

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUTMA SİSTEMİ BUHARLAŞTIRICILARINDA ALTERNATİF KARI
ÇÖZDÜRME YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ercan GÜMÜŞ**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUTMA SİSTEMİ BUHARLAŞTIRICILARINDA ALTERNATİF KAR
ÇÖZDÜRME YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ercan GÜMÜŞ
(301071013)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ (İTÜ)
Eş Danışman : Doç. Dr. Lütfullah KUDDUSİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Melih GEÇKİNLİ (İTÜ)
Prof. Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İTÜ)
Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

Canim anneme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, evsel buzdolabı buharlaştırıcısında alternatif olarak kullanılabilen üç farklı kar çözme (defrost) yöntemi için kurulan deney düzeneklerinde gerçekleştirilen çalışmalar ve sonuçları sunulmuştur. Her kar çözme yöntemi için kurulan deney düzeneklerinde gerçekleştirilen çalışmalar ile tasarlanan sistemlerin evsel buzdolaplarında uygulanabilirlikleri, üstünlükleri ve sağlayabileceği faydalar, farklı çıkarımlar yapılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Yüksek lisans öğrenim hayatım ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile desteğini hiçbir zaman esirgmeden katkıda bulunan, moral ve motivasyonumu kaybetmeden çalışmalarımı sürdürmemde büyük etken olan danışman hocalarım Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ ve Doç. Dr. Lütfullah KUDDUSİ'ye en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin kurulması, tez çalışmamın planlı ve başarılı bir şekilde ilerlemesi sırasında her türlü yardımını veren, sadece bilgi ve birikimleriyle değil, moral olarak da büyük ölçüde çalışmalarımı destekleyen, beraber çalışmaktan büyük zevk aldığım Yük. Müh. Tuğrul KODAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında desteklerini bir gün bile esirgemeyen ve sıkıntılı zamanlarımda bana her konuda yardımcı olan, başta Mak. Müh. Ömer ÜNAL ve Mak. Müh. Oğuz İSTİF olmak üzere, yüksek lisans çalışmalarını beraber sürdürdüğümüz bütün çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olarak bana ayrı bir moral aşıl原因 büyük Eskişehirspor taraftarına teşekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi destekleriyle her anımda yanımda olan, kendisiyle gurur duyduğum Abim ve canım Anneme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Mayıs 2009

Ercan GÜMÜŞ
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Buzdolabı Soğutma Çevrimi	2
1.3 Buzdolabı Soğutma Sisteminin Performansı.....	3
1.4 Evsel Buzdolaplarında Kullanılmakta Olan Kar Çözdürme Yöntemi	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1 Açık Literatür Araştırması Sonuçları	9
2.2 Patent Araştırması Sonuçları	12
3. ALTERNATİF SICAK GAZ İLE KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMİ.....	19
3.1 Sıcak Gaz İle Kar Çözdürme Yönteminin Tanıtılması	19
3.2 Sıcak Gaz İle Kar Çözdürme Yöntemi Deney Düzenegi.....	20
3.2.1 Sıcak gaz ile kar çözdürme çalışmalarında ölçüm büyüklükleri, yöntemleri ve belirsizlikleri	26
3.2.1.1 Sıcaklık ölçümleri	26
3.2.1.2 Bağıl nem ölçümleri	27
3.2.1.3 Güç ölçümleri	29
3.2.2 Sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi deneyleri	29
4. ALTERNATİF SICAK SIVI İLE KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMİ	39
4.1 Sıcak Sıvı İle Kar Çözdürme Yönteminin Tanıtılması	39
4.2 Sıcak Sıvı İle Kar Çözdürme Yöntemi Deney Düzenegi.....	40
4.2.1 Sıcak sıvı ile kar çözdürme çalışmalarında ölçüm büyüklükleri, yöntemleri ve belirsizlikleri	41
4.2.1.1 Sıcaklık ölçümleri	42
4.2.1.2 Bağıl nem ölçümleri	42
4.2.1.3 Enerji ve güç ölçümleri	43
4.3 Sıcak Sıvı İle Kar Çözdürme Yöntemi Deneyleri.....	43
4.3.1 Isıl kütle miktarı ve sıcaklığının denenmesi	45
4.3.2 Karlanmanın oluştuğu diğer bölgelerdeki ısıtıcıların kapatılması durumu	49
4.3.3 Isıl kütle ısıtıcısının kar çözdürme sırasında çalıştırılması	50
4.3.4 Kompresör-yoğuşturucu üstü ısıl kütle kabı ile gerçekleştirilen deneyler	56
5. ALTERNATİF TERS AKIŞLI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ İLE KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMİ	59

5.1 Ters Akışlı Soğutma Çevrimi İle Kar Çözdürme Yönteminin Tanıtılması.....	59
5.2 Ters Akışlı Soğutma Çevrimi İle Kar Çözdürme Deney Düzenegi	60
5.2.1 Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme çalışmalarında ölçüm büyüklükleri, yöntemleri ve belirsizlikleri	64
5.2.1.1 Sıcaklık ölçümleri	64
5.2.1.2 Bağıl nem ölçümleri	65
5.2.1.3 Basınç ölçümleri	65
5.2.1.4 Güç ölçümleri	66
5.2.2 Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme deneyleri.....	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	97
EKLER.....	99

KISALTMALAR

COP : Etkinlik Katsayısı (Coefficient of Performance)
EES : Engineering Equation Solver

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme deneyi kar ergime sonuçlarının karşılaştırılması.	34
Çizelge 4.1 : Gerçekleştirilen deneylerin başlangıç koşulları.	44
Çizelge 4.2 : Kar çözdürme suyunun karşılaştırılması.	50
Çizelge 4.3 : Farklı sıcaklıklarda %50 antifriz - %50 su karışımı özellikler (Altuntop, 2005).	54
Çizelge 4.4 : Sıcak sıvı ile kar çözdürme yönteminde kar çözdürme etkinliği değerleri.	55
Çizelge 5.1 : Deney tesisatında ısıl çiftlerinin listesi.....	64
Çizelge 5.2 : Kompresör debi denklemi katsayıları.....	84
Çizelge 5.3 : Ters akışlı soğutma çevrimi için gerçekleştirilen hesaplamalar.....	85
Çizelge 5.4 : Deneylerden ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri ile hesaplanan entalpi ve ısıtma performans değerleri.....	86
Çizelge 5.5 : Ters akışlı soğutma çevriminde soğutucu akışkanın kütleli debileri. ..	87
Çizelge 5.6 : Belirli zaman aralıklarında buharlaştırıcıda verilen ısı miktarı değişimi. .	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Soğutma çevriminin en genel halde şematik gösterimi.....	3
Şekil 1.2 : İdeal soğutma çevrimi P-h diyagramı.	4
Şekil 1.3 : Aşırı ısınmalı soğutma çevriminin P-h diyagramı.	5
Şekil 1.4 : Aşırı soğumalı soğutma çevriminin P-h diyagramı.....	6
Şekil 1.5 : Evsel buzdolabı soğutma grubunun ayrıklaştırılmış resmi.	7
Şekil 2.1 : Kısayol borusu ile gerçekleştirilen sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Dube, 2006).....	13
Şekil 2.2 : Sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (U-Line Corp, 1991).	14
Şekil 2.3 : Isıl kütle yardımıyla gerçekleştirilen sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (GE, 1997).....	15
Şekil 2.4 : Isıl depo oluşturularak gerçekleştirilen sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Samsung Electronics, 2005).....	16
Şekil 2.5 : Sıcak sıvı ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Pandaru, 2001).	17
Şekil 2.6 : Hava ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Multi-Bras Eletrodomeesticos, 2000).....	18
Şekil 3.1 : Sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.2 : Tek borulu prototip uygulaması.	21
Şekil 3.3 : Buharlaştırıcı üzerinde sıvı çıkış ve sıcak gaz giriş bölgeleri.	23
Şekil 3.4 : Sıvı ve gaz hattı solenoid valfleri.	23
Şekil 3.5 : Isıl kütleli ısı değiştiricisi.	24
Şekil 3.6 : Isıl kütleli ısı değiştiricisi ve haznesi.	25
Şekil 3.7 : Genişletilmiş boru prototipinin uygulanması.	25
Şekil 3.8 : Buharlaştırıcı üzerindeki ısı çiftlerin akış sırasına göre yerleşimi.	26
Şekil 3.9 : Isıl kütleli ısı değiştiricisi üzerindeki ısı çiftlerin akış sırasına göre yerleşimi.....	27
Şekil 3.10 : Bağlı nem kartı ve sensörlerinin buzdolabı üzerinde yerleşimi.	28
Şekil 3.11 : Soğuk hava nemlendiricisi.	29
Şekil 3.12 : Güç ölçüm cihazları.	29
Şekil 3.13 : Elektrikli ısıtıcılarla gerçekleştirilen kar çözdürme işleminde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.	30
Şekil 3.14 : Buharlaştırıcının doğal koşullarda ısınma grafiği.	31
Şekil 3.15 : Tek borulu prototipte sıcak gaz ile kar çözdürme sürecinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.	32
Şekil 3.16 : Isıl kütleli ısı değiştiricisi kullanıldığında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	34
Şekil 3.17 : Sıvı geliş borusu üzerinden alınan sıcaklık ölçümleri.....	35
Şekil 3.18 : Genişletilmiş boru uygulamasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	36
Şekil 3.19 : Sıvı vanasının sürekli açılıp kapatılması deneyinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.	36

Şekil 4.1 : Sıcak sıvı ile kar çözündürme yönteminin şematik gösterimi.....	40
Şekil 4.2 : Buharlaştırıcı üzerine yerleştirilen sıcak sıvı hattı boruları.....	41
Şekil 4.3 : Taze gıda bölmesinde sağlanan bağıl nem değeri.....	43
Şekil 4.4 : Farklı ısı kütlesi sıcaklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (Kar çözündürmenin düşük sıcaklıkta sonlandırıldığı durum).....	46
Şekil 4.5 : Farklı ısı kütlesi sıcaklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (Kar çözündürmenin orijinal sıcaklığında sonlandırıldığı durum).....	47
Şekil 4.6 : Isıl kütle miktarının artırıldığı durumda buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	48
Şekil 4.7 : Kar çözündürme sürecinde ısı kütlesi sıvısı sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	48
Şekil 4.8 : Kanal ısıtıcısının açık ve kapalı olduğu durumda buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının zamanla değişimi.....	49
Şekil 4.9 : Isıl kütle ısıtıcısının çalışma durumuna göre buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	50
Şekil 4.10 : Isıl kütle ısıtıcısının çalışma durumuna göre, ısı kütlesi sıcaklığının kar çözündürme sürecinde zamanla değişimi.....	51
Şekil 4.11 : Kar ve suyun sıcaklık-entalpi diyagramı (Hoffenbecker, 2004).....	52
Şekil 4.12 : Kompresör-yoğuşturucu üstü ısı kütlesi kabında ısı kütlesi sıcaklığının zamanla değişimi.....	56
Şekil 4.13 : Kompresör-yoğuşturucu üstü ısı kütlesi kabı deneyinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	57
Şekil 5.1 : Klima ısıtma modunun şematik gösterimi.....	59
Şekil 5.2 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözündürme yönteminin ilk halinin şematik gösterimi.....	61
Şekil 5.3 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözündürme deney düzeneği.....	62
Şekil 5.4 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözündürme yöntemi son halinin şematik gösterimi.....	63
Şekil 5.5 : Buzdolabı taze gıda bölmesinde bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi.....	65
Şekil 5.6 : Basınç ölçüm cihazlarının sistem üzerindeki yerleşimi.....	66
Şekil 5.7 : Güç ölçüm cihazı.....	66
Şekil 5.8 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözündürme ön deneysel çalışma sonucu.....	67
Şekil 5.9 : Kar çözündürme sırasında kullanılan sıvı hattı vanası.....	69
Şekil 5.10 : Kısayol borusu.....	70
Şekil 5.11 : Ters akışlı soğutma çevriminde farklı kısılma vanası açıklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	71
Şekil 5.12 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu durumda sistem basınçlarının zamanla değişimi.....	72
Şekil 5.13 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu durumda sistem basınçlarının zamanla değişimi.....	72
Şekil 5.14 : Otomatik olarak gerçekleşen ters akışlı soğutma çevriminde sistem basınçlarının zamanla değişimi.....	73
Şekil 5.15 : Ters akışlı soğutma çevriminde buharlaştırıcı yüzey ve buzdolabı kabin sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	74
Şekil 5.16 : Ters akışlı soğutma çevriminde buzdolabı güç değerlerinin zamanla değişimi.....	75
Şekil 5.17 : Kar çözündürme sırasında görselleme çalışması fotoğrafları.....	76
Şekil 5.18 : Soğutma çevrimi şematik gösterimi.....	77

Şekil 5.19 : Soğutma çevriminin Coolpack programı ile çizdirilen P-h diyagramı...	79
Şekil 5.20 : Soğutma çevriminin Coolpack programı ile çizdirilen h-s diyagramı. ..	80
Şekil 5.21 : Ters akışlı soğutma çevrimi şematik gösterimi.....	81
Şekil 5.22 : Ters yönlü akışlı çevrimin ısıtma sırasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.....	82
Şekil 5.23 : COP ısıtma değerlerinin ters yönlü akışlı çevrimin ısıtma sırasında zamanla değişimi.....	83
Şekil 5.24 : Otomatik kar çözündürme işlemi 5. dakikasında h-s diyagramı.....	89
Şekil 5.25 : Otomatik kar çözündürme işlemi 5. dakikasında h-s diyagramı.....	90
Şekil A.1 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 5. dakikasında h-s diyagramı.....	100
Şekil A.2 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 10. dakikasında h-s diyagramı.....	101
Şekil A.3 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 15. dakikasında h-s diyagramı.....	102
Şekil A.4 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 20. dakikasında h-s diyagramı.....	103
Şekil A.5 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 5. dakikasında h-s diyagramı.....	104
Şekil A.6 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 10. dakikasında h-s diyagramı.....	105
Şekil A.7 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 15. dakikasında h-s diyagramı.....	106
Şekil A.8 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 20. dakikasında h-s diyagramı.....	107
Şekil A.9 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 10. dakikasında h-s diyagramı.....	108
Şekil A.10 : Otomatik kar çözündürme işlemi 5. dakikasında h-s diyagramı.....	109
Şekil A.11 : Otomatik kar çözündürme işlemi 10. dakikasında h-s diyagramı.....	110
Şekil A.12 : Otomatik kar çözündürme işlemi 15. dakikasında h-s diyagramı.....	111
Şekil A.13 : Otomatik kar çözündürme işlemi 20. dakikasında h-s diyagramı.....	112

SEMBOL LİSTESİ

c	: Özgül ısı [kJ/kgK]
h	: Entalpi [kJ/kg]
m	: Kütle [kg]
ṁ	: Kütleli debi [kg/s]
P	: Basınç [kPa]
Q	: Isı geçişi [kJ]
Q̇	: Isıtıcı gücü [kW]
s	: Entropi [kJ/kgK]
T	: Sıcaklık [°C]
t	: Zaman [s]
U	: Belirsizlik
W	: Toplam iş [kJ]
Ẇ	: Kompresör gücü [kW]
η	: Verim [%]
Δ	: Sonlu değişim miktarı
V	: Hacim [m ³]
ρ	: Yoğunluk [kg/m ³]
ε	: Etkinlik

Alt indisler

AB	: Alçak basınç
buh	: Buharlaştırıcı
cid	: Cidar
ç	: Çıkış koşullarında
erg	: Ergitme
g	: Giriş koşullarında
H	: Buharlaştırıcıda soğutucu akışkandan aktarılan
hzn	: Hazne
ıd	: Isı değiştiricisi
IÇ	: Isıl çift
ık	: Isıl kütle
ısıt	: Isıtma
i	: İlk koşullarda
kar	: Kar
kç	: Kar çözdürme
knt	: Kanat
komp	: Kompresör
L	: Buharlaştırıcıda soğutucu akışkana geçen
s	: Son koşullarda

sa : Soğutucu akışkan
t : Toplam
YB : Yüksek basınç
yog : Yoğuşturucu

SOĞUTMA SİSTEMİ BUHARLAŞTIRICILARINDA ALTERNATİF KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI

ÖZET

Son yıllarda kullanımı artan karlanmanın otomatik olarak giderildiği buzdolaplarında karlanma olayı, buzdolabı kabin havasında bulunan nemin buharlaştırıcı yüzeylerinde yoğunlaşması ve zamanla artarak bir kar tabakası haline gelmesiyle gerçekleşmektedir.

Buzdolabı buharlaştırıcısında meydana gelen bu karlanma olayı bir çok nedenden dolayı sistemin performansını kötü yönde etkilemekte, sistemden uzaklaştırılmadığı takdirde, soğutmanın gerçekleşmesini engellemektedir. Bu durumda, sistemin performans katsayısı azaldığı gibi enerji tüketim değerleri de büyük ölçüde artmaktadır. Diğer yandan, evsel buzdolaplarında genellikle kullanılan elektrikli ısıtıcılar kar çözdürme işlemini her ne kadar başarı ile gerçekleştirirse de, buzdolabında ek bir enerji tüketimine sebep olmaktadır. Bu durumda, elektrikli ısıtıcıların sistemden çıkarılması ve yerlerine kullanılacak alternatif kar çözdürme yöntemlerinin uygulanması büyük önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, buzdolabı mevcut kar çözdürme mekanizmalarının yerine kullanılacak alternatif kar çözdürme uygulamaları ile kar çözdürmeden kaynaklanan enerji tüketiminin azaltılabilirliğinin irdelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaç ile gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında üç farklı kar çözdürme yöntemi üzerine deney düzenekleri kurulmuştur. Kurulan deney düzeneklerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, yöntemlerin uygulanabilirlikleri ve üstünlükleri yanısıra enerji tüketimini azaltmaya sağlayacakları katkıları da belirlenmeye çalışılmıştır.

Alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi için üç farklı prototip oluşturulmuş ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kar çözdürme süreleri ele alınarak, orijinal durum ile karşılaştırma yapılmıştır.

Sıcak sıvı ile kar çözdürme yöntemi üzerine kurulan deney düzeneğinde, ısı kütleyi oluşturan sıvının sıcaklığı ve miktarı ile kar çözdürmeyi sonlandırma sıcaklığının farklı değerleri deneylerle irdelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler neticesinde; ısı kütlesi sıcaklığının ve miktarının artırılmasının, kar çözdürme süresinin kısalmasında ve enerji tüketiminin azalmasında etken olduğu ortaya konmuştur.

Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme yöntemi üzerine kurulan deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, ters akışlı soğutma sırasında kullanılan solenoid valfin açıklığının sisteme etkisi farklı yönleriyle irdelenerek ortaya konmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda, ters akışlı soğutma çevriminde sistemin ısıtma performansı hakkında bilgi sahibi olabilmek amacıyla ısıtma etkinlik katsayısı, prosesin başlatılmasından itibaren beş dakikalık aralıklarla belirlenmiştir.

METHODS AND APPLICATION OF ALTERNATIVE DEFROST SYSTEMS FOR EVAPORATOR OF COOLING SYSTEMS

SUMMARY

Frosting phenomena on the evaporator in no-frost refrigerators which have been widely used recently, is due to condensation of humidity in the refrigerator cabinets air on evaporator surfaces resulting a frost layer.

As a result of many reasons, frosting phenomena occurring on the evaporator of refrigerator has unfavorable effects on the performance of the system and unless eliminated from the system, it prevents cooling. In such a situation performance of the system decreases as energy consumption increases substantially. On the other hand, although electrical heaters used in domestic refrigerators achieve successful defrosting, they cost an additional energy consumption. For this reason, it is important to replace electrical heaters with alternative defrosting methods.

The aim of this thesis is to consider alternative defrost methods which may be used in place of already existing ones and to investigate the possibility of limiting energy consumption resulting from defrost process.

For this purpose, experimental setups regarding 3 different defrost methods were established. Studies have been carried out on these experimental setups in order to determine their applicability and advantages of the methods as well as their contribution to limit the energy consumption.

For the hot-gas defrost method, three different prototypes were formed and experiments were carried out. Regarding the defrosting times, comparisons with the original electrical-heater defrost method have been done.

On the experimental setup of warm liquid defrost method, temperature and volume of the thermal mass and termination temperature of the defrost were differentiated and investigated with experiments. As a result of the analysis, it has been proved that differentiating of temperature and volume of the thermal mass causes to shorten the defrosting time by minimizing the energy consumption.

At the experiments with the experimental setup of reverse-cycle defrost method, the effect of the degree of opening of the manual expansion valve to the system was examined with different ways. Finally, the coefficients of the performance for heating process were determined by the aid of the results of measurements for 5 minutes interval with the start of defrosting until its termination.

1. GİRİŞ

Dünyada enerji kaynaklarının günden güne azalması ve buna paralel olarak enerji maliyetlerinin artması, ülkeleri yeni enerji kaynakları bulmaya ve bunları geliştirerek kullanmak için yeni çözüm yöntemleri üzerinde çalışmalar yapmaya zorlamıştır. Özellikle 1970'deki petrol krizinden itibaren sanayileşmiş ülkeler, enerjinin daha verimli kullanılması konusunda daha hassas hale gelmişler ayrıca, mevcut enerji kaynaklarının tasarruflu kullanılması için standartlar geliştirerek enerji tüketimini azaltmaya çalışmaktadırlar. Geliştirilen standartlarda, enerji tasarrufu ve verimliliği üzerinde hassasiyetle durulması, enerji verimliliğinin önemini ve gerekliliğini daha da ön plana çıkartmaktadır.

Enerji verimliliği konusunda yapılan araştırmalar sonucunda, evsel ihtiyaçlar doğrultusunda tüketilen enerjinin toplam tüketimde büyük bir paya sahip olduğu belirlenmiştir. Evsel enerji tüketiminin önemli bir kısmı da, dayanıklı tüketim ürünü cihazlardan kaynaklanmaktadır. Bu cihazlar içinde soğutucular ve dondurucular enerji tüketimi bakımından bu çalışmalar kapsamında değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar, diğer tüm sektörlerde olduğu gibi beyaz eşya sektöründe de üreticiler arasında önemli bir rekabet ortamı doğurmuştur. Buzdolaplarında enerji tüketiminin azaltılarak daha verimli çalışan buzdolaplarının üretilmesi hedefleri de sürekli olarak büyümektedir.

1.1 Tezin Amacı

Buzdolapları temelde konvansiyonel ve karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü (no-frost) olmak üzere iki farklı tipte üretilmektedir. Karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü buzdolapları, konvansiyonellerden farklı olarak kar çözme (defrost) mekanizmasına sahiptir ve bu iki tip dolap içindeki ısı taşınım şekli birbirinden tamamen farklılaşmıştır. Konvansiyonel buzdolaplarında, bölmelerin soğutulması, bölme yüzeylerine yerleştirilen buharlaştırıcı borularındaki soğutucu akışkana doğal taşınım yoluyla ısı geçişi ile havanın soğutulması esasına dayanmaktadır. Karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü buzdolaplarında ise bölmelerdeki hava

zorlanmış taşınımlı dolaşım esasına dayanarak soğutulmaktadır. Havanın zorlanmış hareketi için, dolabın belirli yerlerine en az bir fan koyulması gerekmektedir. Havanın zorlanmış olarak dolaşımı sonucu, soğutucu ve dondurucu bölmeleri havaları buharlaştırıcı bölgesinde karışmakta ve özellikle soğutucu bölmelerinden gelen havanın yüksek bağıl neme sahip olması sonucu, buharlaştırıcı yüzeyinde karlanma oluşmaktadır. Buharlaştırıcıda zamanla artan kar, buzdolabının çalışma performansını büyük ölçüde etkilemekte ve enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle buharlaştırıcıda oluşan karın belirli sürelerde çözdürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan kar çözdürme mekanizmaları da karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü buzdolaplarında enerji tüketimi açısından önemli bir paya sahiptir.

Bu tez çalışmasında amaç, buzdolabı mevcut kar çözdürme mekanizmalarının yerine kullanılabilir alternatif kar çözdürme uygulamaları ile kar çözdürmeden kaynaklanan enerji tüketiminin azaltılabilirliğinin irdelenmesidir.

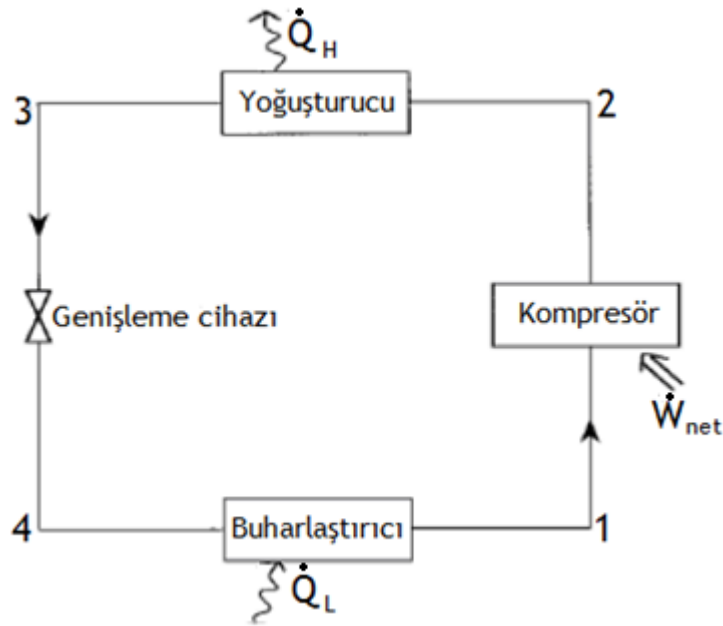
1.2 Buzdolabı Soğutma Çevrimi

Soğutucu sistemler en genel halde, faz değişimli ısı pompasını temel alan çevrimi kullanır, bununla beraber soğurmalı ısı pompaları da bir çok uygulamalarda kullanılır.

Soğutma, kapalı bir ortamdan veya maddeden çekilen ısının, ortamın veya maddenin sıcaklığını azaltmak veya sabit bir değerde tutmak için çevreye aktarılması işlemidir. Benzer şekilde soğutma çevrimi ise, soğutucu bir akışkanın ısıyı soğuk bir ortamdan sıcak bir ortama aktarması suretiyle gerçekleşen bir çevrimdir. Isının aktarılması soğutma çevriminde dolaşan soğutucu akışkan ile sağlanır. Soğutucu akışkan, ısı alarak sıvı fazdan buhar fazına geçer ve daha sonra ısını verip yoğuşarak, buhar fazından tekrar sıvı fazına döner (Çengel ve Boles, 1989).

En yaygın kullanılan soğutma çevrimi, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir. Çevrimde bir yüksek basınç tarafı, bir de düşük basınç tarafı bulunmaktadır. Kompresör, yoğuşurucu, kılcal boru ya da kısımla cihazı hattı, soğutma sisteminde yüksek basınç tarafını oluşturmaktadır. Düşük basınç tarafı ise kılcal boru, buharlaştırıcı, kompresör hattından oluşmaktadır. Buharlaştırıcı girişinde sıvı halinde bulunan soğutucu akışkan, buharlaştırıcı borularındaki hareketi sırasında düşük basınç ve sıcaklıkta buharlaşıp, buharlaştırıcının bulunduğu ortamdan ısı çeker ve bu

sayede ortamda soğutmayı gerçekleştirir. Buharlaştırıcıda buharlaşarak kompresöre giden soğutucu akışkan, kompresörde sıkıştırılarak, basıncı ve sıcaklığı artırılıp yoğuşturucuya gönderilir. Kızgın buhar halinde yoğuşturucuya giren soğutucu akışkan, burada yüksek basınç altında yoğuşarak ısıyı yoğuşturucudan dış ortama aktarır. Yoğuşturucu çıkışında yüksek basınçta ve sıvı fazında olan soğutucu akışkan, evsel buzdolaplarında kısılma işlemi için kullanılan kılcal boruda basıncı ve sıcaklığı düşürüldükten sonra tekrar buharlaştırıcıya gider. Bu şekilde soğutma çevriminin bir çalışma döngüsü gerçekleşmiş olur. Evsel buzdolaplarında bir soğutma çevriminde yer alan ara bileşenlerden kurutucu filtre, yoğuşturucu ile kılcal boru arasında bulunur ve burada sıvı fazında bulunan soğutucu akışkanın nemini alarak, temizlenmesini sağlar. Diğer bir ara eleman olan akümülatör ise, buharlaştırıcının hemen çıkışındadır ve buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın sıvı olarak kompresöre gitmemesini garanti altına almak amacıyla burada sıvı tutucu olarak görev yapar. Buhar sıkıştırılmalı bir soğutma çevriminin şematik gösterimi Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1 : Soğutma çevriminin en genel halde şematik gösterimi.

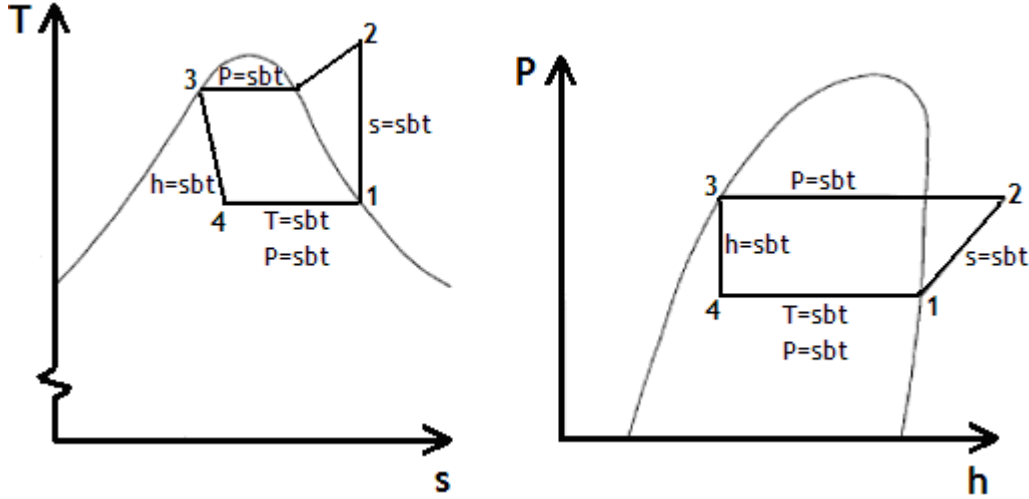
1.3 Buzdolabı Soğutma Sisteminin Performansı

Bir soğutma sisteminin ısıl değerlendirmesi ve performans analizi etkinlik katsayısının (COP) belirlenmesi ile yapılır. Soğutmanın amacı soğutulan ortamdan ısı çekmektir (\dot{Q}_L). Bunu gerçekleştirmek için soğutucu akışkanın kompresörde

sıkıştırılması, bu nedenle elektrik enerjisi tüketerek iş yapılması gerekir (\dot{W}_{net}). Bu durumda bir soğutma sistemi için anlık etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$COP = \frac{\text{soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısı}}{\text{sistemde birim zamanda gerçekleştirilen net iş}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} \quad (1.1)$$

Şekil 1.2’de ideal soğutma çevrimi için sıcaklık-entropi (T-s) ile basınç-entalpi (P-h) grafikleri verilmiştir.



Şekil 1.2 : İdeal soğutma çevrimi P-h diyagramı.

P-h grafiğinde sistemin soğutma yükü 4 ile 1 noktaları arasındaki entalpi değişimi, sisteme verilen elektrik işi (kompresör) işi ise 1 ile 2 noktaları arasındaki entalpi değişimi ile tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalardan yola çıkılarak sistemin soğutma etkinlik katsayısını aşağıdaki denklem ile hesaplamak mümkündür.

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1.2)$$

Soğutma çevrimindeki herhangi bir proses için sürekli akış kabulü ile enerji denklemi

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{v_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (1.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada birim zamandaki soğutma yükü (kW)

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m} \cdot (\Delta h)_{buh} \quad (1.4)$$

birim zamandaki yoğuşturucu yükü (kW)

$$\dot{Q}_{yog} = \dot{m} \cdot (\Delta h)_{yog} \quad (1.5)$$

kompresör gücü (kW)

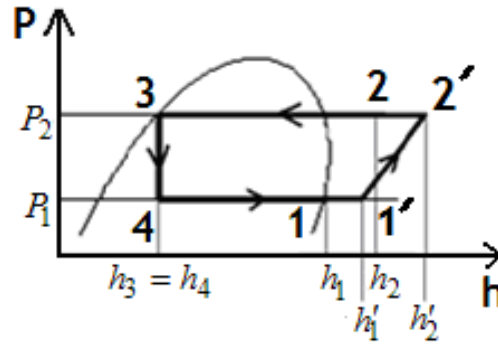
$$\dot{W} = \dot{m} \cdot (\Delta h)_{komp} \quad (1.6)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

Şekil 1.3'teki P-h diyagramında görüldüğü üzere soğutma çevriminde soğutucu akışkan aşırı ısınmış ($h'_1 - h_1$ arası) ise soğutma çevriminin etkinlik katsayısı

$$COP = \frac{h'_1 - h_4}{h'_2 - h'_1} \quad (1.7)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Aşırı ısınma durumunda buharlaştırıcı çıkışı ve girişi arasındaki entalpi farkı (Δh) artmaktadır. Bu durumda sistemin soğutma kapasitesi de artmaktadır. Aşırı ısınma sayesinde kompresör girişinde soğutucu akışkanın tamamının buhar fazında olduğundan emin olunmaktadır. Ancak aşırı ısıtma ile birlikte kompresör gücü ve yoğuşturucuda atılması gereken ısıl yük de artmaktadır. Kompresörün çalışmış olduğu entalpi farkı soğutma kapasitesindeki artış değerinden fazla olduğu için sistemin soğutma performansında (COP) azalma meydana gelmektedir (Satyam ve James, 2002).



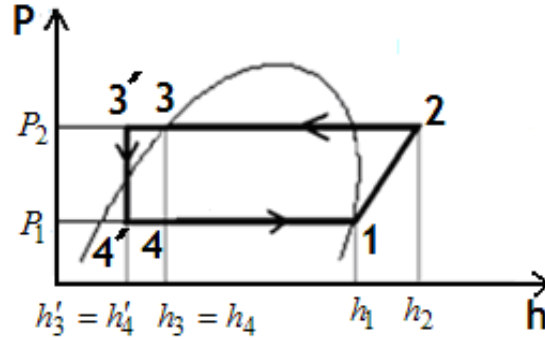
Şekil 1.3 : Aşırı ısınmalı soğutma çevriminin P-h diyagramı.

Soğutma kapasitesini artırmanın diğer bir yolu da aşırı soğutma işlemidir. Aşırı soğutma ile birlikte soğutma kapasitesi ve buna bağlı olarak sistemin soğutma performansı artmaktadır. Şekil 1.4'te görüldüğü üzere ideal çevrime göre buharlaştırıcının entalpi farkı büyümektedir. Kompresör için bir değişim söz konusu değildir.

Şekil 1.4'deki P-h diyagramında görüldüğü üzere soğutma çevriminde soğutucu akışkan aşırı soğumuş ($h_3 - h'_3$ arası) ise sistemin etkinlik katsayısı

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h'_4}{h_2 - h_1} \quad (1.8)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu durumda Denklem (1.8)'de görüldüğü üzere sistemin soğutma performansı artmaktadır (Satyam ve James, 2002).



Şekil 1.4 : Aşırı soğumalı soğutma çevriminin P-h diyagramı.

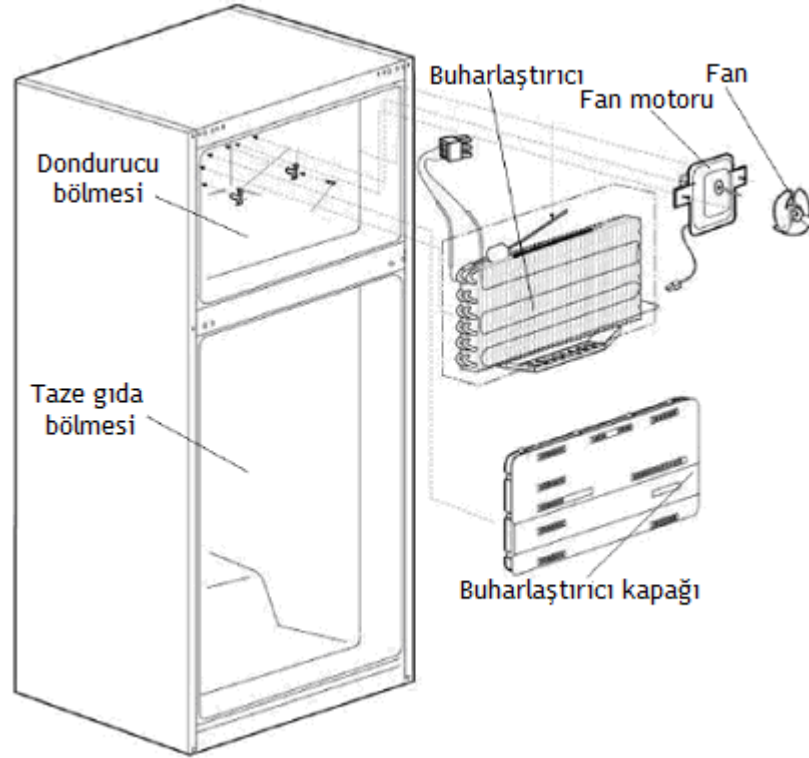
1.4 Evsel Buzdolaplarında Kullanılmakta Olan Kar Çözdürme Yöntemi

Karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü evsel buzdolaplarında kar çözdürme işlemi genellikle elektrikli ısıtıcı yardımıyla yapılmaktadır. Elektrikli ısıtıcı buzdolabı buharlaştırıcısı üzerinde yer almakta ve kar çözdürme emrini aldıktan sonra buharlaştırıcı üzerindeki karı eritmektedir.

Kar çözdürme işleminin daha iyi anlaşılması için, karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü evsel bir buzdolabı buharlaştırıcısının yapısını anlatmak amacıyla Şekil 1.5'de evsel buzdolabı soğutma grubunun ayrılaştırılmış resmi sunulmuştur.

Soğutma sırasında buzdolabı kabinlerindeki sıcak hava, hava kanallarından emilerek buharlaştırıcıya gönderilmektedir. Soğutucu ve dondurucu bölmesi hava emiş kanalları birbirinden bağımsız olarak kabinde bulunan havayı buharlaştırıcıya ulaştırmaktadır. Buharlaştırıcı alt bölgesinde soğutucu ve dondurucu hava emiş kanallarından gelen hava birbirine karışmakta ve buharlaştırıcının üstünde yer alan fan ile dolaşımı sağlanıp soğutulmaktadır. Bu sırada özellikle soğutucu bölgesinden gelen hava yüksek oranda nem içermektedir. Nemli havanın, buharlaştırıcının soğuk yüzeyleriyle karşılaşması sonucu, buharlaştırıcı yüzeylerinde karlanma oluşmakta ve havanın sürekli olarak dolaşımı sonucu karlanma zamanla artmaktadır. Karlanmanın buharlaştırıcı borularını kaplayarak kalınlığının artması belirli bir noktadan sonra

buharlaştırıcının verimsiz çalışmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle kar çözme işleminin belli aralıklarla gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Ercan ve Gümüş, 2007).



Şekil 1.5 : Evsel buzdolabı soğutma grubunun ayrılaştırılmış resmi.

Buzdolaplarında kar çözme işlemi, kompresörün belirli çalışma sürelerinin sonunda başlamakta ve buharlaştırıcı üzerinden ölçülen belirli bir sıcaklık değerine ulaşıldığında sonlandırılmaktadır. Deneilerin gerçekleştirildiği buzdolaplarında orijinal durumda kullanılan kar çözme ısıtıcıları toplam 200 W güce olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Bu ısıtıcının bir kısmı buharlaştırıcı üzerine, diğer kısmı da karlanmanın olduğu diğer yüzeylere yerleştirilmiştir. Kar çözme işlemi sonunda belli bir süre su süzülme periyodu gerçekleşmektedir.

Elektrikli ısıtıcının kar çözme amacıyla kullanılması, buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan karın çözülmesini sağlasa da buzdolabının toplam enerji tüketimini önemli oranda arttırarak olumsuz etkilemektedir. Bu tez çalışmasında, mevcut elektrikli ısıtıcı yerine alternatif kar çözme yöntemi olarak sıcak gaz, sıcak sıvı ve ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözme uygulamaları deneysel olarak irdelenmiştir. Soğutma sisteminin kendi içindeki ısı kaynaklarının kar çözme amacıyla etkin bir şekilde kullanılabilirliği öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Kompresör basma hattı üzerindeki sıcak gazın doğrudan buharlaştırıcıya gönderilerek kar çözme

gerçekleştirildiği klasik sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemlerinin evsel buzdolabına uyarlanması yanında; belirli bir ısı kütlesi üzerinde depolanan sıcak gaz ısı enerjisinin kar çözdürme süreci esnasında soğutucu akışkan ile buharlaştırıcıya iletilmesi ile kar çözdürmenin sağlandığı yöntemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca literatürde uygulamasına rastlanmayan, yine bir ısı kütlesi sıvısında depolanan enerjinin, sıvının ek bir boru ile dolaşımının sağlanmasıyla buharlaştırıcıya aktarıldığı sistemin uygulaması yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması çalışmaları alternatif kar çözdürme yöntemlerinin her biri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş, açık literatür ve patentler ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Açık literatür araştırmalarının hemen hepsi sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi üzerinedir. İncelenen patentler ise yine ağırlıklı olarak sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi uygulamaları üzerine olsa da sıcak sıvı ile kar çözdürme ve hava ile kar çözdürme yöntemleri üzerine de birkaç patent incelenmiştir.

2.1 Açık Literatür Araştırması Sonuçları

Stoecker (1957) ve Yao ve diğ. (1989) yaptıkları çalışmalarla, buharlaştırıcı üzerinde oluşan karlanmanın sisteme etkilerini incelenmişlerdir. Buharlaştırıcı üzerinde oluşan karlanma, karın ısı iletkenliğinin, buharlaştırıcı yüzeylerinkinden daha düşük oluncaya kadar olumsuz olmadığı, daha sonrasında performansı olumsuz etkilediği sonucunda varmışlardır. Buharlaştırıcının istenilen soğutmayı sağlamak için daha düşük sıcaklıklara inmesi performansın düşmesine ana etkindir.

Şeker ve diğ (2004), Stoecker (1957) ve Barrow (1985), yaptıkları çalışmalarında karlanmanın oluşmasının, fandan kaynaklanan enerji tüketimini arttıracak ve buharlaştırıcı üzerinden geçecek olan hava miktarını da azaltacağını belirtmişlerdir.

Hoffenbecker ve diğ. (2005) yaptıkları çalışmada, sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi üzerine irdelemelerde bulunmuşlar, sistem kar çözdürme sürecinde iken ısı ve kütle geçişinin belirlenmesi için geçici rejimde bir model oluşturmuşlar ve modelin çözümü için giriş veri değerlerini ortam sıcaklığı, ortam nemi, buharlaştırıcı boru geometrisi, kar kalınlığı, boru üzerinde kar yoğunluğu ve sıcak gazın giriş sıcaklığı olarak belirlemişlerdir. Oluşturulan model ile kar çözdürme süreci sırasında, buharlaştırıcı borularında oluşan karın ergime süresi belirlenmekte ve buradan kara geçen gizli ve duyulur ısı belirlenmektedir. Ayrıca, çalışmada oluşturulan modelin sonuçları ile deneysel olarak tespit edilen gerçek kar çözdürme süreci sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, “sıcak gaz ile kar çözdürme etkinliği” kar tabakasını eritmek için sarfedilen enerjinin, bir kar çözdürme sürecinde buharlaştırıcıya

aktarılan toplam enerjiye oranı olarak tanımlanmıştır. Soğutucu akışkanın düşük sıcaklıklarında kar çözdürme etkinliği, kar tabakasını eritmek için geçen zamana bağlıdır. “Buharlaştırıcıda kar yoğunluğu”nu, buharlaştırıcı yüzeylerinde bulunan toplam kar kütlelerinin, buharlaştırıcı borularının hacmine oranı olarak tanımlamışlar ve buharlaştırıcı boyunca kar yoğunluğu %10 iken kar çözdürme etkinliği 0,3, kar yoğunluğu %20 iken kar çözdürme etkinliği 0,38 olmuştur. Bu artış, kar yoğunluğunun artmasıyla kar tabakasını eritmek için harcanan enerjinin de artmasından kaynaklanmaktadır. Kar tabakası belli bir seviyeye gelmeden kar çözdürme yapınca etkinlik daha düşük olmaktadır. Ancak kar tabakası yoğunluğu %30 olunca kar çözdürme etkinliği 0,32’ye düşmektedir. Bunda da karı eritmek için harcanan sürenin artması etken olmuştur.

Cole (1989), büyük soğutma sistemlerinde kullanılan sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemini çalışma süresi boyunca sisteme etkileyen soğutma yükünü modelleyerek irdemiştir. Modelde kar çözdürme verimi; karı eritmek için gerekli olan ısının, sistemin soğutma yüküne oranı şeklinde tanımlanmıştır. Kar çözdürme sırasında verilen enerjinin tümü karı eritmek için kullanılır ise, kar çözdürme verimi %100 olmakta ve bu durumda soğutulan ortama, kar çözdürmeden kaynaklanan ek bir ısı aktarılmamaktadır. Ancak, gerek buharlaştırıcı malzemesinin ısıyı çekmesi, gerekse ısıtma sırasında taşınım ve ışıınım yolları ile ortama ısı kaçması sonucu kar çözdürme verimi düşmektedir. Sonuç olarak, dondurucu tipi bir soğutma sistemi için sıcak gaz ile kar çözdürme uygulaması durumunda verilen enerjinin %80’inin buharlaştırıcı bölgesine aktarılmakta olduğu, geri kalan %20’lik miktarın ise karı eritmekte kullanıldığı belirtilmiştir.

Niederer (1976) deneysel çalışmalarının sonuçlarından yola çıkarak bir takım çıkarımlarda bulunmuştur. Kar çözdürme sırasında sıcak gazın yoğunlaşma miktarını ve gereken güç değerini tespit etmiş, kar çözdürme için ne kadar enerji gerektiği hakkında yorumda bulunmuştur. Sonuçta, sadece enerjinin %15-25 miktarının karı eritmek için harcadığını öne sürmüş, geri kalan %75-85’lik kısmının ise borular, kabin içi ve kabin yüzeylerini ısıtmaya harcadığını belirtmiştir.

