

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUTUCU SİSTEMLERDE  
FARKLI ORTAM SICAKLIĞI ŞARTLARINDA  
SOĞUTUCU AKIŞKAN KÜTLE DAĞILIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mehmet KALP**

**Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği**

**Programı : Isı - Akışkan**

**EKİM 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SOĞUTUCU SİSTEMLERDE  
FARKLI ORTAM SICAKLIĞI ŞARTLARINDA  
SOĞUTUCU AKIŞKAN KÜTLE DAĞILIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mehmet KALP  
503081117**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Eylül 2010  
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ekim 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Lütfullah KUDDUSİ (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Seyhan ONBAŞIOĞLU (İTÜ)  
Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ (İTÜ)**

**EKİM 2010**



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim sırasında kendisi ile tanışma fırsatı bulduğum, gerek eğitimim gerekse tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgmeden katkıda bulunan, olumlu öneri ve eleştirileri ile beraber bu çalışmayı yöneten çok değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Lütfullah KUDDUSİ'ye en derin sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam için tüm imkan ve olanaklarını sunarak bana destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Dr. Cemil İNAN, Sn. Mak. Yük. Müh. Fatih ÖZKADI ve Sn. Dr. Faruk BAYRAKTAR'a, Termodinamik Teknoloji Ailesi lideri Sn. Mak. Yük. Müh. Yalçın GÜLDAL'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışma hayatım ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile çalışmaların her aşamasında desteklerini esirgemeyen, değerli fikir ve katkılarıyla bu tez çalışmasına katkıda bulunan, çalışmalar sürecinde gösterdikleri ilgi ve içten yaklaşımlarından ötürü Sn. Dr. Bekir ÖZYURT ve Sn. Mak. Yük. Müh. Tuğrul KODAZ'a çok teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalar sırasında deney düzeneklerinin kurulması, devreye alınması, bu süre zarfında çıkan teknik problemlerin çözümü gibi konularda yardımlarını ve tecrübelerini esirgemedi katkıda bulunan Sn. Sabahattin HOCAOĞLU ve Sn. Faruk KOCABIYIK'a, düzeneklerin kurulması sırasındaki emeklerinden ötürü Sn. İlhan BALIKÇI ve Sn. Yasin İĞİT'e, teknik sorunlarda göstermiş olduğu ilgi ve yardımlarından ötürü Sn. Ercan KURTULDU'ya başta olmak üzere tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Termodinamik Ailesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarının sıkıntılı zamanlarını beraber geçirdiğimiz keyifli anlar ve arkadaşlıklarıyla unutturan, bana her konuda destek olan çok değerli dostlarım; Hüda SÖNMEZ, Yavuz Can ÖZKAPTAN, Barış PAKDİL, Kıvanç AKKÖSE, Tolga APAYDIN, Yusuf KOÇ, Selçuk KARAGÖZ, Alper YAĞCI, Çağlar ŞAHİN, Murat KADAL, Onur POYRAZ, Gökmen PEKER ve Ahmet Burak TOP'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan, beni karşılıksız seven çok kıymetli AİLEME en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Ekim 2010

Mehmet KALP

(Makina Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                 |      |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                      | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                               | v    |
| KISALTMALAR .....                                               | vii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                            | ix   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                              | xi   |
| SEMBOL LİSTESİ.....                                             | xiii |
| ÖZET.....                                                       | xv   |
| SUMMARY .....                                                   | xvii |
| 1. GİRİŞ .....                                                  | 1    |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                  | 5    |
| 2.1 Soğutucu Akışkan Miktarının Performansa Etkisi.....         | 5    |
| 2.2 Soğutucu Akışkan Miktarı Belirleme Metotları.....           | 10   |
| 2.2.1 Teorik yöntemler .....                                    | 10   |
| 2.2.2 Deneysel yöntemler.....                                   | 13   |
| 2.3 Soğutucu Akışkan Kütle Dağılımı ile İlgili Çalışmalar ..... | 23   |
| 2.4 Ortam Sıcaklığının Etkisi.....                              | 33   |
| 3. DENEY DÜZENEGİ .....                                         | 35   |
| 3.1 Deney Düzenegi ve Elemanları.....                           | 35   |
| 3.2 Soğutucu Sistem.....                                        | 41   |
| 3.3 Deney Düzenegi Çalışma Prensibi.....                        | 44   |
| 3.4 Soğutucu Akışkan Miktarının Tespiti .....                   | 45   |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                                     | 49   |
| 4.1 Ön Çalışmalar.....                                          | 49   |
| 4.2 İç hacim Belirleme Çalışmaları.....                         | 50   |
| 4.3 Soğutucu Akışkan Kütle Dağılım Deneyleri.....               | 51   |
| 4.3.1 10°C deneyleri .....                                      | 52   |
| 4.3.2 25°C deneyleri .....                                      | 55   |
| 4.3.3 32°C deneyleri .....                                      | 57   |
| 4.4 Değerlendirme .....                                         | 59   |
| 5. SONUÇLAR .....                                               | 73   |
| KAYNAKLAR .....                                                 | 77   |
| EKLER.....                                                      | 79   |



## KISALTMALAR

|              |                                    |
|--------------|------------------------------------|
| <b>Buh.</b>  | : Buharlaştırıcı                   |
| <b>CFC</b>   | : Kloroflorokarbon                 |
| <b>COP</b>   | : Soğutma Etkinlik Katsayısı       |
| <b>Çık.</b>  | : Çıkış                            |
| <b>GWP</b>   | : Küresel Isınma Potansiyeli       |
| <b>HC</b>    | : Hidrokarbon                      |
| <b>HCFC</b>  | : Hidrokloroflorokarbon            |
| <b>HFC</b>   | : Hidroflorokarbon                 |
| <b>Komp.</b> | : Kompresör                        |
| <b>KH</b>    | : Kontrol Hacmi                    |
| <b>LLM</b>   | : Sıvı Seviye Yöntemi              |
| <b>LNМ</b>   | : Sıvı Azot Yöntemi                |
| <b>Mhfz</b>  | : Muhafaza                         |
| <b>ODP</b>   | : Ozon Bozma Potansiyeli           |
| <b>PLC</b>   | : Programlanabilir Lojik Kontrolör |
| <b>QOMM</b>  | : Sanki Anlık Ölçüm Yöntemi        |
| <b>V</b>     | : Vana                             |
| <b>VCC</b>   | : Değişken Kapasite Kontrolü       |
| <b>WOT</b>   | : Tüp Üzerinde Tel (Wire on Tube)  |
| <b>Yoğ.</b>  | : Yoğuşturucu                      |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1.1 : Farklı tip soğutucu akışkanlar ve özellikleri .....                                                           | 2  |
| Çizelge 2.1 : Boşluk oranı korelasyonları.....                                                                              | 12 |
| Çizelge 2.2 : Farklı tekniklerle elde edilen soğutucu akışkan kütle miktarlarının karşılaştırılması [16] .....              | 25 |
| Çizelge 2.3 : Test şartları [12] .....                                                                                      | 27 |
| Çizelge 2.4 : Farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu akışkan kütle dağılımı [22].....                                        | 34 |
| Çizelge 3.1 : Deney düzeneğinde kullanılan vana özellikleri.....                                                            | 37 |
| Çizelge 3.2 : Soğutucu sistem bileşenleri ve genel özellikleri .....                                                        | 43 |
| Çizelge 3.3 : İşlem aşamaları ve vana konumları .....                                                                       | 44 |
| Çizelge 3.4 : Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarının hesaplanması                                             | 46 |
| Çizelge 4.1 : Soğutma bileşenleri iç hacim büyüklükleri .....                                                               | 51 |
| Çizelge 4.2 : Deney süreleri.....                                                                                           | 60 |
| Çizelge 4.3 : Farklı ortam sıcaklıklarında çalışma periyodu sonunda elde edilen soğutucu akışkan miktarları.....            | 61 |
| Çizelge 4.4 : 10°C ortam sıcaklığı deneylerinde ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanan entalpi değerleri ..... | 68 |
| Çizelge 4.5 : 25°C ortam sıcaklığı deneylerinde ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanan entalpi değerleri ..... | 68 |
| Çizelge 4.6 : 32°C ortam sıcaklığı deneylerinde ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanan entalpi değerleri ..... | 68 |
| Çizelge 4.7 : Farklı ortam sıcaklıklarında elde edilen COP değerleri .....                                                  | 70 |
| Çizelge 4.8 : Buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı miktarı .....                                       | 72 |
| Çizelge 5.1 : Sistem Bileşenlerindeki Soğutucu Akışkan Kütle Değişim Miktarları                                             | 74 |
| Çizelge A.1: Yoğunluk hesabı.....                                                                                           | 80 |
| Çizelge A.2: İç hacim verisi .....                                                                                          | 81 |
| Çizelge A.3: Kontrol hacimlerinde bulunan soğutucu akışkan miktarı hesaplama prosedürü .....                                | 81 |
| Çizelge A.4: Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarı .....                                                        | 82 |
| Çizelge A.5: Kompresör muhafazası içerisinde bulunan soğutucu akışkan miktarı .                                             | 82 |
| Çizelge A.6: Kompresör çıkış hattı içerisinde bulunan soğutucu akışkan miktarı....                                          | 82 |
| Çizelge A.7: Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarı (32°C ortam sıcaklığı, 487. saniye) .....                    | 83 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Bir soğutma çevriminin soğutucu akışkan miktarına bağlı değişimi [5]...                                        | 6  |
| Şekil 2.2 : Soğutma sistem şeması [6].....                                                                                 | 8  |
| Şekil 2.3 : Soğutucu akışkan miktarının soğutma kapasitesine etkisi [6] .....                                              | 9  |
| Şekil 2.4 : Farklı soğutucu akışkan miktarları için P - h diyagramı [6].....                                               | 10 |
| Şekil 2.5 : Farklı hızlarda hareket eden sıvı ve gaz akış kesit alanları [7] .....                                         | 11 |
| Şekil 2.6 : Yoğuşturucu soğutucu akışkan miktarı ölçüm prosedürü [10] .....                                                | 15 |
| Şekil 2.7 : Ölçüm tankı ve donanım şeması [12].....                                                                        | 16 |
| Şekil 2.8 : Kompresörde soğutucu akışkan miktarı ölçümü [12] .....                                                         | 18 |
| Şekil 2.9 : Björk deney düzeneği [16] .....                                                                                | 20 |
| Şekil 2.10: Yoğuşturucu ölçüm düzeneği şeması [17] .....                                                                   | 21 |
| Şekil 2.11: Buharlaştırıcı ölçüm düzeneği şeması [17] .....                                                                | 22 |
| Şekil 2.12: Bir çalışma ve durma periyodunda soğutucu akışkan dağılımı [16, 17].                                           | 24 |
| Şekil 2.13: Deneysel düzeneğin şematik yerleşimi [12].....                                                                 | 26 |
| Şekil 2.14: (a) Dış ortam hava debisine ve (b) Kompresör frekansına bağlı olarak soğutucu akışkan kütle dağılımı [12]..... | 27 |
| Şekil 2.15: Yük hücresi deney düzeneği [19, 20].....                                                                       | 29 |
| Şekil 2.16: Vana deney düzeneği [19, 20].....                                                                              | 29 |
| Şekil 2.17: Sürekli çalışma şartlarında soğutucu akışkan kütle dağılımı [19, 20].....                                      | 30 |
| Şekil 2.18: Çevrimsel çalışma şartlarında soğutucu akışkan kütle dağılımı [19, 20]                                         | 31 |
| Şekil 2.19: Toplam soğutucu akışkan miktarının buharlaştırıcıya etkisi [19, 20].....                                       | 32 |
| Şekil 3.1 : Genel şematik yerleşim .....                                                                                   | 36 |
| Şekil 3.2 : a) Manometre b) Valf adası c) Pnömatik vana.....                                                               | 37 |
| Şekil 3.3 : Ölçüm tankları .....                                                                                           | 38 |
| Şekil 3.4 : Pano ve PLC ünitesi .....                                                                                      | 39 |
| Şekil 3.5 : Veri toplama cihazı ve termokupl fiş ve priz panosu.....                                                       | 39 |
| Şekil 3.6 : Soğutucu kabin içerisine yerleştirilen ısıtıcı ve fan .....                                                    | 40 |
| Şekil 3.7 : Deney düzeneği ve soğutucu sistem.....                                                                         | 41 |
| Şekil 3.8 : Kompresör genel şeması [23].....                                                                               | 47 |
| Şekil 4.1 : Bir ölçüm periyodu boyunca basınç değişimi (Ortam sıcaklığı 10°C)....                                          | 52 |
| Şekil 4.2 : Bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi (Ortam sıcaklığı 10°C)                                           | 53 |
| Şekil 4.3 : Bir soğutma çevrimi boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı (Ortam sıcaklığı 10°C) .....                       | 54 |
| Şekil 4.4 : Bir ölçüm periyodu boyunca basınç değişimi (Ortam sıcaklığı 25°C)....                                          | 55 |
| Şekil 4.5 : Bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi (Ortam sıcaklığı 25°C)                                           | 56 |
| Şekil 4.6 : Bir soğutma çevrimi boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı (Ortam sıcaklığı 25°C) .....                       | 56 |
| Şekil 4.7 : Bir ölçüm periyodu boyunca basınç değişimi (Ortam sıcaklığı 32°C)....                                          | 58 |
| Şekil 4.8 : Bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi (Ortam sıcaklığı 32°C)                                           | 58 |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.9 :</b> Bir soğutma çevrimi boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı (Ortam sıcaklığı 32°C).....                                                      | 59 |
| <b>Şekil 4.10:</b> Farklı ortam sıcaklıklarında çalışma periyodu sonunda soğutucu akışkan kütle dağılımı .....                                                  | 61 |
| <b>Şekil 4.11:</b> 10°C ortam sıcaklığında buharlaştırıcı durumu.....                                                                                           | 62 |
| <b>Şekil 4.12:</b> 25°C ortam sıcaklığında buharlaştırıcı durumu.....                                                                                           | 63 |
| <b>Şekil 4.13:</b> 32°C ortam sıcaklığında buharlaştırıcı durumu.....                                                                                           | 63 |
| <b>Şekil 4.14:</b> 10°C ortam sıcaklığında yoğuşturucu durumu .....                                                                                             | 65 |
| <b>Şekil 4.15:</b> 25 °C ortam sıcaklığında yoğuşturucu durumu .....                                                                                            | 65 |
| <b>Şekil 4.16:</b> 32°C ortam sıcaklığında yoğuşturucu durumu .....                                                                                             | 66 |
| <b>Şekil 4.17:</b> Soğutma sistemi şematik yerleşimi .....                                                                                                      | 67 |
| <b>Şekil 4.18:</b> Coolpack programı ile çizdirilen P – h diyagramı.....                                                                                        | 69 |
| <b>Şekil 4.19:</b> Farklı ortam sıcaklıklarında buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı ( $q_{buh.}$ ) ve kompresör işi ( $w_{komp.}$ ) ..... | 70 |
| <b>Şekil 4.20:</b> Buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı ile buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarı arasındaki ilişki.....                 | 71 |

## SEMBOL LİSTESİ

|   |                                          |
|---|------------------------------------------|
| A | : Kesit Alanı [ $\text{m}^2$ ]           |
| D | : Çap [mm]                               |
| h | : Özgül Entalpi [kJ/kg]                  |
| m | : Soğutucu Akışkan Miktarı [g, kg]       |
| P | : Basınç [bar]                           |
| q | : Birim Kütle için Isı Geçişi [kJ/kg]    |
| Q | : Toplam Isı Geçişi [kJ]                 |
| S | : Kayma Oranı                            |
| s | : Entropi [kJ/kgK]                       |
| T | : Sıcaklık [ $^{\circ}\text{C}$ ]        |
| u | : Hız [m/s]                              |
| v | : Özgül Hacim [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ] |
| V | : Hacim [ $\text{m}^3$ ]                 |
| w | : Birim Kütle için İş [kJ/kg]            |
| W | : Toplam İş [kJ]                         |
| x | : Kuruluk Derecesi                       |

## Yunan Harfleri

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| $\varepsilon$ | : Boşluk Oranı                        |
| $\rho$        | : Yoğunluk [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] |

## Alt İndisler

|      |                  |
|------|------------------|
| buh. | : Buharlaştırıcı |
| g    | : Gaz            |
| hom  | : Homojen        |
| s    | : Sıvı           |
| i    | : i. pozisyon    |



# **SOĞUTUCU SİSTEMLERDE FARKLI ORTAM SICAKLIĞI ŞARTLARINDA SOĞUTUCU AKIŞKAN KÜTLE DAĞILIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Son yıllarda küresel ısınma konusunda gösterilen hassasiyet artarak devam etmektedir. Bu kapsamda performanstan ödün vermeden, enerji tüketimi düşük, çevreye duyarlı soğutma sistemlerinin tasarımı ve üretimi hız kazanmıştır. Montreal protokolüyle soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkan tipine getirilen kısıtlamalar sonucunda özellikle soğutucu akışkan üzerinde yapılan çalışmalar literatürde oldukça yer bulmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde soğutucu akışkan tipi, miktarı ve sistem içerisindeki dağılımının, soğutma sistemlerinin performansını etkilediği görülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında, tek kapılı evsel bir soğutucunun, mevcut durumdaki, soğutucu akışkan kütle dağılımının belirlenmesi amacıyla bir deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneğinde, soğutma sistemi, soğutma bileşenlerinin giriş ve çıkışlarına konumlandırılan vanalar aracılığıyla kontrol hacimlerine ayrılmıştır. Belirli anlarda, vanalar kapatılarak soğutucu akışkan ilgili kontrol hacmine hapsedilmekte ve daha sonra bir tank içerisinde kızgın buhar fazında genişmesi sağlanarak genişleme sonundaki termodinamik özelliklerin kullanılmasıyla ilgili soğutma bileşenine ait soğutucu akışkan miktarı tespit edilmektedir. Bu işlemin sürekli olarak yapılması sonucunda bir soğutma çevrimi periyodu boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kompresörün çalışmaya başlamasıyla buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan kütlesi sisteme dağılmakta ve bunun sonucunda diğer soğutma elemanlarının soğutucu akışkan miktarında artış meydana gelmektedir. Kompresörün enerjisinin kesilmesiyle birlikte yüksek basınçtaki yoğunlaştırıcı, filtre gibi bileşenlerde bulunan soğutucu akışkan kütlesi buharlaştırıcıda toplanmaktadır. Sistem içinde basınç dengesi sağlanana kadar devam eden bu süreç soğutucu akışkan göçü olarak tanımlanmaktadır.

Deneysel olarak soğutucu akışkan kütle dağılımının elde edilmesi, sağlam deney altyapısı ve fazla iş yükü gerektirmektedir. Ayrıca oldukça zaman alıcıdır. Bu sebeplerden dolayı, farklı dış ortam sıcaklığı şartlarının, soğutucunun soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkisi ile ilgili çalışmalar literatürde pek fazla yer almamaktadır. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının özgün yanı, farklı ortam sıcaklıklarının, soğutucu çalışma karakteristiğinde neden olduğu değişimlerin incelenerek, soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkilerinin ortaya çıkarılmasıdır. 3 farklı ortam sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde aynı ortalama kabin iç

sıcaklığı ve toplam soğutucu akışkan miktarı kullanılmıştır. Her bir ortam sıcaklığı deneyinde bir soğutma çevriminin soğutucu akışkan dağılımını yansıtabilecek sayıda ölçüm noktası alınarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

# **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF REFRIGERANT MASS CHARGE DISTRIBUTION IN REFRIGERATION SYSTEMS AT DIFFERENT AMBIENT TEMPERATURE CONDITIONS**

## **SUMMARY**

In recent years, the sensitivity about global warming issue has increased and still continues as increasingly manner. In this context, without compromising performance, low energy consumption, environmentally sensitive designs and refrigeration systems manufacturing has been accelerated. There are some restrictions on refrigerant type which is used in refrigerant systems coming with Montreal Protocol. As a result of this, the studies carrying on refrigerant mass charge have been available more in literature. These studies show that refrigeration systems performance is affected by refrigerant type, quantity and refrigerant mass charge distribution in system.

In this thesis, an experimental setup was established in order to determine refrigerant mass charge distribution of a single-door type domestic freezer. In the experimental setup, refrigeration system is divided to control volumes with using valves which are placed at refrigeration components' inlet and exit. Refrigerant is imprisoned to a control volume by closing valves at a cycle moment and then expansion process of refrigerant is carried in a tank with reaching superheated vapor state at the end of the expansion process. After the collection of charge in a tank, refrigerant mass charge amount is calculated by the use of thermodynamic properties at the end of expansion process. As a result of this process be performed continuously, refrigerant mass charge distribution was obtained during a refrigeration cycle period. According to results obtained, the start of compressor operation leads to a decrease in the amount of evaporator charge and an increase in the other components charge. The refrigerant mass charge of components at high pressure like condenser, drier moves to evaporator with compressor shut down. The moving process is defined as refrigerant migration and continues until the pressure equilibrium is reached.

The experimental determination of refrigerant mass charge distribution process requires a strong experimental infrastructure and very much effort. It is also very time consuming. Due to these reasons, studies about the effect of different ambient temperatures on refrigerant charge distribution don't take place more in literature. The distinctive part of this thesis is to emerge the effects of changing ambient temperature on refrigerant mass charge distribution by examine variations of refrigerator operation characteristic caused with changing issue. Experiments were carried out with the same average cabinet temperature and total amount of refrigerant mass charge at three different ambient temperatures. In each ambient temperature

experiment, results are investigated by taking enough measurement points which may reflect the refrigerant mass charge distribution in refrigeration cycle period.

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yerleşik hayata geçmesiyle birlikte yiyeceklerin uzun süre aynı tazelikte ve bozulmadan muhafaza edilme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Doğal yöntemlerle gerçekleştirilen soğutma bir süre sonra insanların ihtiyaçlarını karşılayamamış ve yapay yollarla soğutma yapılmaya başlanmıştır.

İskoç Profesör William Cullen'in 1748 de yaptığı ilk soğutma makinası, yapay soğutmanın başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Bu sistemle laboratuvar ortamında sonuçlar elde etmiş fakat bu sonuçları pratik olarak kullanmamıştır [1]. İlk pratik soğutma makinası ise 1834 yılından Jacob Perkins tarafından geliştirilmiştir. Perkins geliştirdiği soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak sülfirik eteri kullanmıştır. John Hague ise Perkins'in tasarımında bazı değişiklikler yaparak ilk buhar sıkıştırma soğutma sistemini tasarlamıştır. Amerikan mühendis Alexander Twining 1850 yılında soğutucu akışkan olarak eter kullandığı bir buhar sıkıştırma soğutma sisteminin patentini almıştır. Bu gelişmelerden sonra bir süre etil eter soğutucu akışkan olarak soğutma sistemlerinde kullanılmıştır. Atmosferik basınç ve normal sıcaklıkta etil eter sıvı fazında olduğundan dolayı ilk zamanlar kullanımı uygun bulunmuş, fakat izleyen senelerde eterin yüksek kaynama sıcaklığı, yanıcılık ve zehirleyicilik özelliklerinden dolayı karbondioksit ve amonyakın aracı akışkan olarak kullanılmasına başlanmıştır. Carl Von Linde 1873 yılında amonyak ile çalışan kompresör sistemlerini tanıtarak amonyakın soğutma sistemlerinde kullanılmasına ve yaygınlaşmasına öncülük etmiştir. Amonyak kolayca elde edilebilir ve ucuzdur. Fakat zehirleyici ve ağır bir kokusu mevcuttur. Ayrıca bakır gibi bazı alaşımlarla uyuşmamaktadır [2, 3].

İlk aşamalarda kullanılan bu akışkanlarda güvenlik yetersizliği probleminden dolayı birçok araştırmacı yeni soğutucu akışkanlar bulmaya veya elde etmeye yönelmiştir. Bunun üzerine sentetik soğutucu akışkanlar diye adlandırılan CFC'ler ortaya çıkmıştır. İlk ticari sentetik soğutucu akışkan olan R-12, CH<sub>4</sub> ve Cl'nin birleşmesi ile elde edilmiştir. CFC'lerin bulunması soğutma alanında bir devrim olmuş ve yeni soğutucu akışkanların elde edilmesine öncülük etmiştir (R-11, 12, 22 gibi.). Bu

soğutucu akışkanların kullanılmasıyla amonyak ve eterde görülen yanıcılık, zehirleyicilik ve malzemeye uyuşmama problemleri ortadan kalkmıştır. 1974 yılında Rowland ve Molina CFC`lerin ozon tabakasına zarar verdiğini iddia etmiştir. Bu iddia üzerine yapılan çalışmalar ve gözlemler, CFC`lerin ozon tabakasına zarar verdiğini doğrulamıştır. Montreal protokolüyle sorun uluslararası düzeyde görüşülmüş ve bu protokol sonunda CFC`lerin kullanımının azaltılmasına karar verilmiştir. 2000 yılından itibaren ise tamamen yasaklanması öngörülmüştür [3].

Bu karardan sonra Ozon tabakasına zarar vermeyen soğutucu akışkan temini gereksinim haline gelmiştir. Bunun üzerine HCFC diye adlandırılan, CFC`lere göre daha az ozon tabakasına zarar verme potansiyeline sahip soğutucu akışkanlar ortaya çıkmıştır. HCFC`ler, ozon tabakasına çok az da olsa zarar vermektedirler. Bu yüzden, ozon tabakasına zarar vermeyen bir soğutucu akışkan bulunana kadar, Montreal protokolüyle, HCFC`lerin kullanımına 2030 yılına kadar izin verilmiştir. Avrupa da ise 2004 yılından itibaren yasaklanmıştır. Bu yüzden, Avrupa`da, ozon bozma potansiyeli (ODP) değeri sıfır, küresel ısınma potansiyeli (GWP) değeri yüksek olan HFC adı verilen soğutucu akışkanlar üretilmeye başlanmıştır (HFC-152a için GWP=140, HFC-134a için GWP=1600) [4].

**Çizelge 1.1:** Farklı tip soğutucu akışkanlar ve özellikleri

| Soğutucu Akışkan | Grup            | Atmosferik Ömür (Yıl) | ODP  | GWP  |
|------------------|-----------------|-----------------------|------|------|
| R11              | CFC             | 130                   | 1    | 4000 |
| R12              | CFC             | 130                   | 1    | 8500 |
| R22              | HCFC            | 15                    | 0,05 | 1500 |
| R134a            | HFC             | 16                    | 0    | 1300 |
| R404a            | HFC             | 16                    | 0    | 3260 |
| R410a            | HFC             | 16                    | 0    | 1720 |
| R507             | HFC             | 130                   | 1    | 3300 |
| R717             | NH <sub>3</sub> | -                     | 0    | 0    |
| R744             | CO <sub>2</sub> | -                     | 0    | 1    |
| R290             | HC              | <1                    | 0    | 8    |
| R600a            | HC              | <1                    | 0    | 8    |

HFC`lerin ODP değerlerinin düşük olmasına karşın GWP değerlerinin yüksek olması tam anlamıyla kabul görmemesine sebep olmuş ve çevresel açıdan daha uygun bir soğutucu akışkan arayışına devam edilmesine neden olmuştur. Bunun üzerine gerek GWP gerekse ODP değerleri düşük olan hidrokarbonların (HC) soğutucu akışkan olarak kullanılması uygun bulunmuştur. Soğutucu özelliğinin yanında HC`lerin yanıcı özelliğinin olması bir dezavantaj olsa da düşük miktarlarda kullanımının çok

tehlike oluşturmayaacağı görülmüştür. Bu sebepten ötürü, soğutucu akışkan olarak HC`lerin, evsel soğutucularda kullanımları oldukça yaygındır.

Soğutma sistemlerinde performansı etkileyen en önemli unsurlardan biri kullanılan soğutucu akışkan kütle miktarı ve dağılımıdır. Bir sistemde veya soğutma bileşeninde bulunan soğutucu akışkan kütlesi, şarj olarak tanımlanmaktadır.

Bir ev tipi soğutma sisteminin toplam soğutucu akışkan miktarı, minimum enerji tüketim değerini sağlayacak şekilde 25°C dış ortam sıcaklığında belirlenmektedir. Ortam sıcaklığının 25°C den büyük veya küçük olduğu durumlarda, sistemin toplam soğutucu akışkan miktarına dışarıdan müdahale edilemeyeceğinden aynı miktarda soğutucu akışkan, sistem içerisinde optimumdan farklı dağılım oranları göstermektedir. Bu durum sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, farklı dış ortam sıcaklıklarında sistem toplam soğutucu akışkan miktarının soğutma bileşenleri arasındaki dağılımının görülebilmesi amacıyla bir deney düzeneği kurulmuştur. Test edilecek ürünler düzeneğe bağlanarak, farklı zamanlardaki, sistemin soğutucu akışkan kütle dağılımı belirlenmeye çalışılmıştır.



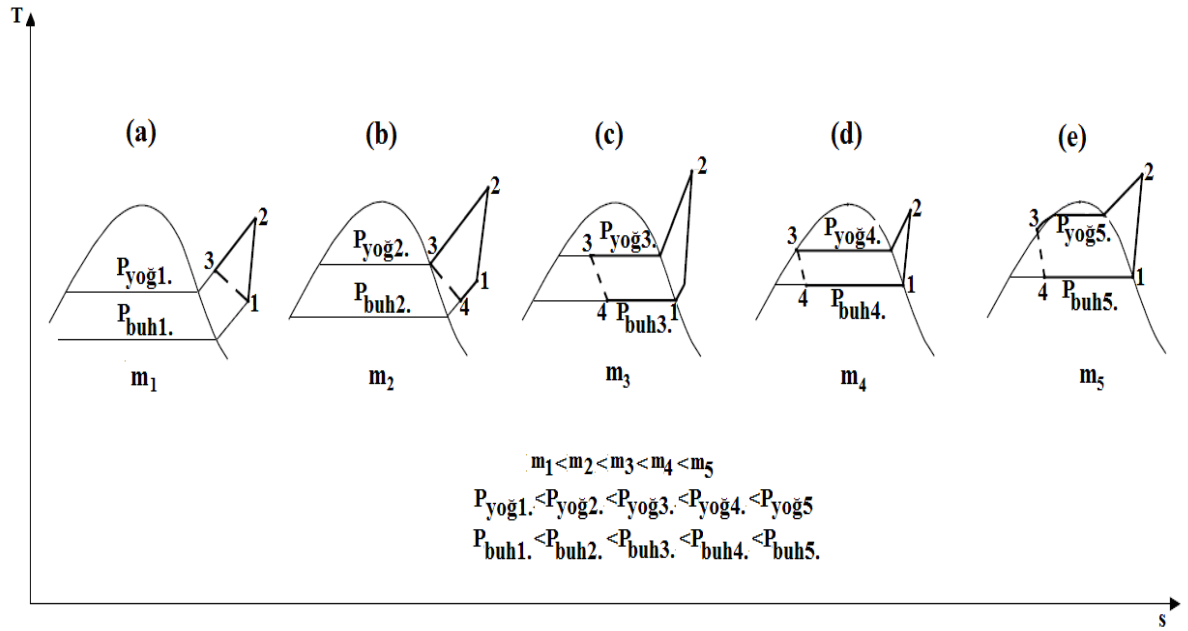
## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ev tipi soğutucularda; verimin yüksek ve sistemin basit ve ekonomik olması sebebiyle buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri tercih edilmektedir. Genel olarak kompresör, yoğusturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcıdan oluşan bu sistemlerde soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda sabit basınçta gaz fazına geçerken ısı çekmesiyle ortamda soğutma sağlanmaktadır. Evsel soğutucularda soğutma işlemi termostat vasıtasıyla kontrol edilerek kesintili bir çalışma oluşturulmaktadır. Kesintili çalışmadan kasıt, kompresörün çalışıp çalışmamasına bağlı olarak bir soğutma çevriminin çalışma ve durma periyotları diye adlandırılan iki aşamada tamamlanmasıdır. Çalışma periyodunda, kompresör termostat vasıtasıyla enerjisi kesilene kadar çalışmakta ve soğutucu akışkanı sisteme dağıtmaktadır. Durma periyodunda ise, kompresör çalışmadığından dolayı sistem kendi içinde dengelenmektedir. Bu dengeleme işlemi sırasında, yoğusturucu ve buharlaştırıcıdaki basınç farkından dolayı soğutucu akışkan kütle dağılımı değişmektedir. Soğutucu akışkan, bir soğutucunun performansını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu sebeple birçok araştırmacının çalışma konusu olmuştur.

