



**EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA
KONDENSERDEN ATILAN ISININ DEFROST
İŞLEMİNDE KULLANILMASININ
MODELLENMESİ**

İbrahim KÜTÜK

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

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

**EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA KONDENSERDEN ATILAN ISININ
DEFROST İŞLEMİNDE KULLANILMASININ MODELLENMESİ**

İbrahim KÜTÜK

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

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

**KARABÜK
Temmuz 2022**

İbrahim KÜTÜK tarafından hazırlanan “EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA KONDENSERDEN ATILAN ISININ DEFROST İŞLEMİNDE KULLANILMASININ MODELLENMESİ” 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. 29/04/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Suat SARIDEMİR (DÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇELİK (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

İbrahim KÜTÜK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EV TİPİ SOĞUTMA CİHAZLARINDA KONDENSERDEN ATILAN ISININ DEFROST İŞLEMİNDE KULLANILMASININ MODELLENMESİ

İbrahim KÜTÜK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makina Mühendiliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

Temmuz 2022, 62 sayfa

Günümüz dünyasının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelen ev tipi soğutma sistemlerinin başta performans ve enerji tüketimleri olmak üzere, tüm çalışma özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi konularında oldukça fazla sayıda ve çeşitlilikte çalışma yapılmış ve bu sistemlerin insan hayatındaki öneminin artmasından dolayı da yeni çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir.

Yapılan çalışmada, ev tipi soğutma cihazlarında enerji kullanımının önemli bir bölümünü oluşturan ve buharlaştırıcı üzerinde zaman içinde donmuş su birikiminin, ısı geçişine engel olmaması sağlanarak sistemin enerji tüketimini azaltmak ve performansını arttırmak amacıyla yapılması zorunlu bir uygulama olan buz çözme işlemi üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli özellik, buz çözme işleminde elektrikli ısıtıcı yerine, yoğuşturucudan dış ortama atılan ısının değerlendirilerek kullanılmasına yönelik bir sistemin tasarlanması ve çalışma özelliklerinin incelenmesi olmuştur.

Bu amaçla, bir ev tipi soğutma cihazında elektrikli ısıtıcı ve yoğuşturucu atık ısıyı kullanarak buz çözme işleminin yapılması ayrı ayrı yapılan deneyler ile incelenmiştir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda soğutma sisteminin 0, 25, 50 ve 75W ek soğutma yükleri altındaki COP, enerji tüketimi, kompresör işi, ekserji verimi, sistem elemanlarının kapasitelerindeki değişimler ve buz çözme işlemleri kıyaslamalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Ev tip soğutma sistemi, buz çözme, atık ısı, sistem performansı
Bilim Kodu : 91408

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MODELING OF THE USE OF HEAT EXHAUSTED FROM THE CONDENSER IN DEFROSTING PROCESS IN HOME COOLING SYSTEMS

İbrahim KÜTÜK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Emrah DENİZ

July 2022, 62 pages

A large number and variety of studies have been carried out on the improvement and development of all operating characteristics, especially performance and energy consumption, of household cooling systems, which have become one of the indispensable elements of today's world; and new studies continue to be made due to the increasing importance of these systems in human life.

In this study, the defrosting process, which constitutes an important part of the energy use in household cooling devices, and which is a mandatory application in order to reduce the energy consumption of the system and increase its performance by ensuring that the accumulation of frozen water on the evaporator does not prevent heat transfer over time, has been studied. The most important feature that distinguishes this study from other studies is the design of a system to evaluate and use the heat released from the condenser to the outside environment in the defrosting process, instead of an electric heater and examining its operating characteristics.

For this purpose, defrosting process using both electrical heater and condenser waste heat in a household cooling device has been investigated by separate sets of experiments. In experimental and theoretical studies, the COP, energy consumption, compressor work, exergy efficiency, changes in the capacities of the system elements and defrosting processes of the cooling system under additional cooling loads of 0, 25, 50 and 75 W have been investigated comparatively.

Keywords: Household cooling system, defrosting, system performance

Science Code: 91408

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Emrah DENİZ'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Çalıőmamın çeşitli aşamalarında değerli katkılar sağlayan Mahade Ali Omran ABDULLA, Muhammet Ufuk UÇAR, Dorukhan DEMİR ve Cihan YILMAZ'a da desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Sevgili eőim Pınar'a, canım kızım Elif'e ve aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. GİRİŞ	1
1.2. AMAÇ	2
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	11
GENEL BİLGİLER	11
3.1. BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ	11
3.2. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE BUZ OLUŞUMU	13
3.3. BUZ ÇÖZME (DEFROST) SİSTEMLERİ	13
3.3.1. Pasif Buz Çözme	14
3.3.1.1. Yüzey Kaplama.....	14
3.3.1.2. Kapalı Çevrim (Off-Cycle).....	14
3.3.2. Aktif Buz Çözme	15
3.3.2.1. Ters Çevrimli	15
3.3.2.2. Ultrasonik Titreşim	15

	<u>Sayfa</u>
3.3.2.3. Sıcak Gaz	15
3.3.2.4. Elektrikli Isıtıcı	16
3.3.2.5. Sıcak Sıvı	16
3.3.3. Faz Değiştiren Malzemeleri Kullanan Buz Çözme Yöntemleri	16
BÖLÜM 4	21
DENEY SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZLERİ	21
4.1. DENEY SİSTEMİ TASARIMI.....	21
4.2. TEORİK YAKLAŞIMLAR	27
4.2.1. Enerji Analizi.....	27
4.2.2. Ekserji Analizi	28
4.3. HATA ANALİZİ.....	30
BÖLÜM 5	31
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	31
5.1. SOĞUTMA YÜKÜNE GÖRE BASINÇ VE SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ ..	31
5.2. SİSTEM PERFORMANSLARININ ANALİZİ	33
5.3. BUZ ÇÖZME (DEFROST) SÜRELERİ	38
KAYNAKLAR	42
EK AÇIKLAMALAR A.	46
MULTİMETRE.....	46
EK AÇIKLAMALAR B.	48
ADAM VERİ TOPLAMA MODÜLÜ	48
EK AÇIKLAMALAR C.	50
SOĞUTUCU YÜKÜ GÜÇ AYAR CİHAZI	50
EK AÇIKLAMALAR Ç.	52
SOĞUTUCU YÜKÜ GÖSTERGE CİHAZI.....	52

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR D.	54
GÜÇ KAYNAĞI.....	54
EK AÇIKLAMALAR E.	56
SU POMPASI	56
EK AÇIKLAMALAR F.....	58
BASINÇ SENSÖRLERİ.....	58
EK AÇIKLAMALAR G.....	60
SOĞUTUCU AKIŞKAN ŞARJI VE TARTI MEKANİZMASI.....	60
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin şematik görüntüsü.	11
Şekil 3.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramları.	12
Şekil 3.3. Buharlaştırıcı üzerindeki buz birikimi.	13
Şekil 3.4. Erime sıcaklığına göre FDM'lerin sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.5. Faz geçiş moduna göre FDM'lerin sınıflandırılması.	18
Şekil 4.1. Elektrikli ısıtıcı ile buzdan ayrıştırma işlemi deney şeması.....	22
Şekil 4.2. Sistem atık ısısının buz çözme işlemi amacıyla kullanıldığı soğutma sisteminin şematik görüntüsü.....	23
Şekil 4.3. Soğutma sisteminde kullanılan ısıtma ve nemlendirme malzemelerinin yerleşimi.....	25
Şekil 4.4. Soğutma sistemi üzerinde yapılan düzenlemeler ve yerleşimleri.....	26
Şekil 4.5. Buz çözme amacıyla kullanılan ısı değiştiricinin yerleşimi	26
Şekil 5.1. Elektrikli buz çözme işleminde basınçların değişimi	32
Şekil 5.2. Elektrikli buz çözme işleminde sıcaklıkların değişimi	33
Şekil 5.3. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak COP değerinin değişimi	34
Şekil 5.4. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak kompresör işinin değişimi	35
Şekil 5.5. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak kompresör izantropik veriminin değişimi.....	35
Şekil 5.6. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak Q_C değerinin değişimi	36
Şekil 5.7. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak Q_E değerinin değişimi.....	37
Şekil 5.8. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak ekserji veriminin değişimi	38
Şekil 5.9. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 0W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.....	39
Şekil 5.10. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 25W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.....	40
Şekil 5.11. Elektrikli ısıtıcılı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 50W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.....	41

Sayfa

Şekil 5.12. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 75W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi..... 41



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Buz çözme sonuçları.....	5
Çizelge 3.1. Buz çözme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	17
Çizelge 4.1. Çalışmalarda kullanılan ev tipi soğutma cihazına ait teknik özellikler..	21
Çizelge 4.2. Çalışmalarda kullanılan ölçüm sensör ve cihazlarına ait özellikler...	24
Çizelge 4.3. Çalışmalarda kullanılan faz değıştiren malzemenin teknik özellikleri...	24
Çizelge Ek A.1. Multimetre.....	47
Çizelge Ek B.1. Adam veri toplama modülü.....	49
Çizelge Ek C.1. Soğutucu yükü güç ayar cihazı.....	51
Çizelge Ek Ç.1. Soğutucu yükü gösterge cihazı.....	53
Çizelge Ek D.1. Güç kaynağı.....	55
Çizelge Ek E.1. Su pompası.....	57
Çizelge Ek F.1. Basınç sensörleri.....	59
Çizelge Ek G.1. Soğutucu Akışkan Şarjı ve Tartı Mekanizması.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: yüzey alanı	(m^2)
\dot{E}	: ekserji oranı	(W)
h	: özgül entalpi	($kJ\ kg^{-1}$)
I	: akım	(A)
k_f	: karın ısı iletim kat sayısı	(W/mK)
\dot{m}	: kütle akış oranı	($g\ s^{-1}$)
η	: verim	(%)
p_f	: karın yoğunluğu	(kg/m^3)
\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	($kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$)
T	: sıcaklık	($^{\circ}C$)
V	: hacim	(m^3)
\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 ₂	: Kükürtdioksit
UA	: Bobin Alanı Isı Transfer Katsayısı

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

1.1. GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusunun ve sanayileşmenin her geçen gün artması enerji tüketimindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Artan enerji tüketimi gelecek yıllar için kaynak yetersizliği konusunda büyük sorunlara sebebiyet verecektir. Bu yüzden, hem evsel bazda hem de sanayi bazında enerji kullanımına dikkat edilmeli ve bu konu üzerinde araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmalıdır. Dünya üzerinde tüketilmekte olan enerjinin büyük kısmını gün boyunca evlerde kullanılan, büyük miktarlarda elektrik tüketen ev aletleri, oluşturmaktadır. En çok enerji harcayan dayanıklı ev aletlerinin başında gelen buzdolapları diğer beyaz eşyalara göre çok daha fazla evde ve işyerinde rastlanılan ve sürekli olarak çalışan tek makinedir. Dünya üzerinde milyolarca buzdolabı kullanılmaktadır [1].

Enerji tüketimini azaltmak için buzdolabında yapılacak tasarrufun etkisi büyük olacaktır. Buzdolabında kullanılan enerji farklı farklı amaçlar için harcanır. Bir buzdolabının kendi içindeki enerji dağılımına bakmak gerekirse de bu enerjinin yaklaşık olarak %45'i kompresör, %30'u ısı değiştiricisi fanı ve %25'i buz çözme (defrost) sistemi tarafından, küçük bir kısmı da aydınlatma gibi diğer etkenler tarafından harcanır [2].

Yapılan çalışmada, ev tipi soğutma cihazlarında enerji kullanımının önemli bir bölümünü oluşturan ve soğutma cihazının buharlaştırıcısında zaman içinde biriken buzun, ısı transferini olumsuz yönde etkilememesi için yapılması zorunlu bir işlem olan buz çözme işlemi üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada, buz çözme işleminde elektrikli ısıtıcı yerine, yoğuşturucudan dış ortama atılan ısının değerlendirilerek kullanılmasına yönelik bir sistem tasarlanmıştır. İmalatı yapılan sistem kullanılarak

hem elektrikli hem de yoğurturucu atık ısısının buz çöme işleminde kullanımları deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmiştir.

1.2. AMAÇ

Buzdolabı sistem yapısını oluşturan en önemli bileşenlerinden biri olan buharlaştırıcı üzerinde belirli zaman aralıklarında buz birikmesi sonucu karlanma gözlenmektedir. Bu olayın buzdolabı sisteminin çalışmasını olumsuz yönde etkilememesi için oluşan karlanmanın eritilmesi gerekmektedir. Fakat piyasadaki buzdolapları incelendiğinde bu işlem için önemli miktarda elektrik sarfiyatı gerektiği görülmüştür.

Ev tipi soğutma cihazlarında yapılacak enerji tasarrufunun çevre açısından büyük önem taşıyacağı düşünülerek yola çıkılan bu çalışma ile soğutma çevriminden sonra enerji tüketiminin en yüksek olduğu buz çöme (defrost) işlemi konusuna odaklanılmıştır. Buz çöme işleminin elektrik harcamadan veya tüketilen elektrik miktarını azaltarak yapılabilmesi amacıyla bu çalışmada, soğutma sistemi çalışırken yoğurturucudan atılacak ısı depo edilerek, buz çöme ihtiyacının olduğu periyotlarda bu ısının buharlaştırıcı üzerinde biriken buzu çömesini hedefleyen bir sistem tasarlanmıştır.

Bu çalışma amacına yönelik olarak;

1. Soğutma sistemleri ve buz çöme işlemi hakkında genel bilgi,
2. Literatür çalışması ve faz değıştiren malzemeleri,
3. Deneysel sistemi tasarımı ve modellenmesi,
4. Deneysel çalışmaları,
5. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yardımıyla sistemin teorik ve deneysel incelenmesi,
6. Çalışmanın genel olarak değerlendirilip yorumlanması ve önerileri kapsamaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Ev tipi buzdolaplarında buz çözme işlemi esnasında kullanılan enerjinin düşürülmesine yönelik çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Ancak yapılan çalışmaların üreticiler tarafından tercih edilmemesinin gerekçeleri de değerlendirilmesi gereken önemli bir durumdur.

Literatür taraması neticesinde;

Li vd. (2017), ev tipi soğutma cihazları (No-frost) için buz çözme performansını artırma yöntemi olarak buharlaştırıcıdaki don kütlesi dağılımını optimize etmeyi önermiş ve bu kapsamda buz çözme için tutarlı bir ısı ve hava akış hızı dağılımı olacak şekilde hava kanalı tasarlamışlardır. Yapılan bu işlem sonucunda, buz çözme verimliliğinin %29,8 arttığını ve optimizasyondan sonra standart enerji tüketim değerinin %2 azaldığını tespit etmişlerdir [3].

Harrington vd. (2018), laboratuvar ortamında, soğutucu cihazların birçok temel parametresinin güvenilir bir şekilde ölçmenin mümkün olduğunu ancak test altında değerlendirilmesi zor olan bazı unsurların bulunduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında laboratuvardaki buz çözme amaçlı ısıtıcı enerji değerlerinin evde ölçülen değerlerden %20 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırma sonucunda, normal kullanım koşullarında en az birkaç hafta boyunca evlerde ölçüm yapmayı önermişlerdir [4].

Yoon vd. (2018), ev tipi soğutma cihazları (No-frost) için iki ısıtıcıyı aynı anda kontrol eden basit titreşimli mod, her ısıtıcıyı ayrı ayrı kontrol eden bireysel titreşimli mod ve kademeli olarak bir kılıflı ısıtıcıya güç sağlanması olacak şekilde üç buz çözme yöntemi önermişlerdir. Geleneksel bir buz çözme yöntemi olmayan bu üç yöntemin,

buz çözme döngüsü sırasında bir dondurucudaki sıcaklık artışını önlemeye yardımcı olduğunu ve buz çözme verimliliğini arttırdığını öngörmüşlerdir [5].

Liu vd. (2018), buharlaştırıcının buzunu çözme işlemi esnasında tüketilen fazla gücün, Ev tipi soğutma cihazlarının (No-frost) yaygın olarak kullanılmasını kısıtladığını belirterek, baypas çevrimi ile birleştirilen yeni bir termal depolama buz çözme sistemi önermişlerdir. Ayrıca, ısı depolama buz çözme sisteminin fizibilitesini analiz ederek, ısı depolama eşanjörlerinin yapısını tasarlamışlar ve optimize etmişlerdir [6].

Liu vd. (2017), ev tipi soğutma cihazlarında buz çözme işlemi yapmak üzere, kompresör gövdesinden atılan ısının kullanıldığı bir sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan bu sistem ile buz çözme süresinin %65-77, toplam enerji tüketiminin %89-92 seviyesinde azaldığını öngörmüşlerdir [7].

Amer vd. (2017), soğutma sistemlerinde buzlanmanın nasıl oluştuğuna ilişkin ayrıntılı deney yapmışlar, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma endüstrisi için geçerli buz çözme tekniklerini gözden geçirmişler ve bu tekniklerin tamamına yönelik karşılaştırmalı analiz gerçekleştirmişlerdir [8].