Stoecker ve diğ. (1983) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda ticari soğutma sistemlerinde sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi kullanılmasının sisteme etkilerini araştırmışlar, kar çözdürme sürecinde sistemde hangi bileşenlerin etkilendiğini ve

ısındığını ve ayrıca bu bileşenlerin ısınması nedeniyle kar çözündürme sonrasındaki ilk soğutma sırasında büyük miktarda soğutma yükü gerektirdiğini belirlemişlerdir.

Coley (1983) deneysel çalışmalarında, sıcak gaz ile kar çözündürme yöntemini dondurucu tipi soğutucular için uygulamış, en az %15 oranında kar miktarının süblimleşme ile kabin içindeki havaya nem olarak katıldığını belirlemiş ve bunun da gelecek diğer kar çözündürme işlemleri için daha çok yüke sebep olacağını belirtmiştir.

Cole (1989) ise Stoecker'in verilerini kullanarak, Coley'nin önerilerinin doğruluğunu göstermiştir. Çalışmasında üretici firmadan aldığı veriler ile kar çözündürme işleminin farklı ısı yüklerinde gerçekleştiğini belirlemiştir. Ayrıca çalışmasında kar çözündürme işleminden kaynaklanan maliyet hesabını grafiksel olarak açıklamıştır.

Nussbaum (1969) sıcak gaz ile kar çözündürme yöntemine benzer bir yöntem üzerinde deneysel olarak çalışmıştır. Buharlaştırıcıya kar çözündürme amacıyla buhar fazındaki aşırı ısınmış soğutucu akışkanı göndermiş fakat gönderilen gazın doyma sıcaklığının kar tabakasının sıcaklığından daha düşük olduğunu belirtmiştir. Böyle bir sistemin uygulanması buzdolapları için pratikte yararlı değildir.

Al-Mutawa (1997) araştırmasında sıcak gaz ile kar çözündürme yönteminin kullanıldığı bir klima sisteminin ısı yüklerinin hesaplanması ve ölçülmesi amacıyla gerçekleştirdiği modelleme ve deneysel çalışmalarını sunmuştur. Sıcak gaz ile kar çözündürme işlemi sonucu oluşacak ısı yüklerinin tespiti için ergiyen buz kütlesi, buz kalınlığı, sıcaklık, basınç, soğutucu akışkan debisi, nem miktarı ve kullanılan güç değerlerinin tespiti için deney düzenekleri hazırlamıştır. Deneyler hava giriş sıcaklığı $-8F$ ($22^{\circ}C$) ve $-13F$ ($25^{\circ}C$) durumlarında iki kez yapılmış ve elde edilen sonuçlar, grafik ve çizelgelerle gösterilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler sonucunda kar çözündürme verimini bulmak için kullanılan prosedür şu şekildedir:

İlk olarak kar çözündürmede verilen toplam ısı ($Q_{kç}$) hesaplanır. Burada \dot{m}_{sa} sıcak gaz debisi, h_2 sıcak gaz giriş entalpisi, h_1 kar çözündürme süreci sonunda sıcak gazın entalpisi ve Δt ise ölçümlerin alındığı kısa zaman aralıklarını belirtmektedir.

$$Q_{kç} = \sum_{i=1}^{Son} (\dot{m}_{sa} (h_{sa,g} - h_{sa,ç}) \Delta t)_i \quad (2.1)$$

Daha sonra buzun ergitmek için gereken toplam ısı miktarı (Q_{erg}) hesaplanır. Burada m_{erg} ergiyen buzun kütlesini, h_2 buzun ergime sonunda bulunduğu sıcaklıktaki

entalpisini ve h_1 ise kar çözdürme öncesi buzun bulunduğu sıcaklıktaki entalpisini göstermektedir.

$$Q_{erg} = m_{erg} (h_{kar,s} - h_{kar,i}) \quad (2.2)$$

Son olarak kar çözdürme verimi ($Q_{kç}$) hesaplanır. Ayrıca soğutucu akışkana ve iç ortama verilen ısı miktarları da ısı yükleri belirlemek açısından hesaplanır.

$$\eta_{kç} = \frac{Q_{erg}}{Q_{kç}} (100) \quad (2.3)$$

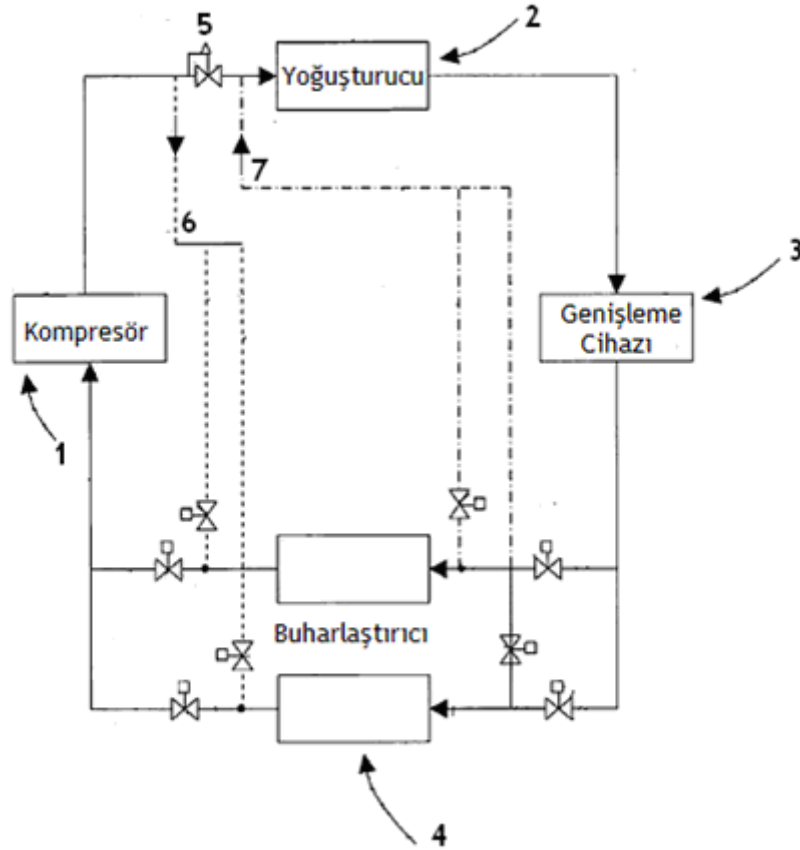
2.2 Patent Araştırması Sonuçları

Patent araştırması tüm alternatif kar çözdürme yöntemleri üzerine gerçekleştirilmiş, incelenen patentlerin çoğunluğu sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi üzerine alınmış bu patentlerin daha çok evsel buzdolaplarında uygulanabilir olmasına dikkat edilmiştir.

Sıcak gaz ile kar çözdürme üzerine incelenen patentlerde kar çözdürme işlemi farklı yollar ile gerçekleştirilmiştir. Kompresörün çıkış hattından sağlanan kızgın buharın enerjisiyle gerçekleştirilen kar çözdürme işleminin yanında, kompresör veya yoğuşturucudan atılan ısı kullanılarak gerçekleştirilen kar çözdürme işlemleri mevcuttur. Kar çözdürmenin, sıcak gazın ısını doğrudan buharlaştırıcı boruları içinden dolaşarak verdiği sistemlerin yanında ek bir kar çözdürme borusu ile dolaşımının gerçekleştirildiği sistemlere de rastlanmıştır.

Dube (2006) tarafından patenti alınan sistemde, kompresör basma hattından alınan sıcak gazın buharlaştırıcıya yönderilmesi sonucu kar çözdürme işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.1'de bu sistemin elemanları şematik olarak gösterilmiştir. Sıkıştırma safhası (1), yoğuşma safhası (2), kısılma safhası (3) ve buharlaşma safhası (4) numaralarla gösterilmiştir. Sistemde iki buharlaştırıcı olduğundan soğutma devam ederken kar çözdürme işlemi de aynı zamanda gerçekleştirilmektedir. Kar çözdürme işlemi yoğuşturucu öncesinde bulunan basınç ayarlı valf (5) ile gerçekleştirilmektedir. Sıkıştırma safhasından gelen yüksek basınçlı, yüksek sıcaklıktaki gazın bir kısmı kar çözdürme işlemi için ilk kısayol hattı (6) ile buradan ilk buharlaştırıcıya iletilmektedir. Burada kar çözdürmeyi tamamladıktan sonra, ikinci kısayol hattı (7) ile doğrudan yoğuşma safhasına girerek,

soğutma çevrimine katılır. Basınç ayarlayıcı valf, ilk kısayol hat borusu ve ikinci kısayol hat borusu arasında basınç farkı oluşturarak çevrimi tamamlar.

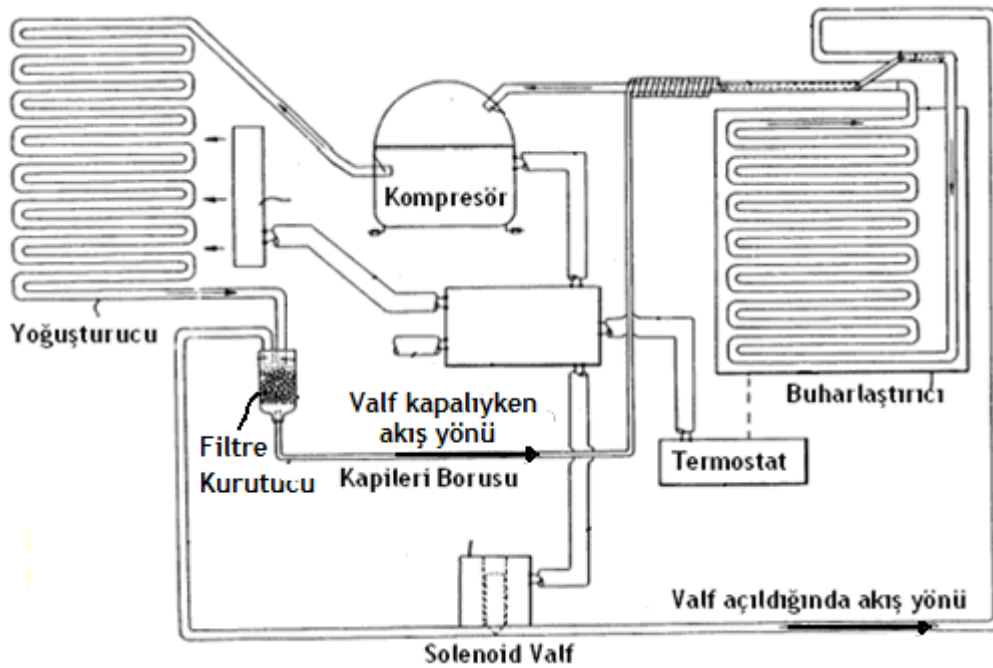


Şekil 2.1 : Kısayol borusu ile gerçekleştirilen sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Dube, 2006).

U-Line Corporation (1991) tarafından patenti alınmış sistemde ise, soğutma çevrimine eklenen kısayol borusu ve filtre kurutucu ile buharlaştırıcıya ikinci bir giriş borusu eklenmiştir. Filtre kurutucu burada yoğuşturucu ile kılcal boru arasındadır ve üç çıkışı vardır. İlk iki çıkışı sırayla yoğuşturucu ve kılcal boruya bağlanırken, üçüncü çıkışı kısayol borusu ile buharlaştırıcıya bağlanır. Şekil 2.2’de bu soğutma sistemi gösterilmiştir. Kar çözdürme çevriminde, kompresörden gelen sıcak gaz yoğuşturucuda hiçbir işleme uğramaz ve filtre kurutucuya gelir. Solenoid valfin açılmasıyla, filtre-kurutucudan alınan sıcak gaz kısayol borusundan geçerek buharlaştırıcıya gider ve burada kar çözdürmeyi gerçekleştirir. Kar çözdürme tamamlandıktan sonra soğutucu akışkan tekrar kompresöre döner ve kar çözdürme çevrimi sonlanır.

Bu patentte önem kazanan yenilik kısayol borusunun kılcal boruya göre büyük çaplı oluşturulması sonucu soğutucu akışkanın bu yolu tercih etmesinin sağlanmasıdır.

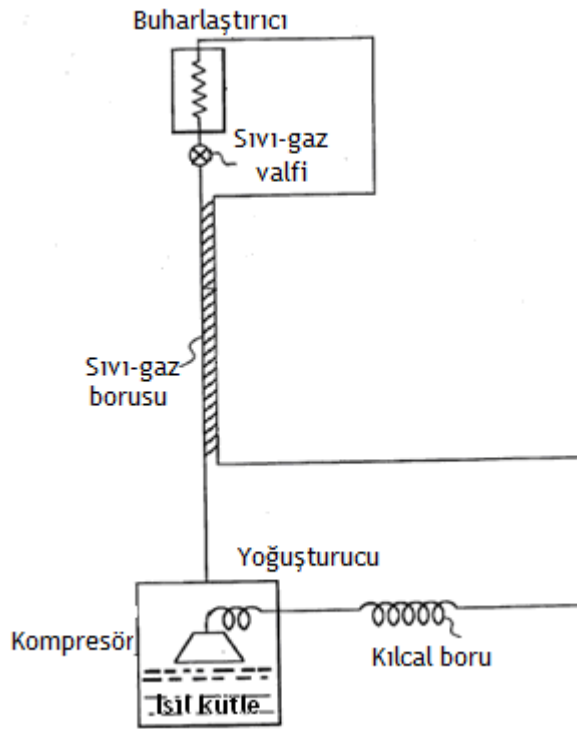
Böylece kılcal boru girişine ek bir valf koyulmaya gerek kalmamış, ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözme sistemine göre daha basit bir valf yapısına sahip olunmuştur. Ayrıca yoğuşturucu çıkışında oluşan düşük basınç sayesinde kompresörden alınan sıcak gaz çok hızlı bir şekilde yoğuşturucudan geçerek kısayol borusuna ilerlemekte ve yoğuşturucu boyunca herhangi bir etkiye maruz kalmamaktadır. Kar çözme esnasında kompresör çalışmaktadır. Bundan dolayı dayanıklılığı ve ömrü azalsa da, dur-kalk sırasında oluşacak enerji kaybından tasarruf edilir ve soğutma çevriminden kar çözme çevrimine geçilirken kompresörden sağlanan gazın mümkün olduğunca yüksek sıcaklığa olması sağlanır.



Şekil 2.2 : Sıcak gaz ile kar çözme yönteminin şematik gösterimi (U-Line Corp, 1991).

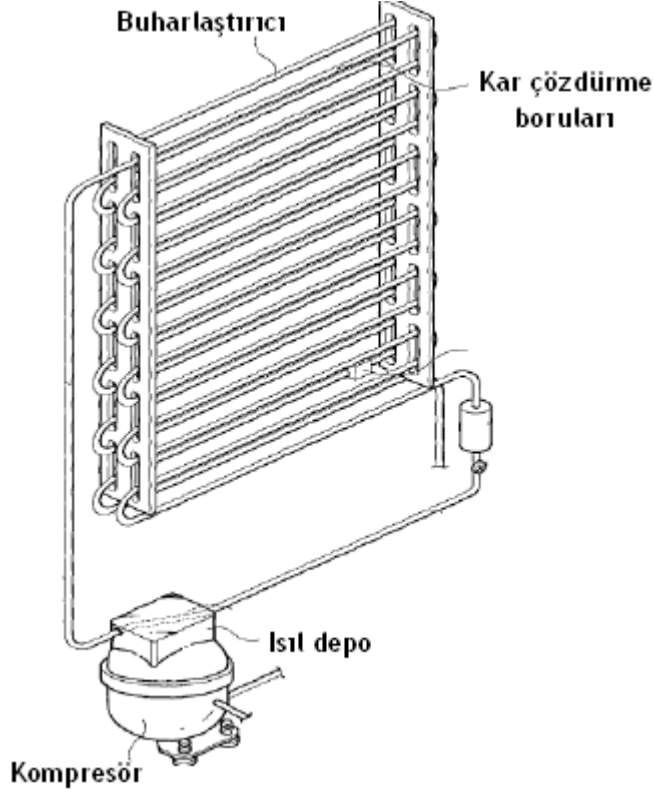
General Electric (1997) tarafından patenti alınmış sistemde kar çözme işlemi kompresör ve yoğuşturucudan atılan fazla ısıyla gerçekleştirilmektedir. Kar çözme çevriminin gerçekleşmesi için kompresör durduktan belli bir süre sonra buharlaştırıcının altında bulunan sıvı toplama valfi açılmakta ve buharlaştırıcıda biriken soğutucu akışkan sıvı borusundan ısıl depoya doğru yer çekimi etkisiyle süzülmemektedir. Isıl depo, kompresörü ve yoğuşturucuyu içine alacak şekilde tasarlanmıştır. Burada buharlaşarak sıcak gaz fazına geçen soğutucu akışkan tekrar buharlaştırıcıya giderek burada kar çözme işlemini tamamlamaktadır. Sisteme dışardan sağlanacak herhangi bir ek enerji kaynağı olmadan kar çözme işleminin

gerçekleştirilmesi, sisteme patent olma özelliği kazandırmıştır. Isıl depo, kompresörü de içine alacak şekilde tasarlanmış, kar çözdürme işleminin başlamasıyla buharlaştırıcıda biriken sıvı soğutucu akışkanın ısıl depoya gelerek buradan aldığı ısıyla gaz haline geçmesi, daha sonra buharlaştırıcıya gönderilerek burada karın ergimesini sağlayarak sıvı fazına geçmesi ve tekrar ısıl depoya gelmesi patentin istem listesinde (claims) belirtilmiştir. Ayrıca gaz fazına geçen sıvı soğutucu akışkanın, sıvı fazın geldiği borudan farklı olarak ikinci bir boruyla buharlaştırıcıya gönderilmesi de patentin istem listesinde belirtilmiştir.



Şekil 2.3 : Isıl kütle yardımıyla gerçekleştirilen sıcak gaz ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (GE, 1997).

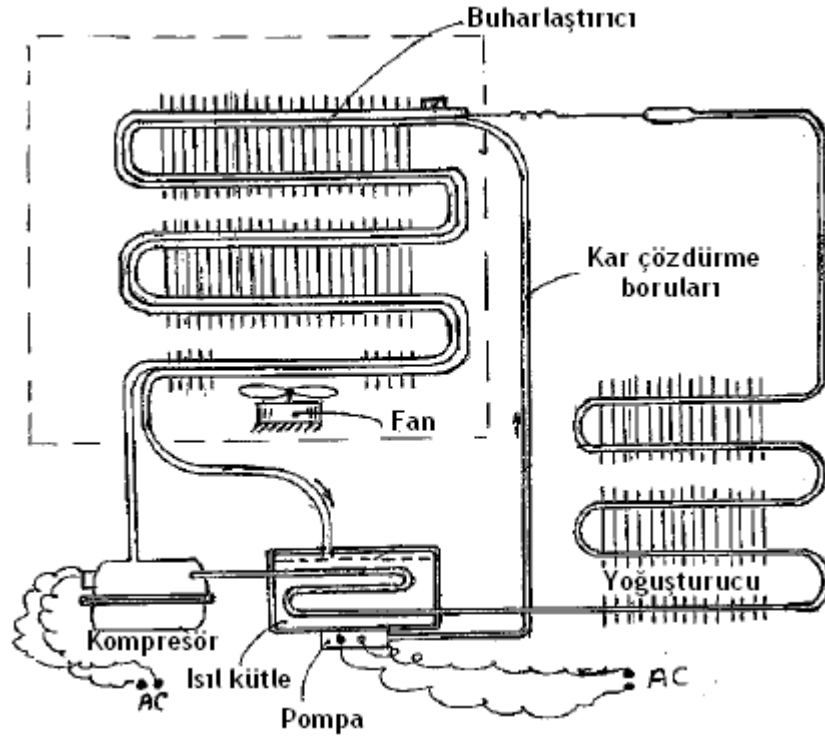
Samsung Electronics (2005) tarafından patenti alınmış bir diğer sistemde, General Electric'in patentine benzer şekilde bir ısıl depo oluşturulmuş fakat ısıl yük ısıl depoda bulunan bir akışkana aktarılmıştır. Kar çözdürme sırasında bu ısıl depoda bulunan akışkan, gaz fazında iken kar çözdürme borularından hareket ederek kar çözdürme işlemini tamamlamaktadır. Sistemde ısıl depo kompresörün hemen üzerine yerleştirilmiştir. Böylece kompresör çalıştığı anda ortaya çıkan ısı depoya aktarılmaktadır. Bu ısının daha etkin kullanılması için düşük özgül ısıda ve kolaylıkla gaz fazına geçebilen bir soğutucu akışkan seçilir.



Şekil 2.4 : Isıl depo oluşturularak gerçekleştirilen sıcak gaz ile kar çözme yönteminin şematik gösterimi (Samsung Electronics, 2005).

Pandaru (2001) tarafından patenti alınmış bir diğer sistem, sıcak sıvı ile kar çözme yöntemi üzerinedir. Bu buluşta, sıcak sıvıda depolanan ısı enerjisi kar çözme için kullanılmaktadır. Sistemde kompresörün kızgın buhar hattı üzerinde bir ısı kütle deposu oluşturulmuş ve soğutma sırasında burada ısı enerjisi depolanmıştır. Kar çözme sırasında buradaki ısı kütle bir pompa yardımıyla kar çözme boruları içerisinde dolaştırılmaktadır. Borular buharlaştırıcı ile temas halinde olduğundan kar çözme işleminde ısı, iletim ile kara aktarılmaktadır. Bu yöntemin diğerlerinden farkı kar çözme için kullanılan ısı enerjisinin kaynağı ve bunun depolanma şeklidir. Ayrıca kar çözme süresinin diğerlerine göre kısa sürdüğü de belirtilmiştir. Sıvı borularının yapısı ve konumu gereği buharlaştırıcıya kar çözümü sağlayabilecek kadar enerji verilir. Böylece buharlaştırıcının gereğinden fazla ısınması engellenmiş olur. Bu durumda, buharlaştırıcı ile sıvının arasındaki ısı direnci en aza inmiştir. Bu da kar çözme süresini kısaltıcı bir etkidir. Aynı anda çevrimlerin düşük basınçta devam etmesiyle ısı direnci düşürmenin diğer bir yolu da metal boru kalınlığının azaltılmasıdır. Seçilen pompanın aynı debide akışı sürdürebilecek kapasitede olmasının önemli olduğu da

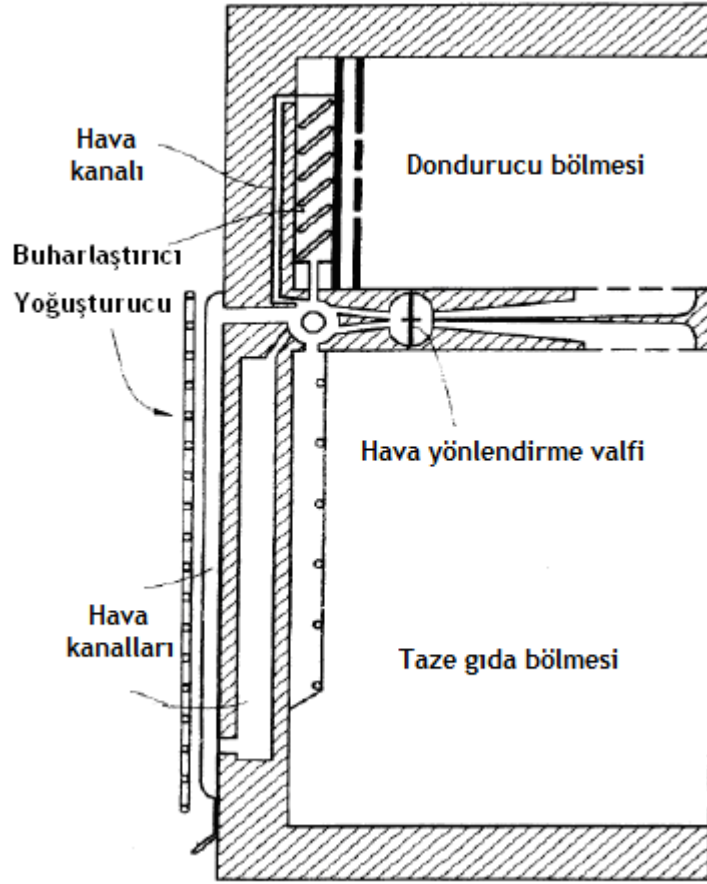
bu çalışmada belirtilmiştir. Kullanılacak ısı kütlesi ile ilgili de, yüksek özgül ısı kapasiteli, düşük donma sıcaklığına sahip, korozyona sebep olmayan, herhangi bir tehlike yaratmayan, yanıcı olmayan, fiziksel ve kimyasal kararlılığı olan ve düşük viskozitede bir akışkanın seçilmesi gerektiği bu çalışmada belirtilmiştir. Sonuç olarak, sıcak sıvı ile kar çözme sistemi ekonomik olarak avantajlı olmakla birlikte, bu sistemin enerji tasarrufu diğer sistemlere göre fazladır.



Şekil 2.5 : Sıcak sıvı ile kar çözme yönteminin şematik gösterimi (Pandaru, 2001).

Multi-Bras Eletrodomeesticos (2000) tarafından patenti alınmış bir sistem, evsel buzdolapları için alternatif bir yöntem olan hava ile kar çözme yöntemidir. Bu yöntemde kar çözme işlemi havanın buharlaştırıcı boruları üzerinden geçirilmesi sonucu gerçekleşir. Patentte buharlaştırıcıya gönderilecek havanın öncelikle yoğurturucu bölgesinden geçirilerek burada sıcaklığının artırılması amaçlanmıştır. Kar çözme ve soğutma sırasında havanın kanallarda yol almasını belirlemek ve kar çözme sırasında kabin içindeki soğuk havanın buharlaştırıcı bölgesine gelmesini önlemek için, bir hava yönlendirme valfi kullanılmıştır. Bu sistemde, sistemin elemanlarından atılan ısıdan faydalanılmıştır ve dışardan ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmamaktadır.

İncelenen patentler mevcut durumda çoğu evsel buzdolabında kullanılan elektrikli ısıtıcı ile kar çözdürme yöntemine alternatif oluşturacak buluşları içermektedir. Bir çoğunda elektrikli ısıtıcı yerine sistemin kendi elemanlarından atılan ısının geri kazanılması ile kar çözdürmenin gerçekleştirilmesi yolunda yöntemler anlatılmaktadır. Piyasada bu yöntemlerin uygulamasına rastlanmamış fakat evsel buzdolapları için uygulanabilirlik olasılığı bulunan yöntemler olarak belirlenmişlerdir.



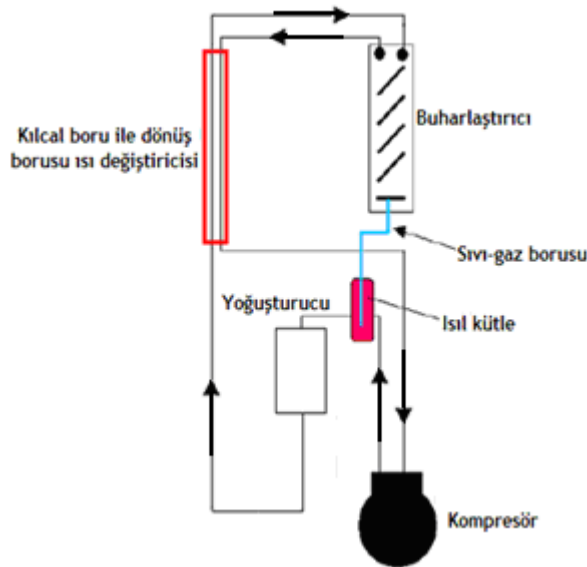
Şekil 2.6 : Hava ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi (Multi-Bras Eletrodomeesticos, 2000)

3. ALTERNATİF SICAK GAZ İLE KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMİ

Bu bölümde alternatif sıcak gaz ile kar çözme yöntemi tanıtılmakta, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar anlatılmakta ve sonuçları sunulmaktadır.

3.1 Sıcak Gaz İle Kar Çözme Yönteminin Tanıtılması

Sıcak gaz ile kar çözme yöntemi bir ısı kütle tarafından ısıtılan sıcak soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya gaz fazında gönderilerek kar çözme işleminin gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Genel uygulamalarda sıcak soğutucu akışkan, ısısını doğrudan buharlaştırıcı borusu içerisinde dolaşımı esnasında ısıyı kara aktarabilirken, ek bir kar çözme borusu hattı kullanarak kar çözme sağlanan sistemlerde mevcuttur. Sıcak gaz ile kar çözme yönteminin en önemli avantajı, sıcak gazın kar çözme için gereken enerjiyi dış ortamdan ya da soğutma sistemi bileşenlerinden (kompresörün ısınmasından veya yoğuşturucudan atılan ısıdan) karşılamasıdır. Bu sayede buzdolaplarında kullanılan mevcut kar çözme ısıtıcısından kaynaklanan enerji tüketimi azaltılmakta veya engellenmektedir. Genel bir alternatif sıcak gaz ile kar çözme sistemine ait şematik gösterim Şekil 3.1’de sunulmaktadır.



Şekil 3.1 : Sıcak gaz ile kar çözme yönteminin şematik gösterimi.

Şekil 3.1’de sunulan sistemde soğutma çevrimi elemanı olan kompresörden çıkan yüksek basınçlı kızgın buhar, tasarlanan ısıl kütle ısı değiştiricisinden geçmektedir. Kızgın buharın sahip olduğu ısıl enerji, içerisinden geçen ısı değiştiricisi boruları aracılığı ile ısıl kütleye aktarılmakta ve orada depolanmaktadır. Enerjisi azalan soğutucu akışkan, yoğuşturucu ve kılcal boru üzerinden buharlaştırıcıya giderek soğutma işlemini gerçekleştirmekte ve kompresöre geri dñnmektedir. Kompresörün belirli bir çalışma süresinden sonra kar özdürme işleminin başlaması için elektronik karttan sinyal gönderilmektedir. Kompresörün durmasının ardından, soğutucu akışkan, soğutma sisteminde gerçekleşen basınç dengelenmesi sonucu yoğuşarak soğutucu akışkan göçünün etkisi ile buharlaştırıcıda birikmektedir. Buharlaştırıcıda biriken soğutucu akışkan, buharlaştırıcıdan ısıl kütleli ısı değiştiricisine uzatılan sıvı borusu ile ısıl kütleli ısı değiştiricisinin kar özdürme hattına yönlendirilmektedir. Isıl küttelede depolanan ısıl enerjiyi alarak gaz fazına geçen soğutucu akışkan, sıcak gaz olarak tekrar buharlaştırıcıya yönlendirilmektedir. Buharlaştırıcıya gaz fazında ve yüksek sıcaklıkta giren soğutucu akışkan, buharlaştırıcı borularında ilerlemekte ve sahip olduğu ısıl enerjiyi buharlaştırıcı borularına ve kar tabakasına vermektedir. Gerçekleşen ısı transferi aracılığı ile buharlaştırıcı üzerindeki kar ergitilirken, gaz fazındaki soğutucu akışkan tekrar sıvı faza geçerek, ısıl kütleli ısı değiştiricisine aktarılır. Tüm bu sıvı-gaz hareketleri tamamen yerçekimi, termosifon etkisi ve doğal dolaşımla gerçekleşmektedir (Newell ve diğ, 2007). Belirli bir süre devam eden kar özdürme süreci sonrasında kar özdürme işleminde kullanılan boru hatları solenoid valfler aracılığı ile kapatılarak soğutma döngüsünün devam etmesi sağlanmaktadır.

Bölüm 2.2’de verilen, General Electric tarafından 1997 yılında alınmış olan patentte, alternatif sıcak gaz ile kar özdürme yöntemi üzerine kurulan deney düzeneğine benzer bir sistem anlatılmaktadır. Bu sistemde kompresör ve yoğuşturucunun dahil olduğu bir ısıl depo oluşturulmuş, buradan atılan ısı kar özdürme için kullanılmıştır. Benzer şekilde kurulan deney düzeneğinde, kızgın buhar enerjisi kar özdürme için kullanılmış, sistemin evsel buzdolaplarında uygulanabilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.2 Sıcak Gaz İle Kar özdürme Yöntemi Deney Düzeneği

Deneyisel çalışmada iki kapılı, tek buharlaştırıcılı, 81 gr R600a soğutucu akışkan kütlesine sahip, karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü bir buzdolabı

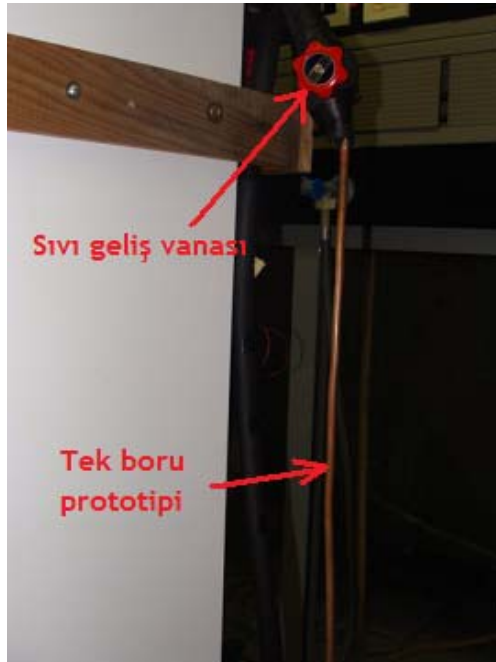
kullanılmıştır. Buzdolabının dondurucu bölümünde bulunan buharlaştırıcı borulu-kanatlı tipi bir ısı değiştiricisidir. Buharlaştırıcı 13 ön ve arka sıralı olmak üzere toplam 26 sıralı, 13,6 m uzunluğunda 3/16" iç çaplı bakır borulardan oluşmaktadır.

Alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi çalışmaları için hazırlanan prototip üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda öncelikle buzdolabının orijinal çalışma durumu irdelenmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen deneyler sırasında elde edilen sonuçlar ve karşılaşılan problemler sebebiyle yeni prototipler geliştirilmiştir. Hazırlanan prototipler

- tek boru çalışmalarda,
- ısıl kütleli ısı değiştiricisi çalışmalarda ve
- genişletilmiş boru çalışmalarda

kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada öncelikle, buharlaştırıcının alt kısmına T boru bağlanarak sıvı soğutucu akışkanın buharlaştırıcının dışına alınması için gerekli altyapı hazırlanmıştır. Bağlantıdan sistem dışına alınan sıvı soğutucu akışkan borusu kabin dışına doğru uzatılarak tek boru prototipi sisteme bağlanmıştır. Tek boru prototipinin bağlandığı sistem Şekil 3.2'de sunulmaktadır.



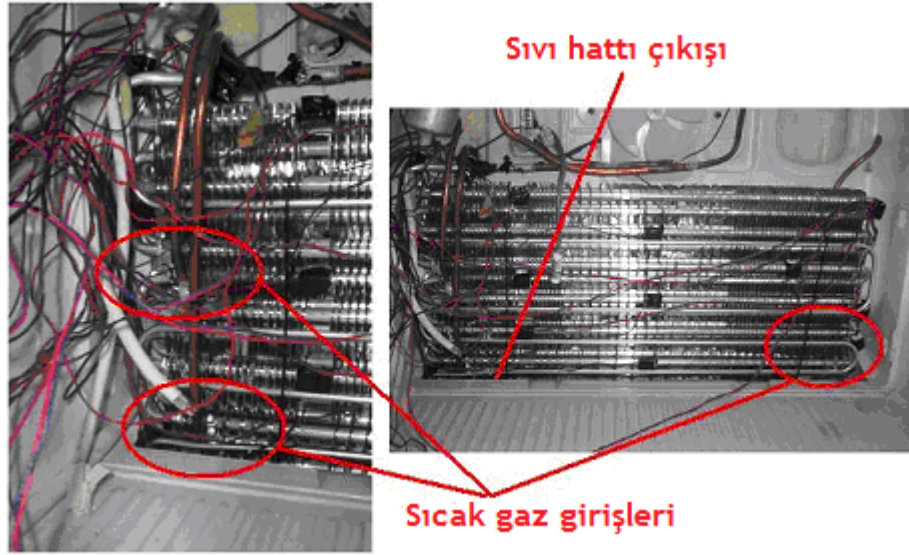
Şekil 3.2 : Tek borulu prototip uygulaması.

Şekil 3.2’de sunulan tek boru içerisine, buharlaştırıcıdan gelen sıvının akması ve ortam etkisi ile buharlaşarak aynı hat üzerinden tekrar buharlaştırıcıya gönderilmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan borunun girişine elle ayarlanabilir bir vana koyulmuş ve sıvı soğutucu akışkanın istenilen zamanlarda akması sağlanmıştır.

Hazırlanan tek borulu prototipin denenmesinden sonra bir başka prototip daha hazırlanmıştır. Yeni prototipte tek boru uygulaması yerine bir ısı değiştiricisi tasarlanmış ve bu ısı değiştiricisi bir ısıl kütle içerisine yerleştirilmiştir. Isıl kütleli ısı değiştiricisinde iki farklı boru hattı bulunmaktadır. Boru hatlarından biri kompresör çıkışının bağlandığı kızgın buhar hattıdır. Soğutma sırasında bu hattan geçen kızgın buhar ısıl enerjisini ısıyı aktarmaktadır. Isıl kütleli ısı değiştiricisinin diğer boru hattı ise buharlaştırıcıdan gelen sıvı soğutucu akışkanın buharlaşarak tekrar buharlaştırıcıya gönderildiği borulardan oluşmaktadır.

Soğutucu akışkan ısıl kütleden aldığı ısıl enerjiyle gaz haline geçtikten sonra buharlaştırıcıya gitmektedir. Buharlaştırıcıya giriş bölgeleri, soğutucu akışkanın boru içindeki hareketi esas alınarak tespit edilmiş ve buharlaştırıcı üzerine bu bölgelerden sıcak gaz giriş boruları yerleştirilmiştir. Bu kapsamda buharlaştırıcı üzerinde üç adet sıcak gaz giriş bölgesi belirlenmiştir. Sıcak gaz buharlaştırıcı giriş bölgeleri Şekil 3.3’te sunulmuştur. Buharlaştırıcının alt ve orta boru sırasında olmak üzere ön borularda iki adet, buharlaştırıcının alt boru sırasında olmak üzere arkadaki borularda bir adet sıcak gaz girişi oluşturulmuştur. Bu girişlerde kullanılan T borularının ağzı, borulardan sıvı soğutucu akışkan gelmesini önlemek amacıyla yukarıya doğru yönlendirilmiştir. Ayrıca kar çözdürme sırasında sıvı soğutucu akışkanın ısıl kütleli ısı değiştiricisine yönlenmesini sağlamak amacıyla buharlaştırıcıya T boru ile bir sıvı çıkış hattı yapılmıştır. Sıvının yerçekimi etkisi ile buharlaştırıcı dışına alınabilmesi için T borusunun ağzı aşağıya doğru yönlendirilmiştir.

Buharlaştırıcı üzerinde hazırlanan üç adet sıcak gaz girişi ve bir adet sıvı çıkışı, sadece kar çözdürme işlemi sırasında kullanılacağından buzdolabı arka duvarından dışarıya çıkarılarak solenoid valflere bağlanmıştır. Valfler kar çözdürme işlemi sırasında sıvı ve gaz soğutucu akışkanların geçişlerini sağlarken, soğutma çevrimi sırasında buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın kar çözdürme hattı borularına geçişini engellemektedir. Sıvı ve gaz solenoid hattı valfleri Şekil 3.4’te sunulmaktadır.



Şekil 3.3 : Buharlaştırıcı üzerinde sıvı çıkış ve sıcak gaz giriş bölgeleri.

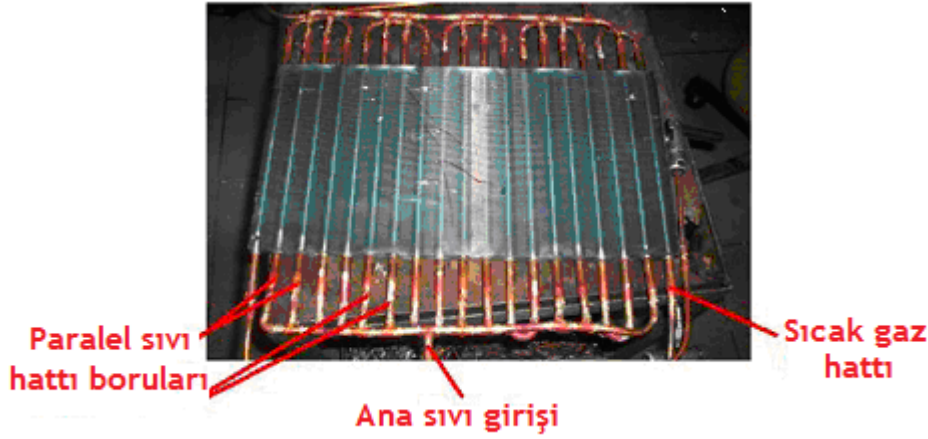
Sıvı ve gaz hattı valflerinin kontrolleri mekanik olarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için bir elektrik panosu oluşturulmuş ve bu panoya yerleştirilen sigortalar ile kontrol sağlanmıştır. Panoya kurulan elektrik devresine buzdolabının da bileşenleri eklenmiş böylece buzdolabının soğutma ve kar çözdürme dahil tüm çalışma mekanizması elle kontrol edilebilir hale getirilmiştir. Sıvı hattına ait borular, sıvı fazındaki soğutucu akışkanın boru içerisinde buharlaşmasının engellenmesi amacıyla, sıcak gaz hattı boruları ise gaz halindeki soğutucu akışkandan ısı kaybının engellenmesi amacıyla yalıtılmıştır.



Şekil 3.4 : Sıvı ve gaz hattı solenoid valfleri.

Şekil 3.5'te ısıl kütleli ısı değiştiricisi görülmektedir. Isı değiştiricisi hem kompresör çıkış hattını hem de kar çözdürme sırasında sıvı soğutucu akışkanın buharlaştırıldığı boru hattını içermektedir. Soğutma çevrimi sırasında sıcak gaz hattından ısı değiştiricisine giren kızgın buhar, ısıl enerjisini ısı değiştiricisi üzerindeki kanatlar ve borular aracılığı ile ısı değiştiricisi ile temas halinde olan ısıl kütleye aktarmaktadır.

Kanatlar ısı transfer alanının artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Isıl enerjisini ısıl kütleye aktaran kızgın buhar, ısı değiştiricisinden çıkararak yoğuşturucuya gitmektedir. Belirli bir kompresör çalışma süresince ısıl kütleye depolanan ısıl enerji, kar zdrme işlemi sırasında soğutucu akışkan tarafından kullanılmaktadır.

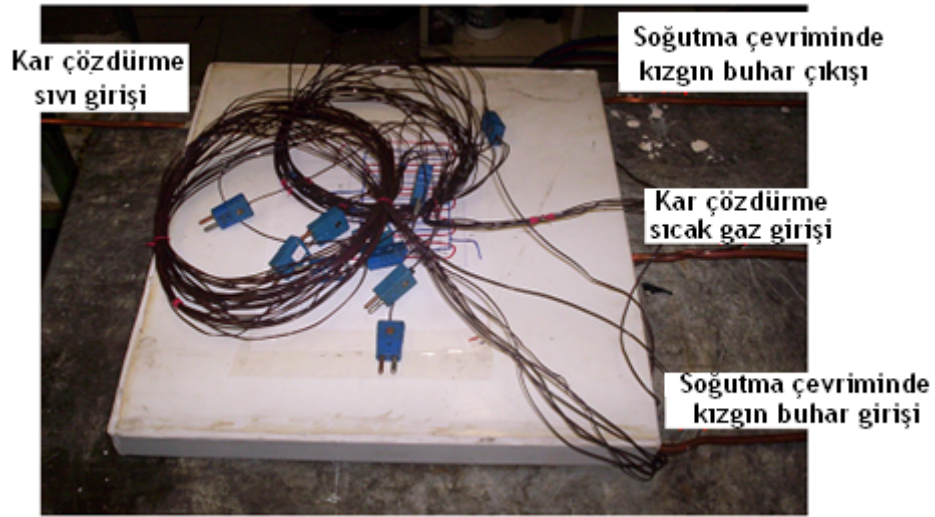


şekil 3.5 : Isıl kütleye ısı değiştiricisi.

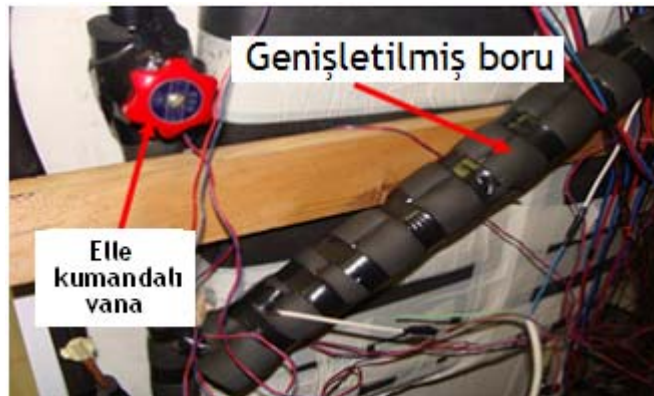
Kar zdrme işlemi sırasında yalıtılmış sıvı geliş borusu içerisinde, buharlaştırıcıdan aşağıya doğru hareket eden sıvı soğutucu akışkan, ana sıvı girişinden ısıl kütleye ısı değiştiricisine girmektedir. Isı değiştiricisine giren sıvı soğutucu akışkan ana boru hattından birbirine paralel boru hatlarına ayrılmaktadır. Paralel hatlara ayrılan sıvı soğutucu akışkan, kanatlar aracılığı ile geri kazandığı ısı yükü ile buharlaşarak, ısı değiştiricisinden buharlaştırıcıya doğru yükselmektedir. Yükselen sıcak gaz tek bir hatta birleştirilerek buharlaştırıcının  sıcak gaz girişinden herhangi birine veya bir kaçına yönlendirilmektedir. Isı değiştiricisi ve içerisinde bulunduğu hazne tasarımı çeşitli ısıl enerji depolama malzemelerinin kullanımına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Isıl kütleye ısı değiştiricisi ve haznesi şekil 3.6'da sunulmaktadır.

