T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI SOĞUTUCU AKIŞKAN KARIŞIMLARININ PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

UBADE KEMERLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. AYŞEGÜL ÖZTÜRK

II.DANIŞMAN: DOÇ. DR. Ş. ÖZGÜR ATAYILMAZ

EDİRNE 2013

FARKLI SOĞUTUCU AKIŞKAN KARIŞIMLARININ PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

UBADE KEMERLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2013

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ş. Özgür ATAYILMAZ
İkinci Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad): İmza

Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK

Doç. Dr. Semiha ÖZTUNA

Doç. Dr. Hakan DEMİR

Doç. Dr. Ş. Özgür ATAYILMAZ

Yrd. Doç. Dr. Dinçer AKAL

Tarih: 13/12/2013

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

13 / 12 / 2013

Ubade Kemerli

Yüksek Lisans Tezi

Farklı Soğutucu Akışkan Karışımlarının Performanslarının İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

CFC ve HCFC grubu soğutucu akışkanların dünya çapında sınırlandırılmasıyla birlikte soğutma endüstrisi hızla yeni soğutucu akışkan arayışına girmiştir. HFC soğutucu akışkanların da küresel ısınma etkilerine sahip olduğunun ortaya çıkması soğutma endüstrisinde HC soğutucu akışkanların gündeme gelmesine yol açmıştır. HC soğutucu akışkanlar çevre dostu olmakla beraber enerji verimliliğine de sahiptirler. Günümüzde birçok firma ev tipi buzdolaplarında saf HC soğutucu akışkanları kullanmaktadır ancak bu HC soğutucu akışkanların birbiriyle karıştırılmasıyla daha verimli karışımları elde etmek mümkündür.

Bu tezde hidrokarbon soğutucu akışkan karışımlarının soğutma çevrimlerindeki davranışları, ev tipi buzdolaplarında hidrokarbon soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması durumunda karışımların saf soğutucu akışkanlardan farklı olan özelliklerinin nasıl avantaja dönüştürülebileceği irdelenmiştir.

Başlangıçta soğutucu akışkan karışımlarının saf soğutucu akışkanlardan farkları özetlenmiş, daha sonra soğutucu akışkan karışımları için sıcaklık kayması modellemesi yapılarak bazı şartlarda uygulamaları yapılmıştır. Bunun ardından oluşturulan teorik modelleme ile soğutucu akışan karışımlarının performansları soğutma çevriminde incelenmiştir. En son olarak tüm bu çalışmalar grafiklere aktarılarak alınan sonuçlar analiz edilmiştir.

Yıl: 2013

Sayfa Sayısı: 105

Anahtar kelimeler: Hidrokarbon karışımlar, soğutma sistemleri, ev tipi buzdolabı, soğutucu akışkanlar, kaynama, yoğuşma, ısı transferi

Master Thesis

Performance Examination of Varied Refrigerant Mixtures

Trakya University Instute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

After the restrictions of CFC and HCFC refrigerants use worldwide, refrigeration industry started to search an alternative for the mentioned refrigerants. HFCs, which were a potential drop-in substitute for CFC and HCFC refrigerants, turned out to have global warming effects. This led HC refrigerant use came into question. HC refrigerants are both energy efficient and environment friendly refrigerants. Many companies today are using pure HC refrigerants for domestic refrigerators and it is possible to have more energy efficient refrigerants by mixing HC refrigerants.

This study examines the behavior of the hydrocarbon refrigerant mixtures in vapor compression refrigeration cycles and how this differences can be used as an advantage for the use in domestic refrigerators instead of the use of pure refrigerants.

First, the differences between pure refrigerants and refrigerants mixtures are summarized, then the temperature glide modelling has been done for different refrigerant mixtures and applied for different conditions. Then the performance of the refrigerant mixtures has been examined in prepared theoretical modelling program for the refrigeration cycle. Finally, all these studies have been shown on the graphics and results have been analyzed.

Year: 2013

Number of Pages: 105

Keywords: Hydrocarbon refrigerant mixtures, refrigeration cycle, domestic refrigerator, refrigerants, boiling, condensing, heat transfer

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada emeği geçen hocalarım Prof. Dr. Ayşegül Öztürk ve Doç. Dr. Özgür Atayılmaz'a, Doç. Dr. Özden Ağra'ya, Doç. Dr. Hakan Demir'e ve bu tezin oluşumunda bizleri yönlendiren hocamız Prof. Dr. İsmail Teke'ye teşekkürlerimi sunarım.

Manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli aileme ve sevgili eşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER VE KISALTMALAR vii
TABLOLAR LİSTESİ viii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1.Genel Bakış 1
1.2. Mevcut Durum 5
1.3. Amaç 7
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 9
3. KURAMSAL TEMELLER 16
3.1. Soğutma 16
3.1.1. İdeal Soğutma Çevrimi 16
3.1.2. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi 17
3.2. Soğutucu Akışkanlar 20
3.2.1. Soğutucu Akışkanları Tarihi 20
3.2.2. Soğutucu Akışkanlarda Aranan Özellikler 22
3.2.2.1. Güvenlik ve Çevresel Özellikler 22
3.2.2.1.1. ODP 22
3.2.2.1.2. GWP 23
3.2.2.2. Termodinamik ve Termofiziksel Özellikler 24
3.2.3. Soğutucu Akışkanların Notasyonları 24
3.3. Soğutucu Akışkan Karışımları 25
4. NARM ÖZELLİKLERİ 27
4.1. Giriş 27
4.2. Gibbs Faz Kuralı 28
4.3. Rault Kuralı ve Karışımların Gruplandırılması 30
4.3.1. Azeotropik Soğutucu Akışkan Karışımları 32

4.3.2. Yakın Azeotropik Soğutucu Akışkan Karışımları 32
4.3.3. Azeotropik Olmayan Soğutucu Akışan Karışımları (NARM) 33
4.3.3.1. NARM Soğutucu Akışkanların Seçimi 38
5. TEORİK MODELLEME 41
5.1. Giriş 41
5.2. Sıcaklık Kayması 42
5.2.1. Sıcaklık Kaymasının Hesaplanması 42
5.3. Sıvı-buhar Fazı Konsantrasyonları 44
5.3.1. Sıvı-buhar Fazı Konsantrasyonlarının Hesaplanması 45
5.4. Simülasyon Tanımı 47
5.4.1. Parametrelerin Tanımı 47
5.4.1.1. Buharlaşma Basıncı 48
5.4.1.2. Yoğuşturucu Basıncı 48
5.4.1.3. Aşırı Kızdırma 48
5.4.1.4. Aşırı Soğutma 48
5.4.1.5. Buharlaştırıcı Hava Debisi 49
5.4.1.6. Buharlaştırıcı Hava Giriş-çıkış Sıcaklığı 49
5.4.1.7. Kabin Soğutma Yükü 50
5.4.1.8. Soğutucu Akışkan Debisi 50
5.4.1.9. UA Buharlaştırıcı 50
5.4.1.10. Yoğuşturucu Hava Debisi 51
5.4.1.11. Yoğuşturucu Hava Giriş-çıkış Sıcaklığı 51
5.4.1.12. UA Yoğuşturucu 51
5.4.1.14. COP 52
5.4.2. Metod 52
5.5. Program akışı 54
5.6. Farklı soğutma yüklerinde değişen konsantrasyonların hesaplanması 61
6. MODELLEME SONUÇLARI 62
6.1. Farklı Akışkanlar için Sıcaklık Kaymaları 62
6.1.1. Propan/izobütan Karışımları 63
6.1.2. Propan/bütan Karışımları 65

6.1.3. Propan/izobütan/bütan Karışımları 67
6.1.3.1. İzobütan (0.2) İçeren Karışımlar 68
6.1.3.2. İzobütan (0.5) İçeren Karışımlar 69
6.1.3.3. İzobütan (0.8) İçeren Karışımlar 70
6.2. Lineer Sıcaklık Kaymasına Sahip Akışkanların İncelenmesi 71
6.2.1. A karışımı: Propan/izobütan (45/55) 73
6.2.2. B karışımı: Propan/bütan (45/55) 77
6.2.3. C karışımı: Propan/bütan/izobütan (40/40/20) 82
6.2.4. D karışımı: Propan/bütan/izobütan (40/10/50) 87
7. MEVCUT LİTERATÜR VE SONUÇLARIN MUKAYESESİ 93
7.1. Mevcut Çalışmalara Genel Bakış 93
7.2. R12 ile Karşılaştırma 94
7.3. R134a ile Karşılaştırma 96
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 99
8.1. Sonuçlara Genel Bakış 99
8.2. Öneriler 99
KAYNAKLAR 102
ÖZGEÇMİŞ 105

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

°C : Santigrat Derece

C : Özgül ısı (j/kgK)

h : Entalpi(j/kg)

K : Mutlak Sıcaklık

$\dot{m}$: Kütlesel debi(kg/sn)

η : Verim

Q : Toplam ısı geçişi (joule)

$\dot{Q}$: Isı geçişi(joule/sn)

s : Entropi(j/kgK)

T : Sıcaklık (K, °C)

UA : Isı değiştiricisi toplam ısı transferi katsayısı (W/K)

W : Watt (joule/sn)