### 2.1 Soğutucu Akışkan Miktarının Performansa Etkisi

Soğutma makinalarında optimum soğutucu akışkan miktarını belirlemek amacıyla, Vjacheslav [5], yaptığı çalışmada sistem performansının soğutucu akışkan miktarıyla doğrudan ilişkili olduğunu öne sürmüştür. Soğutucu akışkan miktarının artmasıyla beraber soğutma etkinlik katsayısında da (COP) bir artış gözlenmekte, belli bir soğutucu akışkan miktarına gelindikten sonra ise COP'de azalma meydana gelmektedir. COP'de azalmanın yaşandığı ilk yer optimum nokta olarak tayin edilmiştir. Bir sisteme ne kadar soğutucu akışkan verileceği tasarım aşamasında tam olarak bilinmemektedir. Soğutucu akışkan miktarına bağlı olarak çevrim ve sistem performansının, soğutma çevrimine bağlı olarak nasıl değiştiği Şekil 2.1'de gösterilmiştir. İlk olarak çok düşük soğutucu akışkan miktarı ile başlanarak üçgen çevrim diye tabir edilen (a) şıkkındaki çevrim ortaya çıkmıştır. Bu durumda, çok

düşük soğutucu akışkan miktarından dolayı kompresör istenen yüksek basıncı sağlayamamaktadır. Bu yüzden, gaz fazındaki soğutucu akışkan, yoğuşturucu çıkışında ortam sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta hala gaz fazındadır. Kısılma vanası çıkışında gaz fazındaki soğutucu akışkan buharlaştırıcıda herhangi bir faz değişimine uğramayarak çevrimi bu şekilde tamamlamaktadır. Buharlaştırıcıdaki akışkan kabinden ısı çekemediği için soğutma gerçekleşmemektedir. Bu durumda, tüm sistem içerisindeki soğutucu akışkan gaz fazında olduğundan, ideal gaz şartları varsayımıyla sistem içerisindeki soğutucu akışkan miktarı hesaplanabilmektedir [5].

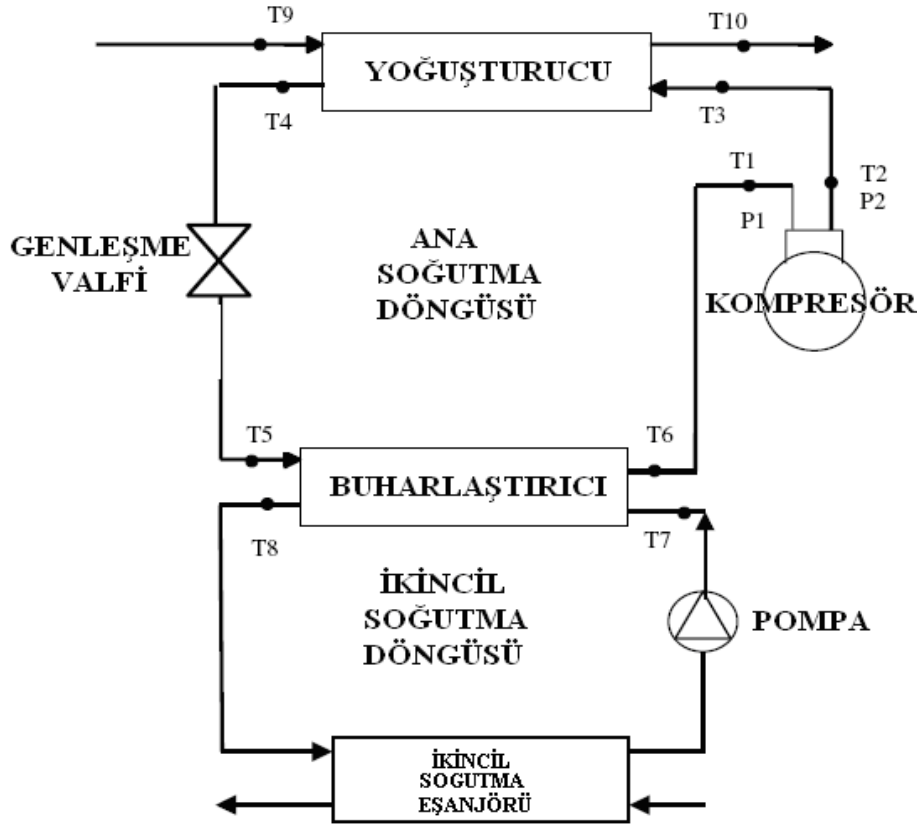


**Şekil 2.1:** Bir soğutma çevriminin soğutucu akışkan miktarına bağlı değişimi [5]

Soğutucu akışkan miktarının biraz artırılmasıyla yoğuşturucudan ayrılan soğutucu akışkanın yoğuşma sıcaklığına ulaşması sağlanır. Bu durumda, kısılma işleminde genleşme valfinden ayrılan soğutucu akışkanın sıcaklığının bir miktar azaldığı ve ayrıca yoğuşturucu basıncının ilk duruma göre (Şekil 2.1a) daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Fakat soğutma kapasitesi çok düşüktür. Soğutucu akışkan miktarının bir miktar daha artırılması yoğuşturucu çıkışını iki fazlı bölgeye getirmektedir (Şekil 2.1c). Fakat soğutucu akışkan tamamen yoğuşmamıştır; yani doymuş sıvı fazda değildir. Genleşme valfine giren soğutucu akışkanın ıslak buhar olmasından dolayı sıcaklık ve basıncındaki azalmalar önceki durumlara göre daha fazladır. Soğutma olmasına karşın, buharlaştırıcıda ki soğutucu akışkan debisinin düşük olması sebebiyle, yeterli değildir.

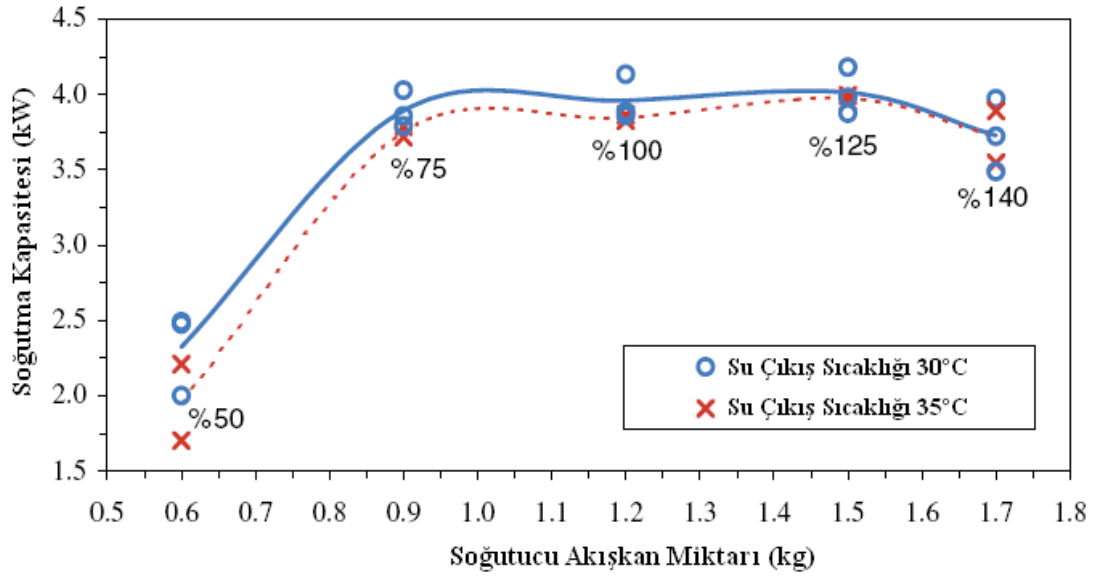
Şekil 2.1d` de ise soğutucu akışkan miktarının bir miktar daha artırılması durumunda yoğuşturucu çıkışının tamamen yoğuşarak doymuş sıvı fazına ulaştığı görülmektedir. Bu durumda kısılma işlemiyle, buharlaştırıcıda istenilen sıcaklık ve basınç değerleri elde edilebilmektedir. Bu soğutucu akışkan miktarıyla sistem düzgünce çalışabilir. Fakat ortam sıcaklığındaki değişimlerden dolayı sistem düzgün bir çalışma sergileyemeyebilir. Bunu önlemek için sisteme bir miktar daha soğutucu akışkan verilmektedir (Şekil 2.1.e). Bu durumda, kısılma vanası girişinde soğutucu akışkanın doymuş sıvı fazda kalması sağlanır. Böylece kısılma vanası girişinde, ortam sıcaklığından kaynaklanabilecek, soğutucu akışkanın ıslak buhar ve doymuş sıvı faz arasındaki bir halde oluşumu engellenerek en uygun soğutma şartları sağlanmaktadır. Sisteme daha fazla soğutucu akışkan verilmesine devam edildiğinde yoğuşturucu içerisinde daha fazla sıvı fazda soğutucu akışkan birikir. Bu durumda, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı basınçları artar, kompresör işinde ciddi artış yaşanır ve soğutma kapasitesinde düşüş tespit edilir.

Grace [6], yaptığı çalışmada soğutucu akışkan miktarının bir soğutma tesisatına olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler 4 kW nominal soğutma gücüne sahip, bünyesinde bir chiller bulunan soğutma grubu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ana soğutma döngüsünde soğutucu akışkan olarak R404a, ikincil döngüde ise su/gliserin karışımı kullanılmıştır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2:** Soğutma sistem şeması [6]

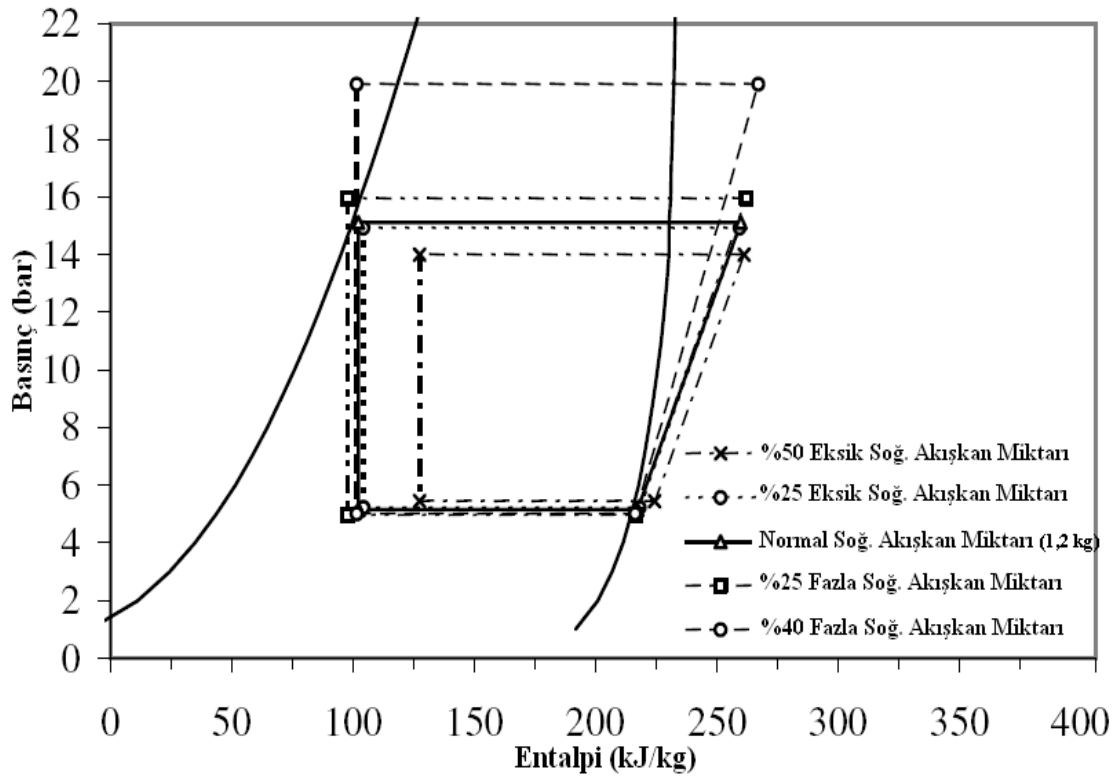
Tasarım aşamasında sistemde 1,2 kg R404a soğutucu akışkanı bulunmaktadır. Deneyler sırasında soğutucu akışkan miktarı 0,6 kg -1,7 kg aralığında değiştirilerek soğutucu akışkan miktarının sisteme olan etkisi, 30°C ve 35°C su çıkışı sıcaklıklarında incelenmiş ve Şekil 2.3'te sunulmuştur. (Soğutma tesisatında bulunan yoğuşturucu ısı atma işlevini suya gerçekleştirmektedir.)



**Şekil 2.3:** Soğutucu akışkan miktarının soğutma kapasitesine etkisi [6]

Şekil 2.3'ten görülebileceği üzere, 0,6 kg soğutucu akışkan miktarı, tasarım değeri 1,2 kg'dan, %50 eksik durumu, 1,7 kg soğutucu akışkan miktarı ise, tasarım değeri 1,2 kg'dan, %40 fazla durumu göstermektedir. Soğutucu akışkan miktarının %25 eksik veya fazla olması durumunda soğutma kapasitesi hemen hemen sabittir. Fakat %50 eksik durumda (0,6 kg) ise soğutma kapasitesinde belirgin bir düşüş söz konusudur.

Şekil 2.4'te farklı soğutucu akışkan miktarlarının soğutma çevrimine olan etkisi verilmiştir. Soğutucu akışkan miktarının değişimi, yoğuşturucunun sıcaklığını ve basıncını buharlaştırıcıdakinden daha çok etkilediği grafikten açıkça görülmektedir. Bu test şartları için, tasarım şartlarındaki 1,2 kg soğutucu akışkan miktarından %25 daha az soğutucu akışkan kullanılması durumunda yoğuşturucuda tam yoğuşma sağlanamamaktadır.



**Şekil 2.4:** Farklı soğutucu akışkan miktarları için P - h diyagramı [6]

## 2.2 Soğutucu Akışkan Miktarı Belirleme Metotları

Bir soğutucuda bulunan toplam soğutucu akışkan miktarı, her bir soğutma bileşeninin işlevini yerine getirebilmesi amacıyla sistem içerisinde paylaşılmaktadır. Soğutma bileşeni bazında bu paylaşım miktarını belirlemek amacıyla çeşitli teorik ve deneysel yöntemler mevcuttur.

### 2.2.1 Teorik yöntemler

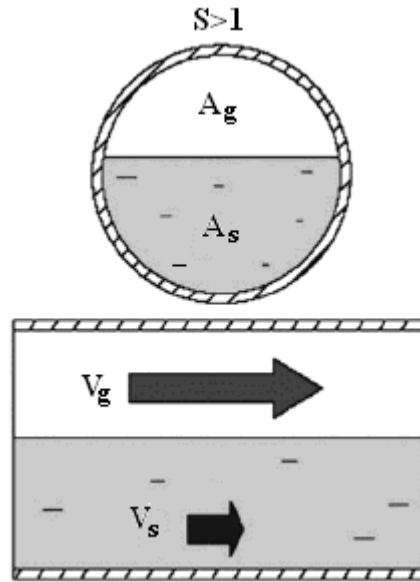
Soğutucu sistem içerisindeki soğutucu akışkan, sistemi oluşturan bileşenler içerisinde farklı fazlarda dolaşmaktadır. Soğutma sistemi buna uygun olarak ayrılırsa:

- Tek fazlı soğutucu akışkan içeren bileşenler (sıvı veya gaz): Kompresör, kompresör dönüş hattı, filtre
- İki fazlı soğutucu akışkan içeren bileşenler (sıvı ve gaz): Isı değiştiricileri, kılcal boru hattı

Soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi aşamasında en kritik bölgeler tamamen sıvı ya da iki fazlı soğutucu akışkan içeren elemanlardır. Sıvı fazında soğutucu akışkanın yoğunluğu yüksek olduğundan ötürü çok küçük bir hacimde yüksek

değerler elde edilebilmektedir. Sıvı fazın bu özelliğinden dolayı bir dezavantaja sahip olsa da hesaplanması kolaydır. İki fazlı soğutucu akışkan için en büyük zorluk faz dağılımının tam olarak bilinmemesidir. Bu sebeple soğutucu akışkan kütle miktarı hesaplamalarında en büyük güçlük bu kısımda yaşanmaktadır. İki fazlı akışın gerçekleştiği bölgede, gaz akış kesit alanının sıvı akış kesit alanına olan oranın bilinmesi gerekmektedir. Bu oran hacimsel orandan, debi ve yoğunluk oranlarından farklıdır. Bu farklılık, sıvı ve gaz akış kesit alanlarının farklı hızlara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. (Şekil 2.5).

İki fazlı akış formunda soğutucu akışkan miktarının belirlenebilmesi için boşluk oranına ihtiyaç vardır. Boşluk oranı,  $\epsilon_g$ , iki fazlı akışta ortalama gaz hacimsel oranı olarak tanımlanmaktadır.



**Şekil 2.5:** Farklı hızlarda hareket eden sıvı ve gaz akış kesit alanları [7]

Bir iki fazlı akış içerisinde  $i$ . konumdaki  $dV_i$  elemanter hacimde boşluk oranı şu şekilde tanımlanır:

$$\epsilon_{gi} = \frac{dV_{g,i}}{dV_i} \quad (2.1)$$

Boşluk oranının bilinmesi halinde soğutucu akışkan miktarı şu şekilde hesaplanır:

$$m = \int_0^V [\epsilon_g \rho_g + (1 - \epsilon_g) \rho_s] dV \quad (2.2)$$

İki fazlı akışlarda, soğutucu akışkan miktarının hesaplanması için boşluk oranı bilgisine ihtiyaç vardır. Boşluk oranının tespiti ise oldukça karmaşık ve pahalı yöntemlerle mümkündür. Bu sebeple, genellikle kuruluk derecesi ile ilişkilendirilmektedir (Denklem (2.3)).

$$\varepsilon_{gi} = \frac{1}{1 + S_i \frac{(1 - x_i) \rho_g}{x_i \rho_s}} \quad (2.3)$$

Denklem (2.2) içerisindeki kayma oranı ( $S_i$ ) gaz akış kesit alanı hızının sıvı akış kesit hızına oranı olarak tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$S_i = \frac{u_{gi}}{u_{si}} \quad (2.4)$$

Boşluk oranı ve kayma oranının belirlenmesi amacıyla belirli kabuller altında oluşturulan korelasyonlar kullanılmaktadır. En basit yaklaşım, akışı homojen kabul ederek ortalama sıvı akış kesit alanı hızının ortalama gaz akış kesit alanı hızına eşitlenmesi sonucunda, kayma oranının,  $S_i=1$  elde edilmesidir. Bunun sonucunda Denklem (2.3) yeniden düzenlenirse Denklem (2.5)'deki bağıntı elde edilir

$$\varepsilon_{\text{hom}} = \frac{1}{1 + \frac{(1 - x) \rho_g}{x \rho_s}} \quad (2.5)$$

Belirli kabuller altında yapılmış ve belli parametrelere bağlı birçok boşluk oranı korelasyonları bulunmaktadır. Rice, çalışmasında homojen akış kabulünün dışında 3 parametreye bağlı olarak bunları sınıflandırmıştır [8].

**Çizelge 2.1:** Boşluk oranı korelasyonları

| <b>Kayma Oranına Bağlı Korelasyonlar</b> | <b>Kütle Akısına Bağlı Korelasyonlar</b> | <b>Lockhart Martinelli Katsayısı</b> |
|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Rigot ve Ahrens/Thom(1973)               | Tandon(1985)                             | Lockhart Martinelli(1949)            |
| Zivi(1964)                               | Premoli(1971)                            | Baroczy(1965)                        |
| Smith(1969)                              | Hughmark(1962)                           |                                      |

Rice [8], yoğuşturucudaki soğutucu akışkan miktarının modellenmesi konusunda literatürde bulunan mevcut modelleri kullanarak deneysel çalışmalarla karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda en uygun boşluk oranı korelasyonlarının Hughmark, Premoli, Tandon ve Baroczy olduğu sonucuna varmıştır. Bunlar içerisinde ise en iyi ortalama sonuçlara Premoli boşluk oranını kullanarak ulaştığını belirtmiştir.

Premoli boşluk oranı, sıvı yoğunluğu tahmin hatalarının minimize edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Yoğunluk farklarından gelecek bir hata, soğutucu akışkan miktarı tahminlerini etkileyeceği için, bu tarzda bir yaklaşım, yapılacak uygulamalar için uygun olmuştur. Kayma oranı,  $S$ , hesaplanmakta ve Denklem (2.2)'de verilen ana denklemde yerine konularak boşluk oranı bulunmaktadır.

### 2.2.2 Deneysel yöntemler

Önceki bölümde bahsedildiği üzere iki fazlı akış formunda soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi oldukça karmaşıktır. Belirli kabuller altında, boşluk oranı korelasyonları kullanılarak gerçekleştirilen bu şekildeki soğutucu akışkan miktarı hesaplamaları modelleme ve simülasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Teorik hesaplamalara göre elde edilen verilerin doğruluğunun görülmesi ve çalışma şartlarında soğutucu akışkan miktarının tespiti amacıyla deneysel yöntemler geliştirilmiştir.

Farklı teknikler kullanılarak soğutma sistemini oluşturan elemanların soğutucu akışkan miktarı deneysel olarak ölçülebilmektedir. İki temel teknik bulunmaktadır:

- Vana Tekniği (Quick Closing Valve Technique)
- Anlık Ölçüm Metodu (On-Line Measurement Method)

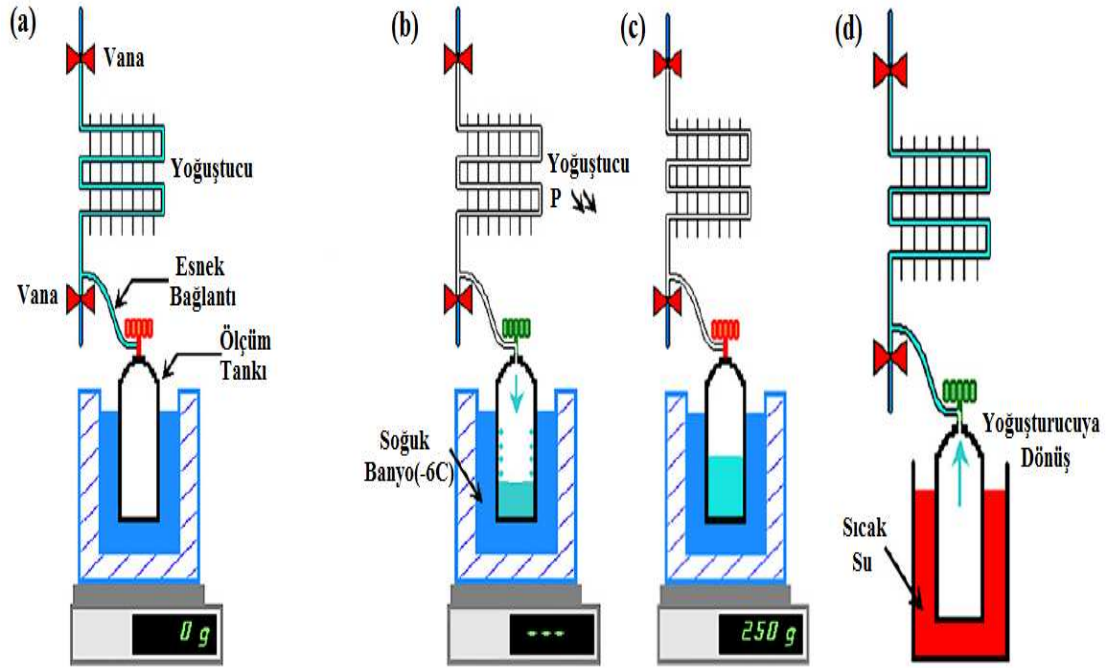
Çalışan bir soğutma sistemi için bu tekniklerin uygulanması oldukça zahmetli ve zordur. İki ölçüm yönteminin de birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Vana tekniğinde, sistemi oluşturan buharlaştırıcı, yoğuşturucu gibi elemanlar vanalar vasıtasıyla birbirinden ayrılmıştır. Soğutma sisteminin herhangi bir çalışma anında, vanalar kapatılarak soğutucu akışkan bir hacme hapsedilmektedir. Vanalar vasıtasıyla ilgili hacim içerisinde kalan soğutucu akışkan daha sonra tartılmaktadır. Tartma işlemi için farklı yöntemler geliştirilmiştir [7].

Bu yöntemlerden birinde, soğutma bileşeni içerisinde kalan soğutucu akışkan, tartma işleminin yapılabilmesi amacıyla bir ölçüm tankına aktarılmaktadır. Machado [9], bu yöntemle, buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun soğutucu akışkan miktarını ölçmüş ve bunun için deneysel bir prosedür izlemiştir:

- Vakumlanmış ve buz içerisinde soğutulmuş olan ölçüm tankı, soğutucu akışkan miktarı ölçülecek soğutma bileşenine vanası kapalı vaziyette bağlanır. Daha sonra soğutma bileşenin vanaları kapatılır ve ölçüm tankının vanası açılır.
- Soğutucu akışkanın bir kısmı ölçüm tankına girer ve düşük sıcaklıktan dolayı yoğuşmaya başlar. Ölçümü yapılan bileşen ısıtılarak içerisinde ki soğutucu akışkanın buharlaşması sağlanır. Böylece tüm soğutucu akışkanın ölçüm tankı içerisine girmesi amaçlanır.
- Basınç farkı sebebiyle soğutucu akışkan ölçüm tankına hareket etmektedir (soğutucu akışkan göçü). Isıl denge ve benzer basınç değerlerine ulaşıldığında, soğutma bileşeni ve ölçüm tankı arasındaki vana kapatılır.
- Bu işlemlerin sonunda, ölçüm tankı tartılır. Ölçüm tankının ağırlığının sabit ve bilinmesi sebebiyle, aradaki fark soğutma bileşenin soğutucu akışkan miktarını verir. Bileşen içerisindeki soğutucu akışkanın tamamının ölçüm tankı içerisine alınması amaçlansa da bir miktar soğutucu akışkan (kızgın buhar fazında), bileşen içerisinde kalır. Kalan bu miktar, bilinen bileşen hacminde, termodinamik (P, V, T) özelliklerden yararlanılarak bulunur. Bulunan bu değer, tartma ile elde edilen miktar üzerine eklenerek bileşenin soğutucu akışkan miktarı bulunur.

Bu şekilde gerçekleştirilen ölçümlerde en büyük dezavantaj, ölçüm tankının sisteme bağlanması ve kaldırılması sırasında meydana gelen soğutucu akışkan sızıntılarıdır. Marinhas [10], yoğuşturucu üzerinde yaptığı çalışmalarda bu deney yöntemini kullanmıştır. Deney yönteminde bir geliştirme yaparak ölçüm tankını, sürekli yoğuşturucuya bağlı vaziyette tutmuştur. (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6:** Yoğuşturucu soğutucu akışkan miktarı ölçüm prosedürü [10]

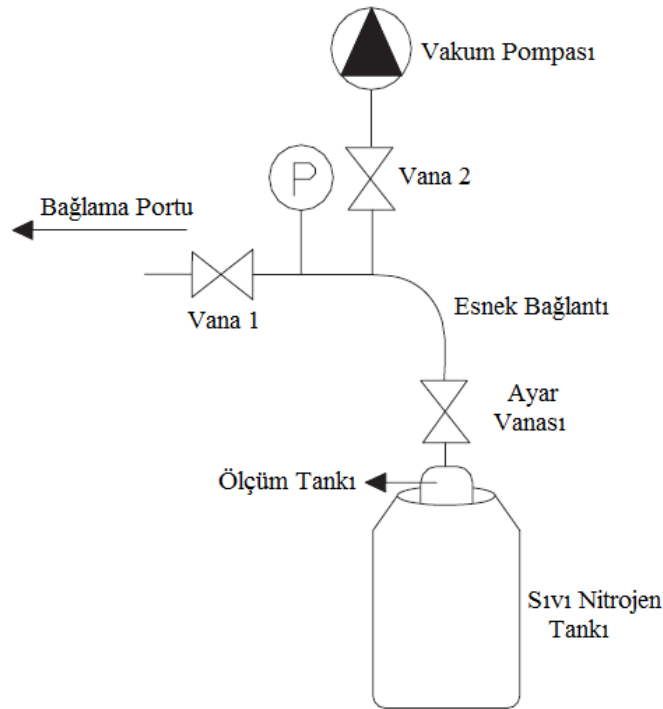
Marinhas [10], yaptığı çalışmada, soğuk banyo içerisindeki ölçüm tankını, yoğuşturucuya bağlı vaziyette bir terazi üzerinde konumlandırmaktadır (Şekil 2.6). Yoğuşturucunun giriş ve çıkışındaki iki vana belirlenen bir anda kapatılarak soğutucu akışkan o hacme hapsedilmektedir (Şekil 2.6a). Ölçüm esnasında tankın önündeki vana açılarak, soğutucu akışkanın, basıncı ve sıcaklığı yoğuşturucuya göre daha düşük olan tanka hareket etmesi sağlanmıştır (Şekil 2.6b). Soğutucu akışkanın tanka transferi tamamlandığında soğutucu akışkan miktarı ölçülmekte ve ölçüm işlemi bittikten sonra ise sıcak banyo vasıtasıyla soğutucu akışkan tekrar yoğuşturucuya gönderilmektedir (Şekil 2.6c-d).

Mulroy ve Didion [11], Ding ve ekibi [12], Hrnjak [13, 14, 15] ölçüm anında soğutma bileşeninden mümkün olan en fazla soğutucu akışkanı çekmek amacıyla, ölçüm tankında çok düşük basınç ve sıcaklık ( $-100^{\circ}\text{C}$  civarı) ortamı oluşturmak üzere, soğuk banyo için sıvı azotu tercih etmişlerdir. Sistem esasında vana tekniği olmakla birlikte Ding bu yöntemi çalışmasında sıvı azot yöntemi (LNM, liquid nitrogen method) olarak tanıtmıştır. Machoda'nun çalışmasında olduğu gibi soğutucu akışkan miktarı, bileşenden çekilen soğutucu akışkanın düşük sıcaklık ve basınçtaki bir ölçüm tankına alınıp tartılarak ölçülen değerin, vakum halindeki ölçüm tankı ağırlığından çıkarılması sonucunda elde edilmektedir. Bileşen içerisinde arta kalan

soğutucu akışkan miktarı ise ölçüm sonundaki basınç, sıcaklık ve bileşen hacim büyüklüğü verisinden yararlanılarak hesaplanıp ölçüm sonucu elde edilen soğutucu akışkan miktarı üzerine eklenmektedir. Tank içerisindeki soğutucu akışkanın miktarı tespit edildikten sonra kaynar su banyosu ile sisteme tekrar gönderilmektedir. Ding, LNM ile yapılan soğutucu akışkan miktarı ölçüm deneylerinin doğruluğunun yüksek olmasına karşın, her ölçümden sonra toplam soğutucu akışkan miktarının yenilenmesi gerektiğinden zaman alıcı olduğunu ifade etmiştir.

Ding ve arkadaşları [12], anlık ölçüm yöntemi ve LNM'nin avantaj ve dezavantajlarına dikkat çekerek “sanki anlık ölçüm yöntemi (quasi online measurement method)” adı verdikleri bir yöntem ile soğutucu akışkan miktarı belirleme çalışmalarını yürütmüşlerdir. LNM'nin doğruluğunu, anlık yöntemin ise kısa süredeki ölçüm eldesini, geliştirdikleri bu yöntemle uygulamayı ümit etmişlerdir.

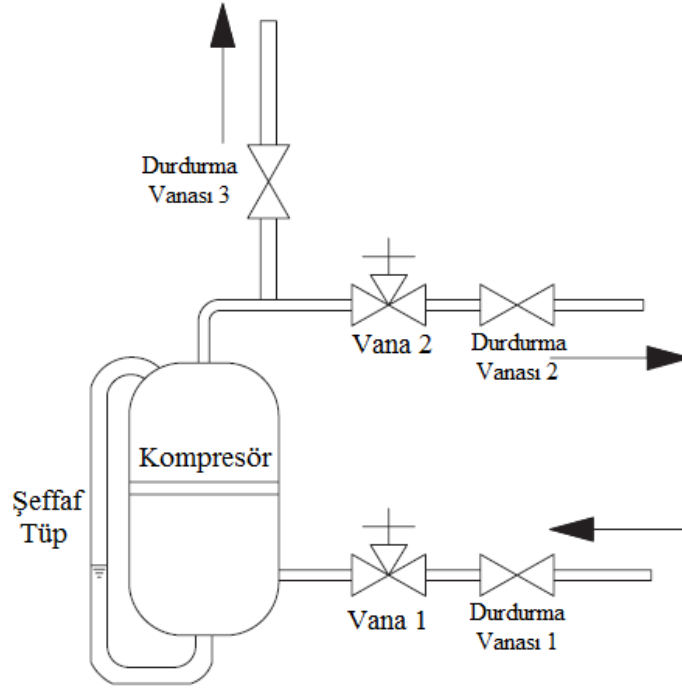
Bu yöntemin elemanları ve bağlama modu Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Ölçüm tankının soğutma sisteminden sık sık kaldırılmasının önüne geçmek amacıyla bir esnek boru hattı, sistem ile tank arasında bağlantıyı sağlamak üzere yerleştirilmiştir. Vana tekniğinden tek farkı ölçüm tankının sürekli olarak soğutma sistemine bağlı kalmasıdır.



