



**İKLİMLENDİRME SİSTEMİ  
BUHARLAŞTIRICILARINDA ULTRASONİK  
TİTREŞİM İLE BUZ ÇÖZDÜRME YÖNTEMİNİN  
İNCELENMESİ**

**Ece Çağla KARAKAŞ**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. İlhan CEYLAN**

**İKLİMLENDİRME SİSTEMİ BUHARLAŞTIRICILARINDA ULTRASONİK  
TİTREŞİM İLE BUZ ÇÖZDÜRME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ**

**Ece Çağla KARAKAŞ**

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

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. İlhan CEYLAN**

**KARABÜK  
Haziran 2021**

Ece Çağla KARAKAŞ tarafından hazırlanan “İKLİMLENDİRME SİSTEMİ BUHARLAŞTIRICILARINDA ULTRASONİK TİTREŞİM İLE BUZ ÇÖZDÜRME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İlhan CEYLAN

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ )

.....

Üye Doç. Dr. Alper ERGÜN ( KBÜ )

.....

Üye : Doç. Dr. Ali Etem GUREL (DÜ )

.....

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.”*

Ece Çağla KARAKAŞ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### İKLİMLENDİRME SİSTEMİ BUHARLAŞTIRICILARINDA ULTRASONİK TİTREŞİM İLE BUZ ÇÖZDÜRME YÖNTEMİNİN İNCELENMESİ

Ece Çağla KARAKAŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İlhan CEYLAN

Haziran 2021, 49 sayfa

Evsel ve endüstriyel iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde en önemli ve en sık karşılaşılan problemlerden birisi buzlanmadır. Buharlaştırıcı yüzeyinde ve kanat aralarında oluşan bu problem, buharlaştırıcının kapasitesini önemli oranda etkiler. Buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzlanmanın temel sebepleri sistemin çalışma sıcaklığı ve havadaki nem miktarıdır. İklimlendirme ve soğutma sistemlerinin normal çalışma koşullarına dönmesi için periyodik olarak buz çözme işlemi yapılmaktadır. Buz oluşumunu önlemek ve buz çözdürme için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yaygın olarak elektrikli ısıtıcılar ve sıcak gaz ile buz çözme işlemi tercih edilmektedir. Enerji tasarrufuna yönelik artan bilinç ile yaygın kullanılan buz çözme yöntemlerinin enerji tüketimindeki dezavantajları göz önüne alındığında alternatif yöntemlere ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, alternatif buz çözme yöntemi olan ultrasonik titreşim ile buz çözme yöntemi incelenmiştir. Buharlaştırıcı üzerine uygulanan ultrasonik titreşimin buzlanmaya ve buharlaştırıcı kızgınlığına olan etkisini incelemek için bir buhar sıkıştırıcı soğutma çevrimi hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda literatürdeki olumlu sonuçlara rağmen ultrasonik titreşimin buharlaştırıcı kızgınlığına belirgin bir etkisi görülmemiştir. Nemlendirme etkisiyle buharlaştırıcı kızgınlığında ciddi bir artış görülmüştür. Buz oluşumunda düşük ortam sıcaklığına kıyasla, ortam bağıl neminin daha etkili olduğu görülmüştür. Ultrasonik titreşim uygulanan soğutma çevriminin toplam enerji tüketiminin fan ve nemlendirici uygulanan çevrimden % 6,96, sadece fan uygulanan çevrimden ise %7,06 daha fazla olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Buz çözme, Ultrasonik titreşim, Ultrasonik buz çözme, İklimlendirme, Soğutma.

**Bilim Kodu :** 92808

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF ULTRASONIC VIBRATION DEFROSTING METHOD IN AIR CONDITIONING SYSTEM EVAPORATORS**

**Ece Çağla KARAKAŞ**

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

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. İlhan CEYLAN**

**June 2021, 49 pages**

One of the most important and frequently encountered problems in domestic and industrial air conditioning and cooling systems is frosting. This problem between the evaporator surface and the fin significantly affects the capacity of the evaporator. The main causes of frosting on the evaporator surface are the operating temperature of the system and the amount of moisture in the air. Periodic defrosting is carried out to return the air conditioning and cooling systems to normal operating conditions. Various methods have been developed to prevent frost formation and defrosting. Electric heaters and hot gas defrosting are commonly preferred. Considering the increasing awareness of energy saving and the disadvantages of commonly used defrosting methods in energy consumption, it seems that there is a need for alternative methods.

In this thesis study, ultrasonic vibration defrosting method, which is an alternative defrosting method, was investigated. In order to examine the effect of ultrasonic

vibration applied on the evaporator on frosting and evaporator superheating, a vapor compression refrigeration cycle was prepared and experiments were carried out. Despite the positive results in the literature as a result of the experiments, ultrasonic vibration did not have a significant effect on the evaporator superheat. A significant increase in evaporator superheat was observed with the humidification effect. It has been observed that ambient relative humidity is more effective in frost formation compared to low ambient temperature. It has been observed that the total energy consumption of the cooling cycle in which ultrasonic vibration is applied is 6.96% more than the cycle in which the fan and humidifier are applied, and 7.06% more than the cycle in which only the fan is applied.

**Key Word** : Defrost, Ultrasonic vibration, Ultrasonic defrosting, Air-conditioning, Refrigeration.

**Science Code** : 92808

## 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. İlhan CEYLAN'a teőekkürlerimi sunarım.

Yaőadıęım her âna değer katan, bu süreçte destekleriyle her an yanımda olan aileme ve sevgili eőime en içten teőekkürlerimle, iyi ki varsınız.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	5
BÖLÜM 3 .....	11
İKLİMLENDİRME VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ .....	11
3.1. SOĞUTMA SİSTEMLERİ .....	11
3.1.1. Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi.....	11
3.1.2. Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi İçin Enerji Verimliliği Teknolojileri .....	12
3.2. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ.....	16
3.2.1. Çatı Tipi Klima Santrali.....	16
3.2.2. Split Tip Klima Santrali.....	17
3.2.3. Isı Pompalı Sistemler .....	19
BÖLÜM 4 .....	21
BUZ ÇÖZDÜRME .....	21
4.1. BUZ ÇÖZDÜRME YÖNTEMLERİ.....	22

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1.1. Elektrikli Isıtıcılar İle Buz Çözdürme Yöntemi .....	22
4.1.2. Sıcak Gaz İle Buz Çözdürme Yöntemi .....	24
<b>BÖLÜM 5</b> .....	<b>26</b>
<b>MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>26</b>
5.1. DENEY SETİNİN TASARIMI VE İMALATI .....	26
5.2. ÖLÇÜM VE KONTROL CİHAZLARI.....	27
5.2.1. Hava Nemi ve Hava Sıcaklığı Ölçüm Cihazı .....	27
5.2.2. Sıcaklık Ölçüm Cihazı.....	28
5.2.3. Enerji Sarfiyatı Ölçüm Cihazı .....	29
5.2.4. Titreşim Sensörü.....	29
5.3. TEORİK HESAPLAMALAR.....	31
5.3.1. Kızgınlık Değerinin Hesaplanması.....	31
5.3.2. Belirsizlik Analizi.....	31
<b>BÖLÜM 6</b> .....	<b>33</b>
<b>DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER</b> .....	<b>33</b>
7.1. DENEY SONUÇLARI.....	33
7.1.1. Fanlı Çalışma Hali İçin Deney Sonuçları .....	33
7.1.2. Fanlı, Nemlendiricili Çalışma Hali İçin Deney Sonuçları.....	34
7.1.3. Fanlı, Nemlendiricili, Titreşimli Çalışma Hali İçin Deney Sonuçları ....	35
7.1.4. Deney Verilerinin Karşılaştırılması.....	36
<b>BÖLÜM 7</b> .....	<b>40</b>
<b>SONUÇLAR</b> .....	<b>40</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>42</b>
<b>EK AÇIKLAMALAR A. NUMUNE SONUÇLARI</b> .....	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>49</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1.	Soğutma çevriminin şematik görünümü.....	12
Şekil 3.2.	Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi için enerji verimliliği teknolojileri .....	15
Şekil 3.3.	Çatı tipi klima santrali .....	17
Şekil 3.4.	Split tip klima santrali .....	18
Şekil 3.5.	Isı pompasının çalışma prensibi .....	19
Şekil 4.1.	Buz oluşum sürecinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 4.2.	Elektrikli ısıtıcılar ile buz çözdürme yönteminin şematik gösterimi..	23
Şekil 4.3.	Buharlaştırıcı lamelleri üzerinde bulunan ısıtıcıların şematik gösterimi. ....	24
Şekil 4.4.	Sıcak gaz ile buz çözdürme yönteminin şematik gösterimi. ....	25
Şekil 5.1.	Deneyisel çalışma için tasarlanan buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi. .....	26
Şekil 5.2.	Hava nemi ve sıcaklığı ölçüm cihazı.....	27
Şekil 5.3.	Sıcaklık ölçüm cihazı .....	28
Şekil 5.4.	Enerji sarfiyat ölçüm cihazı.....	29
Şekil 5.5.	Titreşim sensörü. ....	30
Şekil 5.6.	Mikro denetleyici cihaz. ....	30
Şekil 6.1.	Fanlı çalışma hali için deney sonuçları .....	33
Şekil 6.2.	Fanlı, nemlendiricili çalışma hali için deney sonuçları .....	34
Şekil 6.3.	Fanlı, nemlendiricili, titreşimli çalışma hali için deney sonuçları.....	35
Şekil 6.4.	Ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması .....	36
Şekil 6.5.	Enerji tüketim miktarının karşılaştırılması.....	37
Şekil 6.6.	Buharlaştırıcı yüzeyindeki buz tabakalarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 6.7.	Buharlaştırıcı kızgınlıklarının karşılaştırılması. ....	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 5.1. Çalışma ekipmanlarının numara ve isimleri .....	27
Çizelge 5.2. Hava nemi ve hava sıcaklığı ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	27
Çizelge 5.3. Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri .....	28
Çizelge 5.4. Enerji sarfiyatı ölçüm cihazının teknik özellikleri. ....	29
Çizelge 5.5. Titreşim sensörüne ait teknik özellikler. ....	29
Çizelge 5.6. Mikro denetleyiciye ait teknik özellikler .....	30
Çizelge Ek A.1. Fanlı çalışma hali deney sonuçları.....	46
Çizelge Ek A.2. Fanlı, nemlendiricili çalışma hali deney sonuçları. ....	47
Çizelge Ek A.3. Fanlı, nemlendiricili, titreşimli çalışma hali deney sonuçları.....	48

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Son yıllarda enerji tasarrufu hakkındaki artan bilinç, teknolojik gelişmelerin gidişatını önemli derecede etkilemiştir. Enerji kaynaklarımızın giderek tükenmesi, ekonomik maliyetlerinin artması ve fosil yakıt kullanımının çevre üzerindeki etkilerinin yarattığı endişe hayatın her alanında daha yüksek enerji verimliliği elde edebileceğimiz yollar aramamız için bizi teşvik etmiştir.

İklimlendirme ve soğutma sistemleri insan konforundan ilaç ve gıda muhafazasına birçok alanda yaygın olarak kullanılır. İklimlendirme ve soğutma sistemleri dünyanın önde gelen enerji tüketim araçlarıdır ve toplam enerji kullanımında ciddi bir paya sahiptir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınladığı rapora göre Türkiye’de tüketilen enerjinin yaklaşık %35’i binalardan kaynaklıdır. Binalarda tüketilen bu enerjinin %85’i ise ısıtma ve soğutmada kullanılmaktadır [1]. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri küresel enerji tüketiminin %15’ini oluşturmaktadır [2]. Isıtma ve soğutmanın enerji tüketimindeki payına bakıldığında, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde yapılacak küçük ölçekli iyileştirmeler bile büyük farklar yaratabilir. Bu veriler göz önüne alındığında enerji tasarrufu bakımından en çok iyileştirmenin yapılması gereken alanlardan birisi iklimlendirme ve soğutma sistemleridir.

İklimlendirme ve soğutma sistemlerinde karşılaşılan yaygın sorunlardan birisi kanatlı borulu buharlaştırıcılarda meydana gelen buzlanmadır. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı havanın çiğlenme sıcaklığının ve suyun donma sıcaklığının altında olduğunda buz oluşumu kaçınılmazdır. Başlangıçta buzlanma, buharlaştırıcının yüzey pürüzlülüğünü artırması nedeniyle ısı transferinde artışa neden olur. Ancak, buzlanma devam ettikçe buharlaştırıcının kanat aralarını tıkanır. Bu nedenle hava akışı ve ısı transferi azalır. Buzlanmayla birlikte verimi düşen sistemin elektrik tüketimi artar. Bu sorunun giderilmesi için periyodik olarak buz çözdürme yöntemlerinin uygulanması

gerekmektedir. Buz çözdürme işlemi, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin normal çalışma koşullarına dönmesi sağlar. Ancak bu işlem hem ek enerji tüketimine hem de buz çözdürme sürecinde konfor şartlarının bozulmasına neden olur.

Buz oluşumunu önlemek ve buz çözdürme işlemi için yıllar içinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Buz oluşumunu önlemeye dayanan yöntemler pasif yöntemler olarak adlandırılır ve yüzey morfolojisini kullanarak buharlaştırıcı yüzeyinde buzlanmanın oluşmasını engellemeyi amaçlar. Enerji tüketerek buharlaştırıcıda oluşan buzlanmanın çözdürülme yöntemleri ise aktif yöntemler olarak adlandırılır. Evsel ve endüstriyel iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde genellikle sıcak gaz ve elektrikli ısıtıcılar ile buz çözdürme yöntemleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan sıcak gaz ve elektrikli ısıtıcılar ile buz çözdürme yöntemlerinin hem avantajları hem de dezavantajları vardır [3].

Sıcak gaz ile buz çözdürme işleminin en büyük avantajı elektrikli ısıtıcılar ile buz çözdürme yöntemine göre daha az enerji tüketmesidir. Ayrıca daha kısa buz çözdürme süresi sağladığı için iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin devre dışı kaldığı sürenin daha kısa olmasını sağlar. Ancak buz çözdürme işlemi sırasında soğutulmuş mahalde sıcaklık dalgalanmaları ve kompresör arızaları görülebilir.