x : Kuruluk derecesi

KISALTMALAR

CFC : Kloroflorokarbon

COP : Soğutma Etkinlik Katsayısı

GWP : Küresel ısınma etki potansiyeli

HC : Hidrokarbon

HCFC : Hidroklorofloroкarbon

HFC : Hidroflorokarbon

LMTD : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı

NARM : Non-Azeotropik Soğutucu Akışkan Karışımı

ODP : Ozon tahrip potansiyeli

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Hidrokarbon soğutucu akışkan karışımları ile ilgili yapılan çalışmaların sınıflandırılması 14
Tablo 3.1 Farklı soğutucu akışkanların ODP değerleri 22
Tablo 3.2 Farklı soğutucu akışkanlar için farklı yıl periyotlarında GWP değerleri 23
Tablo 3.3 Farklı soğutucu akışkan grupları ve içerikleri 24
Tablo 6.1 Soğutucu akışkanların ve karışımlarının termodinamik değerleri 71
Tablo 6.2 A karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için 73
Tablo 6.3 Aynı koşullarda (Tablo 6.2) izobütan için hesaplanan değerler 73
Tablo 6.4 A karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için 76
Tablo 6.5 Aynı koşullarda(Tablo 6.4) izobütan için hesaplanan değerler 76
Tablo 6.6 B karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için 77
Tablo 6.7 Aynı koşullarda (Tablo 6.6) izobütan için hesaplanan değerler 78
Tablo 6.8 B karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için 81
Tablo 6.9 Aynı koşullarda (Tablo 6.8) izobütan için hesaplanan değerler 81
Tablo 6.10 C karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için 83
Tablo 6.11 Aynı koşullarda (Tablo 6.10) izobütan için hesaplanan değerler 83
Tablo 6.12 C karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için 86
Tablo 6.13 Aynı koşullarda (Tablo 6.12) izobütan için hesaplanan değerler 86
Tablo 6.14 D karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için 88
Tablo 6.15 Aynı koşullarda (Tablo 6.14) izobütan için hesaplanan değerler 88
Tablo 6.16 D karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için 90
Tablo 6.17 Aynı koşullarda (Tablo 6.16) izobütan için hesaplanan değerler 91
Tablo 7.1 Propan/izobütan (56/44) karışımı için hesaplanan değerler 95
Tablo 7.2 R12 soğutucu akışkanı için aynı koşullardaki (Tablo 7.1) değerler 96
Tablo 7.3 Propan/bütan (60/40) karışımı için hesaplanan değerler 97
Tablo 7.4 R134a soğutucu akışkanı için aynı koşullardaki (Tablo 7.3) değerler 98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 19.yy'da kullanılan buz kutuları 1
Şekil 1.2 Perkins'in buz makinesi 3
Şekil 1.3 Soğutucu akışkanların küresel ısınma etki mekanizmaları 6
Şekil 1.4 HC karışımların kullanımının getirdiği avantajlar 7
Şekil 3.1 (a) Soğutma çevrimi (b) İdeal soğutma çevrimi Sıc.-Entropi Diyagramı [25] 16
Şekil 3.2 Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin P-h diyagramında gösterimi 19
Şekil 3.3 Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin Sıc.-Entropi diyagramında gösterimi 19
Şekil 3.4 Soğutucu akışkanların sınıflandırılması 25
Şekil 4.1 Soğutucu akışkanların sınıflandırılması 27
Şekil 4.2 Zeotropik karışımlar için sabit basınçta Sıcaklık-Konsantrasyon diyagramı 28
Şekil 4.3 Zeotropik karışımlar için sabit sıcaklıkta Sıcaklık-Konsantrasyon diyagramı 29
Şekil 4.4 Rault Kuralının gösterimi 30
Şekil 4.5 Rault Kuralı'na göre davranan bir karışımın (a) P-x, (b) T-x Diyagramları [27] 30
Şekil 4.6 Rault Kuralından pozitif sapma gösteren bir karışımın (a) P-x, (b) T-x diyagramları [27] 31
Şekil 4.7 Rault Kuralından negatif sapma gösteren bir karışımın (a) P-x, (b) T-x diyagramları [27] 32
Şekil 4.8 Zeotropik karışımlar için hayali deney düzeneğinin gösterimi 33
Şekil 4.9 Zeotropik karışımlar için sıcaklık-konsantrasyon diyagramı [27] 34
Şekil 4.10 Buharlaştırıcı hava ve soğutucu akışkan sıcaklık profilleri [27] 35
Şekil 4.11 Yoğuşturucu hava ve soğutucu akışkan sıcaklık profilleri [27] 35
Şekil 4.12 Carnot ve Lorenz çevrimlerinin Sıcaklık-Entropi diyagramında mukayesesi 37

Şekil 4.13 (a) Carnot ve (b) Lorenz çevrimlerinin iki farklı Sıcaklık-Entropi diyagramında mukayesesi [28] 37
Şekil 4.14 Farklı konsantrasyonlar için sıcaklık kayması karakterinin değişimi [28] 38
Şekil 4.15 Propan/izobütan(20/80) karışımı için sıcaklık kayması oluşumu 39
Şekil 4.16 Propan/izobütan(80/20) karışımı için sıcaklık kayması oluşumu 39
Şekil 5.1 Farklı soğutucu akışkanların atmosfer basıncında kaynama sıcaklıkları [12] 41
Şekil 5.2 Sıcaklık kayması hesaplanması için akış şeması 43
Şekil 5.3 Propan/izobütan (20/80) -24°C buharlaşma başlangıcı için sıcaklık kayması 44
Şekil 5.4 Sıvı-buhar konsantrasyonlarının hesaplanması için akış şeması 46
Şekil 5.5 Propan/izobütan (80/20) karışımı için 185.79 kPa kaynama veya yoğuşma durumunda 47
Şekil 5.6 Program arayüzü 54
Şekil 5.7 Noktaların Sıc.-Entropi diyagramında gösterimi [propan/izobütan(45/55)] 55
Şekil 5.8 Programın akış şeması 58
Şekil 6.1 Nümerik modelleme içerisinde incelenen karışımların gruplandırılması 62
Şekil 6.2 Propan/izobütan (20/80) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 63
Şekil 6.3 Propan/izobütan (50/50) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 64
Şekil 6.4 Propan/izobütan (80/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 64
Şekil 6.5 Propan/izobütan (45/55) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 65
Şekil 6.6 Propan/bütan (20/80) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 66
Şekil 6.7 Propan/bütan (50/50) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 66
Şekil 6.8 Propan/bütan (80/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 67
Şekil 6.9 Propan/bütan (45/55) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 67

Şekil 6.10 İzobütan/propan/bütan (20/20/60) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 68
Şekil 6.11 İzobütan/propan/bütan (20/40/40) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 68
Şekil 6.12 İzobütan/propan/bütan (20/60/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 69
Şekil 6.13 İzobütan/propan/bütan (50/20/30) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 69
Şekil 6.14 İzobütan/propan/bütan (50/30/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 70
Şekil 6.15 İzobütan/propan/bütan (50/40/10) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 70
Şekil 6.16 İzobütan/propan/bütan (80/10/10) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması 71
Şekil 6.17 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (A karışımı) 74
Şekil 6.18 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (A karışımı) 74
Şekil 6.19 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (A karışımı) 75
Şekil 6.20 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (A karışımı) 75
Şekil 6.21 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (A karışımı) 76
Şekil 6.22 A karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu 77
Şekil 6.23 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (B karışımı) 79
Şekil 6.24 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (B karışımı) 79
Şekil 6.25 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (B karışımı) 80
Şekil 6.26 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (B karışımı) 80
Şekil 6.27 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (B karışımı) 81

Şekil 6.28 B karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu 82
Şekil 6.29 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (C karışımı) 84
Şekil 6.30 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (C karışımı) 84
Şekil 6.31 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (C karışımı) 85
Şekil 6.32 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (C karışımı) 85
Şekil 6.33 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (C karışımı) 86
Şekil 6.34 C karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu 87
Şekil 6.35 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (D karışımı) 88
Şekil 6.36 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (D karışımı) 89
Şekil 6.37 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (D karışımı) 89
Şekil 6.38 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (D karışımı) 90
Şekil 6.39 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (D karışımı) 91
Şekil 6.40 D karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu 92
Şekil 7.1 Literatürde karşılaştırmalı incelenen çalışmaların seçim süreci 93
Şekil 7.2 Propan/izobütan (56/44) için yoğuşturucu sıcaklık profilleri 95
Şekil 7.3 Propan/izobütan (56/44) için buharlaştırıcı sıcaklık profilleri 96
Şekil 7.4 Propan/bütan (60/40) için buharlaştırıcı sıcaklık profilleri 97
Şekil 7.5 Propan/bütan (60/40) için yoğuşturucu sıcaklık profilleri 97
Şekil 8.1 İncelenen karışımların buharlaştırıcıda oluşturdukları sıcaklık kaymaları 100

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

Soğutma basit tanımıyla maddeleri ortam sıcaklığından düşük bir sıcaklıkta muhafaza etme işlemidir. Bu işlemi gerektiren başlıca madde ise gıdadır. İnsanoğlu tarih boyunca gıdaları soğutmak amacıyla buzu kullanmıştır. Buzlar bazen uzak coğrafyalardan taşınmış, bazen dağlardan alınıp saklanmış, bazı coğrafyalarda ise geceleyin açık havaya bırakılan su dondurularak buz elde edilmiştir.



Şekil 1.1 19.yy'da kullanılan buz kutuları

1803 yılında bugün bildiğimiz ev tipi buzdolapları yerine buz kutusu denilen dolaplar icat olundu. Şekil 1.1'de görülen bu dolaplarda buz kütlesinin saklandığı bölme yukarıda, gıdaların saklandığı bölme ise aşağıda yer alıyordu. Böylece üst bölmeye yerleştirilen buz kütlesinin altında kalan bölge soğuyor, soğuyan hava aşağıya doğru

hareket ederek alt bölmedeki gıdaların soğuk kalmasını sağlıyordu. Bu şekilde yapılan soğutma yaklaşık bir yüzyıl boyunca kullanılmıştır.

Ancak buz kutusu sistemiyle yapılan soğutmanın birçok dezavantajı bulunmaktaydı. Öncelikle sistemi çalıştırmak için sürekli buz temin edilmesi ve kullanılan buz eriyip su haline geldiğinde bu suyun bir şekilde tahliye edilmesi gerekiyordu. Bu gibi durumlar o yıllarda teknolojinin gelişmesiyle ev tipi buzdolapları için yeni alternatifler bulunmasını zorlamaya başlamıştı.

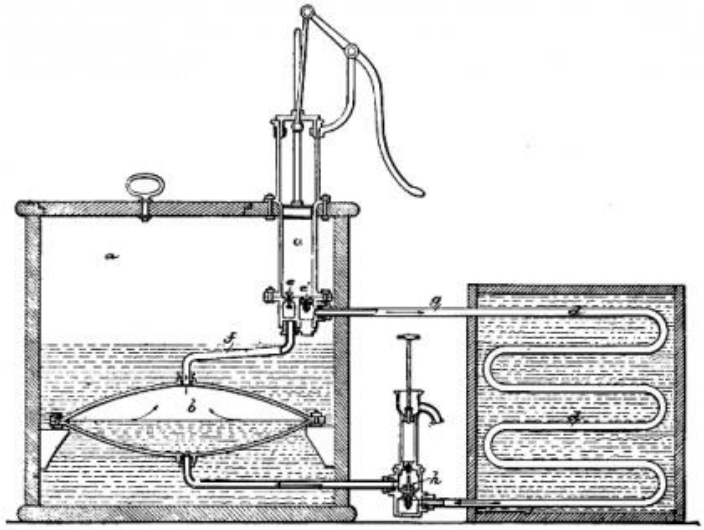
Basıncın düşürülmesiyle cebri buharlaşma sağlanması suretiyle soğuk elde edilebileceği düşüncesi ilk olarak on sekizinci yüzyılda William Cullen tarafından ortaya atılmıştır [1]. 1755 yılında Glasgow Üniversitesinde İskoç profesör Cullen, eteri vakum altında buharlaştırarak az miktarda buz elde etmeyi başarmıştır. Bu durum bir maddenin basıncının düşürüldüğünde kaynama sıcaklığının düşmesi prensibine dayanmaktadır. Böylece bu prensip ilk defa soğutma amacıyla kullanılmıştır. Ancak bu sistemde herhangi bir geri dönüşüm yoktur. Yani kullanılan eter buharlaştığında yeni soğutucu akışkana ihtiyaç duyulmaktadır. Cullen'in yaptığı buluş her ne kadar kullanışlı olmasa da bugünkü soğutma teknolojisi için çok büyük bir adım niteliğindedir.

1800 yılında ise buharlaştırılan bu gazın tekrar sıkıştırılarak ve soğutularak sıvı fazına yoğuşacağı biliniyordu. Bu iki fikrin birleşimi ise bugünkü bildiğimiz manadaki buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin temelini oluşturuyordu.

1805 yılında Amerikalı mucit Oliver Evans, kapalı sistemde bir vakum pompası kullanarak çevrim üzerinde soğutma yapılacağı fikrini öne sürdü. Buna göre Cullen'in yaptığı sistemde pompa vasıtasıyla buharlaşan akışkan sıkıştırılacak ve bir yoğuşturucuda yoğuşturularak tekrar sisteme dönmesi sağlanacaktı.

