan soğutucularda tüketilen toplam enerji miktarını etkilemekte ve önemli miktarda enerji tasarrufuna yardımcı olmaktadır.



Şekil 4.10. Elektrikli ısıtıcılı FDM kullanılan ve kullanılmayan sistemlerde defrost sürelerinin zamana bağlı değişimi (Soğutma Yüğü: 0W)

Sistemin ekonomik ve çevresel analizi yapılırken defrost süreci boyunca gerçekleşen elektrik tüketimi hesaplanarak FDM kullanımının enerji tüketimine etkileri belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, FDM kullanılmayan elektrik ısıtıcılı sistemde defrost işlemi 720 s sürerken, FDM kullanılan elektrik ısıtıcılı sistemde bu süre 600 s süresine düşmüştür. Bu durum, FDM kullanımının defrost süresini ve buna bağlı olarak ta elektrik tüketimini doğrudan etkilediğini açıkça göstermektedir.

Genel olarak, ev tipi soğutucu ve dondurucularda her sekiz saatte bir, günde ise üç defa buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 8°C olana kadar defrost işlemi gerçekleştirilmektedir. FDM kullanılmayan deneysel çalışmalarda soğutma sisteminin defrost uygulamasında 0.271 kW gücünde bir elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Bu değerler, soğutma sisteminin defrost işlemlerinde elektrikli ısıtıcının günlük 0.6 saat, yıllık ise 219 saat çalışması ve yıllık 59,349 kWh elektrik tüketmesi anlamına gelmektedir.

FDM kullanılan soğutma çevrimi uygulamasında ise, elektrikli ısıtıcının yıllık çalışma süresi 182.5 saat, yıllık elektrik tüketimi 49.458 kWh olarak belirlenmiştir. Sisteme FDM entegre edilmesiyle elektrikli ısıtıcılı defrost yapılarak yıllık 9,891 kWh tasarruf edilebilmektedir. Bu veriler, soğutma sistemlerinde FDM kullanımı ile sağlanabilecek faydalara ek olarak defrost işlemlerinde kullanılan elektrik enerjisinin de yaklaşık

%16.66 düşeceği anlamına gelmektedir. Ayrıca, kompresör ve yoğuşturucu arasında FDM kullanımının maddi kazancı ise yaklaşık 25,717 TL/yıl'a (1kWh elektrik 2,6 TL, Ekim/2023) tekabül etmektedir.

Tespit edilen tasarruf miktarı ile sağlanabilecek olan olumlu çevresel etkilerin boyutlarının gerçekçi bir ifadesi olarak, elektrik üretiminde kullanılan çeşitli enerji kaynakları ve bu kaynakların kullanımları sonucunda çevreye salınacak olan CO<sub>2</sub> miktarının bilinmesi önemli bir gösterge olacaktır. Buna ek olarak, bir diğer önemli gösterge de elektrik üretimi sırasında oluşan CO<sub>2</sub> salımı için Uluslararası karbon fiyatının bilinmesi olacaktır. Bu değer (Z<sub>CO2</sub>) ortalama olarak 14.5\$/tCO<sub>2</sub> olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.1'de, kompresör ve yoğuşturucu arasında FDM kullanımı uygulamasının dünya çapındaki iki milyar sistemde kullanılması halinde elde edilebilecek kazancın hem CO<sub>2</sub> salımında sağlayacağı düşüş miktarı hemde bu salımın uluslararası karbon fiyatı karşılığı verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ev tipi soğutma sistemlerinde FDM kullanımının yıllık küresel CO<sub>2</sub> salımına etkileri

| <b>Teknoloji</b>    | <b>tCO<sub>2</sub>e/kWh</b> | <b>10<sup>3</sup> \$</b> |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Linyit              | 35 028 383                  | 507 920                  |
| Kömür               | 29 511 578                  | 427 920                  |
| Petrol              | 24 360 346                  | 353 220                  |
| Doğalgaz            | 16 583 646                  | 240 460                  |
| Güneş Enerjisi (PV) | 2 824 869                   | 40 960                   |
| Biokütle            | 1 495 519                   | 21 680                   |
| Nükleer             | 963 779                     | 13 980                   |
| Hidroelekrik        | 864 077                     | 12 520                   |
| Rüzgar              | 864 077                     | 12 520                   |

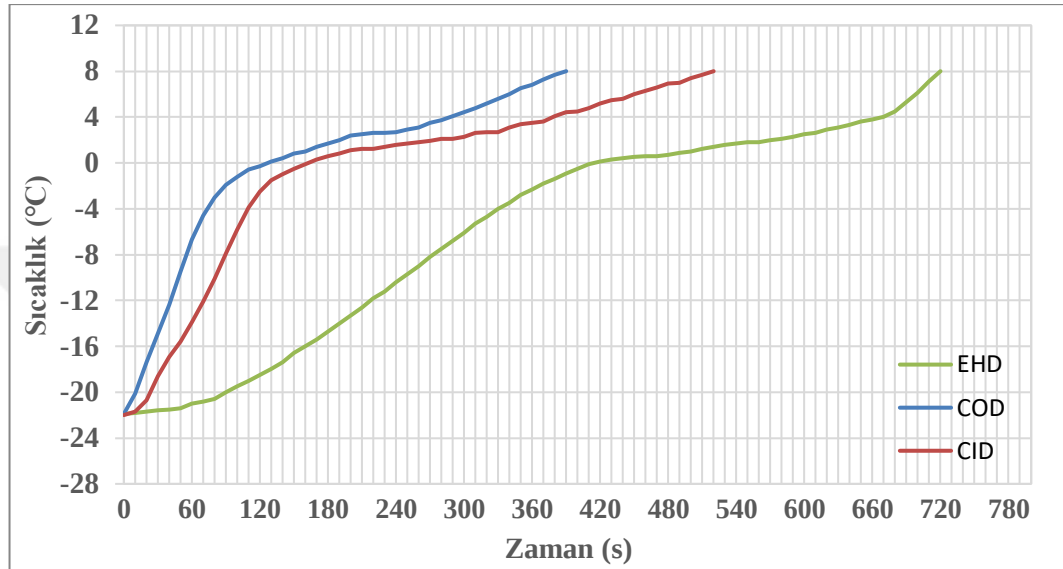
## 4.2. FDM KULLANIMININ SICAK GAZ DEFROST SİSTEMİ ÇALIŞMA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Günümüzde kullanılan ev tipi soğutucu ve dondurucularda defrost işlemlerinde kontrol edilebilirlikleri ve uygulama esnasında sistemsel sorun çıkarmaması gibi önemli faydalarından dolayı elektrikli ısıtıcılar kullanılmaktadır. Buna karşın elektrikli ısıtıcılı defrost işlemlerinin uzun sürede gerçekleşiyor olması ve bu süre içerisinde hem enerji tüketiminin soğutma sisteminin enerji tüketim değeri içerisindeki payının artmasına hemde soğutulan kabin içerisindeki sıcaklık dalgalanmalarına neden olması bu defrost yönteminin önemli dezavantajlarını oluşturmaktadır. Özellikle kabin içi sıcaklık dalgalanmaları gıda kalitesi ve ömrünü doğrudan etkilemektedir.

Yapılan çalışmalarda, üçünde FDM kullanılan ve diğer üçünde ise FDM kullanılmayan şartlarda olmak üzere toplamda altı farklı defrost yöntemi birbirleri ile kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Yapılan kıyaslama çalışmalarında, defrost yöntemlerinin en önemli kıyas unsurları olan soğutma sistemine uygulanan soğutma yüküne bağlı olarak defrost işleminin süresindeki değişim ve kabiniçi sıcaklık dalgalanmaları değerlendirilmiştir.