Bahar vd. (2021) tarafından endüstriyel buzdolaplarında enerji verimliliği endeksini düşürmeye yönelik deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 2 farklı buzdolabı üzerine çalışmalar yapılmış ve sistemlerde R290 soğutucu akışkan kullanılmıştır. Birinci sistemde rezistans camlı test odasının hava sıcaklığı 25 °C ve bağıl nemi ise %59,09 olarak ölçülmüştür. İkinci sistemde buğu önleyici film ile test odasının hava sıcaklığı 25,23 °C ve bağıl nemi %57,21 olarak ölçülmüştür. Deneyler sırasında günde iki kez buz çözme işlemi yapılmıştır. Soğutulan metaryellerin en yüksek ve en düşük ortalama sıcaklıkları -16,18 °C ve -19,40 °C olarak ölçülmüştür. Birinci sistemde Enerji Verimliliği endeks değeri 60,53 olarak hesaplanmış ve enerji etiketinin “E” sınıfı olduğu ve ikinci sistemde ise 49,25 ölçülen değer ile enerji etiketinin “D” sınıfı olduğu tespit edilmiştir [9].

Cho vd. (2005) tarafından yapılan çalışma kapalı çevrim (Off Cycle) buz çözme üzerine gerçekleştirilmiştir. Kapalı çevrim (Off Cycle) buz çözme sistemi kabin sıcaklığının 0 °C üzerinde tutulduğu şartlarda ve düşük miktarda don gözlemlendiğinde gerçekleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Sistem içerisindeki akışkan, sıfır derecenin altında yer alsa da dolabın içerisi sıfır derecenin üzerinde ölçülüp döngünün devam ettiği gözlemlenmiştir [10].

Hoffenbecker vd. (2005) tarafından sıcak gaz buz çözme modeli geliştirme üzerine bir çalışma yapılmıştır. Endüstriyel bir hava soğutmalı buharlaştırıcı ile ilişkili ısı transferi ve kütle etkilerini tahmin etmek için bir model geliştirilip uygulanmıştır. Çalışma termometre sıcaklığı, bobin, nem, don kalınlığı ve yoğunluğunun yanı sıra sıcak gaz giriş sıcaklığını da içermektedir. Sistemde R22 soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Bobine ilk giriş oranı yüksekken kanatçıklar ve don arttığında bu oranın azaldığı ısı transferi artmaktadır. Bu çözme işlemi sürdükçe kanatçık ve donmuş yüzeylerdeki sıcaklık artmakta ve böylece akışkanın hızı artmaktadır. İlk çözdürme sonrası boşluğa geri konveksiyon 150 kg/m³ yoğunluk tespit edilirken 18 °C ve 689 kPa ölçülmüştür [11].

Çizelge 2.1. Buz çözme sonuçları.

Hot Gas Doygunluk Sıcaklığı	Buz Çözme Kütleli	Buz Çözme Süresi	Ortalama Akış	Sıcak Gaz Yüğü
36 °C	9,9	6 dk	0,163	11,944
43°C	6,2	5,9 dk	0,159	11,236
52 °C	10,5	7 dk	0,109	8,944

Çizelge 2.1'deki sonuçların çalışma sonucunda elde edildiği ifade edilmiştir. Buharlaştırıcıda kar yoğunluğunu, buharlaştırıcı yüzeylerinde bulunan toplam kar kütlelerinin, buharlaştırıcı borularının hacmine oranı olarak tanımlamışlar ve buharlaştırıcı boyunca kar yoğunluğu %10 iken kar çözdürme etkinliğini 0.3, kar yoğunluğu %20 iken kar çözdürme etkinliğini 0.38 olarak hesaplanmıştır. Bu artış, kar yoğunluğunun artmasıyla kar tabakasını eritmek için harcanan enerjinin de artmasından kaynaklanmaktadır. Kar tabakası belli bir seviyeye gelmeden kar çözdürme yapılıncaya etkinlik daha düşük olmaktadır. Ancak kar tabakası yoğunluğu

%30 olunca kar çözdürme etkinliği 0.32'ye düşmektedir. Bunda da karı ergitmek için harcanan sürenin artması etkili olmuştur.

Wang vd. (2018) tarafından yapılan çalışma sıvı soğutucu buz çözme sisteminde kontrol sürecinin araştırılması kapsamında yürütülmüştür. Sıvı soğutucu buz çözme sistemi (LRDS), soğutma işleminin sürekli olması, soğuk hava deposunun sıcaklık dalgalanmasının küçük olması ve donun soğutma enerjisinin etkili bir şekilde geri kazanılabilmesi avantajlarına sahiptir. Kanatçıkların yüzeyi 20 mm'ye ve nozul buharlaşma borusuna ölçüm basınç tüpü yüzgeci yerleştirilmiştir. Deney sırasındaki dış ortam sıcaklığı 30°C ve donmuş kütle miktarı 3 kg'dır. Buz çözme sonundaki gaz dönüş sıcaklığı sırasıyla 3.0°C, 4,0°C, 5,0°C, 6,4°C ve 7,4°C olduğunda soğuk hava deposu sıcaklığı sırasıyla 0°C, 5°C, 10°C, 15°C ve 20°C olmuştur. 140 saniye ile 180 saniye arasında kontrol gerçekleştirilmiş ve bu kontrol ile ıslak sıkışmanın önüne geçilmiştir. İki hava soğutucusu çalıştırılması arasındaki zaman farkı ilk buz çözme sırasında manuel olarak kontrol edilmiştir. Çalışma sonucunda hava basıncı 0,5mbar'dan yüksek olduğunda çözülmeye başlanmıştır [12].

Nawaz vd. (2017) tarafından ısı pompaları ve soğutma sistemleri için buz çözme teknolojileri üzerine eleştirel bir çalışma yürütülmüştür. Ters çevrimli buz çözme yöntemi incelenmiştir. Sistem ters çevrim modun da çalışırken dış ünite buharlaştırıcı olarak iç ünite ise yoğuşturucu olarak çalışmaktadır. Klimalarda olduğu gibi dört yollu vanaya ve gaz sıvı ayrıştırıcısına ihtiyaç duyulan bir sistemdir. Elde edilen sonuçlar ise ısı değiştirici yüzeyindeki don büyümesinin sistem performansını önemli ölçüde değiştirebileceğini göstermiştir. Isı pompası ve ticari soğutma sistemleri için çeşitli don azaltma stratejileri gözden geçirilerek karşılaştırılmıştır. Don azaltma ve buz çözme işlemlerinin yanı sıra, buz çözme kontrolü için bazı pratik prosedürler paylaşılmıştır. Çalışmada, buz çözme için verilen toplam ısının %71,8'i ve enerjinin %59,4'ü ısı kaynağı tarafından iç havada harcanmıştır [13].

Coley, (1983), deneysel çalışmalarında, sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemini dondurucu tipi soğutucular için uygulamıştır. En az %15 oranında kar miktarının süblimleşme ile kabin içindeki havaya nem olarak katıldığını belirlemiş ve bunun da

gelecek diğer kar çözdürme işlemleri için daha çok yüke sebep olacağını belirtmiştir [14].

İnan (2000), buharlaştırıcının karlanma altındaki performansı ve buzdolabında ısı kütle transfer mekanizmalarının modellenmesi konusunda çalışma yürütmüştür. Ev tipi buzdolaplarındaki kanatlı borulu tip buharlaştırıcının, karlı ve kuru şartlardaki ısı transfer ve basınç modellerini oluşturmuştur. Çalışmasında buzdolabı hava dağıtım sistemi modeli, açık kapı ısı kütle transfer modeli ve buharlaştırıcı modellerini ilişkilendirip üç farklı giriş bağıl nem şartlarında programı çalıştırmıştır. Geliştirdiği programın sonucunda, performans değişim verilerini elde etmeyi başarmıştır. Elde edilen bu veriler 12 saatlik sürenin sonunda elde edilen değerlerdir. Bu verilere göre, buharlaştırıcı ısı transfer katsayısında ilk önce yavaşça artış, maksimum bir seviyeye çıkmasının ardından hızlı düşüş gözlemlenmiştir. Bu şartlarda devamlı çalışan bir buharlaştırıcının tamamen karlanması için geçecek süre %80 ve %50 giriş bağıl nem koşullarında sırasıyla, 45 ve 110 saat olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak, karlama yoğunluğu artışını, analitik çözümler yerine yoğunlaşma oranı olarak tanımlayan sabit bir parametreyle tanımlamıştır. Yoğunlaşma oranının 0,2'den 0,5'e artırılması durumunda basınç düşümünün 3 kat, karlanma ağırlığının ise %4 ve toplam ısı transfer katsayısının %5 arttığı tespit edilmiştir [15].

Sanders tarafından (1974) yapılan çalışmada don oluşumu ve buz çözmenin hava soğutucularının performansı üzerindeki etkisi konusunda çalışma yürütülmüştür. Hava'nın hızı, hava sıcaklığı ve bağıl nemin kar gelişim oranına etkisi incelenmiştir. Deney için kabin içi sıcaklığı -10°C ile 0°C arasında, bağıl nem %85, buharlaşma sıcaklığı -26°C ile -11°C arasında ve hava hızı 3 m/s, 6 m/s, 8 m/s koşulları hazırlanmıştır. Çalışmadan karın ısı iletim katsayısı ile ilgili modeller geliştirilmiş ve $k_f = 1.202 \times 10^{-3} p_f^{0,963}$ denklemi elde edilmiştir. (k_f : Karın ısı iletim kat sayısı (W/mK), p_f : Karın yoğunluğu (kg/m^3)) [16].

Kim ve Lee (2005), tarafından yapılan çalışmada kanatçık ve boru ısı değiştiricilerinin buzlanma ve buz çözme performansını incelemiştir. Çalışmada ısı değiştirici boyunca akan havanın bağıl nemi ve akış hızının artması ile don birikmesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey sıcaklığı donma noktasının altında ne kadar düşük ise don

birikim miktarı da o kadar fazla olmuştur. Yüzey alanı ve yüzey pürüzlülüğünün artırılması ile toplam ısı transfer katsayısı, buzlanmanın başlamasıyla birlikte başlangıçta bir artış yakalamıştır. Bu artış, don tabakasının oluşturduğu termal direnç ile kısa sürede dengelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, donmanın ilk adımlarında kanatçık ve borulu ısı değiştiricinin performansına yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Don oluşumu ve yapışma için hidrofilik ve hidrofobik gibi yüzey işleminin etkisi üzerine çalışmak için daha fazla araştırma yapılması önerisinde de bulunmuşlardır [17].

Kim ve O'Neal tarafından (1994) spiral ve pistonlu kompresörlü hava kaynaklı ısı pompası için buz çözme çevirimi performansı incelenmiştir. Çalışmada, 21,1°C kuru ampul, 15°C ıslak ampul ve dış ortamda 1,7°C kuru termometre 0,5°C yaş termometre koşulları ile iki farklı türdeki kompresör test edilmiştir. Spiral kompresör 8,4 kW ısıtma kapasitesi ile pistonlu sistem ise 8,5 kW ile maksimum kapasiteyi yakalamıştır. Spiral kompresör 2,9 kW, pistonlu ise 3,1 kW sistemden güç çekmiştir. Spiralli sistemin buz çözme süresi 6,8 dk olurken, pistonlu sistemin 6,5 dk olmuştur. Buz çözme sırasında boşalma basıncı spiralli kompresör için 1315 kPa ve pistonlu sistem için 1351 kPa tepe değerlerine ulaşılmıştır. Pistonlu kompresör 47 °C ile deşarj aşırı kızdırma ve spiralli sistem ise 53 °C ile pik yaparak daha yüksek deşarj aşırı kızdırma seviyelerini görmüştür. Pistonlu sistem diğer sisteme göre %3 daha yüksek buz çözme soğutucu akışkan hızı üretmiştir. Spiralli ve pistonlu sistemlerde soğutucu akışkan hızları sırasıyla 3,7 kg/dk ve 4,0 kg/dk ile maksimum seviyeleri görülmüştür [18].

Al-Mutawa vd. tarafından (1998) bobin buz çözme yüklerinin belirlenmesi üzerine sıcak gaz ile buz çözme yönteminin kullanıldığı bir klima sistemi üzerinde modelleme ve deneysel çalışmalarda bulunulmuştur. Buz çözme sonucunda ortaya çıkacak ısı yüklerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Deneyler giren hava sıcaklığı 22°C ve 25°C seviyelerinde modellenmiştir. Buz çözdürme verimini ($\eta_{kç}$) bulmak için deneyler ile elde edilen veriler sonucunda önce verilen toplam ısı, daha sonra ergime için gereken ısı miktarı, daha sonra ise kar çözdürme verimi hesaplanmıştır [19].

Maiorino vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kompresörün çalışma şeklini belirlemek için buzdolabı raflarının altına ısı yalıtımsız borulu bir buharlaştırıcıya Faz Değiştiren Malzeme (FDM) ilave edilerek, ortam sıcaklığındaki değişimin ve ürün

kütlesinin sistem performansına olan etkisi araştırılmıştır. Soğutma çevriminde, FDM'nin etkisini ve kabin içindeki ürünün sıcaklığındaki değişimleri değerlendirmek için iki parametre tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda, FDM'nin kullanılmasının, sıcaklık değişiminde fark edilen bir azalmaya ve kompresörün kapalı konumundaki süreyi uzatarak enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür [20].

Jeong vd. (2021), ev tipi buzdolaplarında buz çözme işleminde kullanılan ısıtıcıların enerji tüketimini azaltmak amacıyla bir deney çalışması yapmışlardır. Çalışmada, buharlaştırıcı üzerinde biriken buzun yüzeye dağılımı belirlenerek, çözme işlemindeki harcanan enerji ölçülmüştür. Deney çalışmasının sonucunda buharlaştırıcı yüzeyine verilecek gerekli enerji ısıtıcılar üzerinden sağlatılarak boşa giden enerjinin önüne geçilmiştir. Bu sayede; buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının dağılımı dengeli hale gelmiştir. Güç dengesinin sağlanması ile buz çözme süresinin azaldığı ve verimliliğin %6,7 yükseldiği görülmüştür [21].

Wang vd. (2020), sıcak gaz ile buz çözme yöntemini, CO₂ akışkanlı transkritik bir ısı pompasında incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmada, 2°C ortam sıcaklığında, buz çözme işlemi esnasında basınç ve sıcaklığın değişimi incelenmiş ve ısı besleme hızında artış görülmüştür. Buz eritme sırasındaki enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %49'unu oluşturmuş ve bu değer 2659,5 kJ olarak ölçülmüştür. Buz çözme işlemi farklı sıcaklıklarla yapılarak, zaman farklılıklarının olduğu gözlemlenmiştir [22].

Wang vd. (2017) tarafından soğuk hava deposunda kullanılan soğutma sistemi iki buz çözme yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Kullanılan iki yöntemden biri elektrikli ısıtıcı ile ikincisi ise ters çevrimli buz çözme işlemidir. İki yöntem karşılaştırıldığında, buz çözme işlemi için elektrikli ısıtıcı kullanıldığında, enerji tüketiminde %20 tasarruf sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, buz çözme işlemi sırasında soğuk hava deposu içindeki sıcaklık farkının 7°C kadar olduğu gözlemlenmiştir. İkinci yöntem olan ters çevrim uygulaması ile daha fazla enerji tasarrufu (%27) yapıldığı ve aynı ölçüde buz çözme süresinin de kısaldığı sonucu ortaya çıkmıştır [23].

Li vd. (2010), ultrasonik titreşim ile buz çözme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 20 kHz ultrason değerinin, soğuk düz bir yüzeyde buzlanma oluşumundaki etkisi için deney yapmışlardır. Deney çalışmasında, ultrason etkinin uygulandığı yüzeyde, donmuş su damlacıklarının olduğu gözlemlenmiştir. Ultrason etkisinin olmadığı durumda donmuş su damlacıklarının %65'ten fazla iken, ultrason uygulanması ile bu damlacıklar %52'den daha az yer kaplamaktadır. Bunun sonucunda; ultrason etkisinin, don kalınlığını %75 oranında azalttığı görülmüştür [24].

Wang vd (2012), ele aldıkları çalışmada, donma salınımının etkisini incelemek için kanatlı buharlaştırıcılar üzerinde ultrasonik titreşimler kullanılmıştır. Deney çalışmasında, ultrasonik titreşimlerin buz tabakasını ortadan kaldıramayacağı, ancak don kristallerini ortadan kaldırabileceğinden, don tabakasının kalınlaşmasını önleyebileceği sonucuna varılmıştır [25].

Yoon yaptığı çalışmada (2018), üç farklı buz çözme metodu kullanarak bir ev tipi buzdolabının buz çözme verimliliğini artırmayı denemiştir. Çalışmaların ilkinde, aynı anda iki ısıtıcıyı kontrol ederek; ikinci metot olarak, her bir ısıtıcıyı ayrı ayrı kontrol ederek, son olarak ise yavaş yavaş çalışan bir radyasyonlu ısıtıcı kullanılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde; tüm metotların etkili olduğu görülmüştür. En etkili sonucun ikinci metot da olduğu ortaya çıkmıştır [26].