1835 yılında Jacob Perkins, Evans'ın bu fikrini hayata geçirdi ve Londra'da etil eter soğutucu akışkanı ile çalışan ilk soğutma makinesini üretti. Ancak bu icatlar ticari olarak çok başarılı olmadı. Bunun en önemli nedenleri kullanılan soğutucu akışkanlardı. Kullanılan etil eterin normal şartlarda buharlaşma sıcaklığı 34°C civarındaydı. Bu durumda etil eterin soğutmada kullanılması için yüksek vakuma ihtiyaç duyuluyordu. Buharlaşma basıncının bu denli düşük olması ise sisteme atmosferik hava girmesini kolaylaştırıyordu. Bu durumda sistem içerisinde patlayıcı bir karışım olması anlamına geliyordu, ayrıca eterin zehirleyici bir gaz olması da kullanımının önündeki en büyük

engeldi. Tüm bu faktörler o yıllarda yeni bir soğutucu akışkan bulunması konusunda yapılan araştırmaları tetiklemekteydi.



Şekil 1.2 Perkins'in buz makinesi

1850 yılında Alexander Twining eter, amonyak ve karbondioksit ile çalışan buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri için patent almıştır.

1856 yılında ise James Harrison eter, alkol ve amonyak ile çalışan soğutma sistemleri için Avusturalya'da patent almıştır. O yıllarda Harrison buhar sıkıştırmalı soğutma sistemini piyasaya sürerek başarılı bir şekilde bu teknolojinin ticarileşmesini sağlamıştır.

1864 yılında Fransa'da Charles Tellier, dimetil eter ile çalışan sistemler için patent almıştır. Dimetil eter, etil etere göre düşük buharlaşma sıcaklığına sahiptir. Atmosferik şartlarda -24°C gibi sıcaklıklarda buharlaşması bu soğutucu akışkanı cazip hale getirirken, zehirleyici olması bu akışkanın yaygınlaşmasının önünde engelleyici bir unsur olmuştur.

1874 yılında Raoul Pictet Geneva'da ilk defa sülfür dioksit ile çalışan soğutma sistemi üretmiştir. Sülfür dioksitin en büyük handikabı ise suyla karıştığında sülfürik asit meydana getirmesiydi. Sülfürik asit ise malzemeler için çok yıkıcı etkilere sahiptir.

1877 yılında Alman Carl Von Linde, amonyak ile çalışan soğutma sistemi üretmiştir. Bugün amonyak halen birçok büyük soğutma sistemlerinde kullanılmaya devam etmektedir.

1885 yılında ise Winhouse ilk karbondioksit sistemi kullanmıştır.

Bunun ardından elektriğin kullanımının kolaylaşması ile birlikte 1897 yılında New York'ta William F. Singer küçük çaplı soğutma sistemleri için ilk otomatik elektrikli soğutma ünitesi için patent almıştır [2].

Elektriğin hızla yaygınlaşması ile beraber gıdaların saklanması amacıyla geliştirilecek elektrik ile çalışan ev tipi buzdolaplarının kullanılabileceği geniş bir pazar oluşmuştur.

General Electric, Amerika'da 1911 yılında ilk defa mekanik ev tipi buzdolabını piyasaya sürmüştür. Bunun ardından 1915 yılında Frigidaire ve 1918 yılında Kelvinator piyasaya girmiştir.

Ancak o yıllarda bugünkü ev-tipi buzdolabına en yakın tüm mekanik sistemin tek bir yerde toplandığı ilk buzdolapları Fred W. Wolf tarafından geliştirildi ve pazarlandı. 1913 yılında ilk satışı yapılan buzdolabının ismi Domestic Electric Refrigerator (Ev tipi elektrikli soğutucu) kelimelerinin kısaltılmasıyla oluşturulan DOMELRE idi.

Bu yıllardan sonra ev tipi buzdolapları elektriğin kolay ulaşılabilir olmasıyla birlikte hızla artmaya başladı ve bugün modern hayatın vazgeçilmez bir unsuru haline geldiler.

1930'lu yıllarda ilk kullanılan evsel buzdolapları istenilen termodinamik ve fiziksel özellikleri sağlayan kloroflorokarbon (CFC) soğutucu akışkan ile çalışmaktaydı ve bu soğutucu akışkanların uygun özellikleri tüm dünyada yaygın olarak kullanımını beraberinde getirdi. Florokarbon soğutucu akışkanlar Midgley ve Henne tarafından 1930 yılında ilan edildi [3] ve 1931 yılında diklordiflormetan (R12) ticari soğutucu akışkan olarak piyasa sürüldü [2].

1974 yılında Rowland ve Molina CFC ve HCFC'lerin ozon tabakasını tahrip ettiğini öne sürdükleri makaleyi yayınladılar [4]. Bu yıllardan sonra CFC ve HCFC'lerin ozon tabakasını tahrip ettiği dünya kamuoyu tarafından tasdik edildi ve ülke yönetimleri hızla bu soğutucu akışkanların kullanımını sınırlandırma yoluna gittiler. Nihayetinde ise 1987 yılında Montreal Protokolü ile CFC ve HCFC soğutucu akışkanların kullanımı uluslararası düzeyde sınırlandırıldı.

1981 yılında Stoecker ve Walukas [5] soğutucu akışkan karışımlarının kullanımı ile evsel buzdolaplarında enerji tasarrufu sağlanabileceğini gösterdikleri çalışmalarını

yayınladılar. Bu zamana kadar bu konu ile ilgili çok az çalışma bulunuyordu ve zikredilen makale evsel buzdolaplarında soğutucu akışkan karışımı kullanımı ile ilgili ilk makaleydi.

CFC ve HCFC'lerin kullanımın sınırlandırılmasıyla soğutma endüstrisi ozon tahrip potansiyeli olmayan hidroflorokarbon (HFC) soğutucu akışkanlara yöneldi. Bu arada hem yeni akışkanların mevcut soğutma sistemlerine uyarlanması amacıyla hem de karışımların performans arttırıcı etkisinin kullanılmak istenmesiyle soğutucu akışkanların birbirine karıştırılması denendi. Çok geçmeden, HFC soğutucu akışkanların da ciddi derecede küresel ısınmaya neden olduğu anlaşıldı. 1997 yılında Kyoto Protokolü ile tüm dünyada sera etkisine sahip gazların salımı sınırlandırıldı. Böylece önceki soğutucu akışkanların yerine kullanılan HFC soğutucu akışkanların da yerine yeni bir alternatif bulunması gerekli oldu.

Bu noktada hidrokarbon soğutucu akışkanlar mevcut sistemlere alternatif olarak düşünüldü. Ancak hidrokarbon soğutucu akışkanların yanıcı özelliklere sahip olması yapılan çalışmalar için kısıtlayıcı bir unsur oldu. Bu durumun çözümü büyük sistemler için hidrokarbonların diğer soğutucu akışkanlar ile karışım yapılması, evsel buzdolapları için ise soğutucu akışkan yükünün yanıcı ve patlayıcı değerlerin altında tutulması ile sağlandı.

Böylece evsel buzdolaplarında hidrokarbon soğutucu akışkanların ve hidrokarbon soğutucu akışkan karışımlarının kullanımı üzerine araştırmalar yapılmaya başlandı.

Son yıllarda çoğu firma saf hidrokarbon soğutucu akışkanları ürünlerinde kullanmaya başladı. Ancak halen daha soğutucu akışkan karışımları ile daha iyi performans potansiyeli bulunmaktadır. Uygun hidrokarbon soğutucu akışkanların belirlenmesi konusunda tüm dünyada yapılan çalışmalar halen devam etmektedir.

1.2. Mevcut durum

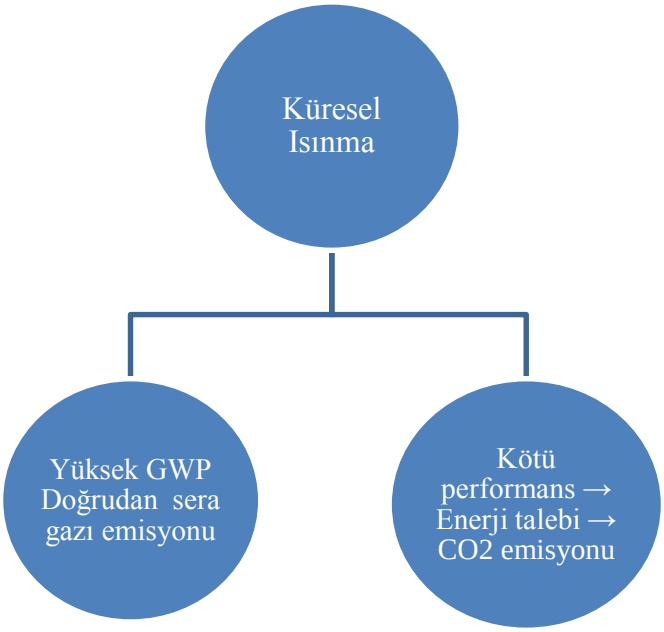
Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık dörtte birini evsel enerji tüketimi oluşturmaktadır [6]. Modern hayatta bir zorunluluk haline gelen evsel buzdolapları evsel enerji tüketiminin yüzde 5 ile yüzde 8'ini oluştururlar.

Günümüz dünyasında artan nüfus, şehirleşme ve sanayileşme ile beraber var olan enerji kaynaklarının sınırlı olması yeni enerji üretim yöntemlerinin kullanılmasını

gerektirmiş, bu durum ayrıca mevcut enerjinin etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasını da ülkeler için ekonomik bir zorunluluk haline getirmiştir.

Bununla beraber artan enerji ihtiyacı ve şehirleşme dünyada çevresel problemlere de yol açmıştır. Bu çevresel problemler ozon tabakasına zararlı gazların atmosfere bırakılmasıyla ozon tabakasının tahrip olması ve küresel ısınma potansiyeline sahip gazların atmosfere bırakılmasıyla bu gazların güneşten gelen ışınları sera etkisi oluşturarak atmosfere hapsetmesi ve böylece küresel ısınmaya neden olmasıdır.

Soğutma amacıyla kullanılagelen birçok soğutucu akışkan ise ozon tabakasını tahrip eden veya küresel ısınmaya sebep olan veya hem küresel ısınma hem de ozon tabakasını tahrip eden soğutucu akışkanlardır.