Sıcak gaz ile kar zdrme yönteminde gerçekleştirilen bir diğer çalışma da, ısıl kütleye ısı değiştiricisi yerine kullanılan genişletilmif boru prototipi ile gerçekleştirilmiştir. Isıl kütleye ısı değiştiricisi yerine bu prototipin kullanılmasının ana nedeni, ısıl kütleye ısı değiştiricisi ile buharlaştırıcı arasında yerçekimi harici herhangi bir yardımcı kuvvet olmaması sonucu soğutucu akışkanın sürekli dolaşımının sağlanmadığının belirlenmesidir. Ayrıca ısıl kütleye ısı değiştiricisinin geometrik yapısı nedeniyle kar zdrme sırasında karşılaşılabilecek yüksek basınç düşümlerinin de önüne geçilmek istenmiştir. Bu amaçla hazırlanan prototipte

buharlaştırıcıdan çıkan sıvı hattının ucuna 5 cm çapında ve 500 cm uzunluğunda bakır boru yerleştirilmiş ve sıcak gazın buharlaştırıcıya direnç görmeden, düşük basınçlı tarafa yönlendirilmesine çalışılmıştır. Buharlaştırıcıdan aşağı gelen sıvı soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlamak için de, borunun etrafına elektrikli ısıtıcı sarılmış ve kar çözme sürecinde bu ısıtıcı çalıştırılmıştır. Sıvı geliş hattına elle kontrol edilebilir bir vana konulmuştur. Deneysel çalışmalarda sıvı hattı vanasının kısa süreli olarak açılması ile sıvının buharlaşma hattına alınması ve daha sonra kapatılarak buharlaşmasının beklenmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan ve uygulanan sistem Şekil 3.7’de görülmektedir. Genişletilmiş buharlaşma borusunun ucu, buharlaştırıcı üzerindeki buhar girişlerine bağlanmıştır.



Şekil 3.6 : Isıl kütleli ısı değiştiricisi ve haznesi.



Şekil 3.7 : Genişletilmiş boru prototipinin uygulanması.

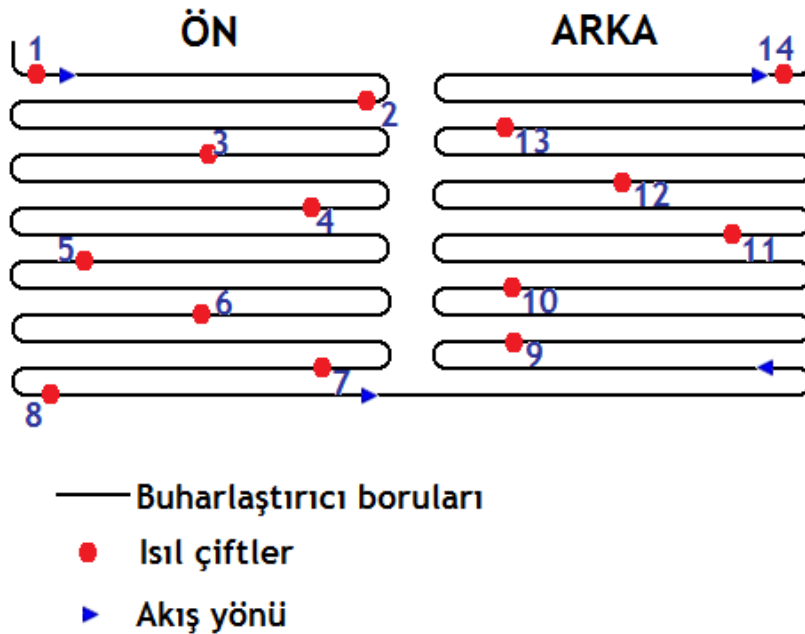
Gerçekleştirilen üç prototip uygulamasından elde edilen sonuçlar ve sonuçların irdelenmesi Bölüm 3.2.2’de anlatılmaktadır.

3.2.1 Sıcak gaz ile kar çözdürme çalışmalarında ölçüm büyüklükleri, yöntemleri ve belirsizlikleri

DeneySEL çalışmalar için hazırlanan deney düzeneğinde kullanılan ölçüm elemanları tarafından sıcaklık, bağıl nem ve güç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, ölçüm elemanları tanıtılmış ve deney düzeneğindeki görevleri açıklanmıştır.

3.2.1.1 Sıcaklık ölçümleri

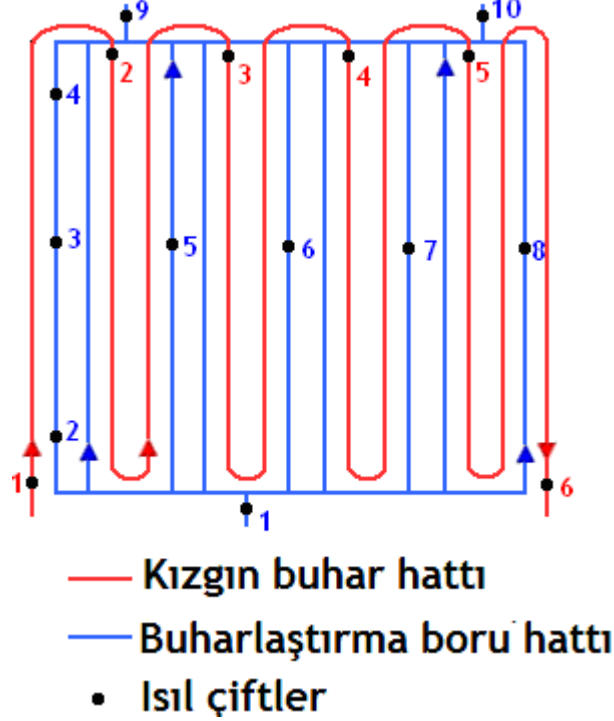
Sıcaklık ölçümleri buzdolabında ilgili bölgelere yerleştirilen ısı çiftleri ile gerçekleştirilmiştir. Buharlaştırıcı üzerinde kar oluşumunun kritik olduğu yerler belirlenip, akış sırasında uygun görülen 14 noktaya ısı çiftleri yalıtılmış olarak yerleştirilmiştir. Isıl çiftlerin buharlaştırıcı üzerinde yerleşim yerleri Şekil 3.8’de verilmektedir. Yine yoğuşturucu üzerinde uygun yerlere, aşırı-soğutma değerinin de belirlenmesi amacıyla 8 adet ısı çifti yerleştirilmiştir. Buzdolabının kabin içi sıcaklıklarının ölçümü için dondurucu bölmesine 2 adet, taze-gıda bölmesine 3 adet olmak üzere rafların geometrik merkezlerine konumlandırılmış 3’’ çapında çubuklar üzerine yerleştirilmiş ısı çiftleri ile sıcaklık ölçümleri alınmıştır.



Şekil 3.8 : Buharlaştırıcı üzerindeki ısı çiftlerinin akış sırasına göre yerleşimi.

Kurulan deney düzeneğinde ısıl kütleli ısı değiştiricisi üzerinden de ısı çiftleri ile sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Kızgın buhar hattı boruları üzerinden 6 adet ve buharlaştırma boruları üzerinden de farklı konumlardan 10 adet sıcaklık ölçümü

alınmıştır. Şekil 3.9'da ısı değiştiricisi üzerinde ısı çiftlerinin yerleşimi verilmiştir. Soğutucu akışkan sıvı geliş borusu üzerine de akışın geliş yönüne göre 3 adet ısı çifti yerleştirilerek sıcaklık ölçümü alınmıştır.



Şekil 3.9 : Isıl kütleli ısı değiştiricisi üzerindeki ısı çiftlerinin akış sırasına göre yerleşimi.

Isıl çiftler, çalışmadan önce FLUKE 5500 kalibratör ile kalibre edilmişlerdir. Bu cihaz, ısı çiftlerinin kanallarına istenen sıcaklığa karşılık gelen gerilim değerini yollayarak ısı çiftlerinin kalibrasyonunu yapabilmektedir. Gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda, tüm ısı çiftleri için gerekli düzeltme katsayıları elde edilmiştir.

Isıl çiftler ile alınan sıcaklık ölçümlerinde; üretimden ve bağlantı şeklinden gelen belirsizlik $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, kalibrasyondan gelen belirsizlik $\pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ve ölçümden gelen belirsizlik $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ 'dir. Buna göre ısı çifti sıcaklık ölçümlerindeki toplam belirsizlik

$$U_{I\check{C}} = \sqrt{(0,2)^2 + (0,18)^2 + (0,1)^2} = \pm 0,29^{\circ}\text{C} \text{ olmaktadır.}$$

3.2.1.2 Bağlı nem ölçümleri

Bağlı nem ölçümleri buzdolabının taze gıda bölmesine yerleştirilen bağlı nem sensörleri ile yapılmıştır. Taze gıda bölmesinin her rafına birer adet olmak üzere 3 adet bağlı nem sensörü bağlı nem kartına bağlanmıştır. Bağlı nem kartı da RS232

bağlantısıyla bilgisayara bağlıdır. Bağlı nem kartı ve buzdolabı üzerine yerleşim yerleri gösterilmiş bağlı nem sensörleri Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 : Bağlı nem kartı ve sensörlerinin buzdolabı üzerinde yerleşimi.

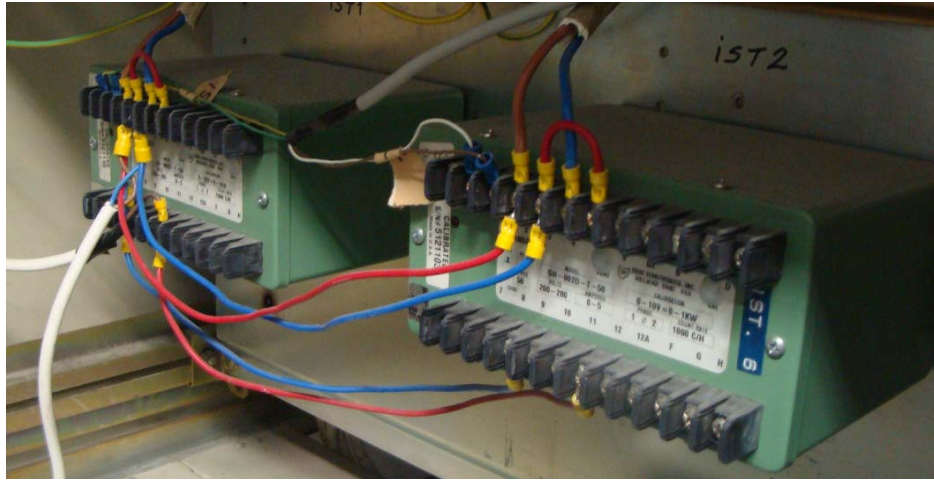
Deneyle, taze gıda bölümünde üç bağlı nem sensöründe okunan değerlerin ortalaması yaklaşık olarak %60 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bağlı nem değerinin ortalama ~%60 olması için sistemde soğuk hava nemlendiricisi kullanılmıştır. Şekil 3.11'de kullanılan soğuk hava nemlendiricisi gösterilmektedir. Ayrıca bir boru yardımıyla her bölmeye eşit miktarda nem gönderilmesi sağlanmıştır. Soğuk hava nemlendiricisi kompresörün çalışmasına bağlı olarak devreye girecek şekilde ayarlanmıştır. Bir anahtar ile elektrik bağlantısı yapılan soğuk hava nemlendiricisi, kompresör çalıştığı zaman devreye girmekte ve kompresör durduğunda devreden çıkmaktadır.



Şekil 3.11 : Soğuk hava nemlendiricisi.

3.2.1.3 Güç ölçümleri

Güç ölçümü için güç ölçüm cihazları (Power transducer) kullanılmıştır. Deneyleerin gerçekleştirildiği düzenekte 2 adet güç ölçüm cihazı bulunmaktadır. Şekil 3.12’de güç ölçüm cihazları gösterilmektedir. Güç ölçüm cihazlarının birisi deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği buzdolabının anlık olarak güç değerlerini okumak için kullanılmıştır.



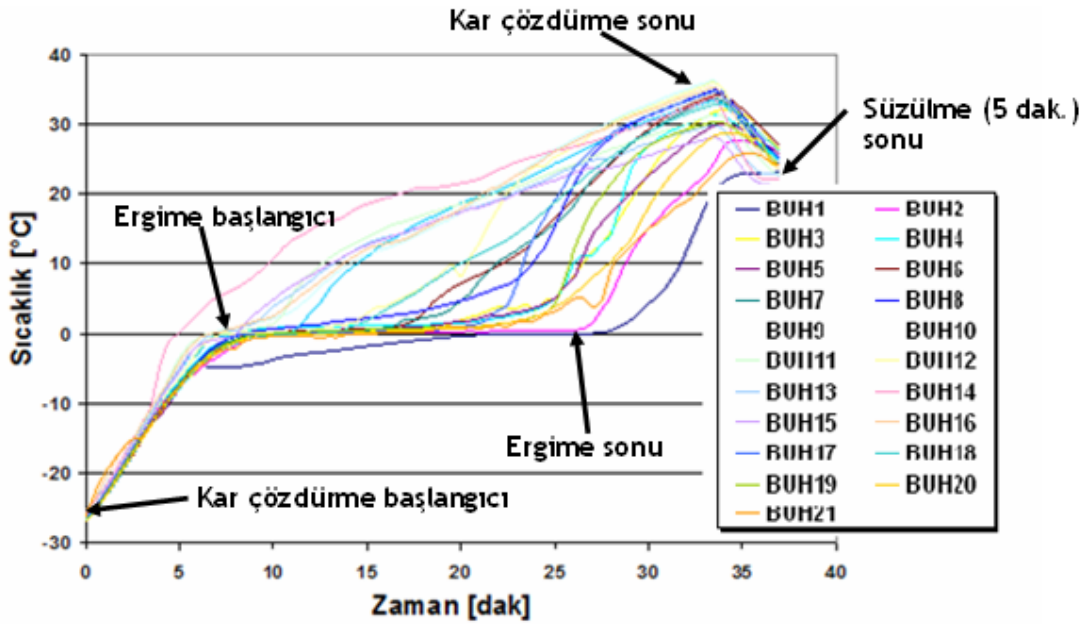
Şekil 3.12 : Güç ölçüm cihazları.

3.2.2 Sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi deneyleri

Sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi üzerine gerçekleştirilen deneylerde 3 farklı prototipin uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamalarda önce buzdolabının orijinal çalışma durumu ortaya konmuştur. Buzdolabı orijinal durum tespit çalışmaları kapsamında alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi çalışmalarının planlarına uygun olacak şekilde buharlaştırıcı üzerinde belirlenen noktalarda ısı çiftleriyle

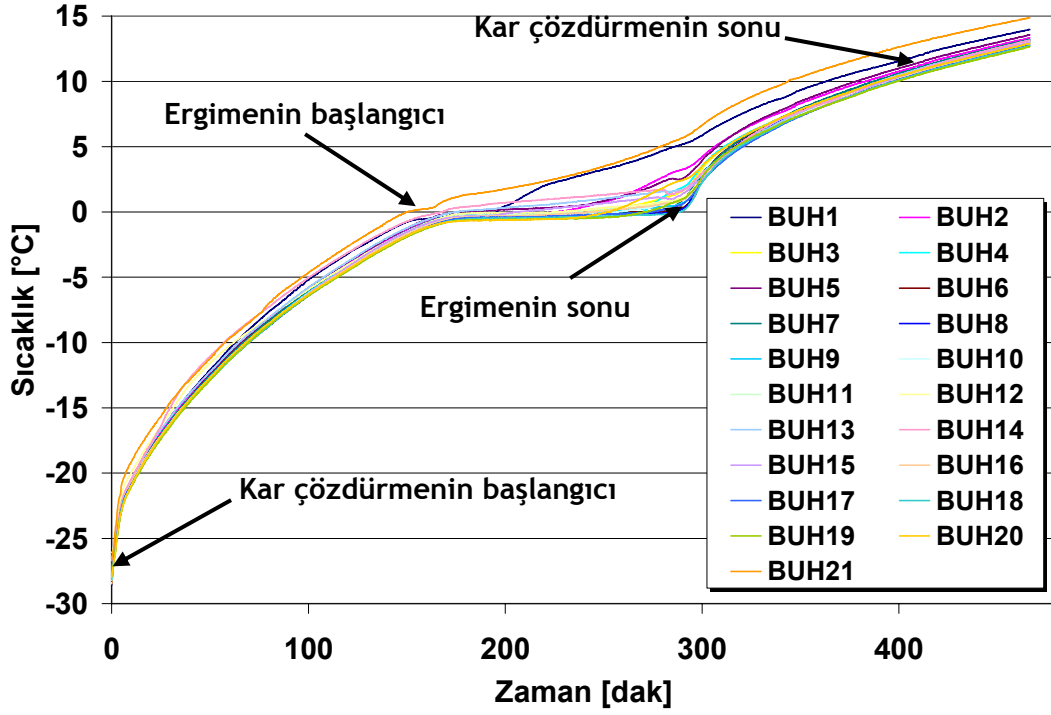
sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Deneyler kabin içinde bağıl nem oranının düşük (%60) olduğu durum için gerçekleştirilmiştir.

Taze gıda bölmesinin ortalama yaklaşık olarak %60 bağıl nem değerinde olduğu durumda, buzdolabının orijinal çalışma koşullarında, yani mevcut elektrikli ısıtıcılarla gerçekleştirilen kar çözme işlemi sırasındaki buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği Şekil 3.13'te sunulmaktadır. Görüldüğü gibi buharlaştırıcı üzerinde 21 noktadan alınan sıcaklık ölçümlerinde, kar çözme süreci farklı zamanlarda sonlanmakta, buharlaştırıcının bazı bölgeleri fazlasıyla ısınmaktadır. Mevcut ısıtıcı kullanılarak gerçekleştirilen kar çözme işlemi yaklaşık 32+5 dakika sürmektedir. 32 dakika boyunca elektrikli ısıtıcı devrede kalmış, daha sonraki 5 dakika boyunca ise buzdolabında hiç bir komponent çalışmamış, sadece buharlaştırıcı yüzeyinde bulunan suyun buzdolabı dışına atılması beklenmiştir.



Şekil 3.13 : Elektrikli ısıtıcılarla gerçekleştirilen kar çözme işleminde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

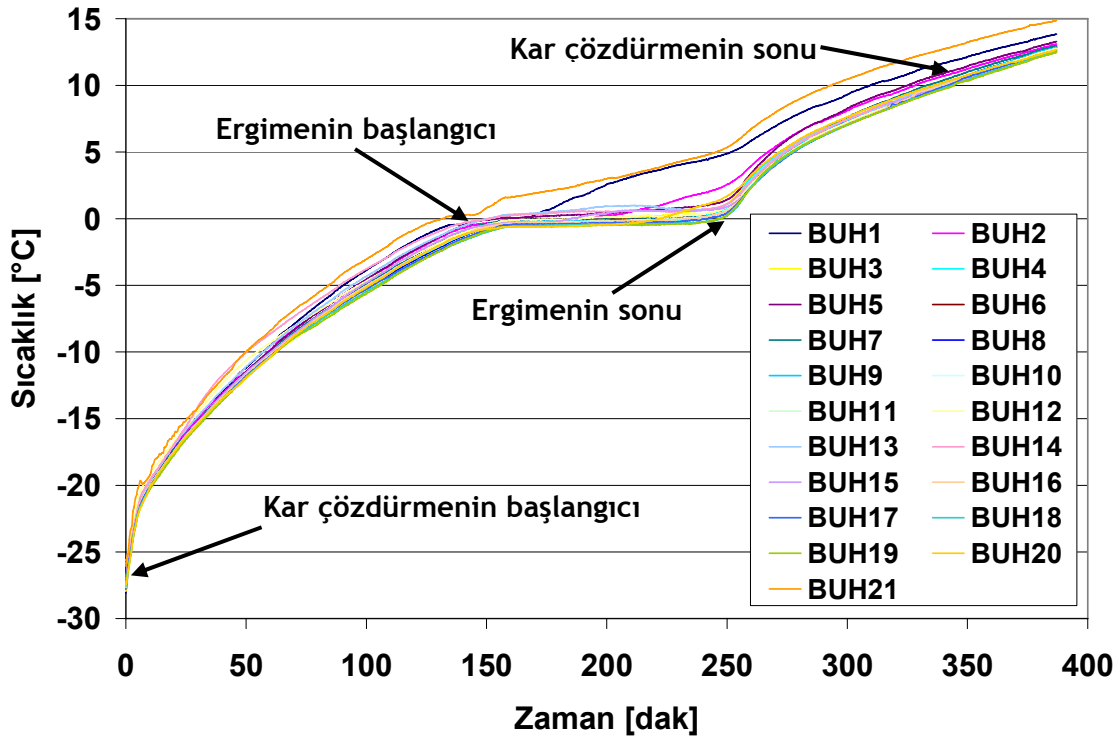
Buharlaştırıcının, kar çözme ısıtıcısı kullanılmadan sadece çevreden kabin içine ısı kazancı ile kar çözme sürecinde buharlaştırıcı ısınma eğrisi ise Şekil 3.14'te sunulmaktadır.



Şekil 3.14 : Buharlaştırıcının doğal koşullarda ısınma grafiği.

Şekil 3.14'te sunulduğu üzere, buharlaştırıcı üzerinde bulunan kar çözülme ısıtıcılarının çalıştırılmadığı durumda, sadece kabin ısı kazancı etkisi ile 25°C çevre sıcaklığı şartında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının 15°C'a ulaşma süresi yaklaşık 450 dak'dır.

Orijinal durum tespiti yapıldıktan sonra ilk deneysel çalışma tek borulu prototipin uygulamasıdır. Tek boru uygulamasında gerçekleştirilen deneyler doğrultusunda Şekil 3.15'de tek boru kullanıldığı durumda kar çözülme sırasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği verilmiştir. Şekil 3.15'de gösterildiği üzere kar çözülme süreci başladıktan sonra karın ergime sıcaklığına geliş süresi ortalama 145 dakika, karın ergime süresi de ortalama 90 dakika sürmektedir. Kabin ısı kazancından kaynaklanan buharlaştırıcı ısınma eğrisi ile karşılaştırıldığında kısa bir süre de olsa iyileştirme olduğu görülmektedir. Bununla beraber, orijinal kar çözülme işleminin ortalama 30 dakika sürdüğü göz önüne alındığında, alternatif sıcak gaz ile kar çözülme işlemi için tek boru prototipini kullanmak, kar çözülme süresinin uzun olması nedeniyle verimsiz olmaktadır.



Şekil 3.15 : Tek borulu prototipte sıcak gaz ile kar çözdürme sürecinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Tek boru prototipi üzerinden alınan sıcaklık ölçümleri incelendiğinde, sıvı soğutucu akışkanın, buharlaştırıcının alt kısmına bağlanan tek borunun hemen girişine geldiği görülmüş fakat aşağısına doğru inmediği belirlenmiştir. Bu durumda sıvı soğutucu akışkanın bu hareketi, ya yeteri kadar sıvının gelmediği ya da boruya gelir gelmez buharlaştığı ve tekrar aynı hattan geri dönmeye çalıştığı şeklinde yorumlanmıştır. Aynı hattan yukarı doğru yönelen gaz fazındaki soğutucu akışkan da bu sırada yukarıdan gelen sıvı soğutucu akışkanla temas halinde olacak ve daha buharlaştırıcıya varamadan tekrar sıvı fazına dönecektir.

Uygulanan ikinci prototip çalışmasında sisteme, tek boru prototipi yerine ısıl kütleli ısı değiştiricisi eklenmiştir. Gerçekleştirilen ilk deneysel çalışmalarda ısı değiştiricisinde ısıl kütle olarak su kullanılmıştır. Isıl kütlede soğutma sırasında depolanan ısıl enerjinin kar çözdürme için yeterli olduğu belirlenmiştir.

Isıl kütleli ısı değiştiricisi haznesinin hacmi (480 mm, 500 mm, 40 mm) $V_{hzn}=0,0096 \text{ m}^3$ 'tür. Bu haznenin içerisinde bulunan ısı değiştiricisi hacmi (Çap 8 mm, boru boyu 500 mm, boru sayısı 19) $V_{id}=0,00048 \text{ m}^3$ olarak hesap edilir. Isı değiştiricisi üzerinde bulunan kanatların hacmi $V_{knt}=0,0043 \text{ m}^3$ olmak üzere, ısıl kütleyle kalan toplam hacim $V_{ik}=V_{hzn}-V_{id}-V_{knt}=0,0049 \text{ m}^3$ olarak belirlenir.

Bu hacimde kullanılan ısı kütlenin miktarı

$$m_{ik} = V_{ik} \cdot d_{ik} \quad [kg] \quad (3.1)$$

ile hesaplanabilir.

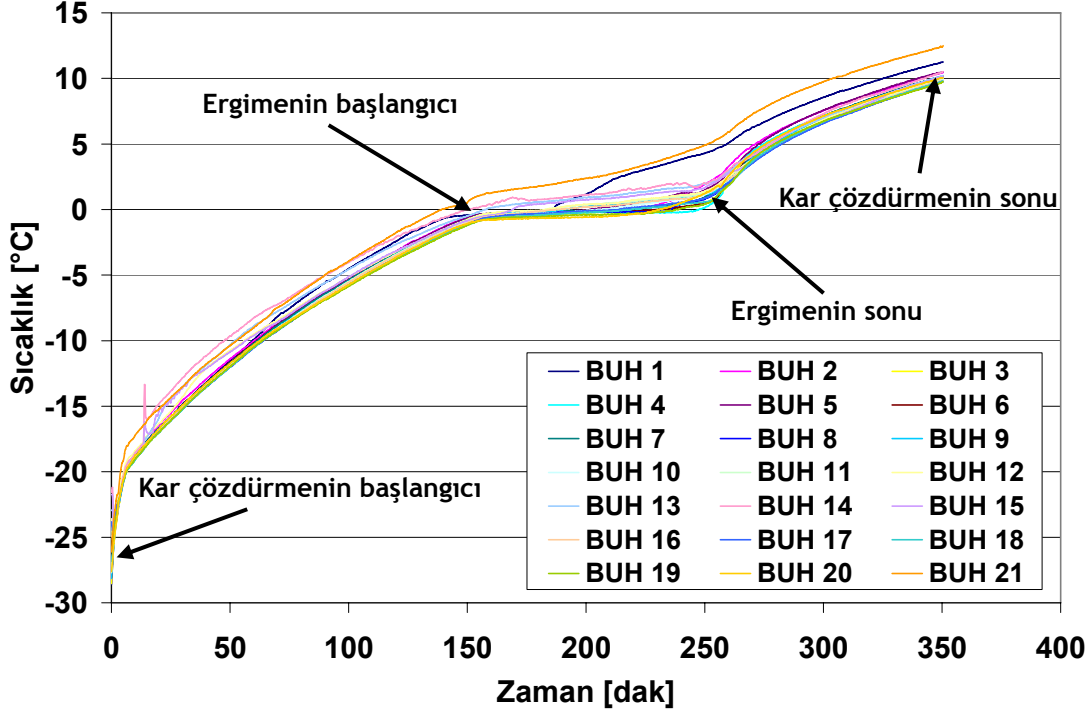
Deneylerde ısı kütlesi olarak kullanılan suda depolanan ısı enerjisi

$$Q_{ik} = m_{ik} \cdot c_{ik} \cdot \Delta T_{ik} \quad [kJ] \quad (3.2)$$

ile hesaplanabilir. Bu durumda deneylerde ısı kütlesi olarak kullanılan suyun kütlesi 3 kg, özgül ısı 1 kJ/kgK ve sıcaklık değişimi 29°C olmak üzere $Q_{ik}=87$ kJ olarak sağlanmıştır. Bu değer, kar çözümü için gerekli olan 50 kJ'lük ısı enerjisini rahatlıkla karşılamaktadır. Isı kütlesi depolanan ısı enerjisi, sıcak gaz ile buharlaştırıcıya taşındığı takdirde, kar çözümü işlemini başarılı bir şekilde sonuçlandıracaktır. Bu sebeple ısı kütlesi olarak seçilen suyun değiştirilmesine gerek duyulmamıştır.

Tek boru deneylerinde yapıldığı gibi bu prototipte de soğutucu akışkan sıvı geliş hattı üzerinden belli aralıklarla sıcaklık ölçümü alınmış ve sıvı soğutucu akışkanın akışı tespit edilmeye çalışılmıştır. Isı kütlesi ısı değiştiricisi ile gerçekleştirilen deneyler farklı sıcak gaz ve sıvı valflerinin, farklı zamanlarda açılması ve kapanması esasına dayanarak gerçekleştirilmiştir. Her deney sonunda buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği oluşturulmuş ve orijinal durum ile karşılaştırması yapılmıştır.

Elde edilen veriler incelendiğinde en olumlu sonucu veren deneyin son deney olduğu tespit edilmiştir. Bu deneyde, buharlaştırıcı alt borusundaki sıcak gaz giriş valfi açılarak, sıcak gazın buharlaştırıcıya yönlendirilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.16'da, bu deneyde elde edilen buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği görülmektedir. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişiminden de görüldüğü gibi kar çözümü işlemi, istenilen verimle gerçekleştirilememiştir. Çizelge 3.1'de kabin ısı kazancı ile ısınma (doğal yollarla ısınma), tek boru ve ısı kütlesi ısı değiştiricisi uygulaması sonucu elde edilen kar çözümü süreleri sunulmuştur.



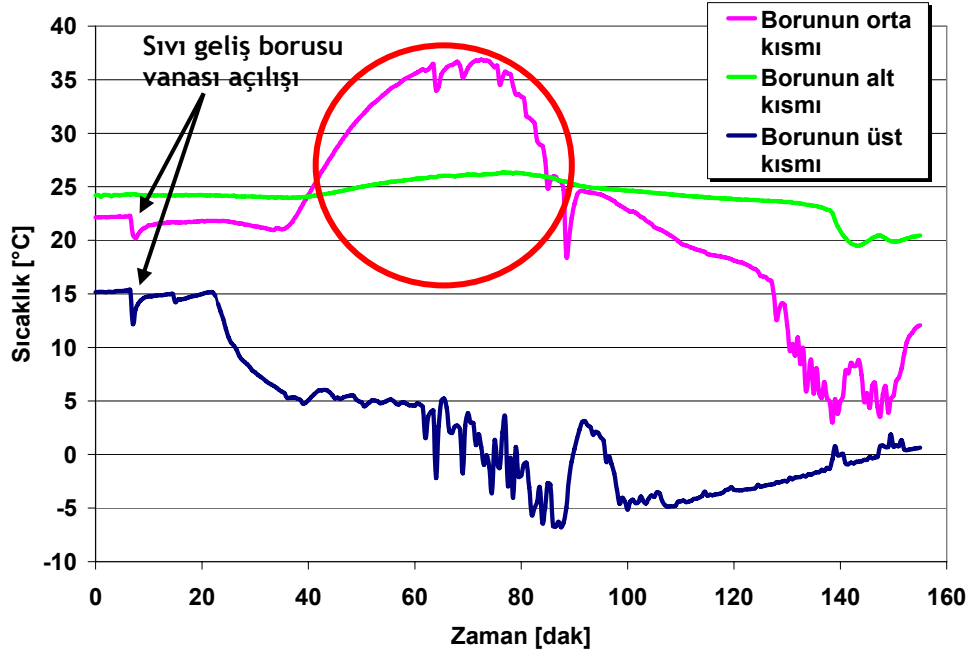
Şekil 3.16 : Isıl kütleli ısı değiştircisi kullanıldığında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kurulan deney tesisatında sıvı soğutucu akışkanın yeterli debi değerinde, ısıl kütleli ısı değiştircisine gelmediği belirlenmiştir. Bu durum buharlaştırıcının dış ortam sıcaklığına göre çok daha düşük sıcaklıkta olması, buharlaştırıcı boruları içinde kar özdürme süreci başlangıcında basıncın düşük olması nedeniyle yoğuşmanın gecikmesi ve sıvı soğutucu akışkanın dolaşımının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Buharlaştırıcı ve ısıl kütle ısı değiştircisi arasında herhangi bir basınç farkı olmaması ve sıvı soğutucu akışkanın sadece yoğunluk farkına dayalı olarak yerçekimi etkisi ile hareketinin amaçlanması sebebiyle, buharlaştırıcıdan ısıl kütleye doğru sıvının hareketi görülmemektedir.

Çizelge 3.1 : Alternatif sıcak gaz ile kar özdürme deneyi kar ergime sonuçlarının karşılaştırılması.

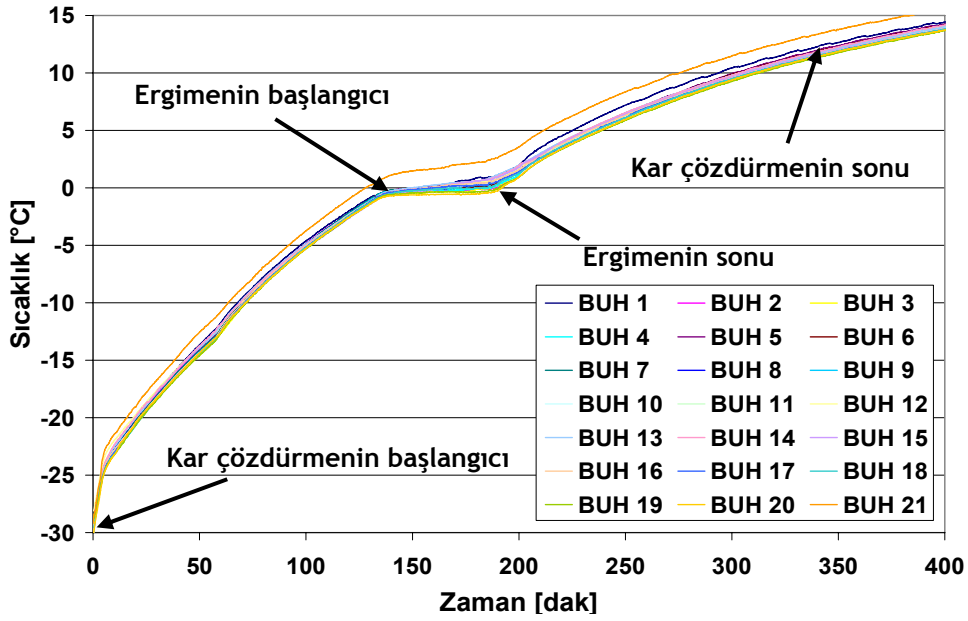
	0°C'ye gelme ortalama süresi [dak]	Ortalama ergime süresi [dak]	12°C'ye gelme ortalama süreleri [dak]
Doğal koşullarda ısınma	150	99	420
Sıcak gazlı tek boru uygulaması	145	90	390
Sıcak gazlı ısı değiştircisi uygulaması	135	79	372

Üçüncü prototip uygulaması olan genişletilmiş sıcak gaz dönüş borusu çalışmalarında, öncelikli olarak sıvı soğutucu akışkan geliş hattı vanası ile sıcak gaz dönüş hattı borularında, farklı valflerin beraber açıldığı durum denenmiştir. Kar çözdürme sürecinde, sıvı soğutucu akışkan geliş borusundan alınan sıcaklık ölçümleri incelendiğinde, sıvı soğutucu akışkanın diğer deneylere göre borunun alt kısımlarına doğru akışı tespit edilmiştir. Şekil 3.17’de sıvı soğutucu akışkan geliş borusu üzerinden alınan sıcaklık ölçümleri gösterilmektedir. Şekil 3.18’de ise kar çözdürme sürecinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği sunulmaktadır. Karın ergimesi sonuna kadar geçen ortalama süre 200 dakika olmuştur.



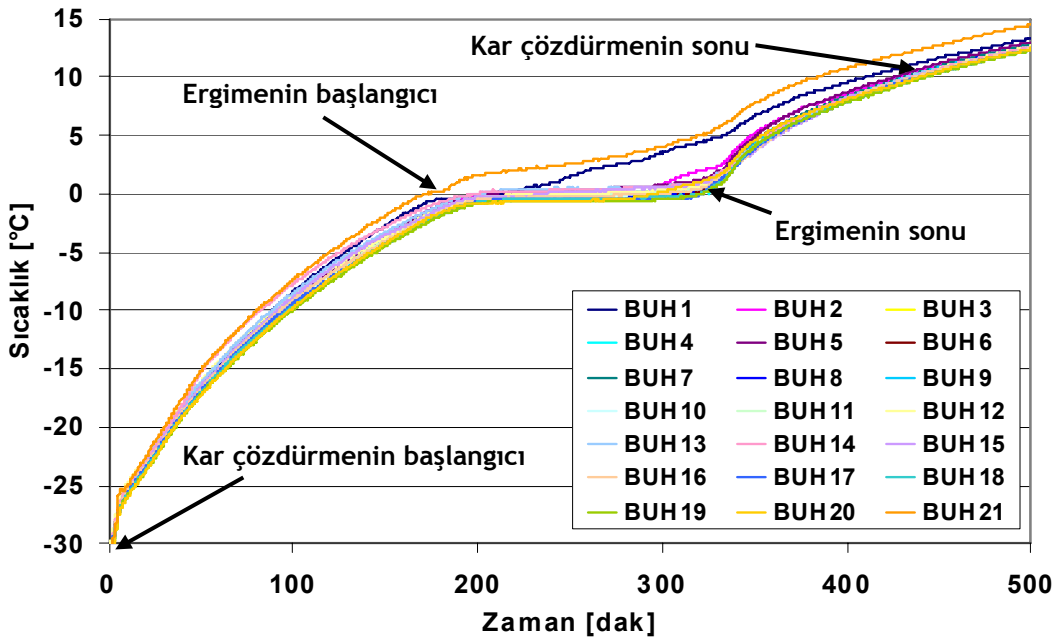
Şekil 3.17 : Sıvı geliş borusu üzerinden alınan sıcaklık ölçümleri.

Şekil 3.17’de yuvarlak içine alınmış kısımda, yani sıvı geliş borusunun orta kısmından alınan sıcaklık ölçümlerinde bir süre yükselme meydana gelmiştir. Bu yükselmenin nedeni genişletilmiş boru üzerine sarılan ısıtıcıların devreye girmesi sonucu bu bölgede sıcaklıkların yükselmesidir. Sıvı geliş borusunun genişletilmiş boruya en yakın kısmında bulunan ısıl çiftten alınan sıcaklık ölçümlerinde de ısıtıcıların çalışması sırasında sıcaklığın yükseldiği görülmektedir. Isıtıcıların devreden çıkarılması ile bu bölgede sıcaklıkların düşüşe geçtiği görülmektedir.



Şekil 3.18 : Genişletilmiş boru uygulamasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Gerçekleştirilen bir diğer deneyde ise sıvı geliş vanasının, kar çözülme sürecinde belli aralıklarla açılıp kapatılması sağlanmıştır. Sıvı geliş vanasının sürekli olarak açılıp kapatılmasındaki amaç, belli zamanlarda sıvı soğutucu akışkanı buharlaşma hattında biriktirerek buharlaştırıcıya göndermektir. Bu deneyde elde edilen buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği Şekil 3.19'da verilmiştir. Buharlaştırıcı üzerindeki karın ergimesi ortalama 345 dakika sürmüştür.



Şekil 3.19 : Sıvı vanasının sürekli açılıp kapatılması deneyinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi.

Gerçekleştirilen farklı alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemlerinde, buharlaştırıcı ısınma eğrileri birbirine benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Orijinal kar çözdürme methodu olan elektrikli ısıtıcı ile kar çözdürme işlemi ortalama 30 dakika sürerken, alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme işlemi 240 dakikadan daha iyi bir sürede gerçekleştirilememiştir. Hazırlanan farklı özelliklerdeki prototiplerde gerçekleştirilen deneylerde karşılaşılan ilk problem, sıvı soğutucu akışkanın buharlaştırıcıdan, buharlaştırmak amacıyla dış ortama alınamamasıdır. Sıvı soğutucu akışkanın buharlaştırıcı dışına alınamamasındaki en temel sebepler

- buharlaştırıcının düşük sıcaklığı sebebiyle soğutucu akışkanın burada birikmesi ve
- sadece yerçekimi etkisi sağlanarak buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın dış ortama alınamaması

olarak belirlenmiştir.

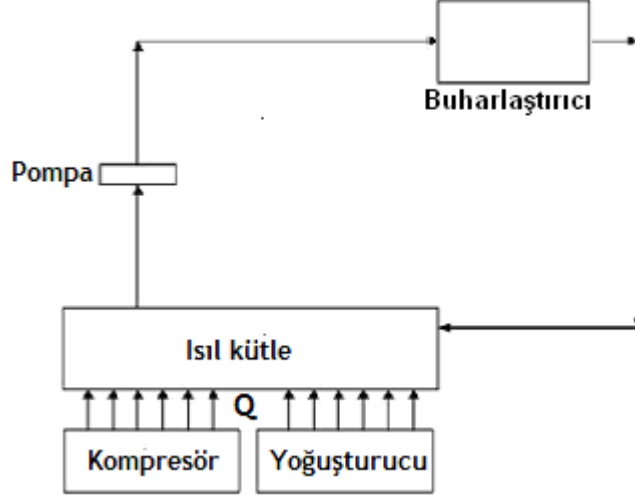
4. ALTERNATİF SICAK SIVI İLE KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMİ

Bu bölümde, sıcak sıvı ile kar çözme yöntemi tanıtılmakta, yöntem üzerine gerçekleştirilen çalışmalar anlatılmakta, çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

4.1 Sıcak Sıvı İle Kar Çözme Yönteminin Tanıtılması

Alternatif kar çözme yöntemlerinden biri olan sıcak sıvı ile kar çözme yönteminin literatürde farklı uygulamaları mevcuttur. Buna rağmen bu uygulamalardan evsel buzdolaplarında denenmiş olan herhangi bir örnek mevcut değildir. Bu amaçla sıcak sıvı ile kar çözme yönteminin evsel buzdolaplarında denenmesi alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıcak sıvı uygulamasında sağlanacak en büyük avantaj kompresör ve yoğurturucu ısı ile şartlandırılmış ikinci bir sıvının, yüksek enerji tüketimli bir kar çözme ısıtıcısına göre daha düşük güç değerine sahip bir pompa ile buzdolabı içerisine gönderilmesi ve kar çözme işleminin çok daha düşük bir enerji tüketimi ile sağlanmasıdır.

Sıcak sıvı ile kar çözme yönteminin çalışma sistematığı Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Şekilde belirtilen sıcak sıvı hattı boruları buzdolabı buharlaştırıcısı üzerine yerleştirilmiş, normal soğutma sisteminden bağımsız ikinci bir sıvı dolaşım hattı olarak tasarlanmıştır. Bu boru hattı, kar çözme işlemi sırasında devreye giren pompa tarafından basılan ısı kütlenin dolaşımının sağlanması için oluşturulmuştur. Isıl kütle sıvısının bu hatta dolaşımının sağlanması sonucu, buharlaştırıcı bölgesinde bulunan karın ergimesi sağlanacaktır. Böyle bir sistemde, kar çözme işlemi için önemli olacak parametreler ısı kütlesi sıcaklığı, ısı kütlesi miktarı, pompa debisi ve sıcak sıvı hattı borusunun geometrisidir.



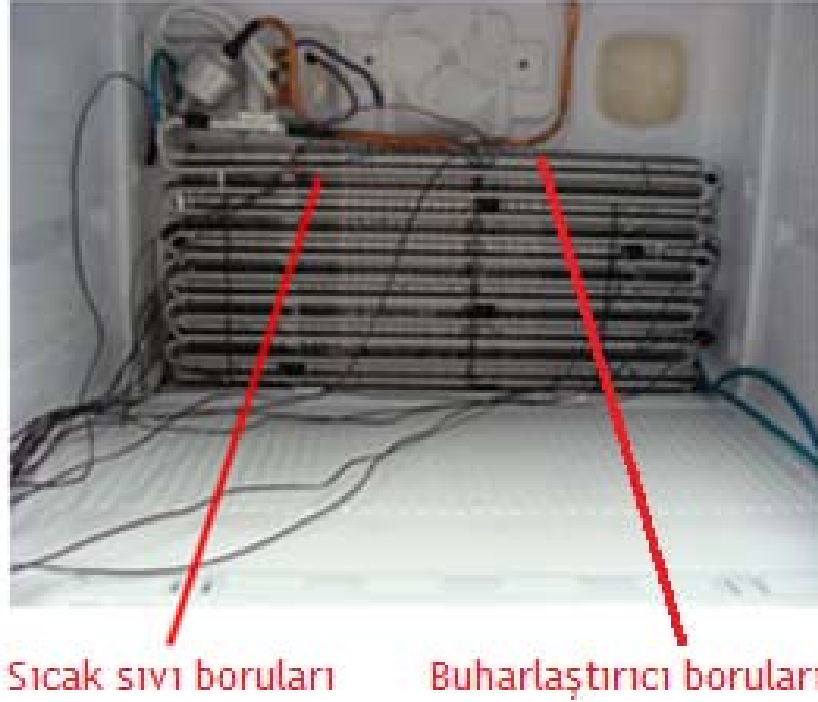
Şekil 4.1 : Sıcak sıvı ile kar çözdürme yönteminin şematik gösterimi.

Bölüm 2.2’de anlatılan Constantin Pandaru tarafından 2001 yılında alınmış olan patent, deneysel çalışmalarda uygulanan sisteme benzer yapıdadır. Deneysel çalışmalarda kompresör ve yoğuşturucudan atılan fazla ısının sisteme tekrar kazandırılması hedeflenmiştir. Anlatılan patentte ise kompresör kızgın buhar hattı üzerinde oluşturulan bir ısı değiştirici kullanılarak ısı enerji depolaması yapılmaktadır. Ayrıca sistemin evsel buzdolaplarına uygulamasının, sisteme etkilerini deneysel çalışmalar ile gözlemlemek mümkün olacaktır.

4.2 Sıcak Sıvı İle Kar Çözdürme Yöntemi Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalarda iki kabinli, tek buharlaştırmalı, karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü bir buzdolabı kullanılmıştır. Buzdolabında soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmaktadır. Sistem sadece kar çözdürme yönteminin değerlendirilmesi üzerine kurulduğu için soğutma sisteminde herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Buzdolabı buharlaştırmacısı üzerinde bulunan elektrikli ısıtıcı yerine, alüminyum malzemeli sıcak sıvı boruları eklenmiştir. Kar çözdürme sırasında buharlaştırmacı üzerindeki ısıtıcılar ile birlikte karlanmanın olduğu diğer bölgelerdeki ısıtıcılar da çalışmaktadır. Hazırlanan sıcak sıvı boruları bu bölgelere de uzatılmış, farklı deney düzenlerinde bu bölgelere uzatılan sıcak sıvı boru düzeneği veya kendi ısıtıcısı çalıştırılmıştır. Şekil 4.2’de buharlaştırmacı üzerine yerleştirilmiş sıcak sıvı boruları görülmektedir. Borular 4,5 mm çapında, mevcut buharlaştırmacı boru kanatlarının arasına sığacak boyutlara sahiptir.

Isıl kütle için hazırlanan ısıl kütle kabına yerleştirilen 45 W gücündeki ısıtıcı ile kar çözdürme işlemi öncesi, ısıl kütle sıcaklığı istenilen sıcaklık seviyesine getirilmiştir. Böylece farklı ısıl kütle sıcaklıklarında deneylerin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca kar çözdürme süreci sırasında da ısıtıcıların çalıştırıldığı deney grubunda bu ısıtıcılar kullanılmıştır.