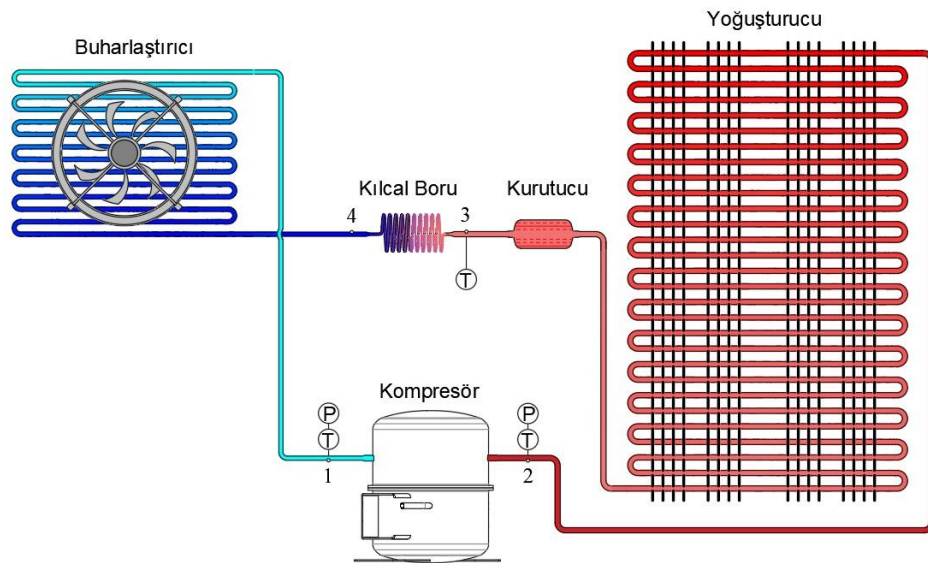
Yin vd. tarafından (2012), yeni bir buz çözme yöntemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan bu yöntem sayesinde havanın buz çözme hızını artırdığı görülmüştür. Bu yeni yöntemin buz çözme süresi, buz çözme enerji tüketimi ve depolama sıcaklığındaki dalgalanma %60 ile %70 oranında azaltılmıştır. Sonuç olarak bu yeni yöntemin, geleneksel yöntemle göre 2,93 kat daha verimli olduğu görülmüştür [27].

BÖLÜM 3

GENEL BİLGİLER

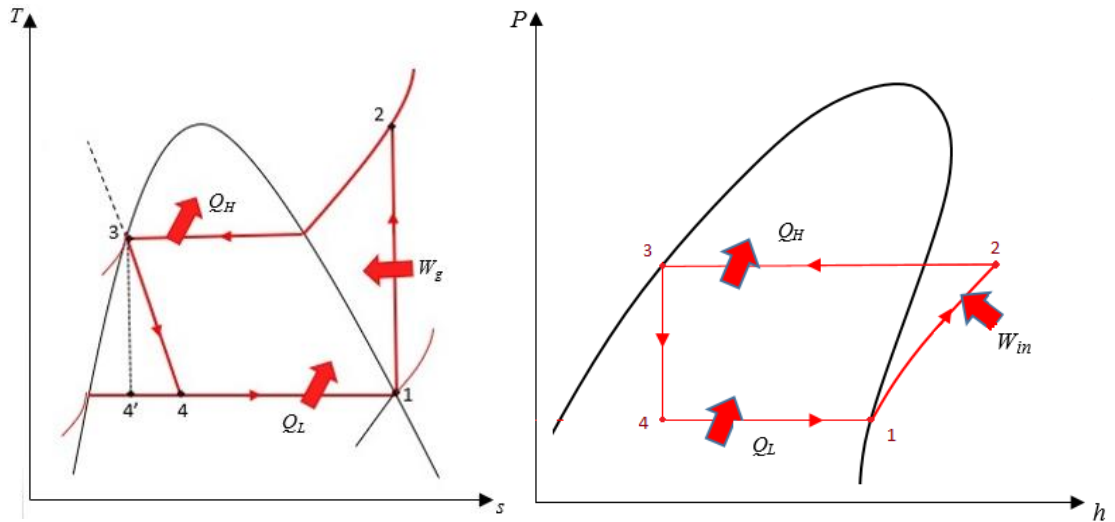
3.1. BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ

Soğutma bir nesnenin veya bir ortamın mevcut sıcaklığını bulunduğu çevre sıcaklığının altına düşürmek ve o sıcaklıkta korumak maksadıyla ısısının alınması şeklinde tanımlanabilir. Soğutma, hayatımızın tüm alanlarında ve endüstride oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Özellikle gıdaların korunması ve ısıl konfor uygulamalarında çeşitli soğutma teknikleri kullanılarak soğutma yapılabilmektedir. Soğutma işleminde fiziksel, kimyasal, elektriksel yöntemlerle birlikte farklı yöntemler de kullanılabilir. Şekil 3.1’de şematik görüntüsü yer alan buhar sıkıştırma soğutma çevrimi, günümüzde en yaygın kullanılan soğutma sistemi olan buhar sıkıştırma soğutma çevrimidir. Buhar sıkıştırma soğutma çevrimi sayesinde, buzdolabı, endüstriyel soğutma, klima, ve soğuk hava depoları gibi birçok sistemin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Günümüzde bu çevrim kullanılarak birçok çalışma yapılmaktadır.



Şekil 3.1. Buhar sıkıştırma soğutma çevriminin şematik görüntüsü.

İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde soğutucu akışkan kompresöre doymuş buhar olarak girer (1). Kompresörde tersinir ve adyabatik (izentropik) olarak yoğunlaştırıcı basıncına kadar sıkıştırılması ile soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre sıcaklığının üzerine kadar çıkar. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki soğutucu akışkan, kızgın buhar olarak yoğunlaştırıcıya girer (2). Kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan sabit basınç ve sıcaklık altında ortama ısı vererek doymuş sıvı halini alır ve yoğunlaştırıcıdan çıkar (3). Doymuş sıvı halindeki soğutucu akışkanın basıncı, kurutucu ve kılcal borudan geçilerek buharlaşma basıncına kadar düşürülür (3-4). Bu işlem sabit entalpide (adyabatik) gerçekleşir. Böylelikle soğutucu akışkanın sıcaklığı soğutulmak istenen çevre sıcaklığının altına düşer. Buharlaştırıcıya sıvı ve buhar karışımı olarak giren soğutucu akışkan, soğutulmak istenen çevreden sabit basınç ve sıcaklıkta gizli ısı çekmek suretiyle buharlaşarak, doymuş buhar olarak buharlaştırıcıdan çıkar ve tekrar kompresöre girerek çevrim tamamlanır (4-1). İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminin T-s ve P-h diyagramı Şekil 3.2’de görülmektedir.



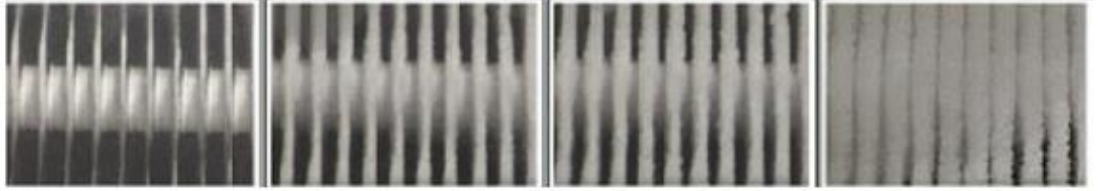
Şekil 3.2. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramları.

Soğutucu akışkan kompresörde 1 noktasından 2 noktasına kadar sabit bir entropide (izantropik) sıkıştırılmaktadır. Bu esnada, sıcaklığı artan akışkanın, 2 noktasından 3 noktasına kadar sabit basınç altında ortama ısı vermesinden dolayı yoğunlaştırıcıdan çıkarken sıcaklığı düşer. 3-4 noktaları arasında kılcal borudan geçerken entalpi değeri sabit kalır. Soğuyan akışkanın sıcaklığı, basıncı ve entropisi düşer. Soğutucu akışkan 4 noktasından 1 noktasına kadar sabit basınç ve sıcaklıkta buharlaştırıcıdan geçerken

ortamdan ısı alır, entropisi ve entalpi değerleri artan soğutucu akışkan böylece çevrim tamamlanmış olur [28].

3.2. SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE BUZ OLUŞUMU

Soğutma sistemlerindeki buharlaştırıcıların düşük sıcaklığı (yaklaşık -20°C) zamanla, buharlaştırıcı borularının yüzeylerinde bulunan havadaki suyun donmasına ve bu yolla da karlanmaya sebep olur. Şekil 3.3'te buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan karlanmanın aşama aşama gelişimi gösterilmiştir. Zamanla biriken bu buz ısı transferi üzerinde de olumsuz bir etki yaparak sistemdeki hava akışını engelleyebilir ve sistemin görevini yeterince yerine getirememesine ve hatta arızalanmasına neden olabilir. Bu nedenle, sistemin kesintisiz ve verimli bir şekilde çalışması, belirli aralıklarla bu buz kütesinin ortadan kaldırılmasına bağlıdır. Buz çözdürme işleminin sistematik olarak yapılması önemlidir.



Şekil 3.3. Buharlaştırıcı üzerindeki buz birikimi [29].

Şekil 3.3'te buharlaştırıcı üzerindeki buz birikiminin zamanla oluşturduğu farklılık görülmekle birlikte bu buzun çözülme işlemi de buzun kalınlığına, yüzey sıcaklığına göre, belirli zaman dilimlerinde otomatik olarak ya da manuel olarak yapılabilir.

3.3. BUZ ÇÖZME (DEFROST) SİSTEMLERİ

Buharlaştırıcı veya dondurucudaki buzun veya donun uzaklaştırılması işlemine buz çözme (defrost) denir. Günümüzde buzdolaplarında buharlaştırıcılarda don oluşumunu önlemek için kullanılan otomatik veya manuel kontrol sistemlerine buz çözme sistemleri denir.

Buz çözme sistemi, tüm soğutma sistemlerinde, evlerde ve endüstriyel sistemlerde bulunur. Soğutma sistemleri, genellikle suyun donma noktası sıcaklığının altında sıcaklık geliştirmek için kullanılır. Soğutma sistemleri uzun süreler boyunca sürekli olarak çalıştığında, buharlaştırıcı serpantininin veya dondurucunun etrafında, buharlaştırıcıdan gelen soğutma etkisinin dondurucuya geçmesine izin vermeyen ve böylece yalıtkan görevi gören bir buz veya don tabakası oluşur. Bu, değerli soğutma etkisinin kaybolmasına ve buzdolabının performans katsayısının düşmesine ve nihayetinde elektrik tüketiminde aşırı artışa yol açar [30].

3.3.1. Pasif Buz Çözme

Pasif buz çözme yöntemi, buz çözme işlemi sırasında doğrudan enerji tüketimini içermeyen bir yöntemdir. En yaygın olarak kullanılan pasif buz çözme yöntemleri, yüzey kaplama ve kapalı çevrim buz çözme yöntemleridir [8].

3.3.1.1. Yüzey Kaplama

Son yıllarda malzeme teknolojisinin ilerlemesi ile buharlaştırıcı yüzey kaplaması daha basit ve daha etkili bir buz çözme teknolojisi haline gelmiştir. Yüzey kaplama ile buz çözme işlemi, mikro oluklu buharlaştırıcı yüzeyi, buzlanma önleyici hidrofobik veya süperhidrofobik kaplama gibi yüzey morfolojisini kullanan yöntemdir.

3.3.1.2. Kapalı Çevrim (Off-Cycle)

Kapalı çevrim buz çözme yönteminde, buharlaştırıcıyı çevreleyen hava bir ısı kaynağı olarak kullanılır. Bu nedenle, sıcaklığın 1°C'den yüksek olduğu ortamlarda buz çözme için bu yöntem uygulanabilir. Soğutma sisteminin buzunun çözülmesi gerektiğinde kompresör durur ve bununla birlikte soğutma işlemi de durur. Buharlaştırıcıda oluşan don zamanla erimeye başlar. Eritme işlemi bittikten sonra soğutma sisteminin çalışmasına devam edilir. Kapalı çevrim buz çözme yönteminin avantajları basitliği ve düşük maliyeti içerir. Kapalı çevrim buz çözme yönteminin ana dezavantajı ise, gerekli ısının çevredeki havadan alınması nedeniyle çok zaman almasıdır [30].

3.3.2. Aktif Buz Çözme

Aktif buz çözme yöntemleri, buz çözme işlemi sırasında doğrudan enerji tüketimini içeren yöntemlerdir. En yaygın olarak kullanılan aktif buz çözme yöntemleri şunlardır: ters çevrim, ultrasonik titreşim, sıcak gaz, elektrikli ısıtma ve sıcak akışkan [8].

3.3.2.1. Ters Çevrimli

Ters çevrimli buz çözme, soğutucu akış yolunun değiştirilmesine izin veren dört yollu bir valf içerir. Buz çözme işlemi etkinleştirildiği anda, kompresörlerden gelen sıcak soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan akar (bu artık bir yoğuşturucu görevi görür). Buharlaştırıcıda soğutucu akışkan yoğuşur ve açığa çıkan ısı buz çözme işleminde kullanılır. Buharlaştırıcıdan sonra, soğutucu akışkan bir sıvı alıcısı içinden akar ve yoğuşturucuya (şimdi bir buharlaştırıcı görevi gören) girmeden önce bir genişleme valfinden bir genişleme sürecinden geçer. Son olarak soğutucu akışkan kompresöre girer ve buharlaştırıcı üzerinde oluşan buz giderilene kadar buz çözme işlemi devam edebilir. Ters çevrimli buz çözme yöntemi çok etkilidir ve kısa bir buz çözme süresi sağlar [31].

3.3.2.2. Ultrasonik Titreşim

Ultrasonik titreşim yönteminde, don tabakasının büyümesini önlemek için uygulanan yöntemlerden biridir. Yüksek frekanslı ultrasonik titreşimlerin buharlaştırıcı yüzeyindeki buz oluşumunu önemli ölçüde geciktirdiği temeli üzerine kurulu bir yöntemdir. Son yıllarda ultrasonik titreşimlerin buz çözdürme işleminde kullanılması dikkat çekmiş olmasına rağmen yapılan araştırmalar sınırlıdır [30].

3.3.2.3. Sıcak Gaz

Sıcak gaz buz çözme yöntemi, kompresör ve buharlaştırıcıyı birbirine bağlayan bir boru hattı içerir. Sıkıştırılmış soğutucu akışkan buharı önce buharlaştırıcıya ulaşır, ardından kompresöre girmeden önce sıvı-gaz separatörüne akar. Sıcak gaz buz çözme işlemi sırasında yüksek basınçlı soğutucu akışkan buharlaştırıcıya girerek boruyu ısıtır ve böylece buz erir [11]. Sıcak gaz buz çözme yönteminin avantajı, verimliliğidir,

çünkü buz çözme işlemi sırasında ısı buharlaştırıcının içinden gelir. Sıcak gaz buz çözme yönteminin enerji tüketimi, ters çevrim yöntemine kıyasla daha küçüktür. Bu işlemin dezavantajı, buz çözme işlemi sırasında soğutucu akışkanın buharlaştırıcı içinde yoğunlaşması ve kompresöre sıvı girme riski olmasıdır [30].

3.3.2.4. Elektrikli Isıtıcı

Elektrikli buz çözme yöntemleri, buharlaştırıcıya monte edilmiş elektrikli ısıtma elemanlarını kullanır. Isıtma elemanları, buz çözme döngüsü sırasında etkinleştirilir. Isı dışarıdan uygulandığı için, yayılan ısının sadece bir kısmı donu gidermek için kullanılır. Geri kalan ısı, soğutulan alanın içindeki havaya aktarılır. Bir buz çözme periyodundan sonra soğutma sistemi yeniden çalışmaya başladığında, bu ilave ısının uzaklaştırılması gerekir. Bu yöntemin avantajı, kurulumu ve kontrolü kolay olmasıdır. Bu yöntemin dezavantajları ise, pahalı ve çok fazla enerji tüketmesidir [8,13,30,32].

3.3.2.5. Sıcak Sıvı

Sıcak sıvı buz çözme yöntemi, buharlaştırıcıya püskürtülen, genellikle su veya tuzlu su olmak üzere bir sıvının kullanılmasını içerir. Elde edilen su ve don karışımı boşaltılır. Buz çözme döngüsü sırasında soğutma sisteminin kompresörü çalışmaz ve bu buz çözme yöntemi ancak sıcak bir sıvı kaynağı mevcutsa uygulanabilir [13,32].