Şekil 4.11’de FDM kullanılmayan üç farklı yöntemin defrost işlemi esnasındaki buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarındaki değişim verilmiştir. Bu çalışmalarda, defrost sisteminin Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da şematik görüntüleri verilen yapılarda çalışması halindeki durumlar incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda defrost işlemlerine buharlaştırıcı yüzey sıcaklıkları 8°C oluncaya kadar devam edilmiştir. Defrost işlemlerinde en yaygın kullanılan yöntem olan elektrikli ısıtıcılı yöntemde (EHD) defrost işlemi yaklaşık olarak 720s ile en uzun sürede gerçekleşmiştir. Elektrikli ısıtıcılı defrost yöntemlerinin en önemli alternatiflerinden olan sıcak gazlı defrost yöntemlerinin uygulama şekline bağlı olarak defrost süresinin değişiyor olduğu görülmüştür. Sıcak gazlı defrost işlemi için oluşturulan by-pass hattı kompresörün hemen çıkışından yapıldığında (COD) defrost işlemi için geçen süre 390s olmuştur. Yapılan by-pass hattının yoğunlaştırıcıya yakın bir noktadan (CID) yapılması halinde soğutucu akışkanın çevreye kaybedeceği ısı miktarının da etkisiyle defrost süresi

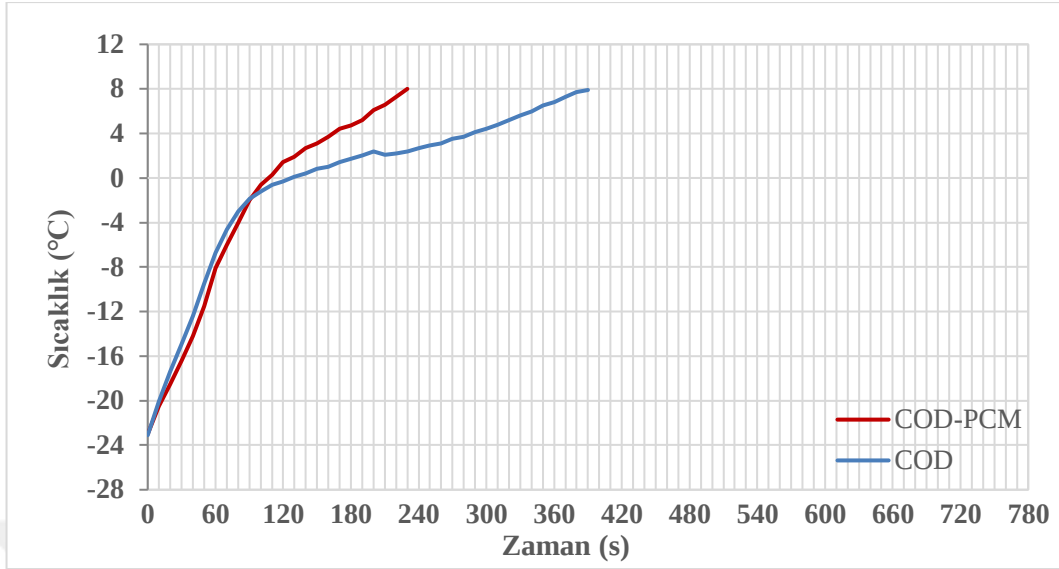
520s'ye çıkmıştır. Defrost işlemleri esnasında geçen süre doğrudan soğutma sisteminin toplam enerji tüketiminin artmasına ve kabin içerisine verilen ısı ile kabiniçi sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden defrost işleminin süresi ve bu işlem için mümkün olduğunca dışarıdan ek enerji kullanılmaması önemli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.



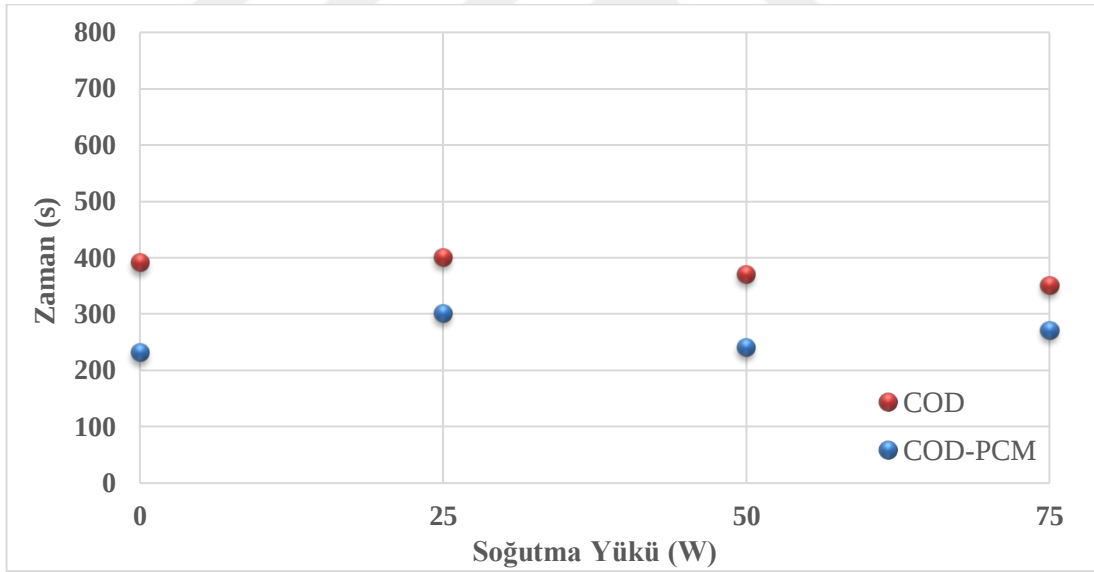
Şekil 4.11. FDM kullanılmayan defrost yöntemlerinin defrost sürelerine etkileri

Şekil 4.11'de açık bir şekilde görüldüğü gibi elektrikli ısıtıcılı defrost yöntemine göre sıcak gazlı defrost yönteminde gerekli olan süre oldukça düşmüştür. Bu durum, yapılan çalışmada sıcak gaz defrostlu yöntemlerin sahip olduğu dezavantajların giderilmesi ve daha ayrıntılı incelenmesini gerektirmiştir.

Çalışmaların bir diğer aşamasında, Şekil 3.8 ve Şekil 3.11'de şematik görüntüleri verilen şekillerde kompresörün hemen çıkışından yapılan by-pass hattı ile yapılan sıcak gazlı defrost işleminde FDM kullanımının etkileri incelenmiştir. Bu amaçla çalışmalar, aynı şartlar altında hem FDM varken (COD-PCM) hemde FDM yokken (COD) tekrar edilmiştir. Elde edilen defrost süreleri zamana bağlı olarak Şekil 4.12'de, uygulanan soğutma yüküne bağlı olarak ise Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Aynı şartlarda gerçekleştirilen çalışmalarda, kompresörün hemen çıkışındaki by-pass hattı kullanımında sisteme eklenen FDM'nin önemli bir etkiye sahip olduğunu ve defrost süresinin 260s'ye düşmesini sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.12. Kompresör çıkışından yapılan by-pass ile yapılan defrost işleminde FDM kullanımının etkileri