Şekil 4.2 : Buharlaştırıcı üzerine yerleştirilen sıcak sıvı hattı boruları.

Isıl kütle ısıtıcılarının yerleştirildiği ısıl kütle kaplarından ayrıca kompresör ve yoğuşturucu üzerine yerleştirilebilen bir ısıl kütle kabı tasarlanmıştır. Bu kap, buzdolabının kompresör ve yoğuşturucu üzerinde kalan boş bölgeye sığacak şekilde tasarlanmış ve yaklaşık 2 lt ısıl kütle sıvısı alacak kapasitededir. Bu tasarım ile amaçlanan, ısıl kütleyle aktarılan ısıl enerjisinin, kompresör ve yoğuşturucudan atılan ısıdan sağlanmasıdır. Gerçekleştirilen deneyler sonunda ısıl kütle nin ulaşabileceği en yüksek sıcaklık değerini de belirleme imkanı bulunmuştur.

4.2.1 Sıcak sıvı ile kar çözdürme çalışmalarında ölçüm büyüklükleri, yöntemleri ve belirsizlikleri

Deneysel çalışmalar için hazırlanan deney düzeneğinde kullanılan ölçüm elemanları ile sıcaklık, bağıl nem, enerji ve güç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde,

deney düzeneğinde kullanılan ölçüm elemanları tanıtılmakta ve görevleri açıklanmaktadır.

4.2.1.1 Sıcaklık ölçümleri

Buharlaştırıcı üzerinde kar dağılımına göre kritik olarak belirlenen 13 bölgeden sıcaklık ölçümü yalıtılmış ısı çiftleri ile gerçekleştirilmiştir. Isıl çiftlerin yalıtılmasının sebebi, yerleştirildiği bölgenin şartlarından etkilenmesinin önlenmesi ve böylece daha doğru ölçümler gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır. Buzdolabı taze gıda bölmesi raflarında, 3" çapında çubuklar üzerine yerleştirilen termoelemanlar ile taze gıda bölmesi sıcaklığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde dondurucu bölmesi raflarına da 3" çubuklar üzerine ısı çiftleri yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

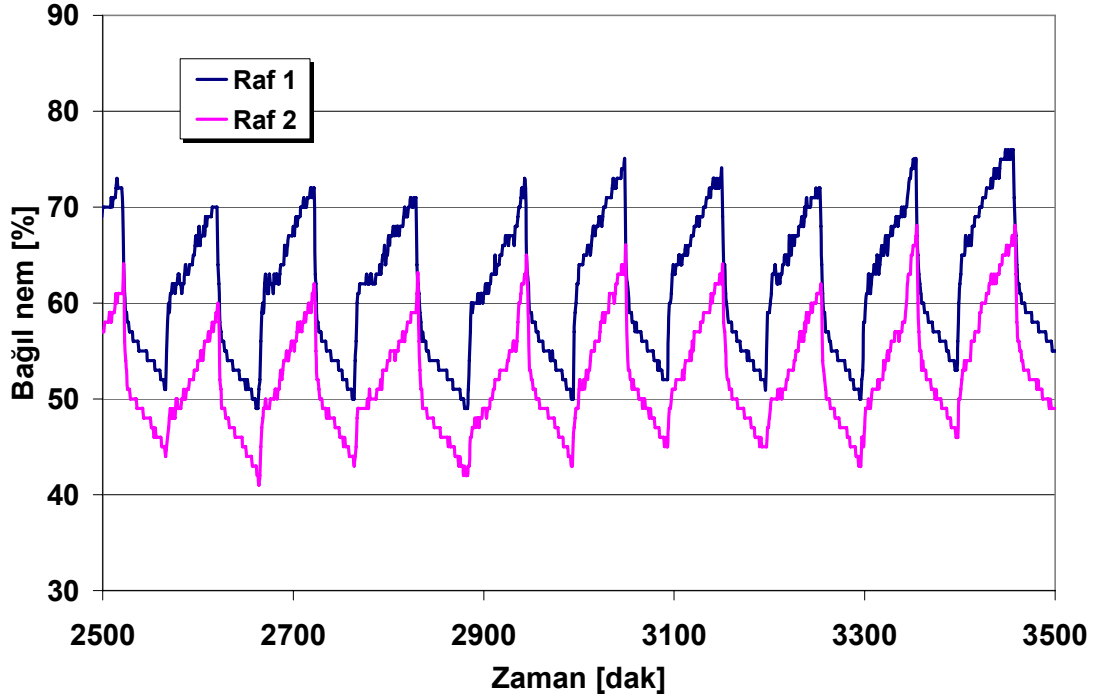
Kar çözdürme işlemi için kullanılan ısı kütle sıcaklığının da tespit edilmesi amacıyla ısı kütle kabının içinde farklı bölgelere iki adet ısı çifti yerleştirilmiştir. İki ısı çiftinin okuduğu sıcaklık değerinin ortalaması ısı kütle sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

Isıl çiftlerin her biri çalışmadan önce FLUKE 5500 kalibratör ile kalibre edilmişlerdir. Isıl çiftler ile alınan sıcaklık ölçümlerinde; üretimden ve bağlantı şekline gelen belirsizlik 0,2°C, kalibrasyondan gelen belirsizlik 0,18°C ve ölçümden gelen belirsizlik 0,1°C'dir. Buna göre ısı çifti sıcaklık ölçümlerindeki toplam belirsizlik:

$$U_{IC} = \sqrt{(0,2)^2 + (0,18)^2 + (0,1)^2} = \pm 0,29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.2.1.2 Bağlı nem ölçümleri

Bağlı nem ölçümleri buzdolabının taze gıda bölmesi raflarına yerleştirilen iki adet bağlı nem sensörü ile gerçekleştirilmiştir. Taze gıda bölmesinde bağlı nem değeri ortalama yaklaşık %60 olarak belirlenmiş ve bu değer için soğuk hava nemlendiricisi kullanılmıştır. Her rafta eşit miktarda bağlı nem değeri sağlanması için de soğuk hava nemlendiricisinin verdiği nem bir boru yardımıyla raflara dağıtılmıştır. Soğuk hava nemlendiricisi ise kompresörün çalışmasına bağlı olarak devreye girecek şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan anahtar ile elektrik bağlantısı yapılan soğuk hava nemlendiricisi, kompresör çalıştığı zaman devreye girmekte ve kompresör durduğunda devreden çıkmaktadır. Şekil 4.3'te deneylerde buzdolabı taze besin bölmesinde sağlanan bağlı nem zamanla değişimi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.3 : Taze gıda bölmesinde sağlanan bağıl nem değeri.

4.2.1.3 Enerji ve güç ölçümleri

Enerji ve güç ölçümleri deneylerin gerçekleştirildiği istasyona bağlı olan besleme panosunda bulunan enerji ve güç ölçüm cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan cihazdan alınan sinyal, her ölçüm büyüklüğüne ait veri toplama hattı üzerinden yine her büyüklüğe ait elektronik karta aktarılır. Veriler multimetre tarafından karttan alınır, kullanılan yazılıma iletilir, yazılım gerekli düzeltme katsayıları ile sonuçları düzeltir ve ekrana iletir. Bu şekilde güç ve enerji ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

4.3 Sıcak Sıvı İle Kar Çözdürme Yöntemi Deneyleri

Hazırlanan deney tesisatı üzerinde gerçekleştirilen deneyler, ortam sıcaklığının 25°C olarak ayarlandığı ve sürekli kontrol altında tutulduğu şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Deneyler, farklı deney grupları altında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle farklı ısı kütlesi miktarı ve sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiş ve kar çözdürme işlemi için en ideal durum ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bunun için bir ısı kütlesi sıvısı kabı oluşturulmuş ve bu kabın içine yerleştirilen ısıtıcılar ile ısı kütlesi sıcaklığı istenilen sıcaklık seviyesinde tutulmuştur. Daha sonra ısı kütlesi sıvısı kabı yerine, kompresör

ve yoğuşturucudan atılan ısıdan faydalanılarak ısı kütlenin ısıtılacağı bir kap tasarlanmış ve bu kap ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde ısı kütlenin sıcaklığının ulaşabileceği en yüksek seviye belirlenmiş ve bu sıcaklığı arttırmak yönünde iyileştirme noktaları belirlenmiştir.

Kar çözdürme işleminin orijinal durumunda, buharlaştırıcının belirli noktasından bir sensör ile ölçülen kar çözdürme sonlandırma sıcaklığı, deneyler arasında farklı sıcaklık değerlerine ayarlanmıştır. Bu durumda karın tamamen ergidiğinin tespiti toplanan kar çözdürme suyu miktarından belirlenmiştir.

Çizelge 4.1’de gerçekleştirilen deneylerin başlangıç şartları sunulmuştur. Isıl kütle miktarı ve sıcaklığı, ara bölme kanal ısıtıcısının çalışıp-çalışmaması (mevcut ısıtıcı/boru sistemi), ısı kütle ısıtıcısının çalışıp çalışmaması ve kar çözdürme sonlandırma sıcaklığının değiştirilmesi ile farklı koşullarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 : Gerçekleştirilen deneylerin başlangıç koşulları.

Deney no	Isıl kütle hacmi [lt]	Isıl kütle sıcaklığı [°C]	Karlanma olan diğer bölgelerde bulunan ısıtıcılar	Kar çözdürme sonlandırma sıcaklığı (Orijinal değere kıyasla)[°C]	Isıl kütle ısıtıcısı
1	1,8	40	Çalışmıyor	Düşük	Çalışmıyor
2	1,8	40	Çalışmıyor	Düşük	Çalışmıyor
3	1,8	40	Çalışıyor	Düşük	Çalışmıyor
4	1,8	50	Çalışıyor	Düşük	Çalışmıyor
5	1,8	50	Çalışıyor	Orijinal değerinde	Çalışmıyor
6	1,8	40	Çalışıyor	Orijinal değerinde	Çalışmıyor
7	1,8	50	Çalışmıyor	Düşük	Çalışmıyor
8	1,8	30	Çalışıyor	Düşük	Çalışıyor
9	1,8	50	Çalışıyor	Düşük	Çalışıyor
10	1,8	50	Çalışıyor	Düşük	Çalışıyor
11	3	30	Çalışıyor	Düşük	Çalışmıyor
12	3	30	Çalışıyor	Düşük	Çalışmıyor
13	3	40	Çalışıyor	Düşük	Çalışmıyor

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar 4 farklı başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlar;

- ısıl kütle miktarı ve sıcaklığı için farklı değerlerin denenmesi,
- karlanma oluşan diğer bölgelerde bulunan ısıtıcıların kapatılması durumu,
- ısıl kütle ısıtıcısının kar çözme sırasında çalıştırılması durumu ve
- kompresör-yoğuşturucu üstü ısıl kütle kabı uygulaması

çalışmalarıdır.

4.3.1 Isıl kütle miktarı ve sıcaklığının denenmesi

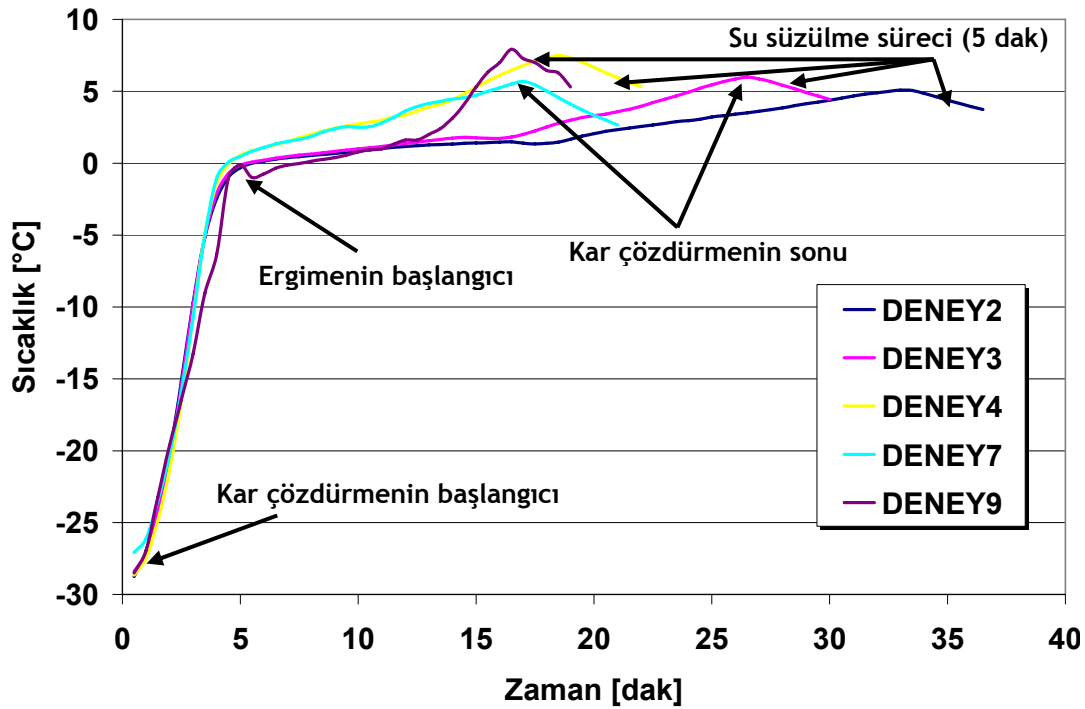
Sıcak sıvı ile kar çözme yöntemi özelinde kurulan deney sisteminde, ısıl kütle olarak antifriz ve su karışımı kullanılmıştır. Elde edilen karışım %50 oranında su, %50 oranında antifriz içermekte olup, en düşük donma sıcaklığı -35°C ile -40°C arasındadır. Sistemde sadece su kullanmak ise, kar çözme sonrasında az da olsa bir miktar suyun kar çözme borularında kalması ve soğutma sırasında bu suyun donarak boruları patlatmasına sebebiyet vermesidir.

Sıcak sıvı ile kar çözme deneylerinde ısıl kütle sıcaklığı 30°C - 50°C arasında değiştirilmiş ve her sıcaklık değeri için kar çözme işleminde, karın ısınma ve ergime süreci incelenmiş, toplam kar çözme süreleri belirlenmiştir. Isıl kütle sıcaklığına benzer şekilde, ısıl kütle miktarları da değiştirilmiştir. Karlanmanın otomatik olarak çözüldüğü bir buzdolabının kompresör-yoğuşturucu üstü bölgesine sığacak bir kap 1,8 lt sıvı alabilmektedir. Bu sebeple deneysel çalışmalar büyük oranda 1,8 lt sıvı karışımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, buzdolabındaki farklı bölgelerin kullanılması ile sıvı miktarının arttırılabileceği düşünülerek, daha yüksek miktardaki ısıl kütle sıvısı karışımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1'de sunulan deney başlangıç şartları incelendiğinde, 2 farklı ısıl kütle miktarında deneylerin gerçekleştirildiği görülmektedir. 1,8 lt ve 3,0 lt olarak gerçekleştirilen deneylerde, ısıl kütle sıcaklığı da 30°C , 40°C ve 50°C olarak değiştirilmiştir.

Farklı ısıl kütle sıcaklıklarının çalışıldığı deneylerde elde edilen buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu deney grubunda kar çözme

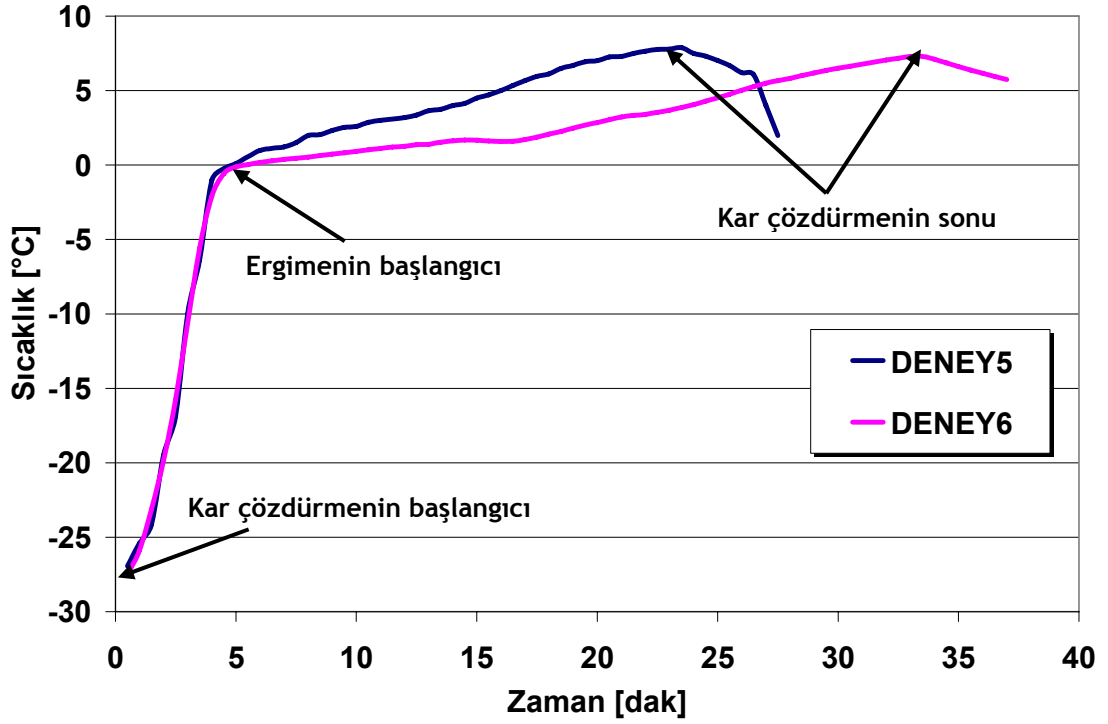
sırasında ısı kütlesi ısıtıcısı çalışmamaktadır ve kar çözme sonlandırma sıcaklığı düşük değere ayarlanmıştır. Şekil incelendiğinde, en uzun kar çözme süreci DENEY 2’de gerçekleşmiştir. Kar çözme süreçleri incelendiğinde ısı kütlesi sıcaklığının artmasının, kar çözme işlemi hızlandığı belirlenmiştir. Kar çözme sürecinin yüksek sıcaklıkta sonlandırıldığı deneylerin karşılaştırması ise Şekil 4.5’te sunulmaktadır. Kar çözme sürecinin sonlandırılma sıcaklığı yüksek olarak ayarlandığı durumda, buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının yine de yüksek değerlere ulaşmadığı ancak ergime için yeterli sıcaklığa yükseldiği görülmektedir. Buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının yüksek sıcaklık mertebelerine gelmemesinin temel sebebi, buharlaştırıcıya pompa yardımı ile gönderilen ısı kütlesi sıvısının buharlaştırıcıya ısı aktararak soğuması ve soğuyan ısı kütlesi sıvısının tekrar kar çözme dolaşımına katılmasıdır. Kar çözme işleminin başarı ile gerçekleştirildiği toplanan su miktarları üzerinden belirlenmektedir.



Şekil 4.4 : Farklı ısı kütlesi sıcaklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (Kar çözmenin düşük sıcaklıkta sonlandırıldığı durum).

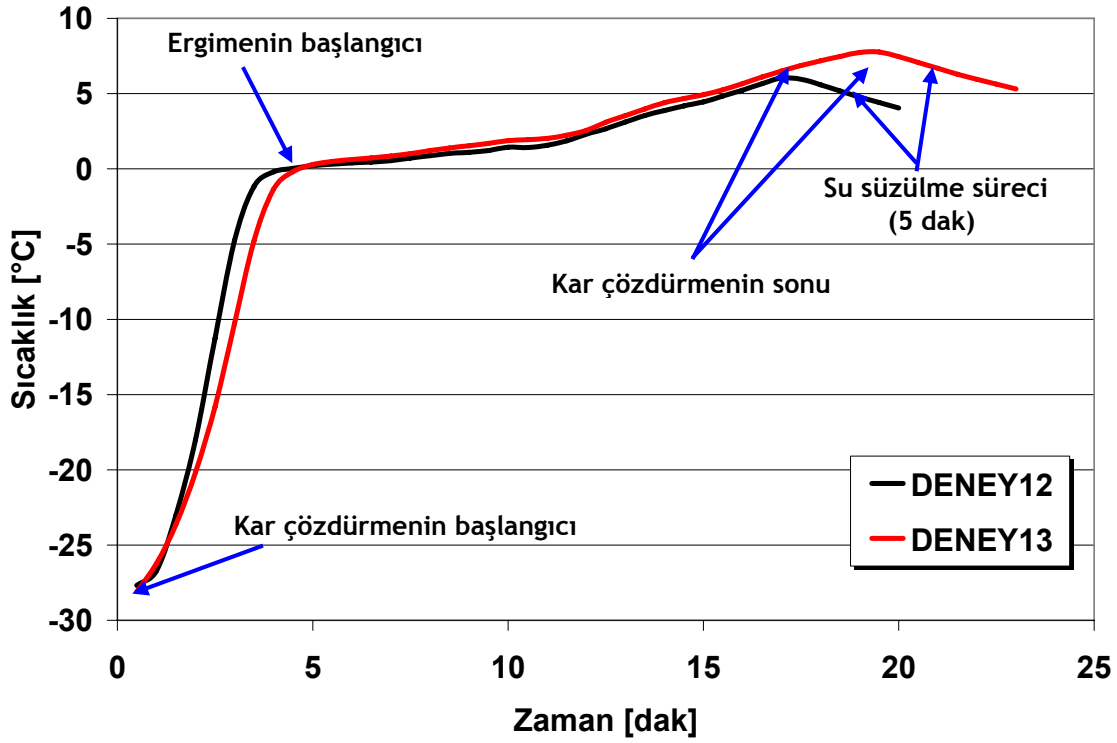
Şekil 4.5’te ısı kütlesi miktarının artırıldığı deneylerde buharlaştırıcı sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği verilmiştir (3 lt). Farklı ısı kütlesi sıcaklıklarında yapılan deneylerden, 40°C ısı kütlesi sıcaklığında gerçekleştirilen deneyde buharlaştırıcı

sıcaklığının daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. İki deneyde de kar çözdürme işlemi birbirine yakın sürelerde sonlanmıştır. Şekil 4.6'da ısı kütlesi miktarının artırıldığı durumda buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi verilmiştir. Isıl kütle sıcaklığının artması, Şekil 4.5'te olduğu gibi aynı etkiyi göstermiştir.

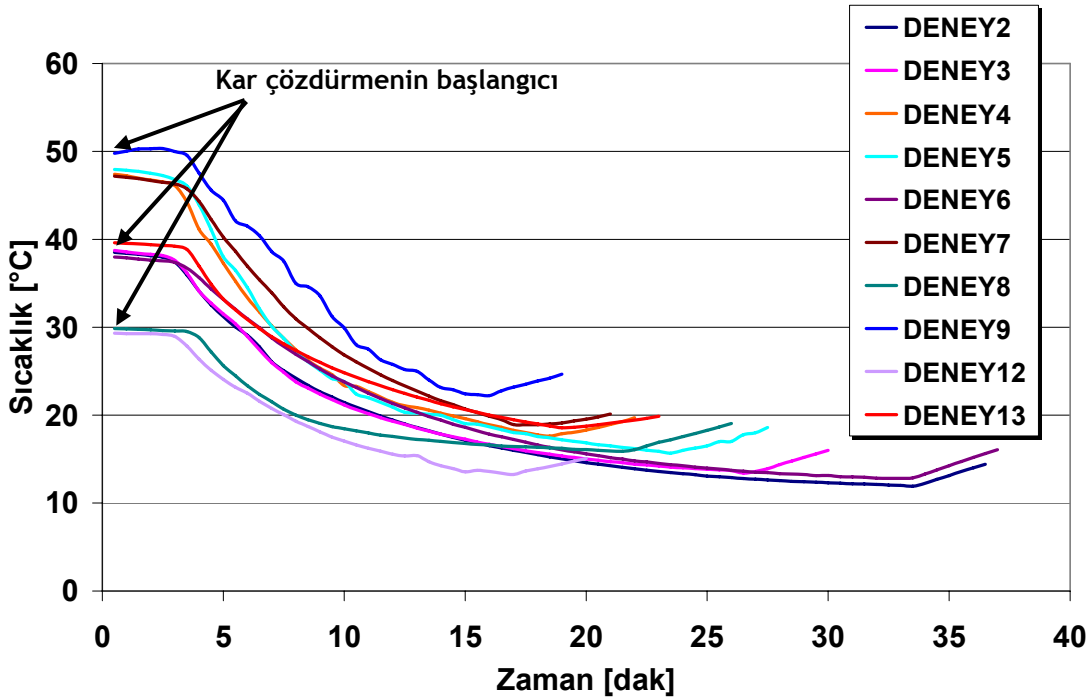


Şekil 4.5 : Farklı ısı kütlesi sıcaklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (Kar çözdürmenin orijinal sıcaklığında sonlandırıldığı durum).

Tüm deneylerde, kar çözdürme süreci boyunca ısı kütlesi sıcaklığının değişimi Şekil 4.6'da sunulmaktadır. Şekil 4.6 incelendiğinde tüm deney başlangıç şartları için ısı kütlesi sıvısı sıcaklığı kar çözdürme işlemi boyunca düşmektedir. Bu durumun sebebi buharlaştırıcıya gönderilen ısı kütlesi sıvısının, soğuduktan sonra tekrar ısı kütlesi kabına dönmesidir. Isıl kütle kabında, sıcak ısı kütlesi sıvısı ile karışan soğuk ısı kütlesi sıvısı, ısı kütlesi kabında sıcaklığın düşmesine sebep olmaktadır. Sürekli olarak soğuyan ısı kütlesi sıvısı kar çözdürme sürecinin uzamasına ve nihai ulaşılan sıcaklık değerinin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.6 : Isıl kütle miktarının artırıldığı durumda buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

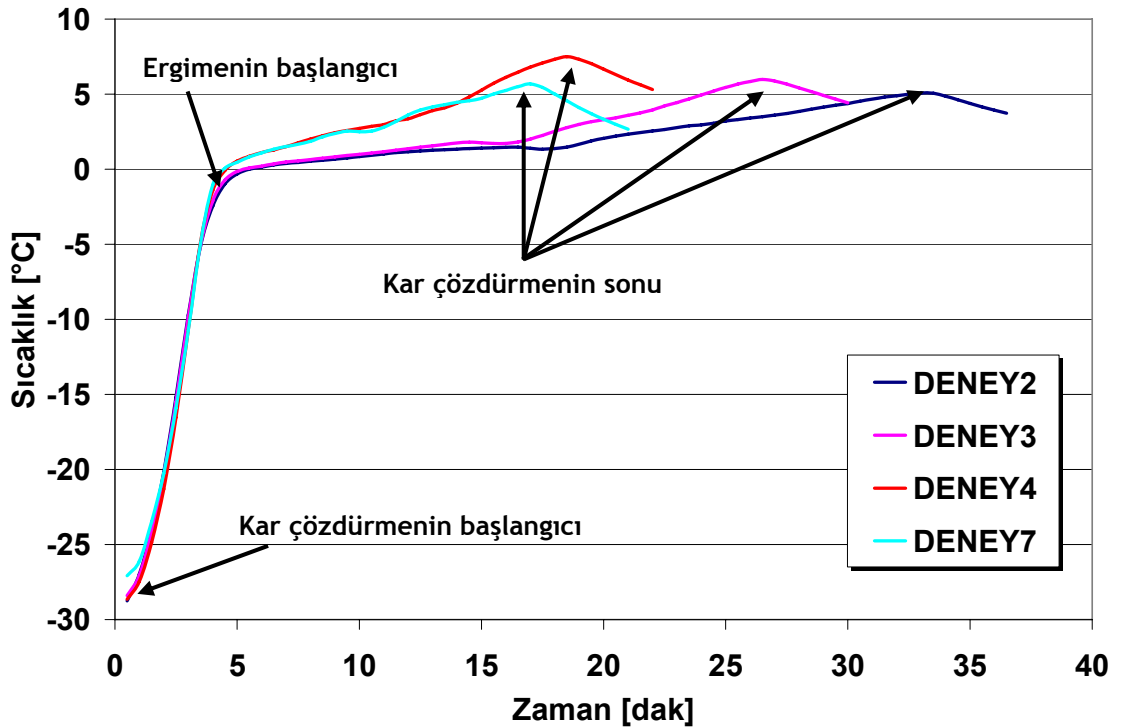


Şekil 4.7 : Kar çözdürme sürecinde ısıl kütle sıvısı sıcaklıklarının zamanla değişimi.

4.3.2 Karlanmanın olduğu diğer bölgelerdeki ısıtıcıların kapatılması durumu

Buharlaştırıcı yüzeyi dışında karlanmanın olduğu diğer bölgelerdeki ısıtıcılar yerine sıcak sıvı boruları uzatılmış, bazı deneylerde ısıtıcılar kapatılmış ve sadece sıcak sıvı boruları kullanılmıştır. Böylece bu bölgedeki ısıtıcı güçlerinden de tasarruf edilmiş olacaktır.

Şekil 4.8’de aynı ısıtıcı miktarı ve sıcaklıklarında, kanal ısıtıcısının kapalı ve açık olduğu durumlarda buharlaştırıcı sıcaklıklarındaki değişim grafiği sunulmuştur. Çizelge 4.2’de ise toplanan kar çözme suyu miktarlarının orijinal durum ile karşılaştırılması verilmiştir. Deney-2 ve Deney-3 birbiriyle, Deney-4 ve Deney-7 birbiriyle karşılaştırıldığında ara bölme ısıtıcısının çalıştırılmadığı durumlarda buharlaştırıcı sıcaklıklarının daha geç yükseldiği ve toplanan kar çözme suyu miktarlarının eksik kaldığı görülmektedir. Bu durum uzatılan alüminyum boruların yüzey alanlarının hava emiş kanalındaki karı tamamen eritmeye yetmediğini ve bu bölgedeki ısıtıcının çalıştırılması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 4.8 : Kanal ısıtıcısının açık ve kapalı olduğu durumda buharlaştırıcı yüzey sıcaklığının zamanla değişimi.

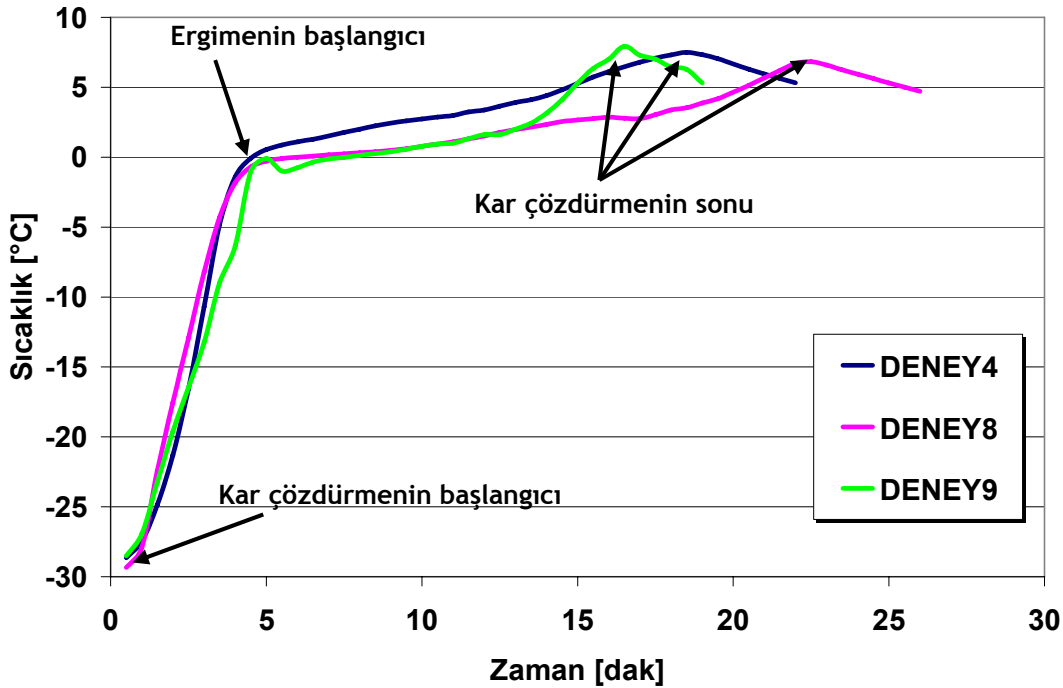
Çizelge 4.2 : Kar çözdürme suyunun karşılaştırılması.

	Deney 2	Deney 7
Kar çözdürme suyu farkı [g]	30	35

4.3.3 Isıl kütle ısıtıcısının kar çözdürme sırasında çalıştırılması

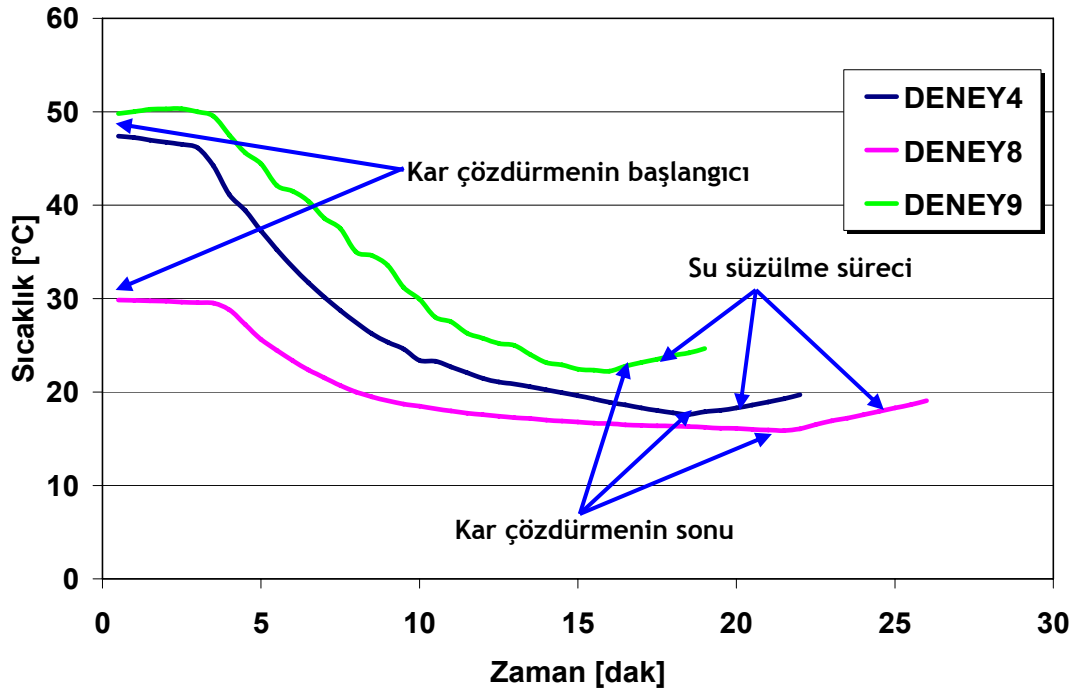
Kar çözdürme işlemi esnasında, kar çözdürme hattı borularından geçerek gelen sıcak sıvının, ısıl kütle kabına dönüş sıcaklığı kaptaki bulunan sıvı sıcaklığından düşük olmaktadır. Bu sebeple ısıl kütle sıcaklığı kar çözdürme sürecinde düşmekte ve kar çözdürme işlemi verimini de olumsuz etkilemektedir. Bu durumun ortadan kaldırılması için ısıl kütle kabında bulunan ısıl kütle ısıtıcıları kar çözdürme sırasında da devrede tutulmuş ve bu şartlarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.9’da ısıl kütle ısıtıcısının kar çözdürme sırasında çalıştırılmadığı ve çalıştırıldığı durumlar için buharlaştırıcı sıcaklıklarının değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deney-4 ile Deney-9 karşılaştırıldığında, ısıl kütle ısıtıcısının çalıştırıldığı durumda hem kar çözdürme daha kısa sürede gerçekleşmekte hem de buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı daha yüksek değerlerde sonlanmaktadır. Bu durum ısıl kütle sıcaklığı değişim grafiğinde de görülmektedir. Şekil 4.10’da kar çözdürme sürecinde ısıl kütle sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.9 : Isıl kütle ısıtıcısının çalışma durumuna göre buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Isıl kütle ısıtıcısının kar çözdürme işlemi esnasında çalıştırılmasına rağmen ısı kütle sıcaklığı kar çözdürme süreci boyunca düşmüştür. Isıl kütle sıcaklığının düşmesini engellemek için gereken enerjinin belirlenmesi için öncelikle buharlaştırıcı yüzeylerinde bulunan karın ergimesi amacıyla gerekli enerji belirlenmelidir. Ayrıca karın ergimesi sırasında havaya ve buharlaştırıcı cidarlarına olan ısı kayıpları da göz önünde bulundurularak bu değerler hesaplanabilir.



Şekil 4.10 : Isıl kütle ısıtıcısının çalışma durumuna göre, ısı kütle sıcaklığının kar çözdürme sürecinde zamanla değişimi.

Karın ısınması, ergimesi ve suyun ısınmasına verilen toplam ısı miktarı:

$$Q_{kç} = m_{kç} (h_s - h_i) \quad [\text{kJ}] \quad (4.1)$$

$m_{kç}$: Kar çözdürme süreci sonunda toplanan su miktarı

h_i : Kar çözdürme süreci öncesinde karın entalpisi

h_s : Kar çözdürme süreci sonunda elde edilen suyun entalpisi

Bu ısı miktarı diğer taraftan gizli ve duyulur ısı olarak ikiye de ayrılabilir. Karın ergime ısısı gizli ısı olarak, karın ve suyun sıcaklığının artmasına neden olan ısı da duyulur ısı olarak belirlenmiştir.

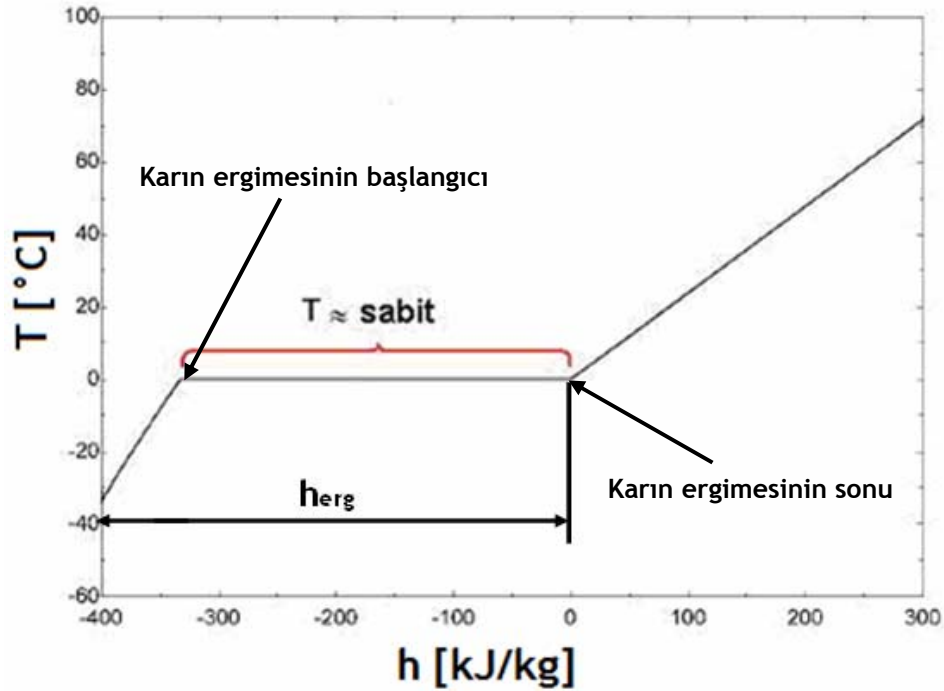
$$Q_{kç} = Q_{erg} + Q_{ısı} \quad [\text{kJ}] \quad (4.2)$$

$$Q_{erg} = m_{kç} \cdot (h_{erg}) \quad [\text{kJ}] \quad (4.3)$$

h_{erg} : Ergime entalpisi $[\text{kJ/kg}]$

Şekil 4.11’da verilen grafikten entalpi ile sıcaklık arasındaki ilişki aşağıdaki gibi elde edilir. Bu formülasyonlar kullanılarak kar tabakasına ve suya verilen ısı miktarı belirlenmiş olur.

$$\begin{cases} h = 4,2254 T & T > 0^\circ\text{C} \\ h = 2,2581 T - 330 & T < 0^\circ\text{C} \end{cases} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (4.4)$$



Şekil 4.11 : Kar ve suyun sıcaklık-entalpi diyagramı (Hoffenbecker, 2004).

Kar çözdürme sürecinde ortama geçen ısının bir kısmı buharlaştırıcı boruları ve kanatlarının sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bu ısı miktarı da Denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$Q_{cid} = m_{cid} \cdot c \cdot (T_{cs} - T_{ci}) \quad [\text{kJ}] \quad (4.5)$$

m_{cid} : Buharlaştırıcı toplam kütlesi

c : Buharlaştırıcı malzemesi olan alüminyumun özgül ısısı

T_{ci} : Kar çözme süreci öncesinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı

T_{cs} : Kar çözme süreci sonunda buharlaştırıcı yüzey sıcaklığı

Kar çözme sürecinin başlangıcında karın ortalama sıcaklığının $-28,7^{\circ}\text{C}$ olduğu ve $5,3^{\circ}\text{C}$ 'de kar çözme sürecinin sonlandırıldığı Deney-4 ele alınırsa, karın ergimesi ve $5,3^{\circ}\text{C}$ 'de su haline gelmesi için gereken ısı enerjisi $Q_{kç} = 55,8$ kJ olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde bir kar çözme süreci boyunca buharlaştırıcı cidarlarına verilen ısı enerjisi, buharlaştırıcı kütlesi 1,2 kg, sıcaklık farkı 45°C ve alüminyumun özgül ısısı $0,9$ kJ/kgK olmak üzere $Q_{cid} = 59,4$ kJ olarak hesap edilmiştir. Bu durumda karın ergimesi ve buharlaştırıcı cidarlarına verilmesi gereken toplam ısı miktarı 115,2 kJ olmaktadır.

Diğer yandan ısı kütlesi sıcaklığının anlık değişiminden, ısı kütlesinde depolanan ısının ne kadarının kar çözme sırasında harcandığı da belirlenebilir.

$$Q_{ik} = m_{ik} \cdot c_{ik} \cdot (T_{iks} - T_{iki}) \quad [\text{kJ}] \quad (4.6)$$

m_{ik} : Isıl kütle sıvısının kütlesi

c_{ik} : Isıl kütle sıvısının belirli sıcaklıktaki özgül ısısı

T_{iki} : Kar çözme süreci öncesinde ısı kütlesi sıvısının sıcaklığı

T_{iks} : Kar çözme süreci sonunda ısı kütlesi sıvısının sıcaklığı

Isıl kütle sıcaklığının kar çözme süreci öncesi ve sonrası değişimi, o sıcaklıktaki özgül ısısı ve kütlesi bilindiğinden, kar çözme için harcanan toplam ısı miktarı

$$Q_{ik} = m_{ik} \cdot c_{ik} \left(\sum_{i=t_1}^{i=t_2} (T_{ik}^{i+1} - T_{ik}^i) \right) \quad [\text{kJ}] \quad (4.7)$$

denklemleri ile hesap edilir. Deney-4'te elde edilen ısı kütlesi sıcaklığı değişimine göre bu hesap gerçekleştirilirse $Q_{ik} = 191,5$ kJ sonucuna ulaşılmaktadır. Bu değer kar çözme için harcanan toplam ısıtıcı gücü olan Q_t değerine de karşılık gelmektedir.

Buna göre ısı kütlesi sıcaklığını tüm kar çözme süreci boyunca sabit sıcaklıkta tutmak için gereken ısıtıcı gücü

$$\dot{Q}_{\text{ist}} = \frac{Q_{\text{ik}}}{t_{\text{kç}}} \quad [\text{kW}] \quad (4.8)$$

denklemlerle hesap edilir. Deney-4'te kar çözme süreci 18,5 dakikada sonlandığından ve bu sürede kar çözme sürecinde gereken ısı miktarı da bilindiğinden ortalama gerekli ısıtıcı gücü $Q_{\text{ist}} = 172,5 \text{ kJ}$ olarak belirlenir. Elde edilen bu değer Deney-4'te ısı kütlesi sıcaklığının 50°C olduğu durum içindir. Diğer deneyler içinde benzer hesaplar yapılarak gerekli ısıtıcı güçleri elde edilebilir.

Kar çözme için harcanan enerji miktarı ile kar çözme sırasında harcanan toplam enerji miktarı değerleri bilindiğinden kar çözme etkinliğini de hesaplamak mümkündür. Deneyler sonucunda elde edilen $Q_{\text{kç}}$ ile Q_t değerlerinin birbirine oranı her deneyin kar çözme etkinliğini belirtmektedir.

$$\varepsilon_{\text{kç}} = \frac{Q_{\text{kç}}}{Q_t} \quad (4.9)$$

Buna göre Deney-4 için kar çözme etkinliği

$$\varepsilon_{\text{kç}} = \frac{Q_{\text{kç}}}{Q_t} = \frac{55,8}{191,5} = 0,29$$

olarak belirlenmiştir. Diğer deneyler için etkinlik değerleri de hesaplanabilir. Bunun için öncelikle antifriz (etilen-glikol) ve su karışımı için özgül ısısının ve yoğunluğunun farklı sıcaklıklardaki değerleri belirlenmelidir. Çizelge 4.3'te bu değerler verilmektedir.

Çizelge 4.3 : Farklı sıcaklıklarda %50 antifriz - %50 su karışımı özellikler (Altuntop, 2005).

Sıcaklık [°C]	C_p [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]
30	3,2	1050
40	3,32	1045
50	3,4	1040

Her deney için hesaplanan kütle miktarı ve bilinen özgül ısı ile sıcaklık değişimi değerleri Denklem (4.7)'de yerine koyularak Q_t hesap edilmiştir. Denklem (4.4) kullanılarak her deney için kar çözdürme işlemine harcanan ısı miktarı belirlenmiştir. Hesaplanan bu değerler sonucunda, gerçekleştirilmiş deneyler için etkinlik değerleri Çizelge 4.4'te sunulmaktadır.

Çizelge 4.4 : Sıcak sıvı ile kar çözdürme yönteminde kar çözdürme etkinliği değerleri.