Çizelge 3.1'de en yaygın olarak kullanılan buz çözme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

3.3.3. Faz Değiştiren Malzemeleri Kullanan Buz Çözme Yöntemleri

Faz değiştiren malzemeler (FDM'ler) kullanılan başka buz çözme yöntemleri de vardır. FDM'leri kullanan buz çözme yöntemleri nispeten yenidir ve yavaş yavaş araştırmacıların daha fazla ilgisini çekmektedir.

Son yıllarda, FDM'ler aşağıdaki nedenlerle araştırmacıların daha fazla ilgisini çekmiştir:

- Yüksek depolama enerji kapasitesi;
- Düşük depolama hacmi;
- Şarj ve deşarj aşamalarında izotermal davranış;

Çizelge 3.1. Buz çözme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [11,24].

Buz Çözme Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Çevrim dışı buz çözme	Basit ve ekonomik, düşük maliyetli, yeniden yapılanma gerektirmeyen, düşük bakım maliyetleri, güvenli bir yöntemdir, kontrolü kolay	Sıcaklıkların donma noktasının altında olduğu uygulamalarla ilgili değildir. Donları eritmek uzun zaman alır
Sıcak sıvı buz çözme	Sıcak sıvıyı doğrudan birikmiş dona uygular, hızlı buz çözme elde edebilir.	Uygulama için sınırlıdır, yüzeyde bir miktar sıvı kalır, geniş çapta araştırılmamış veya uygulanmamıştır, düşük sıcaklıklı uygulamalar için önerilmez
Sıcak gaz	Buz çözme süresi açısından verimli, daha çok endüstride kullanılan, yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.	Son derece yüksek çalışma basınçları
Elektrik	Kolay kurulum	Yüksek enerji tüketimi
Ters çevrim	Sıcak gaz yönteminden daha kısa buz çözme süresi	Daha fazla enerji tüketir ve soğutucu sızıntısına neden olabilecek dört yollu vananın tekrar tekrar ters çevrilmesi nedeniyle buzdolaplarında kullanım için tehlikelidir

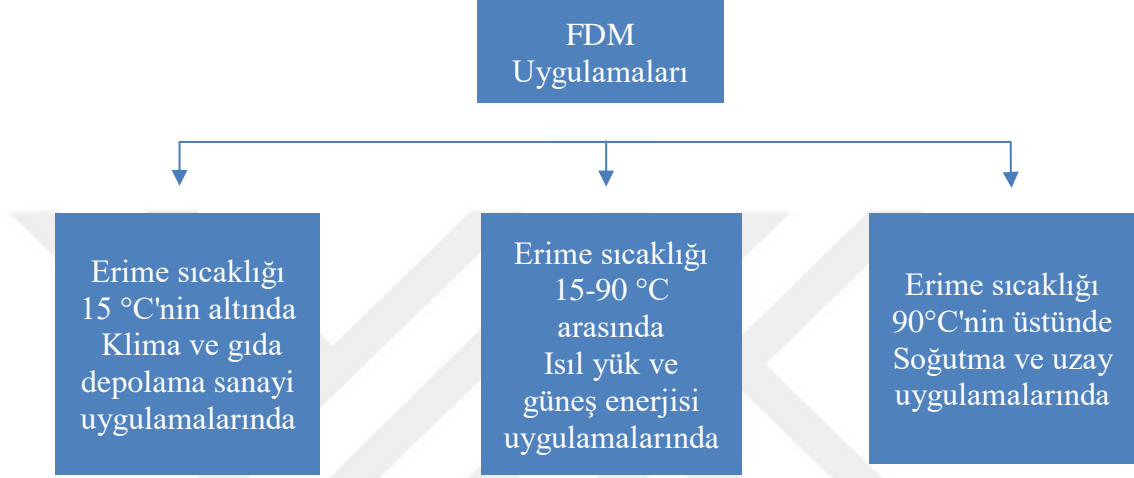
FDM'ler yüksek ısı enerjisi depolama kapasitesine sahiptir ve sabit bir sıcaklıkta büyük miktarda enerjiyi serbest bırakma ve emme yeteneğine sahiptir [33].

Genel olarak, ev tipi buzdolapları söz konusu olduğunda, performanslarını iyileştirmek için FDM'ler kullanılır. Yoğuşturucu, buharlaştırıcı bölgelerinde ve soğuk hava deposu içinde FDM'ler kullanılması sistemin performans katsayısının (COP) iyileştirilmesine yönelik katkı sağlayabilir.

FDM'ler erime sıcaklığına göre üç gruba ayrılabilir:

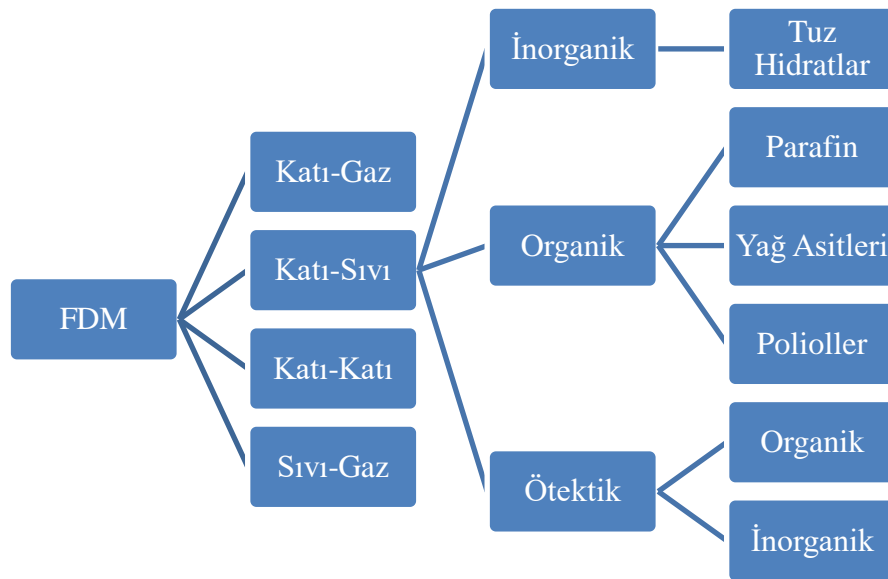
- Erime sıcaklığı 15°C'nin altında olan düşük sıcaklıklı FDM'ler.
- 15°C ile 90°C arasında bir erime sıcaklığına sahip orta sıcaklık FDM'leri.
- 90°C'nin üzerinde bir erime noktasına sahip yüksek sıcaklıklı FDM'ler.

Şekil 3.4'te erime noktasına bağlı olarak FDM'lerin en önemli uygulamalarını göstermektedir [30].



Şekil 3.4. Erime sıcaklığına göre FDM'lerin sınıflandırılması

FDM'ler ayrıca Şekil 3.5'te gösterildiği gibi sıvı-gaz, katı-sıvı, katı-gaz ve katı-katı şeklinde faz geçiş moduna göre de sınıflandırılabilir.



Şekil 3.5. Faz geçiş moduna göre FDM'lerin sınıflandırılması [34,35]

İnorganik FDM'ler, 10°C ila 900°C arasında değişen bir erime sıcaklığına sahiptir. Bu tip FDM'ler, gerekli erime sıcaklığının yüksek olduğu güneş enerjisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İnorganik FDM'lerin ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları organik FDM'lerden daha yüksektir. İnorganik FDM'lerin, yani tuz hidratların ana dezavantajı, ısıtma işlemi sırasında suyun ayrılmasına yol açtıklarından büyük kararsızlık sergilemeleridir. Çoğu inorganik tuzlar yüksek derecede yanıcı değildir.

Tuz hidratlar, su ve tuzdan oluşan en çok çalışılan FDM türüdür. AB_nH_2O genel formülüne ve 15 °C ila 117 °C arasında değişen erime sıcaklıklarına sahiptirler. Tuz hidratlarının başlıca avantajları şunlardır:

- Düşük maliyet,
- Kullanılabilirlik,
- Yüksek erime sıcaklığı,
- Yüksek ısı iletim katsayıları,
- Birim hacim başına yüksek füzyon ısısı,
- Düşük hacim değişiklikleri,
- Plastik ile uyumlu.

Tuz hidratların ana dezavantajları ise şunlardır:

- Ayırma, ısı depolaması için mevcut aktif hacmi azaltma eğiliminde olan ilave hidratların veya suyu alınmış tuzların üretimi anlamına gelir.
- 1000 erime/donma döngüsünden sonra $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ için füzyon ısısında %73'ten fazla azalma.
- Diğer FDM'lerin donma noktası kristalleşmeye başlamadığından, tuz hidratları aşırı soğuma gösterir.
- Metal kaplarda korozyon görülür [34,35].

Organik FDM'ler en yaygın kullanılan tiptir. Bu FDM grubu parafin ailesini, yağ asitleri ailesini ve poliollerini içerir. Bu organik FDM'ler arasında, erime sıcaklığı 35 °C –70°C arasında değişen parafin en yaygın olanıdır. Organik FDM'ler küçük bir kütlede büyük miktarda enerji depolayabilir, kimyasal ve fiziksel olarak kararlıdır ve çok çeşitli malzemelerle uyumludur. Aynı zamanda, organik FDM'ler, uygulama aralıklarının

dışında bir değer olan 200°C'ye yakın parlama noktalarına sahip yanıcıdır. Organik FDM'ler düşük ısı iletim katsayısına sahiptirler [33,34]. Parafin, $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)-\text{CH}_3$ kimyasal formülüne sahiptir. Başlıca avantajları şunlardır:

- Faz değişimi sırasında büyük gizli ısı
- Ayrılma eğilimi yoktur;
- Kimyasal olarak kararlıdır;
- Oksijene maruz kaldığında yavaş oksitlenir;
- Sık eritme/katılaştırma işlemlerinden sonra ısıl özelliklerde herhangi bir değişiklik olmaz;
- Yüksek erime sıcaklıkları;
- Reaktif olmayan ve güvenli;
- Tamamen metal kaplarla uyumludur ve ısı depolama sistemlerine entegre edilmesi kolaydır.

Parafinin dezavantajları şunları içerir:

- Düşük ısı iletim katsayısı;
- Katıdan sıvıya geçerken büyük bir hacim alır;
- Yanıcılık [35].

Yağ asitleri $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ kimyasal formülüne sahiptir ve parafin ile benzer özelliklere sahiptir. Yağ asitlerinin ana avantajı, daha keskin faz dönüşümleridir. Parafine göre daha pahalıdır ve hafif aşındırıcıdır. Ancak, 1500 erime/katılma döngüsünden sonra yağ asitleri ısıl stabilite gösterir [34,35].

BÖLÜM 4

DENEY SİSTEMİ TASARIMI VE ANALİZLERİ

4.1. DENEY SİSTEMİ TASARIMI

Yapılan çalışmada, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi esasına göre ve R600a soğutucu akışkan ile çalışmakta olan ev tipi soğutma cihazlarında enerji kullanımının önemli bir bölümünü oluşturan buz çözme (defrost) işleminin, yine soğutma sisteminin atık enerjisi kullanılarak yapılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, bir ev tipi soğutma cihazı üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak ve tespit edilmesi planlanan özelliklerin hedefler doğrultusunda belirlenebilmesi amacıyla soğutma sisteminin uygun yerlerine sensör ve cihazlar yerleştirilmiştir. Çizelge 4.1’de çalışmada kullanılan soğutma cihazına ait özellikler yer almaktadır.

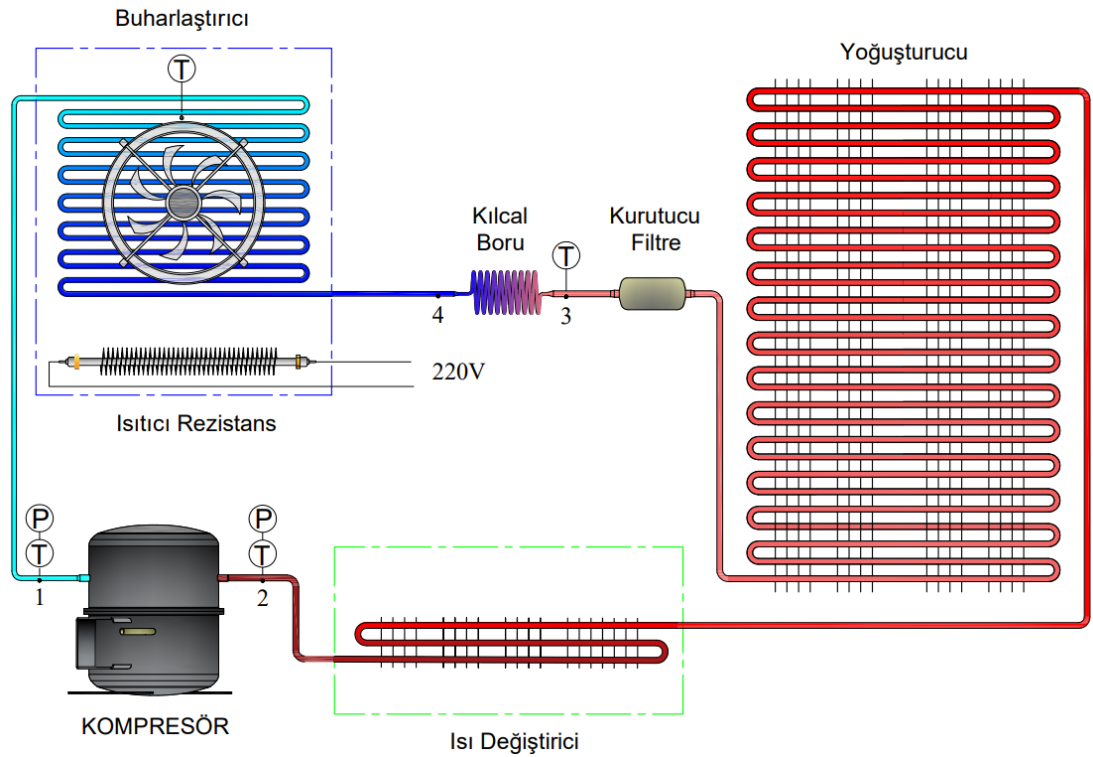
Çizelge 4.1. Çalışmalarda kullanılan ev tipi soğutma cihazına ait teknik özellikler.

Soğutma Cihazı Parametreleri	Değerler
Enerji Tüketimi (kWh/24h)	0,968
Toplam Brüt Hacim (L)	509
Voltaj (V-AC)	220-240
Frekans (Hz)	50
Güç (W)	172
Akım (A)	0,77
Elektrikli Buz Çözme Isıtıcısı Gücü (W)	271
Soğutucu Akışkan	R-600a
Soğutucu Akışkan Miktarı (gr)	85

Günümüzde ev tipi soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan R-600a ($\text{CH}(\text{CH}_3)_3$) soğutucu akışkanı başta ODP değerinin 0, GWP değerinin ise 4 olması

sebepleriyle tercih edilmektedir. R-600a'nın tercih ediliyor olmasının diğer sebepleri ise, kritik sıcaklığının 135°C, molekül ağırlığının 58.1 kg/kmol ve yoğunluk değerlerinin 0.6kg/L (sıvı) ve 1.3 kg/m³ (buhar) olması sıralanabilir.

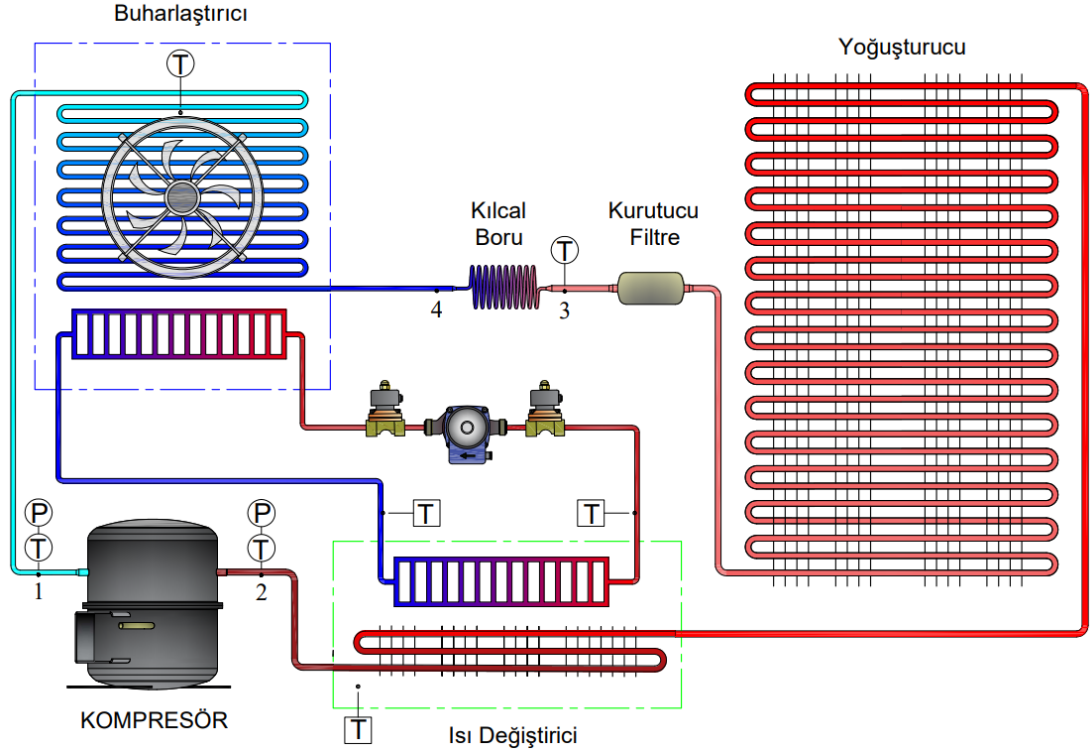
Buz çözme işleminde en çok kullanılan ve pratik olan yöntem elektrikli ısıtıcı yöntemidir, fakat bu yöntem çok fazla elektrik enerjisi kullanımına ve soğutma cihazı içerisine bu enerjinin ısı olarak kazandırılmasına sebep olmaktadır. Bu konularda sürdürülen bilimsel çalışmalara katkı sağlanabilmesi amacıyla yapılan çalışma, iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, deney sistemi üzerinde amaca dönük düzenlemeler yapılarak ölçüm sensörleri yerleştirilmiş ve sistemin normal çalışma koşulları altında ve 0, 25, 50 ve 75 W soğutma yükleri altındaki çalışma özellikleri ve sistem elemanlarındaki kapasite değişimleri tespit edilmiştir. Şekil 4.1'de elektrikli ısıtıcı ile buz çözdürme işlemi yapılan ev tipi soğutma sistemine ait şematik görüntü yer almaktadır.