**Şekil 2.7:** Ölçüm tankı ve donanım şeması [12]

Ölçüm şekli diğer vana tekniği yöntemlerinde olduğu gibidir. Sistem sürekli hal şartlarına ulaştığında soğutucu akışkan bileşenden ölçüm tankına alınarak tartılır. Ölçüm tankının boş hali ile ölçüm sonunda tartma suretiyle elde edilen değerin farkı o soğutma bileşeninin soğutucu akışkan miktarını vermektedir. Bu işlemler tank sisteme bağlıyken yapılmaktadır. Ölçüm tankının üzerinde bulunan vanalarla soğutucu akışkana yön verilmektedir. Ölçüm sonunda soğutucu akışkanın yeniden sisteme verilmesinden sonra vakum pompası ile tank içerisinde arta kalan soğutucu akışkan tahliye edilerek bir sonraki ölçüm için hazır hale getirilmektedir. Eksilen soğutucu akışkan miktarı her ölçüm sonunda sisteme eklenmektedir.

Ding [12], ısı değiştiricileri haricindeki diğer soğutma sistemini oluşturan bileşenlerin de soğutucu akışkan miktarını ölçmüştür. Kompresördeki soğutucu akışkan miktarının ölçümü sırasında kompresör yağının da ölçüm tankına geleceğini dikkate alarak kompresöre şeffaf bir cam tüp yerleştirmiştir. Yağın ölçüm tankına gelmesini engelleyecek şekilde şeffaf tüp içerisinde yükselmesine izin vererek ölçüm işlemini gerçekleştirmiştir. Şekil 2.8`de kompresörde soğutucu akışkan miktarının ölçümünü gerçekleştirmek üzere hazırlanan deney şeması verilmiştir. Sistem test şartlarına ulaştığında Vana1, Vana2 ve durdurma vanaları kapatılır. Ölçüm tankı sıvı azot banyosu içerisine yerleştirildikten sonra durdurma vanası 3 açılarak soğutucu akışkan ölçüm tankına alınır. Bu esnada yağın şeffaf tüpte yükselmesine izin verilir. Tüpte en üst noktaya ulaştığında durdurma vanası 3 kapatılır.



**Şekil 2.8:** Kompresörde soğutucu akışkan miktarı ölçümü [12]

Tüp içerisinde yağın yüksekliği düşmeye başladığı ve stabil olduğu anda durdurma vanası 3 tekrar açılır. Kompresör içerisindeki soğutucu akışkan miktarı bu şekilde ölçülür.

Filtre ve borularda bulunan soğutucu akışkan miktarının ölçümü için Ding [12] sanki anlık ölçüm yönteminin kullanılabileceğini belirtmiştir. Filtre ve borularda tek fazlı soğutucu akışkan bulunduğu zaman, yoğunluk kolayca belirlenebildiğinden, bu elemanlardaki soğutucu akışkan miktarı kolayca hesaplanabilmektedir. Akü ve sıvı tankında bulunan soğutucu akışkan miktarının belirlenmesinde ise Ding, sıvı seviye yöntemi (LLM) adını verdiği elamanlardaki sıvı soğutucu akışkan yüksekliğinin ölçülmesine dayanan bir yöntemle soğutucu akışkan miktarını belirlemektedir. Aynı büyüklükteki iki bileşen (akü veya sıvı toplama tankı) hazırlanarak biri soğutma sistemine bağlanırken diğerinde ise sıvı seviyesine bağlı olarak bileşenin hacmi hesaplanarak sıvı seviyesi ile hacim arasında ilişki kurulmaktadır. Bu işlem deneyler başlamadan önce yapılmaktadır. Bileşenlerde hem sıvı hem de gaz fazında soğutucu akışkan bulunabileceğinden gazın miktarını belirlemek üzere basınç ve sıcaklık transdüserlerinin ölçtüğü verilerden yararlanılmaktadır.

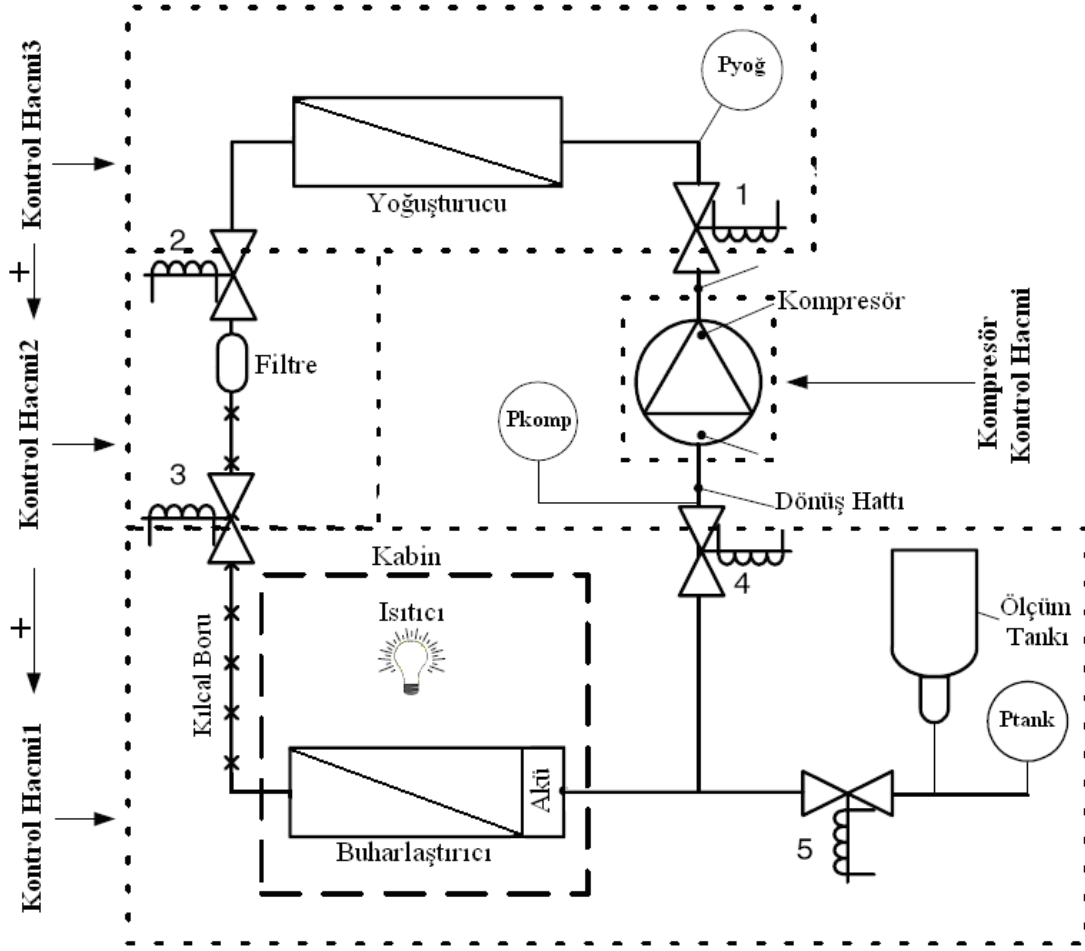
Vana tekniğinde ölçüm aşamasına geçilmeden önce soğutma sisteminin sürekli hal şartlarına ulaşması beklenmektedir. Rejim şartlarına ulaşıldıktan sonra, bileşenden

ölçüm tankına soğutucu akışkan alınmaktadır. Bu işlem sırasında tank ve bileşen arasında sıcaklık ve basınç dengesinin sağlanması için yeterli süre beklenilmektedir. Bu sebeple soğutucu akışkan miktarının ölçümü oldukça zaman almaktadır.

Önceden değinildiği üzere ölçüm tankının bir terazi vasıtasıyla tartılarak soğutucu akışkan miktarının belirlendiği uygulamalarda sisteme sökme ve bağlama işlemleri sırasında kayıplar yaşanmaktadır. Bir sonraki ölçüm için soğutucu akışkan yenilenmesi gerekmektedir. Soğutucu akışkan miktarının yenilenmesi, ölçüm tankının tartılması, sisteme bağlama ve sökme işlemleri önemli bir iş yükü oluşturmaktadır. Vana tekniğinin iş yükü gerektiren bu uygulamaları Björk [16]'ün geliştirdiği bir düzenele büyük oranda ortadan kalkmıştır.

Björk [16], tüm soğutma bileşenlerinin soğutucu akışkan miktarı ölçümüne imkan tanıyan, toplam soğutucu akışkan miktarının yenilenmesine ihtiyaç duyulmayan, ölçüm tankının sürekli olarak soğutma sistemine bağlı kaldığı bir deney sistemi geliştirmiştir. Deney düzeneğinde, soğutucu akışkan vanalar aracılığıyla ilgili hacme hapsedilip daha sonra sırasıyla bir ölçüm tankına genişmesi sağlanarak o andaki termodinamik özelliklerden (P, V, T) yararlanılmasıyla soğutma bileşenlerine ait soğutucu akışkan miktarı tespit edilmektedir.

Björk Şekil 2.9`da gösterildiği üzere soğutma sistemini vanalar aracılığıyla 4 kontrol hacmine ayırmıştır.



**Şekil 2.9:** Björk deney düzeneği [16]

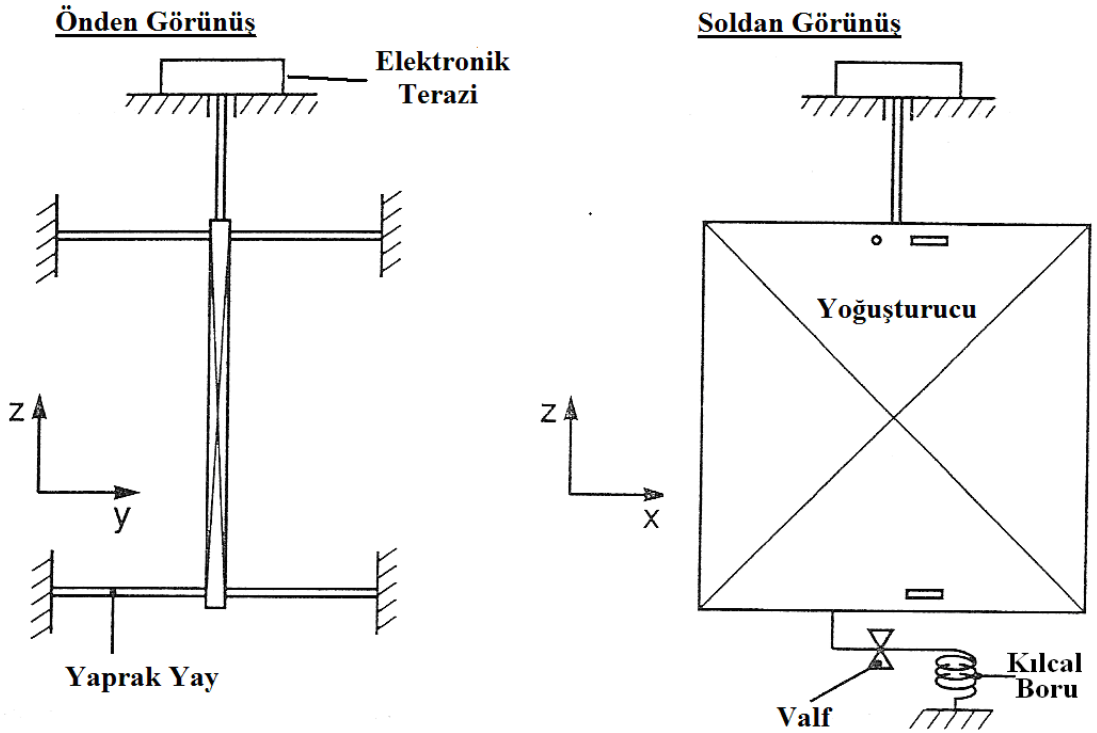
Björk`ün geliştirdiği bu deney yöntemi dışarıdan herhangi bir müdahaleye gerek duyulmadan otomatik biçimde çalışmaktadır. Bilgisayar kontrolü ile PLC üzerinden gönderilen komutlarla hangi vana veya vanaların kapatılıp açılacağı, belirlenerek soğutucu akışkana yön verilmektedir.

Soğutma sisteminden ayrı olarak, deney sistemine yerleştirilen bir ölçüm tankı vasıtasıyla her bir bileşenin soğutucu akışkan miktarı belirlenebilmektedir. Diğer çalışmaların aksine soğutucu akışkan miktarının tartılması yerine ölçüm tankı içerisinde kızgın buhar fazında soğutucu akışkan oluşturularak termodinamik özelliklerden soğutucu akışkan miktarı hesaplanmaktadır.

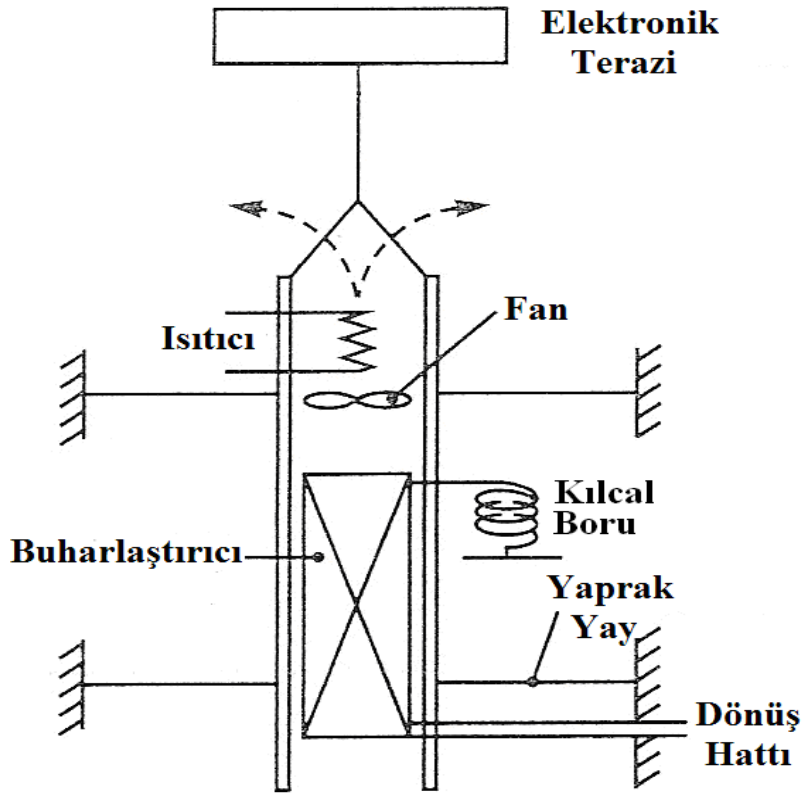
Ölçüm sonunda tankta toplanan tüm soğutucu akışkan daha sonra sisteme kompresör vasıtasıyla tekrar dağıtılmaktadır. Bu şekilde sistem sürekli vaziyette çalışarak farklı zamanlarda soğutucu akışkan miktarı ölçülebilmektedir. Ayrıca ölçüm esnasında hiç bir şekilde bağlantı veya sökme işlemi yapılmadığı için dış ortama soğutucu akışkan sızıntısı olmamaktadır. Deney düzeneğinde ölçüme başlarken belli bir miktar

soğutucu akışkan ölçüm tankı içerisinde kalmaktadır. Bu miktar tüm ölçümler sırasında aynı tutularak sonraki ölçüm için soğutucu akışkan şarj yenilenmesinin önüne geçilmiştir [16].

Deneysel olarak soğutucu akışkan miktarı ölçüm metotlarından biri de anlık ölçüm yöntemidir (on-line measurement method). Sistem çalışırken ısı değiştiricileri içerisinde ne kadar soğutucu akışkan dolaştığı anlık olarak elde edilebilmektedir. Janssen [17] yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan miktarını belirlemek üzere kuvvet ölçümüne dayanan bir deney sistemi kullanmıştır. Isı değiştiricileri bir elektronik terazi vasıtasıyla sürekli olarak tartılarak içerisinde dolaşan soğutucu akışkan miktarı tespit edilmiştir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11`da buharlaştırıcı ve yoğuşturucuya ait şematik yerleşimler verilmiştir:



**Şekil 2.10:** Yoğuşturucu ölçüm düzeneği şeması [17]



**Şekil 2.11:** Buharlaştırıcı ölçüm düzeneği şeması [17]

Teraziye asılı vaziyette konumlandırılan ısı değiştiricileri, olabilecek yer değişimlerine (titreşim, dönme gibi) karşın ölçümün etkilenmemesi amacıyla yaprak yaylarla farklı doğrultularda sabitlenmiştir. Gerilmelerden ötürü terazinin hatalı ölçüm almasını önlemek amacıyla sabit ağırlıklar ısı değiştiricilerine yüklenerek deney öncesinde kalibrasyon yapılmıştır.

Anlık ölçüm yönteminin en büyük avantajı, anlık olarak ölçüm alınması sebebiyle, soğutma çevriminin tüm aşamasında soğutucu akışkan kütle dağılımının görülebilmesi ve bunun eldesi için geçen sürenin vana tekniğine göre oldukça kısa olmasıdır. Bununla birlikte, soğutucu akışkan hızının değişmesinden kaynaklanacak kuvvetler, sistem titreşimleri ve ısı değiştiricilerinin diğer bileşenler ile olan bağlantılarda yeterli esneklik sağlanamadığı takdirde oluşabilecek gerilmeler, bu ölçüm yönteminin hassas olması sebebiyle, ölçüm doğruluğunu etkilemektedir. Ayrıca ölçüm esnasında soğutucu akışkan miktarından daha büyük bir kütleye sahip ısı değiştiricileri de ölçüm doğruluğunu etkileyen diğer bir unsurdur. Bu sebeplerden dolayı bu yöntem, yüksek ölçüm doğruluğuna ihtiyaç duyulmayan, sistem üzerinde yapılacak değişikliklerin etkisinin hızlı bir şekilde görülebileceği uygulamalarda daha fazla tercih edilmektedir [7, 12].

### 2.3 Soğutucu Akışkan Kütle Dağılımı ile İlgili Çalışmalar

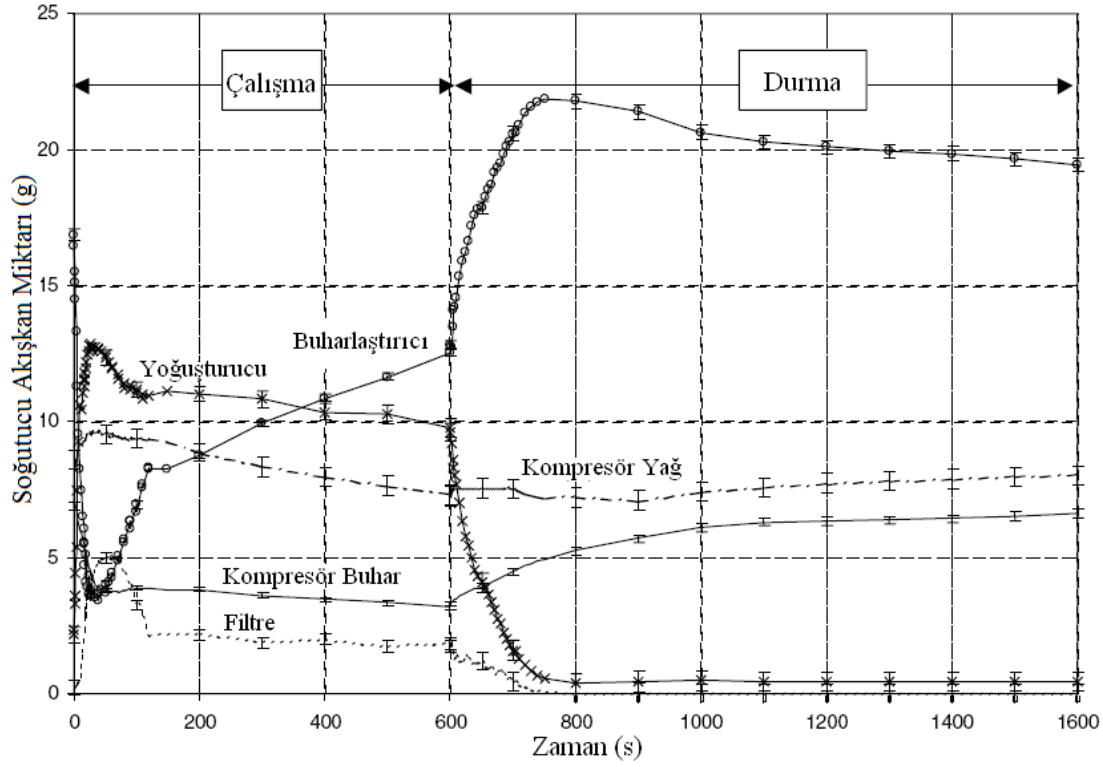
Björk geliştirdiği deney düzeneği ile bir buzdolabına ait soğutucu akışkan kütle dağılımını çalışma ve durma periyotlarında incelemiştir. Uygulanan ölçüm tekniği, soğutucu akışkanın kızgın buhar fazında kalmasını sağlayacak yeterli büyüklükteki bir tankta genişletirip daha sonra bilinen hacimde termodinamik özelliklerden yararlanılarak soğutucu akışkan miktarının hesaplanmasına dayanmaktadır.

Björk [16] Şekil 2.9'da görüleceği üzere soğutma tesisatına bir tank ve 5 vana ekleyerek bir düzenek hazırlamıştır. Ayrıca deney şemasında görülmeyen bir elektrik ısıtıcısı ve fan kabin içerisinde konumlandırılmıştır. Sistem dışarıdan bir müdahaleye gerek duyulmadan bilgisayar kontrolü ile sürekli olarak çalışabilmektedir. Vanalar aracılığıyla 4 kontrol hacmine ayrılan sistemde yoğuşturucu, filtre, buharlaştırıcı ve kompresör komponentlerinin soğutucu akışkan kütle dağılımları elde edilmiştir.

Tek kapılı soğutma sisteminin orijinal toplam soğutucu akışkan miktarı 34 gramdır. Ölçüm tankında bir miktar soğutucu akışkan kaldığı için deneyler sırasında şarj değeri 1,3 gram artırılarak 35,3 gram toplam soğutucu akışkan ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Ortalama 5°C kabin sıcaklığını sağlayacak termostat konumunda, buzdolabı, rejim halinde, 10 dk. çalışma ve 17 dk. durma olmak üzere toplam 27 dakikalık sürede bir çevrimini tamamlamaktadır. Deneyler 25°C ortam sıcaklığında termostat kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyler esnasında rejim haline ulaşılması için 4 soğutma çevriminin tamamlanması beklenilip, 5. çevrimde ölçüm aşamasına geçilmiştir. Sırasıyla buharlaştırıcı, filtre ve yoğuşturucu içerisindeki soğutucu akışkan tanka yönlendirilerek tüm soğutucu akışkanın tank içerisinde toplanması sağlanmıştır.

Bir soğutma çevrimi için 91 ayrı nokta alınarak geçici rejim şartlarında soğutucu akışkan kütle dağılımı elde edilmiş ve deney sonunda bütün noktalar birleştirilip zamana bağlı olarak soğutucu akışkan hareketi ortaya çıkarılmıştır.



**Şekil 2.12:** Bir çalışma ve durma periyodunda soğutucu akışkan dağılımı [16, 17]

Şekil 2.12'den görüldüğü üzere en şiddetli soğutucu akışkan kütle değişimleri kompresör çalışmaya başladıktan ve durduktan hemen sonra ısı değiştiricilerinde yaşanmaktadır. Çalışma başlangıcında en fazla soğutucu akışkan, durma periyodunda yaşanan soğutucu akışkan göçünden dolayı, buharlaştırıcıda bulunmaktadır. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcının soğutucu akışkan kütle dağılımına bakıldığında birbirlerinin tam tersi davranış sergilemişlerdir.

Kompresörün durmasıyla, bileşenler arasındaki basınç dengelenene kadar buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan miktarı artmaktadır. Zamanla görülen buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan miktarının azalmasına ise soğutucu akışkanın bir müddet sonra buharlaşması sebep olmaktadır. Buharlaşan miktarın karşılığı ise kompresörde soğutucu akışkan miktarının artmasına sebep olmaktadır.

Kompresör yağı içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı, ölçümü tamamlanan bileşenlerin soğutucu akışkan miktarlarının birbirleri üzerine eklenip sistemdeki toplam soğutucu akışkan miktarına (35,3 g) tamamlanmasıyla hesaplanmıştır [16, 18].

Björk [16] geliştirdiği ölçüm tekniğini (yeni teknik), ölçüm tankının sistemden sökülüp tartıldığı yöntemle (tartma tekniği) karşılaştırmıştır. Buna göre her iki ölçüm

tekniki ile aynı soğutucu sistem 1 saat çalıştırılmış ve soğutucu akışkanın tüm sisteme dağılması sağlanmıştır. Çalışma sonunda vanalar kapatılarak soğutma sistemine, sıvı azot banyosu içerisindeki ölçüm tankı bağlanmıştır. Daha sonra sırayla kontrol hacimleri içerisindeki soğutucu akışkan ölçüm tankına alınmış ve tartılmıştır. Her bir bileşenin ölçümü bittiğinde tank boşaltılıp dikkatlice ölçülmüştür. Bu işlemlere paralel olarak, geliştirilen düzenele de aynı şartlarda ölçüm gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlar Çizelge 2.2`de verilmiştir.

**Çizelge 2.2:** Farklı tekniklerle elde edilen soğutucu akışkan kütle miktarlarının karşılaştırılması [16]

|                            | <b>Tartma Tekniği<br/>(g)</b> | <b>Yeni Teknik<br/>(g)</b> | <b>Fark (g)</b> | <b>Fark (%)</b> |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Buharlaştırıcı+Tank</b> | 12,2                          | 12,12                      | -0,08           | -0,7            |
| <b>Filtre</b>              | 2,1                           | 2,21                       | 0,11            | 5,2             |
| <b>Yoğuşturucu</b>         | 11,9                          | 11,67                      | -0,23           | -1,9            |
| <b>Kompresör</b>           | 8,8                           | 9 <sup>a</sup>             | 0,2             | 2,3             |
| <b>Toplam</b>              | 35,00                         | 35,00                      | -               | -               |

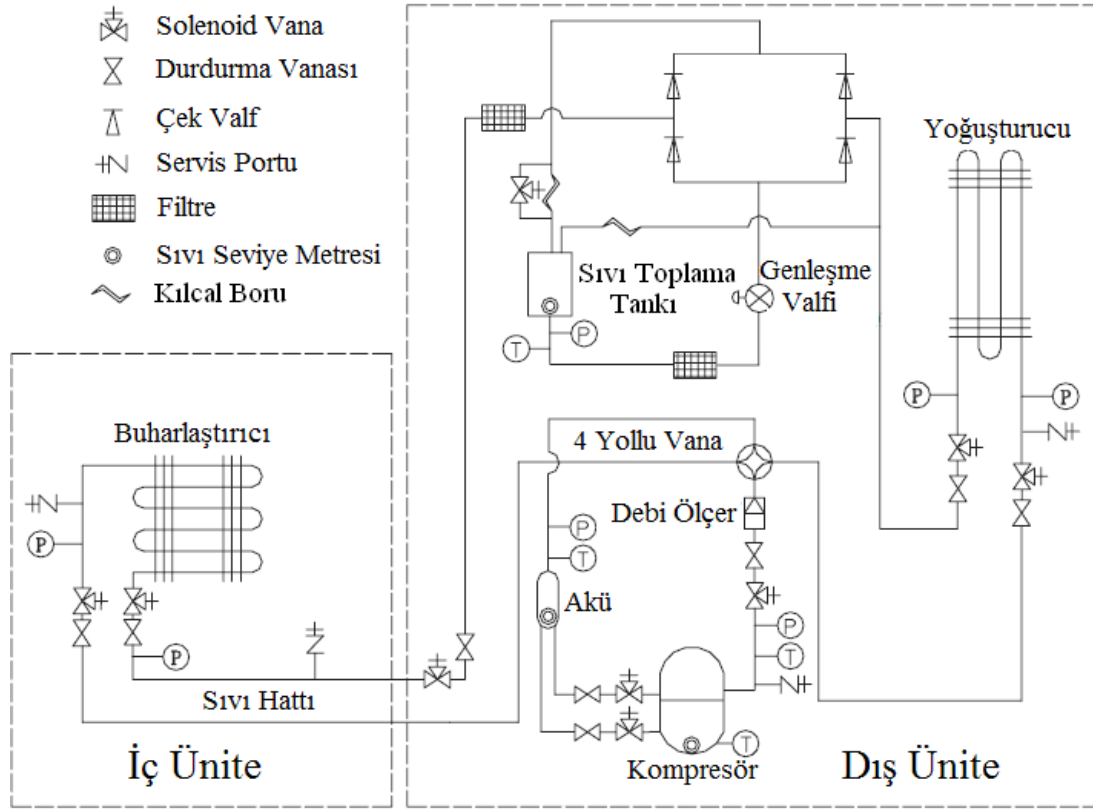
<sup>a</sup> 2,9 gramı kompresör gaz şarjıdır.

İki ölçüm tekniğiyle elde edilen ölçüm sonuçları incelendiğinde en fazla sapma filtrede olmuştur. Miktar olarak bakıldığında aradaki farkların ciddi bir mertebede olmadığı görülmektedir. Tartma tekniğinde yağ içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı ayrı olarak tespit edilemediğinden kompresörün toplam soğutucu akışkan miktarı ölçülmüştür.

Ding [12] tanıttığı yeni ölçüm yönteminin (QOMM) soğutma bileşenleri için uygunluğunu test etmek üzere bir inverter havalandırma sistemi üzerinde soğutucu akışkan kütle dağılımını belirlemiştir. Sürekli çalışma şartlarında gerçekleştirilen çalışmada soğutucu akışkan olarak R410A kullanılmıştır. Sistem 7,1 kW soğutma, 8 kW ısıtma kapasitesine sahiptir. Sistemde toplam 2 kg soğutucu akışkan bulunmaktadır.

Havalandırma sistemi deney şartlarına hazırlanmak üzere yeniden düzenlenmiş ve Şekil 2.13`de şematik yerleşimi verilmiştir. Buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve kompresör bileşenlerinin her iki tarafına solenoid ve durdurma vanaları monte edilmiştir. Bileşen giriş ve çıkışları basınç transdüserleri ve ısı çiftleriyle donatılmış, akü ve sıvı toplama tankına sıvı seviye metresi yerleştirilmiştir. Buharlaştırıcı, yoğuşturucu ve kompresör bileşenlerinin soğutucu akışkan miktarını ölçmek üzere 3 ayrı ölçüm

silindiri kullanılmıştır. Havalandırma sisteminin iç ve dış üniteleri, sırasıyla 27°C ve 35°C sıcaklığında kalması sağlanmıştır.



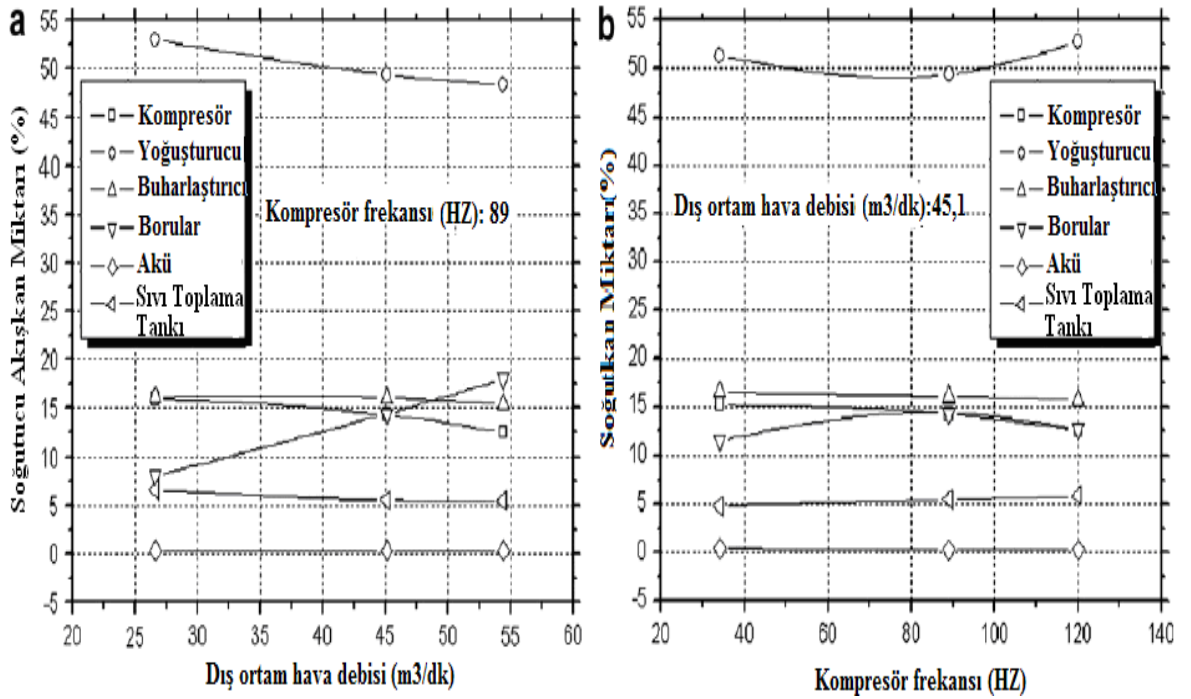
**Şekil 2.13:** Deneysel düzeneğin şematik yerleşimi [12]

Isı değişiricileri ve kompresör`ün soğutucu akışkan miktarının belirlenmesinde QOMM, akü ve sıvı toplama tankı için ise LLM kullanılmıştır. Boru ve filtredeki soğutucu akışkan miktarı ise doğrudan hesaplama yoluyla elde edilmiştir.