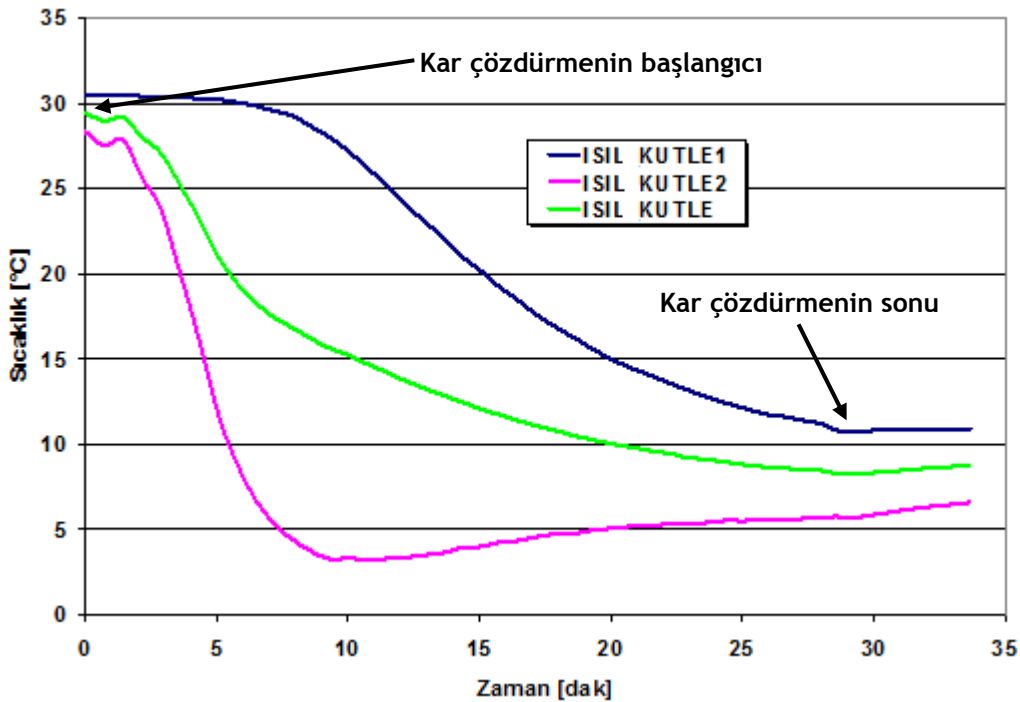
Deney no	Isıl kütle başlangıç sıcaklığı [°C]	$Q_{kç}$ [kJ]	Q_t [kJ]	$\epsilon_{kç}$
2	40	50,5	39,0	0,23
3	40	46,7	57,8	0,37
4	50	187,7	55,9	0,29
5	50	197,1	53,5	0,27
6	40	156,8	56,2	0,36
7	50	178,7	38,2	0,21
9	50	169,4	57,9	0,34
12	30	155,3	50,4	0,32
13	40	215,5	51,4	0,24

Elde edilen etkinlik değerleri incelendiğinde, en yüksek değerlerin Deney 3 ve Deney 6'da olduğu görülmektedir. İki deneyde de, başlangıç şartları 40°C ısı kütle sıvısı sıcaklığı ve 1,8 lt ısı kütle sıvısı hacmidir. Bu şartlarda etkinlik en yüksek değere ulaşmış, sıcaklığın 50°C'ye artırılmasına rağmen etkinlik 0,29 değerinde kalmıştır. Bu durum, yüksek ısı kütle sıcaklıklarında başlatılan deneylerde, kar çözdürme süreci başlangıcı ve sonunda ısı kütle sıcaklık farkının büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıkta bulunan ısı kütle sıvısı kar çözdürmeyi daha hızlı sonlandırmakta ve bunun için harcadığı enerji daha fazla olmaktadır. Bu durumda etkinlik düşmekte, buna rağmen enerji tasarrufu açısından olumlu bir etki yaratılmaktadır.

4.3.4 Kompresör-yoğuşturucu üstü ısıl kütle kabı ile gerçekleştirilen deneyler

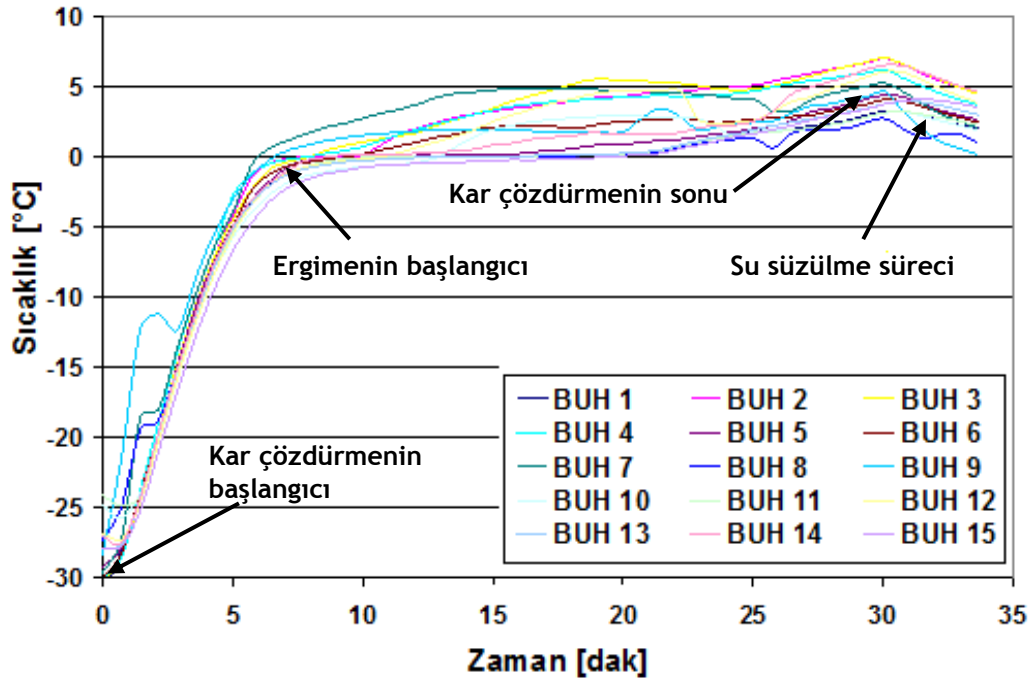
Isıtıcı yerleştirilmiş ısıl kütle kabı ile gerçekleştirilen sıcak sıvı ile kar çözdürme yöntemi deneylerinden sonra, kompresörün ısını ve yoğuşturucudan atılan ısıyı kullanarak, ısıl kütleyle dışardan bir kaynak olmadan ısıl enerji depolamak için tasarlanan ısıl kütle kabı ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Bu deneylerde elde edilen en yüksek ısıl kütle sıcaklığı ortalama 30°C olmuştur. Şekil 4.12'de ısıl kütle sıcaklığının kar çözdürme sırasında zamanla değişimi verilmiştir.



Şekil 4.12 : Kompresör-yoğuşturucu üstü ısıl kütle kabında ısıl kütle sıcaklığının zamanla değişimi.

Buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının kar çözdürme süreci sırasında değişim grafiği Şekil 4.13'de sunulmaktadır. Kar çözdürme işlemi 35 dakikaya yakın sürede tamamlanmış ve buharlaştırıcının bazı kısımlarında yüzey sıcaklıkları istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Bununla birlikte toplanan kar çözdürme suyu miktarları incelendiğinde, kar çözdürme işleminin başarı ile tamamlandığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 : Kompresör-yoğuşturucu üstü ısıtıcı kabı deneyinde buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Sıcak sıvı ile kar çözme yönteminde, orijinal yöntemde kullanılan elektrikli ısıtıcının sistemden çıkarılmış olması ve onun yerine daha düşük güç tüketimli sadece ısıtıcı sıvısının kar çözme borularında dolaşımını sağlayan pompanın kullanılması, ısı kaynağı olarak soğutma sisteminin bileşenlerinin kullanılması enerji tasarrufu açısından büyük kazanç potansiyeli sağlamıştır. Deneysel çalışmalarda tespit edildiği üzere;

- Kar çözme için gerekli ısıtıcı sıvısının sıcaklığı ısıtıcı ile artırılmakla beraber, ısıtıcının harcadığı enerjinin kazanılması amacıyla ısıtıcı sıvısının kompresör kızgın buhar hattı yardımı ile ısıtılması önem taşımaktadır. Kompresör kızgın buhar hattı çıkışına uygulanacak bir ısı değiştirici ile ısıtıcı sıvısı sürekli olarak kar çözme için gerekli sıcaklık değerinde tutulabilir.
- Isıtıcı sıvısının miktarındaki artış kar çözme süresinin kısalmasına, ısıtıcı sıvı sıcaklığının kar çözme süreci sırasında daha az düşmesine ve kar çözme süreci sonrası istenilen buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarına ulaşmasını sağlamaktadır. Bu sebeple, buzdolabının kabin dışında kalan hacimlerinin ısıtıcı sıvısı için depo olarak kullanılması önem taşımaktadır.

- Isıl kütle sıvısının sistemde dolaşımını sağlayan pompa 40 W gücündedir. Kar çözdürme veriminin artırılması amacıyla daha düşük güç tüketimli ve daha yüksek debi sağlayabilen pompaların kullanılması önem taşımaktadır.

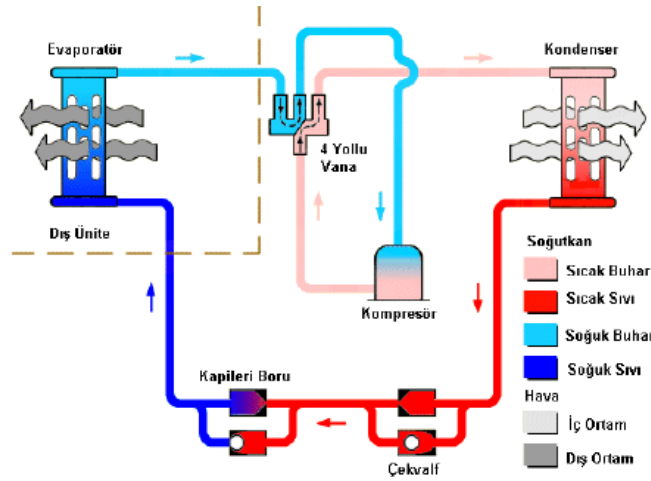
Çizelge 4.1’de sunulan deney planına göre farklı çalışma şartları için gerçekleştirilen enerji tüketimi deneylerinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde %3 - %9 arasında bir iyileştirmenin söz konusu olduğu belirlenmiştir. Tüm deneylerden elde edilen enerji tüketim değerleri, orijinal kar çözdürme yöntemine sahip buzdolabının enerji tüketim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde pompa güç tüketimi toplam enerji tüketimi içerisinde iken ısı kütlesi sıvısı ısıtıcısının harcadığı enerji toplam enerji tüketimine dahil edilmemiştir.

Deneylerin enerji tüketim değerleri incelendiğinde, Deney-7’nin en yüksek değerlerde enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Fakat bu deneyde, kar çözdürme suyunun orijinale göre 35 g eksik gelmesi, bu deney şartlarının, kar çözdürme açısından yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumda kar çözdürme suyu miktarı da orijinal ile aynı gelen Deney 13’ün, en yüksek enerji tasarrufu sağlanan deney olduğu belirlenmiştir.

5. ALTERNATİF TERS AKIŞLI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ İLE KAR ÇÖZDÜRME YÖNTEMİ

5.1 Ters akışlı soğutma Çevrimi İle Kar Çözdürme Yönteminin Tanıtılması

Sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemlerinden biri de mevcut soğutma sisteminin tersten çalıştırılıp, ters yönlü akışlı çevrim oluşturulması ile kar çözdürmenin sağlandığı yöntemdir. Ters akışlı soğutma ile kar çözdürme yönteminin orijinal kar çözdürme yönteminden farkı, kar çözdürme sırasında çalışmayan kompresörün bu yöntemde çalışması ve elektrikli kar çözdürme ısıtıcısının sistemden çıkarılmasıdır (Dossat, 1997). Bu yöntemin aslı ise klimaların ısıtma moduna benzer şekilde gerçekleşmesidir. Klimalarda ısıtma modu işlemi için 4-yönlü valf kullanılmaktadır. 4-yönlü valf klimanın ısıtma ve soğutma modlarının arasında geçişi sağlamaktadır. Şekil 5.1’de klima sistemlerinin ısıtma modu şematik olarak gösterilmiştir. Isıtma modu şekil üzerinde oklarla belirtilen yönde çalışmaktadır.



Şekil 5.1 : Klima ısıtma modunun şematik gösterimi.

Literatürde herhangi bir evsel buzdolabında ters yönlü akışlı çevrim ile kar çözdürme yöntemi üzerine uygulamaya rastlanmamıştır. Bu yöntem üzerine tasarlanan sistemler ise evsel buzdolaplarına göre daha büyük soğutma sistemlerine uygundur. Daha çok klimalarda ve ticari soğutma sistemlerinde uygulanan bu yöntemin zorluğu

da, küçük soğutma sistemlerine uygulanması sırasında yaşanan sıkıntılardan kaynaklanmaktadır (Gümüş, 2006 ve Gümüş ve diğ, 2008).

Yöntemin mevcut buzdolaplarına uygulamasında, soğutma çevrimi sonrasında, ters akışlı soğutma çevriminin çalışması için kompresörün devrede kalması gerekmektedir. Bu durumda kompresörün çalışma zamanı artmakta ve enerji tüketimine olumsuz bir etki yaratılmaktadır. Fakat diğer açıdan, orijinal kar çözdürme yöntemi olan elektrikli ısıtıcı kullanımından kaynaklanan enerji tüketiminden tasarruf edilmektedir. Bu durumda önem kazanan nokta, kar çözdürme sürecinde kompresör tarafından harcanan enerjinin, kar çözdürme ısıtıcısına göre hangi mertebelerde olduğudur. Farklı bir açıdan ise, bu yöntemde soğutucu akışkanın ısıyı doğrudan buharlaştırıcı borularının içinden aktarması sonucu havaya ve kabin içine aktarılan ısı enerjisi miktarının değişmesi enerji tüketimini etkilemektedir.

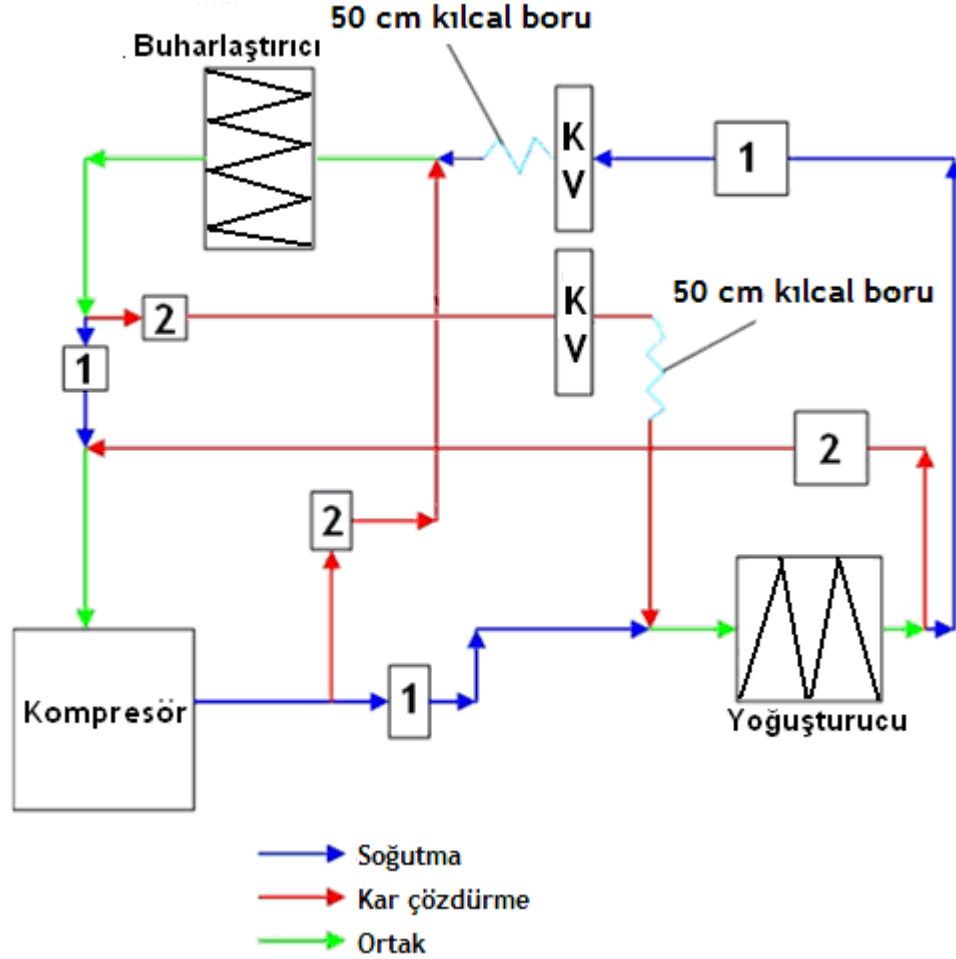
5.2 Ters Akışlı Soğutma Çevrimi İle Kar Çözdürme Deney Düzenegi

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi deneylerinde kullanılan buzdolabının benzeri olan, iki kapılı, tek buharlaştırıcılı, 81 g şarjda R600a soğutucu akışkanına sahip karlanmanın otomatik olarak çözdürüldüğü bir buzdolabı kullanılmıştır. Dondurucu bölmesinde bulunan buharlaştırıcı borulu-kanatlı tipi bir ısı değiştiricisidir. Üstünde bulunan fan yardımıyla zorlanmış taşınımlı olarak kullanılan buharlaştırıcı; 13 ön ve 13 arka sıralı olmak üzere toplam 26 sıralı, 13,6 m uzunluğunda 3/16” çaplı alüminyum borulardan oluşmaktadır.

Deneysel çalışma için öncelikle klimalara benzer bir soğutma ve ısıtma çevriminin oluşturulması planlanmıştır. Bunun için 4-yönlü valflerin piyasa araştırması yapılmıştır. Piyasada bulunan 4-yönlü valflerin ise R600a soğutucu akışkanı ile birlikte çalışmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple, ters akışlı soğutma çevrimi sisteminin sağlanması için alternatif bir uygulama sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem Şekil 5.2’de şematik olarak sunulmuştur. Sistemde 6 adet solenoid valf, normalde kapalı olacak şekilde kullanılmıştır ve bu valfler ile 4-yönlü valfin görevi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 5.2’de gösterilen sistemde; soğutma çevrimi çalışırken 1 numaralı valfler açık, 2 numaralı valfler kapalı konumda, kar çözdürme çevrimi çalışırken ise 2 numaralı valfler açık, 1 numaralı valfler kapalı konumda çalışmaktadır. Mavi oklarla

gösterilmiş olan hatlar sadece soğutma çevrimi sırasında, kırmızı oklarla gösterilmiş hatlar sadece kar çözdürme çevrimi sırasında, yeşil oklarla belirtilmiş hatlar ise iki çevrimde ortak olarak kullanılmaktadır. Açık mavi ile verilen hatlar ise her çevrimin kendisine özel olarak kullandığı kılcal boru hattını göstermektedir. Şekilde KV ile belirtilen bileşenler ise her çevrimin kendi özelinde kullandığı kısılma cihazlarıdır.

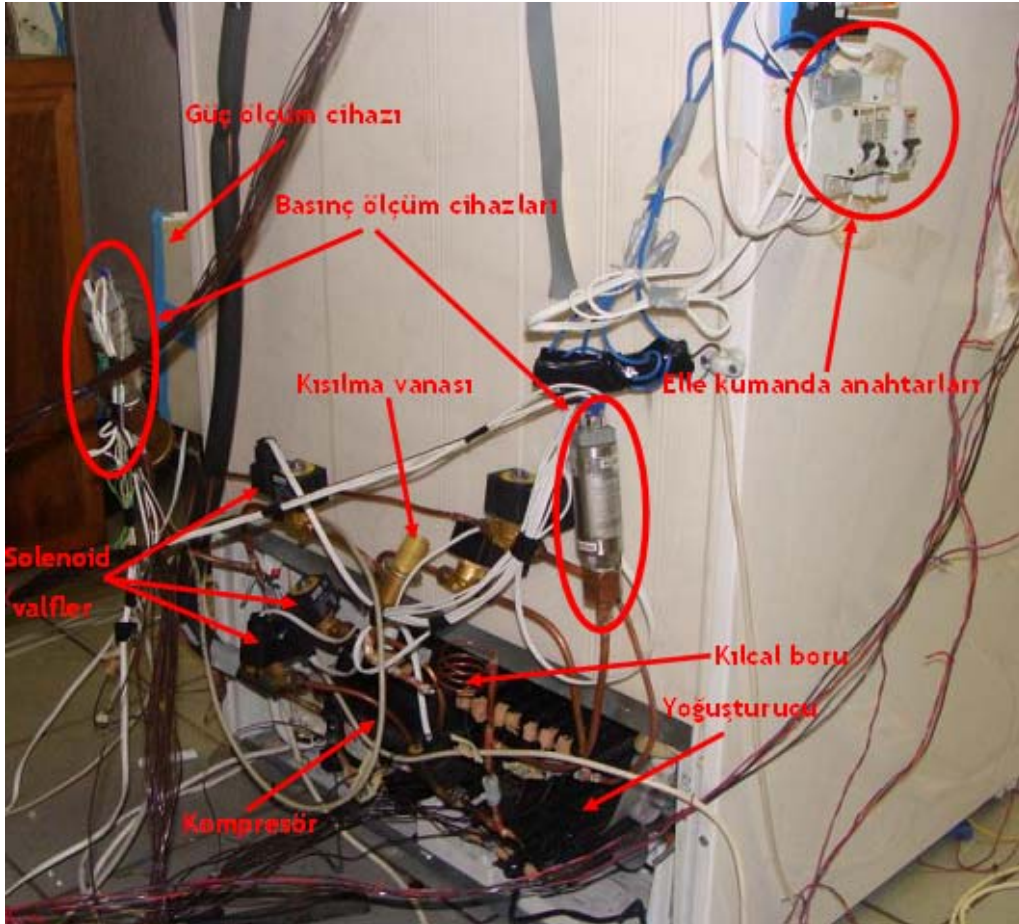


Şekil 5.2 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme yönteminin ilk halinin şematik gösterimi.

Kar çözdürme çevrimi sırasında bir yandan da buharlaştırıcı üzerinde olmayan bazı ısıtıcılarda devrede kalmaktadır. Bu ısıtıcıların karı ergitme açısından sistemde çalışması büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden bu ısıtıcılar sistemden tamamen çıkarılmamış fakat deneysel çalışmalar için kar çözdürme sırasında devre dışı bırakılabilir olarak ayarlanmıştır.

Deneysel çalışmalar amacıyla kurulan sistemin fotoğrafı Şekil 5.3'te sunulmuştur. Düzeneğe kompresör giriş ve kompresör çıkış olmak üzere iki noktadan basınç

ölçüm cihazları bağlanmıştır. Böylece hem soğutma sırasında hem de kar çözdürme sırasında kompresör giriş ve çıkış basınç değerleri elde edilebilmektedir. Sistem hem otomatik olarak hem de elle kontrol edilerek kar çözdürme işlemini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır.



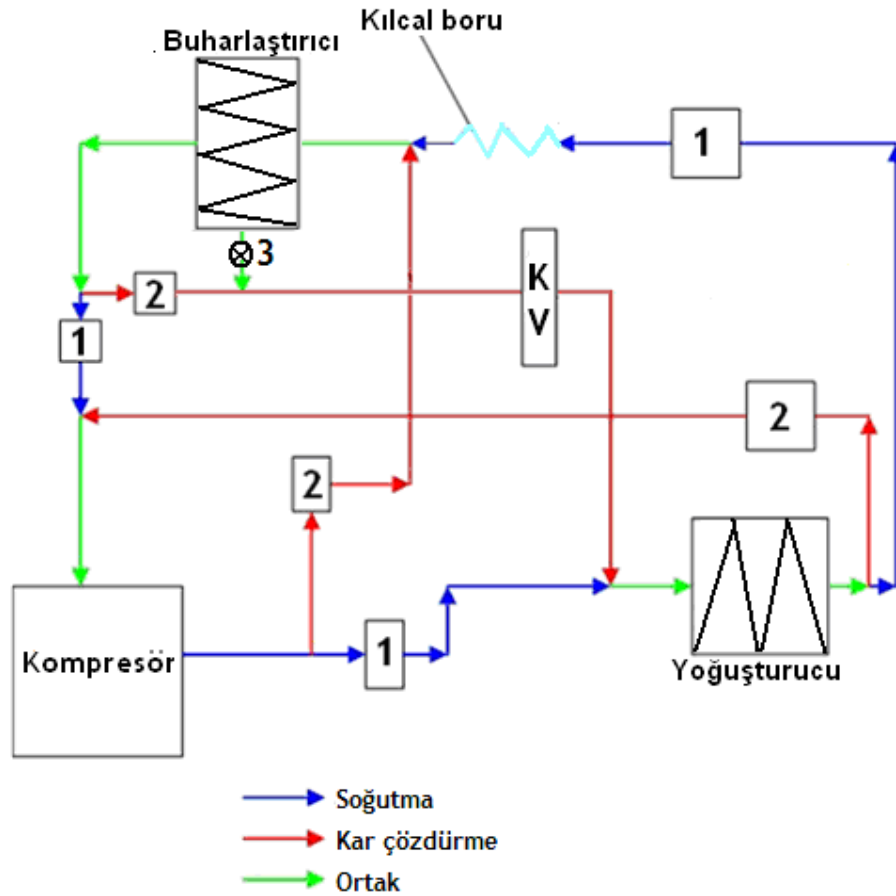
Şekil 5.3 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme deney düzeneği.

Kurulan ilk deney tesisatında ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve deney düzeneğinde değişiklikler yapılmıştır. Daha sonra son haline getirilmiş deney düzeneği üzerinde kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney tesisatında gerçekleştirilen değişiklikler aşağıda verilmiştir.

- Ters akışlı soğutma çevriminde, akış sırasına göre kısılma vanasından sonra akışı düzenlemesi için sisteme eklenen kılcal boru sistemden çıkarılmıştır. Benzer şekilde, soğutma çevrimine eklenmiş olan kısılma vanası sistemden çıkarılmış ve soğutucu akışkan sistemin orijinal kılcal borusunu kullanacak şekilde tekrar düzenlenmiştir.

- Sisteme buharlaştırıcının ön-alt paslarından birine bağlanmış bir T bağlantı borusu ile doğrudan kısılma vanasına bağlanan bir kısayol boru hattı eklenmiştir. Bu boru hattı üzerine elle kontrol edilebilir bir vana eklenmiş ve böylece ilk denemelerde sistemin elle kontrol edilebilir olması sağlanmıştır.
- Elektronik solenoid valflerin aşırı ısınması, sistemde takınlara yol açtığı öngörüsü ile kar çözdürme çevriminde, buharlaştırıcıdan sonra kısılma vanasına gelmeden hemen önce sistemde bulunan solenoid valfe paralel bir boru eklenmiş ve bu boru üzerine elle kontrol edilebilir bir vana konulmuştur. Böylece elle kontrol edilerek gerçekleştirilen kar çözdürme işlemlerinde bu vana kullanılarak, solenoid valfinden kaynaklanan boruların tıkanma probleminin engellenmesi sağlanmıştır.

Değişikliklerden sonra oluşturulan deney tesisatının şematik olarak gösterimi Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekilde 3 numara ile, buharlaştırıcıdan uzatılan kısayol borusu üzerindeki elle ayarlanabilir vana gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme yöntemi son halinin şematik gösterimi.

5.2.1 Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözdürme çalışmalarında ölçüm büyüklükleri, yöntemleri ve belirsizlikleri

5.2.1.1 Sıcaklık ölçümleri

Sıcaklık ölçümleri, sistemde buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve kompresör giriş-çıkış bölgeleri olmak üzere, ters yönlü akışlı çevrim sırasında soğutucu akışkanın kullandığı kısayol boruları üzerine yerleştirilen ısı çiftleri ile gerçekleştirilmiştir. Toplam 30 adet ısı çifti kullanılan sistemde, Çizelge 5.1’de sıcaklık ölçümü gerçekleştirilen ısı çiftlerinin buzdolabı üzerindeki yerleşim yerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Deney tesisatında ısı çiftlerinin listesi.

Isıl çift numaraları	Isıl çiftlerin yerleşimi	Isıl çift numaraları	Isıl çiftlerin yerleşimi
1	Komp. çıkış	16	Buh. Giriş
2	Yoğ. giriş	17	Buh. 1. sıra
3	Yoğ. 1. sıra giriş	18	Buh. 2. sıra
4	Yoğ. 2. sıra giriş	19	Buh. 4. sıra
5	Yoğ. 3. sıra giriş	20	Buh. 5. sıra
6	Yoğ. 4. sıra giriş	21	Buh. 6. sıra
7	Yoğ. 4. sıra çıkış	22	Buh. 8. sıra
8	Yoğ. 5. sıra çıkış	23	Buh. 9. sıra
9	Yoğ. 6. sıra çıkış	24	Buh. 10. sıra
10	Yoğ. 7. sıra giriş	25	Buh. 11. sıra
11	Kurutucu giriş	26	Buh. 12. sıra
12	Komp. giriş	27	Buh. çıkış
13	Dondurucu 3”	28	Buh. kç. giriş
14	Soğutucu 3” 1/3	29	Buh. kç. çıkış
15	Taze gıda 3” 2/3	30	Buh. kısayol

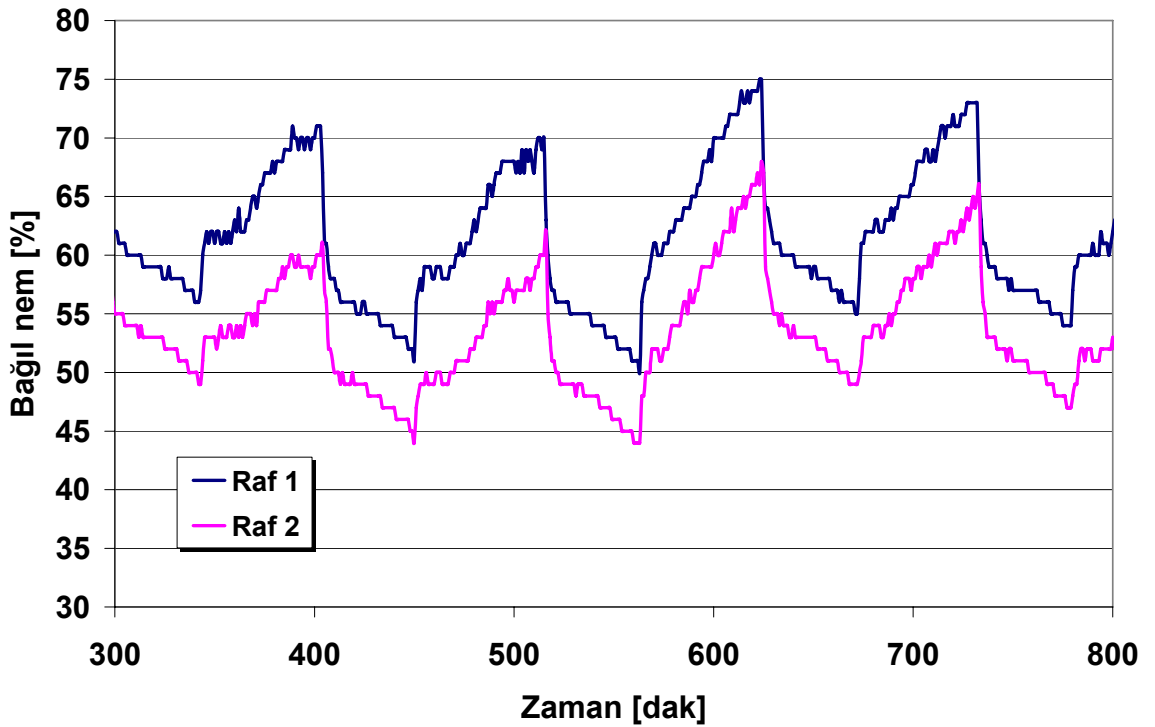
Isıl çiftlerin her biri çalışmadan önce FLUKE 5500 kalibratör ile kalibre edilmişlerdir. Isıl çiftler ile alınan sıcaklık ölçümlerinde; üretimden ve bağlantı şekline gelen belirsizlik 0,2°C, kalibrasyondan gelen belirsizlik 0,18°C ve

ölçümden gelen belirsizlik $0,1^{\circ}\text{C}$ 'dir. Buna göre ısı çiftleri sıcaklık ölçümlerindeki toplam belirsizlik: $U_{IC} = \sqrt{(0,2)^2 + (0,18)^2 + (0,1)^2} = \pm 0,29^{\circ}\text{C}$

5.2.1.2 Bağıl nem ölçümleri

Bağıl nem ölçümleri buzdolabının taze gıda bölmesi raflarına yerleştirilen iki adet bağıl nem sensörü ile gerçekleştirilmiştir. Taze gıda bölümünde bağıl nem değeri yaklaşık ortalama %60 olarak belirlenmiş ve bu değer için soğuk hava nemlendiricisi kullanılmıştır. Her rafta eşit miktarda bağıl nem değeri sağlanması için de soğuk hava nemlendiricisinin verdiği nem bir boru yardımıyla raflara dağıtılmıştır.

Şekil 5.5'te deneyler sırasında buzdolabı taze gıda bölümünden ölçülen bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi sunulmaktadır.

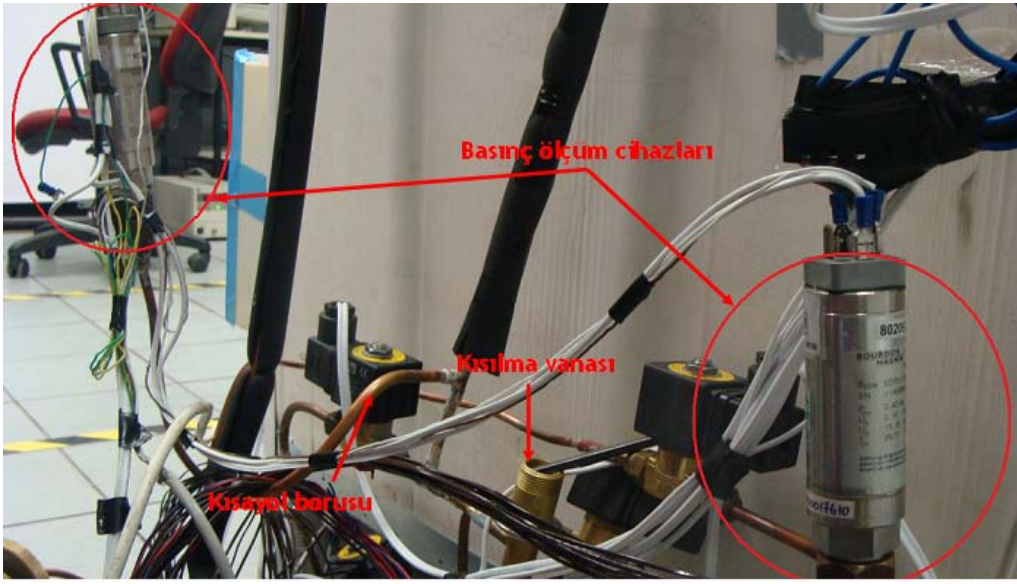


Şekil 5.5 : Buzdolabı taze gıda bölümünde bağıl nem değerlerinin zamanla değişimi.

5.2.1.3 Basınç ölçümleri

Kompresörün emme ve basma taraflarına yerleştirilen 2 adet basınç ölçüm cihazı ile hem soğutma çevrimi sırasında hem de ters akışlı soğutma çevrimi sırasında, yüksek ve alçak basınç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Soğutma çevrimi sırasında yüksek basıncı ölçen basınç ölçüm cihazı, çevrimin ters çalışmasıyla alçak basıncı ölçmekte,

benzer şekilde soğutma çevrimi sırasında alçak basıncı ölçen basınç ölçüm cihazı ise ters yönlü akışlı çevrim sırasında yüksek basıncı ölçmektedir. Basınç ölçüm cihazlarının sistem üzerindeki yerleşimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Basınç ölçüm cihazlarının üretiminden gelen belirsizlik %0,4'tür. Soğutma çevrimi ele alındığında, yüksek basınç ölçüm cihazının ölçümden gelen belirsizliği %2,12; alçak basınç ölçüm cihazının ölçümden gelen belirsizliği %0,506. Buna göre; yüksek basınç ölçüm cihazının toplam belirsizliği $U_{YB}=\%2,16$; alçak basınç ölçüm cihazının toplam belirsizliği $U_{AB}=\%0,65$ olmaktadır.



Şekil 5.6 : Basınç ölçüm cihazlarının sistem üzerindeki yerleşimi.

5.2.1.4 Güç ölçümleri

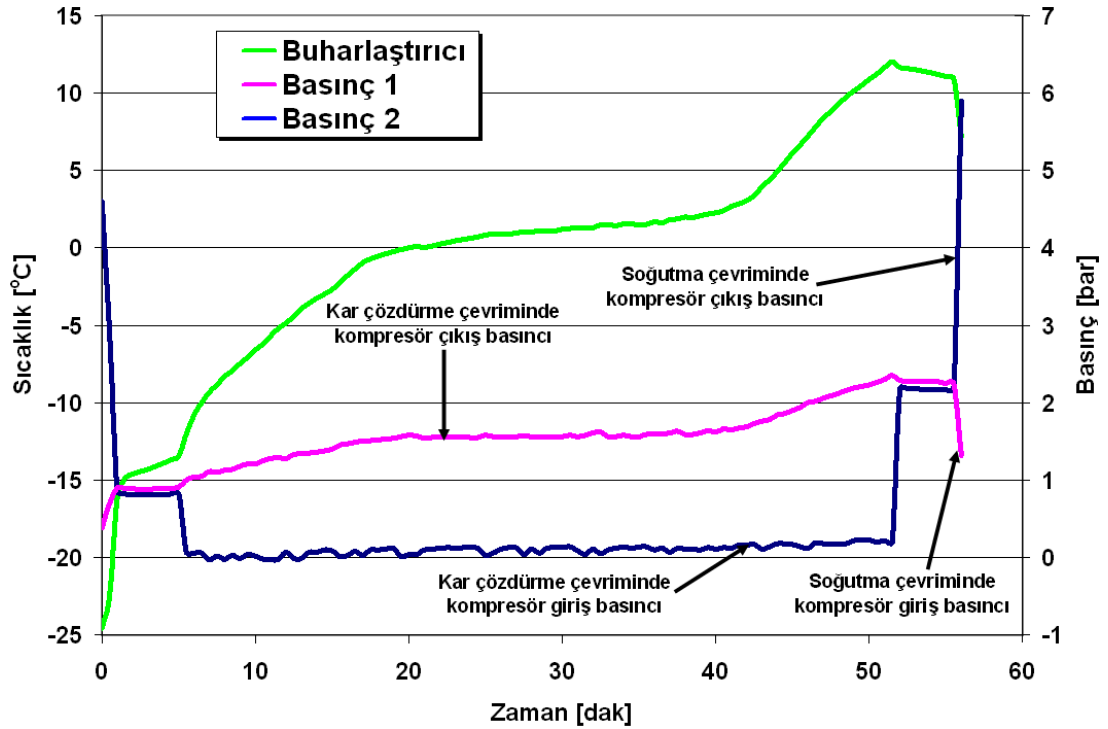
Sistemin güç ölçümü Rochester marka güç ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Güç ölçümünde, sadece buzdolabının kendi bileşenlerinin kullandığı güç değeri tespit edilmiştir. Sisteme eklenen basınç ölçüm cihazı, solenoid valfler ve anahtarların çektiği güç ayrı tutulmuştur. Şekil 5.7'de güç ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 5.7 : Güç ölçüm cihazı.

5.2.2 Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözündürme deneyleri

Deneysel çalışmalar öncelikle kurulan ön deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ön deneylerde soğutma ve ters akışlı soğutma çevrimleri kontrollü bir şekilde çalıştırılarak, çevrimlerin çalışma karakteristikleri izlenmiştir. Soğutma çevrimi çalışırken sistemde bir problem gözlemlenmemiştir. Ters akışlı soğutma çevrimi çalıştırıldığında ise bazı problemlerin olduğu belirlenmiştir. Sistemde soğutucu akışkan dolaşımının yeteri kadar olmadığı Şekil 5.8’de sunulan kompresör çıkış ve giriş basınç değerlerinden anlaşılmaktadır. Buna rağmen buharlaştırıcının ısınmasıyla basınçların da yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir. Kar çözündürme süreci 50 dakikada tamamlanmış fakat karın çözündürülmesi büyük oranda buharlaştırıcı üzerinde bulunmayan sistemdeki diğer ısıtıcıların çalışması ile sağlanmıştır.



Şekil 5.8 : Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözündürme ön deneysel çalışma sonucu.

Gerçekleştirilen ön deneylerden elde edilen sonuçlar ve ortaya çıkan problemler aşağıda özetlenmektedir.

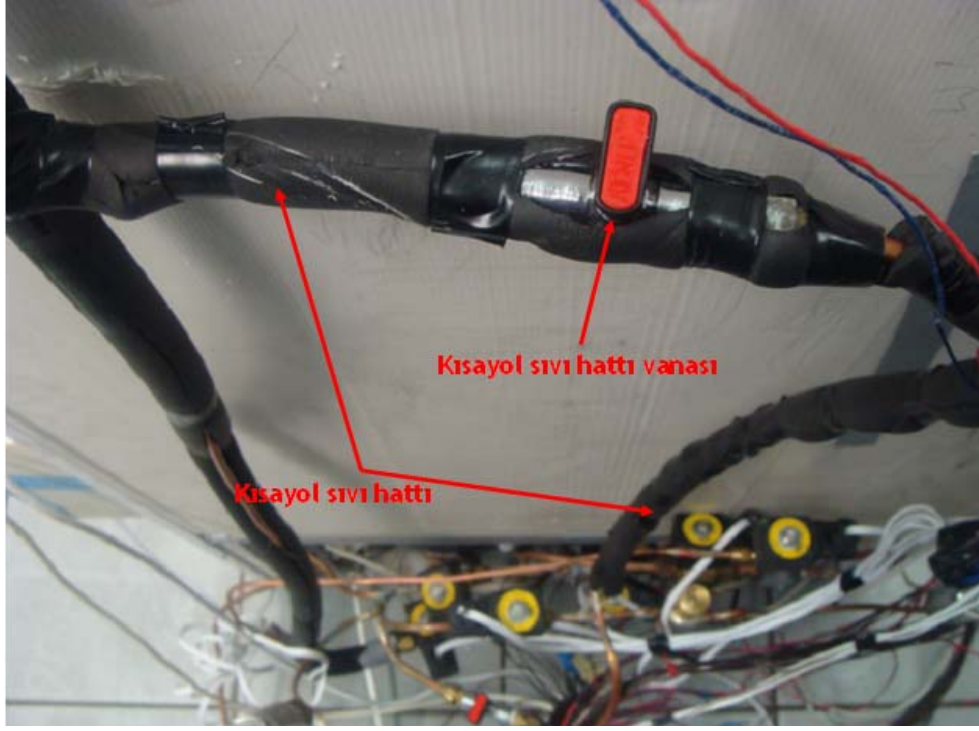
- Kar çözündürme çevriminin başlangıcından itibaren sistem basınçları incelendiğinde, özellikle kompresör giriş tarafındaki basıncın mutlak vakuma doğru yaklaştığı tespit edilmektedir. Bu durum yoğuşturucu tarafına soğutucu

akışkanın gönderilememesi sebebiyle gerçekleşmektedir. Soğutucu akışkanın sıcak olarak buharlaştırıcıya gönderilmesi ile beraber, buharlaştırıcının çok düşük sıcaklıktaki ortamda çalışması sebebiyle soğutucu akışkanın burada biriktiği tespit edilmiştir. Bu durumda, soğutucu akışkan buharlaştırılmak üzere yoğuşturucuya iletilmemekte ve sistemin debileri düşük kalmaktadır. Soğutucu akışkanın sistem içerisinde hareket etmemesi sonucu buharlaştırıcıda da etkin bir şekilde kar çözdürme sağlanamamaktadır.

- Kar çözdürme süresinin ilerlemesi ve buharlaştırıcı sıcaklığının 0°C'yi geçmesiyle, basınç değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu durumun sebebi soğutucu akışkanın, buharlaştırıcının da ısınmasıyla beraber yoğuşturucuya doğru yönelmesidir.
- Sistemde yer alan solenoid valflerin uzun süren çalışma sürelerinden kaynaklanan aşırı ısınmaları sonucu, borularda anlık veya uzun süreli olarak gaz tıkanmalarına veya sıkışmalarına sebep olduğu belirlenmiştir. Bu problemin aşılması için, sistemde bazı bölgelere elle kumanda edilebilir vanaların montajına gerek görülmüştür.

Belirlenen problemlerin sisteme etkilerini yok etmek veya azaltmak amacıyla deney düzeneğinde bir takım değişikliklere gidilmiştir.

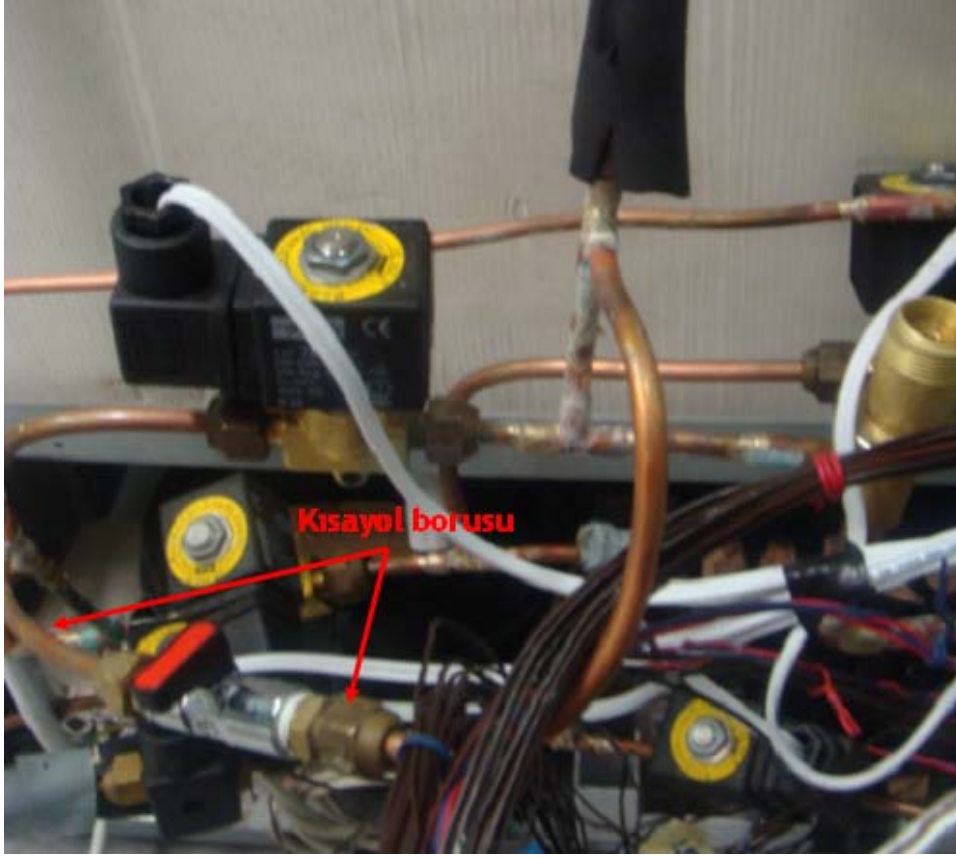
- Kar çözdürme çevriminde buharlaştırıcıda biriken soğutucu akışkanın yoğuşturucuya ilerlemediği bilindiğinden buharlaştırıcıda biriken soğutucu akışkanın alınması amacıyla, buharlaştırıcı geometrisine müdahale edilmiştir. Buna göre buharlaştırıcı ön sıralarının en altından bir T boru çıkışı yapılmıştır. T boru çıkışı elle ayarlanabilir vana üzerinden yoğuşturucu öncesi kısılma vanasına yönlendirilmiştir. Kar çözdürme işlemi sırasında açılan elle ayarlanabilir vana ile buharlaştırıcı alt kısmında biriken soğutucu akışkan, yoğuşturucuya gönderilmektedir. Buharlaştırıcıdan çıkarılan boru hattı Şekil 5.9'da sunulmaktadır.