Şekil 4.1. Elektrikli ısıtıcı ile buzdan ayrıştırma işlemi deney şeması.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise, elektrikli ısıtıcı yerine, yoğuşturucudan dış ortama atılan ısının bir miktarının değerlendirilerek buzdan ayrıştırma işleminde

kullanılmasına yönelik kompresör çıkışına içerisinde parafin türü faz değiştiren malzeme bulunan bir ısı değiştirici yerleştirilerek sistem üzerinde düzenlemeler yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında da yine birinci aşamada olduğu gibi deneyler 0, 25, 50 ve 75 W soğutma yükleri altındaki sistemin çalışma özellikleri ve sistem elemanlarındaki kapasite değişimleri tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Şekil 4.2’de yoğuşturucu atık ısısı kullanılarak buz çözme işlemi yapılan ev tipi soğutma sistemine ait şematik görüntü yer almaktadır.



Şekil 4.2. Sistem atık ısısının buz çözme işlemi amacıyla kullanıldığı soğutma sisteminin şematik görüntüsü.

Şekil 4.2’de verilen sistemin çalışma prensibi, Şekil 4.1’de verilen elektrikli ısıtıcı ile buzdan ayırıştırma işlemi yapılan deney sistemi ile tamamen aynı çalışma özelliklerine sahiptir. İki sistemi birbirinden ayıran en önemli özellik buzdan ayırıştırma sisteminin yapısı ve çalışma prensibidir. Şekil 4.2’de verilen sistemi diğer sistemden ayıran bir diğer özellik ise kompresör çıkışında yer alan ısı değiştiricisi içerisinde sistemin atık ısısının depolanacağı faz değiştiren malzemenin kullanılıyor olmasıdır.

Yapılan çalışmanın her iki aşamasında buzdan ayırıştırma işlemleri her 8 saatte bir defa, buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı 8°C oluncaya kadar devam ettirilmiş ve sonrasında sistem

2 dakika kapalı tutulmuştur. Deneysel çalışmaların tüm aşamaları boyunca ölçümlere devam edilmiştir.

Tasarlanan iki sistemin performans ve çalışma özelliklerini karşılaştırmak üzere sensör ve cihazlar yardımıyla, kompresörün giriş-çıkış sıcaklık, basınç ve enerji tüketim miktarları, yoğuşurucu giriş-çıkış sıcaklık ve basınç değerleri, genleşme valfi girişindeki sıcaklık, buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı, sistemin enerji tüketimi değerleri tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, birinci aşamadan farklı olarak, faz değiştiren malzeme sıcaklığı ile ısı değiştiriciye giren ve çıkan ısı taşıyıcı akışkanın sıcaklıklarının ölçülmesi ile ısı taşıyıcı akışkanın devir daim etmesi amacıyla kullanılan pompanın (Ek E.1) enerji tüketimini tespit etmek ve ayarlamak amacıyla kullanılan güç kaynağından (Ek D.1) veriler alınmıştır. Tespit edilen veriler, başta sistemin soğutma performans katsayısı (COP) olmak üzere, kompresör izantropik (η_{iz}) verimi, ekserji verimi (η_{Ex}) ile kompresör (\dot{W}_C) yoğuşurucu (\dot{Q}_C), ve buharlaştırıcı (\dot{Q}_E), kapasitelerindeki değişimlerin analiz edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçüm sensörleri ve cihazlarına ait özellikler Çizelge 4.2’de, kullanılan faz değiştiren malzemenin özellikleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. 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 Terazî	RES-100	0...100 kg	%±0.5

Çizelge 4.3. Çalışmalarda kullanılan faz değiştiren malzemenin teknik özellikleri.

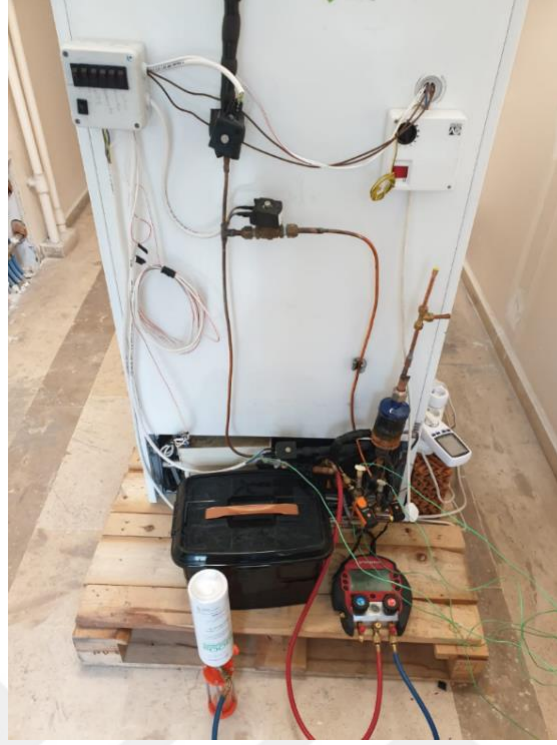
Özellik	Değer
Kimyasal Formülü	C_nH_{2n+2}
Donma Noktası Sıcaklığı (°C)	49-52 °C
Sıvılaşma Sıcaklığı (°C)	51-54 °C
Gizli Isı Değeri	128,456 J/kg

Şekil 4.3 ve 4.4'te deneysel çalışmalarda kullanılan soğutma sistemine ait görüntüler yer almaktadır. Şekil 4.3'te sistemin çeşitli soğutma yüklerinde çalışma özellikleri ve sistem elemanlarının kapasitelerinde meydana gelen değişimin tespit edilmesi amacıyla hizmet etmesi amacıyla kullanılan seramik ısıtıcılar ve buzdolabı içerisindeki gıdalar vb. unsurlar tarafından ortama yayılan su buharını simüle edebilmek amacıyla kullanılan selülozik petekler görülmektedir. Şekil 4.4'te ise, soğutma sistemi üzerinde yapılan düzenlemeler ve yerleşimleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Soğutma sisteminde kullanılan ısıtma ve nemlendirme malzemelerinin yerleşimi.

Çalışmanın birinci aşamasında buharlaştırıcı yüzeyini buz çözme amacıyla kullanılan elektrikli ısıtıcının gücü 271 W değerine sahiptir. İkinci aşamada, buz çözme amacıyla kullanılan ısı değiştirici ise elektrikli ısıtıcı ile aynı özelliklere sahip olacak şekilde 8mm çapında bakır boru kullanılarak imal edilmiş ve elektrikli ısıtıcı çıkartılarak elektrikli ısıtıcının yerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Soğutma sistemi üzerinde yapılan düzenlemeler ve yerleşimleri.

Deneyle esnasında kompresör çıkışındaki ısı değıştirci içerisinde yer alan faz değıştiren malzemede depo edilmiş ısı bir ısı taşıyıcı akışkan tarafından buharlaştırıcı bölgesine doğru akım pompası yardımıyla taşınmıştır. Çalışmada kullanılan ısı değıştircinin yerleşimi Şekil 4.5'te, pompaya ait özellikler ise Ek E.1'de verilmiştir. Buzdan ayrıştırma işlemi esnasında pompa tarafından 11.34V gerilim ve 0.588A akım tüketimi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5. Buz çözme amacıyla kullanılan ısı değıştircinin yerleşimi.

4.2. TEORİK YAKLAŞIMLAR

4.2.1. Enerji Analizi

Termodinamiğin birinci yasasının temel amacı, aşırı ısınma sıcaklığı, yoğuşturucu sıcaklığı, kompresör izentropik etkinliği ve buharlaştırıcı sıcaklığı ile performans katsayısının (COP) değişimini belirlemektir. Bu nedenle termodinamik analizin birinci yasası her sistem elemanına uygulanmıştır. Soğutucu akışkan kütle akış oranı (\dot{m}_r), h_1 , h_2 noktalarındaki entalpiden ve kompresörün gücünden (\dot{P}_{komp}) aşağıdaki iki denklem kullanılarak hesaplanmış, Eşitlik 4.1 ve 4.2’de denklemler verilmiştir [36].

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{W}_{komp}}{h_2 - h_1} \quad (4.1)$$

$$\dot{W}_{komp} = \dot{P}_{komp} \eta_{mek} \eta_{el} \quad (4.2)$$

Her birim zaman için depodan buharlaştırıcıya aktarılan ısı miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_r (h_7 - h_6) \quad (4.3)$$

Her birim zaman için yoğuşturucudan buharlaştırıcıya aktarılan ısı miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (4.4)$$

Soğutma sisteminin COP değeri, her birim zaman için buharlaştırıcıdan aktarılan ısıya karşılık gelen kompresör tarafından tüketilen elektrik gücünü ifade eder. COP aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{buh}}{\dot{P}_{komp}} \quad (4.5)$$

Kompresör izentropik verimini tespit etmek amacıyla Eşitlik 4.6 kullanılmıştır.

$$\eta_s = \frac{\dot{m}(h_{2,s} - h_1)}{\dot{P}_{\text{komp}}} \quad (4.6)$$

4.2.2. Ekserji Analizi

Termodinamik analizin ikinci yasası ekserji kavramına bağlıdır. Ekserji, çevresel koşullarla ilişkili farklı enerji prosedürleri için kalitenin veya çalışma olasılığının bir ölçüsü olarak düşünülür. Sisteme uygulanan analizi, sistem elemanlarındaki tüm kayıpları tanımlar. Bu geliştirme, bu kayıpların potansiyelini veya tersinmezliğini ve önem sırasını anlamaya yardımcı olabilir. Tersinmezlik, süreç eksikliğini bir ölçüsüdür ve optimal çalışma koşullarının belirlenmesine yardımcı olur. Ekserji analizinin, incelenen prosesin termodinamik gelişimini artırma olasılığına atıfta bulunabileceği söylenebilir. Ekserji analizinin, enerji kayıplarının değerlendirilmesinin termodinamiğin birinci kanunu yerine ikinci kanunu takip ettiği nispeten yeni bir yöntem olarak kabul edildiğini söylemek mümkündür. Bu nedenle, bu analiz termodinamiğin ikinci yasası ile ilgilidir.

Sürekli akış kontrol hacminin ekserji yıkımı Eşitlik 4.7’de gösterilmektedir.

$$\dot{E}_{x,yık} = \sum \dot{E}_{x,in} - \sum \dot{E}_{x,out} + \sum \left[\dot{Q} \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \right]_{in} - \sum \left[\dot{Q} \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \right]_{out} + \sum \dot{W}_{in} - \sum \dot{W}_{out} \quad (4.7)$$

Sistemin ekserji yıkımı Eşitlik 4.7’de gösterilmiştir. Eşitlik 4.7’nin 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 4.8’de verildiği gibi hesaplanır:

$$\dot{E}_x = \dot{m}_r [h - h_o - T_o(S - S_o)] \quad (4.8)$$

Analiz edilen sistem, yoğusturucu, kompresör, kılcal boru ve buharlaştırıcıdan oluşmaktadır. Eşitlik 4.9 ve 4.10, sistem ekserji analizinin her bir ögesi için ekserji yıkımını aşağıdaki gibi hesaplamak için kullanılmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,komp} = \dot{E}_{x,1} - \dot{E}_{x,2} + P_{komp} \quad (4.9)$$

$$\dot{E}_{x,yık,komp} = \dot{m}_r[(h_1 - T_o S_1) - (h_2 - T_o S_2)] + P_{komp} \quad (4.10)$$

Ekserji yıkımının genel ifadesini aşağıdaki gibi hesaplamak için Eşitlik 4.11 ve 4.12 kullanılmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,yoğ} = \dot{E}_{x,2} - \dot{E}_{x,3} - \left[\dot{Q}_{yoğ} \left(1 - \frac{T_o}{T_{yoğ}} \right) \right] \quad (4.11)$$

$$\dot{E}_{x,yık,yoğ} = \dot{m}_r[(h_2 - T_o S_2) - (h_3 - T_o S_3)] - \left[\dot{Q}_{yoğ} \left(1 - \frac{T_o}{T_{yoğ}} \right) \right] \quad (4.12)$$

Eşitlik 4.13 ve 4.14'te sistem buharlaştırıcısının ekserji yıkımı hesaplanmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,buh} = \dot{E}_{x,6} - \dot{E}_{x,7} + \left[\dot{Q}_{buh} \left(1 - \frac{T_o}{T_{buh}} \right) \right] \quad (4.13)$$

$$\dot{E}_{x,yık,buh} = \dot{m}_r[(h_6 - T_o S_6) - (h_7 - T_o S_7)] + \left[\dot{Q}_{buh} \left(1 - \frac{T_o}{T_{buh}} \right) \right] \quad (4.14)$$

Eşitlik 4.15 ve 4.16'da kılcal borunun ekserji yıkımı hesaplanmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,kb} = \dot{E}_{x,5} - \dot{E}_{x,6} \quad (4.15)$$

$$\dot{E}_{x,yık,kb} = \dot{m}_r T_o (S_5 - S_6) \quad (4.16)$$

Isı değiştiricisinin ekserji yıkımını hesaplamak için Eşitlik 4.17 ve 4.18 kullanılmıştır:

$$\dot{E}_{x,yık,id} = (\dot{E}_{x,3} - \dot{E}_{x,4}) + (\dot{E}_{x,7} - \dot{E}_{x,1}) \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned}\dot{E}_{x,y1k,1d} = \dot{m}_r \{ & \{(h_3 - T_o S_3) - (h_4 - T_o S_4)\} \\ & + \{(h_7 - T_o S_7) - (h_1 - T_o S_1)\}\} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Eşitlik 4.19, sistem bileşenlerinin neden olduğu toplam ekserji tahribatını her bir bileşeni aşağıdaki gibi ekleyerek hesaplamak için kullanılır:

$$\dot{E}_{x,y1k,top} = \dot{E}_{x,y1k,komp} + \dot{E}_{x,y1k,yoğ} + \dot{E}_{x,y1k,buh} + \dot{E}_{x,y1k,kb} + \dot{E}_{x,y1k,ieks} \quad (4.19)$$

Eşitlik 4.20 sistemin genel ekserji verimini aşağıdaki gibi hesaplamak için kullanılır [38]:

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{E}_{x,6} - \dot{E}_{x,7}}{P_{komp}} \quad (4.20)$$

4.3. HATA ANALİZİ

Bu çalışmada, deneysel süreçte kullanılan tüm cihazların belirsizlik değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Bu eşitlik Gauss hata yayılım yasası olarak bilinmektedir. Bu yasaya göre R , $R = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ şeklinde bir fonksiyondur:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.16)$$

Burada, W_R , çalışmanın toplam belirsizliğini (%), R ve w sırasıyla belirsizlik fonksiyonu ve boyut faktörünü ifade eder. Aynı eşitlikte w_n , n'inci dereceden bağımsız değişkendeki belirsizliktir [36,38,39]. Deneyde kullanılan cihazların özellikleri ve bu cihazlar hakkında daha geniş bilgiler ekler kısmında verilmiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