Dış ortam hava debisi ve kompresör frekansının değiştirilmesine bağlı olarak sürekli hal şartlarında 9 test yapılmıştır. Test şartları Çizelge 2.3`de verilmiştir:

**Çizelge 2.3:** Test şartları [12]

| Testler | Dış Ortam Hava Debisi (m <sup>3</sup> /dk) | Kompresör Frekansı (Hz) |
|---------|--------------------------------------------|-------------------------|
| No.1    | 54,4                                       | 89                      |
| No.2    | 45,1                                       | 89                      |
| No.3    | 54,4                                       | 34                      |
| No.4    | 26,6                                       | 120                     |
| No.5    | 54,4                                       | 120                     |
| No.6    | 26,6                                       | 89                      |
| No.7    | 26,6                                       | 34                      |
| No.8    | 45,1                                       | 34                      |
| No.9    | 45,1                                       | 120                     |

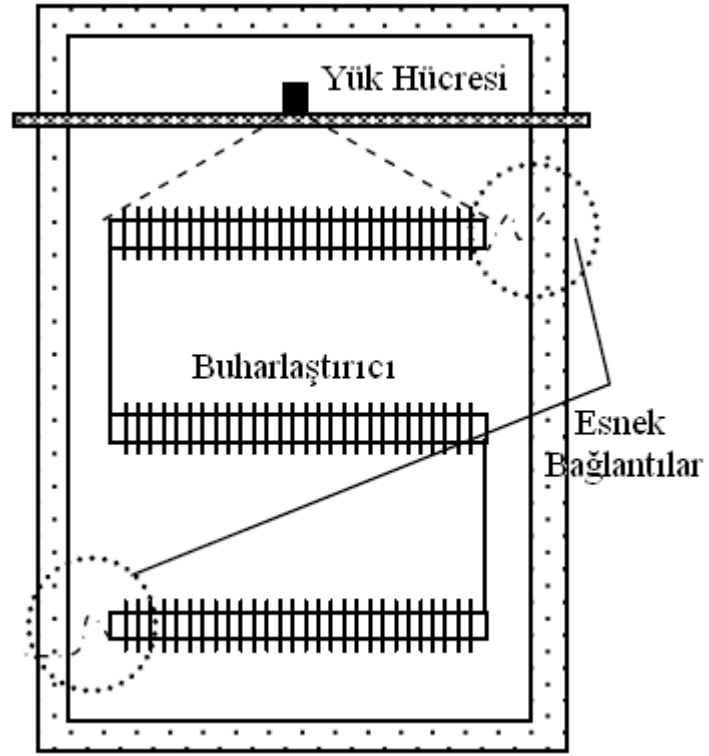


**Şekil 2.14:** (a) Dış ortam hava debisine ve (b) Kompresör frekansına bağlı olarak soğutucu akışkan kütle dağılımı [12]

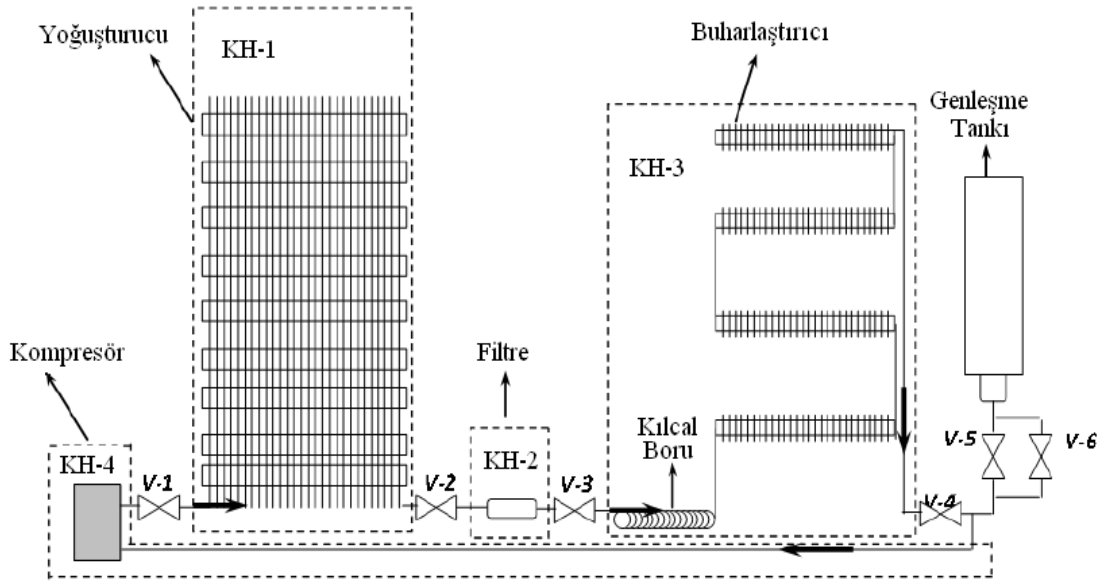
Şekil 2.14'ten görülebileceği üzere, soğutucu akışkan kütle dağılımı farklı kompresör frekansları ve dış ortam hava debisine bağlı olarak incelenmiştir. Yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve kompresördeki soğutucu akışkan toplam miktarın, sırasıyla, %50±3,4, %16±1,3, ve %14±2,3'ünü oluşturmaktadır. Soğutucu akışkan kütle dağılımı ısı değiştiricisi büyüklükleri, test şartları gibi parametrelerden etkilenmektedir. Ding'in çalışmasında yoğuşturucunun iç hacmi buharlaştırıcının hacminden 2,4 kat daha büyük olması yukarıdaki sonucu doğurmuştur. Kompresör frekansının ve hava debisinin artmasına bağlı olarak buharlaştırıcının soğutucu

akışkan miktarı hemen hemen değişmezken yoğuşturucu ve kompresörün soğutucu akışkan miktarında düşüş gözlenmektedir. Ding bu durumun sebebini, buharlaştırıcı çıkışındaki aşırı ısıtmanın tüm şartlarda aynı tutulmasına bağlamıştır. Kompresör frekansı ya da ortam debisi arttığında, buharlaştırıcı çıkışında aşırı ısıtma yükselir. Aşırı ısıtmanın tüm şartlarda sabit tutulması için genleşme valfi açıklığı artar. Bunun sonucunda yoğuşturucu ve kompresördeki soğutucu akışkan miktarı azalır. Şekil 2.14b`de özel bir durum söz konusudur. Kompresör frekansı 120 Hz`ye ulaştığında yoğuşturucu soğutucu akışkan miktarı artmıştır. Bunun sebebi genleşme valfi açıklığının maksimuma ulaşması sonucunda buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan kütlesinin yoğuşturucuya geri gitmesi olarak yorumlanmıştır [12].

Özyurt [19, 20], soğutma sistemlerinin çalışma koşullarının daha iyi anlaşılması için soğutucu akışkan kütle dağılımını ve bu dağılıma etki eden farklı parametreleri incelemek üzere iki deney düzeneği kurmuştur. Kurulan bu deney düzeneklerinden ilkinde, soğutucu akışkan miktarının tespiti için, yük hücreleri ile ısı değiştiricileri içerisindeki kütle miktarının anlık olarak elde edilebildiği anlık ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Diğer düzenekte ise, büyüklüğü bilinen bir kontrol hacmine vanalar aracılığıyla soğutucu akışkanın hapsedilerek kızgın buhar fazında soğutucu akışkan oluşmasını sağlayacak yeterli büyüklükte bir tank içerisinde genleştirip daha sonra termodinamik özellikler kullanılarak soğutucu akışkan miktarının tespitine dayanan vana tekniği kullanılmıştır. Oluşturulan deney düzeneklerinin şematik yerleşimi Şekil 2.15 ve Şekil 2.16`da sunulmuştur.



**Şekil 2.15:** Yük hücresi deney düzeneği [19, 20]



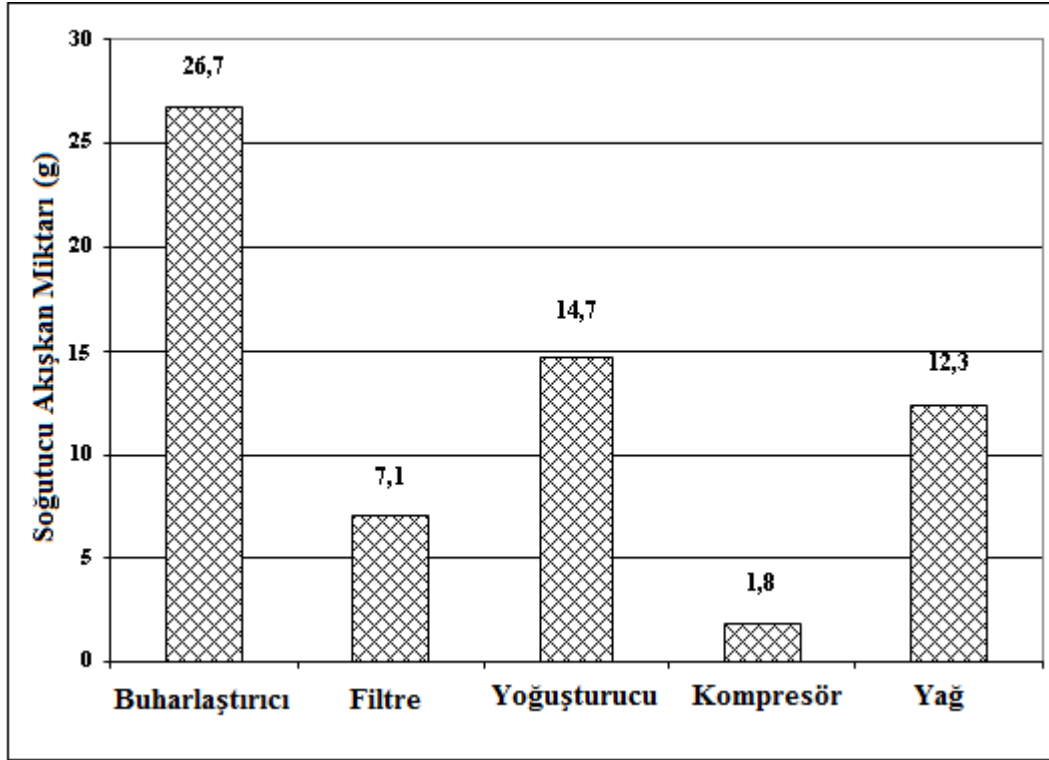
**Şekil 2.16:** Vana deney düzeneği [19, 20]

Özyurt [19, 20], çalışmaların Björk`ün geliştirmiş olduğu ölçüm yöntemini baz alarak vana deney düzeneğini oluşturduğunu belirtmiştir. 6 adet solenoid vana kullanılarak soğutma sistemi 4 kontrol hacmine ayrılmıştır. Deney düzeneği, PLC ünitesi üzerinden bilgisayar ile kontrol edilerek kütle miktarının ölçülmesi işlemine aralıksız devam edilebilmektedir.

Çalışmalar kapsamında, 175 lt. kabin iç hacmine sahip bir evsel dondurucu kullanılmıştır. Deneyler kabin sıcaklığının ortalama  $-20^{\circ}\text{C}$  olduğu şartlarda gerçekleştirilmiştir.

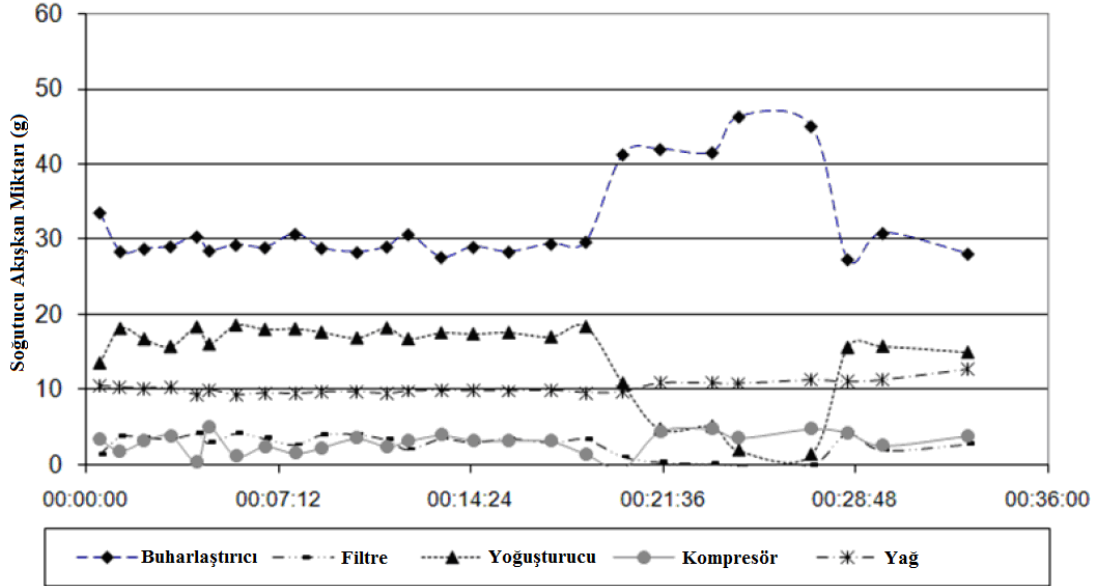
Özyurt [19, 20], vana deney düzeneğini kullanarak sürekli ve çevrimsel çalışma şartlarında soğutucu akışkan kütle dağılımını elde etmiş ve toplam soğutucu akışkan miktarının, bu dağılıma olan etkilerini incelemiştir. Yük hücresi deney düzeneğinde ise değişken kapasiteli kompresör ve farklı çalışma zamanlarının soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkilerini incelemiştir.

Sürekli çalışma şartlarında elde edilen soğutucu akışkan kütle dağılımı Şekil 2.17’de verilmiştir. 63 gram toplam soğutucu akışkan miktarı ile gerçekleştirilen deneyde en fazla soğutucu akışkan, 26,7 gram ile buharlaştırıcıda elde edilmiştir.



**Şekil 2.17:** Sürekli çalışma şartlarında soğutucu akışkan kütle dağılımı [19, 20]

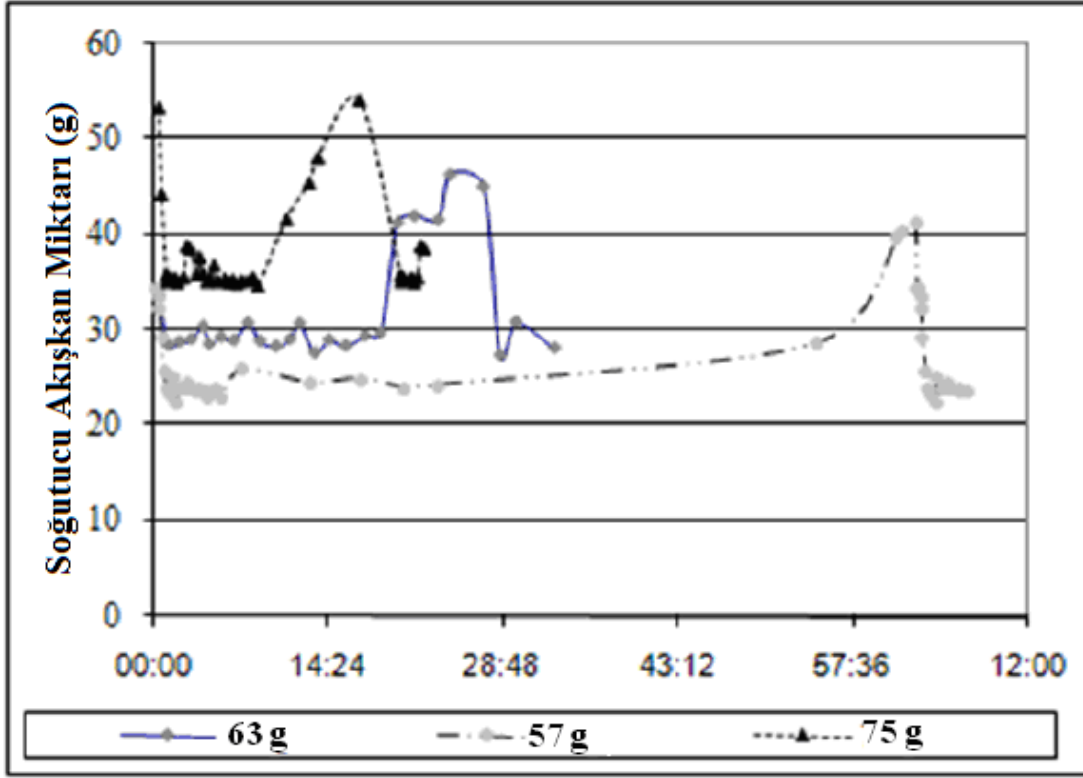
Çevrimsel şartlarda elde edilmiş soğutucu akışkan kütle dağılımı ise Şekil 2.18`de verilmiştir. Bir soğutma çevriminin farklı anlarında ölçüm alınarak kütle dağılımı bir çevrim boyunca elde edilmiştir.



**Şekil 2.18:** Çevrimsel çalışma şartlarında soğutucu akışkan kütle dağılımı [19, 20]

Çevrimsel şartlarda, çalışma periyodunda, 63 g toplam kütleinin yaklaşık 30 gramı buharlaştırıcıda iken 18 g civarında miktar ise yoğuşturucu içerisinde. Kompresör durduğunda buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarı artarken yoğuşturucu ve filtrenin miktarında ise azalma olmaktadır. Kompresör içerisindeki gaz fazında bulunan soğutucu akışkan miktarında ise bir çevrim boyunca önemli değişimler görülmemektedir.

Toplam soğutucu akışkan miktarının, kütle dağılımına olan etkisinin görülebilmesi amacıyla 63 g`da gerçekleştirilen deneye ilaveten 57 ve 74 g ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda toplam soğutucu akışkan miktarı değişiminin, en fazla buharlaştırıcıyı etkilediği görülmüştür. Diğer bileşenlere ise çok fazla etkisi olmamıştır. Şekil 2.19`dan görülebileceği üzere toplam soğutucu akışkan miktarının artışı, çalışma periyodunda buharlaştırıcının daha fazla soğutucu akışkan tutmasına sebep olmuştur.



**Şekil 2.19:** Toplam soğutucu akışkan miktarının buharlaştırıcıya etkisi [19, 20]

Özyurt [19, 20], yük hücresi deney düzeneğine bir adet Embraco VEGY 80 model VCC kompresör ile beraber bir adet devir sayacı ve frekans ayarlayıcı monte etmiştir. Farklı kompresör frekanslarının, soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkilerini incelemiştir. Kompresör %100 çalıştırılarak 2000-4000 devir aralığında 1000'er adım devir değiştirilerek sonuçlar incelenmiştir. %100 çalışma koşullarında yoğuşturucu soğutucu akışkan miktarında belirgin bir farklılık gözlenmezken, buharlaştırıcıda ise çok düşük sıcaklıklara ulaşılmasından ötürü karlanma problemi ile ortaya çıkan ağırlık artışı dışında pek bir değişiklik olmamıştır. Kompresörün 30 dk. çalışma ve 30 dk. durma şeklinde çalıştırılması ile kompresör devri artarken kalkış anlarında hem yoğuşturucu hem de buharlaştırıcının soğutucu akışkan miktarında artış gözlenmiştir. Buna neden olan etken ise kompresör devrinin artmasından kaynaklanan kütleli debinin artması gösterilmiştir.

Farklı çalışma süreleri, zamanlayıcı ile kompresörün çalıştırılıp durdurulması ile gerçekleştirilmiştir. Soğutucu akışkan miktarları incelendiğinde, farklı kompresör çalışma sürelerinin genel karakterde bir değişiklik oluşturmadığı gözlenmiştir. Fakat çalışma sürelerinin değişmesi, farklı kabin içi sıcaklıklarının ulaşılmasına sebep olmuştur.

Özyurt [19, 20] elde ettiği verileri modelleme çalışmalarında kullanarak bir model ortaya çıkarmıştır. Oluşturulan modelin vana deney düzeneği ile elde edilen sonuçlarla benzer olduğunu görmüştür. Gerçekleştirmiş olduğu çalışma sonucunda farklı ortam sıcaklıklarının, soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkilerinin incelenmesi gerektiğini önermiştir. Bu açıdan gerçekleştirilen bu tez çalışması, Özyurt'un [20] çalışmasının devamı niteliğindedir.

## 2.4 Ortam Sıcaklığının Etkisi

DeneySEL olarak soğutucu akışkan kütle dağılımının elde edilmesi başlı başına büyük iş gerektiren bir uygulamadır. Bu sebeple literatürde ortam sıcaklığının direkt olarak kütle dağılımına olan etkisi ile ilgili çalışma çok azdır. Bazı çalışmalarda ortam sıcaklığının kütle dağılımına ne yönde etki edeceği hakkında görüşler öne sürülmüştür.

Björk [21] bir buzdolabı üzerinde yaptığı çalışmada ortam sıcaklığının artmasıyla enerji tüketiminin, yoğuşma sıcaklığının ve kompresör çalışma zamanının artacağını buna karşın buharlaştırıcıda aşırı ısıtma (superheat) bölgesinin akü girişinde oluşması için geçen sürenin (aktivasyon süresi) azalacağını görmüştür. Buna sebep olarak iki faktör öne sürmüştür. Birincisi, artan ortam sıcaklığında yüksek yoğuşma basıncı, buharlaştırıcının tekrar soğutucu akışkan ile dolmasını hızlandırır. İkincisi ise, yüksek ortam sıcaklığında kompresör ve içerisindeki yağ yüksek sıcaklıktadır. Bunun anlamı, kompresör yağı içerisinde daha az soğutucu akışkan çözölmektedir. Ayrıca bu olay, düşük ortam sıcaklıklarında optimum soğutucu akışkan miktarının arttığını açıklamaktadır. Düşük ortam sıcaklıklarında, daha fazla soğutucu akışkan kompresör yağı içerisinde çözönmekte ve aktivasyon zamanı artmaktadır. Düşük ortam sıcaklıklarında, kompresörün daha az çalışması buharlaştırıcının taşmasını önler ve ayrıca soğuk kompresör dönüş hattı daha yüksek oranda soğutucu akışkan barındırır (Buharlaşma işleminin buharlaştırıcı içerisinde tamamlanamadığı durumlarda kompresör dönüş borusuna ıslak buhar fazında soğutucu akışkan gitmektedir. Gaz fazına geçemeyen soğutucu akışkan, buharlaştırıcı hacminin dışında gaz fazına geçtiği için bu olay buharlaştırıcının taşması olarak tanımlanır.).

Björk [22], bir başka çalışmasında, kararlı şartlar altında bir buzdolabının soğutucu akışkan kütle dağılımını farklı ısı yükleri altında incelemiştir. Isıl yük değiştirme işlemini iki şekilde gerçekleştirmiştir. Birincisi ortam sıcaklığını değiştirerek, ikincisi

ise kabin içerisine monte edilmiş bir elektrik ısıtıcısını kullanarak iç ısı yükü değiştirmesine dayanmaktadır.

4 farklı ortam sıcaklığının soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkisi, sürekli çalışma şartı altında incelenmiştir. 16°C, 20°C, 25°C ve 29°C. Deneyler sırasında soğutma sistemi 14 saat sürekli olarak çalıştırılmıştır. Soğutucu akışkan kütle dağılımı Björk'ün geliştirmiş olduğu deney düzeneği kullanılarak tespit edilmiştir.

Deney düzeneğindeki sınırlamalardan dolayı, en düşük iki ortam sıcaklığında yoğunlaştırıcı ve kompresör yağı içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı elde edilememiştir. Bunun sebebi, kullanılan ölçüm tankının, o ortam sıcaklıklarında, tank içerisinde kızgın buhar fazında soğutucu akışkan oluşturabilecek kadar büyük seçilmemiş olmasıdır. Elde edilen veriler Çizelge 2.4`de verilmiştir:

**Çizelge 2.4:** Farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu akışkan kütle dağılımı [22]

| Ortam sıcaklığı (°C) | Isıl yük (W) | Basınç (bar) |      | Soğutucu Akışkan Miktarı (g) |      |     |           |        |
|----------------------|--------------|--------------|------|------------------------------|------|-----|-----------|--------|
|                      |              | Buh.         | Yoğ. | Buh.                         | Yoğ. | Yağ | Komp. Gaz | Filtre |
| 16                   | 74           | 0,48         | 4,18 | 15,6                         | -    | -   | 1,9       | 1,3    |
| 20                   | 77           | 0,53         | 4,8  | 15,2                         | -    | -   | 2,1       | 1,7    |
| 25                   | 82           | 0,58         | 5,66 | 14,8                         | 9,1  | 6,7 | 2,4       | 1,7    |
| 29                   | 84           | 0,65         | 6,53 | 14,4                         | 9,5  | 6,4 | 2,5       | 1,8    |
| 29                   | 84           | 0,67         | 6,58 | 14,1                         | 9,5  | 6,7 | 2,7       | 1,8    |

Çizelge 2.4`ten görülebileceği üzere ısı yükünün artmasıyla, dolayısıyla ortam sıcaklığının artmasıyla beraber yoğunlaştırıcı ve kompresör gaz soğutucu akışkan şarj miktarı artmakta buharlaştırıcının ki ise azalmaktadır. En düşük ortam sıcaklığı ile en yüksek ortam sıcaklıklarında, en fazla soğutucu akışkan kütle değişimi buharlaştırıcıda yaşanmıştır.

Çalışmada aşırı ısıtma ve aşırı soğutmanın hiçbir deneyde görülmediği belirtilmiştir. Bu açıdan bakıldığında ortam sıcaklığının artışı ile beraber kompresör gaz kütlesinin artışı alçak basıncın yükselmesinden ötürü gaz yoğunluğunun artması ile açıklanabilir. Aynı şekilde yoğunlaştırıcının soğutucu akışkan miktarında aynı durum söz konusudur. Björk buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan miktarının azalışının sadece kuruluk derecesinin ve debinin artmasıyla açıklanamayacağını belirtmiştir. Bunun sebebinin aküdeki soğutucu akışkan miktarının azalmasından kaynaklandığını öne sürmüştür [22].

### 3. DENEY DÜZENEGİ

Bir evsel soğutucuya ait soğutucu akışkan kütle dağılımını belirlemek üzere bir deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney sisteminde soğutucu akışkan ekleme, tankın sökülüp tartılması gibi iş yükü oluşturan uygulamaları gerektirmemesi sebebiyle Björk`ün [16] geliştirdiği deney yöntemi referans alınmıştır.

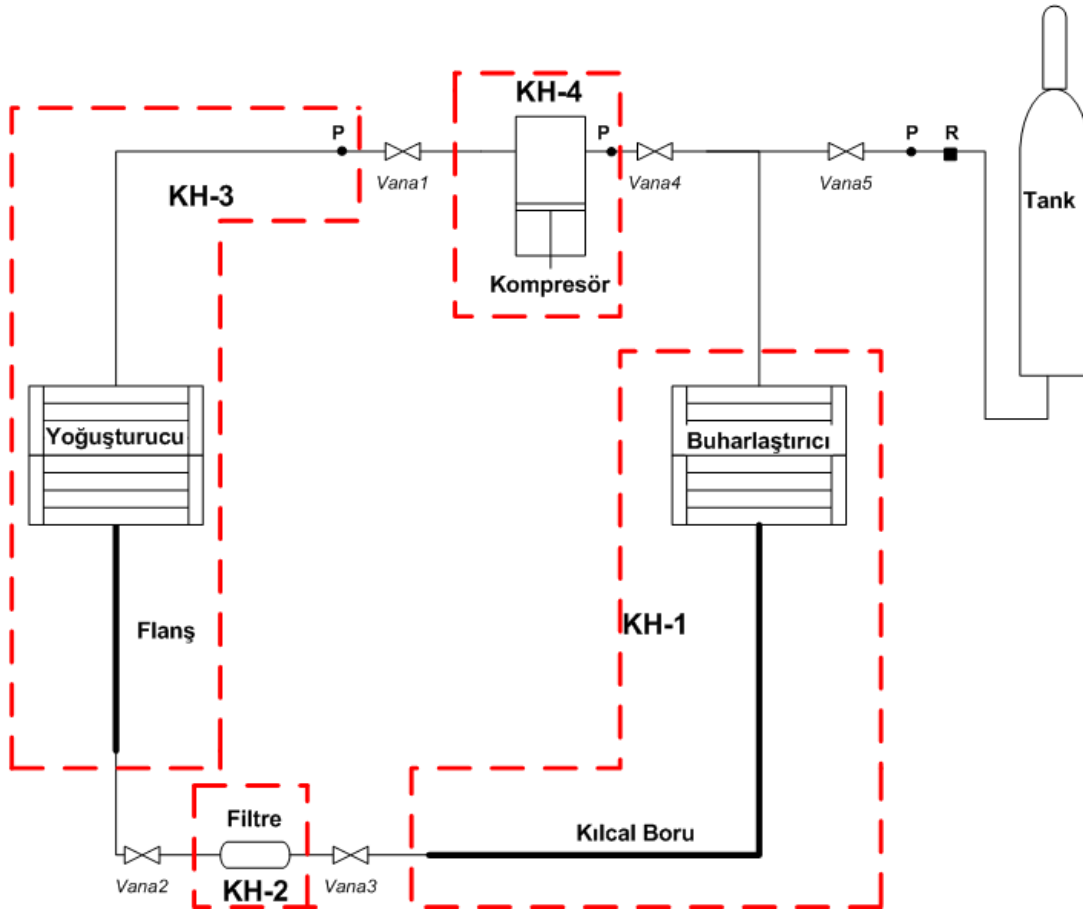
Deney düzeneğinde her bir bileşendeki soğutucu akışkan miktarı, belirlenen bir anda vanalar kapatılarak bir hacme hapsedilir. Daha sonra sırasıyla her bir bileşenin önündeki vana sırasıyla açılarak büyük hacimli bir tankta kızgın buhar fazında genişmesi sağlanır. Bileşenlere ait soğutucu akışkan kütle miktarı, her bir elemanın genişmesinin bittiği andaki termodinamik özelliklerden (P, V, T) yararlanılarak hesaplanır (EK A.1) . Bu şekilde tüm çevrim taranarak bir soğutma çevrimi boyunca ilgili bileşenlerdeki soğutucu akışkan kütle dağılımı elde edilir.

#### 3.1 Deney Düzeneği ve Elemanları

Deney düzeneği, soğutucu sistemin tesisatı üzerinde her bir bileşenin birbirinden ayrılmasını sağlayan 5 adet pnömatik vana, ölçüm için soğutucu akışkanın kızgın buhar fazında genişmesinin gerçekleştiği tank, vanaların kontrolünü sağlayan PLC ünitesi, veri toplama sistemi ve bir soğutucudan oluşmaktadır.