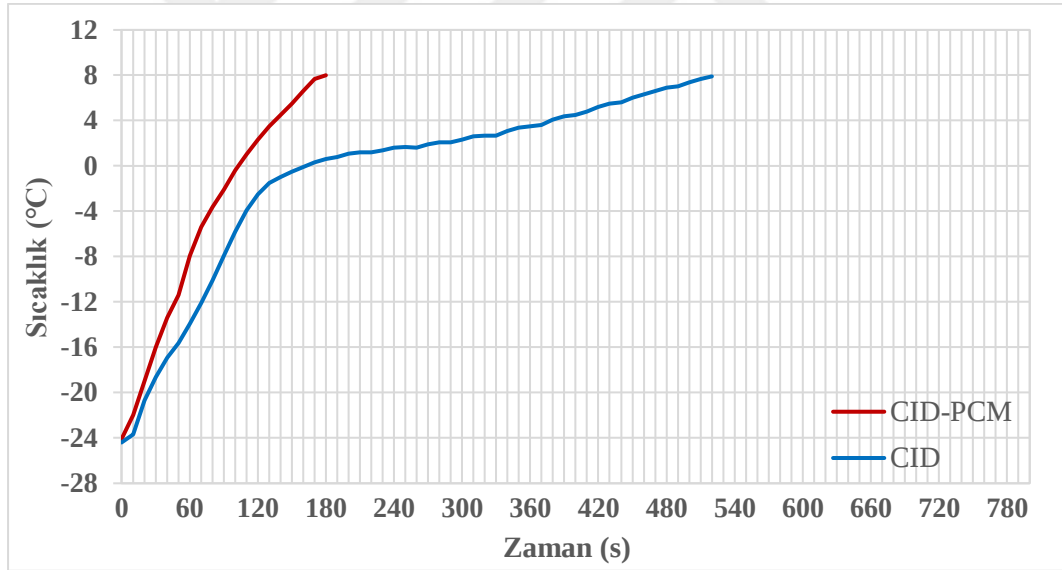


Şekil 4.13. Kompresör çıkışından yapılan by-pass bağlantısı ile yapılan defrost işleminde soğutma yükünün defrost süresine etkileri

Şekil 4.12’den de açık bir biçimde görüldüğü gibi, FDM kullanımının defrost süresine önemli ölçüde etki ettiği görülmüştür. Ancak, bu işlem sırasında FDM bünyesinde depo edilen duyulur ve gizli ısılardan doğrudan yararlanılamayan enerjiden verimli bir şekilde yararlanabilmek amacıyla by-pass hattı yoğuşturucu girişinden yapılarak

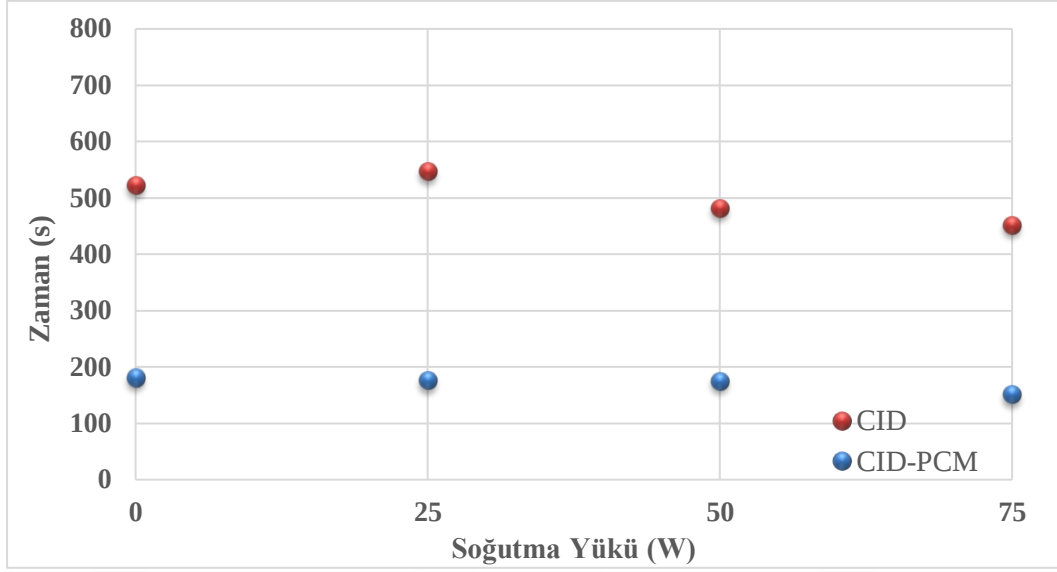
bu durumun defrost işlemine etkisi de Şekil 3 ve Şekil 7’de şematik görüntüleri verilen yapılar ile incelenmiştir.

Şekil 4.14’te yoğuşturucu girişinden bağlantısı yapılan by-pass hattından yapılan sıcak gazlı defrost sisteminde FDM kullanılmadığı durumda oluşturulan boru denetinden çevreye kaybedilen ısıнын da etkisi ile defrost süresinin uzadığı görülmektedir. Ancak, soğuma sisteminin çalışması esnasında atık olarak çevreye atılacak olan enerji FDM’de depo edildiğinde ve defrost işleminde bu enerji de doğrudan kullanıldığında, defrost süresinin 180s değerine düştüğü görülmüştür. FDM’lerde depo edilen enerjinin defrost işlemlerinde kullanılması ile hem atık enerji tekrar kullanılmış hemde kısalan defrost süresi ile kabiniğin sıcaklık artışının önemli ölçüde önüne geçilmiş ve gıda kalitesi korunması ile gıda ömrünün uzatılmasına katkı sağlanmıştır.



Şekil 4.14. Yoğuşturucu girişinden yapılan by-pass ile yapılan defrost işleminde FDM kullanımının etkileri

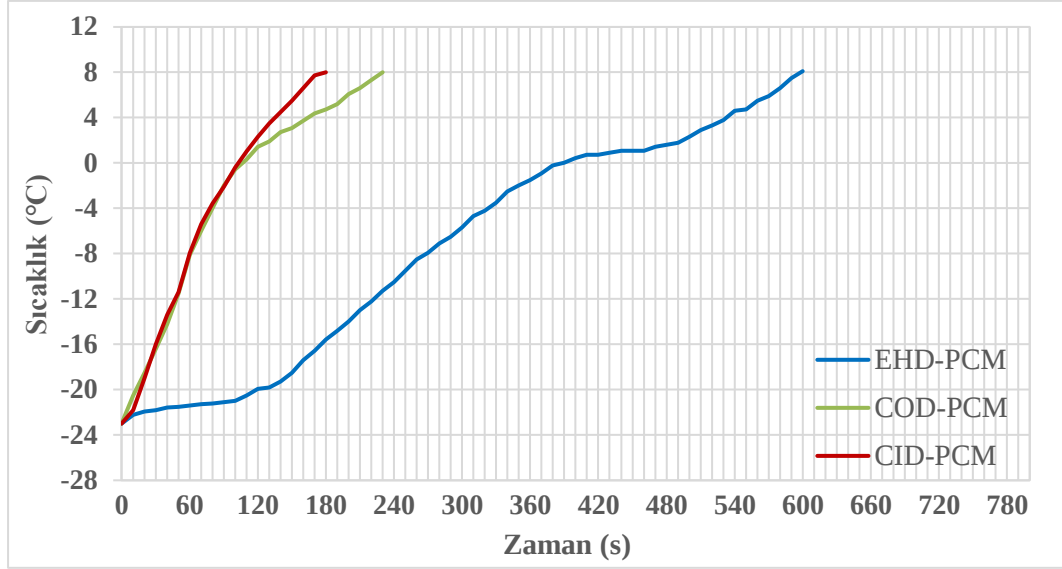
Şekil 4.15’te ise soğutma sistemine uygulanan soğutma yüküne bağlı olarak defrost işlem süreleri verilmiştir. Normal koşullarda soğutma yükünde artışın defrost süresinin uzamasına neden olması beklenirken, özellikle FDM’de depo edilen enerjinin bu yolla artması defrost süresinin kayda değer miktarda düşmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 4.15. Yoğuşturucu girişinden yapılan by-pass bağlantısı ile yapılan defrost işleminde soğutma yükünün defrost süresine etkileri