Şekil 5.9 : Kar çözdürme sırasında kullanılan sıvı hattı vanası.

Kar çözdürme işlemi sırasında soğutucu akışkanın buharlaştırıcı alt sırasından yoğuşturucuya gönderilmesi ile sistem debileri artış göstermiştir. Buharlaştırıcıya buhar olarak giren soğutucu akışkan, buharlaştırıcı ortamının düşük sıcaklıkta olması sebebiyle yoğuşmakta ve buharlaştırıcı alt sıralarına doğru birikmektedir. Buharlaştırıcının alt sıralarında biriken soğutucu akışkan uygulanan sıvı hattı ile kısılma vanası ve yoğuşturucuya ulaşmaktadır. Diğer yandan, sıvı hattı vanası buharlaştırıcının alt sırasında olduğu için kar çözdürme işlemi esnasında soğutucu akışkan, buharlaştırıcının sadece ön sırasından geçmekte ve arka sıralara uğramadan buharlaştırıcıyı terk etmektedir. Bu durum kar çözdürme açısından olumsuz olarak gözükse de, sıcak gaz buharlaştırıcının ön sıralarını ısıtırken, kanatlar üzerinden arka sıraları da ısıtmaktadır. Böylece buharlaştırıcı arka sıralarında da kar çözdürme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca kar çözdürme çevriminde, buharlaştırıcıdan gelen düşük sıcaklıktaki soğutucu akışkanın, elektronik valfin olduğu noktadaki aşırı ısınmadan etkilenerek hattın tıkanmasına sebep olduğu öngörüsü ile buraya bir kısayol borusu eklenmiştir. Şekil 5.10'da bu kısayol borusu gösterilmektedir.



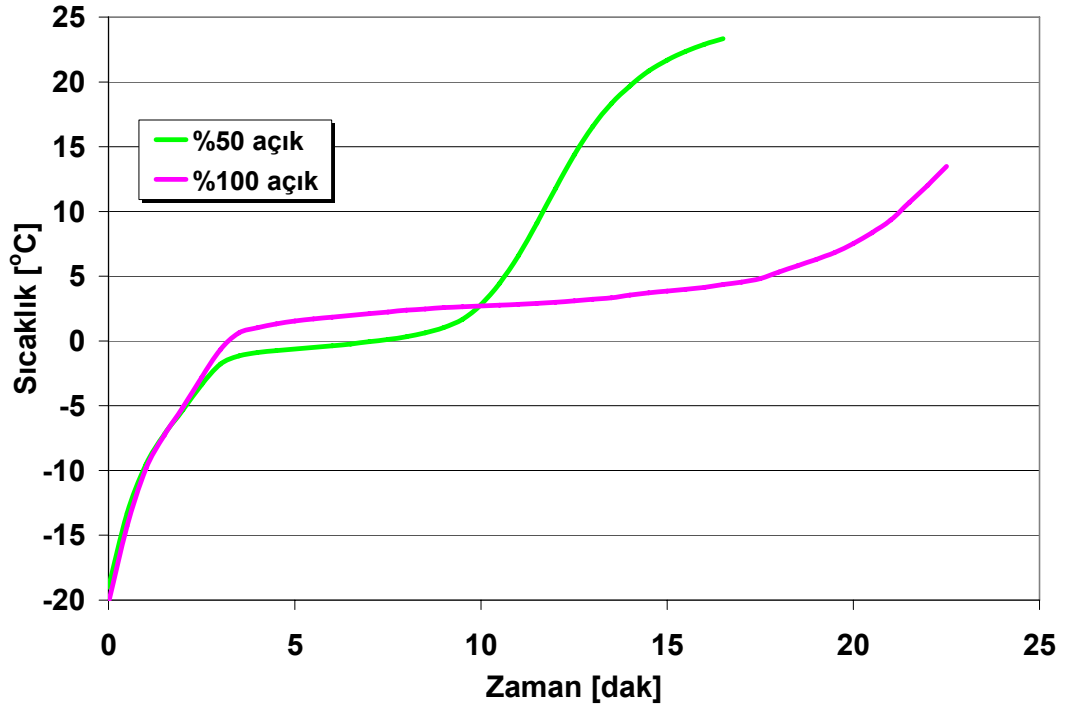
Şekil 5.10 : Kısayol borusu.

Deney düzeneğinde son yapılan değişikliklerden sonra sistemde farklı deneyler gerçekleştirilmiştir. Sisteme eklenen elle ayarlanabilir vanalar ile ilk deneyler kontrollü bir şekilde yapılmış, bu deneyler sonrasında sistemde bir problemin ortaya çıkmadığı belirlenmiş ve sistemin kar çözdürme işlemini otomatik olarak gerçekleştirmesinin sistemde problem yaratmayacağı görülmüştür.

Gerçekleştirilen ilk iki deneysel çalışmada, buharlaştırıcıya bağlanan kısayol borusu hattı kullanılmış ve kısılma vanasının iki farklı konumu deneysel olarak çalışılmıştır. İlk deneysel çalışmada kısılma vanasının tamamen açık olduğu durum (%100) denenmiştir. İkinci deneysel çalışmada ise kısılma vanasının %50 açık olduğu durumun deneyi gerçekleştirilmiştir.

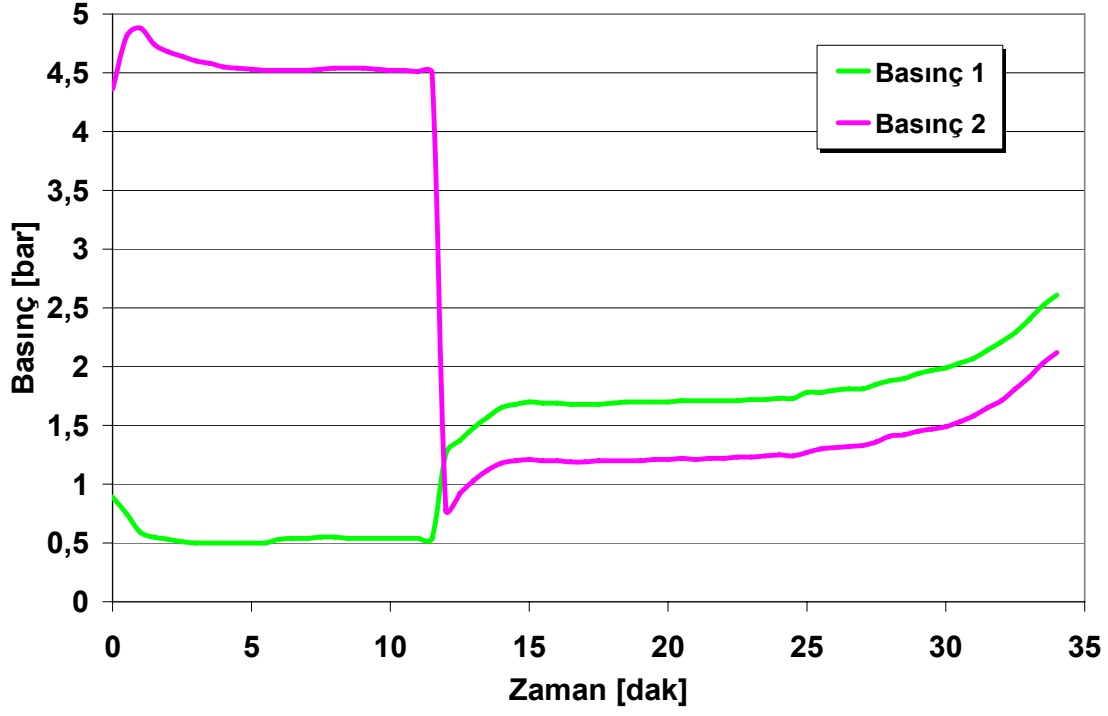
Şekil 5.11’de gerçekleştirilen iki deney için kar çözdürme sırasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi grafiği sunulmaktadır. İki deney karşılaştırıldığında kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyde kar çözdürme sürecinin daha uzun sürdüğü, buna rağmen orijinal kar çözdürme yönteminin gerçekleşme sürelerine yakın olduğu belirlenmiştir. Kısılma vanasının %100 açık

olduğu durumda özellikle karın ergime sürecinin uzun sürdüğü görülmektedir. Bu deneyde toplanan kar zdrme suyu miktarının kısılma vanasının %50 açık olduğu duruma göre 15 gr fazla olması, bu süreci etkileyen sebeplerden biri olarak söylenebilir.

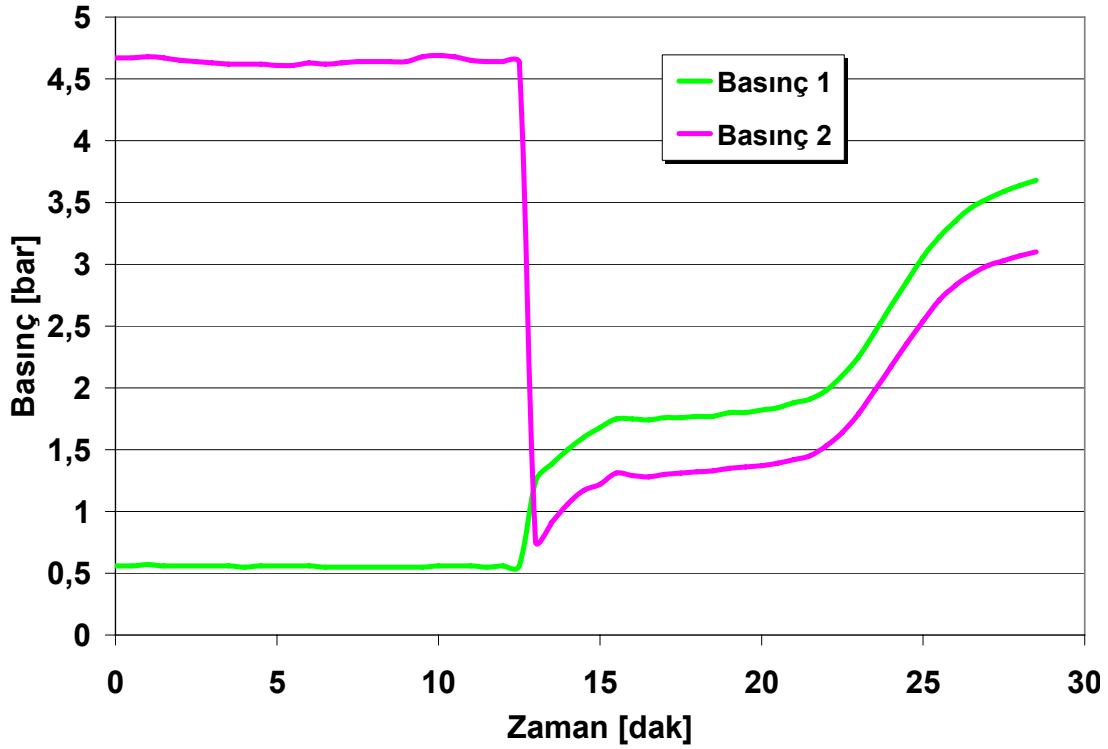


Şekil 5.11 : Ters akışlı soğutma çevriminde farklı kısılma vanası açıklıklarında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Kısılma vanasının %100 açık olduğu durumda soğutma ve ters akışlı soğutma çevrimlerinde sistem basınçlarının değişimi Şekil 5.12’de sunulmaktadır. Sistemde soğutma çevrimi çalışırken, kompresör giriş ve çıkış basınçları sırasıyla 4,5 bar ve 0,5 bar mertebelerinde iken, sistemde ters akışlı soğutma çevrimi çalışmaya başladığında kompresör giriş ve çıkış basınçları sırasıyla 0,8 bar ve 1,3 bar mertebelerinden baŐlayarak sürekli olarak yükselme eğilimindedir. Kar zdrme işlemi sonunda basınç değerleri 1,2 bar ve 2,6 bar olarak ölçülmüŐtür. Şekil 5.13’te verilen grafikte kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyde sistem basınçlarının değişimi sunulmaktadır. Kar zdrme sürecinde basınçların kısılma vanasının %50 açık olduğu durumda, kısılma vanasının %100 açık olduğu duruma göre daha çok yükseldiği tespit edilmiştir.



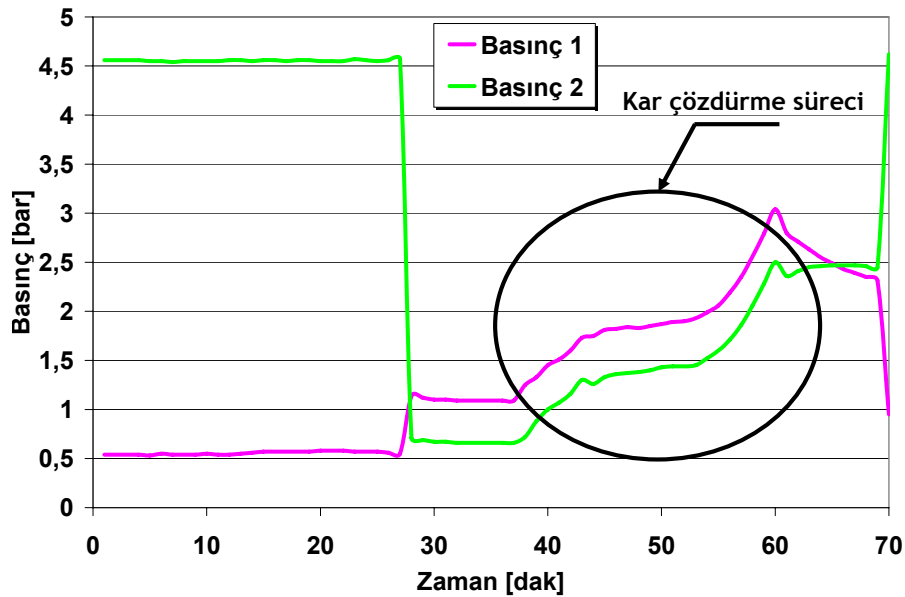
Şekil 5.12 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu durumda sistem basınçlarının zamanla değişimi.



Şekil 5.13 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu durumda sistem basınçlarının zamanla değişimi.

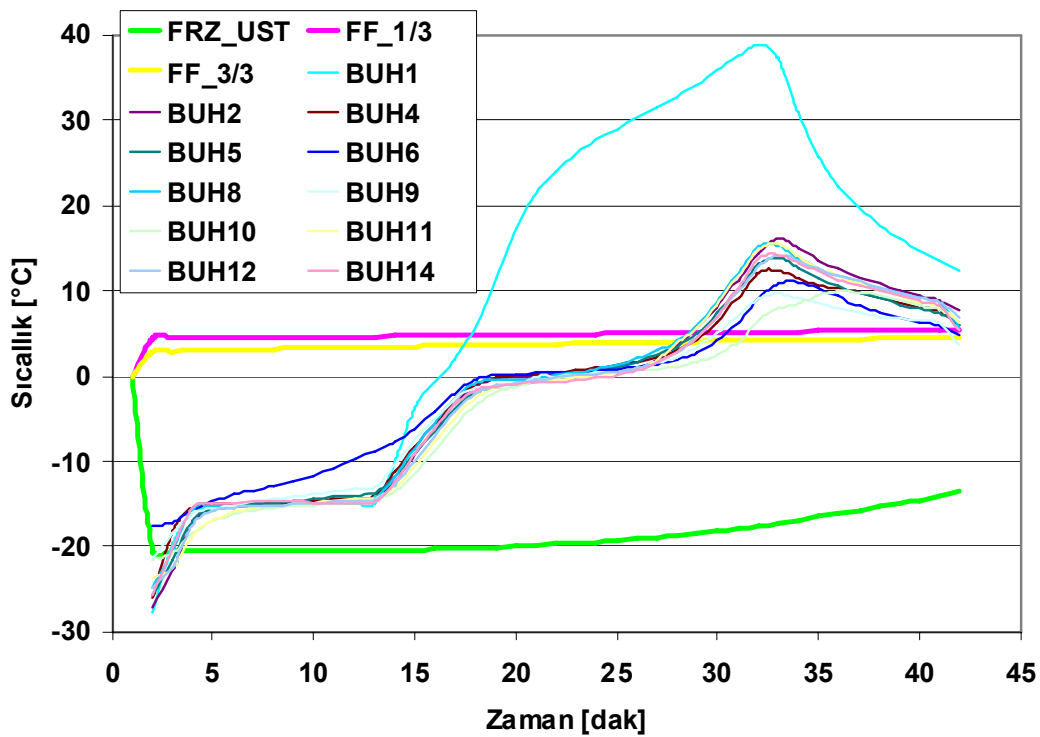
Gerçekleştirilen iki deneysel çalışmadan sonra, sistem otomatik olarak kar çözdürmeyi sağlayacak şekilde çalıştırılmıştır. Bunun için orijinal algortimada bazı değişikliklere gidilmiştir. Kar çözdürme öncesinde belirli bir süre zarfında kompresör kapalı tutulmuş ve sistem basınçlarının dengelenmesi beklenmiştir. Orijinal algortimada kar çözdürme süreci sırasında durdurulan kompresörün yeni algortimada bekleme süresinden sonra çalıştırılması sağlanmıştır. Kar çözdürme ısıtıcılarından, buharlaştırıcı üzerindeki kısmın çalışması da algortimadan çıkarılmıştır. Böylece yeni algortima ile sistem kendiliğinden kar çözdürme işlemini başlatmakta ve sonlandırmaktadır. Sistem kendi algortimasıyla çalışırken, kar çözdürme işleminde buharlaştırıcıya eklenen kısayol borusunu kullanmamaktadır. Bu durumda sıcak gaz buharlaştırıcının ön ve arka sıralarının hepsini dolanarak kısılma vanasına gitmektedir. Deneyleerde kısılma vanasının açıklığı %50 olacak şekilde ayarlanmıştır.

Otomatik olarak gerçekleşen kar çözdürme işleminde, soğutma ve ters akışlı soğutma çevrimlerinin sistem basınçlarının değişimi Şekil 5.14'te sunulmaktadır. Kar çözdürme öncesi 5 dakikalık basınç dengeleme süresinde sistem basınçlarının değişmediği görülmektedir. Kar çözdürme için kompresör çalışmaya başladığından itibaren sistemde basınçların sürekli olarak yükseldiği ve kar çözdürme süreci sonunda kompresör çıkış basıncınının 3 bar, kompresör giriş basıncınının 2,5 bar olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14 : Otomatik olarak gerçekleşen ters akışlı soğutma çevriminde sistem basınçlarının zamanla değişimi.

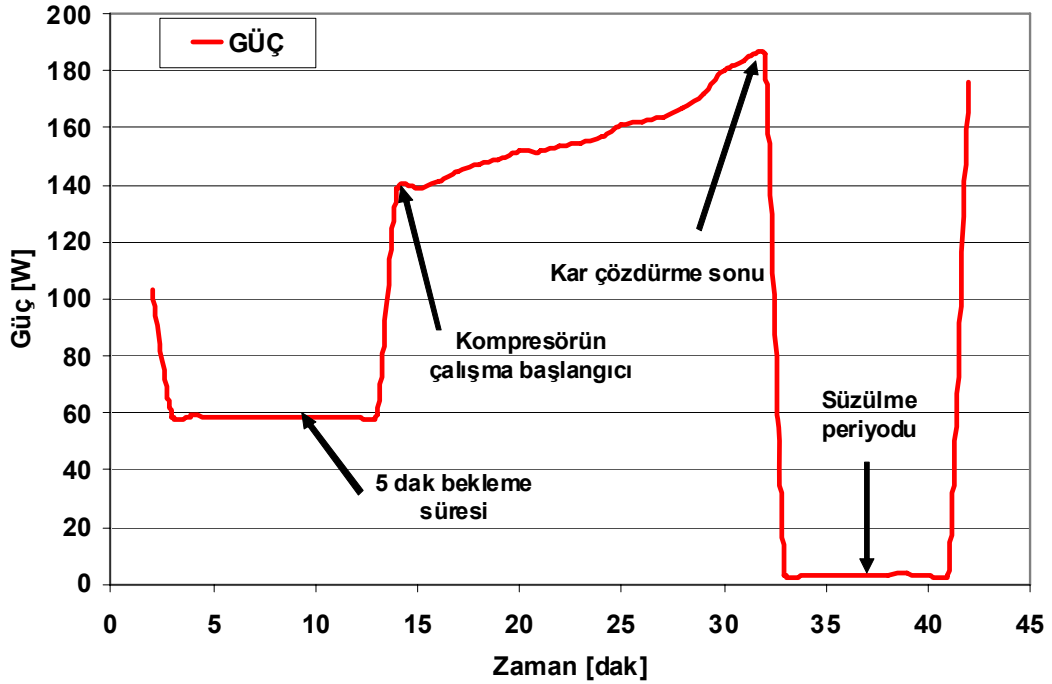
Otomatik olarak gerçekleşen kar çözdürme işleminde, kar çözdürme sürecini daha detaylı anlatmak amacıyla Şekil 5.15’de buharlaştırıcı yüzey sıcaklıkları ve buzdolabı kabin sıcaklıklarının kar çözdürme sürecinde değişimi sunulmaktadır. Buzdolabı kabin içi sıcaklıkları incelendiğinde, kar çözdürme işleminin taze gıda bölmesinde 1°C’lik, dondurucu bölmesinde ise 7°C’lik bir artışa sebep olduğu belirlenmektedir. Orijinal kar çözdürme yöntemi olan elektrikli ısıtıcı ile kar çözdürme yönteminde kabin içi sıcaklık artışlarının sırasıyla yaklaşık 3°C ve 10°C olduğu bilindiğinden, elde edilen sıcaklık artışlarının orijinal duruma göre daha olumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 5.15 : Ters akışlı soğutma çevriminde buharlaştırıcı yüzey ve buzdolabı kabin sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Kar çözdürme işleminde ilk 5 dakika incelendiğinde sıcaklıkların sabit kaldığı ve burada ısıtmanın olmadığı görülmektedir. Bu süre, buzdolabının orijinal kar çözdürme algoritmasına yeni eklenen, kompresörün çalışmadığı ve sistem basınçlarının dengelenmesinin beklendiği süredir. Böylece kompresör ters akışlı soğutma çevrimine çalışmaya başlarken zorlanmayacak ve çevrimde hemen yüksek sıcaklıkta soğutucu akışkan göndermeye başlayacaktır. Kar çözdürme süreci ilk 5 dakikalık bekleme ile yaklaşık 23 dakika sürmüştür. 23 dakikanın son 5 dakikası ise su süzülme periyodudur ve bu sürede herhangi bir komponent devrede değildir.

Kar çözdürme sürecinde buzdolabının güç değerleri incelendiğinde, kompresörden çekilen gücün artmasıyla, toplam gücün de zamanla arttığı buna rağmen kar çözdürme ısıtıcısının 180 W'lık değerine ancak karşılık geldiği belirlenmiştir. Kompresör çalışmaya başladığında 138 W değerinde olan toplam güç, kar çözdürme sonunda 185 W'a çıkmıştır. Şekil 5.16'da kar çözdürme sırasında buzdolabı güç tüketiminin zamanla değişimi sunulmuştur.



Şekil 5.16 : Ters akışlı soğutma çevriminde buzdolabı güç değerlerinin zamanla değişimi.

Ters akışlı soğutma çevrimi deney düzeneğinde, buharlaştırıcıdan kısılma vanasına uzatılan kısayol borusu üzerine bir gözetleme camı eklenmiştir. Bu gözetleme camı sayesinde, kar çözdürme çevrimi çalışırken buharlaştırıcı çıkışında soğutucu akışkanın fazı belirlenmeye çalışılmıştır. Ters yönlü akışlı çevrim sırasında, buharlaştırıcıya kızgın buhar olarak giren soğutucu akışkanın, burada yoğunlaşarak sıvı faza gelmesi ve kısılma vanasına sıvı fazda gitmesi, burada da basıncının düşürülmesi sonucunda en ideal durum oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu durumda, buharlaştırıcı çıkışının 30 cm altına düşey doğrultuda yerleştirilen gözetleme camında, soğutucu akışkanın sıvı fazda gözükmesi beklenmektedir.

Soğutucu akışkanın fazının görsellemesi işlemleri deney düzeneği dışına kurulan hızlı kamera ile gerçekleştirilmiştir. Bir kar çözdürme periyodu boyunca gözetleme

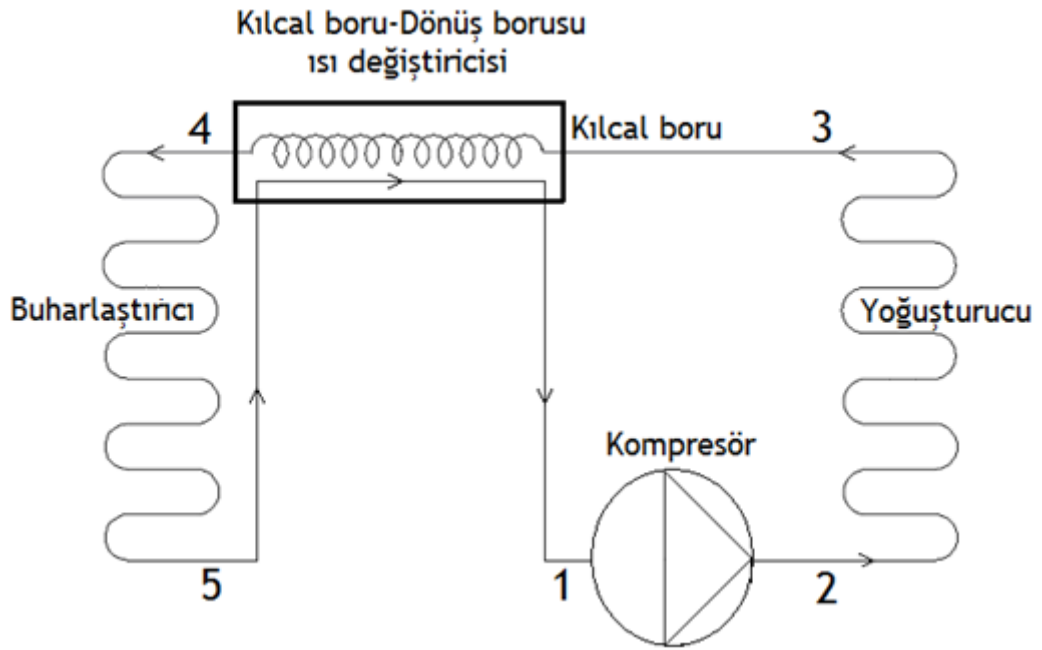
camı içerisindeki iki fazlı akışın görsellenmesi için Phantom v5.1 hızlı kamera ve bir makro lens kullanılmıştır. Gözetleme camı ve çevresinin aydınlatılması için beyaz ışık veren ledli bir el feneri kullanılmıştır. Ledli el feneri kullanılmasıdaki amaç, radyasyonla olan ısı transferinin en aza indirilmesidir. Kullanılan makro lens sayesinde büyütme oranı artırılarak akış daha belirgin hale getirilmiştir. Görüntüler 512 x 512 piksel boyutunda olup 10 fps (saniyede 10 kare) olacak şekilde çekilmiştir. Görselleme videosu incelendiğinde, kar çözdürme başlangıcında, yüksek debide gelen soğutucu akışkanın, sıvı fazla birlikte bir miktar gaz fazında olduğu görülmüştür. Bir süre yüksek debide akışını sürdüren soğutucu akışkan, daha sonra düşük debide gelmekte ve çift faz olarak gözetleme camında gözükmemektedir. Bu durumda, buharlaştırıcıya gelen soğutucu akışkanın tam olarak yoğuşmadığı, bir miktar da gaz fazında kaldığı belirlenmiştir.

Şekil 5.17’de hızlı kamera ile çekilen görüntülerden elde edilen anlık fotoğraflar sunulmuştur. Sunulan ilk üç fotoğraf kar çözdürmenin ilk 2,5 dakikası içerisinde elde edilen görüntülerden, sonraki üç fotoğraf ise akışın rejim haline geldiği, kar çözdürmenin 9. ve 10. dakikasında çekilen görüntülerden alınmıştır.



Şekil 5.17 : Kar çözdürme sırasında görselleme çalışması fotoğrafları.

Sistemin soğutma performansı Bölüm 1.3'te anlatılan şekilde hesap edilmektedir. Şekil 5.18'de şematik olarak gösterilen sistem soğutma çevrimini ifade etmektedir. Buna göre, deney sonuçlarından elde edilen kompresör giriş basıncı 0,5 bar, kompresör çıkış basıncı 4,5 bar, buharlaşma sıcaklığı $-28,5^{\circ}\text{C}$ ve yoğuşma sıcaklığı $33,5^{\circ}\text{C}$ olmak üzere $h_1=521,9$ kJ/kg, $h_2=661,9$ kJ/kg, $h_3=264$ kJ/kg ve $h_4=521,9$ kJ/kg olarak hesap edilebilir. Buna göre sistem ideal kabul edilmiş ve soğutma çevrimi, Coolpack programı kullanılarak P-h diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.19'da bu diyagram sunulmaktadır.



Şekil 5.18 : Soğutma çevrimi şematik gösterimi.

Elde edilen entalpi değerleri kullanılarak soğutma etkinlik katsayısı hesap edilebilir.

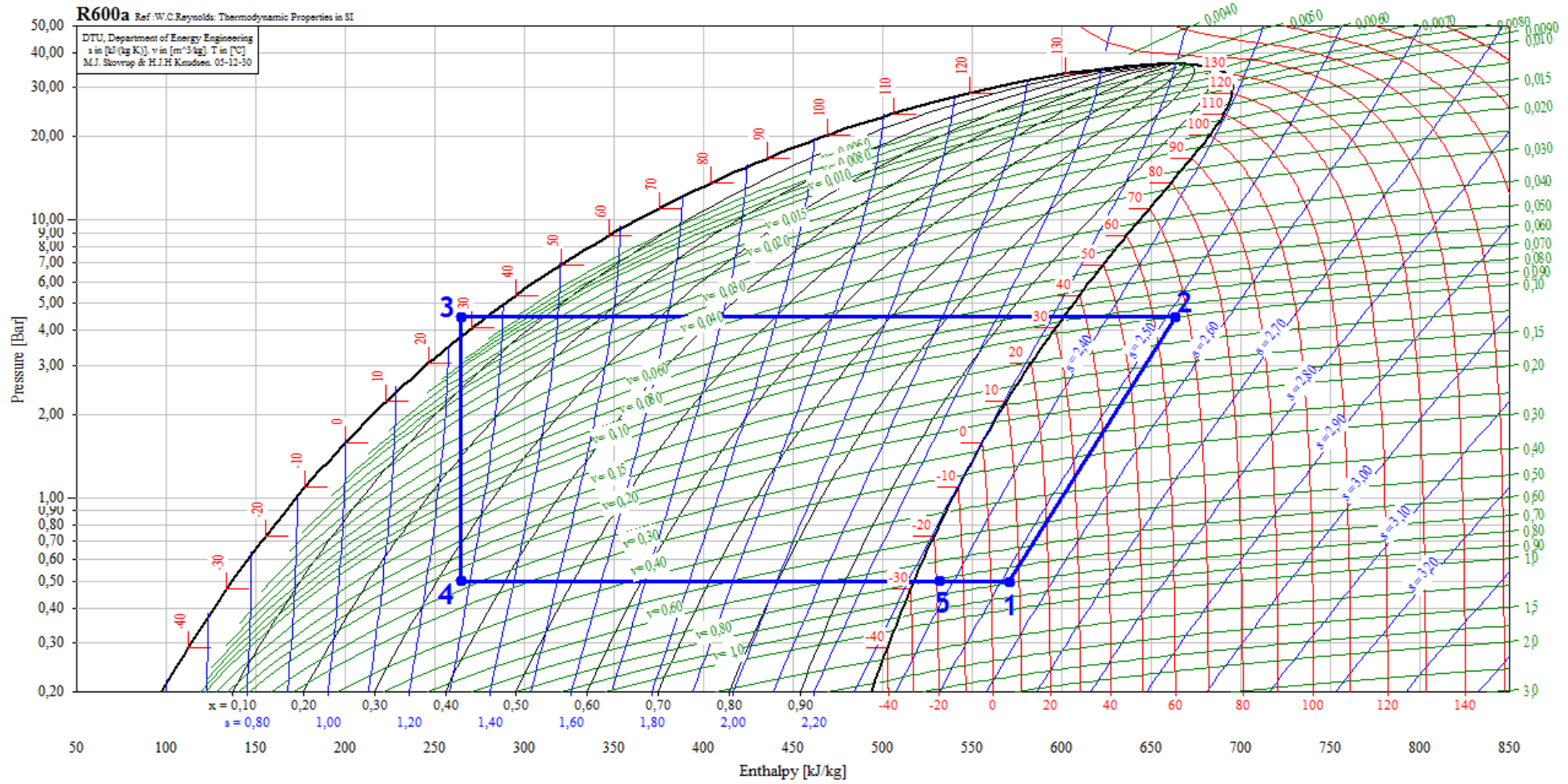
$$\text{COP}_{\text{sog}} = \frac{h_5 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{257,9}{140} = 1,84 \quad (5.1)$$

Karlanmanın otomatik olarak giderildiği bir buzdolabında, COP_{sog} değerlerinin 1,5-2,5 arasında değiştiği bilindiğinden, elde edilen soğutma etkinlik katsayısı değeri makul mertebelere sahiptir. Bununla birlikte sistemde boru ve valf yapılarının basitleştirilmesi, kullanılan kompresörünün veriminin artırılması veya daha yüksek verimli bir kompresör kullanılması soğutma etkinlik katsayısında artış sağlayacağı gibi ters akışlı soğutma çevriminde de olumlu bir etki yaratacaktır.

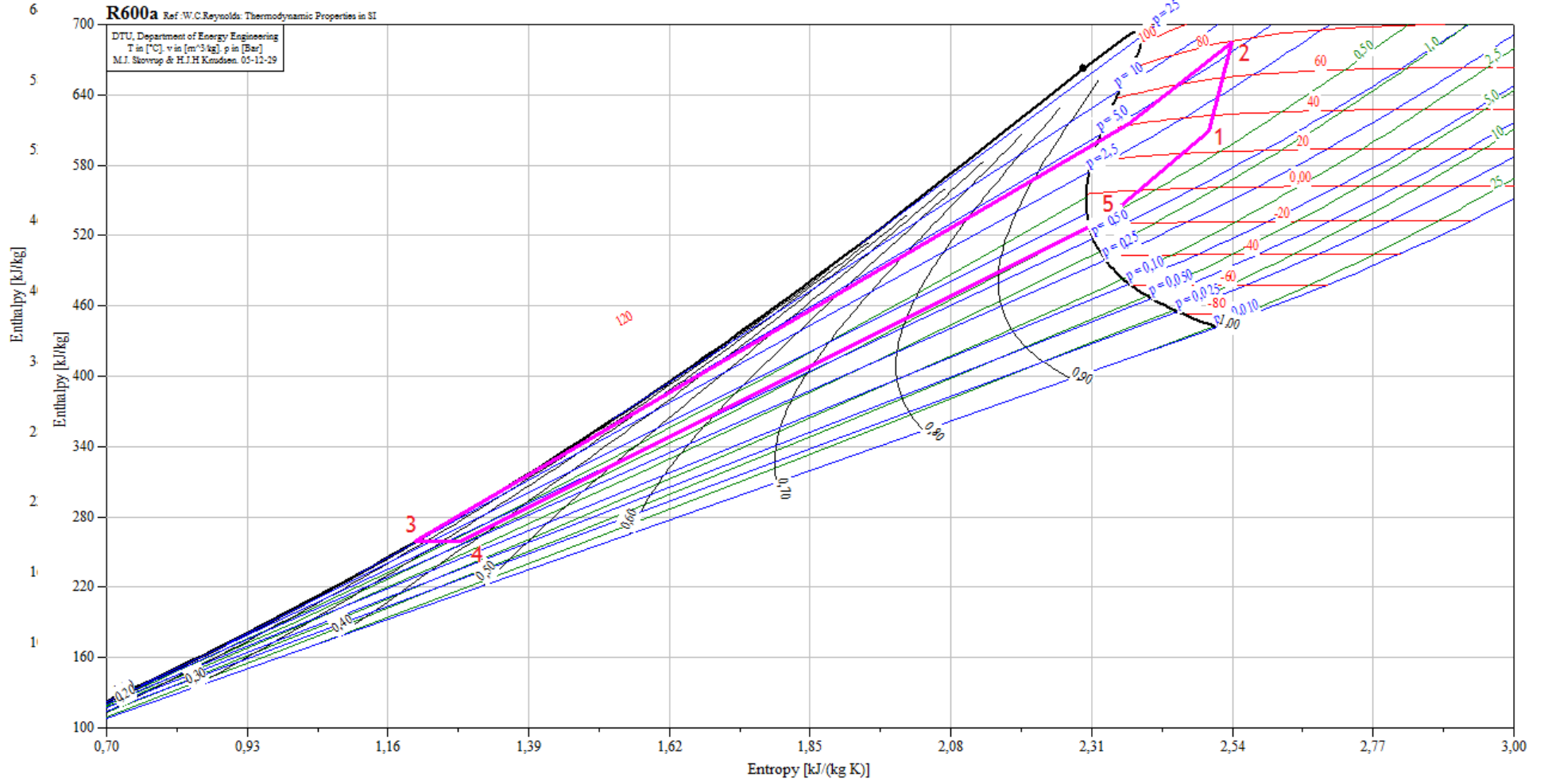
Soğutma çevriminin bir diğer irdelemesi de sistemin h-s (Mollier diyagramı) diyagramı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mollier diyagramları üzerinde dikey eksenlerdeki değişim olan entalpi farkı yapılan işi belirtirken, yatay eksenlerdeki değişim olan entropi farkı ise hal değişimleriyle ilgili olan tersinmezlikleri belirtmektedir (Çengel ve Boles, 1989). Buna göre, sistemin h-s diyagramı Şekil 5.20’de verilmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ile ters akışlı soğutma çevrimlerinde anlık olarak ısıtma etkinlik katsayıları belirlenebilmiştir. Deneylerden elde edilen sıcaklık ve basınç değerleri kullanılmış, kullanılan EES programı yardımı ile ısıtma etkinlik katsayılarının belirlenmesi için gerekli olan entalpi değerlerine ulaşılmıştır. EES programı mühendislik çözümlerinin yapılabildiği, termodinamik çizelgeler kullanılarak, soğutma çevrimlerinin termodinamiksel özelliklerini hesaplamayı sağlayan bir programdır (Klein ve Alvarado, 2003).

Elde edilen termodinamik özelliklerin tablolar üzerinde gösterilmesi için Coolpack (2000) programının Refrigeration Utilities (Skovrup, 2001) eklentisi kullanılmıştır. Bu program ile soğutma ve ısıtma çevrimlerinin P-h grafikleri üzerinde çevrim otomatik olarak çizdirilmekte, T-s ve h-s grafikleri üzerinde ise çevrim el ile çizilebilmektedir.



Şekil 5.19 : Soğutma çevriminin Coolpack programı ile çizdirilen P-h diyagramı.

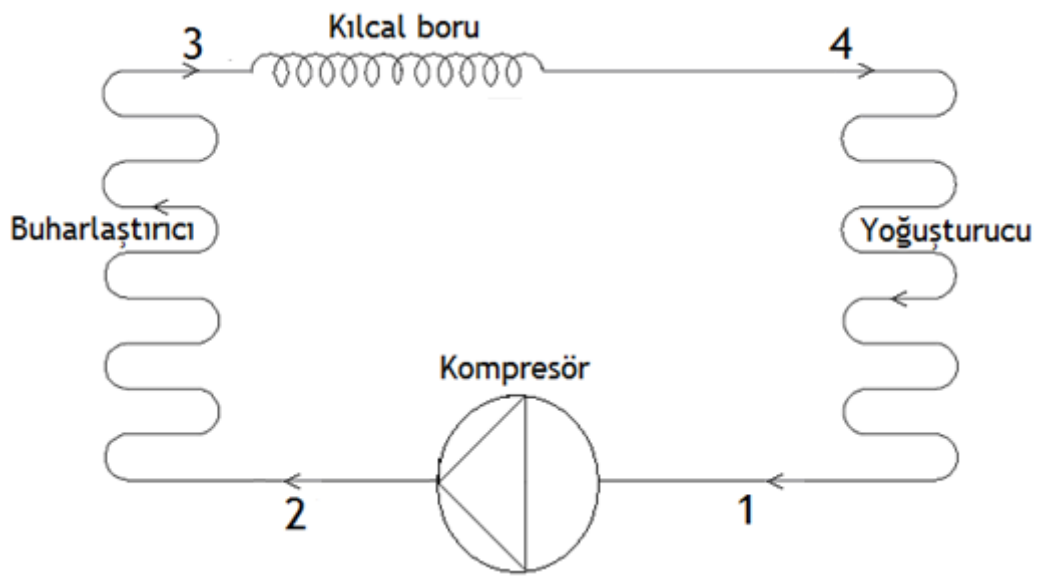


Şekil 5.20 : Soğutma çevriminin Coolpack programı ile çizdirilen h-s diyagramı.

Soğutma çevrimine benzer şekilde, ters akışlı soğutma çevriminde de etkinlik katsayısı elde edilebilir. Ters akışlı soğutma çevriminde buharlaştırıcının ısıtılması amaç olduğu için, bu çevrimde ısıtma etkinlik katsayısı hesap edilmiştir. Şekil 5.21’de gösterilen çevrim bir ters akışlı soğutma çevrimi olmak üzere ısıtma etkinlik katsayısı

$$\text{COP}_{\text{isit}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad (5.2)$$

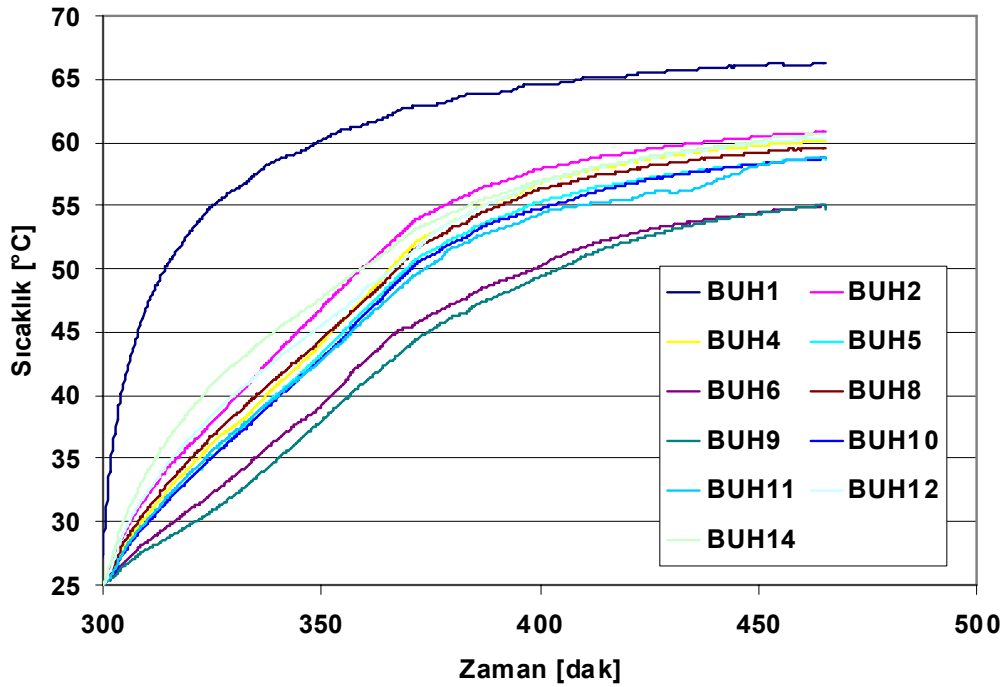
ile belirlenebilir.



Şekil 5.21 : Ters akışlı soğutma çevrimi şematik gösterimi.