Elektrikli buz çözdürme işlemi ise sıcak gaz buz çözdürme yöntemine göre nispeten daha ucuz olmasına rağmen hem buz çözdürme süresi daha uzundur hem de ısıtıcıların yüksek güç girişi sebebiyle daha fazla enerji tüketir. Buharlaştırıcı yüzeyine yerleştirilen elektrikli ısıtıcıların yüzeylerinde de buzlanma meydana gelir. Bu sebeple hem buharlaştırıcı hem de ısıtıcı yüzeyindeki buzun çözdürülmesi için enerji tüketilir [4].

Evsel ve endüstriyel iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bu buz çözdürme yöntemlerinin dezavantajları göz önüne alındığında alternatif bir buz çözdürme yöntemlerine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Ultrasonik titreşim yöntemi ile buz çözdürme işleminin iklimlendirme sistemi buharlaştırıcısı üzerindeki etkisinin araştırılması ve deneysel olarak incelenmesi, bu

tez çalışmasının konu olacaktır. Bu bağlamda, ultrasonik titreşim ile buz çözme işlemi hakkında yapılan çalışmalar incelenecektir. Daha sonra hazırlanan buhar sıkıştırma soğutma çevriminde deneyler yapılarak sonuçları değerlendirilecektir.

Yaygın olarak kullanılan buz çözme işlemlerinden yukarıda kısaca bahsedilmiştir. Bu yöntemlerin dezavantajlarına bakıldığında, buz çözme işlemi için ek enerji tüketiminin olduğu ve bu işlem sırasında sistem performansının düştüğü görülmektedir. Düşük enerji tüketimli ve ek ısıtma gerektirmeyen buz çözme yöntemi olarak ultrasonik titreşimlerin kullanılmasının bu yöntemlere alternatif olması amaçlanmıştır.

Son yıllarda ultrasonik titreşimlerin buz çözme işleminde kullanılması dikkat çekmiştir. Umut vadeden bir yöntem olmasına rağmen ultrasonik titreşim ile buz çözme mekanizması hakkında henüz bir fikir birliği sağlanamadığı için yapılan araştırmalar ve deneyler sınırlıdır. Farklı teknikler kullanılarak yapılan sınırlı sayıda çalışma olmasına rağmen hepsinin ortak noktası yüksek frekanslı ultrasonik titreşimlerin buharlaştırıcı yüzeyindeki buz oluşumunu önemli ölçüde geciktirdiğidir [5]. Yapılan çalışmaların sınırlı olması nedeniyle, ultrasonik titreşimlerin buz çözme işleminde kullanılması hakkında daha fazla araştırma ve deneysel çalışma yapılması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının, birinci bölümü olan giriş kısmında, enerji tasarrufunun öneminden, yaygın olarak kullanılan buz çözme yöntemlerinin avantajlarından ve dezavantajlarından, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde çalışmanın devamlılığı ve enerji tasarrufu için alternatif buz çözme yöntemlerine olan ihtiyaçtan kısaca bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, ultrasonik titreşimler kullanılarak yapılan buz çözme deneylerine ait yapılan literatür taramasına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, iklimlendirme ve soğutma sistemlerin tanımları yapılmış, deney düzeneğinde de kullanılan buhar sıkıştırma soğutma çevriminin detaylarına yer verilmiştir. Ayrıca yaygın olarak kullanılan iklimlendirme ve soğutma sistemlerinden

bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise buz çözme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, deneysel çalışmada kullanılan deney setinden, ölçüm cihazlarından ve deneyin nasıl yapıldığından bahsedilmiştir.

Altıncı bölümde deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerden oluşturulan grafikler verilmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

Yedinci ve son bölümde deneysel çalışmaların nihai sonuçlarından elde edilen bulgular yorumlanarak tez çalışması sonlandırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışması için yapılan literatür araştırmasında iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde bulunan buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzlanma için buz çözme yöntemlerinin araştırıldığı güncel kaynaklar incelenmiştir.

Jeong ve arkadaşları tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada, ev tipi buzdolaplarında buz çözme işleminde tüketilen enerjinin azaltılması için buz çözme ısıtıcılarının güç optimizasyonu hakkında deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada buharlaştırıcıdaki buzun dağılımı deneysel olarak ölçülmüş ve buzlanmaya karşılık gelen buz çözme enerjisi hesaplanmıştır. Buz çözme ısıtıcılarının buzlanma üzerindeki etkisi, buharlaştırıcının ısı miktarı ölçülerek hesaplanmıştır. Güç optimizasyonu ile ısıtıcıların gerekli enerjiyi buharlaştırıcı yüzeyine vermesi ve atık ısıyı en aza indirmesi sağlanmıştır. Optimum ısıtıcı gücünde, buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının ulaştığı en yüksek sıcaklık düşürülmüştür. Bununla birlikte buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının dağılımı dengeli hale gelmiştir. Güç optimizasyonu sayesinde ısıtıcı gücü ve buz çözme süresinin azaldığı ve buz çözme verimliliğinin %6,7'ye kadar arttığı görülmüştür. [6].

Du ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada, farklı genişleme valfi açıklığına sahip R290 hava kaynaklı ısı pompasının buz çözme özellikleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda genişleme valfinin açıklığının artmasıyla buz çözme süresinin arttığı görülmüştür. Genişleme valfi açıklığı 120 iken buz çözme işleminde yağ tıkanması, açıklık 480 iken tekrar ısıtma işlemi başlangıcında yağ tıkanması meydana geldiği görülmüştür. Genişleme valfi açıklığının seçimi, ısıtma ve buz çözme işlemlerinin güvenliğini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir [7].

Wang ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada, hava kaynaklı transkritik  $CO_2$  akışkanlı ısı pompasında sıcak gaz ile buz çözme yöntemi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada, buz çözme işlemi sırasında basınç ve sıcaklığın dinamik özellikleri  $2^{\circ}C$  ortam sıcaklığında incelenmiştir.  $2^{\circ}C$  ortam sıcaklığında, buz çözme süresi 430 saniye sürmüştür.  $2^{\circ}C$  ortam sıcaklığında buz çözme işlemi sırasında ısı besleme hızında dalgalanma ve artış görülmüştür. Eriyen buz için enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %49'unu oluşturmuş ve 2659,5 kJ olarak ölçülmüştür.  $2^{\circ}C$  ve  $-7^{\circ}C$  ortam sıcaklıklarında buz çözme işlemleri arasında 170 saniye zaman farkı görülmüştür.  $7^{\circ}C$  ile  $-12^{\circ}C$  arasında değişen ortam sıcaklıklarında, buz çözme işleminin süresi deneysel test süresinin %10'undan daha az ölçülmüştür. Buz çözme işleminin verimi %41,16 ile %50,84 olarak değerlendirilmiştir [8].

Niu ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada, soğuk hava deposu için çoklu buharlaştırıcı sıcak sıvı buz çözme yöntemi tasarlanmış ve deneysel araştırmaları yapılmıştır. Buz çözme işleminin başlangıcında kompresörün buhar emiş basıncında ve sıcaklığında düşüş görülmüştür. Buhar emiş basıncında düşüş devam etmiş ancak sıcaklıkta artış ölçülmüştür. Buz çözme işleminin sonuna kadar sıvı soğutucu akışkan sıcaklığında sabit artış görülmüştür. Çoklu buharlaştırıcı sıcak sıvı buz çözme işleminde, en az soğutma kapasitesinin 3,3 kW ölçülmüştür. Soğuk depolama sıcaklığı  $-10^{\circ}C$  ve bağıl nemin %70 ila %90 olduğu çalışma şartlarında  $COP_c$  en fazla 3,2 ve 3,1 değerinde olacağı görülmüştür [9].

Zhao ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada, no-frost buzdolaplarında buz çözme performansını artırmak için geliştirilen yöntemler incelenmiştir. Donma kabinlerine soğutma döngülerinde açılan ancak buz çözme işlemi sırasında kabine sıcak hava girişini engellemek için kapanan fan kapakları konulmuştur. Buharlaştırıcı yüzeyine 180 W ve 60 W güce sahip iki adet ısıtıcı konulmuştur. Deneysel çalışmanın sonucunda, fan kapağı ve çift ısıtıcı ile buz çözme işleminin süresi 4,5 dakika ve donma kabinin sıcaklık artışını  $2,7^{\circ}C$  azalttığı görülmüştür. Bununla birlikte buzdolabının enerji tüketiminde %1,2'lik azalma ölçülmüştür [10].

Wang ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, elektrikli buz çözdürme ve ters çevrimli buz çözdürme yöntemlerine dayanan, soğuk hava depolarında kullanılmak üzere yeni bir buz çözdürme cihazı tasarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda tasarlanan cihazın elektrikli buz çözdürme yönteminde enerji tüketimini %20 oranında, ters çevrimli buz çözdürme yönteminde ise %27,2 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca ters çevrimli buz çözdürme yönteminin tasarlanan cihaz kullanılmadığı durumlarda bile elektrikli buz çözdürme yöntemine göre daha fazla enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür [11].

Liu ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, dış ünitenin buzunu çözdürmek için depolanan güneş enerjisini kullanan yeni bir güneş destekli ısı pompası sistemi tasarlanmıştır. Sistem birisi gündüz güneş ısını toplayan diğeri gece buz çözdürme işleminde kullanılan iki adet su deposu içermektedir. Yapılan deney sonuçlarına göre yeni sistemin performans katsayısının (COP) ters çevrimli buz çözdürme yöntemi kullanan geleneksel ısı pompasına göre %82 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [12].

Melo ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, üç farklı tipte (dağıtılmış, kalrod ve cam tüp) elektrikli ısıtıcı ve üç çalışma moduna (tümleşik güç, güç kademeleri ve titreşimli güç) sahip test düzeneği ile ev tipi buzdolaplarındaki buz çözdürme sisteminin performansı incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonucunda, kademeli çalışma modunda en yüksek buz çözdürme verimi yaklaşık %48 ile cam tüplü ısıtıcılı buz çözdürme yönteminde ölçülmüştür. Ancak buz çözdürme süresi ve buz çözdürme işleminden sonra dondurucu hava sıcaklığının daha yüksek olduğu görülmüştür. Kalrod ısıtıcılı buz çözdürme yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha ucuz ve kurulumunun daha kolay olduğu görülmüştür. Kademeli güç azaltma çalışma modunda, kompresörün uzun süre kapalı kalabileceği ve soğutucu bölmelerde sıcaklık artışına, buz çözdürme işlemi sonrası kompresörün daha uzun süre çalışmasına neden olacağı öngörülmüştür [13].

Jang ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, kış şartlarında çalışan hava kaynaklı bir ısı pompasının dış ısı değiştiricisindeki buzlanmayı gidermek için sıcak gaz baypas valfinin kullanılması incelenmiştir. Tasarlanan çift sıcak gaz

püskürtmeli buz çözme yönteminde en etkili baypas sıcak gaz akış hızının, buz çözme işleminde kullanılan toplam soğutucu akışkan hızının yaklaşık %50'si olduğu görülmüştür. 4 saatlik deneysel çalışmada toplam ısıtma kapasitesi %17 ve giriş gücü %7,8 oranında artırılmıştır. Çift sıcak gaz püskürtmeli buz çözme yöntemi, geleneksel ters çevrimli buz çözme yöntemiyle kıyaslandığında enerji veriminde %8 oranında artış ölçülmüştür. Enerji verimliliğinin, buz çözme işlemi sırasında aynı ısıtma kapasitesine sahip elektrikli ısıtıcılarla yapılan buz çözme yöntemine göre %27 oranında arttığı görülmüştür [14].

Jing ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, sert ve esnek süperhidrofobik yüzeylerin buzlanma ve buz çözme işlemine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda temas açılarının büyümesiyle enerji bariyerinin büyümesi arasındaki doğrusal ilişkiye dayanarak, aşırı soğuma derecesinin temas açısına bağlı olduğu doğrulanmıştır. Yüzey enerjisinden etkilenen ilk buz çekirdeklenmesinden sonra farklı buzlanma yapılarının olduğu görülmüştür. Buz çözme işleminden sonra, sert süperhidrofobik yüzey bu özelliğini tekrar kazanmıştır. Ancak esnek süperhidrofobik yüzeyin bu özelliğini tekrar geri kazanmadığı görülmüştür. Sert süperhidrofobik yüzeyde buz tabakası, hidrofilik bir ortamın özelliklerini göstermiş ve su damlacıklarının yüzeyde yarı kararlı durumda kalmasına yardımcı olmuştur. Deneysel çalışmanın sonucunda, sert süperhidrofobik yüzeyin tekrarlanan buzlanma ve buz çözme döngülerinde özelliklerini korumaya devam ettiği görülmüştür [15].

Wenju ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, hava kaynaklı ısı pompalarında ters çevrimli sıcak gaz buz çözme yönteminin işletim performansı üzerine deneysel incelemeler yapılmıştır. Deneysel çalışmada termal enerji depolamayı kullanan prototip hava kaynaklı ısı pompası kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, prototip ısı pompasında buz çözme süresinin yaklaşık 3 dakika veya %38 oranında kısalmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Geleneksel ters çevrimli sıcak gaz buz çözme yöntemine kıyasla kompresörün emme basıncını yaklaşık 200 kPa artırdığı ölçülmüştür. Termal enerji tabanlı ters çevrimli sıcak gaz buz çözme yöntemi kullanıldığında, geleneksel ters çevrimli sıcak gaz buz çözme yöntemine kıyasla ortalama iç bobin yüzey sıcaklığının yaklaşık 25 K yüksek olduğu ölçülmüştür. Geleneksel ters çevrimli sıcak gaz buz çözme yöntemine kıyasla, termal enerji

tabanlı ters çevrimli sıcak gaz buz çözme yönteminin kullanılması, iç mekân termal ortamına daha az etkilediği görülmüştür. Ayrıca buz çözme işleminden sonra alan ısıtmaya yeniden başlama süresinin daha hızlı olduğu görülmüştür [16].