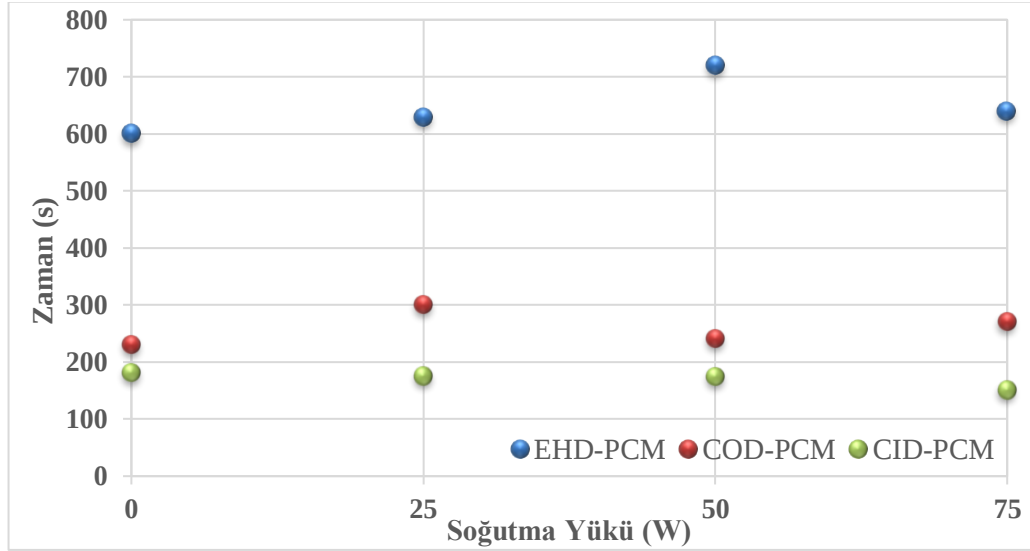
Şekil 4.16’da FDM kullanılan EHD-PCM, COD-PCM ve CID-PCM yöntemleri ile gerçekleştirilen defrost işlemlerinde evaporator yüzey sıcaklıklarındaki zamana bağlı değişim verilmiştir. Şekil 4.16’da defrost yöntemi olarak sıcak gazın ve sistemin atık ısısının depolanması amacıyla da FDM’nin bir arada kullanılması ile bu işlemlerde oldukça önemli faydalar sağlayacağı görülmektedir. EHD-PCM yönteminde 600s olan defrost süresi, COD-PCM yönteminde 230s ve CID-PCM yönteminde ise 180s değerine düşmüştür.

EHD-PCM yönteminde diğer elektrik ısıtıcılı defrost yöntemlerine göre önemli miktarda avantaj sağlarken, bu yöntem COD-PCM ve CID-PCM yöntemleri ile kıyaslandığında defrost süresinin çok uzun olduğu görülmektedir. COD-PCM ve CID-PCM yöntemleri kendi aralarında kıyaslandığında, FDM bünyesinde depolanan ısıyı doğrudan kullanan yöntem olan CID-PCM yönteminde defrost süresinin 50s daha kısaldığı görülmüştür. Bu durum bir taraftan defrost süresine ve kabiniçi sıcaklık dalgalanmasının azalmasına etki ederken diğer taraftan da sistemin toplam enerji sarfiyatı içerisinde defrost işleminin payının azalmasına ve çevresel olumsuz etkilerin büyük ölçüde önüne geçilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, CID-PCM yönteminde daha yüksek sıcaklıklı akışkan sürekli kullanıldığı için kompresöre sıvı akışkan gitmesinin de önemli ölçüde önlenildiği düşünülmektedir.



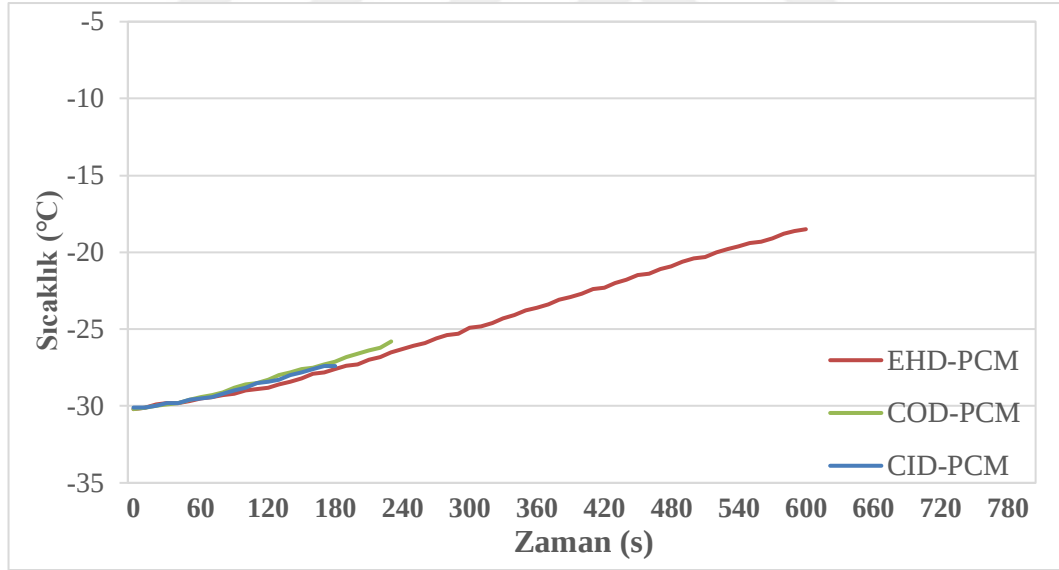
Şekil 4.16. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde defrost süresinin zamana göre değişimi

Şekil 4.17’de ise, FDM kullanılan EHD-PCM, COD-PCM ve CID-PCM yöntemleri ile gerçekleştirilen defrost işlemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak defrost sürelerindeki değişim verilmiş ve soğutma yükü miktarına bağlı olarak buzçözme süresinin değişiyor olduğu görülmüştür.

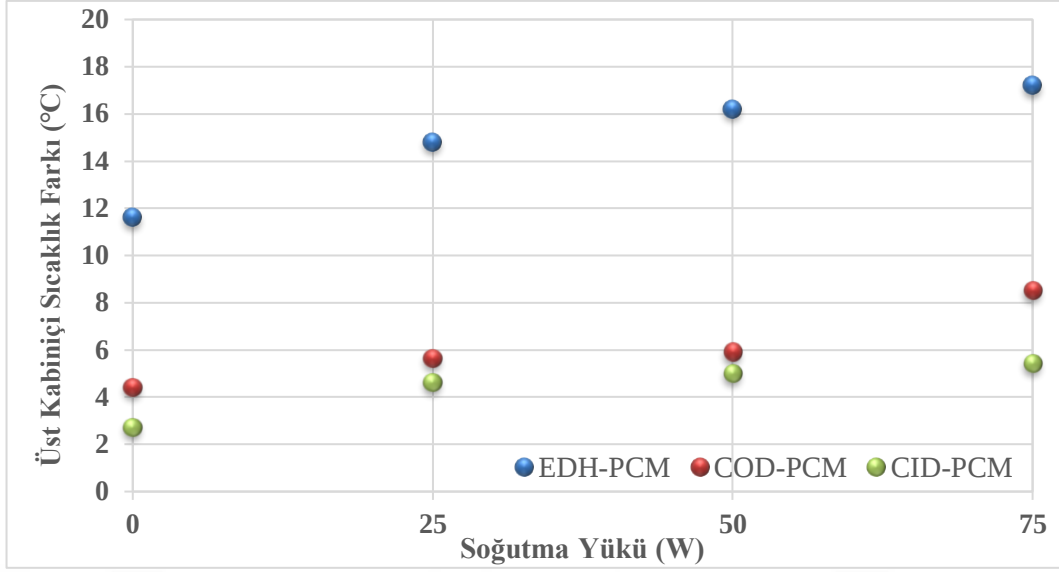


Şekil 4.17. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde soğutma yükünün defrost süresine etkileri