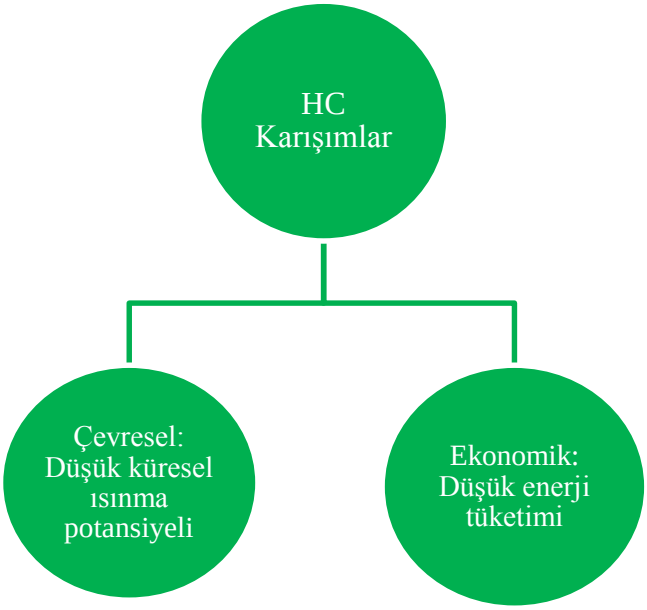
Şekil 1.3 Soğutucu akışkanların küresel ısınma etki mekanizmaları

Böylece soğutucu akışkanların çevreye verdiği zararı ikiye ayırmamız konuyu daha anlaşılır kılacaktır. Şekil 1.3'te görüldüğü gibi bunlardan birincisi doğaya sahip olduğu ozon tahribi veya küresel ısınma potansiyeli doğrudan zarar veren soğutucu akışkanlardır. İkinci zarar ise soğutucu akışkanın enerji verimliliğinin düşük olması, bu sebeple daha çok enerji üretimine ihtiyaç duyarak, üretilen bu enerjinin sağlanması sırasında doğaya karbondioksit salımının artarak küresel ısınmaya dolaylı katkı sağlamasıdır.

Evsel buzdolaplarında soğutmanın sağlanabilmesi için soğutucu akışkana ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılacak bu soğutucu akışkanın soğutma sisteminde istenilen termodinamik ve fiziksel özellikleri sağlamasının yanı sıra evlerde kullanılması sebebiyle zehirli ve yanıcı olmaması istenilmektedir.

1.3. Amaç

Bu çalışma ile evsel buzdolapları için yaygın olarak kullanılan R600a soğutucu akışkanı yerine bu karışıma alternatif olabilecek yeni HC karışımları incelenerek çevre dostu yeni alternatiflerin bulunması ve enerji verimliliğinin arttırılmasıyla küresel ısınmanın azaltılması hedeflenmektedir. Böylece Şekil 1.4'te görüldüğü gibi HC karışımlar kullanılarak çevresel olarak düşük küresel ısınma potansiyeline sahip soğutucu akışkanların kullanımı arttırılacak, ayrıca ekonomik olarak da düşük enerji tüketimi yakalanarak avantaj sağlanacaktır.



Şekil 1.4 HC karışımların kullanımının getirdiği avantajlar

Literatürde CFC ve HCFC soğutucu akışkanların yerine HC karışımlarını öneren çalışmaları görmek mümkündür. Ancak bu çalışmada saf HC soğutucu akışkanların yerine HC soğutucu akışkan karışımları önerilmektedir. Bu durum takdir edilecektir ki bir önceki kıyaslamadan daha zor bir süreçtir. Saf soğutucu akışkan yerine soğutucu akışkan karışımının kullanımı ise bir anlamda zeotropik (kaynama ve buharlaşma

durumunda sıcaklığı değişen) karışımların avantajlarını göz önüne seren bir çalışma niteliğindedir. Çünkü burada avantaj yeni soğutucu akışkanlar bulunmasından ziyade, zeotropik karışımların termodinamik çevrimdeki bazı farklı davranışlarının avantaja çevrilmesi nedeniyle oluşmaktadır. Zeotropik karışımlar ile ilgili ayrıntılı bilgi ilerideki bölümlerde bulunmaktadır.

Konunun daha iyi anlaşılması açısından bu çalışmanın tek bir konudan ziyade iki temel konuya odaklandığını söylememiz gerekir. Bunlardan birincisi evsel buzdolaplarında hidrokarbonların kullanılması, diğeri ise zeotropik soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması ile evsel buzdolaplarında performansın arttırılmasıdır. Bu çalışma bu iki konuya birden odaklanarak yeni alternatif zeotropik hidrokarbon soğutucu akışkanları bulunması yolunda bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu minvalde öncelikle zeotropik soğutucu akışkan karışımlarının analizi yapılacak, ardından bu soğutucu akışkan karışımlarının sıcaklık kaymalarıyla birlikte davranışları incelenecek ve bunun ardından da hazırlanan bilgisayar simülasyonu ile termodinamik çevrimde en uygun soğutucu akışkan karışımı saf izobütanın yerine önerilecektir.

Yapılan çalışmalarda önce literatür araştırması yapılmıştır. Bunun ardından devam eden süreçte de literatür araştırması devam etmiştir ve incelenen önemli çalışmalar bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Daha sonra konuyu içeren kuramsal temeller kısaca ele alınmış, bu doğrultuda önce soğutma sistemleri, ardından ise soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan karışımlarının davranışları ele alınmıştır. Bir sonraki bölümde ise genelde soğutucu akışkan karışımları, özelde ise HC karışımları için hazırlanmış olan MATLAB modellemesi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. 6.Bölümde ise elde edilen sonuçlar verilmektedir. Bunun ardından elde edilen sonuçların ve bilgisayar programının deneysel veriler ile kıyaslaması ve son olarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yer almaktadır.

Tez boyunca karışımları nitelendirmek için kullanılan oranlar (propan/izobütan [40/60] gibi) kütlesel oran anlamında kullanılacaktır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Didion ve Bivens [7] 1990 yılında yaptıkları çalışmada CFC'lere alternatif olarak soğutucu akışkan karışımlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışma karışımların saf soğutucu akışkanlara alternatif olarak düşünüldüğü ilk çalışmalardan birisidir. Makalede zeotropik ve azeotropik karışımların yapıları ve davranışları ayrıntılı olarak açıklanmış, sıcaklık kaymasının nasıl avantaja dönüştürüleceği açıklanmıştır. Bu çalışma böylece zeotropik karışımlar ile çalışan herkes için her zaman başvurulması gereken bir temel kaynak niteliğindedir.

Jung ve Radermacher [8] 1991 yılında yaptıkları çalışmada tek evaporatör ile çalışan ev-tipi buzdolaplarının saf ve karışım haldeki soğutucu akışkanların soğutma sistemlerindeki performanslarının incelenmesi açısından faydalı olan bir modelleme geliştirilmiştir. Bu modelleme ile CFC-12'ye alternatif olabilecek karışımı bulmaya çalışmışlardır. Simülasyon önce 15 saf soğutucu akışkan ile denenmiştir ve hiçbir akışkanın mevcut sistem kullanılarak R12'ye alternatif olamayacağı görülmüştür. Ardından soğutucu akışkan karışımlarına geçilmiştir. NARM seçimi konusunda karışımın sıcaklık kayması ile havanın sıcaklık kayması birbirine eşitlenmesine ve karıştırılan soğutucu akışkanların saf durumda R12'ye yakın COP değerleri vermesine dikkat edilmiştir. Bu kriterler göz önüne alınarak 21 karışım farklı kompozisyonlarda denenmiştir. Ancak makaleye göre kabin içindeki havanın sıcaklık düşüşü 10°C'den düşük olduğundan dolayı tüm karışımlar göz önüne alındığında COP'de ciddi bir artış gözlenmemiştir. Sadece R22-R142b ve R32-R142b karışımları R22'ye nazaran COP'de %3-5 artış sağlamıştır.

James ve Missenden [9] 1992 yılında yayımladıkları makalede evsel buzdolaplarında propanın saf soğutucu akışkan olarak kullanımını enerji tüketimi,

kompresör yağlaması, maliyet, kullanılabilirlik, çevresel faktörler ve güvenlik açısından mevcut literatür üzerinden incelemiştir.

Yapılan çalışmalarda enerji tüketimini ölçmek için R12 soğutucu akışkanı ile çalışan iki eş evsel buzdolabı kullanılmıştır. Her bir buzdolabının içerisine 25W'lık ampul yerleştirilmiş ve saatte 30 dakika çalıştırılarak çevrime gelen yük canlandırılmaya çalışılmıştır. Propan için gerekli olan kompresör süpürme hacmi (swept volume) R12 için gerekli olan hacimden %29,7 daha az olmasına rağmen iki sistem için de aynı kompresör kullanılmıştır.

Böylece propan daha yüksek sıkıştırma oranına sahip olmuştur. Bu durum yoğuşturucu kapasitesinin arttırılmasını gerekli kılmış ve daha fazla sıcaklık farkı ve daha fazla yoğuşturucu basıncına neden olmuştur. Tüm bu negatif etkilere rağmen propan yine de R12'ye yakın bir performans göstermiştir. Bu çalışma aslında saf propanın R12 yerine kullanımında ciddi bir enerji verimliliği potansiyeli olduğunu ve bu potansiyelin kullanılması için soğutma sistemlerinde tasarım optimizasyonu yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Bodio vd. [10] 1993 yılında yaptığı çalışmasında propan/bütan karışımlarının R12'ye alternatif olabileceği düşüncesinden hareket ederek evsel buzdolaplarında R12 yerine propan/bütan karışımını denemiştir. Yaptığı çalışmada R12'nin karşısına koyduğu hidrokarbon soğutucu akışkanı yaklaşık olarak etan/propan/bütan (4.5/34/61.5) şeklindedir. Farklı buzdolabı tiplerinde 8 ay süren deneylerden sonra ele aldığı hidrokarbon karışımının R12 ile yakın enerji tüketimine sahip olduğu sonucuna varmıştır. Böylece ileride propan/bütan karışımı ile yapılacak olan çalışmaların önünü açmıştır.

Baskin ve Perry [11] 1994 yılında yaptığı çalışmada ev tipi buzdolaplarında R12 yerine R290 ve R600a karışımını denemiştir. Yapılan çalışmada propandan başlayarak kütlesel oran %10 arttırılmak suretiyle tüm aralıklarda deneyler yapılmıştır. Böylece bu çalışma arkadan gelecek çalışmalar için çok önemli bir yer kazanmıştır. Yapılan çalışmalar propan/izobütan (40/60) için en düşük enerji tüketimini göstermiştir. Bu çalışmada ayrıca yüzde 50'dan fazla propan kullanımının enerji tüketimini arttırdığı belirtilmiştir.

Richardson ve Butterworth [12] 1995 yılında yaptığı çalışmada R12'nin yerine propan izobütan karışımını denemişlerdir. Önce yapılan analizler ile R12'ye

termodinamik açıdan en yakın karışım bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda R12'ye en yakın karışımın propan/izobütan (48/52) noktasında yakalandığı görülmüştür. Deneyleri ev tipi buzdolabında yapmak yerine kendi oluşturdukları bir deney tesisatında yapmayı tercih etmişlerdir. %50 propan civarında bu bölgelerde değişik kompozisyonlar denenmiştir. Nihayetinde ise %56 propan için R12'den daha yüksek en iyi COP değerinin yakalandığı görülmüştür.