Ters akışlı çevrim sırasında alınan sıcaklık ölçümlerinde, buharlaştırıcı çıkışında tespit edilen soğutucu akışkanın sıcaklık değerinden şüphe duyulduğundan, COP_{isit} değerleri doğru hesap edilememektedir. Ters yönlü akışlı çevrim ile gerçekleştirilen bir kar çözdürme işlemi ile yine ters yönlü akışlı çevrim ile gerçekleştirilen bir ısıtma işleminde belirli süre zarflarında buharlaştırıcıda aktarılan ısı enerji değeri aynı olacaktır. Bu durumda COP_{isit} değerlerinin ortaya konması amacıyla, ters yönlü akışlı çevrim ile gerçekleştirilen kar çözdürme işlemine, buzdolabında kar çözdürme sağlandıktan sonra da devam edilmiş, ısıtma işlemi buharlaştırıcı sıcaklıklarının dengeye gelmesine kadar sürdürülmüştür. Şekil 5.22’de sunulan grafikte buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının 24°C ’den sonra zamanla değişimi görülmektedir. Burada buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının belirli bir noktadan sonra değişmediği

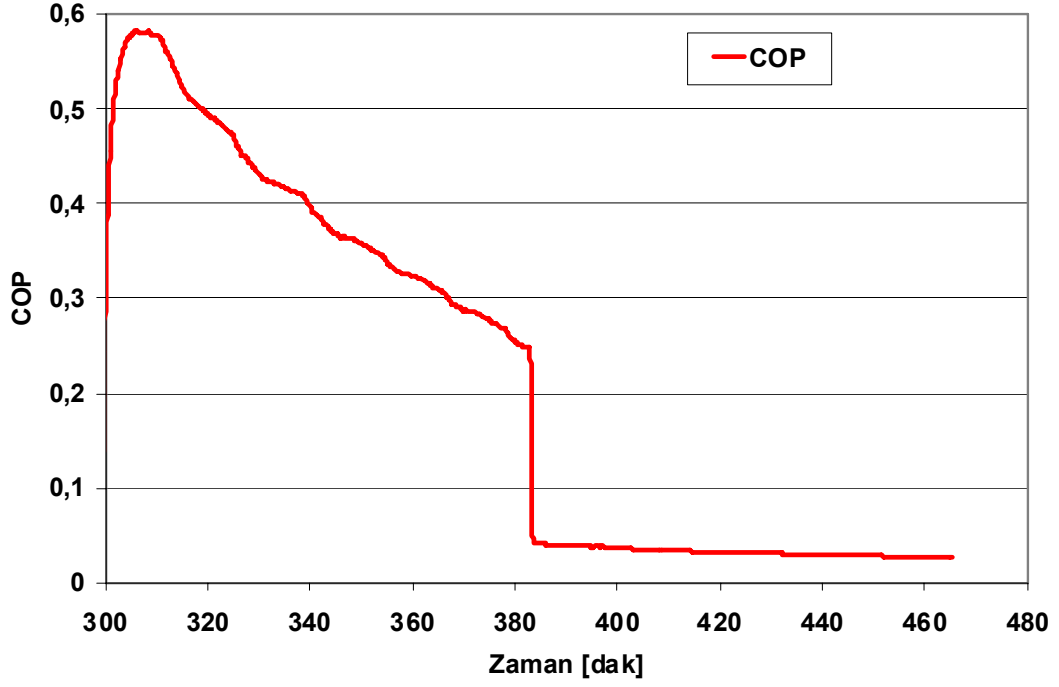
görülmektedir. Bu durum iki farklı şekilde açıklanabilmektedir. Birincisi, buzdolabında ısıtma kapasitesi en yüksek değere ulaşmıştır, böylece daha fazla ısıtma işlemi gerçekleşmemektedir. İkincisi ise, sistemde bulunan kısılma vanasında yeterli basınç düşümünün sağlanamaması sonucu, kompresörden soğutucu akışkanın sisteme basılamamasıdır. Elde edilen değerler incelendiğinde, sistemin yaklaşık 150 dakikadan sonra rejim durumuna ulaştığı görülmektedir. Bu durumda sistemde ısıtma gerçekleşmemekte, COP_{isit} değerlerinin düşük seviyelerde, hatta 0 değerine yakın olması beklenmektedir.



Şekil 5.22 : Ters akışlı çevrimin ısıtma sırasında buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Elde edilen sıcaklık ve basınç değerleri ele alınarak sistemde COP_{isit} değerlerinin anlık olarak değişimi hesap edilebilmektedir. Deney tesisatından 30 saniyede bir alınan ölçümler ile COP_{isit} değerleri de aynı zaman aralıklarına belirlenmiştir. COP_{isit} değerleri EES programı kullanılarak hesap edilmiştir. Şekil 5.23'te hesap edilen COP_{isit} değerlerinin zamanla değişim grafiği sunulmaktadır.

Grafik incelendiğinde COP_{isit} değerlerinin 185 dakika sonrasında 0'a çok yakınlaştığı görülmektedir. Bu durum soğutucu akışkanın sistemde dolaşmadığı sonucuna ulaşmamıza sebep olmaktadır. Bu zamandan sonra buharlaştırıcı sıcaklıklarında da belirli bir yükselme gerçekleşmekte ve sıcaklıklar sabitlenme eğilimine girmektedir.



Şekil 5.23 : COP_{ısıt} değerlerinin ters akışlı çevrimin ısıtma sırasında zamanla değişimi.

Bir kar çözdürme işleminde, buharlaştırıcı yüzeyinde biriken karın ergitilmesi için gerekli ısı enerjisi, karın miktarı 130 g olduğunda, 52 kJ olarak belirlenmiştir. Buharlaştırıcı yüzeyinde 130 g karın bulunması, iki kar çözdürme arasında, taze gıda bölmesi içinde ortalama %60 bağıl nemin sağlandığını göstermektedir. Bu durum ele alınarak buharlaştırıcıda kara aktarılan enerji hesabı yapılarak, teorik olarak kar çözdürme süresi belirlenebilir.

Kar çözdürme süresinin bulunabilmesi için, kar çözdürme sırasında, karın erimesi için harcanan güç tespit edilebilir. Karın erimesi için anlık olarak harcanan güç değeri

$$\dot{Q}_{kar} = \dot{m}_{sa} (h_{\dot{c},sa} - h_{g,sa}) \quad [kW] \quad (5.3)$$

ile belirlenir. Bu değeri elde etmek için, sistemin anlık olarak debi değerinin değişimi ve soğutucu akışkanın buharlaştırıcı giriş ve çıkış entalpileri belirlenmiştir. Sistemin debi miktarının değişimi, kompresör için gerçekleştirilmiş kalorimetre deneylerinden elde edilen katsayı değerlerinin, daha önce gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda oluşturulmuş denkleme girilmesiyle hesap edilmiştir. Bu denklem,

$$m = a_1 + a_2 T_{\text{buh}} + a_3 T_{\text{buh}}^2 + (a_4 + a_5 T_{\text{buh}} + a_6 T_{\text{buh}}^2) \Gamma_{\text{yog}} + (a_7 + a_8 T_{\text{buh}} + a_9 T_{\text{buh}}^2) \Gamma_{\text{yog}}^2$$

şeklinde tanımlanmıştır ve kalorimetre deneyinde elde edilen katsayılar, denklemde a ile belirtilen belirsizlerin yerine yerleştirilir. Bu katsayılar, her farklı kompresör için farklı değerler almaktadır. Kalorimetre deneyleri, soğutucu akışkanın farklı yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklıklarında, kompresörün performansını ve parametrik özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen farklı deneyler sonucunda, debi değerinin belirlenmesi için katsayılar bulunur. Verilen denklemde katsayılar yerine yerleştirildikten sonra, kar çözme deneyinde anlık olarak elde edilen yoğunlaşma ve buharlaşma sıcaklıkları denklemde yerine konulmuştur. Böylece anlık olarak sistemde kompresörün bastığı debi değeri hesap edilebilmiştir.

Sistem kompresörü için gerçekleştirilen kalorimetre deneyleri sonucunda elde edilen katsayılar Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 : Kompresör debi denklemi katsayıları.

Kompresör debi denklemi katsayıları
2,4093790
-0,1277616
-0,0049520
0,1763660
0,0149111
0,0003012
-0,0020325
-0,0001568
-0,0000031

Kar çözme sırasında soğutucu akışkan giriş ve çıkış entalpi değerlerinin hesaplanması EES programı ile yapılmıştır. Bu değerler ve debinin anlık değişimi belirlendikten sonra, Denklem (5.3) kullanılarak, kar çözme sırasında anlık olarak harcanan güç değeri her 30 saniye için belirlenmiştir. Belirlenen bu değerleri 30 saniyelik süreçlere integre ederek, ele alınan süreçte ne kadarlık ısı enerjisi harcadığı hesap edilmiştir. Bu değer

$$Q_{\text{kar}} = \dot{Q}_{\text{kar}} t \quad [\text{kJ}] \quad (5.4)$$

ile belirlenir. Gerçekleştirilen hesaplamalar Çizelge 5.4'te sunulmaktadır. Ters akışlı çevrim sırasında, buharlaştırıcıda verilen ısının %100 verimle kara aktarıldığı kabul edilirse, elde edilen sonuçlar ele alındığında 14 dakikalık sürede karın ergidiği sonucuna ulaşılır. Bu sonuç deneysel çalışmada ortaya koyulan karın ergime süresine çok yakın değerdedir. Buna rağmen, kar çözdürme sırasında buharlaştırıcı cidarlarından aktarılan ısı enerjisi sadece karın ergimesi için değil, aynı zamanda buzdolabı havasına ve buharlaştırıcı cidarlarının ısınmasına da harcanmaktadır. Bu durumda karın ergimesi için geçen süre daha uzun olacaktır. Teorik olarak 14 dakikalık süreden daha uzun sürede karın ergime işleminin gerçekleşmesi beklenmektedir.

Çizelge 5.3 : Ters akışlı soğutma çevrimi için gerçekleştirilen hesaplamalar.

Zaman [dakika]	m [g/s]	h_{eg} [kJ/kg]	$h_{eç}$ [kJ/kg]	\dot{Q}_{kar} [kW]	Q_{kar} [kJ]
0,5	0,00263	588,9	588,7	0,0005	0,0183
1	0,00265	592,9	589	0,0103	0,3352
1,5	0,00269	597,7	589,7	0,0215	0,8140
2	0,00273	601,3	590,5	0,0295	0,9552
2,5	0,00277	604,6	591,6	0,0360	1,1656
3	0,00281	607,5	592,7	0,0415	1,3205
11,5	0,00336	628,3	603,8	0,0823	2,6662
12	0,00337	629	604,3	0,0832	2,6955
12,5	0,00337	629,8	604,9	0,0840	2,6718
13	0,00339	630,5	605,3	0,0853	2,7652
13,5	0,00340	631	605,7	0,0859	2,7321
14	0,00341	631,6	606,2	0,0865	2,8031

Elde edilen entalpi değerleri kullanılarak kar çözdürme süreci sırasında kompresörden basılan soğutucu akışkanın kütleli debisi farklı bir yolla da belirlenebilir. Q_H mevcut karı eritmek için sisteme veril

en ısı miktarı ve $t_{kç}$ kar çözdürme süresini belirtmek üzere, \dot{m}_{ist} soğutucu akışkanın kütleli debisi Denklem (5.5) kullanılarak hesap edilir.

$$\dot{m}_{ist} = \frac{Q_H}{(h_2 - h_3)t_{kç}} \quad [\text{kg/s}] \quad (5.5)$$

Çizelge 5.4 : Deneylerden ölçülen sıcaklık ve basınç değerleri ile hesaplanan entalpi ve ısıtma performans değerleri

	Zaman	$P_{komp,g}$	$P_{komp,ç}$	$P_{buh,g}$	$P_{buh,ç}$	$T_{komp,g}$	$T_{komp,ç}$	$T_{buh,g}$	$*T_{buh,ç}$	$h_{komp,g}$	$h_{komp,ç}$	$h_{buh,g}$	$*h_{buh,ç}$
	[dak]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
Kısılma vanası %50 açık	5.	129	175	171	168	27	63	26,1	-1,8	724,2	787,6	720,8	321,2
	10.	139	280	280	177	27,5	62	40,8	1,1	724,6	785,5	742,6	328,3
	15.	254	302	302	299	22,4	65	50,8	17,4	710,6	787,3	760,4	369
	20.	313	368	368	365	24	65	47,9	25,5	710,6	785,2	771,6	389,6
Kısılma vanası %100 açık	5.	119	164	164	161	27,4	59,7	37,2	-3,8	725,3	781,6	740,6	316,4
	10.	122	167	167	164	28,9	58,7	40,9	-1,5	727,7	779,7	747,1	321,9
	15.	132	177	177	174	28,2	58,1	43,2	1,8	726,1	778,2	750,9	330
	20.	165	210	210	207	28,5	58,6	46,1	7,9	725,3	778,1	755	345,1
	25.	212	257	257	254	27,3	60,1	47,9	13,6	721,1	779,4	756,5	359,4
Otomatik kar çözdürme işlemi	5.	66	105	105	102	35,6	46,7	-11	-13,2	741,6	759,7	298,9	293,7
	10.	137	180	180	177	29,3	61,1	34,1	-0,6	727,8	783,8	734,5	324,2
	15.	186	231	231	228	28,1	62,8	45,6	7,1	723,7	785,4	753,3	343,2
	20.	250	304	300	297	26	65,2	50,6	16,1	717,1	787,8	760,1	365,7

* Ölçülen $T_{buh,ç}$ ve buna bağlı olarak belirlenen $h_{buh,ç}$ değerlerinin nispi olarak daha fazla hatalı olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen soğutucu akışkan debisi kullanılarak, her deney için belirli süre zarflarında kara verilen ısı miktarları hesap edilebilir.

$$Q_{H,t_1-t_2} = \dot{m}_{\text{ist}} (h_2 - h_3)_{t_1-t_2} (t_2 - t_1) \quad [\text{kJ}] \quad (5.6)$$

Bu ısı miktarlarını belirlemek için öncelikle uygulanan yöntemin karı ergitme sürecini çözmek gerekmektedir.

Ters akışlı çevrim ile sağlanan sıcak gaz buharlaştırıcı borularının içerisinden geçerek, boru cidarlarındaki karı ergitmektedir. Buharlaştırıcı cidarlarındaki kar ergiyene kadar, buharlaştırıcı bölgesindeki soğuk havanın ısıtılmadığı kabulü yapıldığı takdirde, sadece kar ergiyinceye kadar geçen sürede, kara aktarılan ısı enerjisi

$$Q_{\text{kar}} = m_{\text{kar}} \Delta h \quad [\text{kJ}] \quad (5.7)$$

ile hesap edilir. Bu ifadede entalpi farkını Bölüm 4.3.3'te verilen Denklem (4.4) ile belirlemek mümkündür. Buna göre buharlaştırıcı cidarında miktarı 120 g olan karın ilk sıcaklığı -30°C ve 0°C 'de su haline gelinceye kadar geçen sürede verilen toplam ısı miktarı $Q_{\text{kar}} = 47,7 \text{ kJ}$ olarak hesaplanır. Elde edilen bu değer kullanılarak Çizelge 5.5 oluşturulmuştur. Tüm deneylerde entalpi farkı birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Diğer taraftan deneylerde 0°C 'ye ulaşma süreleri farklı olduğundan, kar çözdürme sırasında soğutucu akışkan debileri de değişmektedir.

Çizelge 5.5 : Ters akışlı soğutma çevriminde soğutucu akışkanın kütleli debileri.

	Δh [kJ/kg]	$T_{\text{kç}}$ [s]	\dot{m}_{ist} [g/s]
Kısılma vanası %50 açık	71	600	1,12
Kısılma vanası %100 açık	70,9	660	1,02
Otomatik kar çözdürme işlemi	71	720	0,90

Ters akışlı soğutma çevrimi çalışırken sistem debilerinin belirlenmesi, kar çözdürme sürecinde belirli zaman aralıklarında, buharlaştırıcıya verilen enerji değerlerinin de belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Denklem (5.7) kullanılarak bu değerler elde

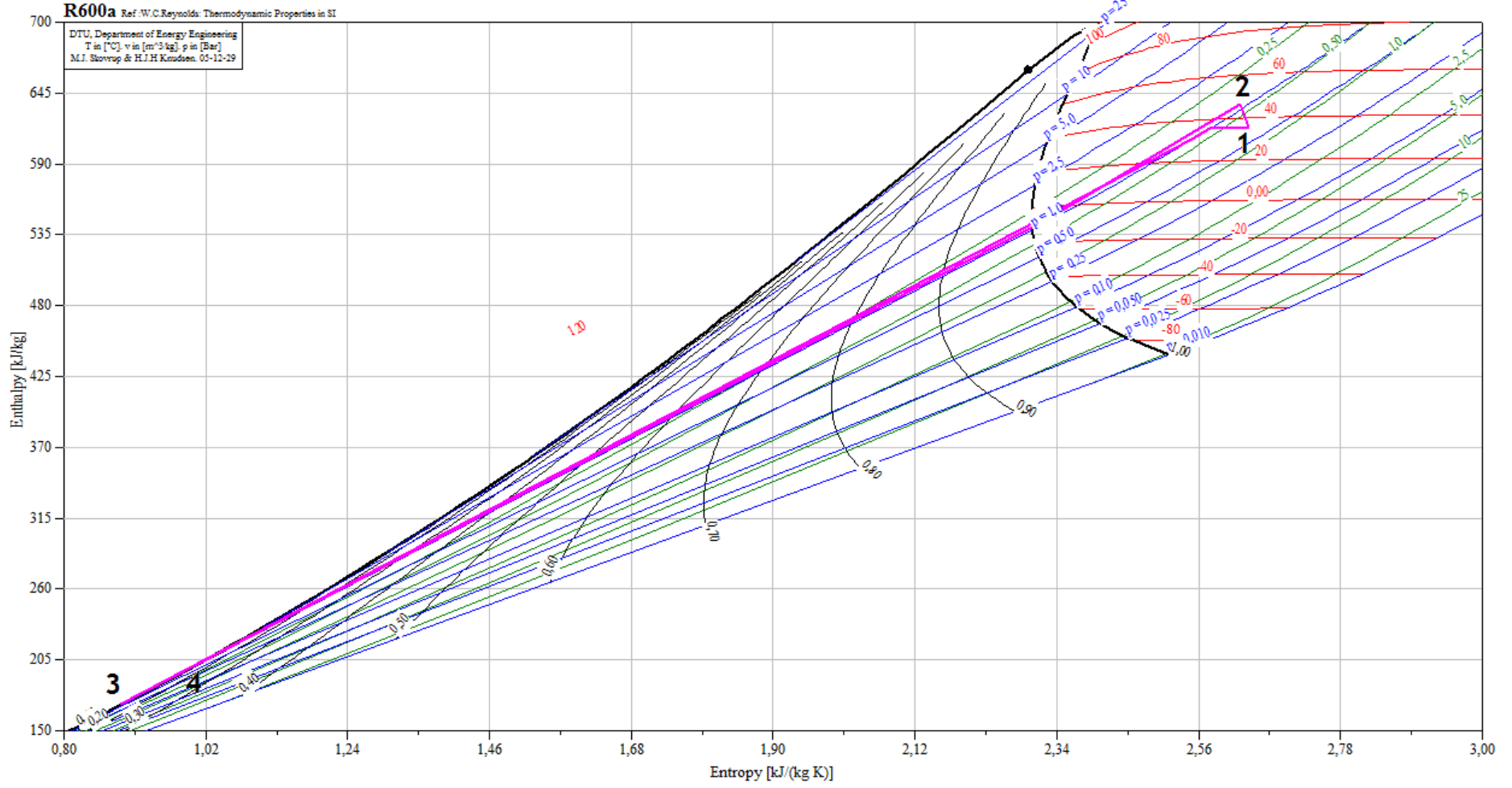
edilebilir. Çizelge 5.6'da her deneyin 5'er dakikalık zaman aralıklarında buharlaştırıcıya aktarılan ısı enerjisi değerleri sunulmuştur.

Çizelge 5.6 : Belirli zaman aralıklarında buharlaştırıcıda verilen ısı miktarı değişimi.

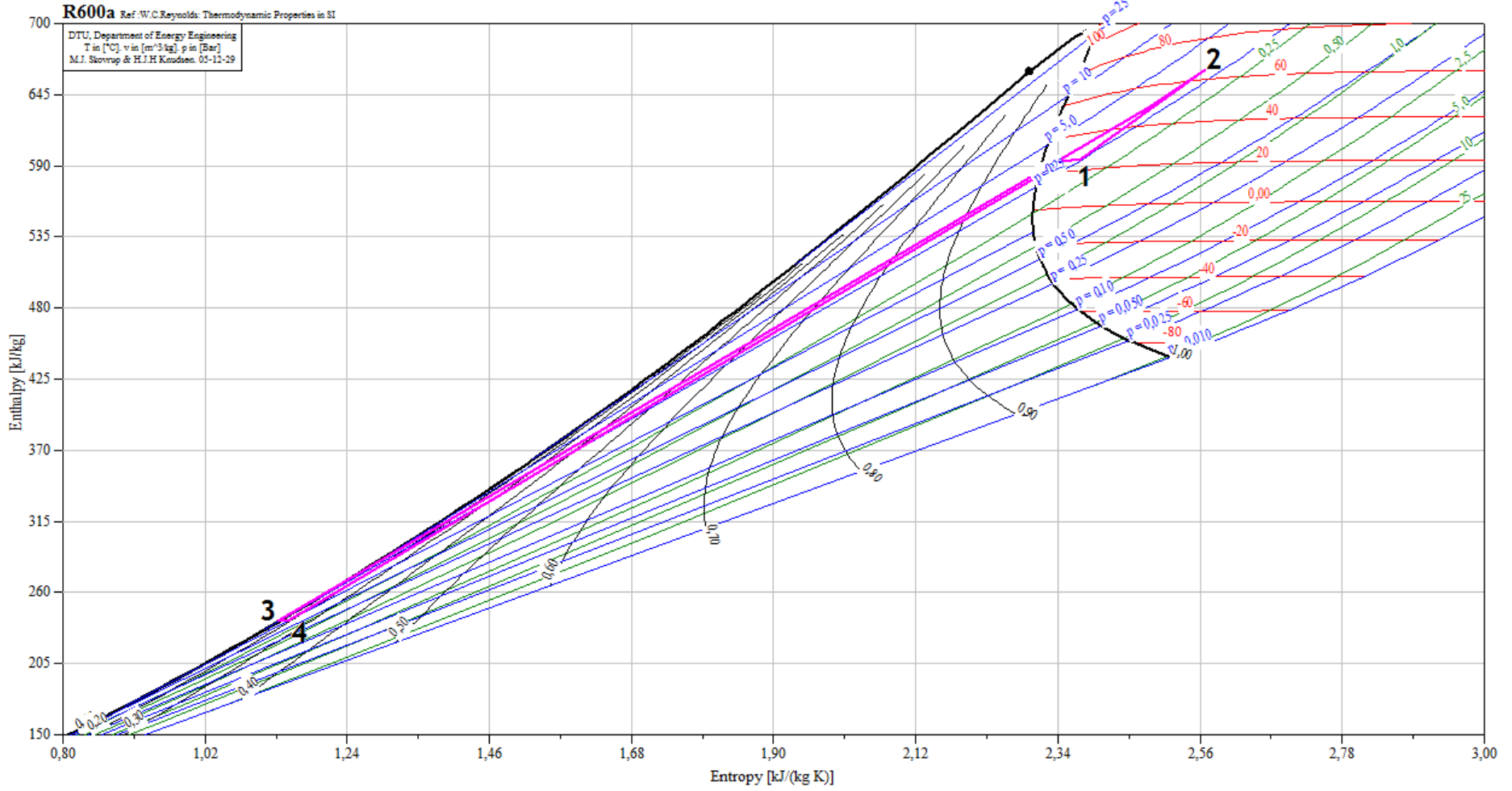
Zaman Aralığı [dakika]	Buharlaştırıcıda aktarılan ısı miktarı [kJ]		
	Kısılma vanası %50 açık	Kısılma vanası %100 açık	Otoamatik kar çözdürme işlemi
0-5	22,4	18,9	10,9
5-10	2,4	1,7	8,5
10-15	13,7	2,5	5,3
15-20	6,9	4,6	6,3
20-25	-	4,4	-
0-25	45,3	32	31,1

Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te sunulan termodinamik özellikler ele alınarak ters akışlı soğutma çevriminin irdelenmesi için h-s diyagramları oluşturulmuştur. Ters akışlı soğutma çevriminde her 5 dakika için h-s diyagramları 3 deneysel çalışma için ortaya konmuştur. Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de, ters akışlı soğutma çevriminin otomatik olarak gerçekleştirildiği deney için h-s diyagramı 5. dakika ile 20. dakika arasında sunulmaktadır. Tüm deneylerin, belirli aralıklarla oluşturulan h-s diyagramları Ekler kısmında sunulmaktadır.

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'de verilen diyagramlar incelenirse, sistemin ters akışlı soğutma çevrimine başladığı sırada kompresörün verimsiz çalıştığı görülmektedir. Şekil 5.24'te sistem 1 noktasından 2 noktasına giderken, yani kompresör soğutucu akışkanı sıkıştırdıktan sonra, entropi değerlerinde artış sağlanamamıştır. Sistemin çalışmasının 20. dakikasında ise kompresörün soğutucu akışkanı sıkıştırması sonucu entalpi ve entropi değerlerinde belirgin bir artış sağladığı Şekil 5.25'de verilen diyagramdan okunmaktadır. Sistemde kar çözdürme, ters akışlı soğutma çevrimi ile gerçekleştirildiğinden, kompresörün verimli çalışması sonucu kar çözdürme işleminin veriminin arttığı söylenebilmektedir.



Şekil 5.24 : Otomatik kar çözdürme işlemi 5. dakikasında h-s diyagramı.



Şekil 5.25 : Otomatik kar çözdürme işlemi 5. dakikasında h-s diyagramı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Soğutma sistemleri buharlaştırıcılarında meydana gelen karlanma olayı soğutma performansını düşürmektedir. Soğutma performansının düşmesi sistemde bir takım problemlere sebep olduğundan, buharlaştırıcı yüzeyinde oluşan bu karlanmanın belirli süre zarflarında giderilmesi gerekmektedir. Bu işlem için kullanılan yöntemler sistemde fazladan enerji tüketimine ve bu işlem sırasında sistem içinde gereksiz sıcaklık yükselmelerine sebep olmaktadır. Bu çalışmada, bu problemleri ortadan kaldırmak veya en aza indirmek amacıyla, evsel buzdolapları için alternatif olabilecek kar çözdürme yöntemleri ele alınıp, deneysel olarak irdelenmiştir.

Kar çözdürme işleminin sisteme etkilerini en aza indirmek için ele alınan kar çözdürme yöntemleri, evsel buzdolaplarında mevcut durumda genellikle kullanılan elektrikli ısıtıcıya alternatif olarak uygulanabileceği düşünülen yöntemlerdir. Bunlar

- alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme,
- sıcak sıvı ile kar çözdürme ve
- ters akışlı soğutma çevrimi sağlanarak gerçekleştirilen kar çözdürme

yöntemleridir. Bu yöntemlerin her biri için kurulan deney düzeneği üzerinde, yöntemlerin uygulanabilirlikleri ve orijinal sisteme göre sağlayacağı faydaları incelenmiştir.

Buzdolabı sisteminin elemanlarının kullanıldığı, kompresörün ısısı veya yoğunlaştırıcıdan dışarı atılan ısıyı kar çözdürme için kullanarak, ek bir enerji ihtiyacına gerek kalmayan bir kar çözdürme yöntemi uygulaması için alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi prototipleri üzerinde deneysel olarak çalışılmıştır.

- Alternatif sıcak gaz ile kar çözdürme yöntemi için gerçekleştirilen 3 farklı prototip çalışmaları sonucunda, sistemin uygulanabilir olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen kar çözdürme süreleri 350 dakika ile 450 dakika arasındadır ve orijinal kar çözdürme yönteminin ortalama 30 dakikada bu

işlemi gerçekleştirdiği göz önüne alındığında, bu süreler kabul edilebilir değildir.

- Kar çözündürme sırasında, soğutucu akışkanın yoğunluk farkı ve yerçekimine dayalı termosifon etkisiyle buharlaştırıcıdan dışarı alınması büyük oranda gerçekleşmemekte, alınan bir kısım soğutucu akışkanın da dolaşımının sürekliliğinin sağlanamamasından dolayı kar çözündürme işlemi çok uzun sürelerde tamamlanmaktadır.
- Alternatif sıcak gaz ile kar çözündürme sisteminin valf yapısından dolayı sistem borularında bölgesel ısınmalara, bunun sonucu olarak da, yine bu bölgelerde borularının tıkanmasına sebep olmaktadır. Bu tür tıkanıklıklar sistemde soğutucu akışkanın sürekli dolaşımının sağlanamamasında bir diğer etken olmuştur.
- Sıvı geliş borusu üzerinde kullanılacak, soğutucu akışkanın cinsine uygun bir pompa yardımıyla, kar çözündürme sırasında soğutucu akışkanın sürekli dolaşımı sağlanabilecektir. Bu durumda sisteme dışarıdan enerji verilmiş olacaktır ve elde edilecek enerji tasarrufu değerleri düşecektir. Ayrıca, valf yapılarının basitleştirilmesi veya sistemde bulunan soğutucu akışkan miktarının artırılması da, sürekli dolaşım sağlamaya yardımcı olacaktır. Diğer yandan, soğutucu akışkan miktarının artırılmasının soğutma sisteminin çalışma şartlarını değiştireceği göz önünde bulundurulmalıdır.

İkinci alternatif kar çözündürme yöntemi olarak elektrikli ısıtıcı yerine kullanılabilir ve daha az enerji tüketen, diğer yandan elektrikli ısıtıcı ile benzer şekilde çalışan bir sistem olarak tasarlanan sıcak sıvı ile kar çözündürme yöntemi uygulaması üzerinde deneysel olarak çalışılmıştır.

Sıcak sıvı ile kar çözündürme yöntemi deneysel çalışmalarında elektrikli ısıtıcı sistemden çıkarılmış, onun yerine bir pompa, sıcak sıvı boruları, ısıl kütle kabı, ve ısıl kütle sıvısı eklenmiştir. Deneysel ısıl kütle miktarı ve sıcaklığı ile kar çözündürme sonlandırma sıcaklığı farklı parametreler olarak irdelenmiştir.

- Isıl kütle sıcaklığı 30°C, 40°C ve 50°C olarak 3 farklı değerde seçilmiştir. Isıl kütle miktarının aynı olduğu, sıcaklığının ise 40°C ve 50°C olduğu iki farklı deneyde, sırasıyla kar çözündürme süreci 27 dakika ve 18 dakika sürmüştür, kar çözündürmenin sonunda buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının

ortalaması ise sırasıyla 6°C ve 7,5°C olmuştur. Sonuç olarak, ısı kütlesi sıcaklığının artırılmasıyla, kar çözme süresinin kısaldığı ve kar çözme etkinliğinin ise arttığı belirlenmiştir.

- Isı kütlesi miktarı 1,8 lt ve 3 lt olarak seçilmiştir. Isı kütlesi sıcaklığının 40°C olduğu, miktarının ise 1,8 lt ve 3 lt olarak değiştirildiği iki farklı deneyde, sırasıyla kar çözme süreci 27 dakika ile 18 dakika sürmüş, kar çözme süreci sonunda buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarının ortalaması ise sırasıyla 6°C ve 7,6°C olmuştur. Sonuç olarak, ısı kütlesi miktarının artmasıyla kar çözme süresinin kısalmış, kar çözme etkinliğinin arttığı belirlenmiştir.
- Aynı sıcaklıktaki ısı kütlesi miktarının 1,8 lt'den 3 lt'ye çıkarılmasının veya aynı miktardaki ısı kütlesinin sıcaklığının 40°C'den 50°C'ye çıkarılmasının, kar çözme süresi ve kar çözme sonu ortalama buharlaştırıcı yüzey sıcaklıklarına etkisi aynı oranda olmaktadır.
- Kar çözme sonlandırma sıcaklığının değiştirilmesine rağmen kar çözme sonunda sıcaklıkların belirli bir seviyeden daha fazla yükselmediği görülmüştür. Bu durumda sıcak sıvı ile kar çözme işlemi gerçekleştirilirken, kar çözme sonlandırma sıcaklığının muayyen bir seviyeden yüksek olarak belirlenmesi, kar çözme işleminin verimsiz olmasına, gereksiz yere uzamasına ve aynı zamanda enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır.
- Kompresör ve yoğurturucu üzerine yerleştirilen ısı kütlesi kabı ile gerçekleştirilen deneylerde ısı kütlesi sıvısının ulaşabildiği en yüksek sıcaklık 30°C olmuş, kar çözme süresi ise 30 dakikayı bulmuştur.
- Orijinal buzdolabından 150 W'lık elektrikli ısıtıcının kaldırılması ve aynı işlemin sisteme eklenen bir pompa yardımıyla gerçekleştirilmesi sonucu buzdolabındaki toplam enerji tasarrufunun %11 olacağı hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda sistemde en yüksek enerji tasarrufunun ise %9 civarında olabileceği belirlenmiştir.
- Isı kütlesinde depolanan ısı enerjisinin artırılması kar çözme süresinin kısalmasına ve enerji tasarrufunun artmasına sebep olacaktır. Isı kütlesi sıvısının miktarının ve sıcaklığının artırılmasının yanı sıra yüksek ısı

kapasiteli bir sıvı seçilmesi de depolanan ısı enerjisi miktarını arttıracaktır. Ayrıca ısı kütlesi sıvısını basmak için daha yüksek debili pompalar kullanılması da kar çözme süresinin kısalmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına fayda sağlayacaktır.

Kar çözme işlemi için alternatif olarak kurulan bir diğer sistem de sıcak gaz soğutucu akışkanı kullanarak ters akışlı bir soğutma çevrimi oluşturmaktır. Bunun için sisteme valf ve boru elemanları eklenmiş ve kompresörden çıkan sıcak gazın doğrudan buharlaştırıcıya gönderilerek burada kar çözme işlemi gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

- Kurulan prototip üzerinde gerçekleştirilen ön deneysel çalışmalarda karşılaşılan kar çözme esnasında buharlaştırıcıda soğutucu akışkanın birikmesi probleminin çözümüne yönelik gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda hazırlanan ikinci prototip deneylerinde, kar çözme işlemi mevcut kar çözme yöntemi ile benzer sürelerde yani 25 – 30 dakikada tamamlandığı belirlenmiştir. Fakat elde edilen deneysel veriler ve teorik hesaplamalarda bu süreç tam olarak ortaya konamamış olduğundan, yöntemin gerçekleştirildiği ve uygulanabilir olduğu konusunda net bir yorum yapılamamakta buna rağmen bu yöntem üzerinde çalışmaya devam edilmesi önerilmektedir.
- Sistem kurulduktan sonra buzdolabının soğutma etkinliği katsayısı 1,82 olarak belirlenmiştir. Karlanmanın otomatik olarak çözüldüğü bir buzdolabında COP_{sog} değerlerinin 1,5-2,5 arasında değiştiği bilindiğinden, elde edilen soğutma etkinliği katsayısı değeri makul değerlerdedir. Bununla birlikte sistemde boru ve valf yapılarının basitleştirilmesi soğutma etkinliği katsayısında artış sağlayacaktır.
- Otomatik olarak gerçekleşen kar çözme işleminde COP_{isit} değerlerinin artırılması için, elle ayarlanabilir vananın yerine bir solenoid valf kullanılmalı ve sistemin basınç dengelenme süresi beklenmeden doğrudan kar çözme işlemine başlanmalıdır. Ayrıca, buharlaştırıcının yapısından kaynaklanan kar çözme sırasında sıvı soğutucu akışkanın birikmesi problemi aşmak için soğutucu akışkanın buharlaştırıcının en üstünden girip en altından çıkacağı yeni

bir tasarım yapılabilir. Bu durumda sıvı soğutucu akışkan buharlaştırıcıda birikmeyecek, fakat soğutma çevrimi sırasında da, buharlaştırıcı çıkışında sıvı fazda kalabilecek soğutucu akışkanın kompresöre yönelmesi sonucu kompresörün zorlanması ve ömrünün kısalmasına sebep olabilecektir.

- Sistemde öncelikle 4-yollu valf kullanılması planlanmış fakat sistemde kullanılan soğutucu akışkan olan R600a ile birlikte çalışabilecek bir 4-yollu valf piyasada bulunamamıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sistemde 4 yollu valf yerine kullanılan 6 farklı solenoid valf ve boru yapısı nedeniyle, soğutucu akışkan çevrim sırasında ısı enerjisini kaybetmektedir. Bu yüzden kurulan sistem yerine 4-yollu valfin kullanılması, ters akışlı soğutma sisteminin çalışması açısından olumlu olacaktır.
- COP_{sog} değerlerinin 1 – 2,5 arasında olması ve COP_{Ist} değerlerinin 1'in üzerine çıkarılması, sistemin çalıştığından kesin olarak emin olunmasını sağlayacaktır. Bu amaçla sistemde kullanılan kompresörün yerine daha verimli bir kompresör kullanılarak deneyler gerçekleştirilebilir. Kompresör veriminin artırılması, dolayısıyla kompresörün sıkıştırma oranının artırılması sonucu soğutucu akışkanın kompresör çıkış sıcaklığı artacak ve her iki çevrimin de COP değerinde artış sağlanmış olacaktır.
- Elde edilen veriler ışığında, ters akışlı soğutma çevrimi için bir simülasyon programı yazılarak, sistemin teorik olarak gerçekleşip gerçekleşmediğinin gösterilmesi uygun ve yararlı olabilir.
- Böyle bir sistemin çift buharlaştırıcı soğutma sistemine sahip bir buzdolabına uygulanması, sistemin çalışması ve verimli olması açısından daha uygun görülmektedir. Çift buharlaştırıcı soğutma sisteminde, buharlaştırıcılar sırayla soğutma çevrimine katılmakta, bir buharlaştırıcı üzerinde kar çözme işlemi gerçekleştirilirken, diğerinde soğutma işlemi devam etmesi sağlanarak, kar çözme sonrasında kabin içine katılan sıcak havadan kurtulmuş olacaktır.

KAYNAKLAR

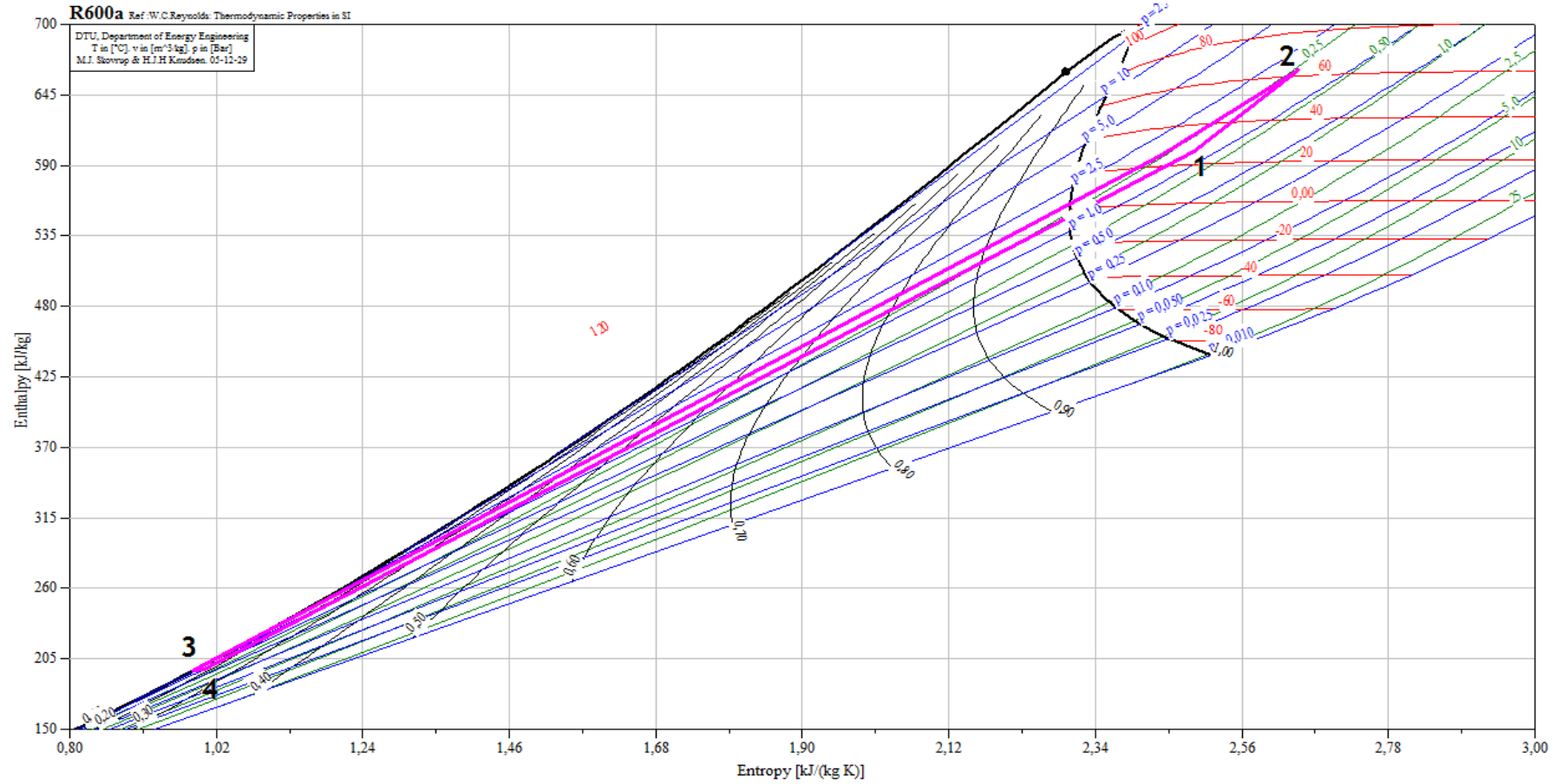
- Altuntop, N.**, 2005: Güneş enerjisi tesisatlarında antifriz olarak etilen ve propilen glikol kullanımının incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **86**, 31-38.
- Al-Mutawa, N. K. M.**, 1997: Experimental investigations of frosting and defrosting of evaporator coils at freezer temperatures. University of Florida, United States of America, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy.
- Barrow, H.**, 1985: A note on frosting of heat pump evaporator surfaces. *Heat Recovery Systems*, **5 (3)**, 195-201.
- Cengel, Y. A. and Boles, M. A.**, 1989: Thermodynamics: An engineering approach. McGraw-Hill, 2. edition.
- Cole, R. A.**, 1989: Refrigeration loads in a freezer due to hot gas defrost and their associated. *Transactions of ASHRAE*, Vol: **95 (2)**, 1149-1154.
- Coley, M. B.**, 1983: The cost of frost. *ASHRAE Journal*. Vol. **82**, No. 9, 29-31.
- Coolpack Version 1.46**, 2000: A collection of simulation tools for refrigeration. *Technical University of Denmark*, Department of Mechanical Engineering
- Dossat, R. J.**, 1997: Principles of refrigeration. Prentice Hall New Jersey, Fourth Edition.
- Dube, S.**, 2006: Defrost refrigeration system. Patent no: US1300494 A1
- Ercan, O. and Gümüş, E.**, 2007: Buzdolabı buharlaştırıcısında kar çözme etkinliğinin deneysel olarak incelenmesi. *İTÜ Makina Fakültesi*, Lisans Bitirme Projesi Raporu
- General Electric Company**, 1997: Refrigeration passive defrost system. Patent no: US5669222
- Gümüş, E.**, 2006: No-frost buzdolaplarında alternatif defrost yöntemlerine ilişkin patent araştırması, *Arçelik ARGE Araştırma Raporu*, ANN-875, İstanbul
- Gümüş, E., Ercan, O., Özkaptan, Y., and Kocatürk S.**, 2008: Evaporatör yüzeyinde kar oluşumu, algılanması ve kar çözme sürecine ilişkin literatür ve patent araştırması. *Arçelik ARGE Araştırma Raporu*, ANN-1032, İstanbul
- Hoffenbecker, N., Klein, S. A. and Reindl, D. T.**, 2005: Hot gas model development and validation. *International Journal of Refrigeration*, **28**, 605-615.
- Klein, S. A. and Alvarado, F. L.**, 2003: Engineering equation solver (EES). www.fchart.com, F-Chart Software.

- Multi-Bras Eletrodomeesticos**, 2000: An automatic defrost system for a refrigerating device. Patent no: WO0079193 A1
- Newell, B., Newell, T. ve Kocatürk, S.**, 2007: Buzdolabı için sıcak gaz defrost sisteminin incelenmesi. *Arçelik ARGE Araştırma Raporu, ANN-1024*, İstanbul.
- Niederer, D. H.**, 1976: Frosting and defrosting effects on coil heat transfer. *Transactions of ASHRAE*, **82 (1)**, 467-473.
- Nussbaum, O. J.**, 1969: Hot gas defrost without condensing refrigerant. *Progress in Refrigeration Science and Technology Proceedings of the XIIIth International Congress of Refrigeration*, Vol. **II**, 1265-1271.
- Pandaru, C.**, 2001: Advanced defrost system. Patent no: WO0186215
- Samsung Electronics Co., Ltd**, 2005: Defroster and refrigerator employing the same. US20050081548
- Satyam, B. and James E. B.**, 2002: A Review of Literature on Dynamic Models of Vapor Compression Equipment, *ASHRAE Report 4036-5*.
- Seker, D., Karatas, H., and Egrican, N.**, 2004: Frost formation on fin-and-tube heat exchangers. Part I-modeling of frost formation on fin-and-tube heat exchangers. *International Journal of Refrigeration*, **27**, 367-374.
- Skovrup, M. J.**, 2001: Refrigeration Utilities Version 2.85. *University of Denmark*, Department of Mechanical Engineering
- Stoecker, W. F.**, 1957: How frost formation on coils affects refrigeration systems. *Refrigeration Engineering*, 42-46.
- Stoecker, W. F., Lux Jr, J. J. ve Kooy, R. J.**, 1983: Energy considerations in hot-gas defrosting of industrial refrigeration coils. *ASHRAE Transactions*, **89 (2)**, 549-573.
- Url-1** <<http://yerdenisi.com/urun.asp?cat=31&id=33>>, alındığı tarih 27.02.2009.
- U-Line Corporation**, 1991: Hot gas bypass defrost system. Patent no: US5065584
- Yao, Y., Jiang, Y., Deng, S., and Ma, Z.**, 2004: A study on the performance of the airside heat exchanger under frosting in an air source heat pump water heater/chiller unit. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **47**, 3745-3756.