Vanalar aracılığıyla soğutma sistemi 4 kontrol hacmine ayrılmıştır:

- Kontrol Hacmi 1= Buharlaştırıcı+Kılcal boru
- Kontrol Hacmi 2= Filtre
- Kontrol Hacmi 3= Yoğuşturucu+Flanş
- Kontrol Hacmi 4= Kompresör



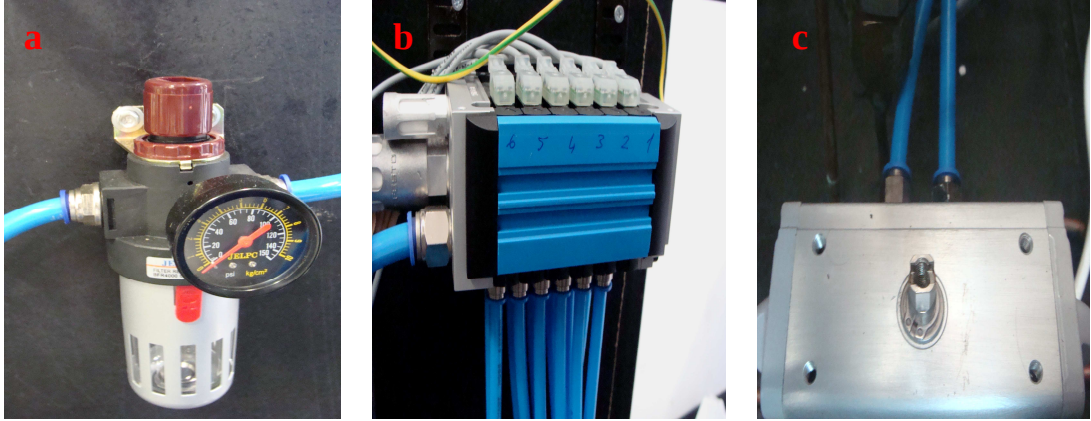
**Şekil 3.1:** Genel şematik yerleşim

Soğutucu akışkan miktarının doğru tespit edilebilmesi için vanaların sızdırmazlığı önemli bir husustur. Vana seçimi konusunda yapılan çalışmalarda solenoid vanaların sızdırmazlığının zamanla azaldığı görülmüştür. Ayrıca bu vanalar dışarıdan sürekli olarak enerji ile beslendiğinden aşırı ısınmaktadırlar. Bu durum vanalar vasıtasıyla bakır boruları ısıtarak soğutma çevrimini etkilemektedir. Bu nedenlerden ötürü deney düzeneğinde pnömatik vanaların kullanılmasına karar verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Deney düzeneğinde kullanılan vana özellikleri

|                                                                                                            |                                     |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <br>FESTO VZPR-BPD-22-R14 | <b>Dizayn</b>                       | İki yollu küresel vana<br>Döner sürgü |
|                                                                                                            | <b>Aktivatör</b>                    | Elektropnömatik                       |
|                                                                                                            | <b>Nominal çap (mm)</b>             | 15                                    |
|                                                                                                            | <b>Bağlantı</b>                     | 1/4"                                  |
|                                                                                                            | <b>İşletme Basıncı (Hava hattı)</b> | 1-8,4 bar                             |
|                                                                                                            | <b>Nominal Basınç (Vana)</b>        | 40 bar                                |
|                                                                                                            | <b>Çalışma Sıcaklık Aralığı</b>     | -20 – 150°C                           |
|                                                                                                            | <b>Vana Kütlesi</b>                 | 1,3 kg                                |

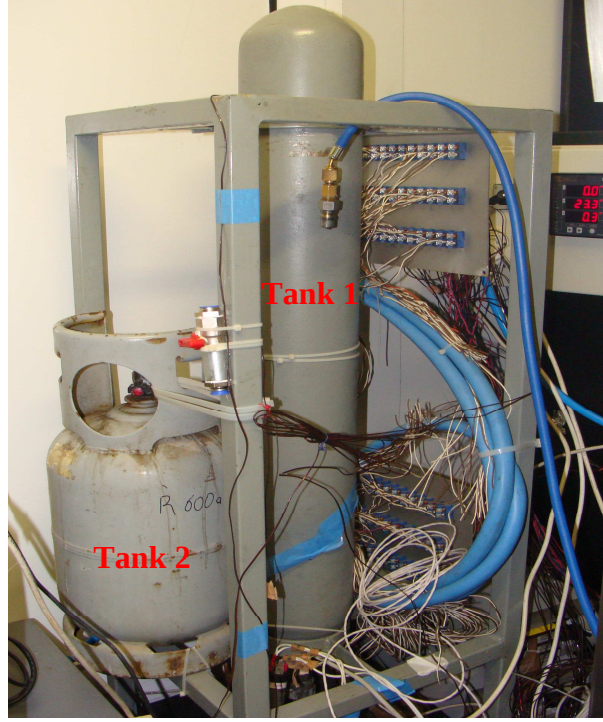
Pnömatik vanalarda hava girişi ve çıkışı olmak üzere iki hat bulunmaktadır. Bu hatlara hava, valf adası üzerinden gönderilmektedir. Valf adasından önce ana hattan yüksek basınçta gelen hava, bir manometre ile basıncı ayarlanarak pnömatik tesisatta vanaların çalışma şartlarına uygun duruma getirilmektedir. Deneyler sırasında pnömatik tesisatta 6 bar ile çalışılmıştır.



**Şekil 3.2:** a) Manometre b) Valf adası c) Pnömatik vana

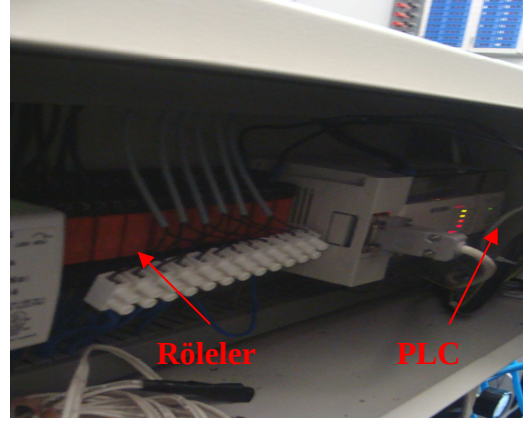
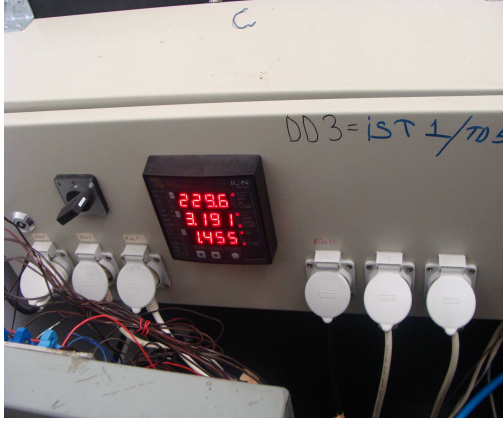
Soğutucu akışkan miktarının belirlenebilmesi için deney düzeneğinde iki adet genişleme tankı bulunmaktadır. Soğutucu akışkan miktarı, kızgın buhar fazındaki soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Bu sebeple tank içerisinde toplanacak soğutucu akışkanın gaz fazında kalması gerekmektedir. Farklı ortam sıcaklıklarında yapılacak ölçümlerde de aynı durum söz konusudur. Bu husus dikkate alınarak tüm ortam sıcaklıklarında soğutucu akışkanın kızgın buhar fazında kalmasını sağlayacak yeteri kadar büyüklükte iki tank sisteme monte edilmiştir (Şekil 3.3).

Yüksek ortam sıcaklıklarında isobütanın doyma basıncı yüksek olmasından dolayı bu şartlardaki ölçümlerde Tank1 yeterlidir. Yapılan ön çalışmalarda düşük ortam sıcaklıklarında yalnızca Tank1'in kullanılması yeterli olmadığından ötürü Tank2 sisteme eklenmiştir. Yüksek ortam sıcaklıklarında vakum yapıldıktan sonra Tank2'nin vanası kapatılarak sadece Tank1 kullanılmaktadır. Düşük ortam şartında ise her iki tank kullanılmaktadır. Her bir tank yaklaşık olarak 12 litre iç hacme sahiptir.



**Şekil 3.3:** Ölçüm tankları

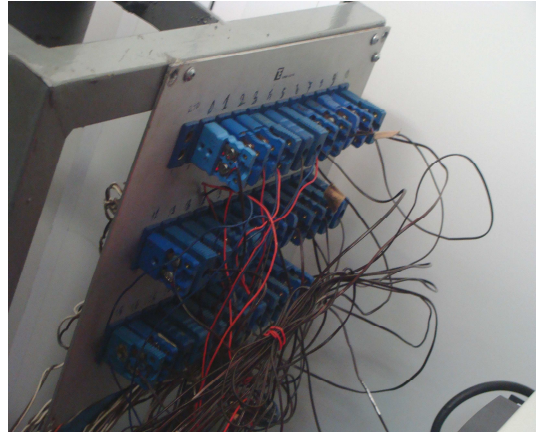
Deney düzeneğinde, PLC ünitesi vasıtasıyla kontrol edilen rölelerle vanaların açılıp kapatılması, soğutucu kabin içerisindeki ısıtıcı ve fanların çalıştırılması ve kompresörün kontrolü sağlanmaktadır. PLC ünitesi ise Hp-Vee de hazırlanmış programla kontrol edilmektedir. PLC ünitesi ve röleler bir elektrik panosu içerisinde konumlandırılmış ve Şekil 3.4'te sunulmuştur.



**Şekil 3.4:** Pano ve PLC ünitesi

Deney düzeneği üzerinden bilgisayar vasıtasıyla sıcaklık, basınç, güç gibi büyüklüklerin alınması, kaydedilmesi ve izlenmesi amacıyla bir veri toplama sistemi oluşturulmuştur.

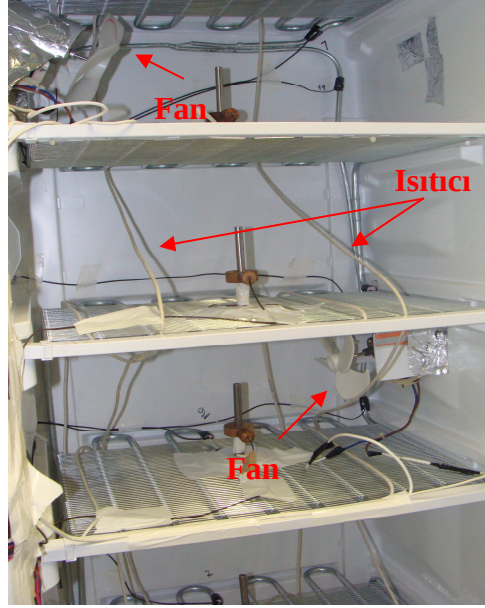
Veri toplama sistemi, tüm verileri toplayan ve sürekli okuyup bilgisayara aktaran 2 adet AGİLENT 34950A marka veri toplama cihazı, 4 adet 20 kanallı veri toplama kartı, basınç ölçümü için Şekil 3.1`de de yerleri belirtildiği üzere 3 adet 24 V beslemeli BOURDAN HAENNİ marka basınç transdüseri, sıcaklık ölçümleri için çok sayıda ısıl çift fiş ve prizleri, genleşme tankı girişindeki soğutucu akışkanın sıcaklığını ölçmek üzere 1 adet RTD ve kompresörün çektiği gücü ölçmek amacıyla 1 adet enerji analizöründen oluşmaktadır.



**Şekil 3.5:** Veri toplama cihazı ve termokupl fiş ve priz panosu

Bütün bu düzenek elemanları dışında soğutucu kabin içerisinde 150 W`lık bir elektrik ısıtıcısı ve iki adet 5 W`lık eksenel fan bulunmaktadır. Isıtıcı ve fan, buharlaştırıcının soğutucu akışkan miktarının ölçümü esnasında kabin iç sıcaklığı ve

buharlaştırıcı yüzey sıcaklığını yükseltmek için kullanılmaktadır. Her bir bileşendeki soğutucu akışkan miktarının ölçümü esnasında ortam sıcaklığı ile ısıl dengeye ulaşmış ve kızgın buhar fazında olması istenmektedir. Buharlaştırıcı içerisindeki soğutucu akışkan, ortama göre oldukça soğuk ve buharlaştırıcı hacminin büyük bir kısmında ıslak buhar olarak bulunmaktadır. Bu sebeple soğutucu akışkanın istenilen kızgın buhar faz şartlarına ve ortamla ısıl dengeye ulaşmasını hızlandırmak amacıyla fan ve ısıtıcı kullanılmaktadır.



**Şekil 3.6:** Soğutucu kabin içerisine yerleştirilen ısıtıcı ve fan

Tüm düzenek elemanları soğutucu sistemle birlikte taşıma kolaylığı ve daha düzgün yerleşim için bir platform üzerinde toplanmış ve Şekil 3.7’de sunulmuştur.



**Şekil 3.7:** Deney düzeneği ve soğutucu sistem

### 3.2 Soğutucu Sistem

Bu çalışma kapsamında, tek kapılı evsel bir soğutucu ile deneyler yürütülmüştür. Şekil 3.7’de deney düzeneği ile birlikte soğutucu sistem sunulmuştur. Soğutucu sistemin deney düzeneğine ve amaçlanan işe uygun olarak hazırlanabilmesi amacıyla soğutma tesisatı üzerine vanalar monte edilmiştir.

Vanaların ve tankın sisteme eklenmesi sırasında gerek bu elemanların hacmi gerekse ara tesisat bağlantılarının hacmi dolayısıyla soğutma sisteminin orijinal durumuna göre iç hacmi artmıştır. Gerçekleşen bu hacim artışının telafi edilmesi amacıyla ve tank içerisinde arta kalan miktardan dolayı sisteme soğutucu akışkan ilavesi yapılmıştır. Sistem içerisinde toplam 86 gram isobütan (R600a) bulunmaktadır.

Soğutucu, 190 litrelik kabin iç hacmine sahip bir derin dondurucudur. Üretici tarafından yıllık enerji tüketimi 243 kWh/yıl olarak bildirilmiş ve A+ enerji sınıfındadır.

Soğutucu sistemin elemanlarına ait bazı genel özellikler Çizelge 3.2`de sunulmuştur.

**Çizelge 3.2: Soğutucu sistem bileşenleri ve genel özellikleri**

|                |                                                                                     |                                        |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Buharlaştırıcı |    | WOT 6 Raf                              |
|                |                                                                                     | Isı Transferi=Doğal Taşınım            |
|                |                                                                                     | Boru=1/4" (Alüminyum)                  |
|                |                                                                                     | Boru Sayısı=10 (raf başı)              |
|                |                                                                                     | Tel Sayısı=98 (raf başı)               |
|                |                                                                                     | Buharlaştırıcı Boyutları=388 mm*345 mm |
|                |                                                                                     | Pas Aralığı=43 mm                      |
|                |                                                                                     | Tel Aralığı=5 mm                       |
| Yoğuşturucu    |   | Telli Arka                             |
|                |                                                                                     | Isı Transferi=Doğal Taşınım            |
|                |                                                                                     | Boru=3/16" (Bakır)                     |
|                |                                                                                     | Boru Sayısı=24 adet                    |
|                |                                                                                     | Tel Sayısı=136 adet                    |
|                |                                                                                     | Yoğuşturucu Boyutları=1150 mm*518 mm   |
|                |                                                                                     | Pas Aralığı=50 mm                      |
|                |                                                                                     | Tel Aralığı=6,35 mm                    |
| Filtre         |  | Çift Girişli Filtre                    |
|                |                                                                                     | Hacim=10 cc                            |
|                |                                                                                     | Gövde Çapı=19 mm (Bakır)               |
|                |                                                                                     | 10 gr Silikajel                        |
|                |                                                                                     |                                        |
|                |                                                                                     |                                        |
|                |                                                                                     |                                        |
|                |                                                                                     |                                        |
| Kompresör      |  | ACC HTK80AA                            |
|                |                                                                                     | Hermetik Pistonlu Kompresör            |
|                |                                                                                     | Yağ Tipi=Mineral                       |
|                |                                                                                     | Yağ Miktarı=170 cc                     |
|                |                                                                                     |                                        |
|                |                                                                                     |                                        |
|                |                                                                                     |                                        |
|                |                                                                                     |                                        |

### 3.3 Deney Düzeneği Çalışma Prensipleri

Deney düzeneği, Hp-Vee`de hazırlanmış olan programın kontrolü altında dışarıdan hiçbir müdahaleye gerek duyulmaksızın otomatik biçimde çalışmaktadır. Veri toplama sisteminden aldığı bilgileri de kullanarak PLC vasıtasıyla ölçümlere sürekli devam edilebilmektedir.

Deney düzeneğinde bulunan vanalar Şekil 3.1`de gösterildiği üzere numaralandırılmıştır. Deney düzeneğinin işleyişi farklı işlem aşamalarından oluşmaktadır. Bu işlem aşamalarında, vanaların konumları ve diğer elemanların durumları PLC ünitesinin veri toplama sisteminden aldığı sıcaklık ve basınç verilerine göre değişmektedir. Bu, HP-Vee hazırlanan program ile veri toplama sistemi ve PLC ünitesinin entegrasyonu ile sağlanmaktadır. Deney düzeneğinde gerçekleşen işlem aşamaları ve bu aşamalarındaki vana konumları ve diğer elemanların durumları Çizelge 3.3`de sunulmuştur.

**Çizelge 3.3:** İşlem aşamaları ve vana konumları

|                                 | <b>Kompresör</b> | <b>Açık Vanalar</b> | <b>Kapalı Vanalar</b> | <b>Isıtıcı</b> | <b>Fan</b> |
|---------------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|----------------|------------|
| <b>Vakum Başlangıcı</b>         | Açık             | 1, 2, 4, 5          | 3                     | Kapalı         | Kapalı     |
| <b>Vakum Sonu</b>               | Açık             | 1, 2, 3, 4          | 5                     | Kapalı         | Kapalı     |
| <b>Normal Çalışma</b>           | Termostatik      | 1, 2, 3, 4          | 5                     | Kapalı         | Kapalı     |
| <b>Ölçüm Başla., KH1 Ölçümü</b> | Kapalı           | 5                   | 1, 2, 3, 4            | Açık           | Açık       |
| <b>KH2 Ölçümü</b>               | Kapalı           | 3,5                 | 1, 2, 4               | Kapalı         | Açık       |
| <b>KH3 Ölçümü</b>               | Kapalı           | 2, 3, 5             | 1, 4                  | Kapalı         | Kapalı     |
| <b>Basınç Dengeleme</b>         | Kapalı           | 1, 2, 3, 4, 5       |                       | Kapalı         | Kapalı     |

Her bir ölçüme, genleşme tankının vakumlanması ile başlanılmaktadır. Vakum işlemi sırasında sadece 3 no`lu vana kapatılarak kompresörün tank ve buharlaştırıcıyı süpürmesi sağlanır. Vakum işlemi esnasında tank basıncı istenilen şarta geldiğinde 3 no`lu vana otomatik olarak açılarak 5 no`lu tank vanası kapatılır. Bu işlemden sonra kompresör normal çalışma modunda termostatik olarak çalışmaya devam eder. Normal çalışma adımında soğutucunun kabin ve diğer bileşen sıcaklıklarının kendi içinde bir rejime ulaşması için yeterli sayıda soğutma çevriminin tamamlanması beklenilmektedir. Deney öncesinde yapılan ön çalışmalarda, yeterli görülen çevrim adedi önceden bilgisayar programına girilmektedir. Sistem rejime ulaşmak için gerekli çevrim sayısını tamamladığı anda önce bütün vanalar kapatılır ve hemen arkasından kompresörün enerjisi kesilir. Daha sonra tankın önündeki 5 no`lu vana

açılarak KH1 (Buharlaştırıcı+Kılcal boru)`e ait soğutucu akışkan tanka alınır. Bu bileşendeki ölçümün bitmesi buharlaştırıcı içerisindeki soğutucu akışkanın ortam sıcaklığına ulaşarak ısı denge sağlanmasına bağlıdır. Buharlaştırıcı içerisindeki soğutucu akışkan ortam sıcaklığına göre oldukça soğuk olduğundan dolayı Şekil 3.6`da kabin içerisine yerleştirilen ısıtıcı ve fan çalıştırılarak kabin ve buharlaştırıcıyı ısıtmak suretiyle ortam şartlarına daha hızlı şekilde ulaşması sağlanır. Soğutma sistemine ait bütün bileşenlerin ölçümünde ortam sıcaklığı ile ısı dengede olması istenmektedir. Fakat sadece buharlaştırıcının ölçümünde soğutucu akışkanın ortama göre daha soğuk olmasından ötürü ısıtma işlemine başvurulur.

KH1`in ölçümü bittikten sonra sırasıyla KH2 (Filtre), KH3 (Yoğusturucu+Flanş) ait bileşenlerin önlerindeki vanalar açılarak tankta genişmesi sağlanır. Hatırlanacağı üzere soğutma sistemi 4 kontrol hacmine ayrılmıştır. Son kontrol hacminin (KH4) giriş ve çıkışındaki 1 ve 2 no`lu vana ikisi birden açılarak sistemde basınç dengesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Dengeleme işleminden sonra tekrar vakum yapılarak tankta toplanan soğutucu akışkan tekrar sisteme dağıtılır. Bu şekilde sürekli olarak düzenek çalışır. İşlemlerin sürekli tekrarlanması sonucunda soğutma sistemine ait soğutucu akışkan kütle dağılımı ortaya çıkarılmaktadır.

### **3.4 Soğutucu Akışkan Miktarının Tespiti**

Bölüm 3.3`de anlatıldığı üzere her bir soğutma bileşenindeki soğutucu akışkan miktarı, tankta genişyerek, bilinen bir hacim içerisinde kızgın buhar fazında toplanmaktadır. Soğutucu akışkan miktarının tespiti termodinamik özelliklerden yararlanılarak hesaplanmaktadır.

Tank girişinde bulunan bir adet basınç transdüseri ve RTD ile basınç ve sıcaklık değerleri sürekli olarak ölçülmektedir. Tüm veriler bilgisayar içerisinde oluşturulan bir dosyaya kaydedilmektedir. Her bir bileşenin ölçümünün bittiği an ve bu sıradaki basınç ve sıcaklık verisine bu dosyadan ulaşılmaktadır. Soğutucu akışkan miktarının hesaplanmasında, ısı denge sağlanması ve soğutucu akışkan hareketinin dengeye ulaşması sebebiyle her bir bileşenin ölçümü sonundaki veriler kullanılmaktadır.

Basınç ve sıcaklık verisinden yararlanılarak yoğunluk hesap edilmekte ve daha sonra bilinen iç hacim verisi kullanılarak her bir bileşene ait soğutucu akışkan miktarı hesaplanmaktadır (EK A.1`de örnek bir hesaplama yapılmıştır).

Tank içerisinde bir bileşenin soğutucu akışkan miktarı kendinden önce ölçümü yapılan bileşenin soğutucu akışkan miktarıyla aynı hacimde bulunmaktadır. Örneğin; yoğunlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın ölçümü esnasında, tank içerisinde, kendinden önce ölçümleri yapılan buharlaştırıcı ve filtreye ait soğutucu akışkan tank içerisinde kızgın buhar fazında bütün hacmi kaplamaktadır. Bu sebeple her bir bileşenin soğutucu akışkan miktarı, o bileşenin ölçümü bittiği anda tank içerisinde bulunan toplam miktardan, kendinden önce ölçümü yapılan bileşenin ölçümü sonunda tank içerisinde bulunan toplam soğutucu akışkan miktarından çıkarılması ile elde edilir. Örneğin; yoğunlaştırıcunun ölçümü tamamlandığında tank içerisindeki toplam soğutucu akışkan  $m_3$ , kendinden önce ölçümü tamamlanan filtre için  $m_2$  ve buharlaştırıcı için de  $m_1$  olsun ( $m_3 > m_2 > m_1$ ).

Buna göre her bir bileşen için soğutucu akışkan miktarı Çizelge 3.4'te gösterildiği üzere hesaplanmaktadır.

**Çizelge 3.4:** Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarının hesaplanması

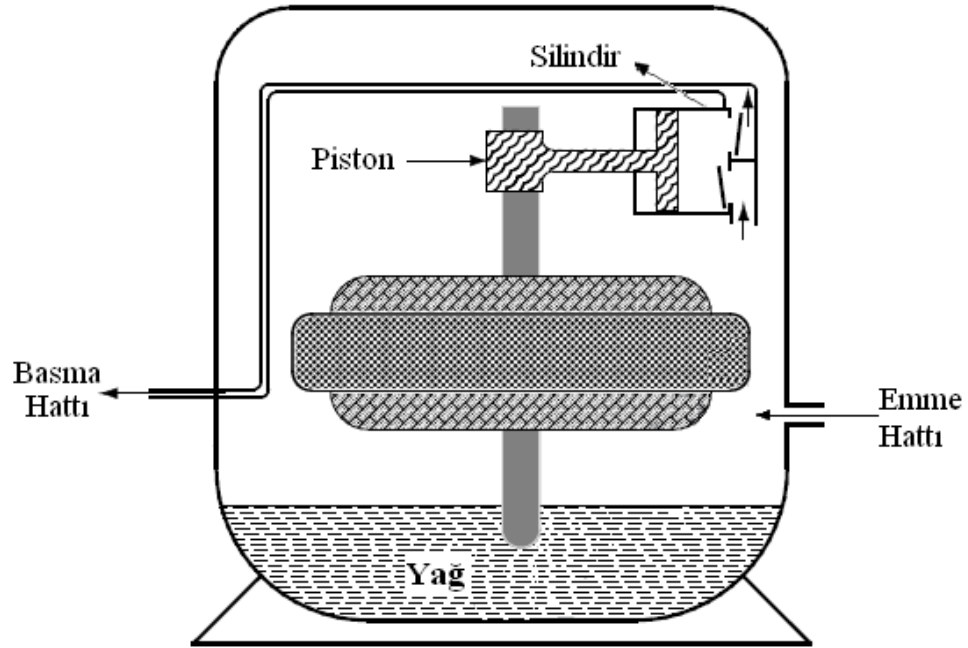
|                       | <b>Soğutucu Akışkan Miktarı</b> |
|-----------------------|---------------------------------|
| <b>Buharlaştırıcı</b> | $m_1$                           |
| <b>Filtre</b>         | $m_2 - m_1$                     |
| <b>Yoğuşturucu</b>    | $m_3 - m_2$                     |

Deneyler esnasında tank, buharlaştırıcı, filtre ve yoğunlaştırıcıya ait soğutucu akışkan miktarları bu şekilde belirlenmiştir. Kompresörde ise bu şekilde bir yol izlenilmesi durumunda sorunla karşılaşmıştır. Kompresör içerisindeki soğutucu akışkan iki farklı parametre olarak incelenmektedir. Kompresör yağ ve kompresör gaz.

Kompresörün genel yerleşimi ve muhafaza içerisinde soğutucu akışkanın izlediği yol Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Emme hattından kompresör içerisine alınan soğutucu akışkan burada yağ ile temas halindedir. İsobütan mineral yağ içerisinde çözünebilmektedir. Bu sebeple kompresör muhafazası içerisinde bulunan soğutucu akışkanın bir kısmı yağ içerisinde çözünmüş olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada yağ içerisinde çözünen miktar kompresör yağ şarjı, muhafaza içerisindeki gaz fazındaki soğutucu akışkan da kompresör gaz şarjı olarak tanımlanmıştır.

Kompresördeki soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi sırasındaki sorun, yağ soğutucu akışkan etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bölüm 3.3'te değinildiği üzere basınç dengeleme işlemi sırasında kompresörün giriş ve çıkışındaki vanalar (1 ve 4)

açılarak bu hacim içerisine hapsedilmiş soğutucu akışkanın genleşmesi sağlanmaktadır.



**Şekil 3.8:** Kompresör genel şeması [23]

Bu olay, ölçüm işleminin en son aşamasında gerçekleştiği için hapsedilmiş soğutucu akışkan bu hacim içerisinde uzun bir müddet kalmaktadır. Ayrıca bu zamana kadar kompresörün sıcaklığı değişmektedir. Bu etmenlere bağlı olarak yağ soğutucu akışkan etkileşimi değişmektedir.

Tüm bu sebeplerden ötürü kompresör gaz şarjı, tüm vanaların kapatıldığı andaki kompresöre ait sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak bilinen kompresör hacmindeki gaz kütlelerinin hesaplanması yoluyla belirlenmiştir. Yağ içerisinde çözünen miktar ise soğutucu sistem bileşenlerinin soğutucu akışkan miktarının toplanıp tüm soğutucu akışkan kütlelerinden çıkarılmasıyla elde edilir. Arta kalan miktar yağ içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı olmaktadır.



#### **4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Kurulan deney düzeneği kullanılarak tek kapılı evsel bir soğutucuya ait soğutucu akışkan kütle dağılımı 10°C, 25°C ve 32°C ortam sıcaklıklarında elde edilmiştir. Soğutucu akışkan kütle dağılımı deneylerine başlamadan önce her bir ortam sıcaklığı için deneysel hazırlık kapsamında soğutucunun ortam sıcaklığının değişmesinden kaynaklanacak çalışma karakteristiği değişimlerine karşın ön çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca deneyler öncesinde sistem bileşenlerinin iç hacim büyüklükleri tespit edilmiştir.

##### **4.1 Ön Çalışmalar**

Soğutucu sistem, farklı ortam sıcaklıklarında farklı çalışma karakteristiği göstermektedir. Deney düzeneğinin çalışması bu şartlara göre düzenlenmesi gerekmektedir.

Öncelikle sistem içerisinde dolaşacak soğutucu akışkan miktarı Bölüm 3.2`de anlatılan gerekçelerden dolayı artırılmıştır. 62 gram olan orijinal soğutucu akışkan miktarı, sistem üzerine ekleme yapılarak sistem içerisinde dolaşan toplam miktar 86 gram`a çıkarılmıştır.

Tank içerisinde kalacak soğutucu akışkan miktarının tüm durumlarda aynı olması gerekmektedir. Bu sebeple vakumlama işlemini sonlandıracak basınç değeri yüksek ortam sıcaklıklarında artırılmış, düşük ortam sıcaklıklarında da düşürülmüştür. Vakum işlemi bittikten sonra ölçüme geçilene kadar tank bu basınç değerinde bulunmaktadır. Böylece tank haricinde, soğutma çevriminin tamamında her durumda aynı miktarda soğutucu akışkanın sistemde dolaşması sağlanmıştır.

Ortam sıcaklığının kütle dağılımına olan etkisinin görülebilmesi amacıyla aynı kabin sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda uygun termostat ayarı yapılmıştır. Farklı ortam sıcaklıklarında soğutucunun rejime gelme süresi değişmektedir. Rejim şartlarına ulaşılması için kaç adet soğutma çevriminin tamamlanması gerektiği tespit edilerek programa işlenmiştir.

Buharlaştırıcının soğutucu akışkan miktarının ölçümü esnasında kabin içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanması ve bu işlemi gerçekleştirecek ısıtıcı ve fan çalışma sürelerinin belirlenmesi amacıyla deneme yanılma yoluyla çalışmalar yapılmıştır.

#### **4.2 İç hacim Belirleme Çalışmaları**

Deneyler öncesinde tüm soğutma sistemi elemanlarının iç hacmi belirlenmiştir. Bileşenlerin iç hacim verilerinin doğru tespit edilmesi önemli bir husustur. Her bir bileşenin geometrik büyüklükleri kullanılarak iç hacimleri hesaplanmış ve Çizelge 4.1`de sunulmuştur.

Ayrıca hesaplanan hacimlerin kontrolü ve doğrulanması amacıyla, deney düzeneğinin imkanları dahilinde soğutma bileşenleri içerisine bilinen miktarda soğutucu akışkan basılması suretiyle bir hacim belirleme işlemi yapılmıştır. İki farklı yöntemle yapılan hacim ölçümü karşılaştırıldığında hata payının az olduğu görülmüştür. Ara bağlantı ve vanaların hacimleri de hesaplanıp kontrol hacimlerine dahil edilmiştir.

**Çizelge 4.1:** Soğutma bileşenleri iç hacim büyüklükleri

|                             |                                       | <b>Boru<br/>boyu (m)</b> | <b>Dış çap<br/>(m)</b> | <b>İç çap<br/>(m)</b> | <b>Hacim (m<sup>3</sup>)</b> |
|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| <b>Tank Hacim</b>           | <i>Tank1</i>                          |                          |                        |                       | 0,0122                       |
|                             | <i>Tank2</i>                          |                          |                        |                       | 0,012379                     |
|                             | <i>Tank giriş-V5 arası boru</i>       | 1,34                     | 0,00635                | 0,0048                | 2,4236E-05                   |
|                             | <i>Vana5</i>                          |                          |                        |                       | 5,7917E-06                   |
|                             | <b>Toplam Tank1 İç Hacmi</b>          |                          |                        |                       | <b>0,01223003</b>            |
|                             | <b>Toplam Tank1+Tank2 İç Hacmi</b>    |                          |                        |                       | <b>0,02460903</b>            |
| <b>Buharlaştırıcı (KH1)</b> | <i>V3-V4 arası boru (1/4")</i>        | 1,315                    | 0,00635                | 0,0048                | 2,3784E-05                   |
|                             | <i>Dönüş borusu (1/4")</i>            | 1,5                      | 0,00635                | 0,0048                | 2,713E-05                    |
|                             | <i>V3+V4</i>                          |                          |                        |                       | 1,1583E-05                   |
|                             | <i>Buharlaştırıcı</i>                 |                          |                        |                       | 0,00087922                   |
|                             | <i>Kılcal boru</i>                    |                          |                        |                       | 6,5003E-07                   |
|                             | <b>Toplam Buharlaştırıcı İç Hacmi</b> |                          |                        |                       | <b>0,00091524</b>            |
| <b>Filtre (KH2)</b>         | <i>Filtre</i>                         |                          |                        |                       | 0,00001                      |
|                             | <i>V2-V3 arası boru (1/4")</i>        | 0,26                     | 0,00635                | 0,0048                | 4,7025E-06                   |
|                             | <i>V2-V3 ince boru</i>                | 0,58                     | 0,00476                | 0,00336               | 5,1402E-06                   |
|                             | <i>V2+V3</i>                          |                          |                        |                       | 1,1583E-05                   |
|                             | <b>Toplam Filtre İç Hacmi</b>         |                          |                        |                       | <b>3,1426E-05</b>            |
| <b>Yoğuş. (KH3)</b>         | <i>Yoğuşturucu</i>                    | 14,275                   | 0,00476                | 0,00336               | 0,00012651                   |
|                             | <i>Flanş</i>                          | 5,687                    | 0,00476                | 0,00336               | 5,04E-05                     |
|                             | <i>V1-V2 arası boru (1/4")</i>        | 1,2                      | 0,00635                | 0,0048                | 2,1704E-05                   |
|                             | <i>V1+V2</i>                          |                          |                        |                       | 1,1583E-05                   |
|                             | <b>Toplam Yoğuşturucu İç Hacmi</b>    |                          |                        |                       | <b>0,0002102</b>             |
| <b>Komp. (KH4)</b>          | <i>Kompresör</i>                      |                          |                        |                       | 0,001608                     |
|                             | <i>V1-V4 arası boru (1/4")</i>        | 1,35                     | 0,00635                | 0,0048                | 2,4417E-05                   |
|                             | <i>V1+V4</i>                          |                          |                        |                       | 1,1583E-05                   |
|                             | <b>Toplam Kompresör İç Hacmi</b>      |                          |                        |                       | <b>0,001644</b>              |

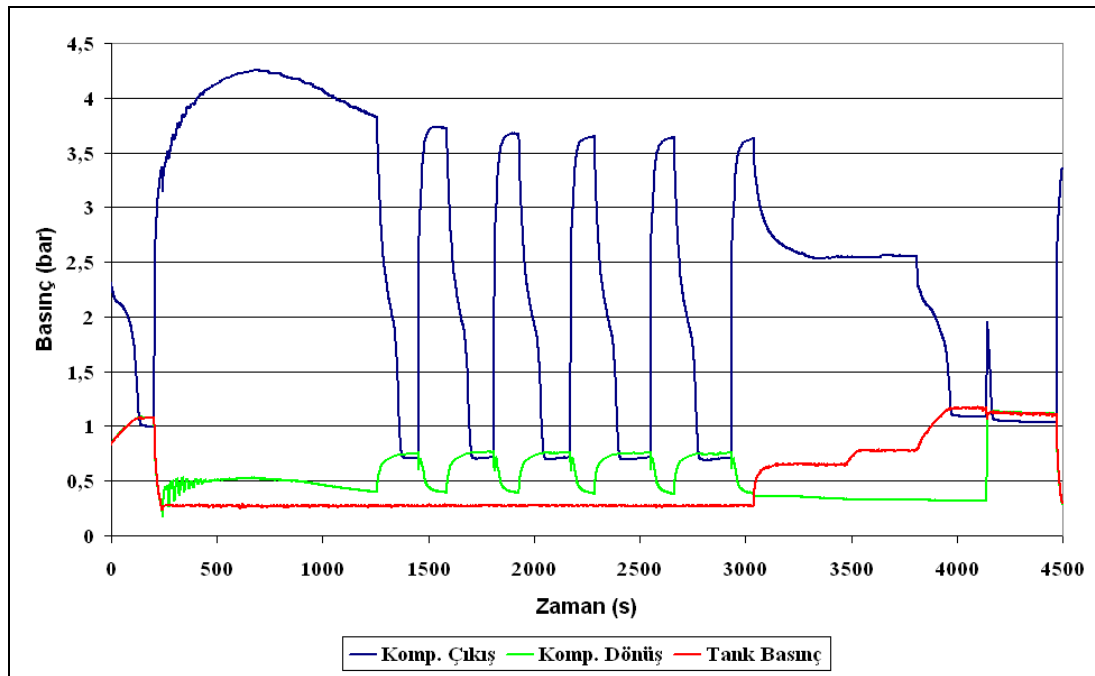
#### 4.3 Soğutucu Akışkan Kütle Dağılım Deneyleri

Termostatik çalışma koşullarında 10°C, 25°C ve 32°C ortam sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir ortam sıcaklığı deneyinde sistemin rejime gelmesi ve her bir bileşendeki soğutucu akışkanın tanka tam olarak genişmesinin sağlanması için yeterli süre beklenilmektedir. Bu sebeple deneyler oldukça zaman almaktadır.