1999 yılında Hammad ve Alsaad [13] hidrokarbon karışımlarının evsel buzdolaplarında kullanımı ile ilgili deneysel çalışmalarını yayınladılar. Çalışmalarında R12 ile çalışan bir buzdolabını hiç değiştirmeden kullandılar. Denedikleri alternatifler arasında propan/bütan/izobütan (50/38.3/11.7) en uygun karışım olarak seçilmiştir. Bu karışımda R12'de 3.6 olarak ölçülen COP değerini 3.7'ye yükselmiştir. Ancak bu yükselmeyi yakalamak için buharlaştırıcı sıcaklığı -16°C ve yoğuşturucu sıcaklığı 27°C olarak sağlanmıştır. Bu çalışmanın içinde alınan çok önemli bir durum şudur ki; çalışmada propan oranı arttırıldığında karışımın özgül hacmi azalmıştır. Bu durum ise debinin artmasına sebep olmuştur. Bütanın özgül hacminin yüksek, propanın ise özgül hacminin düşük olduğu yapılan çalışmalarda göz önüne alınmalıdır. Bu çalışmada ise mevcut izobütan sistemlerinin yerine izobütan/propan karışımı kullanılacağından izobütan ile çalışmak üzere tasarlanmış bir buzdolabının izobütan/propan karışımı ile kullanılması durumunda sistemdeki kütlesel debinin artışı kesinlikle beklenmelidir. Buradaki bir diğer önemli parametre ise propan-bütan karışımlarında R12'ye en yakın bölgenin %50 propan oranları olduğudur.

Jung vd. [14] 2000 yılında yaptığı deneysel çalışmada R290/R600a karışımının performansını incelemiştir. Yaptıkları çalışmada önce hacimsel soğutma kapasitesini tanımlamışlar ve R12'nin yerine seçecekleri karışımın hacimsel soğutma kapasitesinin R12'nin hacimsel soğutma kapasitesine yakın olması gerektiğini belirtmişlerdir. Böylece kompresörde herhangi bir değişikliğe gidilmeyeceğinden emin olabilmişlerdir. Hacimsel soğutma kapasitesi; evaporasyon gizli ısısının kompresör girişindeki özgül hacme bölünmesiyle bulunur. Dolayısıyla nümerik hesaplamalarda yüksek COP değerine ulaşılsa bile hacimsel soğutma kapasitesi R12'ye yakın olmadığında bu yüksek COP değerine ulaşmak için kompresörde bazı değişiklikler yapılması gerekli olacaktır. Bu ise yapılan çalışmanın dışında bir çalışmayı gerektirir.

Tashtoush vd. [15] 2002 yılında yaptıkları çalışmalarında evsel buzdolabında R12 yerine bütan, propan ve R134a karışımını deneysel olarak incelemişlerdir. Her bir soğutucu akışkan için buharlaştırıcı yükü 100W ile 350W arasında deneyler yapılmıştır. Çalışmalarında R12 ile çalışan bir buzdolabında 25g propan 25g bütan ve 30g R134a'dan oluşan BPR80 adını verdikleri karışımın kullanılması durumunda R12'ye yakın bir performansa ulaşılabileceği sonucuna varmışlardır.

Lee ve Su [16] 2002 yılında yaptığı çalışmasında buhar sıkıştırmalı soğutma uygulamalarında R600a (izobütan) saf soğutucu akışkan karışımının kullanılmasını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada daha çok kılcal boru sayısı, kılcal boru çapı, uzunluğu veya banyo sıcaklığı gibi parametreler değiştirilerek R600a'nın performansı incelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada her ne kadar eski soğutucu akışkanlar ile bir kıyaslama yapılmasa da günümüzde birçok soğutma uygulamasında saf R600a soğutucu akışkanının kullanılıyor olması bu çalışmayı önemli kılmıştır.

Akash ve Said [17] 2003 yılında yaptıkları çalışmada 240 litrelik bir ev tipi buzdolabında hidrokarbon karışımları ile ilgili deneyler yapmışlardır. Kütlesel kompozisyonu propan/bütan/izobütan (30/55/15) olan LPG gazı R12'nin yerine kullanılmıştır. Yapılan deneylerde belirtilen karışımın sadece şarj miktarlarıyla oynanmıştır. Buna göre 160 gram R12 şarjına karşılık 50, 80 ve 100 gram olmak üzere üç farklı LPG şarjı yapılmıştır. Çalışmada vurgulanan önemli bir nokta LPG'nin buharlaşma entalpisinin 300-350 kj/kg dolaylarında olmasına karşılık R12 için bu değerin 110 kj/kg dolaylarında olmasıdır. Bu durum R12 için daha fazla soğutucu akışkan debisine ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Çalışma sonunda 80 gram LPG şarjının incelenen şarj miktarları arasında en uygun miktar olduğu sonucuna varılmıştır. Bu şarj miktarıyla R12'ye yakın hatta kimi noktalarda R12'den daha iyi performanslara ulaşılmıştır. Yağlama ve kompresör ile ilgili yerleştirme durumunda herhangi bir soruna rastlanmamıştır.

Wongwises ve Chimres [18] 2005 yılında yaptıkları çalışmada R134a ile çalışan 239 litre bir ev tipi buzdolabında hidrokarbon karışımları ile ilgili deneyler yapmışlardır. Bu çalışmada ilk kez hidrokarbonlar R134a'nın yerine denenmeye başlanmıştır. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran temel unsurlardan birisi birbirinden çok farklı konsantrasyonların denenmiş olmasıdır. Çalışmada ikili hidrokarbon karışımlar ve ikili hidrokarbon karışımlarının R134a ile karışımları denenmiştir. Burada R134a ile

üçlü karışım yapılmasının nedeni karışımlardaki hidrokarbon oranını azaltarak riski düşürmektir. İkili karışımlar içerisinde propan/bütan (60/40) karışımının en uygun sonucu verdiği kanaatine varmışlardır. Bu karışımla R134a'nın yarısı kadar bir şarj miktarıyla R134a'dan daha az enerji tüketimi yakalanmıştır.

Fatouh ve Kafafy [19] 2006 yılında yaptıkları çalışmada propan/bütan (60/40) karışımını 283 litre bir buzdolabında R134a yerine denemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada ayrıca kılcal boru uzunluklarında değiştirilerek en uygun kılcal boru uzunluğu aranmıştır. Uygun kılcal boru uzunlukları da kullanılarak COP değerinde karışım ile R134a'ya göre %7.6 artış, enerji tüketiminde ise %10.8 düşüş yakalamışlardır.

Mohanraj vd. [20] 2007 yılında yaptığı çalışmada R134a soğutucu akışkanının yerine propan/izobütan (45/55) hidrokarbon karışımını evsel buzdolaplarında denemiştir. (45/55) konsantrasyonunu seçmesinin nedeninin bu konsantrasyonlarda sıcaklık kaymasının uygun olmasından dolayı olduğunu belirtmiştir. Yaptığı deneyler neticesinde COP değerlerinde farklı şarj oranlarına bağlı olmak üzere %6 ile %12 arasında artışlar sağlamış, enerji tüketiminde ise yine farklı şarj oranlarına bağlı olarak %1 ile %4 arasında düşüşler sağlamıştır.

Lee vd. [21] 2008 yılında yaptıkları çalışmada propan/izobütan (55/45) karışımını 220 litrelik buzdolabında R134a'nın yerine denemişlerdir. Daha önce yapılan çalışmalarda genellikle propan/izobütan karışımlarında R134a'ya en yakın karışımın (50/50) veya (40/60) propan/izobütan olduğu ancak propan/izobütan (55/45) karışımının R134a'dan da iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu yüzden bu çalışmada propan /izobütan (55/45) karışımının uygun şarj ve kılcal boru uzunlukları bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 50gr şarj ile uygun kılcal boru uzunlukları ile enerji tüketiminde %12.3 düşüş yakalanmıştır.

Jwo vd. [22] 2009 yılında yaptıkları çalışmada R12, R134a ile propan/izobütan (50/50) hidrokarbon karışımını deneysel olarak karşılaştırmıştır. Evsel buzdolaplarında yapılan deneyler neticesinde R134a ile kıyaslandığında hidrokarbon karışımı kullanılması durumunda %4.4 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu çalışmada dikkat çeken başka bir nokta ise hidrokarbon karışımı ile R134a kıyaslanırken oluşan enerji tüketim biçimlerinin farklılığıdır. R134a'nın sıkıştırma için anlık olarak daha az enerjiye ihtiyaç duymasına karşın soğutma etkisi ve soğutma hızı açısından düşük

Tablo 2.1 Hidrokarbon soğutucu akışkan karışımları ile ilgili yapılan çalışmaların sınıflandırılması

Karışım oranı (propan)	Çalışmalar		
İzobütan veya Bütan	**Lee 2002**, Experimental studies of isobutane(R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration cycles		
24,4	**Hammad 1999**, The application of propane/isobutane mixtures for domestic refrigerators		
25 propan (R134a)	**Tashtoush 2002**, Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators		
30	**Akash 2003**, Assesment of LPG as a possible alternative to R12 in domestic refrigerators		
34	**Bodio 1993**, Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture		
45,2	**Mohanraj 2009**, Experimental investigation of R290/R600a mixture as an alternative to R134a in a domestic refrigerator	**Mohanraj 2007**, Improved energy efficiency for HFC134a domestic refrigerator retrofitted with hydrocarbon mixture (HC290/HC600a) as drop-in substitute	
50	**Hammad 1999,** The use of HC mixtures as refrigerant in domestic refrigerators	**Jwo 2009**, Efficiency analysis of home refrigerators by replacing HC refrigerants	
55	**Lee 2008**, Performance charactheristics of a small capacity directly cooled refrigerator using R290/R600a		
56	**Rasti 2012**, Enhancement of domestic refrigerator's energy efficiency index using a mixture refrigerant	**Fatouh 2006**, Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG(%60p)	**Baskin 1994**, The performance of HCs in a household refrigerator/freezer(%60p)
60	**Jung 2000**, Testing of propane-isobutane mixtures in domestic refrigerators	**Wongwises 2005**, Experimental study of HC mixtures to replace HFC-134a in a domestic refrigerator	**Jwo 2009**, Assesment of propane/commercial butane mixtures as possible alternatives to R134a in domestic refrigerators
Propane	**James 1992**, The use of propane in domestic refrigerators		

olması nedeniyle daha uzun süre çalışmaya ihtiyaç duyması ve böylece toplam enerji tüketiminde HC karışımının gerisine düşmesidir.

Mohanraj vd. [23] yine 2009 yılında yaptıkları çalışmada R134a ile çalışan 200 litre bir buzdolabında R290 R600a karışımını 45.2 ve 54.8 oranında hazırlamışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda karışım ile %11 civarında enerji tüketiminde düşüş sağlamışlardır. 110 gram R134a şarjında karşılık 60 gram karışım şarj edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışma önceki çalışmalara paralellik arz ederek karışım kullanılması durumunda kılcal boru uzunluğunun %25 civarında uzatılması gerektiği çıkarımını yapmıştır.

Rasti vd. [24] 2012 yılında yaptıkları çalışmada 238 litrelik bir buzdolabında R134a yerine R290/R600a (56/44) karışımını kullanmıştır. Yapılan karışım ayrıca R436a olarak adlandırılmıştır. 105 gram R134a şarjında karşılık en uygun 55 gram R436a şarjı yapılmıştır ve bu şekilde enerji tüketiminde %5'lik bir düşüş yakalanmıştır. Böylece enerji verimlilik indeksi E'den D'ye düşürülmüştür.

Tablo 2.1'de hidrokarbon karışımlarının ev tipi buzdolaplarında kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar listelenmiştir. Tabloda karışım oranları ya çalışmada incelenen karışım oranı ya da çalışma sonunda bulunan optimum karışım konsantrasyonuna göre yerleştirilmiştir. Dikkat edildiğinde yüksek propan oranlarında çalışma yapılmadığı görülmektedir. 56 ve 60 propan aralıkları ise en çok çalışmanın yapıldığı aralıklardır.