Choi ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, havadan havaya ısı pompasının dış ısı değiştiricisinde buzlanmayı gidermek için ikili sıcak gaz baypas buz çözme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, kompresörden gelen sıcak gaz iki baypas hattından geçirilmiştir. Baypas hatlarından birisi dış mekândaki ısı değiştiricinin girişine, diğeri ısı değiştiricinin çıkışına bağlanmıştır. İkili sıcak gaz baypas yönteminde, buz çözme işlemi başladıktan sonra erime donma aşamasında kompresör çıkış sıcaklığında olan keskin düşüşleri önlemediği görülmüştür. Bu yöntemde geleneksel sıcak gaz bur çözme yöntemine kıyasla daha yüksek kompresör çıkış basıncı ölçülmüştür. Ayrıca buz çözme süresinin %36 oranında azaldığı görülmüştür. Geleneksel ters çevrimli buz çözme yöntemiyle karşılaştırıldığında, enerji verimliliği açısından %13 daha iyi olduğu görülmüştür [17].

Tan ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, hava kaynaklı ısı pompasının buharlaştırıcısındaki buzlanma için aralıklı ultrasonik titreşim kullanan yeni bir buz çözme yöntemini incelenmiştir. Yapılan deneylerde MATLAB yazılımı kullanılarak ortalama buz kalınlığını hesaplanmış, buz çözme yöntemi için harcanan enerjideki azalma, ısıtma kapasitesindeki artış ve performans katsayısındaki artış analiz edilmiştir. Deneyler sonucunda 50 W güç ve 40 kHz titreşim uygulandığında çift sıra kanatlı borulu buharlaştırıcıda buz çözme alanının  $0,165 m^2$  olduğu görülmüştür. Hava kaynaklı ısı pompasında ultrasonik titreşimli buz çözme yöntemi kullanıldığında, bu yöntemi kullanmayan sisteme göre enerji tüketiminin %3,14-5,46 düştüğü, ısıtma kapasitesinin %2,2-9,03 ve COP değerinin %6,51-15,33 artışı hesaplanmıştır [18].

Li ve Chen tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada soğuk hava akışında bulunan dik bir yüzeye uygulanan ultrasonik titreşimin yüzey üzerindeki buzlanmaya etkisi incelenmiştir. 60 W güç ve 20 kHz ultrasonik titreşim uygulanması halinde 2-30 mm içinde farklı çaplardaki buz taneciklerinin yüzeyden uzaklaştırılabildiği tespit

edilmiştir. Bununla birlikte ultrasonik titreşim tarafından tetiklenen ısıtma etkisinin buz taneciklerinin uzaklaştırılmasında sınırlı bir etkisi olduğu görülmüştür [5].

Wang ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada ultrasonik titreşimler kullanarak alüminyum kanatçık yüzeyi hidrofobik malzeme ile kaplanan kanatlı borulu buharlaştırıcının yüzeyinde buz oluşumu incelenmiştir. Gözlemler sonucunda ultrasonik titreşimlerin, buz kristallerini oluşmaya başladığı zaman buharlaştırıcı yüzeyinden uzaklaştırdığı görülmüştür. Ancak sistemin çalışması devam ettikçe yüzeyde biriken buz tabakasının kalınlaştığı ve titreşimlerin yeterli buz temizlemek için yeterli gelmediği tespit edilmiştir [19].

Li ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada atmosferik hava akışında bulunan bir yüzeyde titreşimli ve titreşimsiz durumlarda buz oluşumu incelenmiştir. 20 kHz ultrasonik titreşim etkisinde kalan yüzeyde oluşan buz tabakasının kalınlığının titreşim etkisi olmayan duruma göre daha ince olduğu tespit edilmiştir. Test koşullarında ultrasonik titreşim ile yüzeydeki buz oluşturacak su damlacıklarının %65 oranında uzaklaştırılabildiği tespit edilmiştir [20].

## BÖLÜM 3

### İKLİMLENDİRME VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ

#### 3.1. SOĞUTMA SİSTEMLERİ

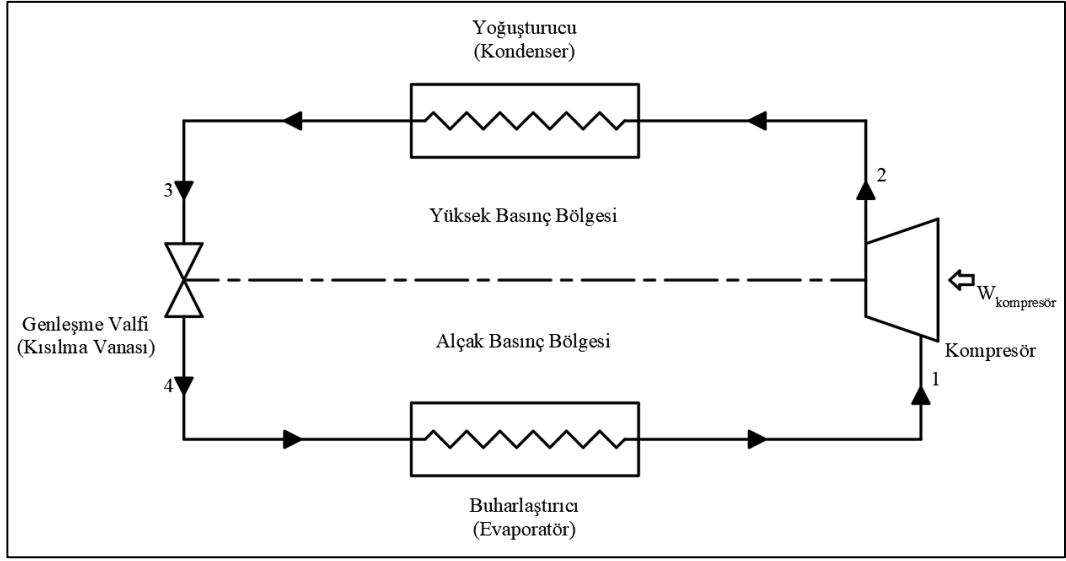
Bir mahalın veya maddenin sıcaklığını, bulunduğu ortam sıcaklığının altına indirmek ve bu sıcaklığın muhafaza edilmesi işlemine soğutma denir. Soğutma işleminin gerçekleşmesi için mahalden veya maddeden alınan ısının başka bir ortama veya maddeye verilmesi gerekmektedir [21].

Termodinamiğin ikinci yasasına göre yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğru ısı aktarımı doğal olarak gerçekleşir. Ancak ısının düşük sıcaklık bölgesinden yüksek sıcaklık bölgesine aktarılması için enerji harcanması gerekir. Bu işlemi için soğutma makineleri adı verilen özel makineler kullanılır. Soğutma makinelerine evlerimizdeki klima ve buzdolapları örnek verilebilir [22].

Soğutma makinaları termodinamik çevrimlere göre çalışırlar ve en yaygın kullanılan çevrim buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimidir. Sonraki başlıklarda bu çevrimin temel özelliklerinden ve veriminin artırılması için geliştirilmiş teknolojilerden bahsedilecektir.

##### 3.1.1. Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi

Temel bir buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin ana bileşenleri kompresör, yoğunlaştırıcı (kondenser), buharlaştırıcı (evaporatör) ve genişleme valfi (kısılma vanası) olarak sıralanabilir. Çevrimde ısı aktarımını sağlamak için kullanılan iş akışkanını soğutucu akışkan olarak adlandırılır. Çevrimin ana bileşenleri ve soğutucu akışkanın izlediği yol Şekil 3.1'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Soğutma çevriminin şematik görünümü [22].

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde; buharlaştırıcıdan alınan düşük basınçlı soğutucu akışkan buhar halinde kompresöre girer. Kompresörde yoğuşturucu basıncına kadar sıkıştırılır ve yüksek basınçlı kızgın buhar olarak yoğuşturucuya gönderilir. Yoğuşturucu borularından geçerken ısınıp ortama veren soğutucu akışkan soğur ve sıvı hale gelir. Daha sonra genleşme valfine girer ve kısılma etkisiyle basıncı düşer. Genleşme valfi çevrimi yüksek ve alçak basınç bölgelerine ayırır. Basıncı düşüşü nedeniyle sıvı haldeki soğutucu akışkanın bir kısmı buhara dönüşür. Sıvı-buhar karışımı halinde buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkan, ortamdan ısı çekerek buharlaşır ve tekrar kompresör tarafından emilir. Böylece çevrim tamamlanmış olur [22].

### 3.1.2. Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Çevrimi İçin Enerji Verimliliği Teknolojileri

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin kullanım yaygınlığı göz önünde bulundurulduğu zaman enerji tüketimini azaltmak için verimliliğini artırmak önemlidir. Yapılan araştırmada buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin verimliliği hakkında çok sayıda çalışma yapıldığı ve bazı teknolojilerin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu teknolojiler arasında radyatif soğutma, soğuk enerji deposu uygulamaları, buz oluşumu önleme ve buz çözme yöntemleri, sıcaklık ve nemden bağımsız klima sistemleri, toprak kaynaklı ısı pompası, aşırı soğutma (subcooling)

uygulamaları ve yoğuşmalı ısı geri kazanım teknolojileri vardır. Bu teknolojiler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Radyatif soğutma, normal şartlar altındaki bir maddenin kendinden daha soğuk dış alana ısı yayarak sıcaklığını düşürmesidir. Enerji tüketmeden ve kirlilik yaymadan sağlanan bu soğutma hem enerji tasarrufu için hem de çevresel endişeleri azaltmak için alternatif bir yöntemdir.

Soğuk enerji depolama teknolojisi, üretilen enerjinin su, buz, tuz hidratları gibi maddelerde depolanması ve kullanım anında serbest bırakılmasıdır. Enerji tesislerinin üzerindeki güç talebinin azaltılmasının yanı sıra yoğun kullanım olmayan zamanlarda üretilen enerjinin depolanması ile maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur.

Sıcaklık ve nemden bağımsız klima sistemlerinde, duyulur soğutma yükü ile gizli soğutma yükü için geleneksel sistemlerin aksine ayrı işlemler uygulanır. Gizli soğutma yükü için havanın nemi sıvı veya katı kurutuculardan geçirilerek alınır. Duyulur soğutma yükü ise buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde daha yüksek buharlaşma sıcaklığında işleme tabi tutulur. Bu işlemler ile sistemin verimi artar ve enerji tasarrufu sağlanır.

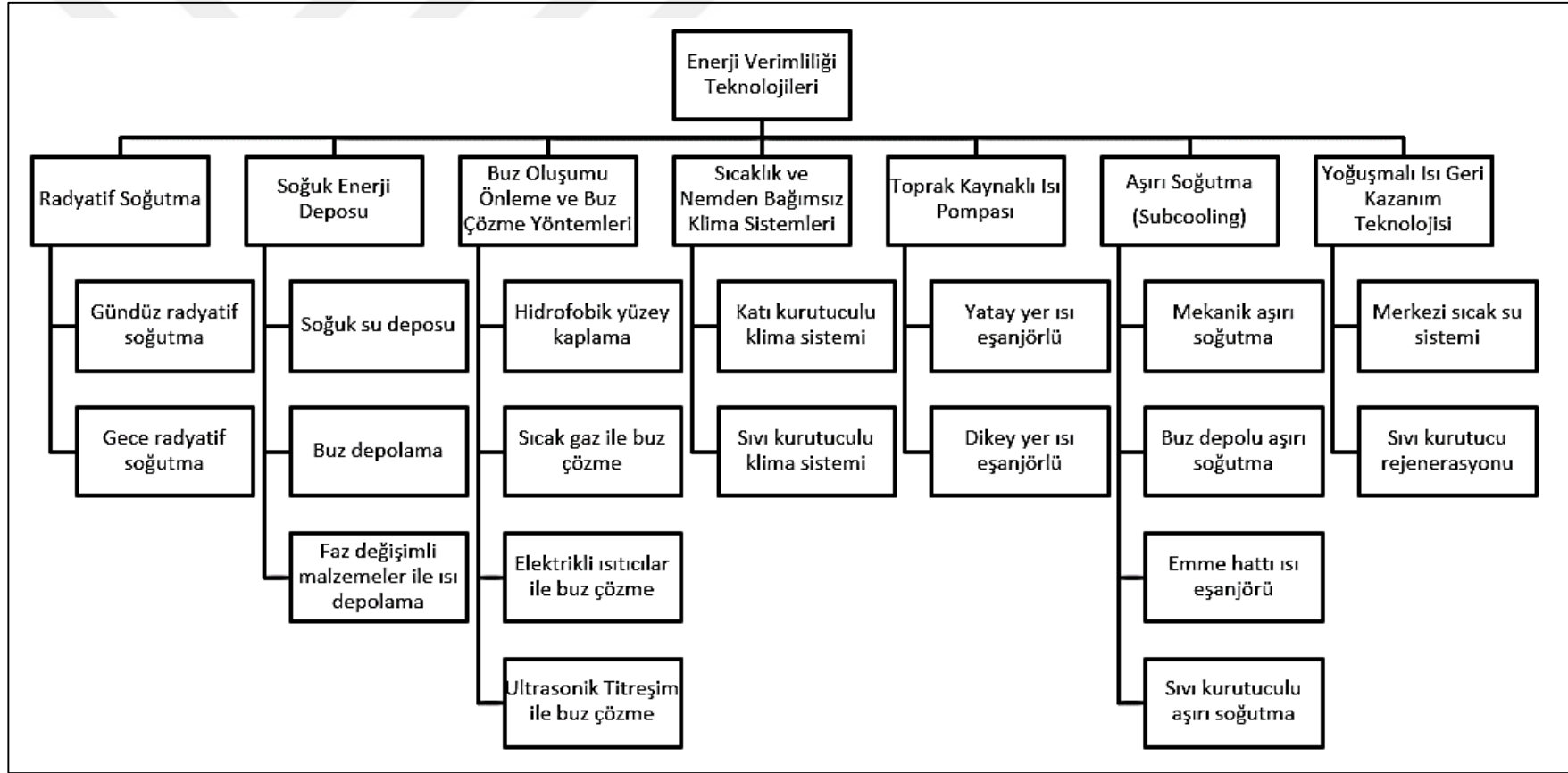
Toprak kaynaklı ısı pompası ile yapılan soğutma işlemi, yaz mevsiminde toprağın havadan daha düşük bir sıcaklığa sahip olduğu için soğutma kaynağı olarak kullanılması prensibine dayanır. Birincil enerji kaynağı tüketimini ve sera gazı salınımını azaltması nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla tercih edilen soğutma sistemlerindedir.