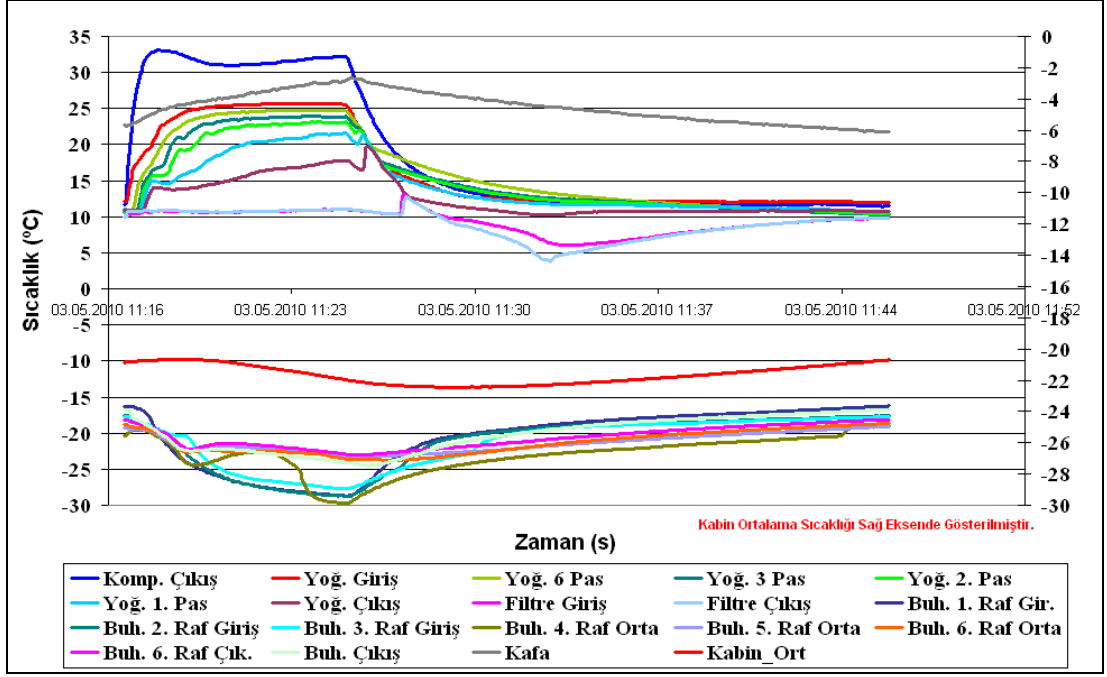
Deneyler, ortalama kabin sıcaklığının yaklaşık  $-21^{\circ}\text{C}$  olduğu termostat konumlarında yapılmıştır. Aynı toplam soğutucu akışkan miktarı ve kabin sıcaklığında yapılmış bu deneylerde farklı ortam sıcaklıklarının soğutucuya ve soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkisi incelenmiştir.

#### 4.3.1 $10^{\circ}\text{C}$ deneyleri

$10^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde 1 ölçüm noktasının eldesi yaklaşık 6,5 saat sürmektedir. Rejim şartlarına ulaşmak için 5 soğutma çevriminin tamamlanması beklenilmiştir. Bu ortam sıcaklığında elde edilen bir ölçüm periyodundaki basınç değişimi ve bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2`de sunulmuştur.



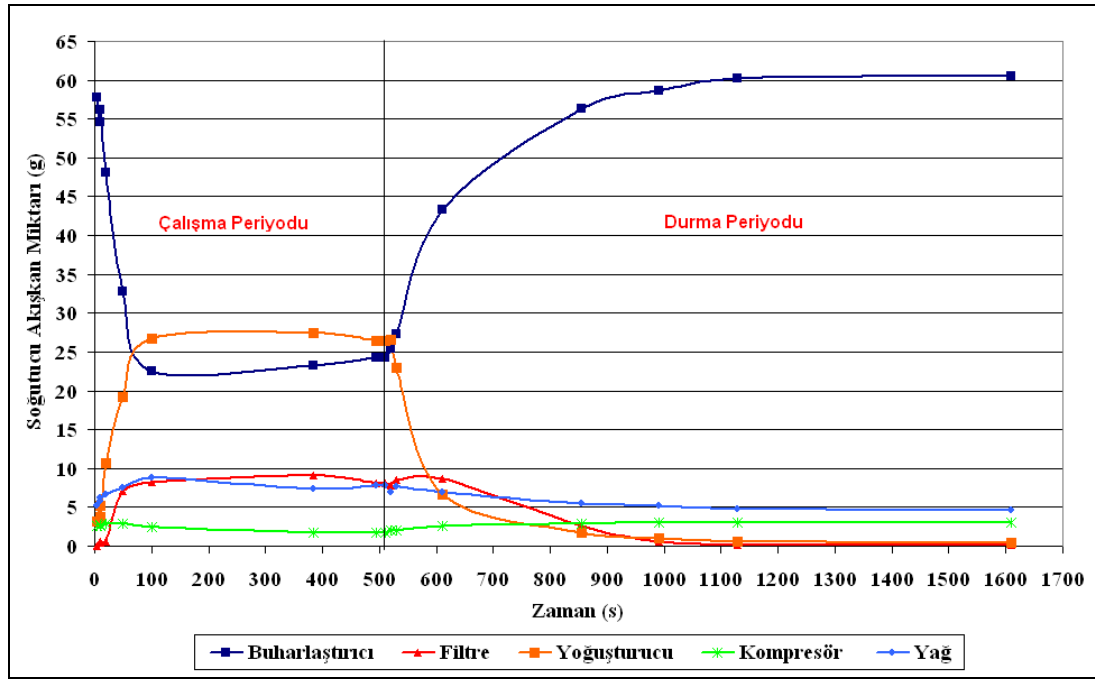
Şekil 4.1: Bir ölçüm periyodu boyunca basınç değişimi (Ortam sıcaklığı  $10^{\circ}\text{C}$ )



**Şekil 4.2:** Bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi (Ortam sıcaklığı 10°C)

Uygun termostat ayarı ile gerçekleştirilen deneylerde çalışma periyodu yaklaşık 8 dk (510 s), durma periyodu ise 21 dk (1279 s) sürmektedir. Çalışma periyodu boyunca 9, durma periyodu boyunca 7 ölçüm noktası olarak bir çevrim taranmıştır.

10°C ortam sıcaklığında kısa çalışma uzun durma karakteri gösteren soğutucuya ait soğutucu akışkan kütle dağılımı Şekil 4.3`de verilmiştir.



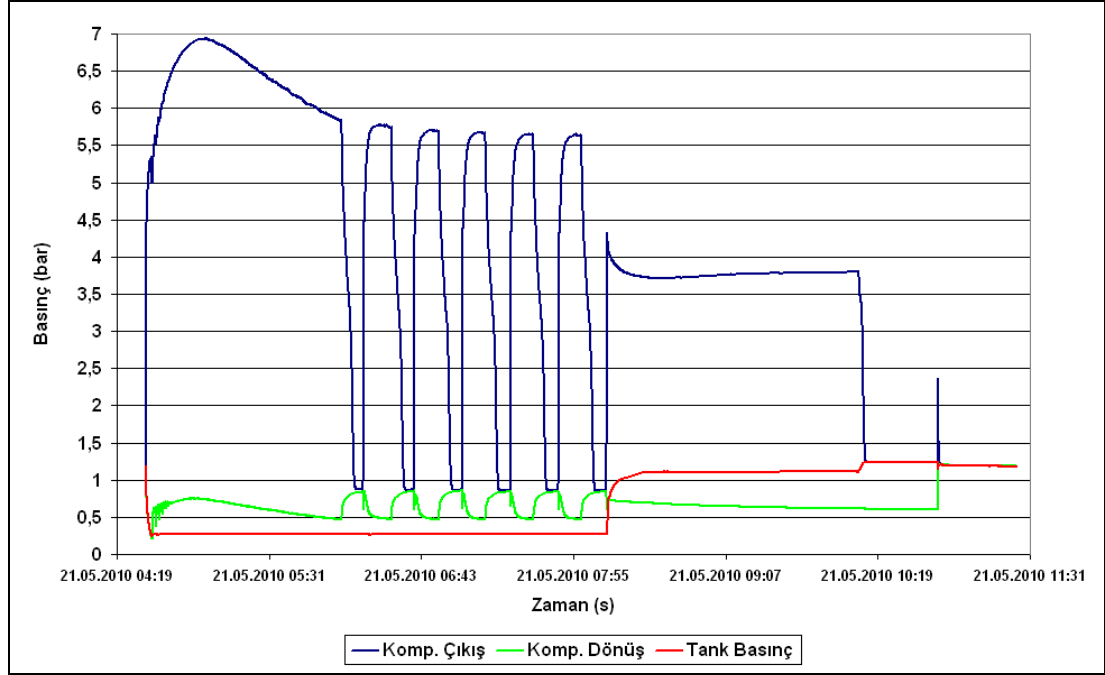
**Şekil 4.3:** Bir soğutma çevrimi boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı (Ortam sıcaklığı 10°C)

Kompresörün çalışmasıyla beraber ilk 100 saniye içerisinde buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarı %61 değişerek 57,7 gramdan 22,49 grama düşmüştür. Buharlaştırıcıdan sisteme dağılan 35 g'lık soğutucu akışkan miktarının büyük bir kısmı yoğuşturucu tarafından tutulmuştur. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu arasındaki soğutucu akışkan kütle transferi göz önüne alındığında ilk 100 s içerisinde sistemin büyük ölçüde bir dengeye ulaştığı görülmektedir.

Çalışma periyodunun sonunda sistem içerisinde dolaşan soğutucu akışkan miktarının yaklaşık %74'lik bölümü yoğuşturucu ve buharlaştırıcı hacimlerinde bulunmaktadır. Kompresörün durmasıyla, buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarı artmakta, yoğuşturucu ve filtre gibi yüksek basınçta bulunan elemanlarda ise azalmaktadır. Yoğuşturucu ve filtredeki soğutucu akışkan miktarı, soğutucu akışkan göçüyle buharlaştırıcıya birikmektedir. Aradaki basınç farkı dengelene kadar bu hareket devam etmektedir. Durma zamanında; yaklaşık 10 dakika içerisinde sistem soğutucu akışkan kütle hareketi bakımından bir rejime oturmuştur. Çalışma ve durma periyotlarında rejime girme sürelerinin farklı olmasının sebebi, durma periyodunda kılcal boru üzerinden yapılan basınç dengelemesinin yavaş gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

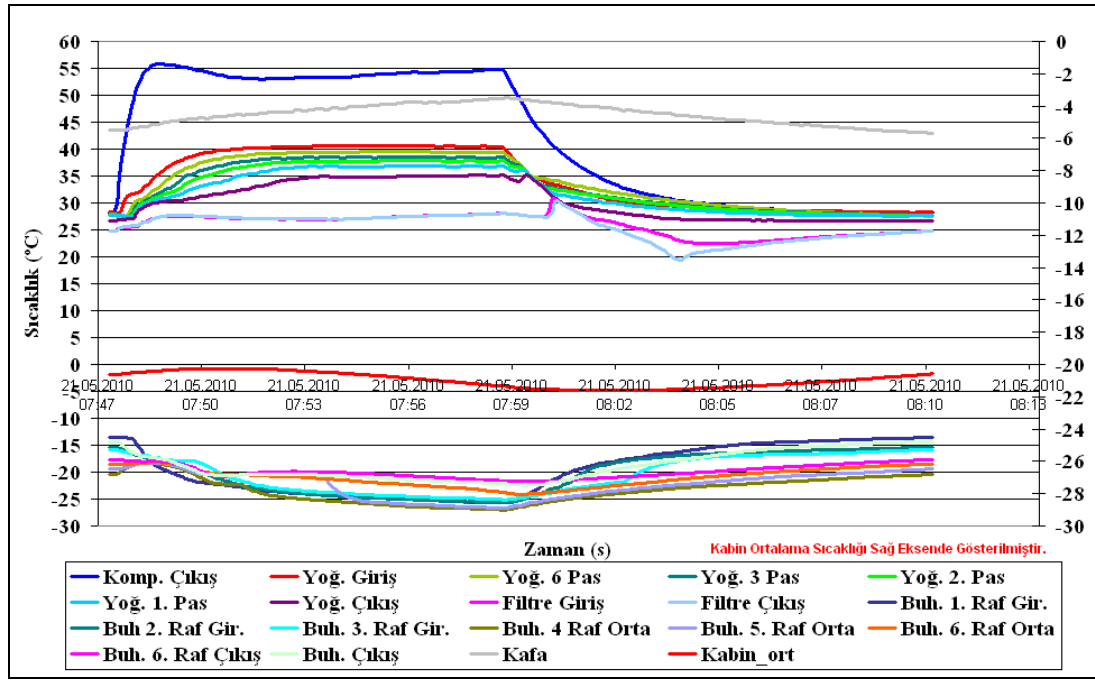
#### 4.3.2 25°C deneyleri

Bu deney şartlarında bir ölçüm noktasının elde edilmesi yaklaşık 7 saat sürmektedir. Sistemin rejime ulaşması için 6 çevrimin tamamlanması gerekmektedir. Bu ortam sıcaklığında elde edilen bir ölçüm periyodundaki basınç değişimi ve bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.4 ve Şekil 4.5`de sunulmuştur.

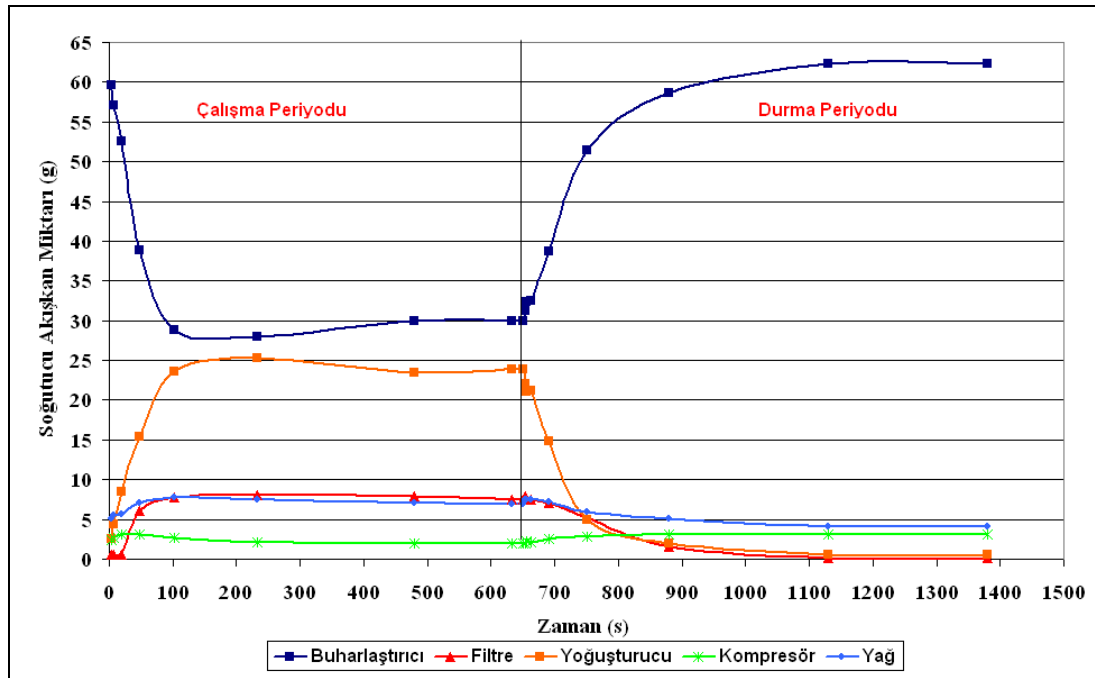


**Şekil 4.4:** Bir ölçüm periyodu boyunca basınç değişimi (Ortam sıcaklığı 25°C)

Bir çalışma periyodu yaklaşık 11 dk (650 s), durma periyodu ise 12 dk (750 s) sürmektedir. Çalışma periyodu boyunca 9, durma periyodu boyunca 8 ölçüm noktası olarak bir çevrim taranmıştır. Bu çalışma şartında elde edilen soğutucu akışkan kütle dağılımı Şekil 4.6`da verilmiştir.



Şekil 4.5: Bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi (Ortam sıcaklığı 25°C)



Şekil 4.6: Bir soğutma çevrimi boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı (Ortam sıcaklığı 25°C)

Kompresör çalışmaya başladığından itibaren sistem belirli bir dengeye oturana kadar soğutucu akışkan kütlesi paylaşımları bileşenler arasında değişmektedir. Özellikle yoğuşturucu ve buharlaştırıcı gibi sistem içerisinde büyük hacme sahip bileşenlerde soğutucu akışkan kütle değişimleri daha şiddetli olmaktadır. Çalışma periyodu başlangıcında 59,7 g ile en yüksek soğutucu akışkan miktarına sahip olan

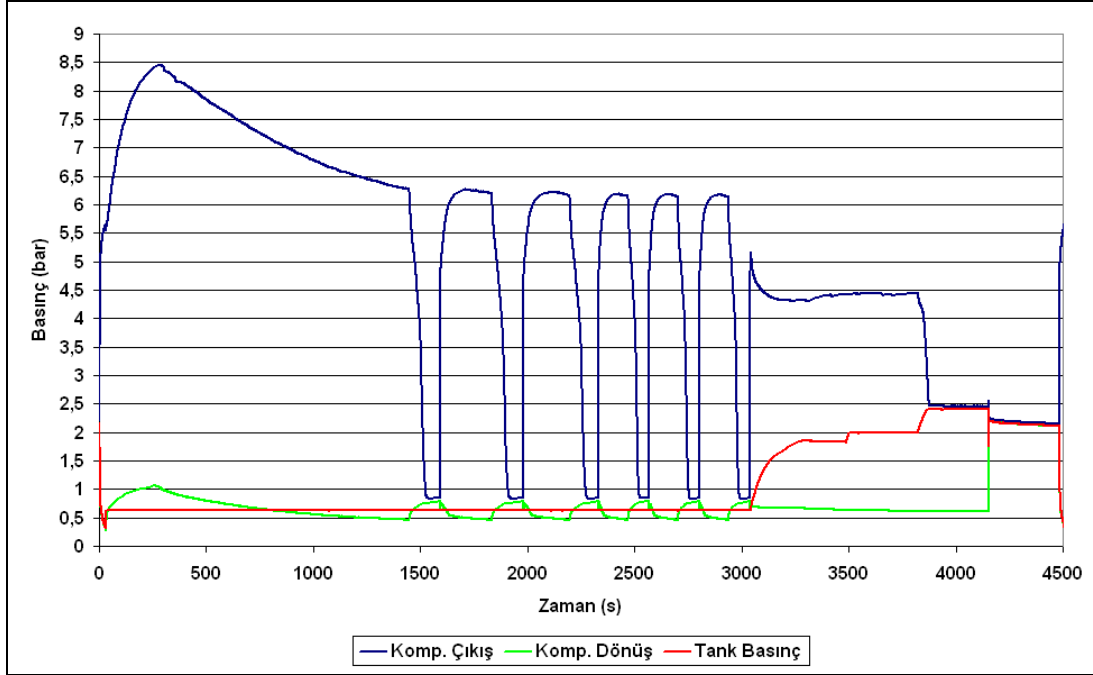
buharlaştırıcıdan sisteme soğutucu akışkan kompresör vasıtasıyla çekilerek dağıtılmaktadır. Yoğusturucu işlevini yerine getirebilmesi amacıyla belirli bir doygunluğa ulaşana kadar buharlaştıracıdan soğutucu akışkan çekmektedir. 2,6 gram ile çalışmaya başlayan yoğusturucu, 100. saniyeye kadar soğutucu akışkan çekerek yaklaşık 23,6 gramla doyuma ulaşmakta ve çalışma periyodu sonuna kadar soğutucu akışkan talebinde büyük değişimler görülmemektedir. Yoğusturucunun soğutucu akışkan talebinin çok fazla değişmemesi sonucunda buharlaştıracıdaki soğutucu akışkan miktarı 30 gram seviyelerinde kalmaktadır. Filtrede ise çalışma başlangıcında kızgın buhar fazında soğutucu akışkan bulunması sebebiyle soğutucu akışkan miktarı düşüktür. Sistem rejime girdikçe filtrede doymuş sıvı fazında soğutucu akışkan birikmekte bu da filtre hacminde toplanan soğutucu akışkan miktarını 8 grama çıkarmaktadır. Filtre gibi küçük bir hacme sahip elemanın, bu miktarlarda soğutucu akışkan tutabilmesinin sebebi bu bileşeni ayıran iki vana hacminden kaynaklanmaktadır. Sistem içerisinde en büyük hacme sahip kompresörde ise çalışma ve durma anlarında soğutucu akışkanın fazı her daim kızgın buhar olması sebebiyle pek fazla değişmemektedir.

Termostat kontrolünde kompresörün enerjisinin kesilmesiyle sistemdeki basınç farkından dolayı soğutucu akışkan göçü söz konusu olmaktadır. Yüksek basınçta bulunan yoğusturucu ve filtre gibi elemanlardaki soğutucu akışkan alçak basınçta bulunan buharlaştıracıya yürümektedir. Bu işlem denge basıncına ulaşılana kadar sürmektedir. Denge basıncına 7,5 dakikada ulaşılmaktadır. 650 saniye süren çalışma periyodundan itibaren, yaklaşık 7,5 dakika sonra (1130 s), Şekil 4.6`dan da görülebileceği üzere, soğutucu akışkan kütle değişimlerinin rejime geldiği görülmektedir. Bu ana kadar buharlaştıracının soğutucu akışkan miktarı sürekli artmakta yoğusturucu ve filtre elemanlarında ise azalmaktadır. Durma periyodunun sonlarına doğru, buharlaştıracıda sistemdeki toplam soğutucu akışkanın (tank harici toplam soğutucu akışkan miktarı 70,25 g) %89`u bulunmaktadır. Yoğusturucu ve filtrede ise soğutucu akışkan değerleri çok düşük miktarlardadır (0,6 gramdan daha az).

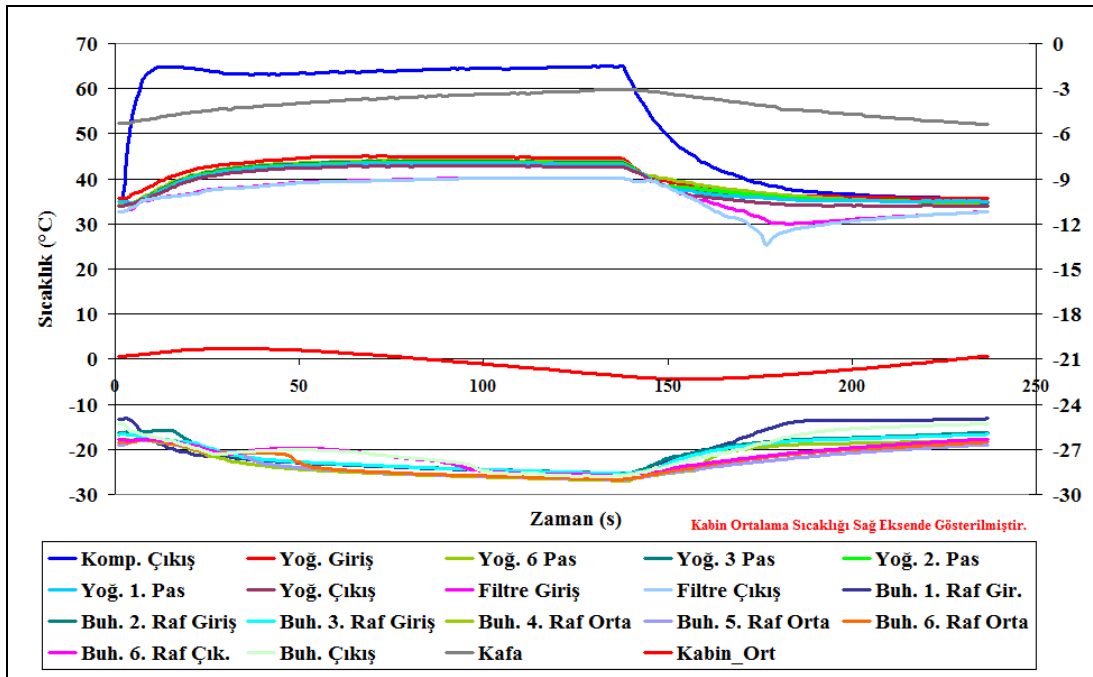
#### **4.3.3 32°C deneyleri**

Bu ortam sıcaklığında 1 noktanın elde edilmesi yaklaşık 7,5 saat sürmektedir. Sistemin rejime gelmesi için 6 soğutma çevriminin tamamlanması gerekmektedir. Bu

ortam sıcaklığında elde edilen bir ölçüm periyodundaki basınç değişimi ve bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8`de sunulmuştur.



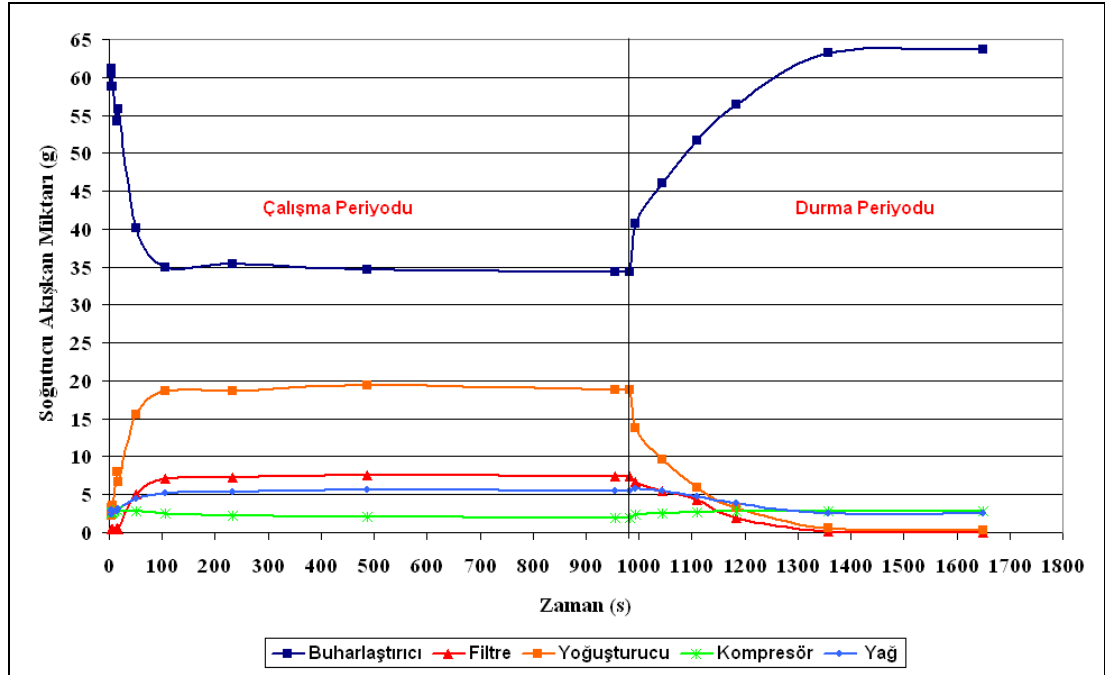
**Şekil 4.7:** Bir ölçüm periyodu boyunca basınç değişimi (Ortam sıcaklığı 32°C)



**Şekil 4.8:** Bir soğutma çevrimi boyunca sıcaklık değişimi (Ortam sıcaklığı 32°C)

32°C ortam sıcaklığında dolap, rejim halinde, 16 dk (982 s) çalışma, 12 dk (705 s) durma şeklinde bir karakter göstermiştir. Çalışma periyodu boyunca 11, durma

periyodu boyunca 6 nokta alınarak bir çevrim taranmıştır. Bu çalışma şartında elde edilen soğutucu akışkan kütle dağılımı Şekil 4.9`da verilmiştir.



**Şekil 4.9:** Bir soğutma çevrimi boyunca soğutucu akışkan kütle dağılımı (Ortam sıcaklığı 32°C)

32°C ortam sıcaklığında soğutucu akışkan kütle değişimleri 106. saniyeden itibaren rejime oturmuştur. Bu ana kadar, çevrim başlangıcında 61 gram soğutucu akışkan miktarına sahip buharlaştırıcıdan sisteme 26 gram soğutucu akışkan çekilmiş ve bu miktarın 16,6 gramlık kısmı yoğuşturucu tarafından kullanılmıştır.

Durma periyodunda yüksek basınçta bulunan elamanlardan buharlaştırıcıya soğutucu akışkan göçü ile soğutucu akışkan kütlesi hareket etmektedir. Durma periyodu sonunda buharlaştırıcıda 63,7 gram, yoğuşturucuda 0,3 gram soğutucu akışkan bulunmaktadır.

#### 4.4 Değerlendirme

Tek kapılı dondurucu tip evsel soğutucuya ait deneyler farklı ortam sıcaklıklarında yapılmıştır. Ölçüm prosedürü gereği deneyler oldukça uzun sürmektedir. Her bir ortam şartı deneyinde soğutucu akışkan kütle dağılımının değişimini yansıtabilecek, yeterli sayıda ölçüm noktası alınmıştır. Soğutucu akışkan kütle dağılım grafikleri incelendiğinde, çalışma ve durma periyotlarının başlangıçlarında, nokta sayısı daha

sık alınmıştır. Buralardaki soğutucu akışkan kütle değişimi daha şiddetli gerçekleştiği için böyle bir uygulamaya gidilmiştir. Şüphesiz daha fazla ölçüm noktasının alınması kütle dağılımını daha iyi yansıtacaktır. Her bir deneyin ne kadar sürdüğü Çizelge 4.2`de verilmiştir.