Ev tipi soğutucular ve dondurucularda elektrikli ısıtıcı ile defrost işlemi esnasında soğutma durdurulur ve buharlaştırıcının yanına yerleştirilen elektrikli ısıtıcı ile defrost işlemi yapılır. Bu sırada kabin içerisinde oluşan ısı yükü ile birlikte sıcaklık artışı meydana gelir. Bu sıcaklık artışı kabin içerisindeki gıdaların kalitesini ve ömrünü doğrudan etkilemektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda soğutulan kabin içerisinde sadece nem kaynağı olarak selilözik ped ve soğutma yükünün sağlanabilmesi amacıyla da seramik ısıtıcılar kullanılmıştır. Dolayısı ile bu şartlar altında elde edilen kabin içi sıcaklıklar gıdalar ile yüklenmiş bir kabinin iç sıcaklığından farklı çıkacaktır. Şekil 4.18’de FDM kullanılan soğutma sistemlerinde kabin içi sıcaklıklarındaki artış, Şekil 4.19’da ise FDM kullanılan soğutma sistemlerinde kabin içi sıcaklık artışlarının soğutma yüküne bağlı değişimleri verilmiştir. Genel olarak bu şekillerde, soğutma sistemine uygulanan soğutma yükündeki artışa bağlı olarak kabiniçi sıcaklık dalgalanmasının da buna bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Ancak, sıcak gazlı sistemlerde bu sıcaklık dalgalanması sınırlı bir aralıkta gerçekleşmiştir.



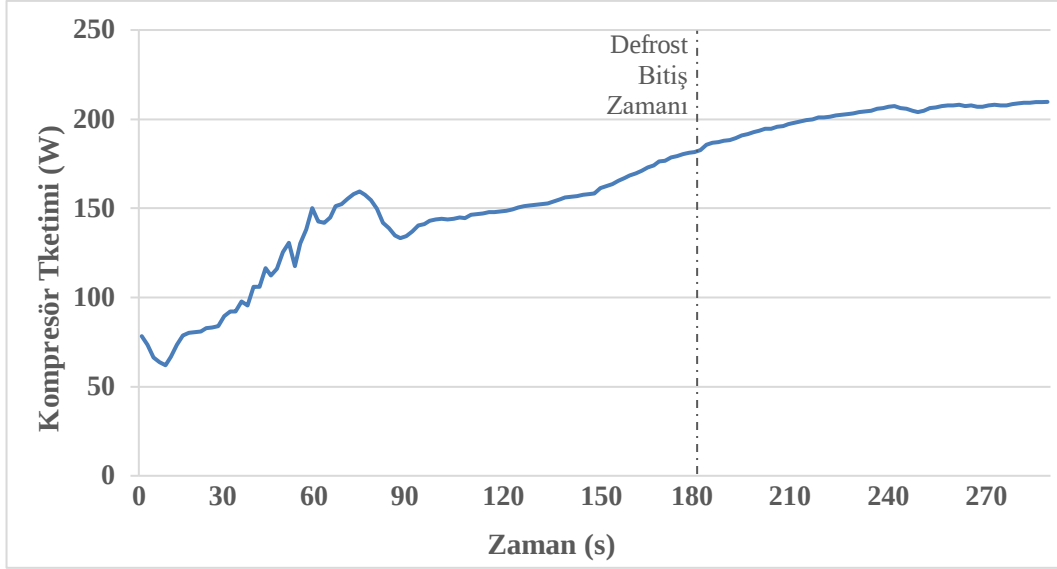
Şekil 4.18. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde kabiniçi sıcaklık artışları



Şekil 4.19. FDM kullanılan soğutma sistemlerinde kabiniçi sıcaklık artışlarının soğutma yüküne bağlı değişimi

Buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzun çözülme süresi FDM’li elektrikli ısıtıcı kullanılan deneyde 600s, sıcak gazlı defrost işlemi yapılan deneylerde ise 170s olarak ölçülmüştür. Elektrikli ısıtıcının defrost boyunca tükettiği elektrik 271W’dır. Bir günlük soğutma sırasında 8 saatte bir defrost gerçekleşir ve toplam defrost için harcanan süre 0,5 saattir. Bir yılda bir buzdolabı için harcanan süre 182,5 saattir. Bu süreye karşılık gelen elektrik maliyeti (1kWh elektrik 2.6 TL, Ekim 2023) 128,59 TL’dir.

Sıcak gazlı defrost işlemi kullanıldığı sırada harcanan elektrik miktarı Şekil 4.10’daki grafikte verilmiştir. Defrost süresi ve elektrik tüketimi açısından oldukça bir azalma söz konusu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20. FDM kullanılan defrost işlemleri esnasında kompresör tüketiminin zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.2’de FDM kullanılan defrost yöntemlerinin, FDM kullanılmayan EHD yöntemine göre sağlayacağı elektrik tasarruf miktarının farklı enerji kaynaklardan üretilmesi halinde önüne geçilecek CO<sub>2</sub> salım miktarları ve bu salımın uluslararası karbon fiyatı karşılığı verilmiştir. Elde edilen veriler bir taraftan önemli ölçüde çevresel kazanım sağlanabileceğini diğer taraftan da yine önemli miktarda enerji sarfiyatının önüne geçilebileceğini göstermiştir.

Çizelge 4.2. FDM kullanılan defrost yöntemlerinin, FDM kullanılmayan EHD yöntemine göre sağlayacağı avantajlar

| Teknoloji           | EHD-PCM                |                    | COD-PCM                |                    | CID-PCM                |                    |
|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
|                     | tCO <sub>2</sub> e/kWh | 10 <sup>3</sup> \$ | tCO <sub>2</sub> e/kWh | 10 <sup>3</sup> \$ | tCO <sub>2</sub> e/kWh | 10 <sup>3</sup> \$ |
| Linyit              | 35 028 383             | 507 920            | 176 600 988            | 2 560 710          | 183 899 896            | 2 666 550          |
| Kömür               | 29 511 578             | 427 920            | 148 787 170            | 2 157 410          | 154 936 535            | 2 246 580          |
| Petrol              | 24 360 346             | 353 220            | 122 816 436            | 1 780 840          | 127 892 432            | 1 854 440          |
| Doğalgaz            | 16 583 646             | 240 460            | 83 609 006             | 1 212 330          | 87 064 562             | 1 262 440          |
| Güneş Enerjisi (PV) | 2 824 869              | 40 960             | 14 242 015             | 206 510            | 14 830 637             | 215 040            |
| Biokütle            | 1 495 519              | 21 680             | 7 539 890              | 109 330            | 7 851 514              | 113 850            |
| Nükleer             | 963 779                | 13 980             | 4 859 040              | 70 460             | 5 059 864              | 73 370             |
| Hidroelekrik        | 864 077                | 12 520             | 4 356 381              | 63 170             | 4 536 430              | 65 780             |
| Rüzgar              | 864 077                | 12 520             | 4 356 381              | 63 170             | 4 536 430              | 65 780             |