Aşırı soğutma (subcooling) işlemi, buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinin soğutma kapasitesini artırır. Bununla birlikte genleşme valfinden yaşanan kayıpların azaltılmasını sağlayarak sistemin verimliliğini artırır.

Yoğuşmalı ısı geri kazanım teknolojileri, soğutma sisteminde bulunan soğutma kapasitesinin yaklaşık %25’i kadar bulunan yoğunlaşma ısısının geri kazanımına

dayanır. Bu ısının bir kısmının veya tamamının geri kazanım ile kullanılması enerji tasarrufuna katkı sağlar [2].

Isı değiştiricilerin yüzey sıcaklığı 0°C'nin altına düştüğünde yüzeylerinde buz oluşumu kaçınılmazdır. Buzlanmanın artması ile ısı değiştiricinin ısı transfer kapasitesi azalır. Bu durum soğutma sisteminin verimliliğine önemli ölçüde zarar verir. Klasik buz çözme yöntemleri yüksek miktarda enerji tüketir. Bu sebeple enerji tasarruflu buz çözme yöntemleri veya buz oluşumunu engelleyecek yöntemler üzerinde çalışılması gerekir. Bu tez çalışmasının bir sonraki bölümünde en sık kullanılan klasik buz çözme yöntemlerinden detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Ayrıca alternatif bir yöntem olan ultrasonik titreşim ile buz çözme yöntemi için yapılan deney çalışmasında bahsedilecektir.



Şekil 3.2. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi için enerji verimliliği teknolojileri [2].

## 3.2. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

İklimlendirme, bir mahaldeki havanın istenilen koşullara ulaştırılabilmesi için ısıtma, soğutma, nemlendirme veya nem alma gibi termodinamik işlemlerden geçirilmesidir. Hava, iklimlendirmenin en önemli ögesidir. Çünkü konfor taşıyıcı akışkan olarak sadece hava kullanılır ve tüm termodinamik işlemler hava üzerine yapılır.

İklimlendirme sistemleri insanların, hayvanların ve bitkilerin konfor seviyesini artırmak ve muhafaza etmek için kullanılır. Ayrıca belirli çevre koşullarında bulunması gereken makine ekipmanlarının sağlıklı çalışması ve üretilen ürün için uygun hava koşullarının sağlanması için endüstriyel uygulamalarda kullanılır. En yaygın kullanım alanları ameliyathaneler, ilaç üretim tesisleri, laboratuvarlar, petrokimya tesisleri, havaalanları, fabrikalar, soğuk hava depoları ve gıda endüstrisidir [23].

İklimlendirme sistemlerinin kullanım alanına bakılmaksızın beş temel görevi vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Isıtma
- Soğutma
- Nem kontrolü
- Havanın sirkülasyonu
- Havanın temizlenmesi [21].

İklimlendirme sistemleri bireysel iklimlendirme ve merkezi iklimlendirme olarak iki ana başlığa ayrılabilir. Bu bölümde en yaygın kullanılan iklimlendirme sistemlerinden bahsedilmiştir.

### 3.2.1. Çatı Tipi Klima Santrali

Çatı tipi klima santralleri iç ve dış ünitenin bir arada bulunduğu hava koşullandırıcılardır. Isının alındığı ve verildiği ortam hava olduğu için havadan havaya tip iklimlendiriciler olarak da adlandırılabilirler. Bu cihazlarda soğutma ve ısıtma

çevrimi aynı ünitenin içerisinde gerçekleşir. Ana kullanım alanları restoranlar, konferans salonları, hastaneler, endüstriyel binalar gibi geniş ölçekli yapılar olan bu cihazlar soğutma, ısıtma, havalandırma ve nem kontrolünü kapsayan iklimlendirme sağlarlar.

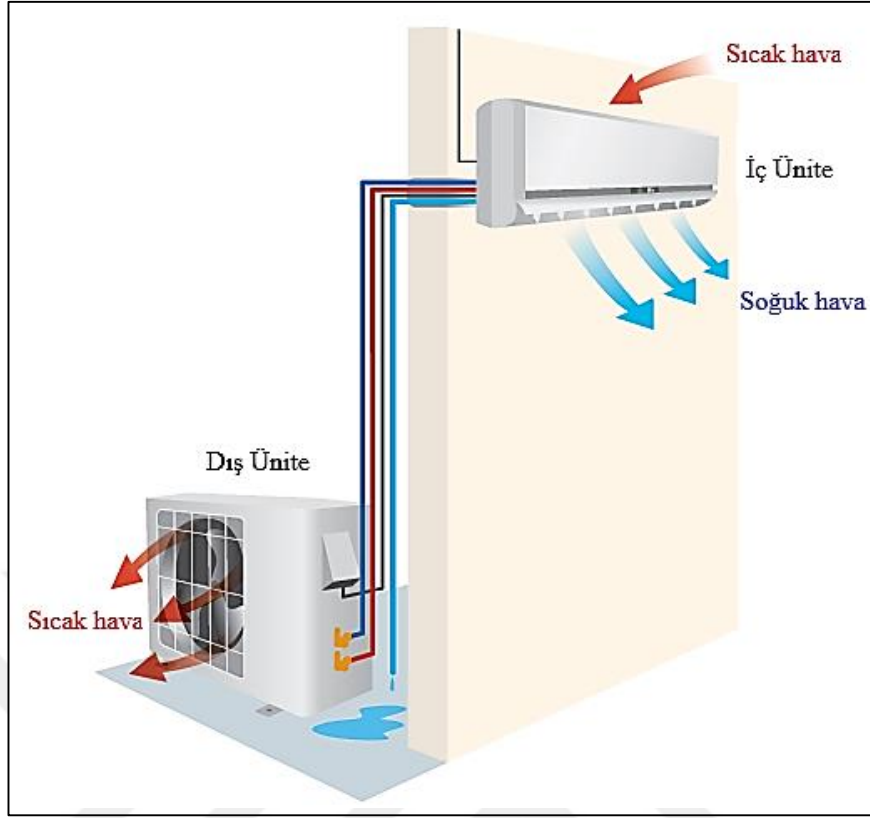
Çatı tipi klima santrallerinin soğutma ve hem soğutma hem ısıtma yapabilen iki ana çeşiti vardır. Cihaz tersine çevrimle ısı pompası olarak çalıştırıldığında ısıtma işlevini yerine getirir. Soğutma işlevinde ise iç ortam tarafındaki batarya buharlaştırıcı, dış ortam tarafındaki batarya yoğunlaştırıcı işlevi görerek ısı iç ortamdan alınır dış ortama atılır [24]. Şekil 3.3'te çatı tipi klima santrali gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çatı tipi klima santrali [25].

### 3.2.2. Split Tip Klima Santrali

İklimlendirme sistemi elemanlarının, birbirinden bağımsız iki ya da daha fazla gövde içerisine yerleştirilerek oluşturulan hava koşullandırıcıları split tip klima santrali olarak adlandırılır. Split klimalar, iklimlendirilmek istenen ortama konan buharlaştırıcının bulunduğu iç ünite ve dış ortama konan yoğunlaştırıcının bulunduğu dış ünitelerden oluşur. Bu iki ünite soğutucu akışkanın devrini sağlayan bakır boru ve elektrik kabloları ile birbirine bağlanır. Şekil 3.4'te split tip klima santrali gösterilmiştir.



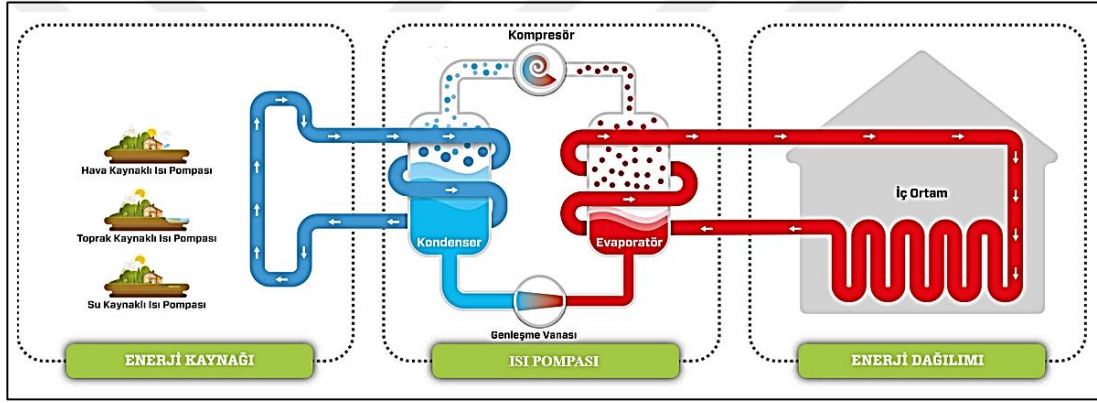
Şekil 3.4. Split tip klima santrali [26].

Genellikle ortam soğutma amacıyla kullanılan split klimalar dört yollu vana yardımıyla ısıtma yapmak için de kullanılabilir. Isıtma amacıyla kullanılan split klimalarda, dört yollu vana ile soğutucu akışkanın yönü değiştirilir. Soğutucu akışkan dış ünite de buharlaşırken çektiği ısıyı, iç ünite de yoğuşurken ortama vererek ısıtma yapılmasını sağlar [27,28].

Split klimalar ısıtma amacıyla (kış modunda) kullanılırken, dış ünite de dolaşan soğutucu akışkanın sıcaklığının dış hava sıcaklığından daima düşük olması gerekmektedir. Dış hava sıcaklığının düşmesine bağlı olarak yoğuşturucu yüzeyinde buzlanma meydana gelir. Yoğuşturucu yüzeyinde meydana gelen buzlanma ile sistemin verimi düşmeye başlar. Bu tip durumlarda sistem ters çevrimde (yaz modunda) çalıştırılarak buz çözme işlemi yapılmalıdır. Yoğuşturucu yüzeyindeki buz oluşumu, dış hava sıcaklığı, nem seviyesi, soğutucu akışkanın miktarı ve cihazın çalışma süresi gibi etmenlere bağlıdır.

### 3.2.3. Isı Pompalı Sistemler

Isı pompası, dışarıdan enerji verilerek düşük sıcaklıktaki ısı enerji kaynağından çektiği ıyı yüksek sıcaklıktaki ortama taşıyan bir makinedir. Isı pompaları soğutma makineleri gibi buhar sıkıştırma çevrim prensibiyle çalışırlar. Ancak soğutma çevriminden farklı olarak ısı pompalarında yoğurtucudan çekilen ısı evsel uygulamalarda sıcak su üretimi ve ısınmada, endüstriyel uygulamalarda ise ısı geri kazanımı, kurutma, buharlaştırma gibi proseslerde kullanılır. Isı pompalı sistemlerde genel amaç ısıtma olsa bile soğutma amacıyla da kullanılabilirler. Şekil 3.5'te ısı pompasının çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Isı pompasının çalışma prensibi [29].

Isı pompalı sistemlerde buharlaştırıcının enerji çektiği ortamlara ısı kaynağı denir. Ulaşılabilirlik açısından en çok tercih edilen kaynak çevre havasıdır. Hava kaynaklı ısı pompaları kaynak açısından tercih edilebilir görünse bile birçok dezavantajı vardır. Hava sıcaklığının çabuk değişmesi, buharlaştırıcıda ısı geçişinin düşük olması ve buharlaştırıcı yüzeyindeki buzlanma problemi sistemin en önemli sorunudur. Hava sıcaklığının değişiminden kaynaklı sorunlar için enerji harcayarak hava sıcaklığını artıracak yardımcı sistemler kullanılabilir. Isı geçişini artırmak için buharlaştırıcı yüzeyi genişletilebilir ve fanlardan yararlanılabilir. Nemli ve düşük sıcaklıklı çalışma ortamlarında hava içindeki nemin buharlaştırıcı yüzeyinde oluşturduğu buz tabakasını engellemek için buz çözdürme işlemi yapılmalıdır. Ek bir sistem kurulmadan ısı pompası soğutma düzeninde çalıştırılarak buz çözdürme işlemi yapılabilir fakat bu sistemin performansını düşürür.

Hava kaynaklı ısı pompaları dış ortama konulan ayrı bir yoğuşturucu ünitesi ile split klima olarak kullanılabilir. Bu ısı pompalarının evsel uygulamalarda en yaygın kullanım şeklidir.

Su, ısı pompaları için havaya göre daha avantajlı bir kaynaktır. Su kaynaklı ısı pompalarının ısıtma kapasitesi ve ısıtma tesir katsayısı hava kaynaklı ısı pompalarına göre daha yüksektir. Kaynak sıcaklığında ani değişimler görülmez ve buzlanma sorunu olmadığı için buz çözdürme sistemine gerek yoktur. Ancak sistem olarak daha karmaşıktır ve büyük su kütlelerine ihtiyaç duyar.

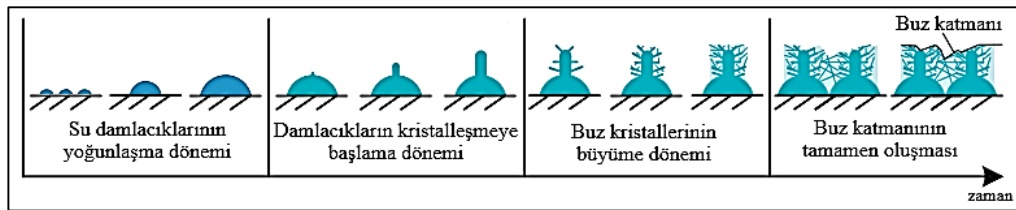
Güneşten gelen enerjinin büyük kısmının tutulduğu toprak, ısı pompaları için bir diğer önemli ısı kaynağıdır. Toprak sıcaklığının sabit kaldığı derinliklerde, toprağa yatay veya dikey olarak gömülen ısı değiştiricilerle ısı transferi gerçekleştirilir. Toprak, kış mevsiminde dış hava sıcaklığından daha yüksek, yaz mevsiminde dış hava sıcaklığından daha düşük sıcaklığa sahiptir. Bu sebeple toprak kaynaklı ısı pompaları yazın soğutma, kışın ısıtma için kullanılabilir. Toprak kaynaklı ısı pompaları diğer ısı pompalarına göre birçok avantaja sahiptir. Bunlar; soğutma ve ısıtma tesir katsayılarının yüksek olması, kararlı bir enerji kaynağı kullanmaları, enerji tüketimlerinin az olması, daha az bakım ve ek sistem gerektirmemeleridir [30].