**Çizelge 4.2: Deney süreleri**

|                                                           | 10°C    | 25°C  | 32°C    |
|-----------------------------------------------------------|---------|-------|---------|
| <b>Bir Çalışma Periyodu Süresi (dk)</b>                   | 8       | 11    | 16      |
| <b>Bir Durma Periyodu Süresi (dk)</b>                     | 21      | 12    | 12      |
| <b>Çalışma Periyodu Ölçülen Nokta Sayısı</b>              | 9       | 9     | 11      |
| <b>Durma Periyodu Ölçülen Nokta Sayısı</b>                | 7       | 8     | 6       |
| <b>Bir Ölçüm Noktasının Eldesi için Geçen Süre (saat)</b> | 6,5     | 7     | 7,5     |
| <b>Toplam Deney Süresi (saat/gün)</b>                     | 104/4,3 | 119/5 | 128/5,3 |

Farklı ortam sıcaklıkları, soğutucu akışkan kütle dağılımını etkilediği gibi soğutucunun çalışma karakteristiğini de etkilemektedir. Aslında soğutucu akışkan kütle dağılımının değişmesi soğutucunun karakteristiğinin değişmesinin bir sonucudur. Farklılaşmanın temelinde nelerin yattığının ortaya çıkarılması açısından bu iki olayın beraber değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

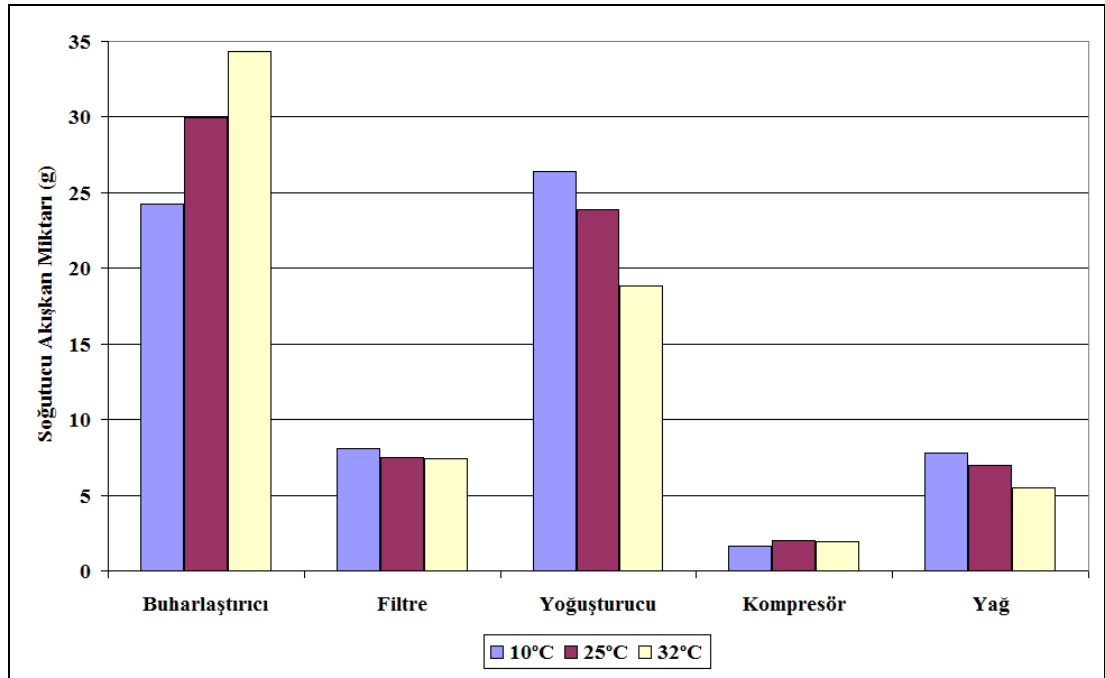
Soğutucu, içerisi ortama göre çok soğuk olan bir kapalı kutu olarak düşünüldüğünde dış yüzeylerinden ısı iletimi ile ısı kazancı olmaktadır. Aynı kabin sıcaklıklarında çalışıldığında, bu ısı kazancı, yüksek ortam sıcaklığı şartında düşüğe göre daha fazla olmaktadır. Bu sebeple yüksek ortam sıcaklığında, termostat kontrollü soğutucu diğer ortam şartlarına göre daha fazla çalışmıştır. Aynı şekilde düşük ortam sıcaklığı şartında ise ısı kazancı düşük olduğu için 8 dakikalık bir çalışma, istenilen kabin sıcaklığının elde edilmesinde yeterli olmuştur. Durma zamanlarında ise tam tersi durum söz konusudur.

Her bir ortam şartında, kısa veya uzun çalışma sonucunda, istenilen soğutma şartları elde edilmiştir. Bu şartlara ulaşmak için her bir bileşen, işlevini yerine getirebilecek soğutucu akışkan miktarını sistem içerisinde paylaşmış ve çalışmayı sistem içinde bir soğutucu akışkan kütle dengesine ulaşılarak tamamlamıştır. Farklı ortam sıcaklıklarında yapılan deneylerde, termostat kontrollü çalışma periyodu sonunda elde edilen soğutucu akışkan miktarları Çizelge 4.3 ve Şekil 4.10`da sunulmuştur.

**Çizelge 4.3:** Farklı ortam sıcaklıklarında çalışma periyodu sonunda elde edilen soğutucu akışkan miktarları

|      | Buh. (g) | Filtre (g) | Yoğ. (g) | Komp. (g) | Yağ (g) | Toplam Kütle* (g) |
|------|----------|------------|----------|-----------|---------|-------------------|
| 10°C | 24,23    | 8,11       | 26,42    | 1,66      | 7,76    | 86                |
| 25°C | 29,98    | 7,48       | 23,84    | 1,99      | 6,94    | 86                |
| 32°C | 34,36    | 7,42       | 18,8     | 1,9       | 5,45    | 86                |

\* Deneyler esnasında, yaklaşık 17 gram soğutucu akışkan ölçüm tank içerisinde kalmaktadır. Bu değer ölçüm tankı içerisinde, sisteme geri verilemeyen miktar olup tüm ölçümler sırasında sabit tutulmuştur.

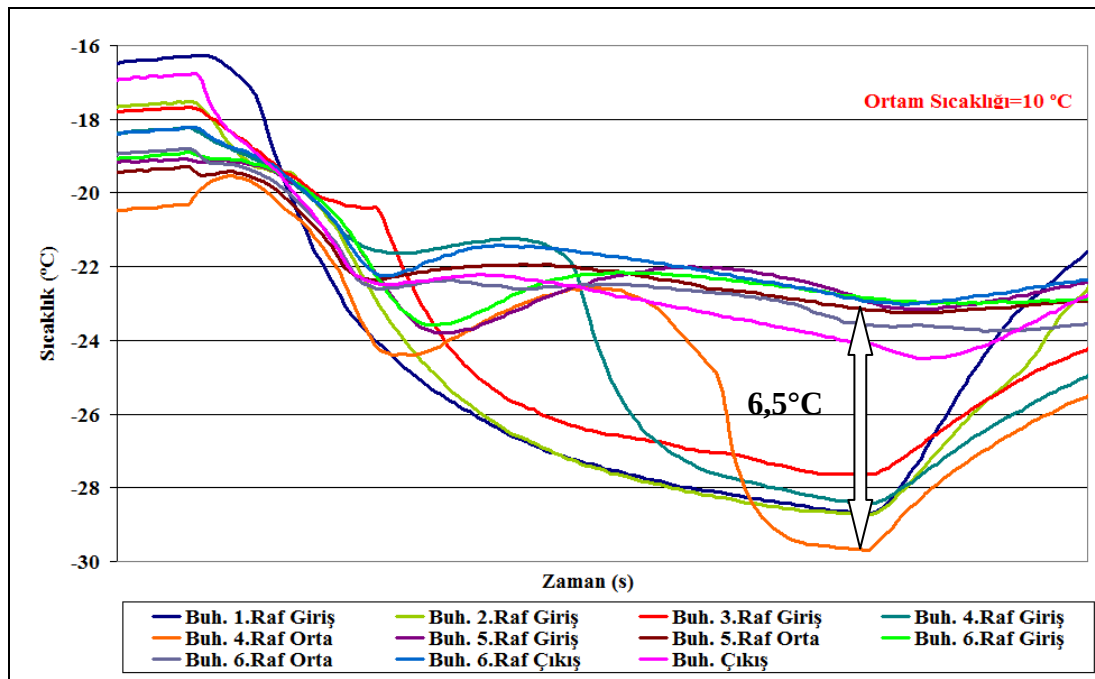


**Şekil 4.10:** Farklı ortam sıcaklıklarında çalışma periyodu sonunda soğutucu akışkan kütle dağılımı

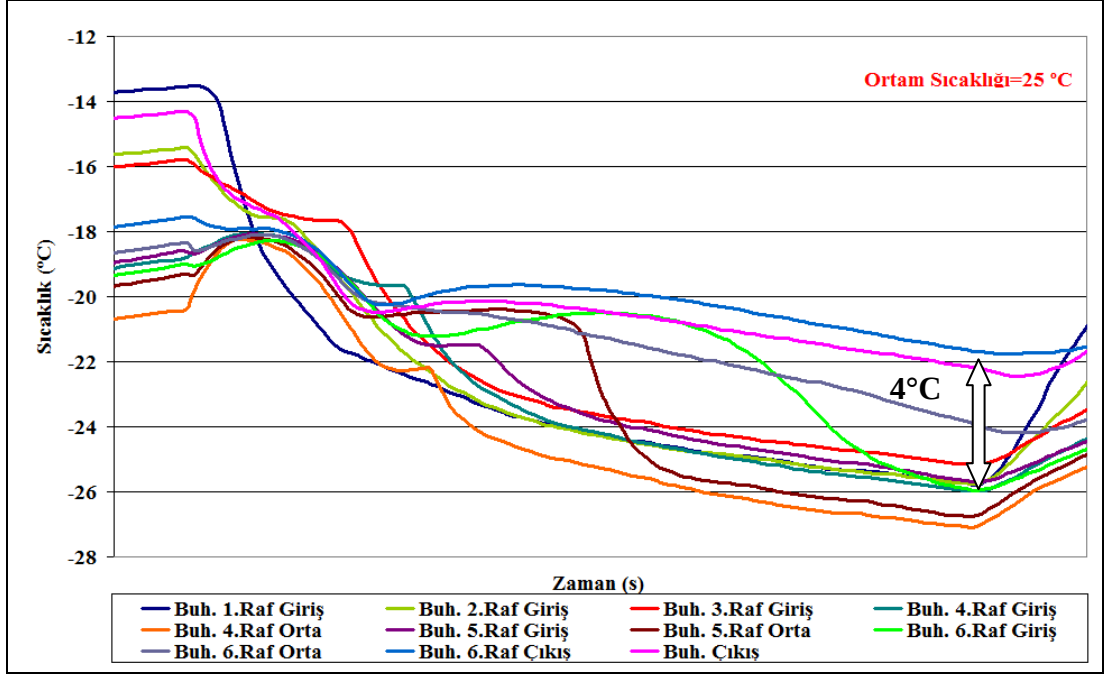
Sistemin kısa veya uzun çalışması buharlaştırıcı ve yoğuşturucu gibi elemanların doluluklarını etkilediğinden termostat kontrolü ile ulaşılan denge anında soğutucu akışkan kütle dağılımı farklı olmaktadır. Bir soğutma bileşeninin doluluğundan kasıt soğutucu akışkan faz yapısı olarak ortaya çıkmaktadır. Yoğuşturucuda dolu olarak görülen kısım kızgın buhar ve ıslak buhar faz bölgesi, boş kısım ise sıvı faz bölgesidir. Buharlaştırıcıdaki durum ise gaz fazın bulunduğu kısım boş olarak tabir edilmektedir. Bu boş olarak tabir edilen kısımlar termodinamik olarak yoğuşturucuda

aşırı soğutma (subcool), buharlaştırıcıda ise aşırı ısıtma (superheat) bölgesi olarak tanımlanmaktadır.

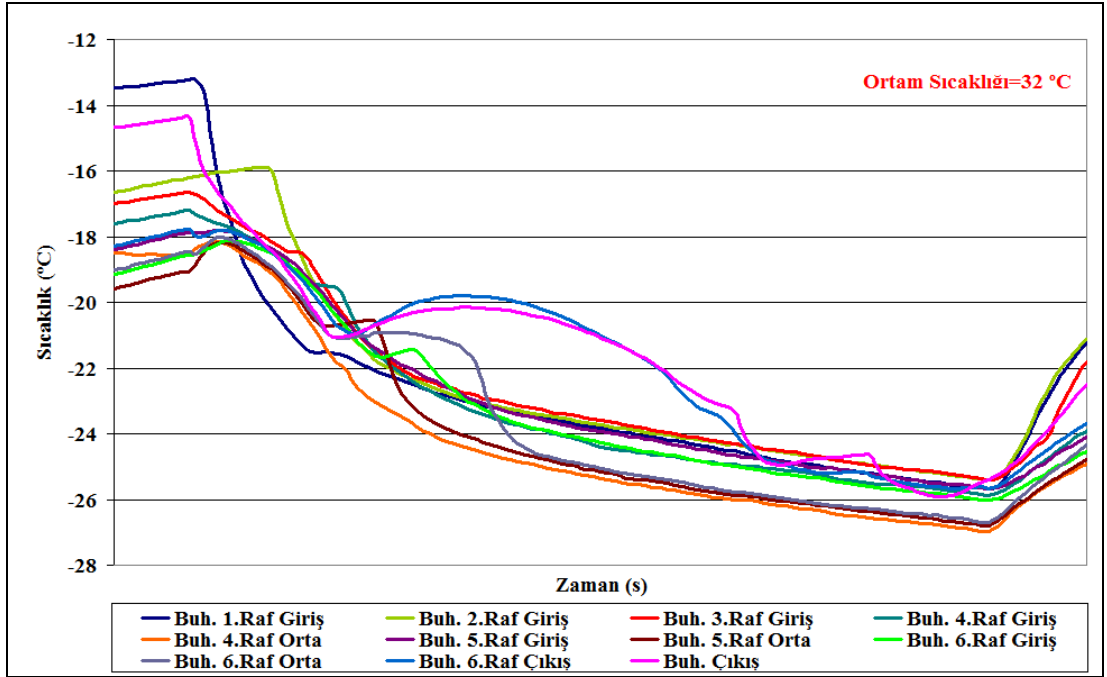
Şekil 4.10 incelendiğinde ortam sıcaklığı ile beraber buharlaştırıcının soğutucu akışkan miktarının artmakta, yoğuşturucunun ise azalmakta olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, yukarıda anlatıldığı üzere farklı ortam sıcaklıklarında gerçekleşen farklı doluluk oranlarıdır. Bu olay sıcaklık değişimi üzerinden daha net biçimde gözükmemektedir. Farklı ortam sıcaklıkları için bir çalışma periyodu boyunca buharlaştırıcıya ait sıcaklık değişimi Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.11: 10°C ortam sıcaklığında buharlaştırıcı durumu



Şekil 4.12: 25°C ortam sıcaklığında buharlaştırıcı durumu



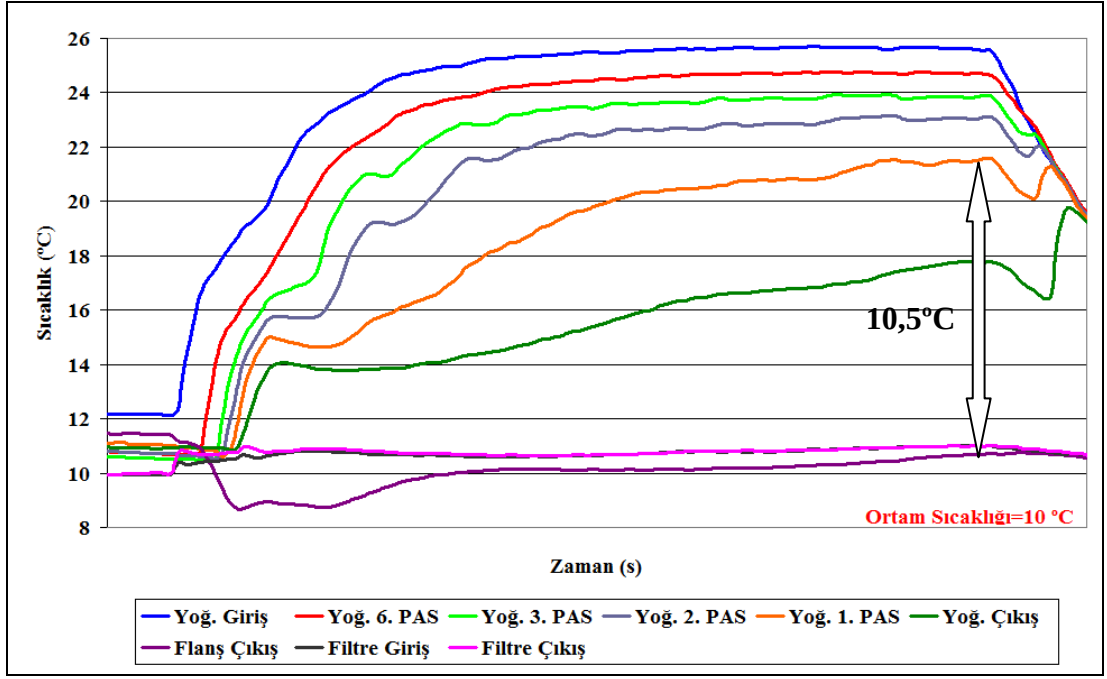
Şekil 4.13: 32°C ortam sıcaklığında buharlaştırıcı durumu

Sıcaklık değişimlerine bakıldığında düşük ortam sıcaklığında (10°C) 4. rafın ortasına kadar buharlaştırıcı doluyken yüksek ortam sıcaklığında (32°C) buharlaştırıcının çıkışına kadar doludur. Şekil 4.11'de okla gösterildiği üzere buharlaştırıcı 4. rafın ortasından sonra ilk ölçüm noktası olan 5. raf giriş noktası ile arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 6,5°C'dir. Bu veri buharlaştırıcıda, 5. rafın girişinden itibaren doymuş

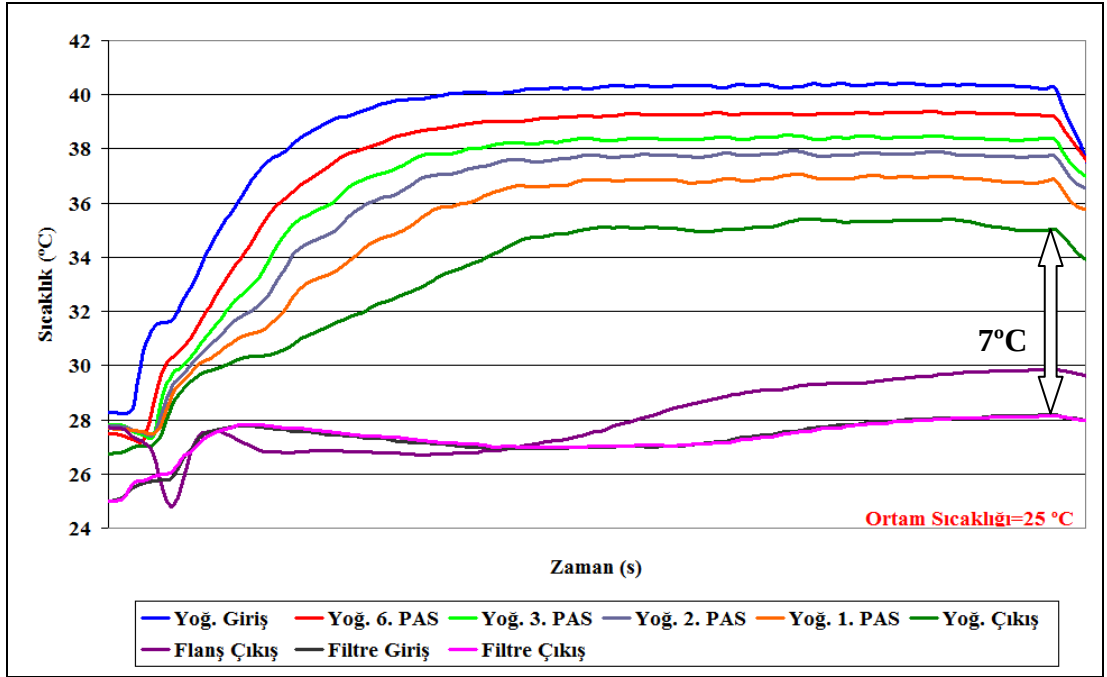
buhar fazında soğutucu akışkan bulunduğunu, yani buradan itibaren buharlaştırıcının boş olduğunu bir başka deyişle aşırı ısıtmanın başladığını göstermektedir. Şekil 4.13'te ise böyle bir durum yaşanmamış, soğutucu akışkan henüz buharlaştırıcıda doymuş buhar fazına tam olarak geçememiş veya geçmek üzeredir.

Düşük ortam sıcaklığındaki buharlaştırıcı, yüksek ortam sıcaklığındaki buharlaştırıcıya göre geriye kalan boş hacimlerini dolduran gaz veya kalitesi yüksek sıvı-gaz karışımı daha fazla yer kaplamaktadır. Bu sebeple, sıvı ve gaz fazlarının yoğunlukları dikkate alındığında farklı buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarları beklenmektedir. Elde edilen deneysel verilerden görülebileceği üzere (Şekil 4.10) düşük ortam sıcaklığı (10°C) ile yüksek ortam sıcaklıklarında (32°C) çalışma periyodu sonundaki, buharlaştırıcının soğutucu akışkan miktarında 10 grama yakın farklar söz konusudur. Yüksek ortam sıcaklığı şartında çalışan buharlaştırıcının, çıkışına kadar (ıslak buhar ile) dolu olması sonucunda en yüksek buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarı bu ortam sıcaklığında elde edilmiştir. 25°C ortam sıcaklığı ise bir ara konumu yansıtmaktadır. Nitekim bu ortam şartında buharlaştırıcı 6. rafın girişine kadar doludur. Düşük ortam sıcaklığına göre daha dolu yüksek ortam sıcaklığına göre ise daha boştur. Soğutucu akışkan miktarı da buna uygun olarak iki şartın ortasında çıkmıştır.

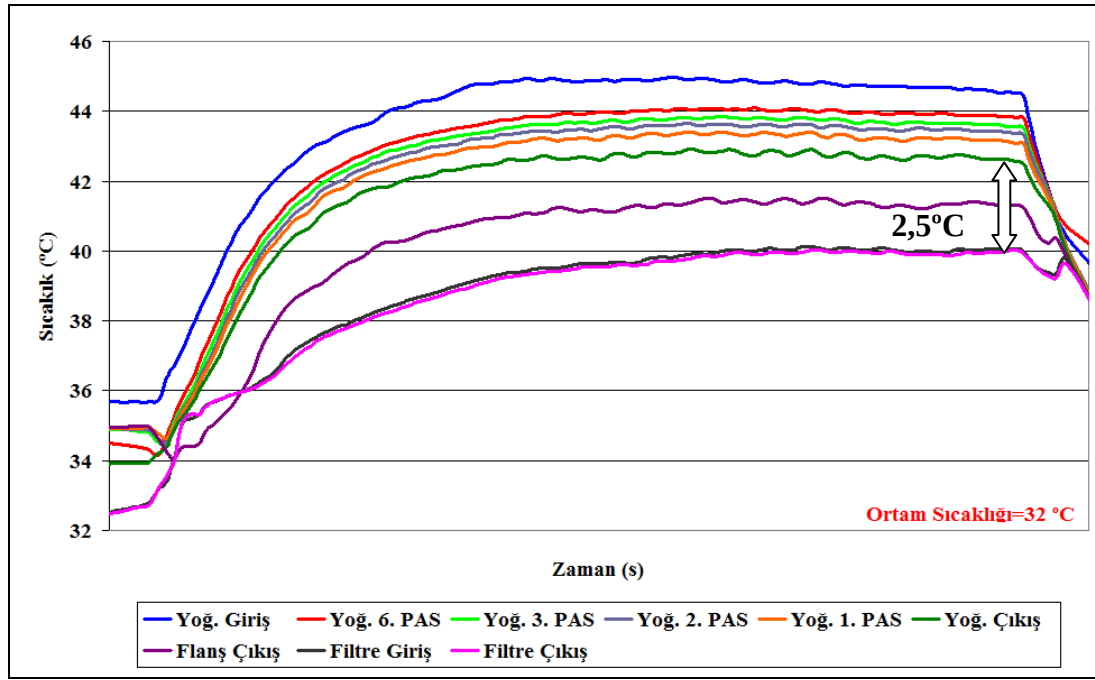
Yukarıda açıklandığı üzere, buharlaştırıcı doluluklarında görülen değişimin sebebi yoğuşturucu hacmindeki soğutucu akışkanın fazıyla da alakalıdır. Yoğuşturucu belirli bir doyuma ulaşana kadar işlevini yerine getirebilmek amacıyla sistemden soğutucu akışkan çekmektedir. Doyuma ulaştıktan sonra ise hacmi içerisinde “subcool” diye tabir edilen aşırı soğutma durumunun görülmesi durumunda hacmi içerisinde, çıkışa doğru sıvı fazında soğutucu akışkan barındırabilmektedir. Farklı ortam sıcaklıkları için bir çalışma periyodu boyunca yoğuşturucuya ait sıcaklık değişimleri Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sunulmuştur.



Şekil 4.14: 10°C ortam sıcaklığında yoğuşturucu durumu



Şekil 4.15: 25 °C ortam sıcaklığında yoğuşturucu durumu



**Şekil 4.16:** 32°C ortam sıcaklığında yoğuşturucu durumu

Buna göre yoğuşturucudaki boş hacim, ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak, aşırı soğutma miktarlarından açıkça görüldüğü üzere, azalmaktadır. Yani düşük ortam sıcaklıklarında yoğuşturucudan filtre çıkışına kadar olan hatta daha fazla sıvı fazda soğutucu akışkan bulunmaktadır. Ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak bu sıvı fazındaki soğutucu akışkan miktarının kapladığı hacmin azalması sonucunda Şekil 4.10`dan da görülebileceği üzere yoğuşturucunun soğutucu akışkan miktarı azalmaktadır.

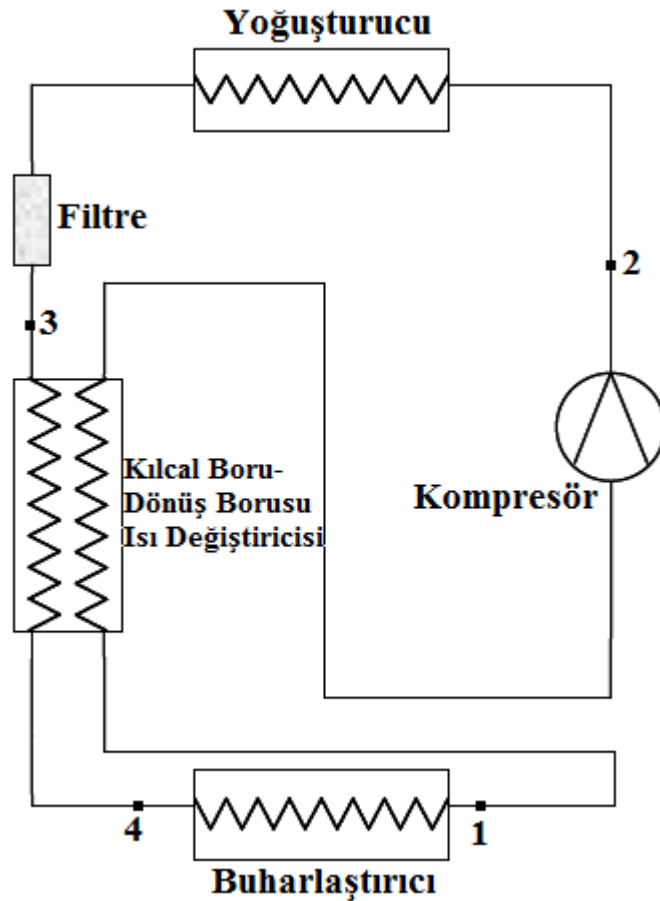
Sıvı fazındaki soğutucu akışkan, gaz fazındaki soğutucu akışkana göre aynı hacimde daha fazla yer kaplamaktadır. Yoğuşturucunun hacmi içerisinde fazladan tutulan sıvı fazındaki soğutucu akışkan, kılcal boru üzerinden buharlaştırıcıya giden soğutucu akışkan miktarında eksilmeye neden olmaktadır. Bunun sonucunda buharlaştırıcıda, çıkışa doğru boş hacimler oluşmaktadır. Buradan çıkan sonuç, ortam sıcaklığına bağlı olarak termostatik çalışma şartlarında buharlaştırıcı ve yoğuşturucudaki soğutucu akışkan kütle hareketi birbirlerinin tersi yönde bir karakter göstermektedir. Şekil 4.10`dan görüldüğü üzere yapılan deneyler bu sonucu doğrulamıştır.

En fazla soğutucu akışkan kütle değişimleri, yoğuşturucu ve buharlaştırıcıda gerçekleştiği için bu bileşenlerin üzerinde daha fazla durulmuştur. Sistemin geri kalan bileşenlerine bakıldığında ise kompresör gaz soğutucu akışkan miktarında ciddi bir değişiklik görülmemiştir. Her durumda içerisinde gaz fazında soğutucu

akışkan bulunduğundan dolayı miktarı düşüktür. Kompresör yağı içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarında durum diğer bileşenlerin soğutucu akışkan ihtiyacına göre değişebilmektedir. Yüksek ortam sıcaklıklarında yağ içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı daha az olması sebebiyle yağ içerisinde çözünen soğutucu akışkan kütlesi, bu şartta diğer durumlara göre düşük çıkmıştır.

Filtre gibi küçük hacme sahip bir elemanda soğutucu akışkan miktarı yüksek ölçülmüştür. Bunun sebebi önceki bölümlerde açıklandığı üzere filtrenin giriş ve çıkışındaki iki vanadan kaynaklanmaktadır. Vanaların kullanılması sebebiyle hacmi büyüyen kontrol hacminde sıvı fazda soğutucu akışkan bulunması değerlerin beklenenden fazla çıkmasına sebep olmuştur.

Farklı ortam sıcaklıklarının soğutucunun performansına olan etkisinin görülebilmesi amacıyla soğutma etkinlik katsayısı hesaplanmıştır. Soğutma sisteminin şematik yerleşimi Şekil 4.17`de sunulmuştur.



Şekil 4.17: Soğutma sistemi şematik yerleşimi

Deneylerden elde edilen sıcaklık ve basınç verileri kullanılarak Refprop programında entalpi değerleri elde edilmiş ve Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 sunulmuştur. Refprop, termodinamik özelliklerin hesaplanmasını sağlayan bir bilgisayar programıdır [24].