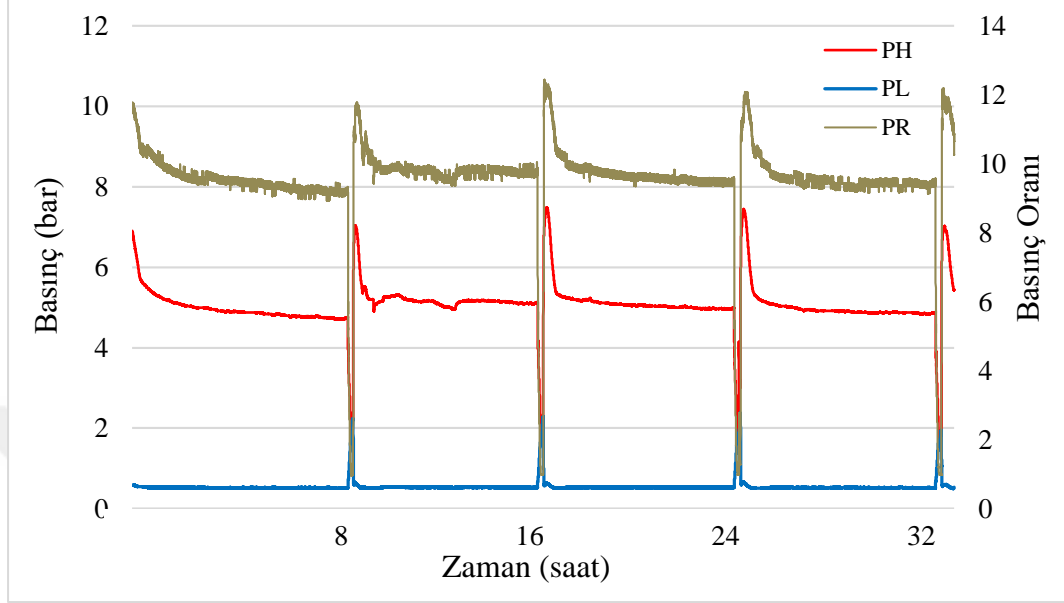
Yapılan çalışmada, ev tipi soğutma cihazlarında enerji kullanımının önemli bir bölümünü oluşturan ve soğutma cihazının buharlaştırıcı kısmında zaman içerisinde biriken buzun, ısı transferini olumsuz yönde etkilememesi için yapılması zorunlu bir uygulama olan buz çözme işlemi üzerinde çalışılmıştır. Buz çözme işlemlerinin uzun zaman alması, enerji tüketim miktarına bağlı olarak soğutma kabini içerisine kazandırılan ısı ve bu işlemin maliyeti gibi sorunlar göz önünde bulundurulduğunda bu sorunların çözümü amacıyla alternatif yöntemlerin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada, buz çözme işleminde elektrikli ısıtıcı yerine, yoğuşturucudan dış ortama atılan ısının bir ısı değiştirici içerisinde yer alan faz değiştiren malzemeye aktarılması ve bu ısının değerlendirilerek buz çözme işleminde kullanılmasına yönelik bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin amaca uygun imalatı gerçekleştirilerek deneysel çalışmalar yapılmış ve deneysel çalışmalarda elde edilen veriler yardımıyla sistemin 0, 25, 50 ve 75W soğutma yüklerindeki çalışma özellikleri, enerji ve ekserji analizleri, kompresör izantropik verimi, buz çözme süreleri ve hata analizleri yapılarak bu özelliklerdeki değişimler tespit edilmiştir.

5.1. SOĞUTMA YÜKÜNE GÖRE BASINÇ VE SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de sırası ile 0W ek soğutma yükü altında soğutma sisteminin çalışması ve her 8 saatte bir yapılan buz çözme işlemleri esnasındaki basınç ve sıcaklık değerlerindeki değişimleri verilmiştir. Şekil 5.1’de soğutma sisteminin yüksek basınç hattı basıncı (P_H), alçak basınç hattı basıncı (P_L) ve basınç oranı (PR) değerlerinin değişimi verilmiştir. Sistemin çalışma basınç değerlerinde özellikle çevre havası

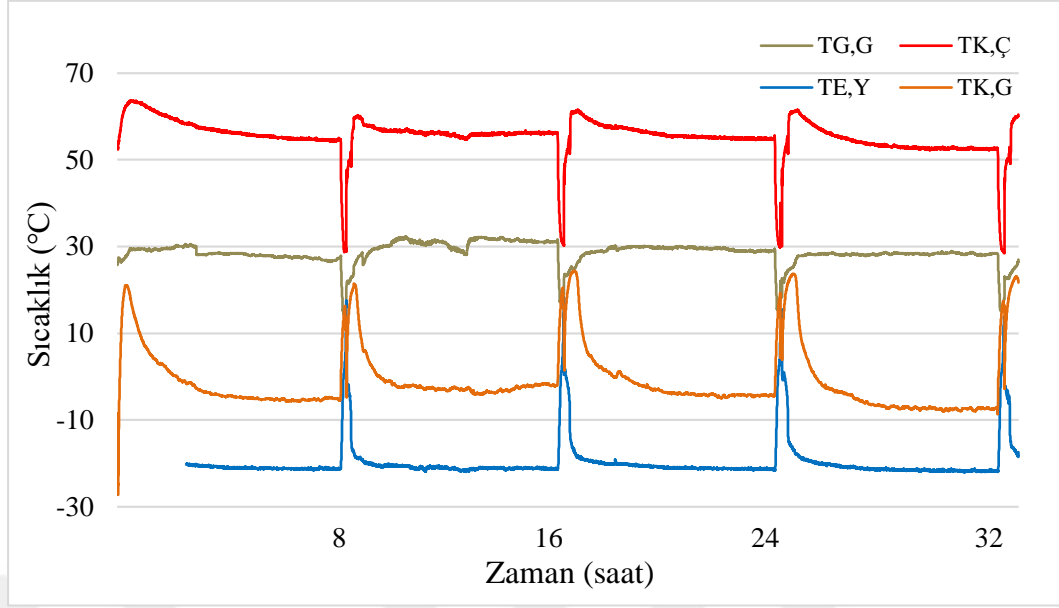
sıcaklığına bağlı olan bazı küçük değişimler olmasına rağmen sistemin kararlı bir çalışma sergiliyor olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Elektrikli buz çözme işleminde basınçların değişimi (Soğutma Yükü: 0W)

Soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yükündeki artışa (0, 25, 50 ve 75W) rağmen sistemin kararlı çalışma özelliklerine devam ettiği görülmüştür. 0W ek soğutma yükü uygulandığında yüksek basınç hattı basıncı 4.52 bar, alçak basınç hattı basıncı 0.52 bar ve basınç oranı 8.69 değerlerinde iken, 25W ek soğutma yükü altında bu değerler sırası ile 5.06 bar, 0.52 var ve 9.73, 50W ek soğutma yükü altında 5.34 bar, 0.53 bar ve 9.9, 75W soğutma yükü altında ise 5.46 bar, 0.54 bar ve 10.11 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu basınç değerleri ek soğutma yükündeki artışa bağlı olarak bu üç basınç değerinin artacağını ve bununla birlikte basınç oranı değerinin artmasının sistemin COP değerinde düşüşe sebep olacağını göstermektedir.

Benzer şekilde, Şekil 5.2’de 0W ek soğutma yükü altında soğutma sisteminin çalışması ve her 8 saatte bir yapılan buz çözme işlemleri esnasındaki kompresör giriş ($T_{K,G}$) ve çıkışındaki ($T_{K,C}$) sıcaklıklar, genişleme valfi giriş sıcaklığı ($T_{G,G}$), buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarındaki ($T_{E,Y}$) değişimler verilmiştir. Sıcaklık değerlerinde de basınç değerlerinde olduğu gibi düzenli bir değişim gözlemlenmiştir.



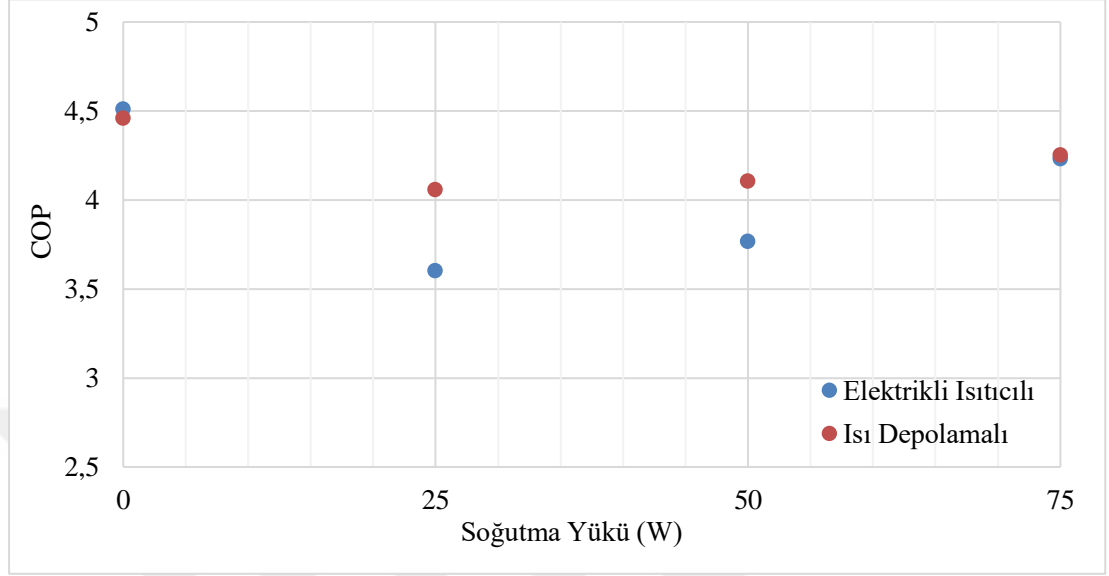
Şekil 5.2. Elektrikli buz çözme işleminde sıcaklıkların değişimi. (Soğutma Yüğü: 0W)

Soğutma sistemine uygulanan 0W ek soğutma yükü altında kompresör giriş ($T_{K,G}$) ve çıkışındaki ($T_{K,Ç}$) sıcaklıklar, genişleme valfi giriş sıcaklığı ($T_{G,G}$), buharlaştırıcı yüzey sıcaklıkları ($T_{E,Y}$) sırasıyla -7.3°C , 52.3°C , 28.1°C ve -21.9°C , 25W ek soğutma yükü altında sırasıyla; 1°C , 57.3°C , 28.3°C ve -19.7°C , 50W ek soğutma yükü uygulandığında; 8°C , 61.1°C , 28.4°C ve -17.3°C ; 75W ek soğutma yükü uygulandığında ise; 14.2°C , 65.7°C , 30.3°C ve -15.9°C oldukları tespit edilmiştir. Elde edilen sıcaklık verilerinin soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yüklerinin sistemin çeşitli noktalarındaki sıcaklık değerlerinde önemli miktarda değişime neden olduğunu göstermektedir.

5.2. SİSTEM PERFORMANSLARININ ANALİZİ

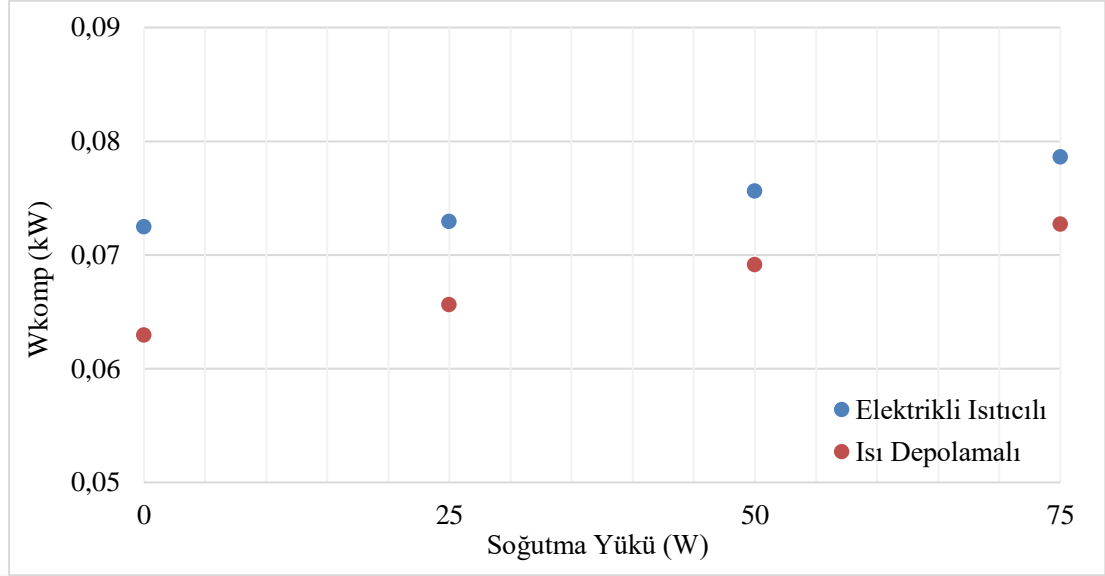
FDM kompresör ve yoğuşurucu arasına yerleştirildiğinde, FDM ek bir yoğuşurucu görevi görecektir. Bu durumda, yoğuşurucudaki daha düşük sıcaklık ve basınç nedeniyle kompresör işinin azalması ve bunun sonucu olarak ta COP değeri artış göstermiştir. Ancak, soğutma sistemine ek olarak uygulanan soğutma yüklerinin değişimi COP değerinin de değişim miktarında farklılıklara neden olmuştur. Bu durum Şekil 5.3'de açıkça görülmektedir. Soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yükü 0W olduğunda FDM kullanılmayan sistem lehine %0.1'lik bir COP artışı gözlemlenmiş

olsada, soğutma yüklerinin 25, 50 ve 75W olduğu durumlarda FDM kullanılan sistem lehine sırasıyla %11.24, %8.27 ve %0.47 oranlarında artış olduğu görülmüştür.

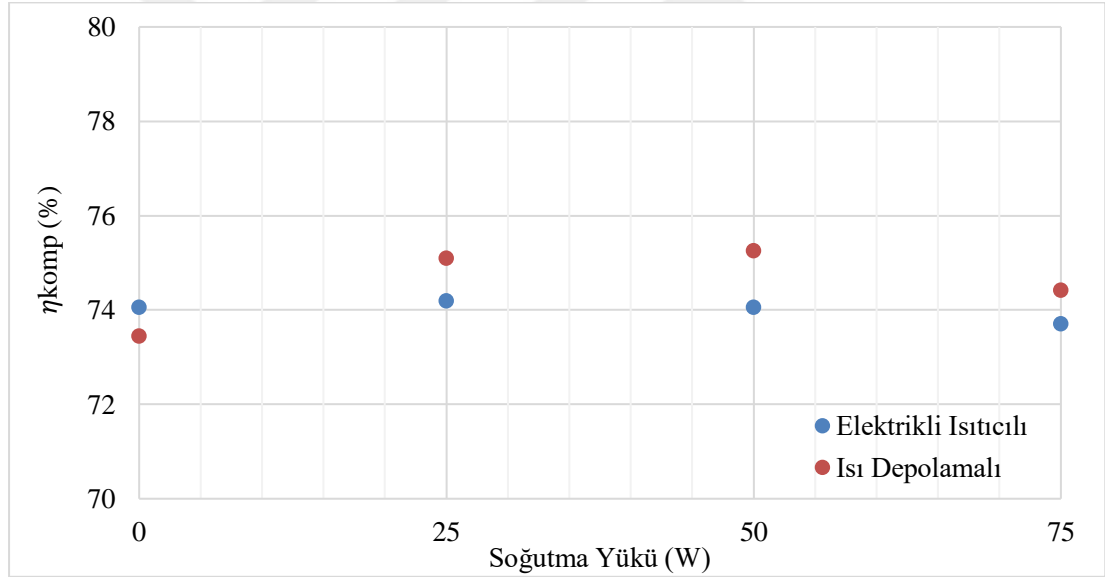


Şekil 5.3. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak COP değerinin değişimi.

Soğutma sisteminin COP değerinin artmasını sağlayan en önemli unsur kompresör işinin FDM kullanımına bağlı olarak düşüş göstermesi olmuştur. Soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yüklerine bağlı olarak FDM kullanılan soğutma sisteminde, kullanılmayan sisteme kıyasla kompresör işinde önemli ölçüde düşüş olduğu görülmüştür. Ek soğutma yükünün 0W olduğu durumda FDM kullanılan sistemin kompresör işi %15.08, 25W soğutma yükünde %11.17, 50W soğutma yükünde %9.4 ve 75W soğutma yükünde %8.13 düşüş gerçekleşmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen verilerin ek soğutma yüküne bağlı olarak kompresör işindeki değişim Şekil 5.4'te, kompresör izantropik verimi ise Şekil 5.5'te verilmiştir. Kompresör izantropik verimi de uygulanan ek soğutma yükü değerine ve FDM kullanım durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.