## BÖLÜM 4

### BUZ ÇÖZDÜRME

Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde en yaygın görülen sorunlardan birisi, ısı transfer ortamı olarak kullanılan havanın içinde bulunan nem nedeniyle buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzlanmadır. Çevrimde en düşük sıcaklık buharlaştırıcı yüzeyinde ölçülmektedir. Yüzey sıcaklığı havanın çığlenme noktası ve suyun donma noktası altına düştüğünde buharlaştırıcı yüzeyinde buzlanma meydana gelir. Yapılan araştırmalara göre bağıl nemin %40'tan az olduğu çalışma şartlarında buz oluşumunun nispeten yavaştır. Ancak havanın sıcaklığı  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile  $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında ve bağıl nemin %60'tan yüksek olduğu çalışma şartlarında buzlanmanın önemli ölçüde arttığı görülmüştür [3].

Buz oluşum sürecinin daha iyi anlaşılması için buzlanma aşamalarının şematik gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Buzun kristal yapısı, buharlaştırıcı yüzeyinde pürüzlülük oluşturarak yüzey alanını artırır. Başlangıçta yüzey alanındaki bu artış ısı transferini artırarak buharlaştırıcının soğutma kapasitesini yükseltir.



Şekil 4.1. Buz oluşum sürecinin şematik gösterimi [5].

Buzlanmanın devam etmesiyle buharlaştırıcının kanat aralarında biriken buz katmanları yalıtım görevi yapmaya başlayarak hem ısı transferini hem de kanatlar arasındaki hava akışını engeller. Bu durum buharlaştırıcının soğutma kapasitesinin düşmesine neden olur. Bununla birlikte buz oluşumu çevrimdeki hava akışını tamamen

engelleyebilir ve sistem arızasına neden olabilir. Bu nedenle, buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimin devamlı ve verimli bir şekilde çalışmasının sağlanması için buz çözme işleminin sistematik olarak yapılması gerekmektedir.

#### **4.1. BUZ ÇÖZDÜRME YÖNTEMLERİ**

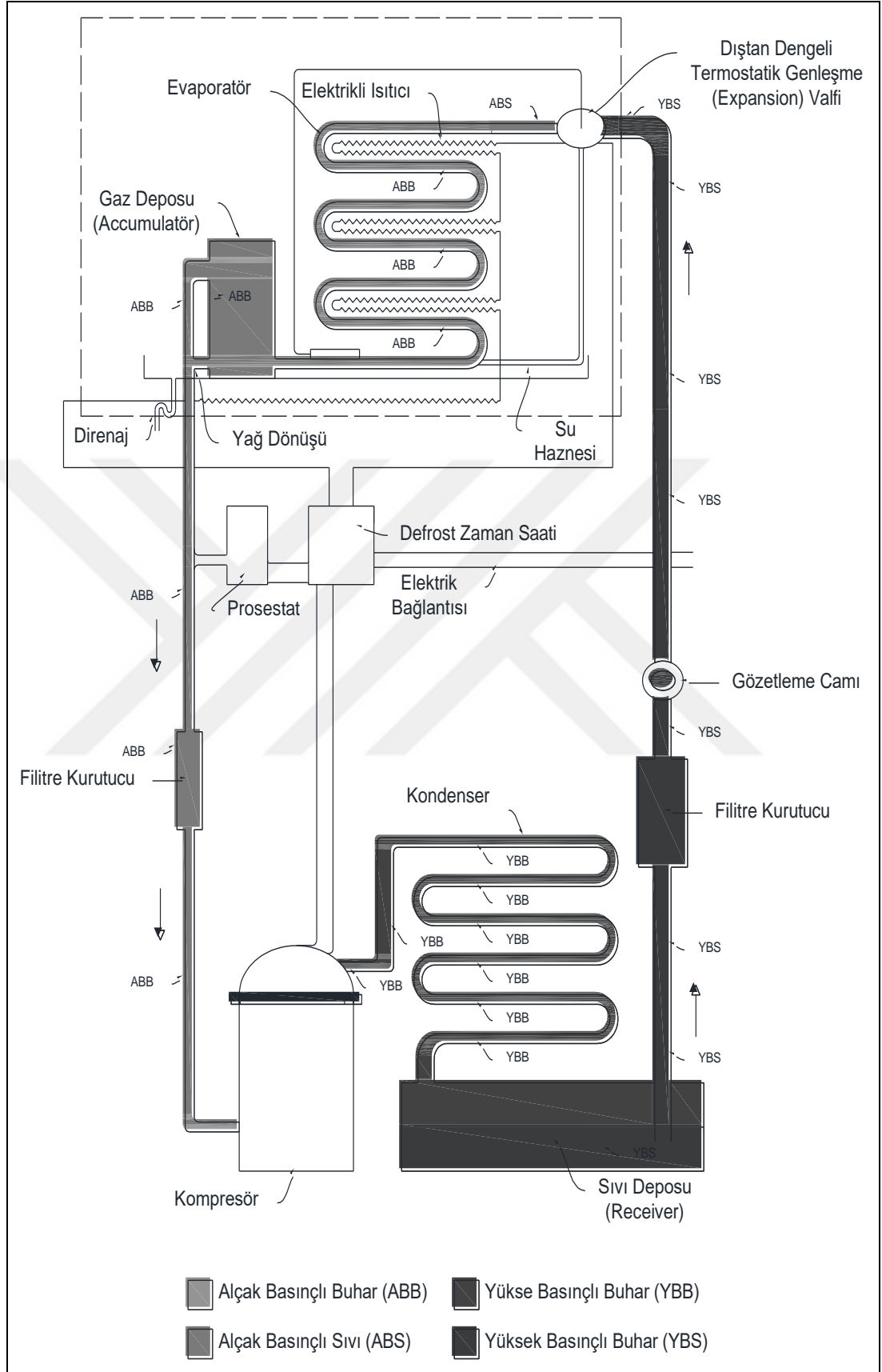
Buz çözme yöntemleri pasif ve aktif yöntemler olarak iki ana başlıkta toplanır. Pasif yöntemler mikro oluklu buharlaştırıcı yüzeyi, buzlanma önleyici hidrofobik veya süperhidrofobik kaplama gibi yüzey morfolojisini kullanan yöntemlerdir. Pasif yöntemler sistemde ek enerji tüketimi yapmadan buz oluşumunu geciktirmek veya azaltmak için kullanılırlar. Sıcak gaz, elektrikli ısıtıcılar ve ultrasonik titreşimlerin kullanıldığı, sistemde ek enerji tüketimine sebep olan yöntemler ise aktif buz çözme yöntemleri olarak sınıflandırılırlar [3].

Sıcak gaz ve elektrikli ısıtıcılar ile buz çözme yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Ancak enerji tasarrufu söz konusunda olduğunda daha az enerji tüketen yeni buz çözme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Umut vadeden alternatif yöntemlerden biri bu tez çalışmasının da konusu olan ultrasonik titreşimlerin ile buz çözme yöntemidir.

##### **4.1.1. Elektrikli Isıtıcılar İle Buz Çözme Yöntemi**

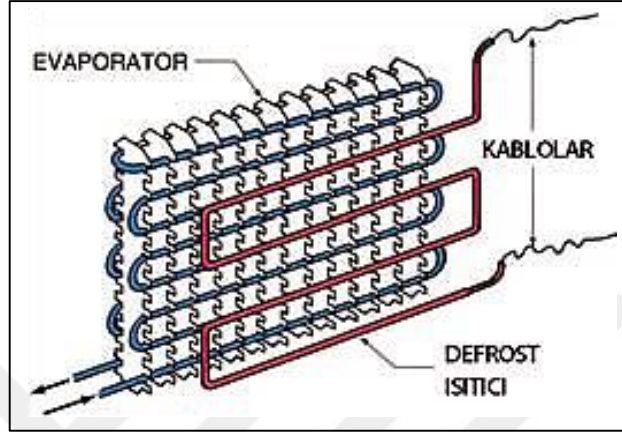
Elektrikli ısıtıcılar ile buz çözme yönteminde buharlaştırıcının lamelleri üzerindeki özel boşluklara yerleştirilen yalıtımlı boru tipi elektrikli ısıtıcılar ile buz çözme işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 4.2’de elektrikli ısıtıcılar ile buz çözme işleminin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Soğutma sisteminin çalışması durduğunda buz çözme kontrol mekanizması devreye girer. Zaman kontrollü olarak çalışan bu mekanizma ile elektrikli ısıtıcılar çalışmaya başlar ve buharlaştırıcı yüzeyindeki buz tabakası eritilir. Eriyen buz su haznesinde toplanarak boşaltma borusu ile tahliye edilir. Bu işlem belirlenen zaman aralıklarında tekrarlanarak buharlaştırıcı yüzeyinde buz oluşumu engellenir ve soğutma çevriminin verimli çalışmasına yardımcı olur [31].



Şekil 4.2. Elektrikli ısıtıcılar ile buz çözdürme yönteminin şematik gösterimi [31].

Şekil 4.3'te buharlaştırıcı lamelleri üzerine yerleştirilen elektrikli ısıtıcılar gösterilmiştir. Bu yöntemde kullanılacak elektrikli ısıtıcıların gücü buharlaştırıcının soğutma kapasitesine göre seçilir. Buharlaşma-oda sıcaklık farkının ortalama 5,5 °C olduğu durumda kcal/h başına 1 Watt elektrikli ısıtıcı gücü alınabilir [32].



Şekil 4.3. Buharlaştırıcı lamelleri üzerinde bulunan ısıtıcıların şematik gösterimi [21]

#### 4.2.1. Sıcak Gaz İle Buz Çözdürme Yöntemi

Sıcak gaz ile buz çözdürme yönteminde kompresörden çıkan kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan, yoğuşturucuya girmeden alınarak buharlaştırıcıya gönderilmesiyle buz çözdürme işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 4.4'de sıcak gaz ile buz çözdürme işleminin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Sistemde bulunan iki adet selonoid valf ile buz çözdürme işleminin kontrolü sağlanır. Soğutma çevriminin normal çalışma sürecinde 1 numaralı selonoid valf açıktır. Buz çözdürme kontrol mekanizması devreye girdiği sırada 1 numaralı selonoid valf kapanır ve 2 numaralı selonoid valf açılır. Yoğuşturucuda bulunan yüksek basınçlı sıcak buhar 2 numaralı valften geçerek direkt olarak buharlaştırıcıya girer. Buharlaştırıcı üzerinden geçen yüksek basınçlı sıcak buhar, buharlaştırıcı yüzeyindeki buz eritir. Eriyen buz, su haznesinde toplanarak boşaltma borusu ile tahliye edilir. Alçak basınçlı buhar haline geçen soğutucu akışkan ise kompresöre gider. Bu yöntemde buharlaştırıcıya verilen sıcak buharın burada yoğuşması kompresörde ciddi hasarlara sebep olabilir. Bu hasarı önlemek için sisteme yardımcı bir buharlaştırıcı konulmalıdır [31].



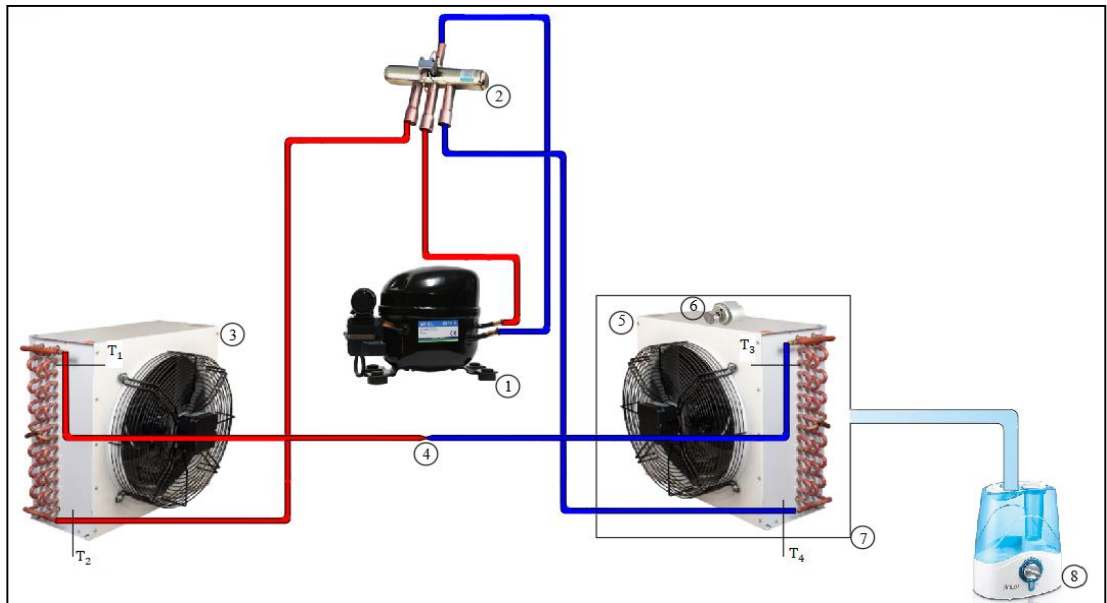
## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE METOT

#### 5.1. DENEY SETİNİN TASARIMI

Bu tez çalışmasında buharlaştırıcı yüzeyine uygulanan titreşimin buharlaştırıcı yüzeyindeki buz oluşumuna etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma için tasarlanan buhar sıkıştırma soğutma çevrimi Şekil 5.1’ de gösterilmiştir.