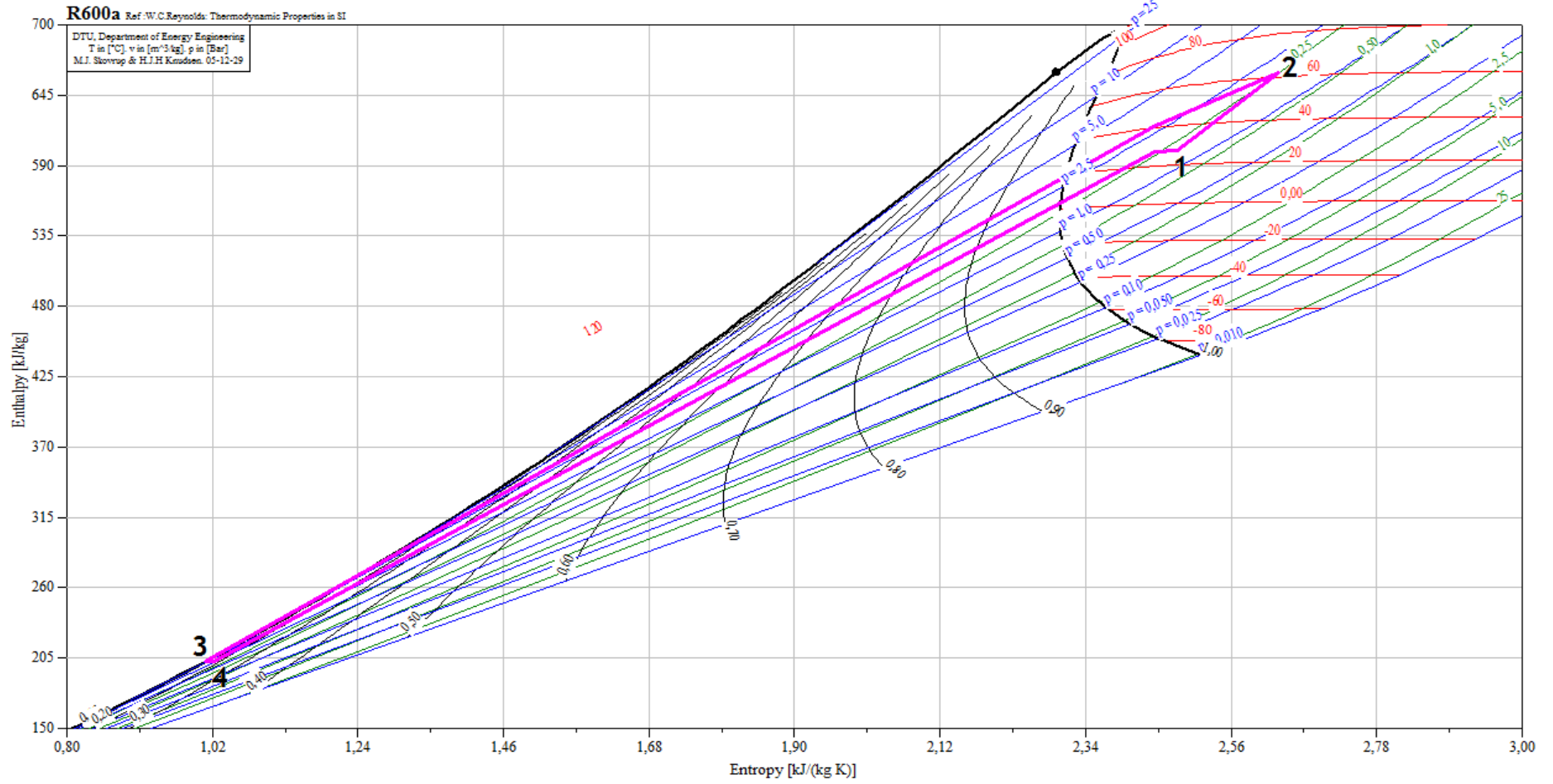
EKLER

- EK A.1 :** Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözme yönteminde, kısılma vanasının %50 açık olduğu durumda, kar çözme başlangıcından itibaren 5'er dakika aralıkla oluşturulan h-s diyagramları
- EK A.2 :** Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözme yönteminde, kısılma vanasının %100 açık olduğu durumda, kar çözme başlangıcından itibaren 5'er dakika aralıkla oluşturulan h-s diyagramları
- EK A.3 :** Ters akışlı soğutma çevrimi ile kar çözme yönteminde, sistemin kar çözme otomatik olarak gerçekleştirdiği deneyde, kar çözme başlangıcından itibaren 5'er dakika aralıkla oluşturulan h-s diyagramları

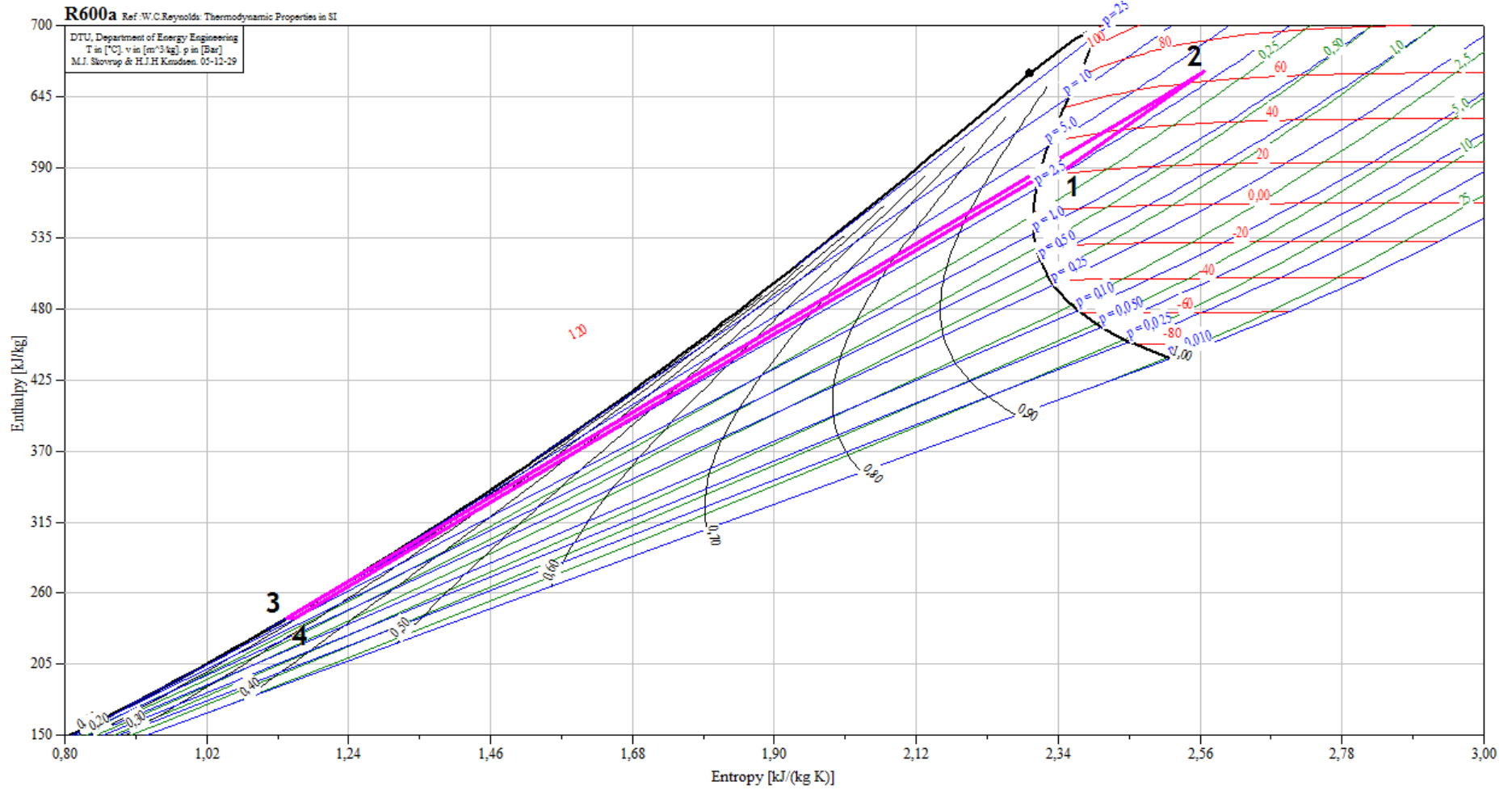
EK A.1



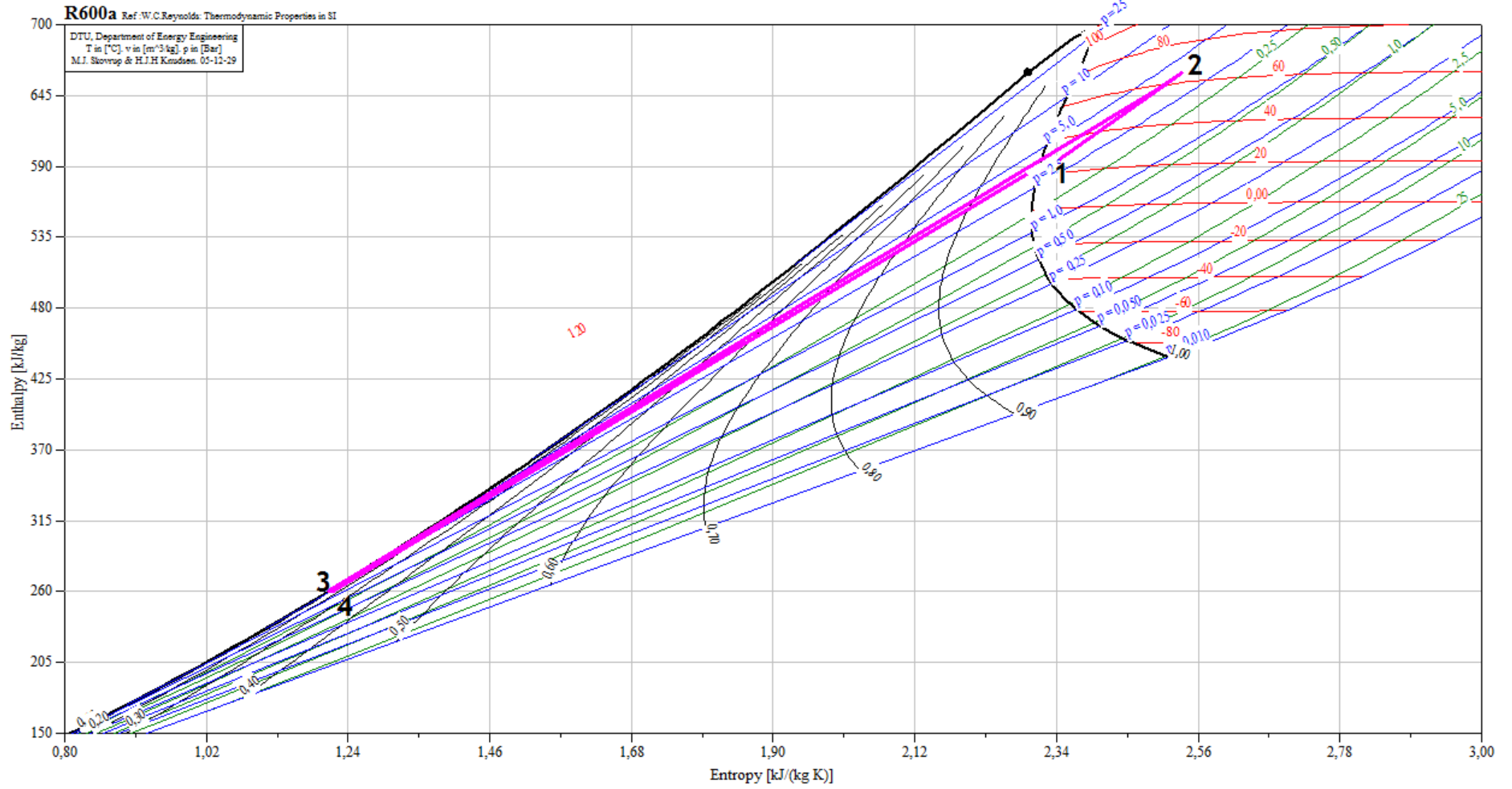
Şekil A.1 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 5. dakikasındaki h-s diyagramı.



Şekil A.2 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 10. dakikasında h-s diyagramı.

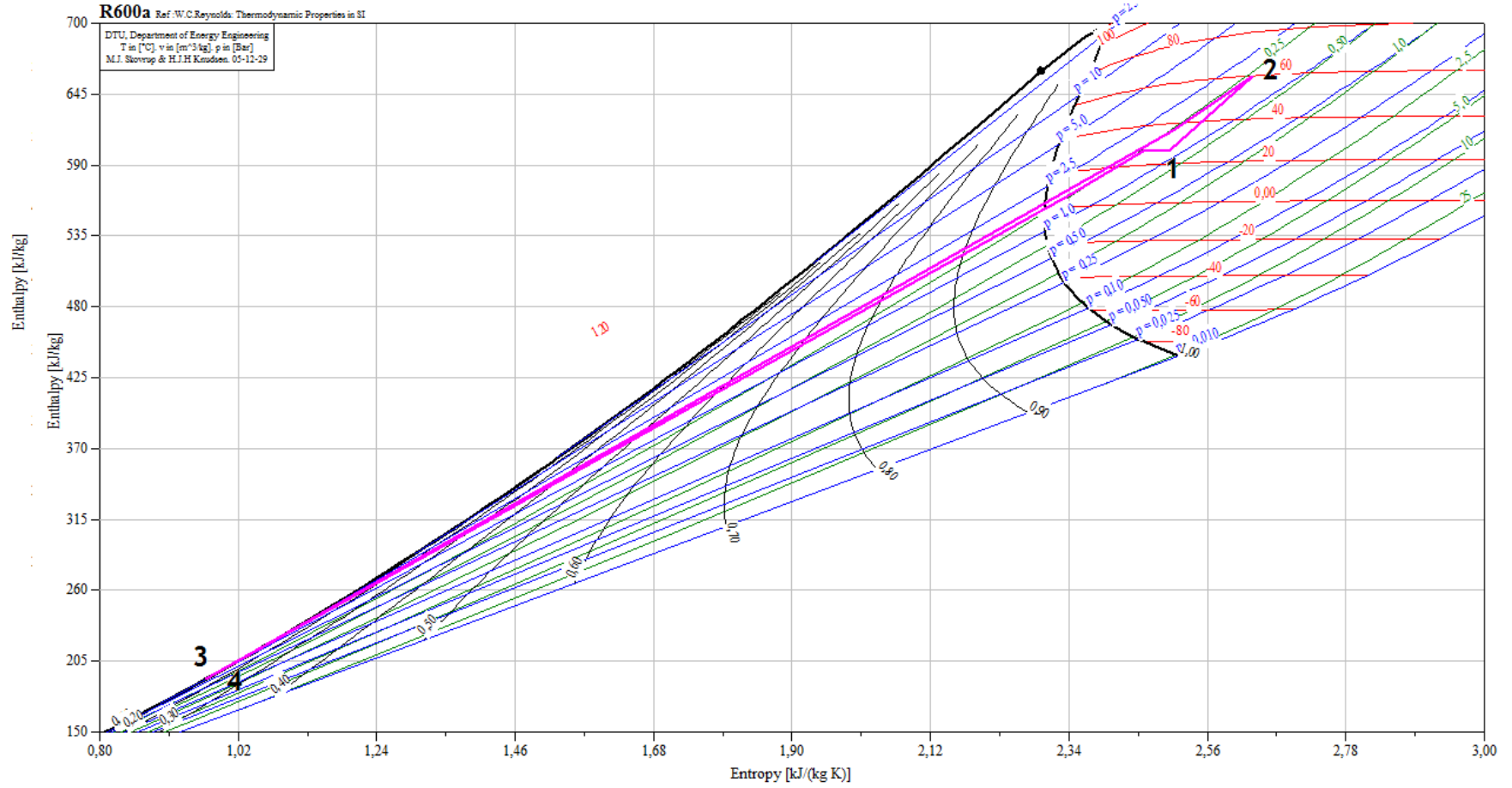


Şekil A.3 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 15. dakikasında h-s diyagramı.

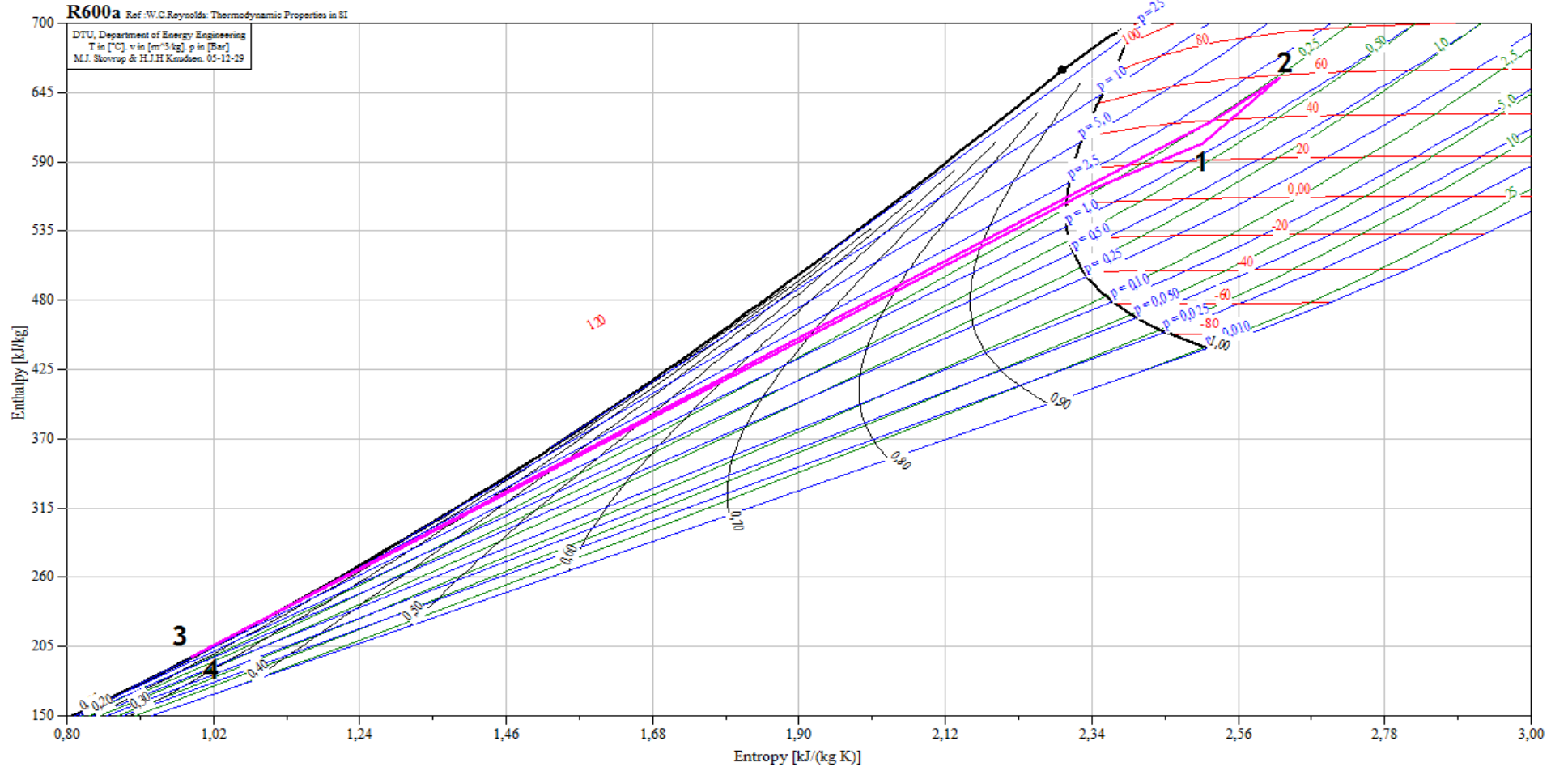


Şekil A.4 : Kısılma vanasının %50 açık olduğu deneyin 20. dakikasında h-s diyagramı.

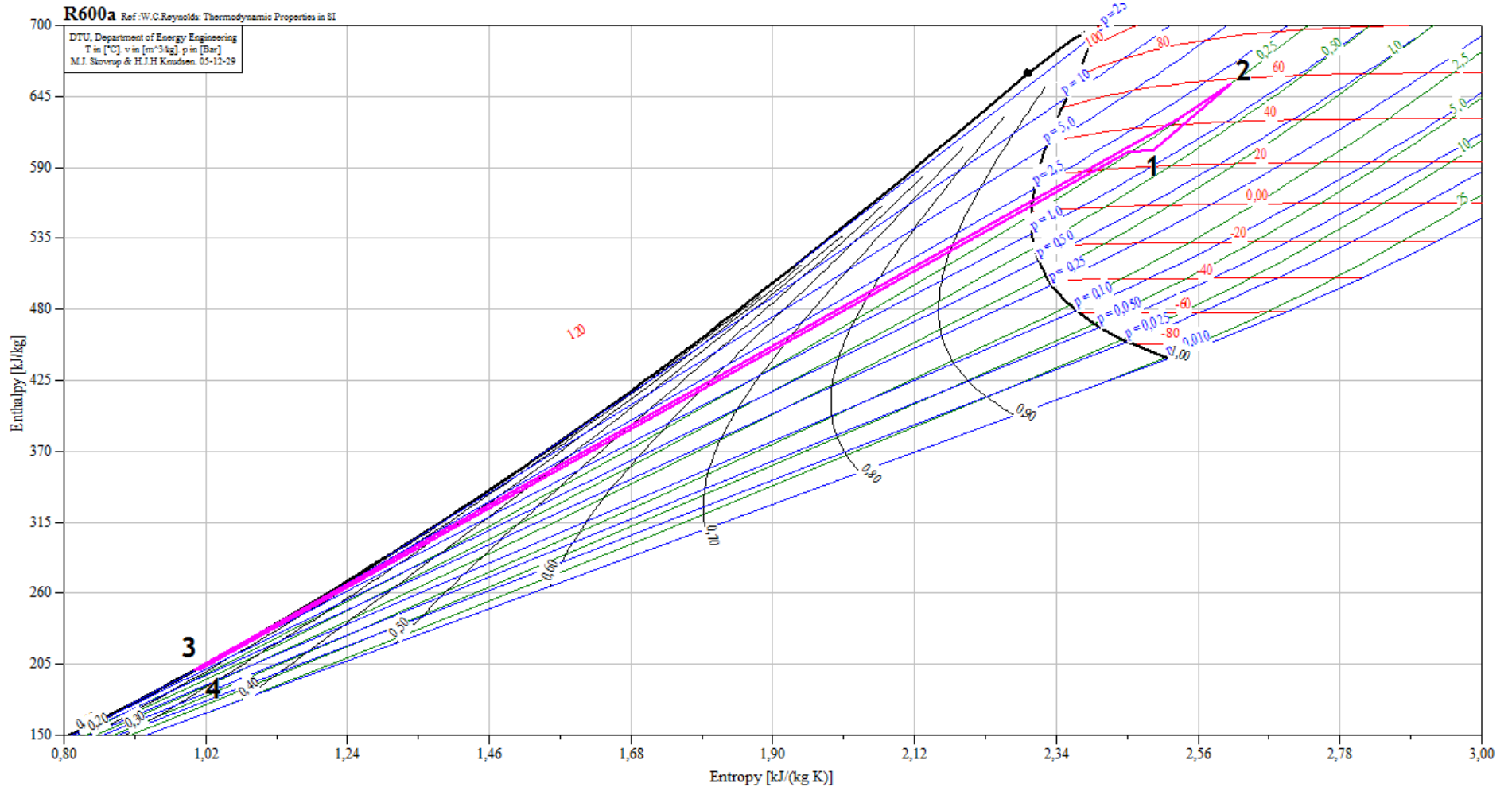
EK A.2



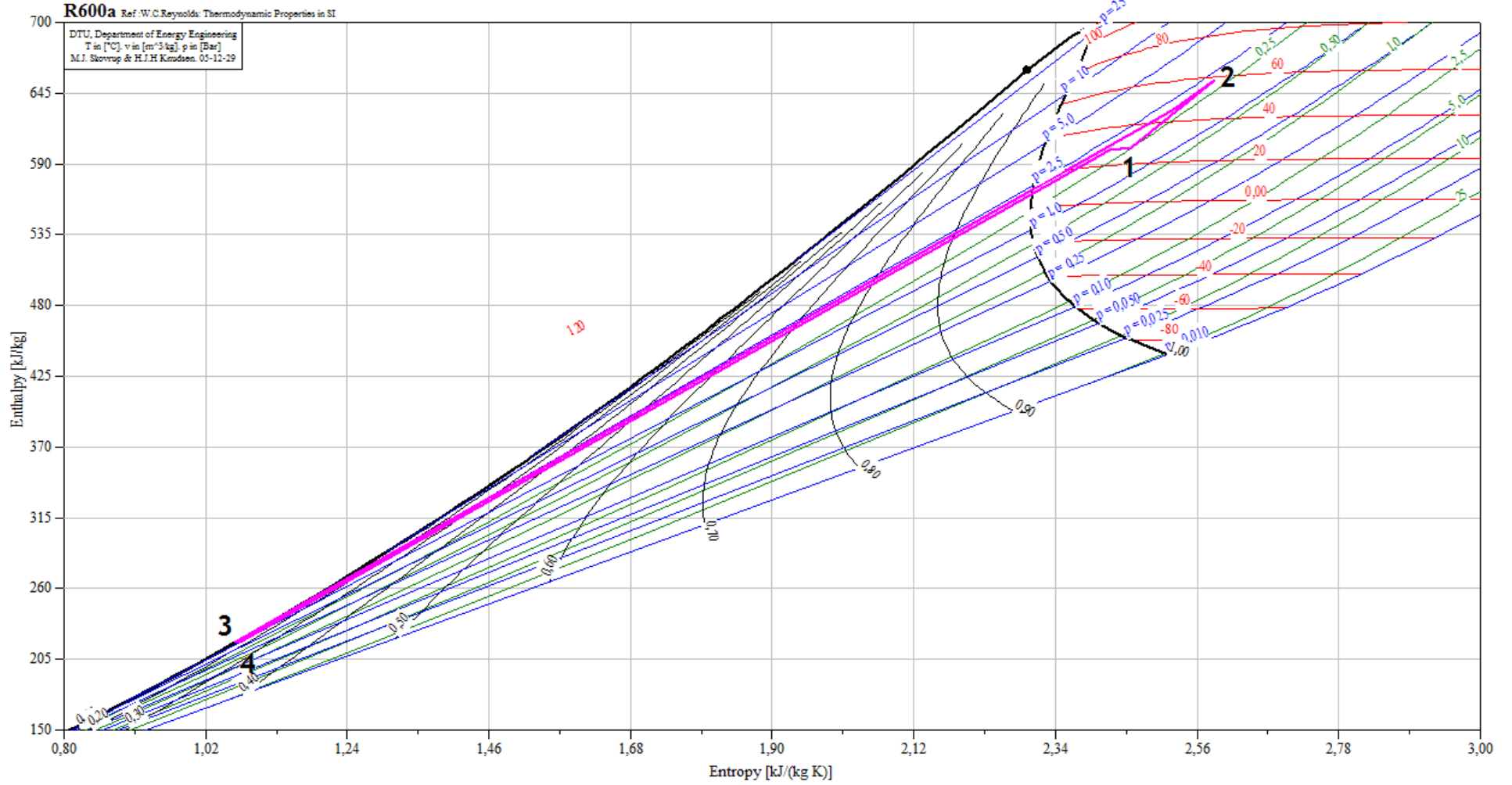
Şekil A.5 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 5. dakikasında h-s diyagramı.



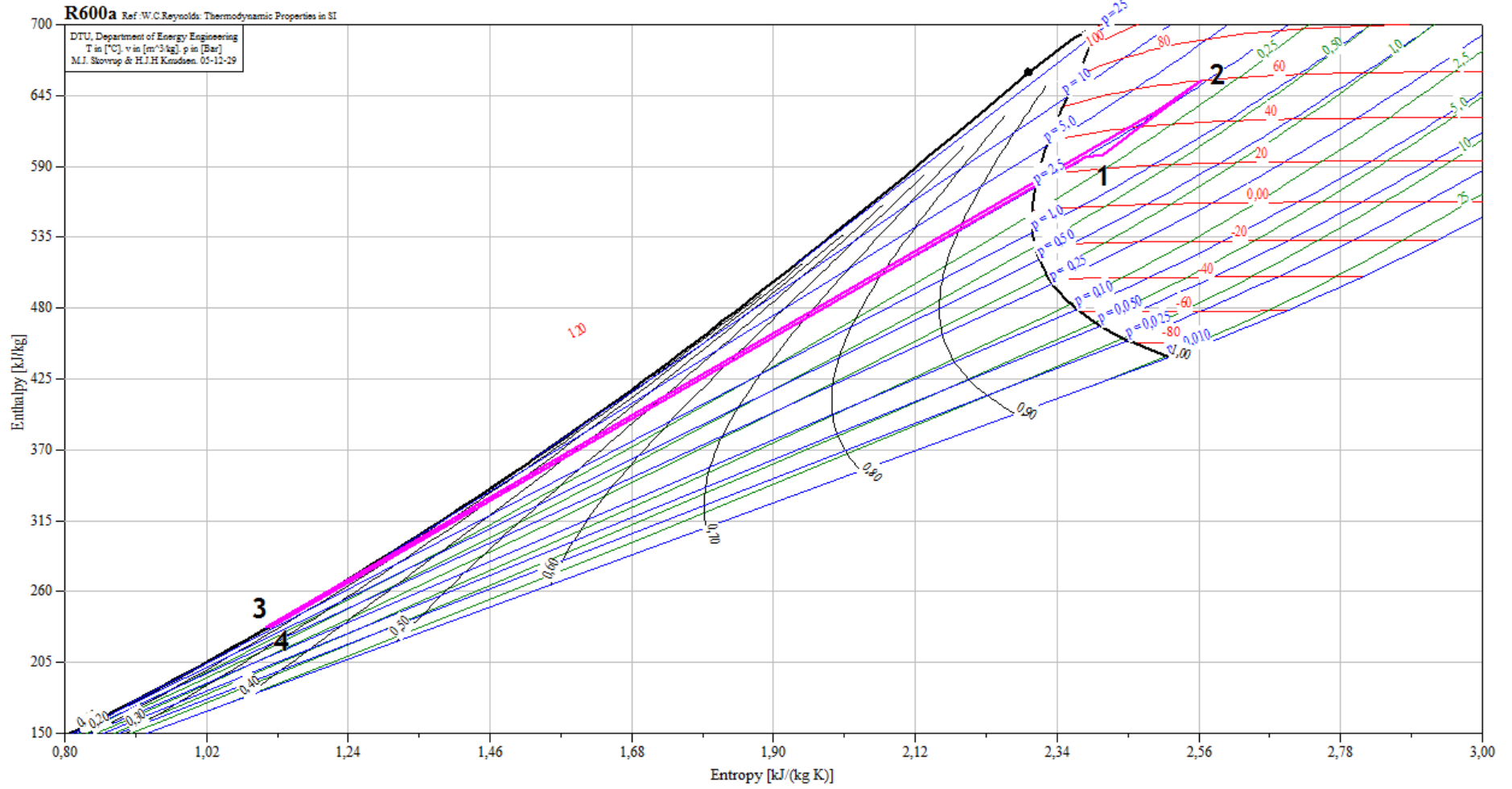
Şekil A.6 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 10. dakikasında h-s diyagramı.



Şekil A.7 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 15. dakikasında h-s diyagramı.

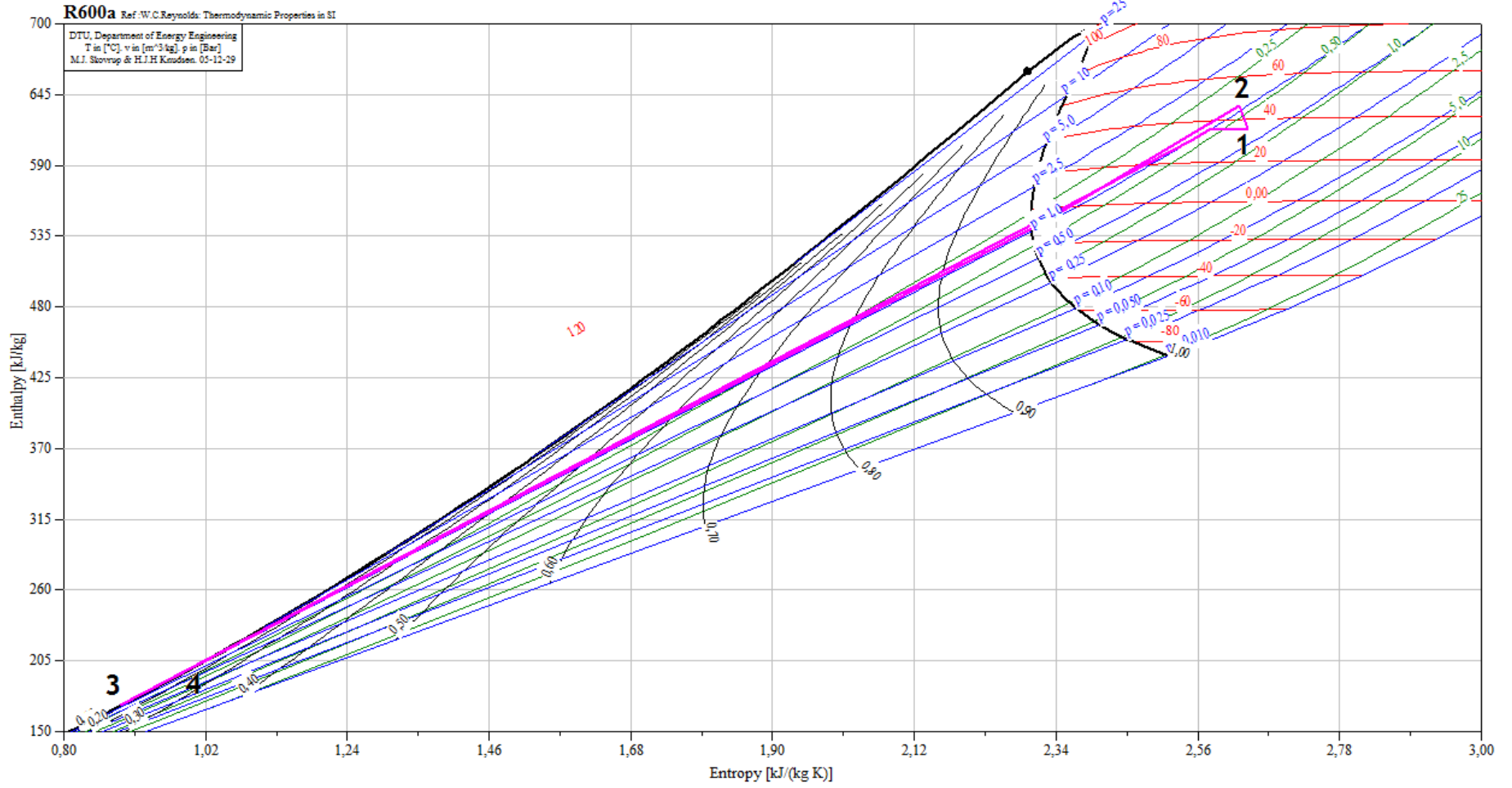


Şekil A.8 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 20. dakikasında h-s diyagramı.

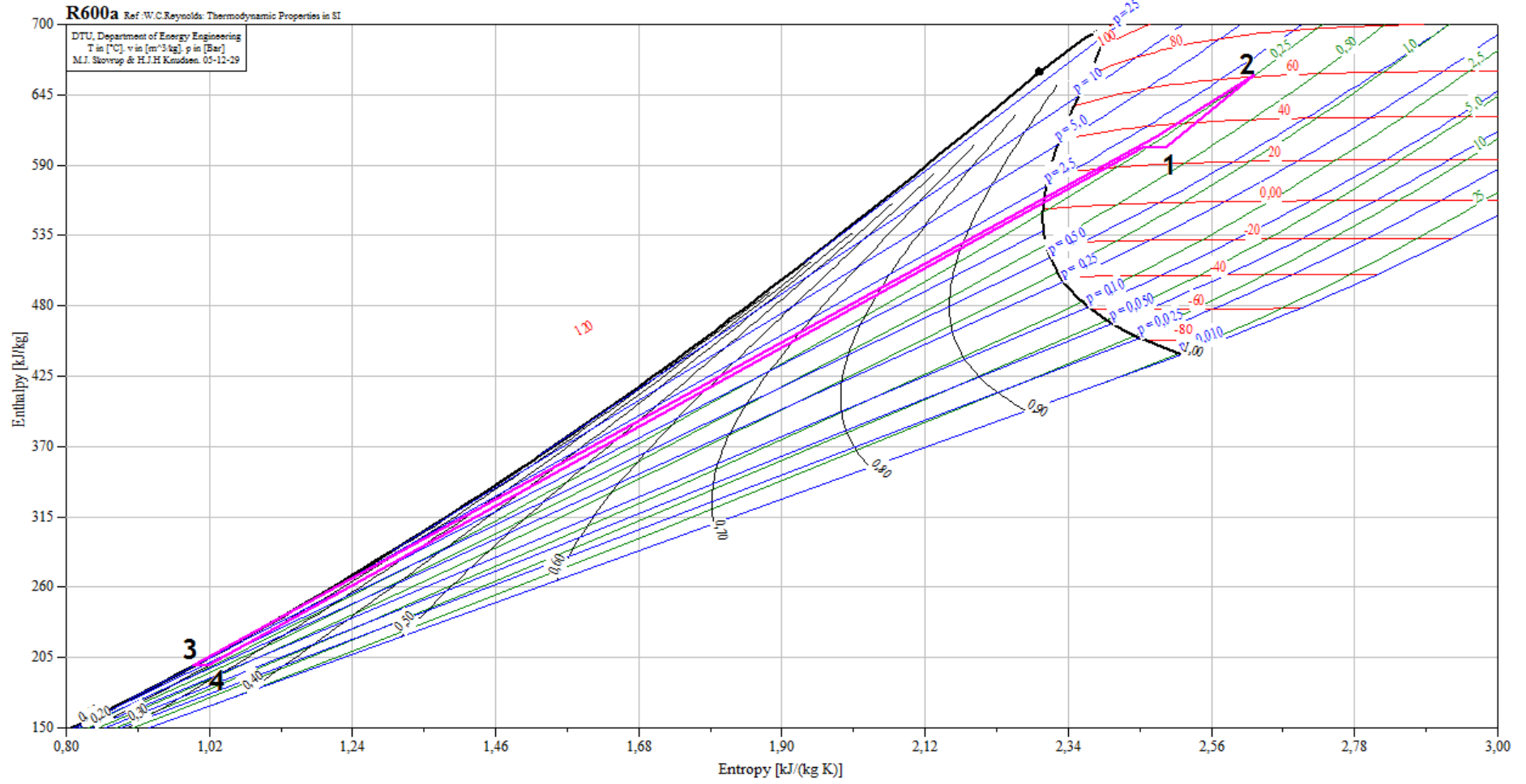


Şekil A.9 : Kısılma vanasının %100 açık olduğu deneyin 10. dakikasında h-s diyagramı.

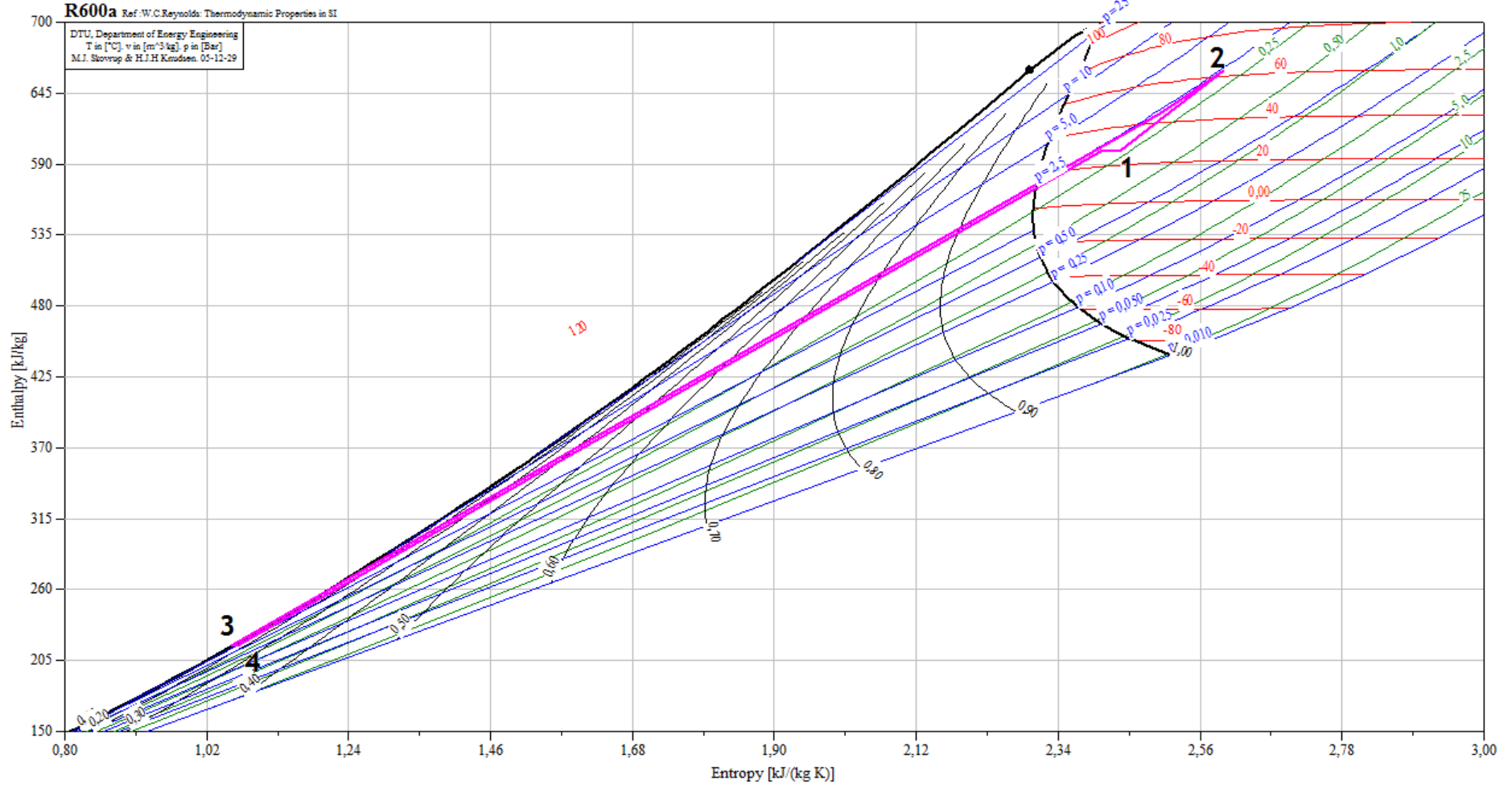
EK A.3



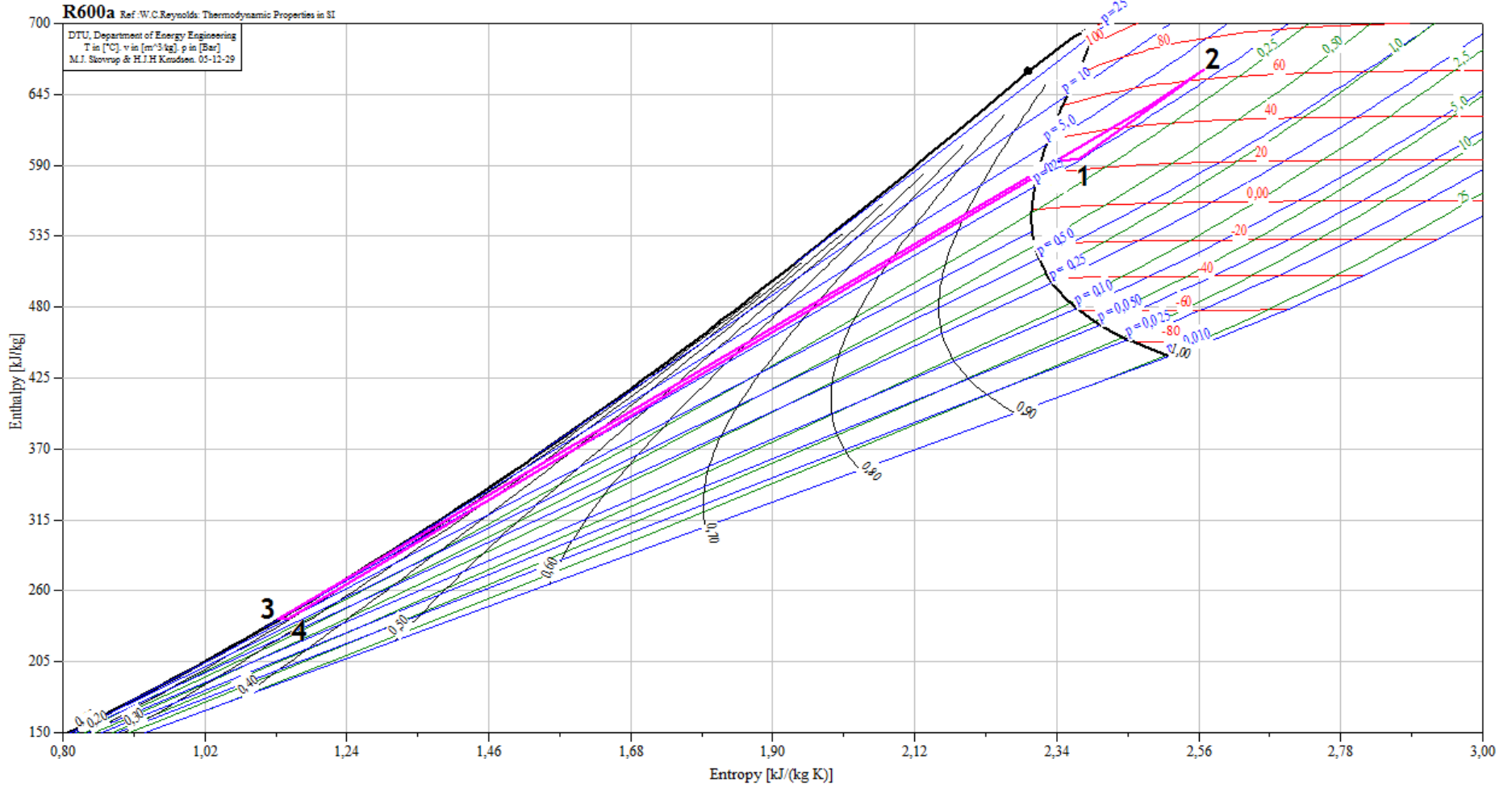
Şekil A.10 : Otomatik kar çözdürme işlemi 5. dakikasında h-s diyagramı.



Şekil A.11 : Otomatik kar çözdürme işlemi 10. dakikasında h-s diyagramı.



Şekil A.12 : Otomatik kar çözdürme işlemi 15. dakikasında h-s diyagramı.



Şekil A.13 : Otomatik kar çözdürme işlemi 20. dakikasında h-s diyagramı.

ÖZGEÇMİŞ

Ercan Gümüş, 31.10.1985 tarihinde Eskişehir’de doğdu. İlk öğrenimini Eskişehir Cumhuriyet İlkokulu’nda, orta ve lise öğrenimini Eskişehir Fatih Anadolu Lisesi’nde tamamladı.

2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Tesisat Dalından mezun oldu.

Aynı yıl İTÜ Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 yılından bu yana, Arçelik A.Ş. Araştırma-Geliştirme Departmanı’nda bu tez konusu kapsamındaki proje üzerinde çalışarak yüksek lisans tez çalışmasını tamamladı.