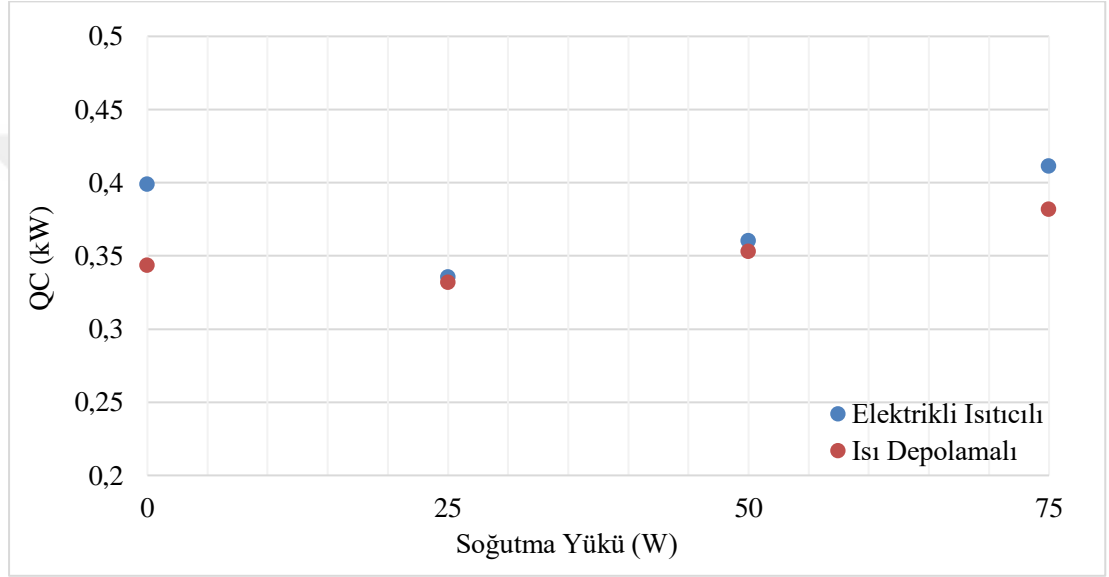
Şekil 5.4. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak kompresör işinin değişimi.



Şekil 5.5. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak kompresör izantropik veriminin değişimi.

Soğutma sisteminin izantropik verimi, soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yükü 0W olduğunda FDM kullanılmayan sistem lehine %0.8'lik bir artış gözlemlenmiş olsada, soğutma yüklerinin 25, 50 ve 75W olduğu durumlarda FDM kullanılan sistem lehine sırasıyla %1.2, %1.59 ve %0.95 oranlarında artış olduğu görülmüştür.

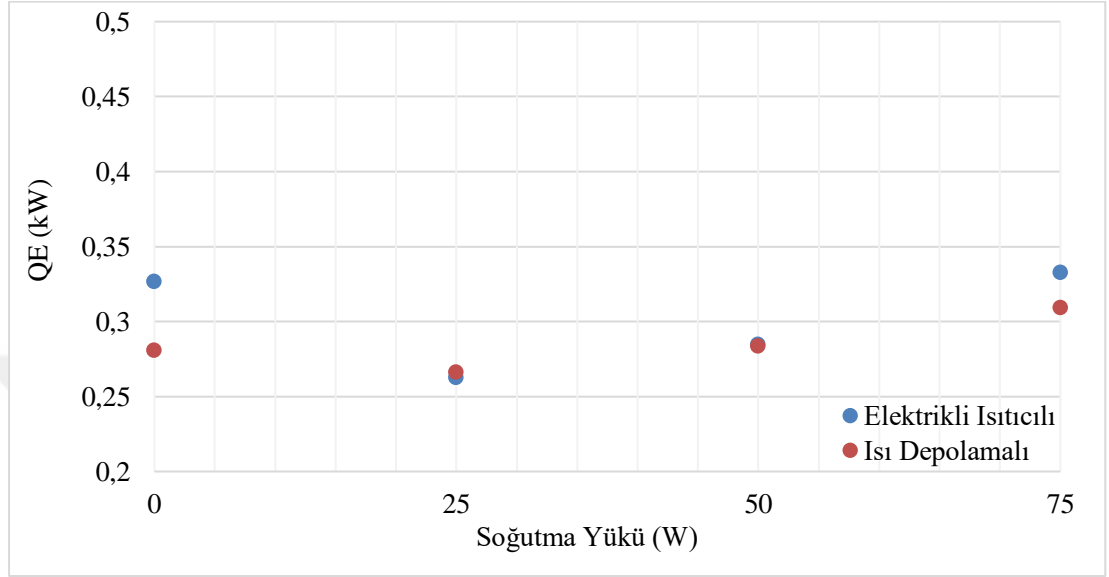
Şekil 5.6’da ek soğutma yüküne ve FDM kullanım durumuna göre yoğuşturucu kapasite değerlerindeki değişim verilmiştir. Kompresör ve yoğuşturucu arasında FDM kullanılması yoğuşturucudaki yoğuşma sıcaklığının düşmesine neden olmuştur. Bu durumda soğutma sistemlerinde FDM kullanılmasının yoğuşturucular için daha düşük yoğuşma sıcaklığı ve kompresörün daha sık çalıştırılması/durdurulması anlamına gelmektedir. FDM kullanımının bu dezavantajı sistem tasarımları yapılırken göz önünde bulundurulmalı ve gerekli önlemler alınarak çözüm yolları geliştirilmelidir.



Şekil 5.6. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak Q_c değerinin değişimi.

Şekil 5.7’de soğutma yüküne ve FDM kullanım durumuna göre buharlaştırıcı kapasite değerlerindeki değişim verilmiştir. Buharlaştırıcı kapasite değişimi, yoğuşturucu kapasite değişimi ile paralellik göstermiştir. Buharlaşma sıcaklığı artan ek soğutma yükü değerine bağlı olarak artış gösteriyor olsa da FDM kullanımı buharlaşma sıcaklığının nispeten daha düşük bir artış hızına sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, kompresör emme basıncı ve kompresör basma basınçları da artan ek soğutma yükü değerine bağlı olarak artış gösteriyor olmalarına rağmen FDM kullanılan sistemdeki basınç değerleri belirgin bir biçimde düşük değerlerde kalmıştır. Soğutma sisteminin yoğuşma ve buharlaşma sıcaklık değerleri ile aşırı kızdırma ve aşırı soğutma miktarları da göz önünde bulundurulduğunda FDM kullanımında her iki değerinde daha az değişim gösterdiği görülmüş ve bu durum sistemde FDM kullanımının sistemin

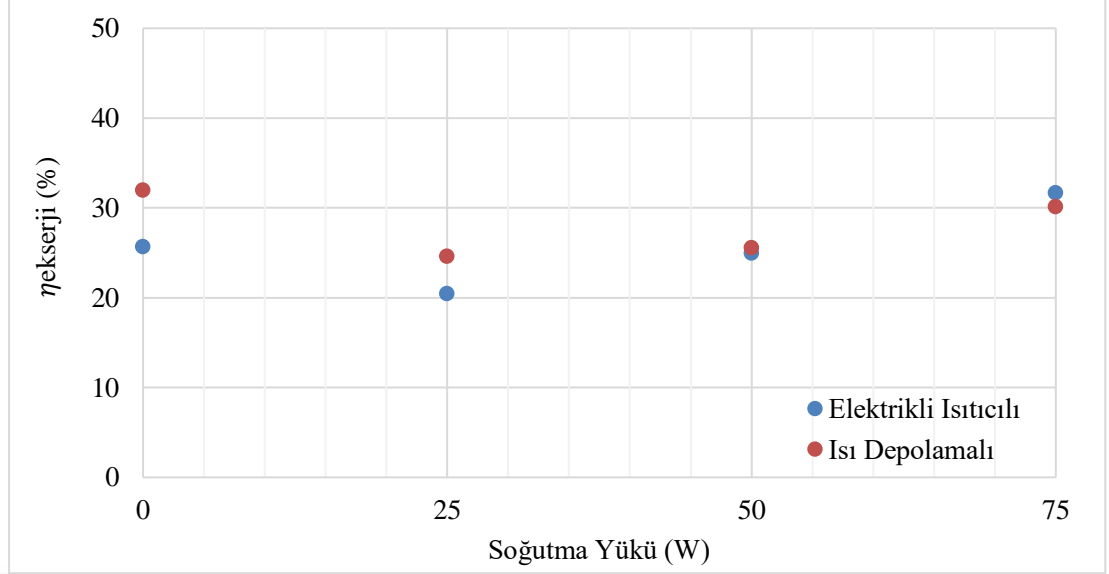
daha kararlı çalışma özellikleri gösterdiği şeklinde değerlendirilmiştir. Buna ek olarak yoğunlaşma sıcaklığının da FDM kullanılan sistemde daha düşük değerlere sahip olması sistemin daha kararlı çalışmasına katkı sağlayacaktır.



Şekil 5.7. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak Q_E değerinin değişimi.

Şekil 5.8’de ise yine soğutma yüküne ve FDM kullanım durumuna göre sistemin ekserji verim değerlerindeki değişim verilmiştir. Soğutma sistemi 0W ve 25W gibi nispeten düşük ek soğutma yükü etkisi altında FDM kullanımı ile daha yüksek ekserji verimi değerlerine sahip olurken ek soğutma yükü değerinin artmasıyla ekserji verim değerleri birbirlerine oldukça yakın değerlere sahip olmuşlardır.

Soğutma sisteminin ekserji verimi, soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yükü 0W olduğunda FDM kullanılan sistemde %31,98 değerine ulaşarak FDM kullanılmayan sisteme göre %19,74 daha fazla bir değere sahip olmuştur. 25W ek soğutma yükü altında FDM kullanımı sistemin ekserji veriminin %16,93, 50W ek soğutma yükü değerinde %2,42 ve 75W ek soğutma yükünde ise 1,53 oranında (%5,09) FDM kullanılmayan sistem lehine bir ekserji verim farkı ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.8. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde soğutma yüküne bağlı olarak ekserji veriminin değişimi.

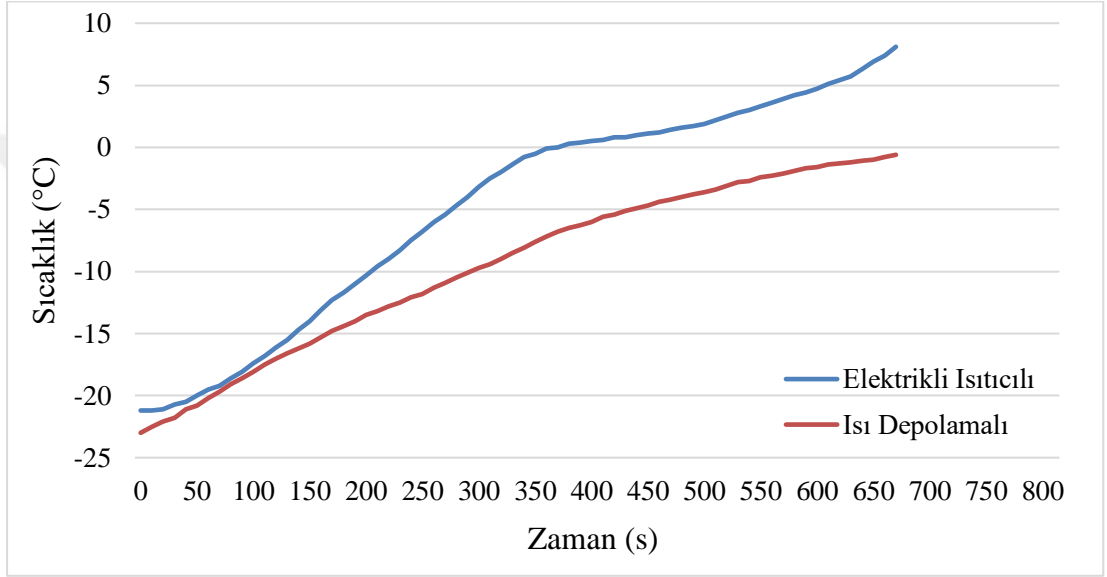
Soğutma sistemlerinin incelenmesinde ve değerlendirilmesinde oldukça önemli bir yeri olan COP ve η_{gen} değerleri için belirsizlikler Eşitlik 4.16 ile tespit edilmiş olup sırasıyla %1.2 ve %1.6 olarak bulunmuştur.

5.3. BUZ ÇÖZME (DEFROST) SÜRELERİ

Buz çözme işlemi esnasında geçen süre hem soğutma kabin sıcaklığındaki dalgalanmaya hem de soğutma kabininin buz çözme yönteminin etkisi ile ısı kazanarak ısınması bakımından oldukça önemlidir. Soğutma kabininin içerisindeki sıcaklık değişimleri muhafazası yapılan gıdaların ömür ve kalitelerini, soğutma sisteminin COP değerini, kompresörün enerji tüketimini ve soğutma ihtiyacının karşılanabilme hızını vb. birçok unsuru etkilemektedir.

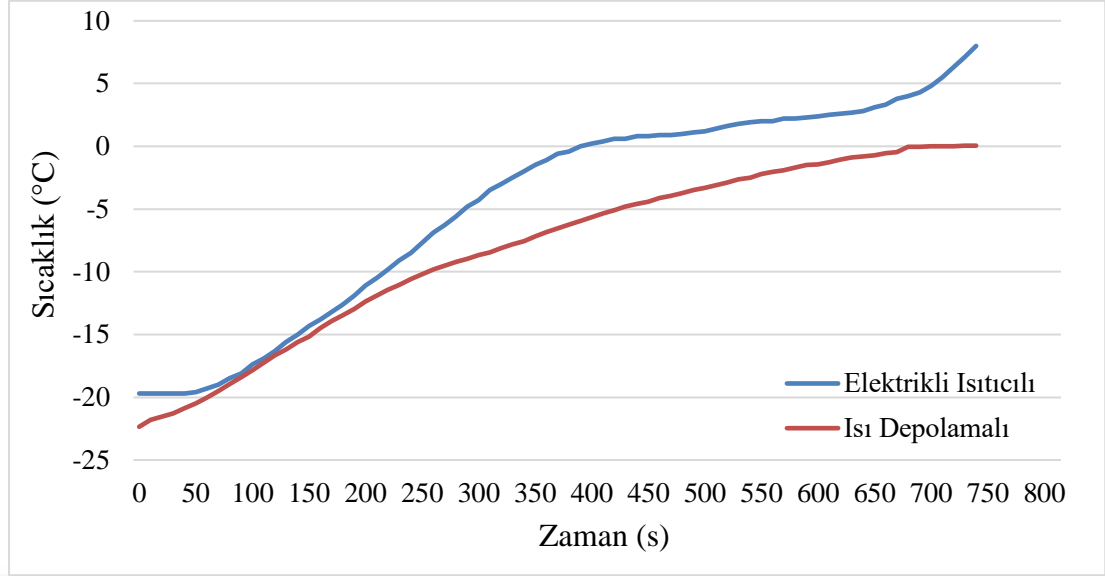
Yapılan çalışma kapsamında elektrikli ısıtıcı ve atık ısının bir FDM'ye aktarılarak buz çözme amacıyla kullanımı esnasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi soğutma sistemine uygulanan 0, 25, 50 ve 75W ek soğutma yüküne bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir.

Buz çözme işlemleri buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının 8°C'ye ulaşmasına kadar devam ettirilmiştir. Bu işlem esnasında elektrikli ısıtıcı kullanılan buz çözme işleminde buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı ortalama ilk 50s içerisinde yatay seyretmiştir. Sonrasında ise, buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı yaklaşık 0°C seviyesine kadar hemen hemen doğrusal bir değişim göstermiş, 0°C ile 5°C sıcaklık aralığında ise çok daha yatay bir değişim sergilemiş ve 5°C sıcaklığından sonra ise yine daha hızlı bir sıcaklık değişimi ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.9. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 0W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.

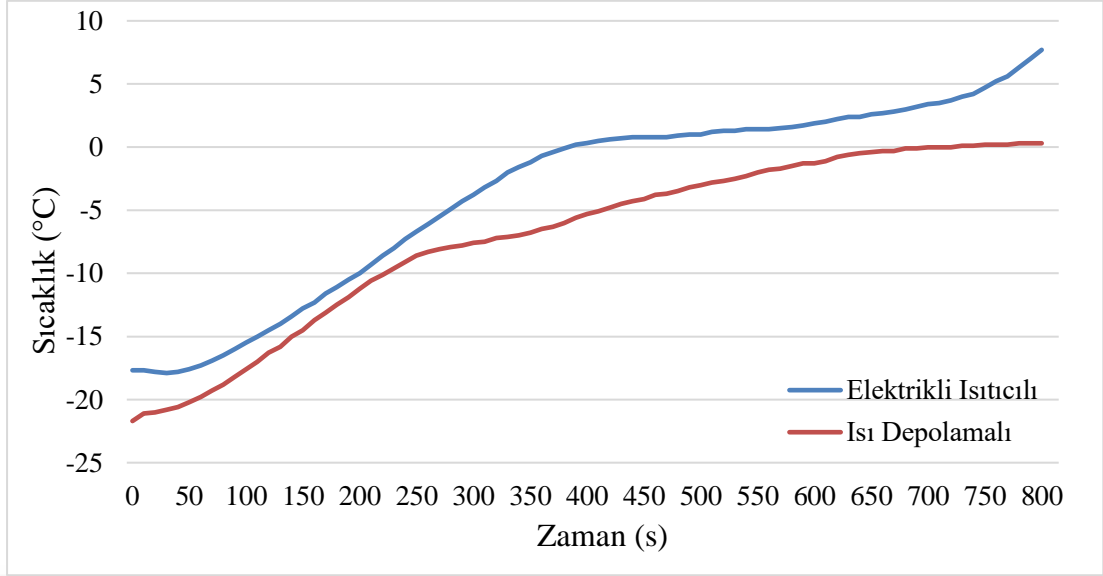
Soğutma sisteminin atık ısısının buz çözme amacıyla kullanıldığı deneysel çalışmalarda ise, ilk çalışma anından itibaren buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı hızla artış göstermeye başlamıştır. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı -8°C değerine ulaşana kadar hızlı artış göstermeye devam etmiş bu sıcaklık değerinden sonra ise zamana bağlı olarak daha yavaş bir değişim göstermiş ve 0°C civarında tamamen yatay hale gelmiştir.