Deneysel seti bir adet kompresör, dört yollu vana, yoğuşturucu, kısılma vanası, buharlaştırıcı ve iki adet fan oluşmaktadır. Temel soğutma çevrimi elemanlarına ek olarak buharlaştırıcı üzerine bir titreşim motoru eklenmiştir. Ayrıca buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın nemlendirilmesi için ultrasonik nemlendirici kullanılmıştır. Kullanılan çalışma ekipmanları Şekil 5.1’de numaralandırılarak gösterilmiştir. Çalışma ekipmanlarının numaraları ve isimleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deneysel çalışma için tasarlanan buhar sıkıştırma soğutma çevrimi.

Çizelge 5.1. Çalışma ekipmanlarının numara ve isimleri.

Çalışma Ekipmanının Numarası	Çalışma Ekipmanının İsmi
1	Kompresör
2	Dört Yollu Vana
3	Yoğuşturucu
4	Kısılma Vanası
5	Buharlaştırıcı
6	Titreşim Motoru
7	Kapalı Ortam
8	Ultrasonik Nemlendirici

Deneysel çalışmada ultrasonik titreşimin buharlaştırıcı yüzeyindeki buzlanmaya etkisini incelemek için sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Yoğunlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için iki adet K tipi Thermocouple Şekil 5.1’de gösterilen  $T_1$  ve  $T_2$  numaralı yerlere yerleştirilmiştir. Buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için iki adet K tipi Thermocouple Şekil 5.1’de gösterilen  $T_3$  ve  $T_4$  numaralı yerlere yerleştirilmiştir.

Deneysel çalışmada sistemin dengeye gelmesi beklenmiştir. Sistem dengelendikten sonra veri toplama işlemine başlanmıştır. 120 dakika boyunca 5’er dakika ara ile ölçüm değerleri kaydedilmiştir.

## 5.2. Ölçüm Ve Kontrol Cihazları

### 5.2.1. Hava Nemi ve Hava Sıcaklığı Ölçüm Cihazı

Ortam havasının nemi ve sıcaklığı TESTO 625 model dijital termo-higrometre ile ölçülmüştür. Ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 5.2’de verilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazı Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Hava nemi ve hava sıcaklığı ölçüm cihazının teknik özellikleri

Sensör Tipi	Ölçüm Aralığı	Doğruluk	Çözünürlük
Nem sensörü	0 ... +100 %RH	$\pm 2,5$ %RH (+5 ... +95 %RH)	0,1 %RH
Sıcaklık - NTC	-10 ... +60 °C	$\pm 0,5$ °C	0,1 °C
Sıcaklık – K tipi	-200 ... +1370 °C	-	0,1 °C



Şekil 5.2. Hava nemi ve sıcaklığı ölçüm cihazı.

### 5.2.2. Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı yüzey sıcaklıkları AZ 88598 model K tipi 4 kanallı dijital termometre ile ölçülmüştür. Ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Sıcaklık ölçüm cihazının teknik özellikleri

<b>Ölçüm aralığı</b>	-50°C . . . +400°C
<b>Doğruluk</b>	+(0,3% rdg +1°C)
<b>Çözünürlük</b>	0,1°C



Şekil 5.3. Sıcaklık ölçüm cihazı.

### 5.2.3. Enerji Sarfiyatı Ölçüm Cihazı

Soğutma çevriminin elektrik tüketimi TROTEC BX11 model enerji sarfiyat ölçer ile ölçülmüştür. Ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 5.4’te verilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazı Şekil 5.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Enerji sarfiyatı ölçüm cihazının teknik özellikleri

<b>Ölçüm aralığı</b>	2 W ... 3.680 W
<b>Çalışma şartları</b>	+5 °C ... +40 °C
<b>Enerji göstergesi</b>	0,1 ... 9999 kWh
<b>Maksimum güç</b>	3680 W /16 A



Şekil 5.4. Enerji sarfiyat ölçüm cihazı.

### 5.2.4. Titreşim Sensörü

Titreşim motorunun buharlaştırıcıya uyguladığı titreşim GROVE – PİEZO model titreşim sensörü ile ölçülmüştür. Titreşim sensörüne ait teknik özellikler Çizelge 5.5’te verilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazı Şekil 5.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Titreşim sensörüne ait teknik özellikler

<b>Çalışma gerilimi</b>	3,3 V ... 5 V
<b>Konektör</b>	Standart Grove Konektörü
<b>Dinamik Aralık</b>	0,001 Hz ... 1000 MHz



Şekil 5.5. Titreşim sensörü.

Titreşim sensöründen alınan verilerin sayısal sonuçlara dönüştürülmesi için ARDUİNO UNO R3 SMD CH340 model mikro denetleyici kullanılmıştır. Mikro denetleyiciye ait teknik özellikler Çizelge 5.6’da verilmiştir. Kullanılan mikro denetleyici cihaz Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Mikro denetleyiciye ait teknik özellikler

<b>Çalışma gerilimi</b>	5 V
<b>Giriş gerilimi (limit)</b>	7 V... 12 V
<b>Dijital G/Ç pinleri</b>	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
<b>Her G/Ç için akım</b>	40 mA
<b>3.3V çıkış için akım</b>	50 mA
<b>Flash hafıza</b>	32 KB (ATmega328)
<b>SRAM</b>	2 KB (ATmega328)
<b>EEPROM</b>	1 KB (ATmega328)



Şekil 5.6. Mikro denetleyici cihaz.

### 5.3. Teorik Hesaplamalar

#### 5.3.1. Kızgınlık Değerinin Hesaplanması

Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde, buharlaştırıcıda soğutucu akışkan ısı çekerek tamamen doymuş buhar haline gelir. Doymuş buharın daha fazla ısıtılarak sıcaklığının artırılması kızgınlık olarak ifade edilir [21]. Buharlaştırıcı kızgınlığı, buharlaştırıcı çıkış sıcaklığından buharlaştırıcı giriş sıcaklığının çıkarılması ile elde edilir. Buharlaştırıcı kızgınlığı Eşitlik 6.1'den hesaplanmıştır.

$$\text{Kızgınlık} = \text{Buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı} - \text{Buharlaştırıcı giriş sıcaklığı} \quad (6.1)$$

#### 5.3.2. Belirsizlik Analizi

Belirsizlik analizi verilen bilgilerin doğruluk sınırlarını belirler. Deneyler sırasında kullanılan ölçüm cihazlarının standart sapmaları göz önünde bulundurularak belirsizlikleri Eşitlik 6.2 – 6.6'dan hesaplanmış ve Çizelge 6.1'de verilmiştir [33].

$$X_M = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (6.2)$$

$$V = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_M^2) \quad (6.3)$$

$$S = \sqrt{V} \quad (6.4)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (6.5)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 - S_i^2} \quad (6.6)$$

Eşitliklerde “ $X_M$ ” gözlemlerin aritmetik ortalaması, “ $X_i$ ” yapılan gözlemler, “N” gözlem sayısı, “a” hassasiyet, “S” standart sapma, “V” varyans “U” belirsizliktir [33].

Çizelge 6.1. Deneylerde kullanılan cihazlar ve özellikleri

<b>Kullanılan cihaz</b>	<b>Belirsizlik</b>
Sıcaklık ölçüm cihazı (AZ 88598)	$\pm 0,064$ °C
Sıcaklık ölçüm cihazı (TESTO 625)	$\pm 0,337$ °C
Nem ölçüm cihazı (TESTO 625)	$\pm 2,956$ %

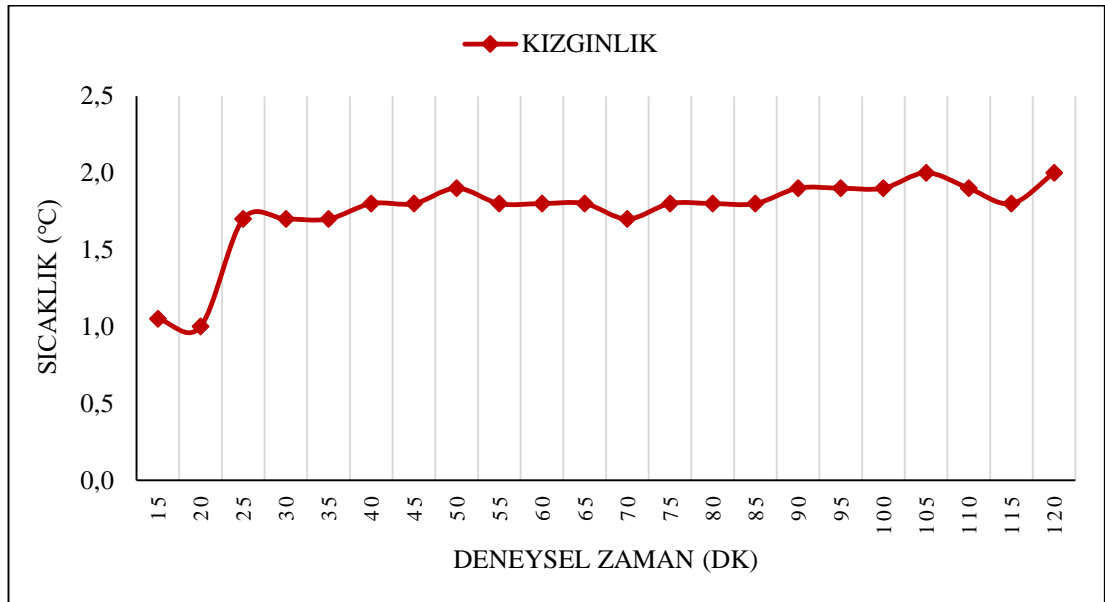
## BÖLÜM 6

### DENESEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

#### 6.1. DENEY SONUÇLARI

##### 6.1.1. Fanlı Çalışma Hali İçin Deney Sonuçları

Fanlı çalışma hali deneyi 07.03.2019 tarihinde yapılmıştır. Deney başlangıcında buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın sıcaklığı 18.4 °C ve bağıl nemi % 80'dir. Sistem sürekli rejim haline geldikten sonra buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın ortalama sıcaklığı -15 °C ve ortalama bağıl nemi % 69,5'dir. Buharlaştırıcı kızgınlığına ait grafik Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Deneye ait sayısal veriler Çizelge Ek A.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Fanlı çalışma hali buharlaştırıcı kızgınlığı.

Bu deney işlemlerinde buharlaştırıcı üzerine herhangi bir titreşim uygulanmamıştır. Titreşim uygulanacak diğer deneyler ile karşılaştırma amacı için buharlaştırıcı

kızdırma sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Ayrıca bu deney sırasında ultrasonik nemlendirici ile buharlaştırıcı üzerine nem verilmemiştir.

### 6.1.2. Fanlı, Nemlendiricili Çalışma Hali İçin Deney Sonuçları

Fanlı, nemlendiricili çalışma hali deneyi 05.03.2019 tarihinde yapılmıştır. Deney başlangıcında buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın sıcaklığı 15 °C ve bağıl nemi % 40'dir. Sistem sürekli rejim haline geldikten sonra buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın ortalama sıcaklığı -2,9 °C ve ortalama bağıl nemi % 99,7'dir. Buharlaştırıcı kızgınlığına ait grafik Şekil 6.2'de gösterilmiştir. Deneye ait sayısal veriler Çizelge Ek A.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Fanlı, nemlendiricili çalışma hali için buharlaştırıcı kızgınlığı.

Bu deney işlemlerinde buharlaştırıcı üzerine herhangi bir titreşim uygulanmamıştır. Titreşim uygulanacak diğer deneyler ile karşılaştırma amacı için buharlaştırıcı kızdırma sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Deney yapılırken ultrasonik nemlendirici ile buharlaştırıcı üzerine nem püskürtme işlemi yapılmıştır. Şekil 6.4'te verilen buharlaştırıcı kızgınlıklarının karşılaştırıldığı grafik incelendiğinde, sadece fanlı yapılan ilk deney ile bu deneyi karşılaştırdığımızda püskürtülen suyun buharlaştırıcı kızdırma sıcaklığını artırdığını söyleyebiliriz. Bu durumun sebebi, buharlaştırıcı yüzey

sıcaklığının püskürtülen suyun sıcaklığından düşük olmasıdır. Düşük yüzey sıcaklığı ile püskürtülen sudan ısı çeken buharlaştırıcının kızgınlığı artmıştır.

### 6.1.3. Fanlı, Nemlendiricili, Titreşimli Çalışma Hali İçin Deney Sonuçları

Fanlı, nemlendiricili, titreşimli çalışma hali deneyi 11.03.2019 tarihinde yapılmıştır. Deney başlangıcında buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın sıcaklığı 18,9 °C ve bağıl nemi % 65,8'dir. Sistem sürekli rejim haline geldikten sonra buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın ortalama sıcaklığı -0,7 °C ve ortalama bağıl nemi % 99,8'dir. Buharlaştırıcı kızgınlığına ait grafik Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Deneye ait sayısal veriler Çizelge Ek A.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Fanlı, nemlendiricili, titreşimli çalışma hali için buharlaştırıcı kızgınlığı.