## BÖLÜM 5

### SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, ev tipi soğutucu ve dondurucuların enerji tüketim miktarlarını önemli ölçüde etkileyen bir faktör olan elektrikli rezistans tip defrost yöntemlerine alternatif olan sıcak gazlı defrost yöntemleri ve soğutma sistemine FDM entegrasyonunun sistemlerin çalışma özelliklerine etkileri ve defrost sistemi verimliliğine etkileri incelenmiş, deneysel ve teorik analizleri yapılmıştır. Çalışmalar farklı soğutma yüklerine bağlı olarak yapılmış ve soğutma yükü değişiminin neden olduğu farklılıklar ortaya koyulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında, soğutma sırasında çevreye atılan atık ısının bir kısmı kompresör çıkışına yerleştirilen FDM içerisinde depo edilmiştir. Bu sayede FDM, soğutma sisteminde ekstra bir yoğunlaştırıcı işlevi görmüş ve bu şartlarda sistem elemanlarının çalışma özellikleri ile enerji tüketimindeki değişimler belirlenerek çevresel etkileri incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasına ise, defrost yöntemlerinden olan sıcak gazlı yöntemlerde FDM kullanımı geleneksel EHD yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu aşamada, deneysel çalışmalar ile elde edilen veriler yardımıyla her farklı sistem yapısı için enerji, ekserji, ekonomik ve çevresel analizleri yapılarak sistemler birbirleriyle kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar neticesinde elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Geleneksel EHD yöntemi referans kabul edilerek FDM kullanılan sistemle COP değerleri kıyaslanmış, ek bir soğutma yükü olmadığı (0W) koşulda %5,81, 25 W soğutma yükünde %10.02, 50 W soğutma yükünde %9.7, ve 75W soğutma yükünde ise %8.82 artış olduğu belirlenmiştir. Literatürde, FDM'nin kompresör ve yoğunlaştırıcı arasında kullanıldığı uygulamalara bakıldığında, COP değerinde ortalama %6'lık bir artış gözlemlendiği ifade edilirken

geliştirilen tasarımlarla bu değerin daha da üzerine çıkılabileceği ifade edilmiştir.

- Soğutma sisteminde FDM kullanılarak ilave bir yoğuşturucu oluşturulmuş ve bu sayede sistemden ısıнын uzaklaştırılması kolaylaştırılmıştır. Bu duruma bağlı olarak, kompresörün basma hattı basıncının ve dolayısıyla da kompresörün enerji tüketiminin de düştüğü tespit edilmiştir.
- Soğutma sisteminde uygulanan soğutma yükü miktarının artırılmasıyla kompresör tüketiminde artış söz konusu olmuştur.
- FDM kullanımı kompresör işini azaltmıştır. FDM kullanılmayan sistemle kıyaslandığında kompresör işinde farklı soğutma yüklerine bağlı olarak %1,8 ile %5 arasında bir düşüş gözlemlenmiştir.
- Yoğuşma sırasında FDM'nin etkisiyle sistemden daha fazla ısı atılmış bu sayede yoğuşturucu kapasitesinde doğrudan bir artış görülmüştür.  $Q_C$  değerleri soğutma yükü olmadığı deneylerde (0W) 0,3162kW, 25W soğutma yükünde 0,3481kW, 50W soğutma yükünde 0,3879kW ve 75W soğutma yükünde ise 0,4349kW olduğu belirlenmiştir.
- $Q_C$ 'nin artması, buharlaştırıcının kabin içerisinden ısı çekmesini kolaylaştırmıştır. Buna bağlı olarak,  $Q_E$  değerinde artış gözlemlenmiştir.
- FDM kullanımı soğutma sisteminin ekserji veriminin artmasına sebep olmuştur. FDM kullanılmayan sisteme kıyasla farklı soğutma yüklerinde ekserji verimi %4,31 ile % 6,21 arasında bir artmıştır.
- Soğutma yükünün artmasına bağlı olarak kompresör çıkış sıcaklığında ani bir artış meydana geldiği görülmüştür. FDM kullanılan sistemdeki bu sıcaklık artışının FDM kullanılmayan sisteme göre daha yavaş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu durum, FDM tarafından akışkanın sahip olduğu ısıнын hem duyulur hemde gizli ısı şeklinde depolanıyor olmasından kaynaklanmaktadır.
- EHD sistemine FDM eklenmesiyle defrost süresinde 120s kısalma meydana gelmiş, enerji tüketiminde yıllık 9,891 kWh tasarruf elde edilmiş ve defrost işlemlerinde kullanılan elektrik enerjisi de yaklaşık %16.66 düşmüştür.
- Sıcak gazlı defrost yöntemleri ve elektrikli ısıtıcılı defrost yöntemleri kıyaslandığında defrost süreleri; EHD 720s, CID 520s, COD yönteminde ise 390s olarak ölçülmüştür.

- Sıcak gazlı defrost yöntemlerinde FDM kullanılmasıyla defrost sürelerinin COD-PCM yönteminde 260s, CID-PCM yönteminde ise 180s düştüğü görülmüştür.
- FDM’lerde depo edilen enerjinin defrost işlemlerinde kullanılması ile hem atık enerji tekrar kullanılmış hemde kısalan defrost süresi ile kabiniçi sıcaklık dalgalanmasının önemli ölçüde önüne geçilmiştir. Böylelikle, gıda kalitesi korunması ile gıda ömrünün uzatılmasına katkı sağlanmıştır.
- EHD ve EHD-PCM yöntemlerinde defrost işlemi boyunca kompresör durur ve defrost süresinin uzunluğuna bağlı olarak kabin içerisindeki ısı yükü sıcaklık artışına neden olur. Kabiniçi sıcaklık dalgalanmasının en düşük olduğu tasarım CID-PCM yöntemi olmuştur.
- Sıcak gazlı defrost yöntemleri, geleneksel elektrikli ısıtıcı defrost yöntemiyle kıyaslandığında defrost süresinde ve elektrik tüketiminde düşüş gözlemlenmiştir. Geliştirilen yöntemlerin kullanılmasıyla CO<sub>2</sub> salım miktarları ve bu salımın maddi karşılığı azalacaktır.

Sonuç olarak, sisteme entegre edilen FDM ile geliştirilen CID-PCM ve COD-PCM yöntemleri kullanarak elde edilen veriler, bir taraftan önemli ölçüde çevresel kazanım sağlanabileceğini diğer taraftan da yine önemli miktarda enerji sarfiyatının önüne geçilebileceğini göstermiştir. Literatür incelendiğinde konutlarda soğutucu ve dondurucu kullanımının diğer ev aletlerine göre önemli miktarda enerji tükettiği ve bu miktarın küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %4’üne tekabül ettiği düşünüldüğünde buzdolaplarındaki enerji tasarrufu büyük önem arz etmektedir. Buna ek olarak, günümüzde dünya çapında kullanılan konut tipi soğutucu ve dondurucu sayısını yaklaşık iki milyar olduğu söylenmiş buna bağlı olarak geliştirilen sistemlerdeki defrost sırasındaki tasarruf miktarı ile elektrik üretimindeki karbon salımında doğrudan düşüş görülebilmekte ve bu salımın uluslararası karbon fiyatı karşılığı hesaplandığında 2,666,550,000\$’a kadar maddi tasarruf sağlanabilmektedir. Aynı zamanda, CID-PCM yöntemi EHD yöntemiyle defrost süresi bakımından kıyaslandığında avantajlı olduğu görülmüş ve elektrik tüketiminde yıllık 51,349 kW bir tasarruf hesaplanmıştır. Daha önce bahsedildiği gibi dünyada kullanılan iki milyar soğutucu düşünüldüğünde yıllık 9,440,000,000\$ elektrik tüketim bedelinden tasarruf edilebilmektedir.