**Çizelge 4.4:** 10°C ortam sıcaklığı deneylerinde ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanan entalpi değerleri

|                             | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) | Entalpi (kJ/kg) |
|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| <b>Buh. Çıkış (1)</b>       | -24,04        | 0,38         | 524,4           |
| <b>Komp. Çıkış (2)</b>      | 32,16         | 3,64         | 601,02          |
| <b>Kılcal Boru Gir. (3)</b> | 10,99         | 3,64         | 225,76          |
| <b>Buh. Giriş (4)</b>       | -34,12        | 0,38         | 225,76          |

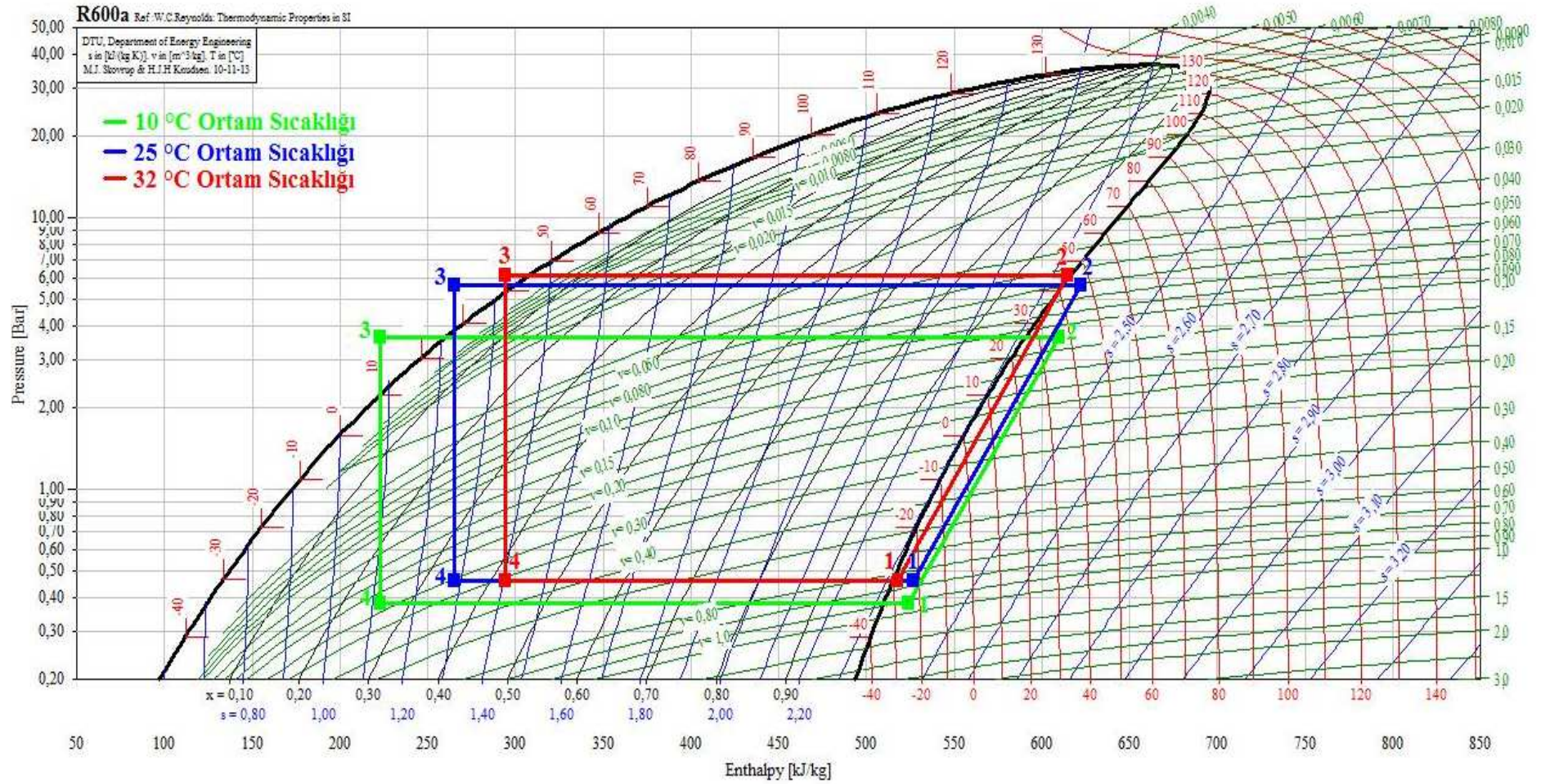
**Çizelge 4.5:** 25°C ortam sıcaklığı deneylerinde ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanan entalpi değerleri

|                             | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) | Entalpi (kJ/kg) |
|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| <b>Buh. Çıkış (1)</b>       | -22,11        | 0,46         | 526,76          |
| <b>Komp. Çıkış (2)</b>      | 54,79         | 5,63         | 636,05          |
| <b>Kılcal Boru Gir. (3)</b> | 28,01         | 5,63         | 266,95          |
| <b>Buh. Giriş (4)</b>       | -30,01        | 0,46         | 266,95          |

**Çizelge 4.6:** 32°C ortam sıcaklığı deneylerinde ölçülen basınç ve sıcaklık değerleri ile hesaplanan entalpi değerleri

|                             | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) | Entalpi (kJ/kg) |
|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| <b>Buh. Çıkış (1)</b>       | -25,82        | 0,46         | 521,31          |
| <b>Komp. Çıkış (2)</b>      | 64,94         | 6,14         | 654,4           |
| <b>Kılcal Boru Gir. (3)</b> | 40,09         | 6,14         | 297,28          |
| <b>Buh. Giriş (4)</b>       | -30,14        | 0,46         | 297,28          |

3 ortam sıcaklığında yapılan deneylerden elde edilen verilere göre Coolpack programında, P – h diyagramı otomatik olarak çizdirilmiştir. Şekil 4.18`den açıkça görülebileceği üzere ortam sıcaklığının artmasıyla, buharlaşma ve yoğunlaşma basıncı artmaktadır.



Şekil 4.18: Coolpack programı ile çizdirilen P – h diyagramı

Entalpi değerlerinin elde edilmesiyle buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı, kompresör işi ve soğutma etkinlik katsayısı, sırasıyla, Denklem (4.1), Denklem (4.2) ve Denklem (4.3) kullanılarak belirlenmiş ve Çizelge 4.7 ve Şekil 4.19'da sunulmuştur.

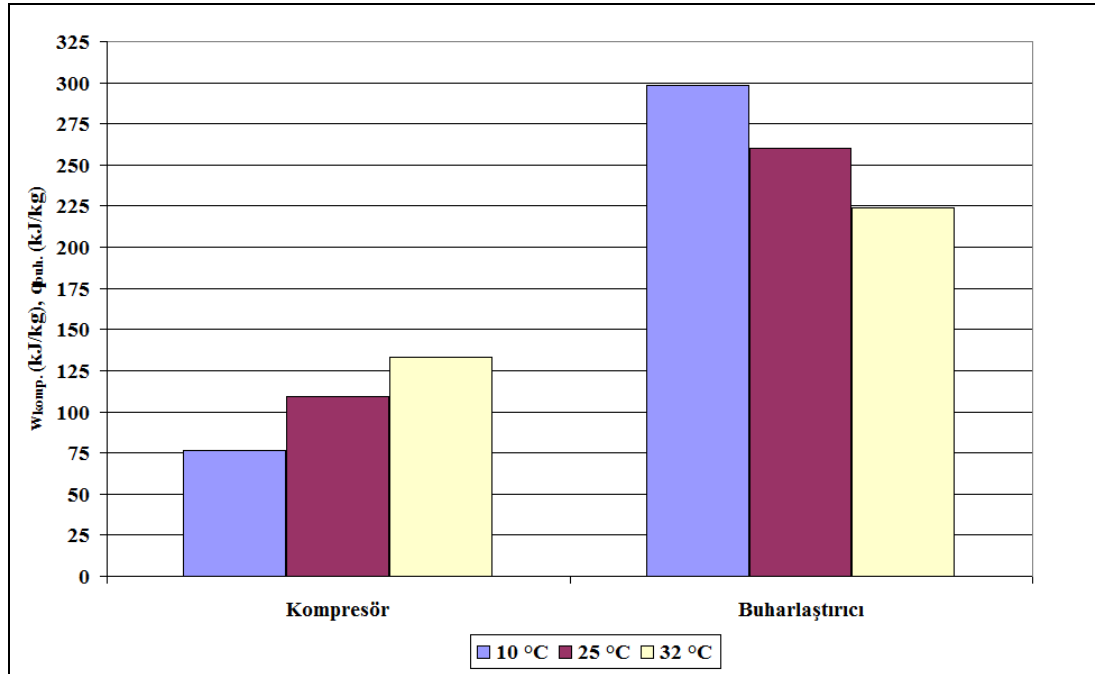
$$q_{buh.} = h_1 - h_4 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (4.1)$$

$$w_{komp.} = h_2 - h_1 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (4.2)$$

$$COP = \frac{q_{buh.}}{w_{komp.}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4.3)$$

**Çizelge 4.7:** Farklı ortam sıcaklıklarında elde edilen COP değerleri

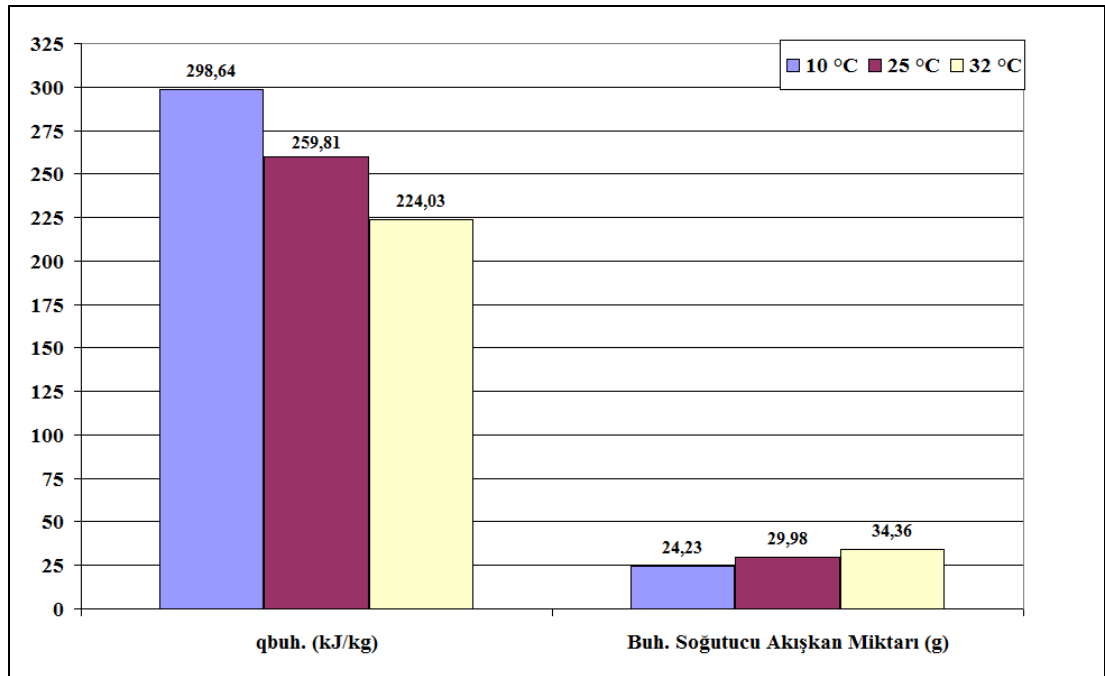
|                                  | 10°C   | 25°C   | 32°C   |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| <b>w<sub>komp.</sub> (kJ/kg)</b> | 76,62  | 109,29 | 133,09 |
| <b>q<sub>buh.</sub> (kJ/kg)</b>  | 298,64 | 259,81 | 224,03 |
| <b>COP</b>                       | 3,90   | 2,38   | 1,68   |



**Şekil 4.19:** Farklı ortam sıcaklıklarında buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı (q<sub>buh.</sub>) ve kompresör işi (w<sub>komp.</sub>)

Şekil 4.19 ve Çizelge 4.7`den görülebileceği üzere yüksek ortam sıcaklığında soğutmanın yapılabilmesi için daha fazla kompresör işine ihtiyaç vardır. Buna karşın soğutucu kabin iç sıcaklığının istenilen şartlara getirilmesi için buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı miktarı ( $q_{buh.}$ ), ortam sıcaklığının artmasına bağlı olarak, azalmaktadır. Bu olaylar sonucunda en yüksek soğutma etkinlik katsayısı 10°C ortam sıcaklığında, en düşük etkinlik katsayısı ise 32°C ortam sıcaklığında elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı miktarı ile soğutucu akışkan miktarı beraber incelendiğinde birbirlerinin tersi yönde karakter sergiledikleri görülmektedir (Şekil 4.20).



**Şekil 4.20:** Buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı ile buharlaştırıcı soğutucu akışkan miktarı arasındaki ilişki

Buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan toplam ısı miktarı ise Denklem (4.4) kullanılarak hesap edilmiş ve Çizelge 4.8`de sunulmuştur

$$Q_{buh.} = m_{buh.} * (h_1 - h_4) = m_{buh.} * q_{buh.} \quad [kJ] \quad (4.4)$$

**Çizelge 4.8:** Buharlaştırıcı tarafından soğutucu akışkana aktarılan ısı miktarı

|                                          | <b>10°C</b> | <b>25°C</b> | <b>32°C</b> |
|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b><math>q_{buh.}</math> (kJ/kg)</b>     | 298,64      | 259,81      | 224,03      |
| <b>Buh. Soğutucu Akışkan Miktarı (g)</b> | 24,23       | 29,98       | 34,36       |
| <b><math>Q_{buh.}</math> (kJ)</b>        | 7,24        | 7,79        | 7,70        |

Çizelge 4.8`den görülebileceği üzere tüm ortam sıcaklıklarında buharlaştırıcı tarafından ortalama 7,6 kJ`luk ısı, soğutucu akışkana aktarılmaktadır. Birim kütle başına ısı aktarımının düşük olduğu ortam sıcaklıklarında, buharlaştırıcı daha fazla soğutucu akışkan tutmaktadır. Böylece ortam sıcaklığının yüksek olduğu şartlarda buharlaştırıcı daha fazla soğutucu akışkan ile aynı soğutma miktarını gerçekleştirmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Soğutma sistemlerinde, farklı ortam sıcaklıklarının soğutucu akışkan kütle dağılımına olan etkisinin görülebilmesi amacıyla bir deney düzeneği kurulmuş ve buhar sıkıştırırmalı soğutma esasına göre çalışan tek kapılı dondurucu tip bir evsel soğutucu üzerinde 10 °C, 25 °C ve 32 °C ortam sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Çalışma ve durma periyotlarında, soğutucu akışkan kütle dağılımının değişimini görmek amacıyla yeterli sayıda ölçüm noktası alınarak bir soğutma çevrimi taranmıştır.

Her bir bileşendeki soğutucu akışkan miktarı, vanalar aracılığıyla bir hacme hapsedilip yeterli büyüklükteki bir ölçüm tankı içerisinde genleşmesi sağlanarak genleşme sonunda büyüklüğü bilinen bir hacim içerisinde kızgın buhar faz şartlarında soğutucu akışkan oluşturulması sonucunda termodinamik özellikler (P, V, T) kullanılarak belirlenmiştir.

Termostat kontrollü yapılan deneylerde, kompresörün çalışmaya başlamasıyla beraber, durma periyodunun sonunda en fazla soğutucu akışkan kütlesine sahip buharlaştırıcıdan, soğutucu akışkan tüm sisteme dağıtılmaktadır. Buharlaştırıcıdan sisteme dağıtılan soğutucu akışkan, diğer soğutma bileşenlerinin işlevini yerine getirebilecek şekilde paylaşılarak çalışma sonunda bir soğutucu akışkan kütle dengesine ulaşılmaktadır. Kompresörün durdurulmasıyla yüksek basınçtaki yoğunlaştırıcı ve filtre gibi elemanlardan soğutucu akışkan göçü ile soğutucu akışkan buharlaştırıcıya taşınmaktadır. Farklı ortam sıcaklıklarında soğutucu sistemde soğutucu akışkanın dağıtılması ve toplanması sırasında bu şekilde bir karakter gösteren soğutucu akışkan kütle dağılımı deneysel olarak elde edilmiştir.

Soğutucu sistem bileşenleri içerisinde en şiddetli soğutucu akışkan kütle değişimleri buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcıda gerçekleşmiştir. Çalışma sonu ve başlangıcındaki değerler baz alındığında elde edilen değişim miktarları Çizelge 5.1`de sunulmuştur.

**Çizelge 5.1:** Sistem Bileşenlerindeki Soğutucu Akışkan Kütle Değişim Miktarları

|                                                                     | 10°C   | 25°C   | 32°C   |
|---------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| <b>Buharlaştırıcının Soğutucu Akışkan Kütle Değişim Miktarı (g)</b> | -33,48 | -29,69 | -26,19 |
| <b>Yoğuşturucunun Soğutucu Akışkan Kütle Değişim Miktarı (g)</b>    | 23,2   | 21,24  | 16,63  |
| <b>Filtrenin Soğutucu Akışkan Kütle Değişim Miktarı (g)</b>         | 8,05   | 6,91   | 7,03   |

Buharlaştırıcıda, çalışma başlangıcına göre 30 grama varan azalma yaşanırken yoğuşturucuda 20 grama yakın bir artış söz konusudur. Filtrenin soğutucu akışkan miktarındaki değişimde de artış olmaktadır. Soğutma sistemi içerisinde kompresörden sonra en fazla iç hacme sahip elemanlar buharlaştırıcı ve yoğuşturucudur. Kompresör muhafazası içerisinde her daim gaz fazında soğutucu akışkan bulunması sebebiyle soğutucu akışkan kütlesi ve değişim miktarı küçük mertebelerdedir. Buna karşın buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun hacimlerinin büyük bir kısmında ıslak buhar fazında soğutucu akışkan tutması sebebiyle soğutucu akışkan kütle miktarları ve değişimleri yüksek olmaktadır.

Termostatik çalışma sonucunda elde edilen çalışma periyodu sonu soğutucu akışkan miktarları incelendiğinde farklı ortam sıcaklıklarının, termostat kontrolü ile çalışma ve durma sürelerini etkilediği ve bunun sonucunda buharlaştırıcı ve yoğuşturucu doluluklarının değiştiği görülmüştür. Sıcaklık verisinden yararlanılarak yapılan değerlendirmede ortam sıcaklığının artışı ile yoğuşturucudaki aşırı soğutma derecesinin azaldığı görülmektedir. Bunun sonucunda yoğuşturucunun yüksek ortam sıcaklıklarına çıktıkça daha az miktarda sıvı fazında akışkan tutması sebebiyle soğutucu akışkan miktarı azalmıştır. Ayrıca yoğuşturucu hacmi içerisinde, çıkışa doğru, boş kalan hacmi doldurmak zorunda kalan sıvı fazındaki soğutucu akışkan buharlaştırıcıya gidecek soğutucu akışkan miktarını azalttığı için buharlaştırıcının çıkışına doğru boş hacimler oluşmasına sebep olmuştur. Bu bilgiler ışığında ortam sıcaklığının artışı yoğuşturucunun soğutucu akışkan miktarının azalmasına buharlaştırıcınının ise artmasına sebep olmuştur.

Farklı ortam sıcaklıklarının soğutucunun performansına olan etkisinin görülebilmesi amacıyla soğutma etkinlik katsayısı hesaplanmıştır. Deneyler sırasında ölçülen sıcaklık ve basınç verisinden yararlanılarak COP değerleri hesaplanmış ve yüksek ortam sıcaklığı şartlarında soğutma etkinlik katsayısının düştüğü görülmüştür. Bu duruma, yüksek ortam sıcaklığı şartlarında daha yüksek yoğuşma basıncı ve

sıcaklığına çıkılması sebebiyle daha fazla kompresör işine ihtiyaç duyulması ve buharlaşma basıncının yükselmesi nedeniyle buharlaştırıcıda birim soğutucu akışkan kütlesi başına aktarılan ısı miktarının azalması sebep olmaktadır.

Ortam sıcaklığının yükselmesi ile buharlaştırıcıda birim soğutucu akışkan kütlesi başına aktarılan ısı miktarı azalırken buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkan miktarı artmaktadır. Böylece yüksek ortam sıcaklığı şartlarında buharlaştırıcı daha fazla soğutucu akışkan kütlesi tutarak her ortam sıcaklığında aynı soğutma miktarını gerçekleştirmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Url-1**, <<http://www.industryplayer.com/licenceinfo.php?licid=012520>>, 18.03.2010.
- [2] **Url-2**, <<http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcoursecontents/IIT%20Kharagpur/Ref%20and%20Air%20Cond/pdf/RAC%20%20Lecture%201.pdf>>, 03.09.2010.
- [3] **Url-3**, <<http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Ref%20and%20Air%20Cond/pdf/RAC%20Lecture%202.pdf>>, 03.09.2010.
- [4] **Url-4**, <[http://www.arneg.it/news/newsletter/allegati/Arneg\\_newsletter\\_02-2009\\_en.pdf](http://www.arneg.it/news/newsletter/allegati/Arneg_newsletter_02-2009_en.pdf)>, 03.09.2010.
- [5] **Vjacheslav, N., Rozhentsev, A., and Wang, C. C.**, 2000. Rationally based model for evaluating the optimal refrigerant mass charge in refrigerating machines, *Energy Conversion and Management*, Vol.**42**, issue 18, pp.2083-2085.
- [6] **Grace, I. N., Datta D., and Tassou, S. A.**, 2004. Sensitivity of refrigeration system performance to charge levels and parameters for on-line leak detection, *Applied Thermal Engineering*, Vol.**25**, issue 4, pp.557-566.
- [7] **Poggi, F., Macchi-Tejada, H., Leducq D., and Bontemps A.**, 2007. Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction, *International Journal of Refrigeration*, Vol.**31**, issue 3, pp.353-370.
- [8] **Rice, C.K.**, 1987. The effect of void fraction correlation and heat flux assumption on refrigerant charge inventory predictions, *ASHRAE Trans.*, Vol.**93**, pp.341-367.
- [9] **Machado, L.**, 1996. Modeléle de simulation et etude expérimentale d'un évaporateur de machine frigorifique en régime transitoire, *Energétique*, INSA, Lyon.
- [10] **Marinhas, S., Macchi, H., and Leducq, D.**, 2004. Evaluation of the refrigerant charge in a microchannel air condenser, *Cemagref Refrigerating Process Research Unit*, France
- [11] **Mulroy W. J., and Didion, D. A.**, 1985. Refrigerant migration in a split unit air conditioner, *ASHRAE Trans.*, Vol.**92(1A)**, pp.193-206.
- [12] **Ding G., Ma X., Zhang P., Han, W., Kasahara, S., and Yamaguchi T.**, 2008. Practical methods for measuring refrigerant mass distribution inside refrigeration system, *International Journal of Refrigeration*, Vol.**32**, issue 2, pp.327-334.

- [13] **Hoehne, M. R., and Hrnjak, P. S.,** 2004. Charge minimization in systems and components using hydrocarbons as a refrigerant, *ACRC Report*, TR-224
- [14] **Traeger, K. M. and Hrnjak, P. S.,** 2005. Charge minimization of microchannel heat exchangers, *ACRC Report*, TR-251
- [15] **Peuker, S., and Hrnjak, P.,** 2008. Refrigerant mass and oil migration during start-up transient, *International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue University*, 8 sheets.
- [16] **Björk, E.,** 2005. A simple technique for refrigerant mass measurement, *Applied Thermal Engineering*, Vol.25, issue 8- 9, pp.1115-1125.
- [17] **Janssen M. J. P.,** 1989. Cycling losses in cooling circuits, *M.Sc. Thesis*, Eindhoven University of Technology.
- [18] **Björk, E., and Palm, B.,** 2006. Refrigerant mass charge distribution in a domestic refrigerator Part I: transient conditions, *Applied Thermal Engineering*, Vol.26, issue 8-9, pp.829-837.
- [19] **Özyurt, B. and Eğrican, N.,** 2010. Experimental investigation of charge distribution in a vapor compression refrigeration cycle, *2<sup>nd</sup> IIR Workshop on Refrigerant Charge Reduction*, Stockholm, Sweden
- [20] **Özyurt, B.,** 2009. Soğutma sisteminin dinamik modellenmesi ve şarj dağılımının deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [21] **Björk, E., and Palm, B.,** 2006. Performance of a domestic refrigerator under influence of varied expansion device capacity, refrigerant charge, and ambient temperature, *International Journal of Refrigeration*, Vol.29, issue 5, pp.789-798.
- [22] **Björk, E., and Palm, B.,** 2006. Refrigerant mass charge distribution in a domestic refrigerator Part II: steady state conditions, *Applied Thermal Engineering*, Vol.26, issue 8-9, pp.866-871.
- [23] **Ndiaye, D., and Bernier, M.,** 2010. Dynamic model of a hermetic reciprocating compressor in on-off cycling, *Applied Thermal Engineering*, Vol.30, issue 8-9, pp.792-799.
- [24] RefProp Version 7.0, NIST User`s Guide, August 2002
- [25] Coolpack Version 1.46, 2000.

## **EKLER**

**EK A.1 :** Soğutma bileşenlerinde soğutucu akışkan miktarının termodinamik özelliklerden (P, V, T) yararlanılarak belirlenmesi

## EK A.1

Her bir soğutma bileşenin içerisindeki soğutucu akışkan, bir ölçüm tankı içerisinde genişletilerek kızgın buhar şartlarında soğutucu akışkan oluşturulması sağlanır. Genleşme sonundaki termodinamik özelliklerin (P, V, T) kullanılmasıyla her bir soğutma bileşenine ait soğutucu akışkan miktarı hesaplanarak elde edilmektedir.

Sürekli ölçüm alınması sebebiyle anlık olarak sıcaklık ve basınç verileri kaydedilmektedir. Bölüm 4.2`de anlatıldığı üzere her bir soğutma bileşenin iç hacim verisi deneylere başlamadan önce belirlendiğinden, bileşenlerin iç hacmi bilinmektedir. Genleşme sonundaki basınç ve sıcaklık verisi kullanılarak Refprop programında soğutucu akışkanın yoğunluğu tespit edilmektedir. Ölçüm tankı içerisinde kızgın buhar fazında soğutucu akışkan bulunması sebebiyle Denklem (A.1) kullanılarak ilgili soğutma bileşenin soğutucu akışkan miktarı kolayca hesaplanmaktadır.

$$m = \rho * V \quad (A.1)$$

Bu anlatılanların bir örnek üzerinde gösterilmesi, soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarının hesaplanması açısından daha açıklayıcı olacaktır. Örnek olarak 32°C ortam sıcaklığında yapılan soğutucu akışkan kütle dağılım deneyinin 487. saniyesindeki ölçüm noktası seçilmiştir (Şekil 4.9). Buna göre her bir soğutma bileşeni içerisindeki soğutucu akışkanın, ölçüm tankında genleşmesi bittiği andaki basınç ve sıcaklık verileri ve bu basınç ve sıcaklıktaki soğutucu akışkanın (isobütan) yoğunluğu Çizelge A.1`de sunulmuştur. (Basınç ve sıcaklık verisi, ölçüm tankı girişinde bulunan basınç transdüseri ve RTD ile ölçülmektedir.)

**Çizelge A.1: Yoğunluk hesabı**

|                       | <b>Basınç (bar)</b> | <b>Sıcaklık (°C)</b> | <b>Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|
| <b>Tank</b>           | 0,59                | 32,58                | 1,3663                             |
| <b>Buharlaştırıcı</b> | 1,64                | 32,55                | 3,9146                             |
| <b>Filtre</b>         | 1,87                | 32,59                | 4,4743                             |
| <b>Yoğuşturucu</b>    | 2,41                | 32,57                | 5,856                              |

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere vakum işleminden sonra ölçüm tankı içerisinde bir miktar soğutucu akışkan kalmaktadır. Bu kalan miktarın ölçüm açısından bir önemi yoktur. Yalnız tank içerisinde kalan bu miktar bir soğutma çevrimindeki farklı ölçüm noktalarında hep aynı miktarda kalması gerekmektedir. Bu çalışmadaki

deneyler, bu husus göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu sebeple her ölçüm noktasında, tank içerisinde vakumlama işleminden sonra kalan miktar hesaplanmaktadır.

Soğutma bileşenlerinin iç hacim verisi bilinmektedir. Her bir bileşendeki soğutucu akışkanın, genleşme sırasında süpürdüğü toplam hacim, ölçüm sırasına (KH1, KH2, KH3 ve KH4) göre Çizelge A.2 verilmiştir.

**Çizelge A.2:** İç hacim verisi

| Ölçüm Sırası      | Toplam Genleşme Hacmi | Hacim (m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Tank</b>       | Tank                  | 0,012212                |
| <b>KH1 Ölçümü</b> | Tank+KH1              | 0,013127                |
| <b>KH2 Ölçümü</b> | Tank+KH1+KH2          | 0,013159                |
| <b>KH3 Ölçümü</b> | Tank+KH1+KH2+KH3      | 0,013369                |
| <b>KH4 Ölçümü</b> | Tank+KH1+KH2+KH3+KH4  | 0,015023                |

Denklem (A.1) kullanılarak hesaplanan soğutucu akışkan miktarı, ölçüm tankı içerisindeki o anda bulunan toplam soğutucu akışkan kütesini vermektedir. Ölçümü tamamlanan ilgili kontrol hacmi ve kendinden önce ölçümü yapılan kontrol hacmindeki soğutucu akışkan aynı hacim içerisinde bulunmaktadır. Bu sebeple ilgili kontrol hacminin soğutucu akışkan miktarının bulunabilmesi için kendinden önce ölçümü yapılan kontrol hacmindeki toplam soğutucu akışkan miktarından çıkarılması gerekmektedir (Çizelge A.3).

**Çizelge A.3:** Kontrol hacimlerinde bulunan soğutucu akışkan miktarı hesaplama prosedürü

|                                   | Ölçüm Tankı İçerisinde Bulunan Toplam Soğutucu Akışkan Miktarı (g) | İlgili Kontrol Hacminde Bulunan Soğutucu Akışkan Miktarı (g) |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Tank</b>                       | $m_1$                                                              | $m_1$                                                        |
| <b>KH1 Ölçümü Tamamlandığında</b> | $m_2$                                                              | $m_2 - m_1$                                                  |
| <b>KH2 Ölçümü Tamamlandığında</b> | $m_3$                                                              | $m_3 - m_2$                                                  |
| <b>KH3 Ölçümü Tamamlandığında</b> | $m_4$                                                              | $m_4 - m_3$                                                  |

Çizelge A.3'te sunulan hesaplama prosedürü uygulanarak, soğutma çevriminin o anında soğutma bileşenlerinde ne kadar soğutucu akışkan bulunduğu hesaplanmış ve Çizelge A.4'te verilmiştir.

**Çizelge A.4:** Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarı

|                             | Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | Ölçüm Tankı<br>İçerisinde Bulunan<br>Toplam Soğutucu<br>Akışkan Miktarı (g) | İlgili Soğutma<br>Bileşenindeki<br>Soğutucu Akışkan<br>Miktarı (g) |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Tank</b>                 | 1,3663                           | 0,012212                   | 16,69                                                                       | 16,69                                                              |
| <b>Buharlaştırıcı (KH1)</b> | 3,9146                           | 0,013127                   | 51,39                                                                       | 34,70                                                              |
| <b>Filtre (KH2)</b>         | 4,4743                           | 0,013159                   | 58,88                                                                       | 7,49                                                               |
| <b>Yoğuşturucu (KH3)</b>    | 5,856                            | 0,013369                   | 78,29                                                                       | 19,41                                                              |

Kompresör bileşenine ait soğutucu akışkan miktarının tespiti Bölüm 3.4`te anlatılan gerekçelerden ötürü farklı şekilde hesaplanmaktadır. Kompresör içerisindeki soğutucu akışkan miktarının hesaplanması için tüm vanaların kapatılarak ölçüm anına geçildiği andaki sıcaklık ve basınç verileri kullanılmaktadır. Kompresör içerisinde her şartta, gaz fazında soğutucu akışkan bulunması sebebiyle soğutucu akışkan miktarının tespiti için Denklem (A.1) kullanılmaktadır. Kompresör muhafazası içerisinde ve kompresör çıkış hattında bulunan soğutucu akışkan hesaplanarak Çizelge A.5 ve Çizelge A.6 sunulmuştur.

**Çizelge A.5:** Kompresör muhafazası içerisinde bulunan soğutucu akışkan miktarı

| Komp. Mhz<br>Sıcaklığı (°C) | Komp. Giriş<br>Basıncı (bar) | Yoğ. Komp.<br>Mhz (kg/m <sup>3</sup> ) | Komp. Mhz<br>Hacmi (m <sup>3</sup> ) | Soğutucu Akışkan<br>Miktarı (g) |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| 57,59                       | 0,50                         | 1,0575                                 | 0,001618                             | 1,71                            |

**Çizelge A.6:** Kompresör çıkış hattı içerisinde bulunan soğutucu akışkan miktarı

| Komp. Çık.<br>Sıcaklığı (°C) | Komp. Çıkış<br>Basıncı (bar) | Yoğ. Çıkış<br>Hattı (kg/m <sup>3</sup> ) | Komp. Çık. Hattı<br>Hacmi (m <sup>3</sup> ) | Soğutucu Akışkan<br>Miktarı (g) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 63,85                        | 6,17                         | 14,527                                   | 2,08E-05                                    | 0,30                            |

Kompresör muhafazası içerisinde, kompresör gaz şarj diye adlandırılan soğutucu akışkan miktarı bu şekilde bulunmaktadır ve bu örnekteki değeri 2,01 gram bulunmuştur. Kompresör yağı içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı ise Denklem (A.2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$m_{\text{yağ\_şarj}} = m_{\text{Toplam}} - (m_{\text{Buh.}} + m_{\text{Filtre}} + m_{\text{Yoğ.}} + m_{\text{Komp.}}) \quad (\text{A.2})$$

Sistem içerisinde 86 gram soğutucu akışkan bulunmaktadır. Vakumlama işleminden sonra 16,69 gram tank içerisinde kalmaktadır. Bu sebeple, soğutucu içerisinde bulunan toplam soğutucu akışkan miktarı ( $m_{\text{Toplam}}$ ) 69,3 gramdır. Denklem (A.2) kullanılarak yağ içerisinde çözünen soğutucu akışkan miktarı hesaplanmış ve diğer

soğutma bileşenlerinin soğutucu akışkan miktarıyla beraber Çizelge A.7`de sunulmuştur.

**Çizelge A.7:** Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarı (32°C ortam sıcaklığı, 487. saniye)

| <b>Buh. (g)</b> | <b>Filtre (g)</b> | <b>Yoğ. (g)</b> | <b>Komp.(g)</b> | <b>Yağ (g)</b> | <b>Toplam (g)</b> |
|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| 34,70           | 7,49              | 19,41           | 2,01            | 5,69           | 69,30             |

Soğutma bileşenlerindeki soğutucu akışkan miktarının, soğutma çevriminin herhangi bir anında nasıl hesaplandığına dair bir örnek tüm ayrıntılarıyla anlatılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm soğutucu akışkan kütle dağılım deneylerinde bu yol izlenmiştir.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Mehmet Kalp

**Doğum Tarihi:** 25/08/1986

**Doğum Yeri:** İstanbul / Şişli

**Ortaöğretim:** Ümraniye Nevzat Ayaz Lisesi  
(2000-2004)

**Lisans:** Kocaeli Üniversitesi / Makina Mühendisliği  
(2004-2008)

**Lisansüstü:** İstanbul Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği  
(2008-2010)

**Çalıştığı Kurumlar:** Arçelik A.Ş. Ar-Ge Termodinamik Teknoloji Ailesi  
Ar-Ge Proje Mühendisi  
(2009-2010)