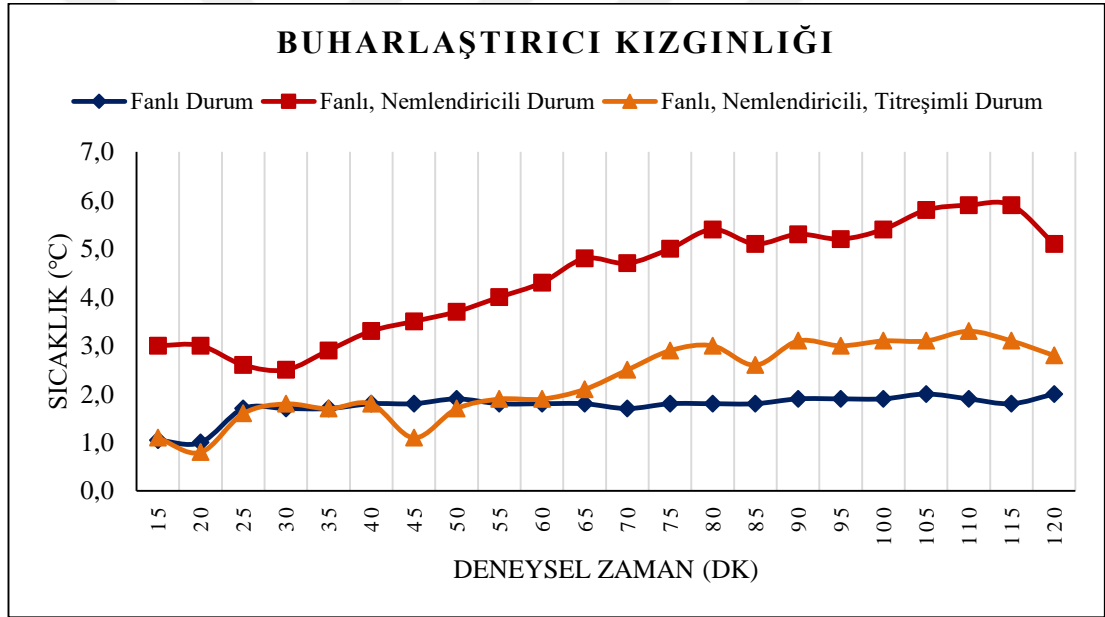
Bu deney işlemlerinde buharlaştırıcı üzerine titreşim uygulanmıştır. Deney yapılırken ultrasonik nemlendirici ile buharlaştırıcı üzerine nem püskürtme işlemi yapılmıştır. Şekil 6.4'te verilen buharlaştırıcı kızgınlıklarının karşılaştırıldığı grafik incelendiğinde, sadece fanlı yapılan deney ile karşılaştırdığımızda, buharlaştırıcı kızdırma sıcaklığı deneyin ikinci yarısından itibaren daha yüksek olduğu görülmüştür. Fanlı ve nemlendiricili deney ile karşılaştırdığımız zaman ise buharlaştırıcı kızdırma sıcaklığının daha düşük olduğu görülmüştür. Titreşim ile birlikte kullanılan

nemlendirme sırasında fanın buharlaştırıcı üzerindeki hava hızından dolayı buharlaştırıcı üzerine püskürtülen su hava ile birlikte uzaklaşmaktadır. Bu durum buharlaştırıcı kızgınlığının nemlendirme yolu ile artmasını engellemiştir. Böylece titreşimsiz durumdaki kızgınlığın yüksek olmasına sebep olmuştur.

## 6.2. DENEY VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

### 6.2.1. Buharlaştırıcı Kızgınlıklarının Karşılaştırılması

Yapılan üç deneyde alınan ölçümler sonucunda elde edilen buharlaştırıcı kızgınlıklarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.4'te verilmiştir.



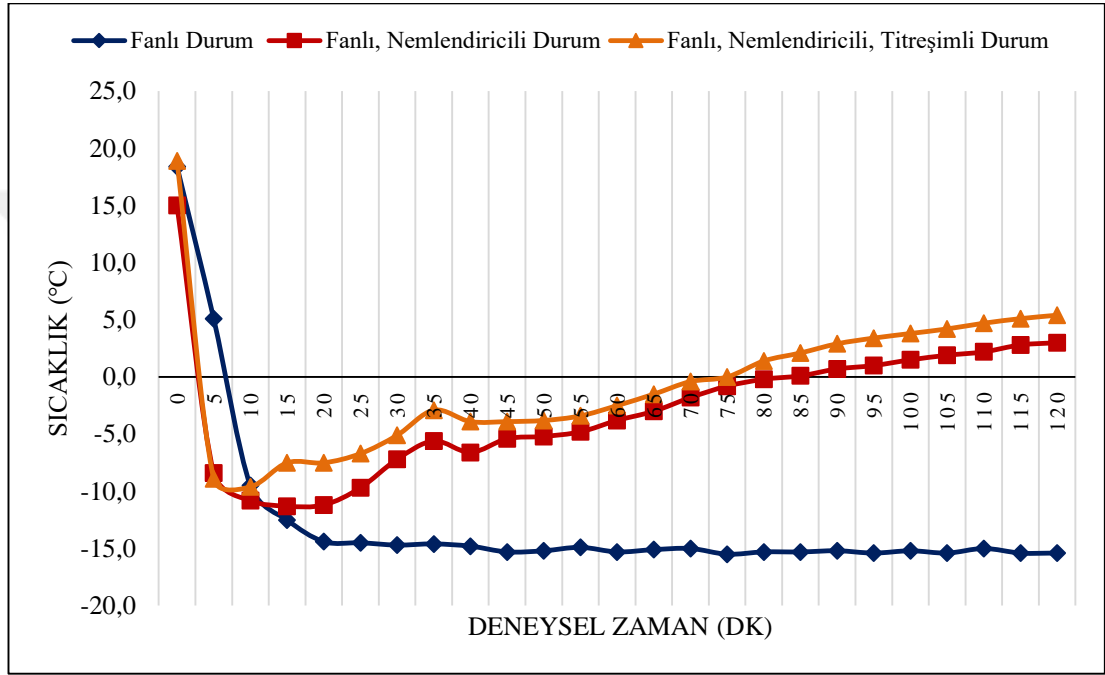
Şekil 6.4. Buharlaştırıcı kızgınlıklarının karşılaştırılması

### 6.2.2. Ortam Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

Deneysel sırasında buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın sıcaklığı ölçülmüştür. Yapılan üç deneyin ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması Şekil 6.5'te verilmiştir

Sadece fanlı yapılan deneyde sistem sürekli rejim haline geldikten sonra buharlaştırıcının bulunduğu ortam sıcaklığında göz ardı edilebilir değişimler olmuştur.

Bu durumun sebebi buharlaştırıcı yüzeyinde buz tabakası oluşmadığı için buharlaştırıcının, bulunduğu ortamdan aynı miktarda ısı çekmesidir. Nemlendiricili ve nemlendiricili, titreşimli deneylerde ise buharlaştırıcı yüzeyinde buz tabakası oluşmuştur. Buzlanmayla birlikte buharlaştırıcının bulunduğu ortamdan çektiği ısı azalmıştır. Bunun sonucunda, buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın sıcaklığı artmıştır.

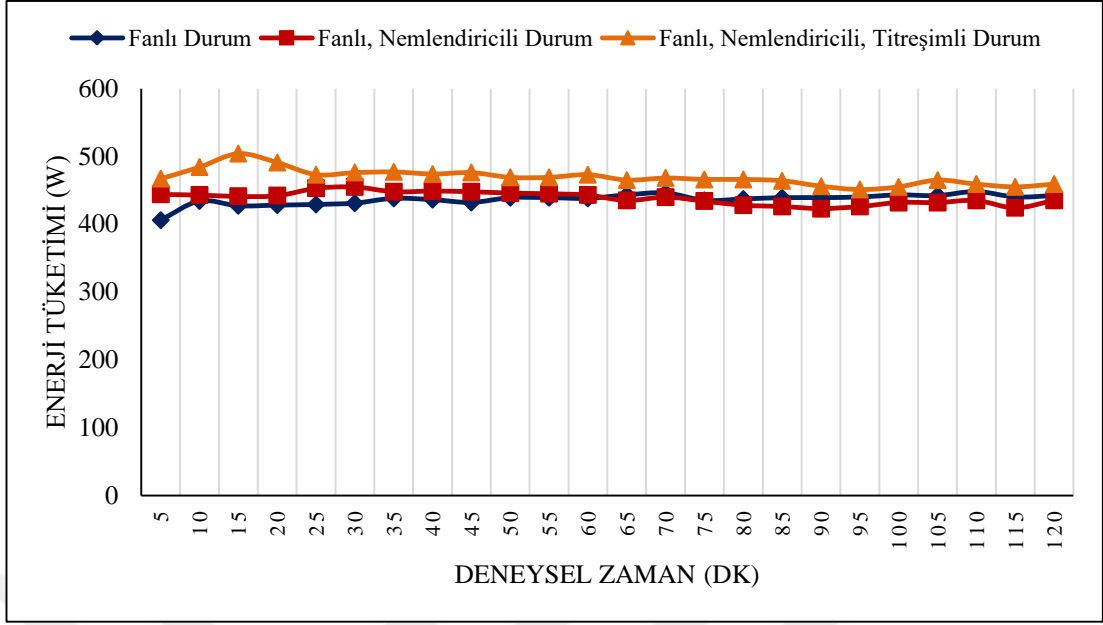


Şekil 6.5. Ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması.

### 6.2.3. Enerji Tüketim Miktarının Karşılaştırılması

Deneyle sırasında soğutma çevriminin tükettiği enerji miktarları ölçülmüştür. Yapılan üç deneyin enerji tüketim miktarlarının karşılaştırılması Şekil.6.6'da verilmiştir.

Sadece fanlı deneyde ortalama enerji tüketimi 436 W, fanlı ve nemlendiricili deneyde ortalama enerji tüketimi 438 W, fanlı, nemlendiricili ve titreşimli deneyde ortalama enerji tüketimi 469 W'tır. Enerji tüketim değerleri karşılaştırıldığında, titreşim motorunun çevrimde ciddi bir enerji tüketimine yol açmadığı görülmüştür.







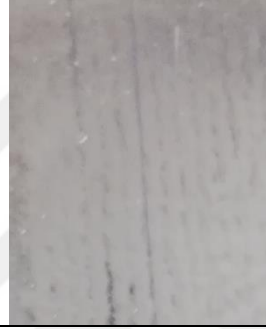







Şekil 6.6. Enerji tüketim miktarının karşılaştırılması.

#### 6.2.4. Buharlaştırıcı Yüzeyindeki Buz Tabakalarının Karşılaştırılması

Deneyler sırasında buharlaştırıcı yüzeyinin belirli zaman aralıklarıyla fotoğrafı çekilmiştir. Buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buz tabakalarının karşılaştırıldığı fotoğraflar Şekil 6.7.'de gösterilmiştir.

Sadece fanlı yapılan deneyde, buharlaştırıcı yüzeyinde buz tabakası oluşmamıştır. Buharlaştırıcının bulunduğu ortam sıcaklığı ortalama  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  olmasına rağmen ortalama bağıl nem %69,5 olduğu için buzlanma görülmemiştir. Ultrasonik nemlendirici kullanılan deneylerde, nemlendirici etkisi ile buharlaştırıcı yüzeyinde buz tabakası oluşmuştur.

<b>Fanlı Çalışma Hali</b>			
30. dakika	50. dakika	80. dakika	120.dakika
			
<b>Fanlı, Nemlendiricili Çalışma Hali</b>			
30. dakika	50. dakika	80. dakika	120.dakika
			
<b>Fanlı, Nemlendiricili, Titreşimli Çalışma Hali</b>			
30. dakika	50. dakika	80. dakika	120.dakika
			

Şekil 6.7. Buharlaştırıcı yüzeyindeki buz tabakalarının karşılaştırılması.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Tez çalışması için bir buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi tasarlanmıştır. Çalışmada ultrasonik titreşimin buharlaştırıcı yüzeyindeki buzlanmaya etkisi incelenmiştir. Üç farklı koşulda yapılan deneyler sonucunda aşağıda bahsedilen çıkarımlar yapılabilir.

- Yapılan deneyler sonucunda titreşimin buharlaştırıcı kızgınlığına belirgin bir etkisi gözlemlenememiştir.
- Sistemde ultrasonik nemlendirme işleminde nemlendirme suyu şebeke suyu sıcaklığında kullanılmıştır. Sisteme verilen nemin buharlaştırıcı üzerinde donması ve buz tabakası oluşturması beklenmiştir. Fakat ultrasonik nemlendirme işlemi buharlaştırıcı kızgınlığını artırmıştır.
- Nem püskürtme işlemi buharlaştırıcı üzerinde ciddi anlamda kızgınlığı artırarak buz çözme işleminin buharlaştırıcı sıcaklığının üzerindeki su sıcaklıklarında olmasına sebep olmuştur.
- Titreşim ile birlikte kullanılan nemlendirme sırasında fanın buharlaştırıcı üzerindeki hava hızından dolayı buharlaştırıcı üzerine püskürtülen su hava ile birlikte uzaklaşmaktadır. Bu durum buharlaştırıcı kızgınlığının nemlendirme yolu ile artmasını engellemiştir. Titreşimsiz durumdaki kızgınlığın yüksek olmasının nedeninin bundan kaynaklandığı söylenebilir.
- Ultrasonik titreşim kullanılan soğutma çevriminin titreşim olmadan fan ve nemlendirici kullanılan soğutma çevrimine göre toplam enerji tüketiminin % 6,96 daha fazla olduğu görülmüştür. Ultrasonik titreşim kullanılan soğutma

çevrimi sadece fanlı çevrim ile kıyaslandığında ise toplam enerji tüketiminin % 7,06 daha fazla olduğu görülmüştür.