Soğutma ve dondurma sistemlerinde uygulanan defrost yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla, ileride yapılabilecek çalışmalarda;

- Sıcak gazlı defrost yöntemlerindeki sorunlar kompresörün güvenliği bakımından detaylı incelenerek, kompresöre sıvı soğutucu akışkan girme ihtimali ve sisteme yağ kaçaklarının olmasının önüne geçilebilirliği hakkında yeni yöntemler geliştirilebilir.
- FDM entegrasyonunda farklı gizli ısı değeri, ergime ve donma noktası özelliklerine sahip malzemeler kullanılarak ısı depolama verimlilikleri incelenebilir.
- FDM kullanılan sıcak gaz defrost uygulamalarının, farklı amaçlarla kullanılan soğutma ve dondurma sistemlerinde de uygulamaları yapılarak sistemlerin çalışma özelliklerine ve defrost performanslarına etkileri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Uluslararası Enerji Ajansı, “Önemli Dünya Enerji İstatistikleri 2021”, [\*\*https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption\(2021\)\*\*](https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption(2021))
2. İnternet: Uluslararası Enerji Ajansı, “Sektörlere göre dünya nihai elektrik tüketimi”,[\*\*https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview/electricity-consumption\(2019\)\*\*](https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview/electricity-consumption(2019)).
3. Muneeshwaran, M., Yang C.M., Nawaz, K., Wang, C.C., “ Understanding air flow pattern and temperature distribution in domestic refrigerators – A review analyzing recent developments and bridging knowledge gaps” ***Sustainable Energy Technologies and Assessments***, vol.57 103171 (2023).
4. Kapici, E., Kutluay, E., Izadi-zamanabadi, R., “A novel intelligent control method for domestic refrigerators based on user behavior” ***International Journal of Refrigeration***, 136:209-218 (2022).
5. Belman-Flores J.M., Barroso-Maldonado J.M., Rodríguez-Muñoz A.P., Camacho-Vázquez G., “Enhancements in domestic refrigeration, approaching a sustainable refrigerator – A review” ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 51:955-968(2015).
6. D.Wang, J. Jiang, L. Tao, Z. Kou, L. Yao, "Experimental investigation on a novel cold storage defrosting device based on electric heater and reverse cycle", ***Applied Thermal Engineering***, 127 1267 (2017).
7. N. Hoffenbecker, S.A. Klein, D.T. Reindl, "Hot gas defrost model development and validation, International Journal of Refrigeration", ***International Journal of Refrigeration***, 28 605–615 (2005).
8. H. Jeong, S. Byun, D.R. Kim, K.S. Lee, "Power optimization for defrosting heaters in household refrigerators to reduce energy consumption", ***Energy Conversion and Management***, 237 114127 (2001).
9. D.B. Özkan, E.Özil, C. İnan, "Experimental Investigation of the Defrosting Process on Domestic Refrigerator Finned Tube Evaporators", ***Heat Transfer Engineering***, 33 (6) 548-557 (2012).
10. P. Bansal, D. Fothergill, R.Fernandes, "Thermal analysis of the defrost cycle in a domestic freezer", ***International Journal of Refrigeration***, 33 (3) 589-599 (2010).

11. H. Cho, Y. Kim, I. Jang, "Performance of a showcase refrigeration system with multi-evaporator during on-off cycling and hot-gas bypass defrost" **Energy**, 30 (10) 1915-1930 (2005).
12. D. Seker, H. Karatas, N. Egrican, "Frost formation on fin-and-tube heat exchangers. Part I—Modeling of frost formation on fin-and-tube heat exchangers", **International Journal of Refrigeration**, 27 (4) 367-374 (2004).
13. N. Nethaji, S. T. Mohideen, "Energy conservation in domestic refrigerators by cooling compressor shell", **Case Studies in Thermal Engineering**, 10 382-387 (2017).
14. J. A. Dopazo, J. Fernandez-Seara, F. J. Uhía, R. Diz, "Modelling and experimental validation of the hot-gas defrost process of an air-cooled evaporator", **International Journal of Refrigeration**, 33 (4) 829-839 (2010).
15. C. Melo, F. T. Knabben, P. V. Pereira, "An experimental study on defrost heaters applied to frost-free household refrigerators", **Applied Thermal Engineering**, 51 (1–2) 239-245 (2013).
16. F. T. Knabben, C. J. L. Hermes, C. Melo, "In-situ study of frosting and defrosting processes in tube-fin evaporators of household refrigerating appliances", **International Journal of Refrigeration**, 34 (8) 2031-2041 (2011).
17. H. J. Yin, Z. Yang, A. Q. Chen, N. Zhang, "Experimental research on a novel cold storage defrost method based on air bypass circulation and electric heater", **Energy**, 37, (1) 623-631 (2012).
18. M. Amer, C. C. Wang, "Review of defrosting methods", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 73, 53-74 (2017).
19. M. O. A. Abdulla, E. Deniz, M. Karagöz, G. Gürüf, "An experimental study on a novel defrosting method for cold room", **Applied Thermal Engineering**, 188, 116573 (2021).
20. M. F. Vitor, A. S. Silveira, R. C. C. Flesch, "Ambient virtual sensor based defrost control for single compartment refrigerators", **Applied Thermal Engineering**, 166, 114652 (2020).
21. E. Gümüş, "Soğutma Sistemi Buharlaştırıcılarında Alternatif Kar Çözdürme Yöntemleri Ve Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, (2009).
22. V. Tudor, M. Ohadi, M. A. Salehi, J. V. Lawler, "Advances in control of frost on evaporator coils with an applied electric field", **International Journal of Refrigeration**, 48 (21–22) 4428-4434 (2005).
23. A. N. Malik, S. A. Khan, I. Lazoglu, "A novel hybrid frost detection and defrosting system for domestic refrigerators", **International Journal of Refrigeration**, 117, 256-268 (2020).