BÖLÜM 3

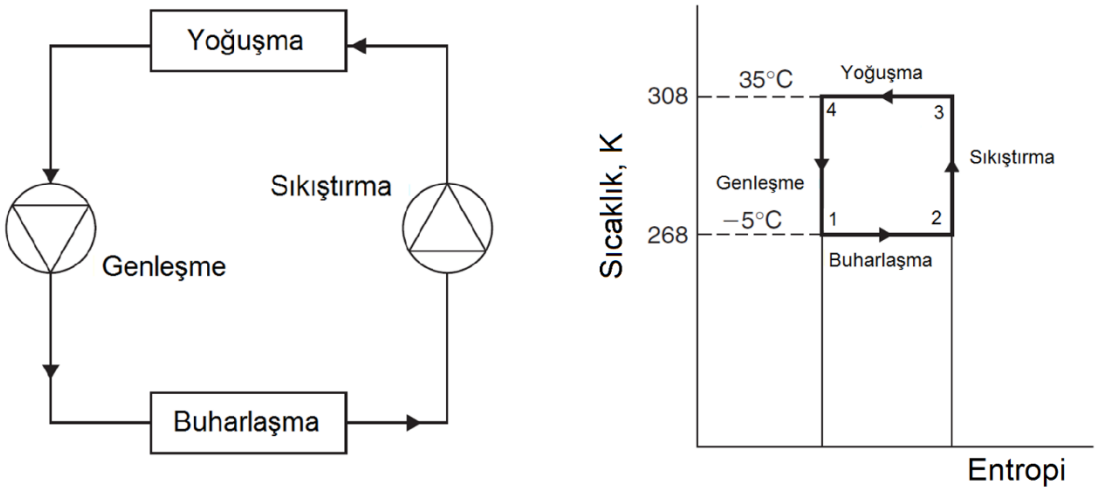
KURAMSAL TEMELLER

3.1. Soğutma

Bir maddeden veya ortamdan ısı çekerek sıcaklığını çevre sıcaklığından daha düşük seviyeye indirme işlemine soğutma denilir. Bunu gerçekleştirmek için düşük sıcaklıktan ısı alınır ve daha yüksek sıcaklıkta bir kaynağa verilir. Bu yapılan ısıl yayılımın tam tersi bir süreçtir. Dolayısıyla bu süreci gerçekleştirmek için dışarıdan iş verilmesi gerekmektedir. Soğutma işlemi dondurucularda, buzdolaplarında, klimalarda ve sıcaklığının düşürülmesinin gerektiği birçok alanda kullanılmaktadır ve modern yaşamın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir.

3.1.1. İdeal Soğutma Çevrimi

İki sıcaklık arasında çalışan ideal tersinir bir soğutma çevrimi sıcaklık entropi diyagramında aşağıda görüldüğü gibidir [25].



(a) (b)

Şekil 3.1 (a) Soğutma çevrimi, (b) İdeal soğutma çevrimi Sıc.-Entropi diyagramı [25]

Şekil 3.1'de görülen ve Carnot Çevrimi olarak adlandırılan çevrimde 4 farklı durum görülmektedir. 1 durumundan iki durumuna geçerken 1 noktasındaki düşük basınçlı sıvı soğutucu akışkan buharlaştırıcıda buharlaşır. Ardından 2 durumundaki düşük basınçlı gaz 3 durumuna geçerken soğutucu akışkan gaz fazında sabit entropide sıkıştırılır. 3-4 arasında yüksek basınca sahip gaz halindeki soğutucu akışkan yoğuşturucuda sabit basınçta yoğuşur. 4-1 arasında yüksek basınçlı sıvı haldeki soğutucu akışkanın sabit entropide basıncı buharlaşma basıncına düşürülür. Daha sonra tekrar 1 noktasındaki düşük basınçlı sıvı soğutucu akışkan buharlaştırıcıda buharlaşır ve böylece çevrim tamamlanmış olur. Çevrim boyunca yapılan net iş yoğuşturucuda verilen ısının buharlaştırıcıda alınan ısıdan çıkarılmasıyla bulunur. Bu ise; $Q = Tds$ bağıntısından yola çıkarak buharlaştırıcı ve yoğuşturucu doğrularının altında kalan alanın hesaplanmasıyla bulunabilir. Dolayısıyla Soğutma Tesir Katsayısı(COP), ortamdan çekilen ısının yapılan işe oranıdır, buharlaştırıcı doğrusunun altında kalan alanın(çekilen ısı) çevrimin içerisinde kalan alana bölünmesiyle bulunabilir(yoğuşturucuda verilen ısı – buharlaştırıcıda çekilen ısı) Bu hesap sıcaklık-entropi diyagramında bir bakışta aşağı yukarı görülebilir ve farklı çevrimlerin yorumlanmasında kolaylık sağlar. En basit mantık yürütmeyle COP'yi arttırmanın iki farklı yolu vardır. Birincisi çevrimde çevrimin içerisinde kalan alanı küçültmek, ikincisi ise çevrimin altında kalan alanı büyütmektir. Bu iki durumdan genellikle birincisi tercih edilir zira çoğu durumda buharlaşma sıcaklığı uygulamanın doğası gereği değişikliğe izin vermemektedir.

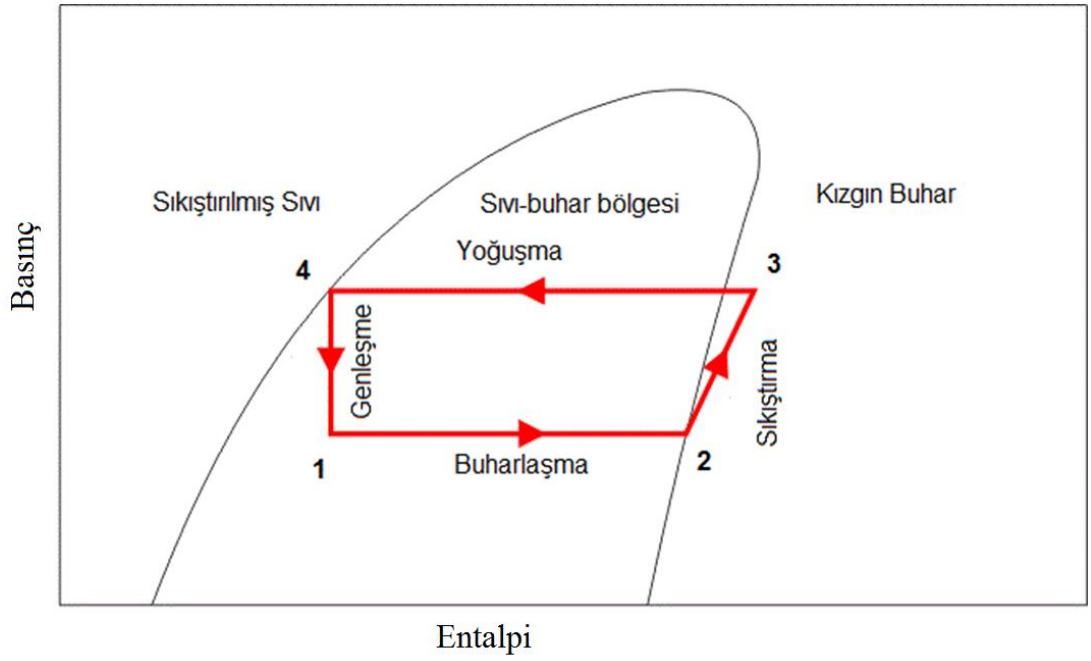
3.1.2. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevrimi

Bir önceki bölümde görülen Carnot çevrimi her ne kadar soğutma yapmak için çok mantıklı görünse de pratik hayatta böyle bir çevrimin uygulanması günümüz teknolojisi ile mümkün değildir. Öncelikle böyle bir çevrimi oluşturmak için ıslak buhar bölgesinde sıkıştırma yapmak gerekmektedir ve hem sıvı hem buhar bulunan bir ortamda basıncın yükseltilmesi problemi oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan kompresörler ise sadece gazı sıkıştırmak üzerine tasarlanmıştır. Bu nedenle soğutma çevrimi bu bölgede bir miktar sağa doğru kayacak ve sıkıştırma kızgın buhar bölgesinde gerçekleşecektir. Böylece 3 ve 4 noktaları arasında da sabit sıcaklık korunamayacaktır.

Çünkü aşırı kızdırılan buharın doymuş sıvı bölgesine gelebilmesi için sıcaklığın değişmesi gerekmektedir.

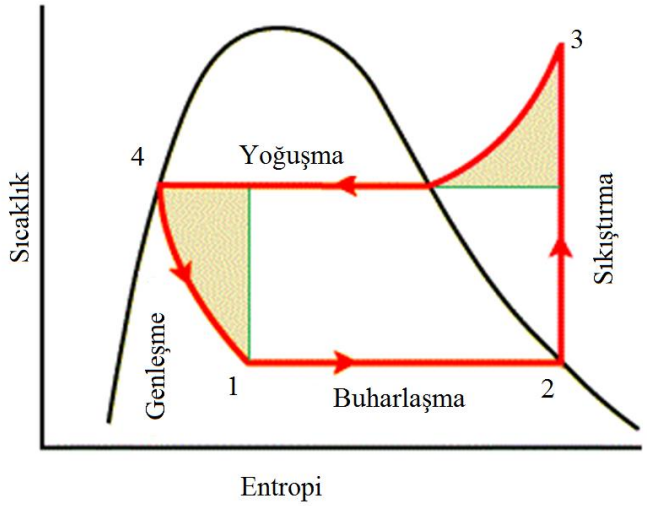
İkinci olarak Carnot çevriminde olduğu gibi doymuş sıvının basıncının düşürüldüğü sırada buradan iş elde etmek yatırım maliyeti göz önüne alındığında çok karlı değildir. Bu yüzden az sonra göreceğimiz buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde basınç düşümü bir genleşme valfi veya kılcal boru ile sağlanır ve bu işlem esnasında iş elde edilmez. Bu durumda sıcaklık-entropi diyagramında Carnot çevriminden sapmaya yol açacaktır. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimlerinde Carnot çevriminden sapma bölgeleri Şekil 3.3 üzerinden izlenebilir.

Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimleri günümüzde en çok kullanılan soğutma çevrimleridir. Bilindiği gibi maddelerin kaynama noktaları basınç ile değişirler. Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimleri bu prensipten hareket ederler. Düşük basınçlı sıvı soğutucu akışkan düşük sıcaklıkta kaynar, böylece buharlaştırıcıda kaynama gerçekleşirken düşük sıcaklıkta ısı çekilir ve bu ısı soğutucu akışkanın entalpisini yükseltir. Ardından buhar fazına geçen soğutucu akışkan kompresörde sıkıştırılır ve basıncı yükseltilir. Basıncı yükselen soğutucu akışkan artık düşük sıcaklıkta değil, yüksek sıcaklıkta kaynama-yoğuşma gerçekleştirecektir. Basınç değeri yoğuşmanın olması gerektiği sıcaklığa (yani ortam sıcaklığının üzerine) denk gelecek şekilde ayarlanır, böylece yoğuşturucuda soğutucu akışkan yoğuşur ve gizli ısısını ortama verir. Yüksek basınçta sıvı fazına geçen soğutucu akışkan genleşme valfine girer ve burada basıncı düşürülür, basınç düşürüldükten sonra buharlaştırıcıya yönlendirilen akışkan burada kaynamaya başlar ve düşük sıcaklıkta ısı çeker. Böylece çevrim tamamlanmış olur.