- Soğutma çevriminde bağıl nem ile orantılı olarak nemlendirici kullanılan titreşimsiz ve titreşimli deneyler sırasında -5 °C ile -10 °C sıcaklık aralıklarında buharlaştırıcı yüzeyinde buzlanmanın başladığı görülmüştür. Sadece fanlı yapılan deney sırasında ortam sıcaklığı -15 °C sıcaklığa kadar düşmesine rağmen buharlaştırıcı yüzeyinde buzlanma oluşmamıştır. Bunun sebebi sadece fanlı yapılan deneyde buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın ortalama bağıl neminin % 69,5 olmasıdır.
- Buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan buzlanmanın temel sebebinin bağıl nem olduğu görülmüştür. Daha düşük ortam sıcaklığında bulunan buharlaştırıcıda daha yüksek ortam sıcaklığında bulunan buharlaştırıcıya göre buzlanma olmamasının bağıl neme bağlı olduğu görülmüştür.
- Buharlaştırıcı yüzeyindeki buzlanmanın artmasıyla soğutma kapasitesinde düşüş meydana gelmiş ve bununla birlikte buharlaştırıcının bulunduğu kapalı ortamın sıcaklığı yükselmeye başlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Öztürk, M., “Merkezi ısıtma sistemlerinin ve ısı ölçüm ekipmanlarının verimlilik potansiyelleri”, (2018).
2. She, X., Cong, L., Nie, B., Leng, G., Peng, H., Chen, Y., Zhang, X., Wen, T., Yang, H., and Luo, Y., “Energy-efficient and -economic technologies for air conditioning with vapor compression refrigeration: A comprehensive review”, *Applied Energy*, 232: 157–186 (2018).
3. Amer, M. and Wang, C.-C., “Review of defrosting methods”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 73: 53–74 (2017).
4. Reindl, D. and Jekel, T., “Defrosting industrial refrigeration evaporators”, *ASHRAE Journal*, 51: 30–40 (2009).
5. Li, D. and Chen, Z., “Experimental study on instantaneously shedding frozen water droplets from cold vertical surface by ultrasonic vibration”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, 53: 17–25 (2014).
6. 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).
7. Du, Y., Wu, J., Wang, C., Chen, R., and Li, J., “Investigation on the influence of EEV opening on the reliability of an R290 ASHP during defrosting”, *Energy And Buildings*, 223: 110218 (2020).
8. Wang, Y., Ye, Z., Song, Y., Yin, X., and Cao, F., “Experimental investigation on the hot gas bypass defrosting in air source transcritical CO<sub>2</sub> heat pump water heater”, *Applied Thermal Engineering*, 178: 115571 (2020).
9. Niu, J., Ma, G., and Xu, S., “Experimental research on hot liquid defrosting system with multiple evaporators”, *Applied Thermal Engineering*, 179: 115710 (2020).
10. Zhao, R., Huang, D., Peng, X., and Qiao, L., “Comprehensive measures to enhance electric heater defrosting (EHD) performance for household frost-free refrigerators”, *International Journal Of Refrigeration*, 111: 1–8 (2020).
11. Wang, D., Jiang, J., Tao, L., Kou, Z., and Yao, L., “Experimental investigation on a novel cold storage defrosting device based on electric heater and reverse cycle”, *Applied Thermal Engineering*, 127: 1267–1273 (2017).
12. Liu, T., Li, Z., and He, G., “Experiments of a Heat Pump Water Heating System Using Stored Solar Energy to Defrost”, *Energy Procedia*, 105: 1130–1135 (2017).

13. Melo, C., Knabben, F. T., and Pereira, P. V., “An experimental study on defrost heaters applied to frost-free household refrigerators”, *Applied Thermal Engineering*, 51 (1): 239–245 (2013).
14. Jang, J. Y., Bae, H. H., Lee, S. J., and Ha, M. Y., “Continuous heating of an air-source heat pump during defrosting and improvement of energy efficiency”, *Applied Energy*, 110: 9–16 (2013).
15. Jing, T., Kim, Y., Lee, S., Kim, D., Kim, J., and Hwang, W., “Frosting and defrosting on rigid superhydrophobic surface”, *Applied Surface Science*, 276: 37–42 (2013).
16. Wenju, H., Yiqiang, J., Minglu, Q., Long, N., Yang, Y., and Shiming, D., “An experimental study on the operating performance of a novel reverse-cycle hot gas defrosting method for air source heat pumps”, *Applied Thermal Engineering*, 31 (2–3): 363–369 (2011).
17. Choi, H.-J., Kim, B.-S., Kang, D., and Kim, K. C., “Defrosting method adopting dual hot gas bypass for an air-to-air heat pump”, *Applied Energy*, 88 (12): 4544–4555 (2011).
18. Tan, H., Xu, G., Tao, T., Sun, X., and Yao, W., “Experimental investigation on the defrosting performance of a finned-tube evaporator using intermittent ultrasonic vibration”, *Applied Energy*, 158: 220–232 (2015).
19. Wang, D., Tao, T., Xu, G., Luo, A., and Kang, S., “Experimental study on frosting suppression for a finned-tube evaporator using ultrasonic vibration”, *Experimental Thermal And Fluid Science*, 36: 1–11 (2012).
20. 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).
21. İsa, K., ve Onat, A., “İklimlendirme Ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği”, 2. Ed., *Doğa Yayıncılık*, İstanbul, 452 (2012).
22. Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., “Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla”, 5. Ed., *İzmir Güven Kitapevi*, İzmir, Türkiye, 946 (2008).
23. Doğan, H., “Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği”, 4. Ed., *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 416 (2002).
24. Xu, P., Xu, T., and Shen, P., “Advancing evaporative rooftop packaged air conditioning: A new design and performance model development”, *Applied Thermal Engineering*, 40: 8–17 (2012).
25. İnternet: “Çatı Tipi Paket Klima Santrali (Rooftop) ”, <https://www.makinmuhendislik.com/cati-tipi-paket-klima-santrali--rooftop-93G28> (2021).

26. İnternet: “Ductless Systems”, <https://kcairdoc.com/services/ductless-systems/> (2021).
27. Şimşek, E. ve Bilgili, M., “Programlanabilen mantıksal denetleyici (plc) ile çalışan split klima tasarımı”, *Mühendis Ve Makina*, 57 (675): 30–40 (2016).
28. Daşdemir, A., “Duvar tipi split klimaların bakımında dikkat edilmesi gereken hususlar”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (141): 16–22 (2014).
29. İnternet: “Daikin Altherma Isı Pompası Nasıl Çalışır? ”, <https://altherma.daikin.com.tr/Isi-Pompasi-Nasil-Calisir> (2021).
30. Hundy, G. F., Trott, A., and Welch, T., “Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps”, 5. Ed., *Butterworth-Heinemann*, Oxford, England, 510 (2016).
31. Ceylan, İ., “Soğutma ve iklimlendirme uygulamaları 1”, Karabük, Türkiye, (2007).
32. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., ve Yamankaradeniz, N., “Soğutma Tekniği Ve Isı Pompası Uygulamaları”, 3. Ed., *Doğa Yayıncılık*, Bursa, Türkiye, 690 (2013).
33. Aktaş, M., Ceylan, İ., Doğan, H., ve Aktekeli, Z., “Güneş enerjisi destekli, ısı pompalı kırmızıbiber kurutucusunun tasarımı, imalatı ve performans deneyleri”, *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 30 (1): 111–120 (2010).



**EK AÇIKLAMALAR A.**

**DENEY SONUÇLARINA AİT ÇİZELGELER**

Çizelge Ek A.1. Fanlı çalışma hali deney sonuçları.

Saat	Yoğunlaşıcı Giriş Sıcaklığı (°C)	Yoğunlaşıcı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Buharlaşıcı Giriş Sıcaklığı (°C)	Buharlaşıcı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Buharlaşıcı Kızgınlığı (°C)	Ortam Bağıl Nemi (%)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Harcanan Enerji Miktarı (W)
0	17,7	17,7	17,6	17,6	0,0	80	18,4	0
5.dk	30,1	19,3	-22,2	6,3	28,5	62,7	5,1	406
10.dk	30,0	22,0	-19,3	-18,2	1,1	54,3	-9,5	434
15.dk	27,8	21,1	-20,6	-19,5	1,1	62,5	-12,5	427
20.dk	27,2	21,2	-20,7	-19,7	1,0	64,8	-14,4	428
25.dk	27,3	21,2	-20,2	-18,5	1,7	68,0	-14,5	429
30.dk	27,3	21,4	-20,1	-18,4	1,7	68,9	-14,7	431
35.dk	25,5	21,6	-19,8	-18,1	1,7	69,9	-14,6	438
40.dk	25,3	21,5	-19,9	-18,1	1,8	69,6	-14,8	436
45.dk	25,3	21,6	-20,2	-18,4	1,8	69,3	-15,3	432
50.dk	25,4	21,7	-20,1	-18,2	1,9	69,2	-15,2	439
55.dk	25,4	21,8	-20,1	-18,3	1,8	69,4	-14,9	439
60.dk	25,3	21,6	-20,2	-18,4	1,8	69,5	-15,3	438
65.dk	25,2	21,8	-20,1	-18,3	1,8	70,0	-15,1	443
70.dk	26,2	21,9	-19,6	-17,9	1,7	70,6	-15,0	446
75.dk	25,2	21,7	-20,5	-18,7	1,8	69,4	-15,5	435
80.dk	25,0	21,8	-20,2	-18,4	1,8	70,3	-15,3	437
85.dk	24,9	22,1	-20,0	-18,2	1,8	70,6	-15,3	439
90.dk	24,3	22,2	-19,8	-17,9	1,9	70,9	-15,2	439
95.dk	24,8	22,1	-20,1	-18,2	1,9	70,6	-15,4	440
100.dk	24,9	22,4	-19,6	-17,7	1,9	71,3	-15,2	443
105.dk	24,4	22,3	-19,9	-17,9	2,0	70,8	-15,4	442
110.dk	24,9	22,7	-19,3	-17,4	1,9	71,6	-15,0	448
115.dk	24,7	22,4	-19,7	-17,9	1,8	70,3	-15,4	440
120.dk	24,3	22,3	-19,9	-17,9	2,0	70,7	-15,4	442

Çizelge Ek A.2. Fanlı, nemlendiricili çalışma hali deney sonuçları.

Saat	Yoğunlaşıcı Giriş Sıcaklığı (°C)	Yoğunlaşıcı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Buharlaşıcı Giriş Sıcaklığı (°C)	Buharlaşıcı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Buharlaşıcı Kızgınlığı (°C)	Ortam Bağıl Nemi (%)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Harcanan Enerji Miktarı (W)
0	16,5	16,6	15,9	15,9	0	40,0	15,0	0
5.dk	39,0	23,3	-18,4	-15,5	2,9	78,0	-8,4	444
10.dk	35,5	22,7	-19,2	-16,3	2,9	93,2	-10,8	443
15.dk	36,1	22,9	-18,9	-15,9	3	97,2	-11,3	441
20.dk	35,7	22,6	-19,3	-16,3	3	99,2	-11,2	442
25.dk	36,5	23,3	-18,4	-15,8	2,6	99,9	-9,7	453
30.dk	36,9	23,6	-18,1	-15,6	2,5	99,9	-7,2	455
35.dk	36,3	23,4	-18,6	-15,7	2,9	99,9	-5,6	448
40.dk	36,6	23,5	-18,7	-15,4	3,3	99,9	-6,6	449
45.dk	36,3	23,5	-18,9	-15,4	3,5	99,9	-5,4	448
50.dk	36,2	23,3	-19,0	-15,3	3,7	99,9	-5,2	446
55.dk	36,2	23,4	-19,1	-15,1	4	99,9	-4,8	445
60.dk	35,6	23,2	-19,4	-15,1	4,3	99,9	-3,8	443
65.dk	35,4	23,1	-20,1	-15,3	4,8	99,9	-3,0	435
70.dk	35,4	23,0	-19,7	-15,0	4,7	99,9	-1,8	440
75.dk	35,2	22,9	-20,1	-15,1	5	99,9	-0,8	434
80.dk	34,7	22,7	-20,6	-15,2	5,4	99,9	-0,2	428
85.dk	34,6	22,6	-20,7	-15,3	5,1	99,9	0,1	426
90.dk	34,5	22,6	-20,6	-15,3	5,3	99,9	0,7	423
95.dk	34,2	22,8	-20,8	-15,6	5,2	99,9	1	426
100.dk	34,4	22,7	-20,7	-15,3	5,4	99,9	1,5	432
105.dk	34,8	22,9	-20,1	-14,3	5,8	99,9	1,9	432
110.dk	34,9	22,9	-20,1	-14,2	5,9	99,9	2,2	435
115.dk	34,1	22,6	-21,1	-15,2	5,9	99,9	2,8	424
120.dk	34,9	23,0	-19,8	-14,6	5,1	99,9	3,0	435

Çizelge Ek A.3. Fanlı, nemlendiricili, titreşimli çalışma hali deney sonuçları.

Saat	Yoğunlaşırıcı Giriş Sıcaklığı (°C)	Yoğunlaşırıcı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Buharlaşırıcı Giriş Sıcaklığı (°C)	Buharlaşırıcı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Buharlaşırıcı Kızgınlığı (°C)	Ortam Bağıl Nemi (%)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Harcanan Enerji Miktarı (W)
0	18,6	18,6	18,2	18,2	0	65,8	18,9	0
5.dk	35,8	23,9	-17,7	-17,3	0,4	88,6	-8,9	467
10.dk	34,7	24,5	-15,7	-15,8	-0,1	90,3	-9,6	484
15.dk	40,3	26,6	-14,2	-13,1	1,1	98,4	-7,5	504
20.dk	39,9	26,4	-14,8	-14,0	0,8	98,6	-7,5	491
25.dk	39,2	26,1	-15,5	-13,9	1,6	99,9	-6,7	473
30.dk	38,6	25,8	-15,9	-14,1	1,8	99,9	-5,1	476
35.dk	38,7	25,8	-15,7	-14,0	1,7	99,9	-2,9	477
40.dk	38,7	26,0	-15,8	-14,0	1,8	99,9	-3,9	474
45.dk	38,7	26,0	-15,8	-14,7	1,1	99,9	-3,9	476
50.dk	38,7	26,0	-15,8	-14,1	1,7	99,9	-3,8	469
55.dk	38,2	25,7	-15,9	-14,0	1,9	99,9	-3,4	469
60.dk	38,4	26,1	-15,6	-13,7	1,9	99,9	-2,5	473
65.dk	38,2	25,9	-15,8	-13,7	2,1	99,9	-1,5	465
70.dk	37,7	25,6	-15,9	-13,4	2,5	99,9	-0,4	468
75.dk	37,6	25,5	-16,3	-13,4	2,9	99,9	0,0	466
80.dk	37,4	25,4	-16,4	-13,4	3	99,9	1,4	466
85.dk	36,6	25,2	-17,0	-14,4	2,6	99,9	2,1	464
90.dk	36,9	25,3	-16,8	-13,7	3,1	99,9	2,9	456
95.dk	36,3	25,1	-17,2	-14,2	3	99,9	3,4	451
100.dk	36,3	25,0	-17,0	-13,9	3,1	99,9	3,8	455
105.dk	36,6	25,3	-16,8	-13,7	3,1	99,9	4,2	465
110.dk	36,6	25,4	-16,5	-13,2	3,3	99,9	4,7	459
115.dk	36,8	25,4	-16,5	-13,4	3,1	99,9	5,1	455
120.dk	36,8	25,4	-16,2	-13,4	2,8	99,9	5,4	459

## ÖZGEÇMİŞ

Ece Çağla KARAKAŞ ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. Safranbolu Anadolu Lisesi Fen Bilimleri alanından mezun oldu. 2011 yılında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde eğitimine başlayıp 2015 yılında mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisan eğitimine başladı.