24. Z. Rijng, H. Dong, P. Xueyuan, Q. Lin, "Comprehensive measures to enhance electric heater defrosting (EHD) performance for household frost-free refrigerators", *International Journal of Refrigeration*, 111, 1-8 (2020).
25. Y. Yoon, H.Jeong, K. S. Lee, " Adaptive defrost methods for improving defrosting efficiency of household refrigerator", *Energy Conversion and Management*, 157, 511-516 (2018).
26. J. Niu, G. Ma, S. Xu, "Experimental research on hot liquid defrosting system with multiple evaporators", *Applied Thermal Engineering*, 179, 115710 (2020).
27. E.Ç. Karakaş, "İklimlendirme Sistemi Buharlaştırıcılarında Ultrasonik Titreşim İle Buz Çözdürme Yönteminin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi* (2021).
28. Y.L. Lu, W.H. Zhang, P. Yuan, M.D. Xue, Z.G. Qu, W.Q. Tao, "Experimental study of heat transfer intensification by using a novel combined shelf in food refrigerated display cabinets", *Applied Thermal Engineering*, 30 (2–3) 85-91 (2010).
29. W.L. Cheng, B.J. Mei , Y.N. Liu , Y.H. Huang, X. D. Yuan, "A novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation", *Energy*, 36 (10) 5797-5804 (2010).
30. G.Sonnenrein, A.Elsner, E.Baumhögger, A.Morbach, K.Fieback, J.Vrabec, "Reducing the power consumption of household refrigerators through the integration of latent heat storage elements in wire-and-tube condensers", *International Journal of Refrigeration*, 51 154-160 (2015).
31. Z.Liu, A. Li, Q. Wang, Y. Chi , L. Zhang, "Experimental study on a new type of thermal storage defrosting system for frost-free household refrigerators", *Applied Thermal Engineering*, 118 256-265 (2017).
32. M.A. Ezan, E. O. Doganay, F.E. Yavuz. I. H. Tavman, "A numerical study on the usage of phase change material (PCM) to prolong compressor off period in a beverage cooler", *Energy Conversion and Management*, 142, 95-106 (2017).
33. M. M. Joybari, F. Haghighat, J. Moffat, P. Sra, "Heat and cold storage using phase change materials in domestic refrigeration systems: The state-of-the-art review", *Energy and Buildings*, 106, 111-124 (2015).
34. F.Wang, G. Maidment, J. Missenden, R. Tozer, "The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 1: Experimental investigation", *Applied Thermal Engineering*, 27, (17–18), 2893-2901 (2007).
35. E.Oró, L.Miró, M.M.Farid, L.F.Cabeza, "Improving thermal performance of freezers using phase change materials", *International Journal of Refrigeration*, 35, 4, 984-991 (2012).

36. B.Gin, M.M.Farid, P.K.Bansal, "Effect of door opening and defrost cycle on a freezer with phase change panels", *Energy Conversion and Management*, 51, (12) 2698-2706 (2010).
37. Z. Liu, P. Fana, Q. Wang, Y. Chi, Z. Zhao, Yuanying C., "Air source heat pump with water heater based on a bypass-cycle defrosting system using compressor casing thermal storage", *Applied Thermal Engineering*, 128 1420-1429 (2018).
38. İ. Kütük, " Ev tipi soğutma cihazlarında kondenslerden atılan ısıнын defrost işleminde kullanılmasının modellenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi* (2022).
39. A.A. Aydın, " Faz değişim malzemeleri ve ısı enerjisinin depolanması" Doktora Tezi, *İstanbul Sanayi Odası - İstanbul Teknik Üniversitesi* (2010).
40. Turhal, A., "Ev Tipi Soğutma Sistemi Performansına Yoğuşturucu Bacası Etkilerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi* (2021).
41. S.M. Husain, M. Ipek, A. Caglayan, T.N. Aynur, S.Kocaturk, H. Bedir, "Dynamic modelling of the steady state and load processing operation of a domestic refrigerator cooled through natural convection", *International Journal of Refrigeration*, vol:146 15-27 (2023).
42. WNA Report, "Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources" *World Nuclear Association, London*, (2011).

## **EK AÇIKLAMALAR A.**

### **SOĞUTUCU AKIŞKAN ŞARJI VE TARTI MEKANİZMASI**

Çizelge Ek A.1. Soğutucu akışkan şarjı ve tartı mekanizması.



| Soğutma Akışkan Şarjı ve Tartı Mekanizmasının Özellikleri |                |
|-----------------------------------------------------------|----------------|
| Çalışma                                                   | 2*1.5V AAA pil |
| Maksimum Kapasite                                         | 500 gr         |
| Hassasiyet                                                | 0,01 gr        |
| Çalışma birimleri                                         | g/ct/gn/T/oz   |

**EK AÇIKLAMALAR B.**

**ADAM VERİ TOPLAMA MODÜLÜ**

Çizelge Ek B.1. Adam veri toplama modülü.



| Parametre           | Özellik                                                                                                           |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Güç Tüketimi        | 1.0 W@24 V <sub>DC</sub>                                                                                          |
| Doğruluk            | % ±0.1                                                                                                            |
| Ölçüm Kanalı Sayısı | 8                                                                                                                 |
| Çözünürlük          | 16 bit                                                                                                            |
| Girdi Tipleri       | T/C, mV, V, mA                                                                                                    |
| İzolasyon Koruması  | 3000 V <sub>DC</sub>                                                                                              |
| Boyutlar            | 70x122x30 mm                                                                                                      |
| Ölçüm Aralıkları    | ±1 V, ±2.5 V, ±5 V,<br>±10 V, ±100 mV,<br>±500 mV, ±20 mA,<br>4 ~ 20 mA<br>J, K, T, E, R, S, B Tipi Isıl Çiftler. |
| Çevre Şartları      |                                                                                                                   |
| Nem                 | % 5~95 RH                                                                                                         |
| Uygulama Sıcaklığı  | -10~70 °C (14~158 °F)                                                                                             |
| Depolama Sıcaklığı  | -25~85 °C (-13~185 °F)                                                                                            |

**EK AÇIKLAMALAR C.**

**SOĞUTUCU YÜKÜ GÜÇ AYAR CİHAZI**

Çizelge Ek C.1. Soğutucu yükü güç ayar cihazı.



C 1,5 HIZ ANAHTARI

| Soğutma Yüğü Güç Ayar Mekanizması Özellikleri |                  |
|-----------------------------------------------|------------------|
| Marka Model                                   | Vortice C 2,5    |
| Çalışma Gerilimi                              | 220- 240 V 50 Hz |
| Koruma Sınıfı                                 | IP 20            |
| Maksimum Güç                                  | 450 W            |
| Maksimum Akım                                 | 2,5 A            |
| Çalışma Sıcaklığı                             | 0-50 °C          |

**EK AÇIKLAMALAR Ç.**

**SOĞUTUCU YÜKÜ GÖSTERGE CİHAZI**

Çizelge Ek Ç.1. Soğutucu yükü gösterge cihazı.



| Soğutma Yüğü Gösterge Cihazının Özellikleri |                  |
|---------------------------------------------|------------------|
| Çalışma Gerilimi                            | 200- 250 V 50 Hz |
| Maksimum Güç                                | 3680 W           |
| Maksimum Akım                               | 16 A             |
| Çalışma Sıcaklığı                           | 0-50 °C          |

**EK AÇIKLAMALAR D.**

**BASINÇ SENSÖRLERİ**

Çizelge Ek D.1. Basınç sensörleri.



| Basınç Sensörü Özellikleri |                                                      |
|----------------------------|------------------------------------------------------|
| Sensör Tipi                | Basınç                                               |
| Ölçüm Aralığı              | -1...60 bar                                          |
| Doğruluk                   | 0.5% of the final value                              |
| Çözünürlük                 | ( 0.1psi) 0.0067 bar                                 |
| Bağlantı                   | 7/16" – UNF                                          |
| Depolama Sıcaklığı         | -20 to 60°C                                          |
| Çalışma Sıcaklığı          | -20 to 50°C                                          |
| Ölçüleri                   | 12.5 cm × 3.3 cm × 3.0 cm                            |
| Ölçüm Birimi               | bar, psi, MPa, kPa                                   |
| Ölçülebilen Akışkanlar     | CFC, HFC, HCFC, N, H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> |

## ÖZGEÇMİŞ

Dorukhan DEMİR, ilk, orta ve lise eğitimini Karabük’te tamamlamıştır. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başlamış ve 2020 yılında mezun olmuştur. Dorukhan DEMİR halen lisansüstü çalışmalarına devam etmekte ve aynı zamanda Karabük Doruk Mühendislik Turizm Sanayi Ticaret Limited Şirketine yönetici olarak görevini yürütmektedir.