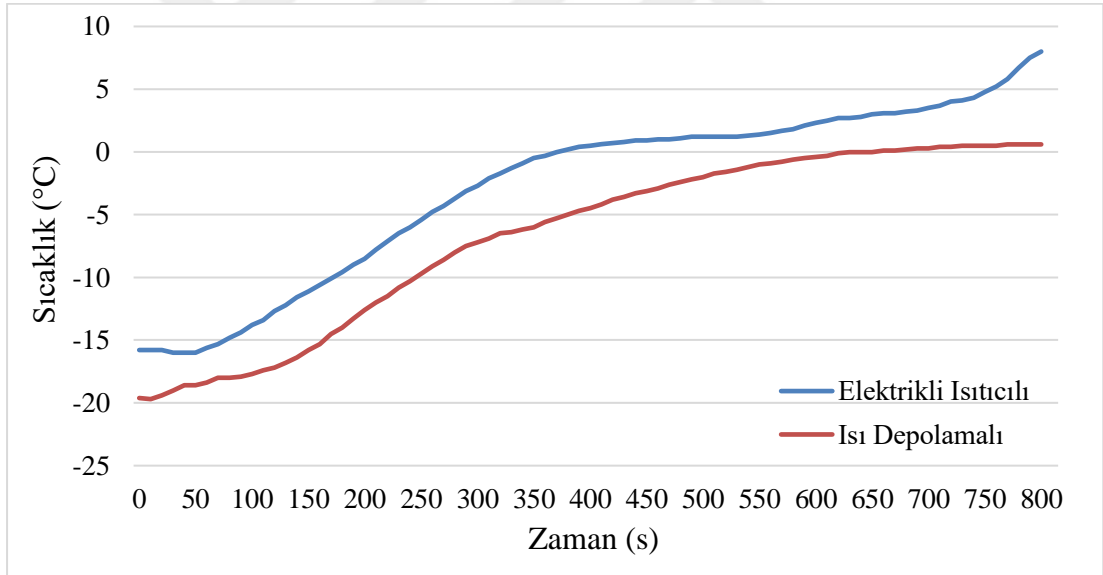
Şekil 5.10. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 25W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.

Soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yükü değerinin artması ile kullanılan her iki yöntemde de soğutma sistemine uygulanan ek soğutma yükündeki artışa bağlı olarak buz çözme süresi de artış göstermiştir. 0W ek soğutma yükünde elektrikli ısıtıcı kullanılan buz çözme sisteminde 8°C buharlaştırıcı yüzey sıcaklığına 670s'de ulaşılırken, 25W ek soğutma yükünde 740s'de ulaşılmış, 50W ve 75W ek soğutma yükü değerlerinde ise 800s'de ulaşılmıştır. Benzer şekilde, soğutma sisteminin atık ısısının buz çözme amacıyla kullanıldığı deneylerde ise, 0°C buharlaştırıcı yüzey sıcaklığına 0W ek soğutma yükünde 670s'de, 25W ve 50W ek soğutma yükü uygulandığında 700s, ve 75W ek soğutma yükü uygulandığında 630s'de ulaşılmıştır.

Soğutma sistemlerinde buz çözme amacıyla, sistemin atık ısısının kullanılması önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanmasına ve soğutma sisteminin COP değerinin artırılmasına katkıda bulunacaktır. Ancak, atık ısıdan faydalanılacak yöntem ve kullanılacak malzemelerin uygunluklarının tespit edilmesinde özellikle sistemin çalışma koşulları, kullanım amacı, soğutma kapasitesi ve soğutucu akışkan türü gibi faktörlere dikkat edilmelidir. Yapılan çalışmada elde edilen veriler ışığında, tasarlanan sistemin tek başına buz çözme işlemi için yetersiz kalacağı, hibrit (melez) bir yapı içerisinde kullanıldığında ise hem enerji sarfiyatının düşürülmesine hem de sistemin COP değerinin artırılmasına oldukça önemli katkılar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.11. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 50W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.



Şekil 5.12. Elektrikli ısıtıcı ve ısı depolamalı buz çözme yöntemlerinde 75W ek soğutma yükü altında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.

FDM'lerin ve yoğuşturucu atık ısılarının buz çözme işlemlerine etkisini incelemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Yapılacak çalışmalarda, buz çözme işlemlerinde kullanılacak farklı yapı ve özelliklere sahip FDM'lerin kapsamlı analiz ve araştırmaları hem deneysel hemde teorik yöntemler kullanılarak incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Laguerre, O., "Heat transfer and air flow in a domestic refrigerator", *Mathematical Modeling of Food Processing*, France, 453-482 (2010).
2. Missenden, J., Maidment, G., Eames, I., "Refrigeration energy use in the food chain" *Department of Engineering Systems. London South Bank University*, (2007).
3. Zhiqiang, L., Dan, Z., Guoliang, D., Tao, R., Songtao, M., Xiaolei, H., Toshinori, N., "Improving defrosting performance by controlling frost distribution to match defrosting heat distribution in frost-free household refrigerators", *ScienceDirect*, 136-148 (2017).
4. Harrington, L., Aye, L., Fuller, B., "Energy impacts of defrosting in household refrigerators: Lessons from field and laboratory measurements", *International Journal of Refrigeration*, 480-494 (2018).
5. Youngchan, Y., Haijun, J., Kwan-Soo, L., "Adaptive defrost methods for improving defrosting efficiency of household refrigerator", *Energy Conversion and Management*, 511-516 (2018).
6. Zhongbao, L., Fei, Z., Lingfei, Z., Ran, Z., Meng, Y., Yuanying, C., "Performance of bypass cycle defrosting system using compressor casing thermal storage for air-cooled household refrigerators", *Applied Thermal Engineering*, 1215-1223 (2018).
7. Zhongbao, L., Ao, L., Qinghua, W., Yuanying, C., Linfei, Z., "Experimental study on a new type of thermal storage defrosting system for frost-free household refrigerators", *Applied Thermal Engineering*, 256-265 (2017).
8. Amer, M., Wang, C., "Review of defrosting methods", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53-74 (2017).
9. Bahar, E. M., Erten, S., Aktaş, M., "An experimental study towards decreasing the energy efficiency index value in industrial refrigerators", *Gazi University Journal of Science*, Part C, 9(3): 432-445 (2021).
10. Honghyun, C., Yongchan, K., Inkyu, J., "Performance of a showcase refrigeration system with multi-evaporator during on-off cycling and hot-gas bypass defrost", *Energy, Elsevier*, vol. 30(10), pages 1915-1930 (2005).
11. Hoffenbecker, N., Klein, S. A., Reindl, D. T., "Hot gas defrost model development and validation", *Int. J. Refrigeration*, 28,605-15 (2005).

12. Wang, M., Zang, R., Li, Y., Li, W., “Investigation of control process in liquid refrigerant defrosting system”, *International Journal of Thermodynamics*, 21: 214-219 (2018).
13. Elatar, A., Fricke, B., Nawaz, K., “A critical literature review of defrost technologies for heat pumps and refrigeration systems” *Energy and Transportation Sciences Division*, (2018).
14. Coley, M.B., “The cost of frost.” *ASHRAE Journal*, 82 (9) (1983).
15. İnan, C., “Bir buzdolabı buharlaştırıcısının karlanmış şartlar altındaki performansı ve buzdolabında ısı kütle transfer mekanizmalarının modellenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, (2000).
16. Sanders, C.T., “Frost formation; the influence of frost formation and defrosting on the performance of air coolers”, *Delft University of Technology Technical Sciences*, PhD thesis, MECH 1013 (1974).
17. Kim, Y., Lee, H., “A review on the performance of fin-and-tube heat exchangers under frosting and defrosting conditions”, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Pages.152-157 (2005).
18. Kim, Y. and O'Neal, D. L., “Two-phase flow of refrigerant-22 through short tube orifices”, *ASHRAE Transactions*, 100(1):323-334 (1994).
19. Al-Mutawa, K., Nawaf, S.A., Sherif, G.D., Mathur, J. W., “Analysis and modeling of a two-phase jet pump of a thermal management system for aerospace applications”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 42(2) (1998).
20. Maiorino, A., Del Duca, M.G., Mota-Babiloni, A., Greco, A., Aprea, C., “The thermal performances of a refrigerator incorporating a Phase Change Material”, *International Journal of Refrigeration*, 100, 255–264 (2019).
21. Jeong, H., Byun, S., Kim, D. R., and Lee, K. S., “Power optimization for defrosting heaters in household refrigerators to reduce energy consumption”, *Energy Conversion And Management*, 237: 114127 (2021).
22. Wang, Y., Ye, Z., Song, Y., Yin, X., and Cao, F., “Experimental investigation on the hot gas bypass defrosting in air source transcritical CO₂ heat pump water heater”, *Applied Thermal Engineering*, 178: 115571 (2020).
23. Wang, D., Jiang, J., Tao, L., Kou, Z., Yao, L., “Experimental investigation on a novel cold storage defrosting device based on electric heater and reverse cycle” *Appl. Therm. Eng.*, 127, 1267–1273 (2017).
24. Li, D., Chen, Z., and Shi, M., “Effect of ultrasound on frost formation on a cold flat surface in atmospheric air flow”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, 34 (8): 1247–1252 (2010).

25. Wang, D., Tao, T., Xu, G., Luo, A., Kang, S., “Experimental study on frosting suppression for a finned-tube evaporator using ultrasonic vibration” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 36 1–11 (2012).
26. Yoon, Y., Jeong, H., and Lee, K. S., “Adaptive defrost methods for improving defrosting efficiency of a household refrigerator”, *Energy Convers. Manag.*, 15(7): 511-516 (2018).
27. Yin H. J., Yang Z., Chen A. Q., Zhang N., “Experimental research on a novel cold storage defrost method based on air bypass circulation and electric heater”, *Science Direct Energy*, V.37:623–631 (2012).
28. Çetinkaya, S., “Termodinamik”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, Türkiye 64-79 (1999).
29. Kurtuluş, S., Günayısı, G., “Isı borulu buz çözme (defrost) sistemi tasarımı”, BTP-17-18-B-30, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, (2018).
30. Al Douri, J., Hmood, K. S., Apostol, V., Pop, H., Alqaisy, S.J., Ibrea E. B., “Review regarding defrosting methods for refrigeration and heat pump systems”, *E3S Web of Conferences*, 286, 01012 (2021).
31. Shen, J., Qian, Z., Xing, Z., Yu, Y., Ge, M., “A review of the defrosting methods of air source heat pumps using heat exchanger with phase change material”, *Energy Procedia*, 160, 491–498 (2019).
32. Song, M., Deng, S., Dang, C., Mao, N., Wang, Z., “Review on improvement for air source heat pump units during frosting and defrosting”, *Appl. Energy*, V.211,1150–1170 (2018).
33. Felix, A. R., Solanki, S.C., Saini, J.S., “Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, vol. 12(9), pages 2438-2458 (2008).
34. Shuang-Fei, L., Zhen-hua L., Xue-Jiao, W., “A comprehensive review on positive cold energy storage technologies and applications in air conditioning with phase change materials” *Applied Energy, Elsevier*, vol. 255(C) (2019).
35. Sharma S.D., Sagara, K., “Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review”, *International Journal of Green Energy*, 2:1, 1-56 (2005)
36. Turhal, A., “Ev Tipi Soğutma Sistemi Performansına Yoğuşturucu Bacası Etkilerinin Teorik Ve Deneysel İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi* (2021).
37. Ergün, A., Gürel, A. E. and Ceylan, İ., “Ticari Soğutma Sistemlerinde R22 Akışkanının Alternatifi Olarak R438a ve R417a Akışkanlarının Performansının İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Part C, 5:1, (2018).

38. Abdullah, M.O. A., Deniz, E., Karagöz, M., Gürüf, G., “An experimental study on a novel defrosting method E for cold room”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 188, no. January, p. 116573, (2021).
39. Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., Sarıdemir S., “Experimental investigation and prediction of performance and emission responses of a CI engine fuelled with different metal-oxide based nanoparticles–diesel blends using different machine learning algorithms.” *Energy*, 2021. 215: 119076, (2021).





EK AÇIKLAMALAR A.

MULTİMETRE

Çizelge Ek A.1. Multimetre.



Parametre	Özellik
İşletme Gerilimi (Un)	220Vac
İşletme Aralığı	(0,8-1,1) x Un
İşletme Frekansı	50 Hz
Besleme Güç Tüketimi	< 6VA
Ölçme Girişleri Güç Tüketimi	< 1VA
Gerilim ölçme Aralığı	(Faz-Nötr) 30 - 300 Vac, 45-90 Hz
Akım ölçme Aralığı	50mA - 6 Amp AC
Gösterim Aralığı	0 - 999,9 kV 0 - 999,9 M (W, VAr, VA) (CosΦ) 0,00 -1,00 ind.ve kap.
Mimumum ölçüm Değerleri	50 mA, 25 V
Ölçme Hassasiyeti	%1±1 dijit
Ortam Sıcaklığı	- 5 °C + 50 °C
Koruma Sınıfı	IP 20
Boyutlar	96x96x80 mm

EK AÇIKLAMALAR B.

ADAM VERİ TOPLAMA MODÜLÜ

Çizelge Ek B.1. Adam veri toplama modülü.



Parametre	Özellik
Güç Tüketimi	1.0 W@24 V _{DC}
Doğruluk	% ±0.1
Ölçüm Kanalı Sayısı	8
Çözünürlük	16 bit
Girdi Tipleri	T/C, mV, V, mA
İzolasyon Koruması	3000 V _{DC}
Boyutlar	70x122x30 mm
Ölçüm Aralıkları	±1 V, ±2.5 V, ±5 V, ±10 V, ±100 mV, ±500 mV, ±20 mA, 4 ~ 20 mA 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 Yükü 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 Yükü 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.

GÜÇ KAYNAĞI

Çizelge Ek D.1. Güç kaynağı.



Soğutma Yüğü Gösterge Cihazının Özellikleri	
Çıkış Gerilimi	CH1-CH2: 0-30 V CH3:2,5-3,3-5V
Çıkış Akımı	CH1-CH2-CH3:0-3A
Gürültü	<1 mVrms (5 Hz-1 mHz)
Minumum Çözünürlük	1 mV/1mA
Sıcaklık Katsayısı	300 ppm/°C
Güç	AC100V/120V/220V/230V±%10,50/60Hz
Boyut ve Ağırlık	210/130/265 mm, ~7 kg



EK AÇIKLAMALAR E.

SU POMPASI

Çizelge Ek E.1. Su pompası.



Su Pompasının Özellikleri	
Çalışma Gerilimi	DC 12V/DC 24V
Akım	800 mA±%15
Güç	19W±%15
Debi	850 L/h
Basma Yüksekliği	5-6 m
Emme Kalibresi	13 mm
Çıkış Kalibresi	18 mm
Gürültü	<35 dB
Boyutları	80*77*49 mm
Ağırlık	260 gr
Malzeme	Mühendislik Plastiği
Su Sıcaklığı	0-80 °C
Yapısal Özelliği	Tek giriş tek çıkış



EK AÇIKLAMALAR F.

BASINÇ SENSÖRLERİ

Çizelge Ek F.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 ₂ O, CO ₂

EK AÇIKLAMALAR G.

SOĞUTUCU AKIŞKAN ŞARJI VE TARTI MEKANİZMASI

Çizelge Ek G.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

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim KÜTÜK, ilk ve ortaokulu Mersin Bozyazı' da okudu. Liseyi Çankırı Astsubay Hazırlama Okulu'nda tamamladı. 1997 yılında Piyade Astsubay olarak göreve başladı.1998-2000 yıllarında iki yıl süre ile Kuzey Irak'ta, 2000-2002 yıllarında Hakkari Dağ ve Komando Tugayı'nda, 2002-2003 yıllarında tekrar Kuzey Irak'ta, 2003-2007 yılları arasında da Kayseri 1nci Komando Tugayı'nda görev yaptı. Karabük Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2014 yılında başladığı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığındaki görevinde Aralık 2021 yılı itibariyle terfi alarak Daire Başkanı olarak devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.