Şekil 3.2 Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin P-h diyagramında gösterimi

Çevrimi Şekil 3.2'de P-h diyagramında inceleyecek olursak. 1-2 noktaları arasında soğutucu akışkan buharlaştırıcıda buharlaşır. Ardından 2-3 noktaları arasında gaz halinde soğutucu akışkan sıkıştırılır ve basıncı yükselir. 3-4 noktaları arasında yoğuşturucuda sabit basınçta önce gazın aşırı kızgınlığı alınır, ardından soğutucu akışkan yoğuşur ve bir miktar aşırı soğutulur. Son olarak aşırı soğutulan akışkan genleşme valfinde veya kılcal borular ile sabit entalpide genleştirilir. Sabit entalpi bu sürecin adyabatik olduğunu yani herhangi bir ısı geçişinin olmadığını belirtir.



Şekil 3.3 Buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin Sıc.-Entropi diyagramında gösterimi

Tekrar sıcaklık-entropi diyagramına dönersek Carnot çevriminden sapmaları daha net şekilde görebiliriz. Şekilde görüldüğü gibi kompresörde sıkıştırma yapılırken gerekli olan yoğuşma basıncına ulaştıktan sonra bir miktar aşırı kızdırma yapılmış olur. Bu aşırı kızdırma şekilde görüldüğü gibi Carnot çevriminden bir miktar sapmaya yol açmaktadır. Yine genleşme valfinde herhangi bir türbin vs. kullanılmadığından dolayı süreç sabit entropide gerçekleşmez. Bu iki sapma da şekilde sarı renk ile belirtilmiştir.

3.2. Soğutucu Akışkanlar

Daha öncede belirtildiği gibi soğutma sistemleri her zaman bir soğutucu akışkana ihtiyaç duymuşlardır. Bu soğutucu akışkanları daha iyi anlayabilmek için bulunma süreçleri, istenilen özellikleri ve gösterimlerinin iyi bilinmesi gereklidir.

3.2.1. Soğutucu Akışkanların Tarihi

Buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimleri ilk bulunduğu günden beri hep bir soğutucu akışkana ihtiyaç duymuşlardır. Soğutmanın ilk mucidi sayılan Oliver Evans 1805 yılında eter kullanarak soğutma etkisini bulmuştu. Eteri vakum altında buharlaştırarak soğutma etkisi sağlıyordu. Ancak bu çalışma kullanılabilir bir icada dönüşmedi. Ardından ilk soğutma makinesi soğutmanın babası olarak bilinen Jacob Perkins tarafından 1850 yılında icat edildiğinde bulunan makine su ve sülfirik asidi soğutucu akışkan olarak kullanıyordu. Ardından yapılan soğutma makinelerinde amonyak, metil klorid, sülfür dioksit gibi akışkanlar soğutucu olarak kullanıldı. Ancak bu zikredilen soğutucu akışkanların yüksek oranda zehirleyici olması ve yanıcılık gibi risk faktörleri beraberinde kazalara ve ölümlere de neden olmuştu. Özellikle 1920'lı yıllarda metil klorid sızıntılarından zehirlenmeler görüldü.[26] Bu yüzden o yıllarda zehirleyici ve yanıcı olmayan, mühendislik gereksinimlerine cevap verecek fiziksel ve termodinamik özelliklere sahip bir soğutucu akışkan arayışı başladı.

Midgley'in 1930 yılında CFC soğutucu akışkanları bulması adeta bir devrim yapmış ve bu akışkanlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü Midgley'in geliştirdiği CFC soğutucu akışkanlar renksiz, kokusuz, yanıcı-olmayan ve korozif etkileri bulunmayan akışkanlardı ve bunun yanında doğada bulunmayıp sonradan tasarlandıkları için istenilen termodinamik ve fiziksel özellikleri sağlıyordu.

Beklenileceği üzere bu soğutucu akışkanlar soğutma endüstrisinde hızla yayıldı ve neredeyse bütün soğutma uygulamalarında kullanılmaya başlandı.

CFC soğutucu akışkanlar Karbon (C) Flor (F) ve Klor (C)'dan oluşmaktadır. DuPont'un piyasaya sürdüğü Freon ismiyle de bilinirler. Bilinen en yaygın CFC soğutucu akışkan R-12 veya Freon-12 veya bazı yerlerde CFC-12 ismiyle anılır.

Ancak R-12 soğutucu akışkanının ozon tabakasına ciddi derecede zarar vermesi bu akışkanın yerine ozon tabakasına daha az zarar veren HCFC soğutucu akışkanların geliştirilmesini sağlamıştır. HCFC soğutucu akışkanlar ise CFC'lerden farklı olarak içerisinde Hidrojen (H) barındırırlar. Böylece ozon tabakası tahribi azaltılmış olur. Bilinen HCFC soğutucu akışkan ise R22 olarak anılan klordiflormetandır.

Ancak bunun ardından HCFC soğutucu akışkanların da ozonu tahribinin azımsanmayacak ölçüde olması Montreal Protokolü'nde bu soğutucu akışkanların terk edilmesini beraberinde getirmiştir.

CFC ve HCFC soğutucu akışkanların terk edilmesi gerekliliği yeni bir alternatif arayışını getirmiştir ve bu süreçte mevcut sistemlere uyumlu HFC soğutucu akışkanlar geliştirilmiştir. Bu soğutucu akışkanlar Hidrojen (H), Flor (F) ve Karbon (C)'dan oluşurlar. İçerisinde klorin veya bromin barındırmadığından dolayı ozon tabakasına zarar vermezler.

Ancak çok geçmeden bu soğutucu akışkanların da küresel ısınma etkileri ortaya çıkmıştır ve Kyoto Protokolü ile bu soğutucu akışkanların da piyasadan çekilmesi yönünde kararlar alınmıştır. Böylece soğutma endüstrisinde alternatif soğutucu akışkan arayışları devam etmiştir.

Son yıllarda birçok buzdolabı firması uygun termodinamik özelliklerinin yanında ozon tabakasını tahrip etmeyen ve küresel ısınma etkileri yok denecek kadar az olan hidrokarbon (HC) soğutucu akışkanlara sahip buzdolapları üretmeye başlamışlardır. HC soğutucu akışkanların tek dezavantajı yanıcı olmalarıdır. Ancak yapılan testlerde buzdolabı için kullanılan kütle miktarlarının risk taşımadığı ortaya çıkmıştır. Bugün piyasada çoğu yerde R600a soğutucu akışkanı ile çalışan buzdolapları görmek mümkündür.

3.2.2. Soğutucu akışkanlarda aranan özellikler

Bir soğutucu akışkanın pratik olarak aranılan en önemli özelliği ise buharlaştırıcı basıncında soğutulmak istenen sıcaklığın altında, yoğuşturucu basıncında ise ısı atılmak istenen (genellikle çevre) sıcaklığın üzerinde olmasıdır. Bunun ardından ise yanıcılık, zehirlilik, stabilite gibi diğer özellikler gelmektedir. Bu gibi özellikleri sınıflandıracak olursak;

3.2.2.1. Güvenlik ve çevresel özellikler

Soğutucu akışkanın güvenilir olması çok önemlidir. Bu da bir buzdolabında bir kaçak olması durumunda soğutucu akışkanın insan sağlığına kesinlikle zarar vermemesi gerektiğinin bir göstergesidir. CFC ve HCFC soğutucu akışkanların hızla kullanım alanı bulmasının en önemli nedeni budur. Zira insan güvenliği her şeyden önde gelmektedir. HC soğutucu akışkanlar ise yanıcılık patlayıcılık özelliğine sahiptir. Bu durum bu akışkanların yüksek miktarda kullanımının önünde engel oluşturmaktadır. Ancak evsel buzdolaplarında şarj miktarı düşük olduğundan dolayı soğutucu akışkan sızıntısı olması durumunda kullanılan hidrokarbonlar hava ile yanıcı bir karışım oluşturamamaktadır.[11]

Çevresel etkiler ise daha önce belirtildiği gibi soğutucu akışkanın ozon tabakasını tahrip etmemesi gerekliliği ve küresel ısınmaya neden olmamasıdır. Bu iki durum iki şekilde ifade edilir.

3.2.2.1.1. ODP

Tablo 3.1 Farklı soğutucu akışkanların ODP değerleri

Soğutucu Akışkan	İçeriği	ODP
CFC-11	Triklorflormetan	1
R13B1	Bromtriflormetan	10
CFC-12	Diklordiflormetan	1
HCFC-22	Klordiflormetan	0.05
HFC-134a	Tetrafloretan	0
HC-600a	İzobütan	0

İngilizce (Ozone Depletion Potential) Ozon inceltme potansiyeli'nin baş harflerinden oluşur. Soğutucu akışkanların ozon tahribini belirtmek için kullanılır. Trikoloroflorometan R-11 soğutucu akışkanı içerisinde üç adet klor atomu barındırdığından dolayı ozon tabakasına en çok zarar veren soğutucu akışkandır. ODP ise R-11 soğutucu akışkanının ozon tahribinin 1 alınmasıyla oluşmuştur. Diğer tüm soğutucu akışkanların ozon tahribi R-11 soğutucu akışkanı referans alınarak ölçülür. Buna rağmen bromin içeriğine sahip maddeler bromin atomunun ozon ile gireceği reaksiyonlardan dolayı ozon tahrip potansiyelleri 1'in üzerinde 10-15 gibi değerlere sahiptir. Soğutucu akışkanlar içerisinde HCFC'lerin ODP'leri 0.005 ile 0.2 arasında değişirken HFC'lerin ODP değerleri klor atomu bulundurmadıkların sıfır seviyesindedir. Hidrokarbonlarda da ozon tabakasına zarar vermezler ve ODP değerleri 0'dır.

3.2.2.1.2. GWP

İngilizce (Global Warming Potential) Küresel ısınma potansiyeli anlamına gelen GWP maddelerin küresel ısınma etkilerini belirtmek amacıyla kullanılır. GWP değeri küresel ısınmaya neden olan en önemli gaz olan karbondioksit referans alınarak belirlenir. Buna göre karbondioksidin GWP'si 1'dir. GWP hesapları belirli zaman aralıklarına göre yapılır. Bunun nedeni gazların atmosferde kalma sürelerinin farklı olmasındandır.

Tablo 3.2 Farklı soğutucu akışkanlar için farklı yıl periyotlarında GWP değerleri

Soğutucu Akışkan	Kalma süresi (yıl)	20 yıl GWP	100 yıl GWP	500 yıl GWP
CFC-12	100	11000	10900	5200
HCFC-22	12	5160	1810	549
HFC-134a	14	3830	1430	435

Tablo 3.1'de görüldüğü gibi soğutucu akışkanların GWP değerleri göz önüne alınan yıllık süreye göre değişiklik göstermektedir. HC soğutucu akışkanların GWP değerleri ise 3 seviyelerindedir. Sık kullanılan bir HFC grubu akışkan olan HFC-134a'nın da GWP değerlerinin HC soğutucu akışkanlardan çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

3.2.2.2. Termodinamik ve termofiziksel özellikler

Kullanılacak soğutucu akışkanın öncelikle istenen sıcaklık seviyeleri için gerekli olan emme ve basma basınçlarının ne olduğu çok önemlidir. Emme basıncının çok düşük olması içeriye atmosferik gazların kaçması olasılığını arttıracağından bu basıncın en az atmosfer basıncı seviyelerinde olması olumludur. Bunun yanında yüksek emme basıncı sıkıştırma oranını azaltacağından istenilen bir durumdur.

Çıkış basıncı ise olabildiğince küçük olmalıdır. Böylece soğutma sisteminde kullanılan malzemeler daha hafif olabilir ve yüksek basıncı karşılamak için gerekli olan malzeme giderlerinden tasarruf edilmiş olur. Hacimsel verim ve daha düşük enerji tüketimini sağlayabilmek için sıkıştırma oranının düşük olması önemlidir.

Buharlaşma gizli ısısının yüksek olması yine istenilen bir durumdur. Sıkıştırma izantropik indeksi küçük olmalıdır, böylece sıkıştırma esnasında soğutucu akışkanın ısınmasının önüne geçilmiş olur. Sıvı özgül ısısı küçük buhar özgül ısısı ise yüksek olmalıdır ki böylece gazın aşırı ısınması engellensin ve aşırı soğutma yapmak kolaylaşsın. Bunun yanında beklenildiği gibi ısıl iletkenliğin yüksek olması ve olabilecek basınç düşümlerini engellemek adına viskozitenin de yüksek olması istenilir.

3.2.3. Soğutucu Akışkanların Notasyonları

Soğutucu akışkan notasyonlarında bilinmesi gereken ilk nokta kısaltmalardaki ön eklerdir. Bu ön ekler soğutucu akışkanın hangi grupta olduğunu belirtirler.

Tablo 3.3 Farklı soğutucu akışkan grupları ve içerikleri

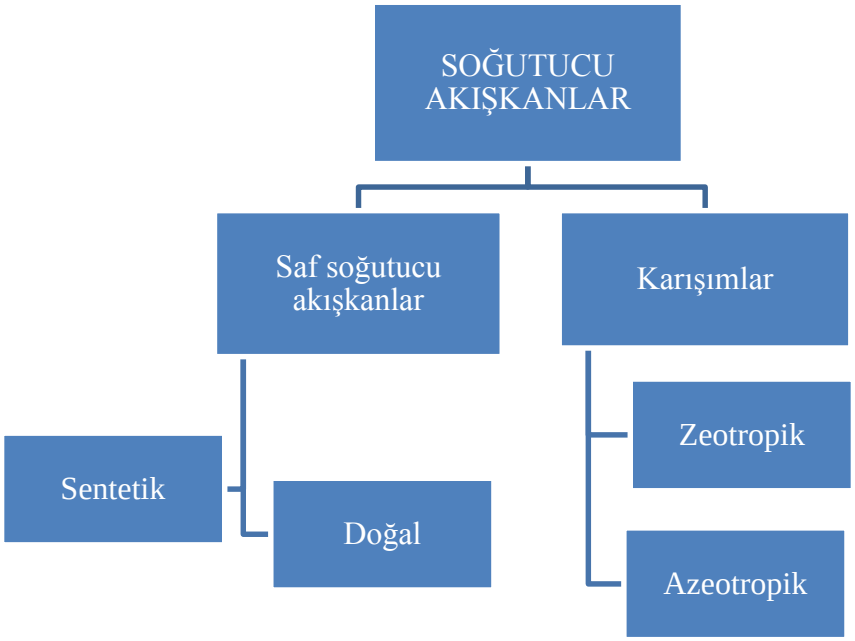
Ön ek	Anlamı	Molekülde bulunan atomlar
CFC	Kloroflorokarbon	Cl, F, C
HCFC	Hidrokloroflorokarbon	H, Cl, F, C
HFC	Hidroflorokarbon	H,F, C
HC	Hidrokarbon	H, C

Bunun ardından rakamlar gelir. Rakamlar ise molekülün içerisinde kaç adet C, H ve F atomunun bulunduğunu belirtir. Ancak bunu yapmak için önce sayıya 90 ilave etmek gereklidir. Mesela CFC-12'yi ele alırsak, 12'ye 90 eklediğimizde 102 sayısını buluruz. 102'yi ise C, H, F ile eşleştirdiğimizde 1 adet C atomu ve 2 adet Flor atomu

içerdiğini görürüz. HCFC-22'yi (klordiflormetan) ele alırsak, 22 sayısına 90 eklediğimizde 112'yi buluruz bu da bir adet C atomu, 1 adet H atomu ve 2 adet F atomuna karşılık gelir. Burada moleküller içerisinde bulunan Cl gibi atomlar belirtilmemiştir. HC'larda ise R290 propanı ele alalım. C_3H_8 formülüne sahip propan için 290'a 90 eklediğimizde 380 sayısına ulaşırız bu ise 3 C, 8 H ve 0 F atomu manasına gelir.

İnorganik soğutucu akışkanlar 7 sayısıyla başlayarak isimlendirilirler ve ardından molekül ağırlığı yazılır. Mesela molekül ağırlığı 17 olan amonyak R717 olarak isimlendirilir.

Buna benzer, soğutucu akışkan karışımlarının zeotropik olanları 400, azeotropik olanları ise 500 ile başlayarak isimlendirilirler.



Şekil 3.4 Soğutucu akışkanların sınıflandırılması

3.3. Soğutucu Akışkan Karışımları

Günümüzde saf soğutucu akışkanların yanında soğutucu akışkanların karıştırılmasıyla elde edilen yeni soğutucu akışkanlar da görmekteyiz. Soğutucu akışkan karışımları Şekil 3.4'de görüldüğü gibi azeotropik ve zeotropik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Zeotropik soğutucu akışkanların en önemli özelliği kaynama ve yoğuşma sırasında sıcaklık değişimlerine uğramasıdır. Bu durum önemli enerji tasarrufu potansiyelleri sunmaktadır. Bu sıcaklık değişimlerinin enerji verimliliğinde kullanılması

bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Bunun yanında zeotropik soğutucu akışkanlar kaynama ve yoğuşma esnasında sıvı-buhar konsantrasyonlarında da değişikliğe uğrarlar. Bu durumda yapılan tasarımlarda göz önüne alınması gereken bir faktördür. Azeotropik karışımlar ise kaynama ve yoğuşma esnasında sıcaklık değişimlerine uğramazlar, ne de sıvı-buhar konsantrasyonları değişir.

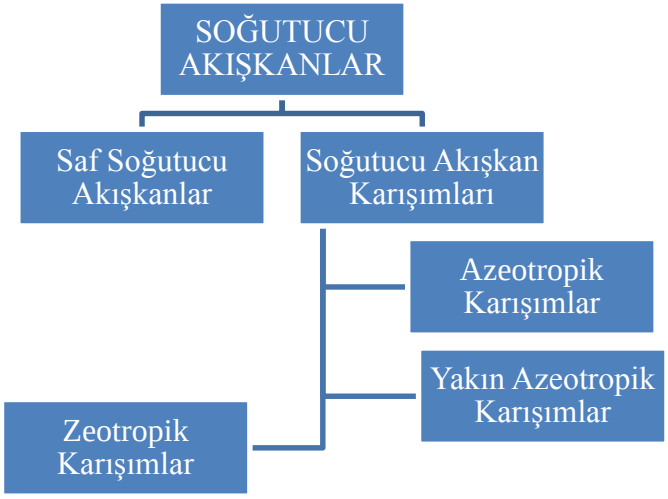
4.Bölüm'de soğutucu akışkan karışımların buhar sıkıştırmalı çevrimlerde nasıl farklılıkları oluşturdukları ayrıntılı olarak incelenecektir.

BÖLÜM 4

NARM ÖZELLİKLERİ

4.1. Giriş

Daha önceki bölümlerde incelendiği gibi soğutucu akışkanlar saf soğutucu akışkanlar ve soğutucu akışkan karışımları olmak üzere iki gruba ayrılmıştı. Soğutucu akışkan karışımları ise kendi içinde azeotropik soğutucu akışkan karışımları non-azeotropik soğutucu akışkan karışımları ve yakın-azeotropik soğutucu akışkan karışımları olmak üzere üçe ayrılmaktadır.



Şekil 4.1 Soğutucu akışkanların sınıflandırılması

Soğutucu akışkan karışımlarının neden bu şekilde farklı davranışlara sahip olduğunun anlaşılması için öncelikle Gibbs Faz Kuralı ve Rault Kuralı'nın bilinmesi gerekir.

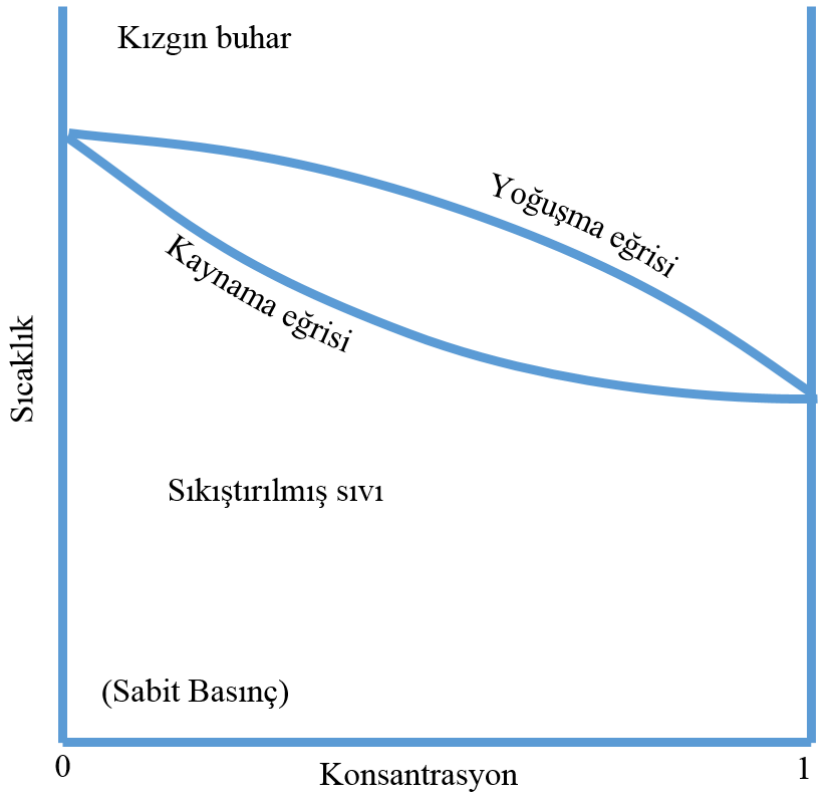
4.2. Gibbs Faz Kuralı

Gibbs faz kuralı termodinamikte reaksiyona girmeyen maddeler için serbestlik derecesi tanımlayan bir bağıntıdır. Bu kurala göre bir sistemin serbestlik derecesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F = C - P + 2 \quad (4.1)$$

Burada F serbestlik derecesi, C karışımdaki komponent sayısı, P ise karışımdaki faz sayısıdır. Burada bahsedilen faz durumu maddenin katı, sıvı gaz gibi fazlarıdır.

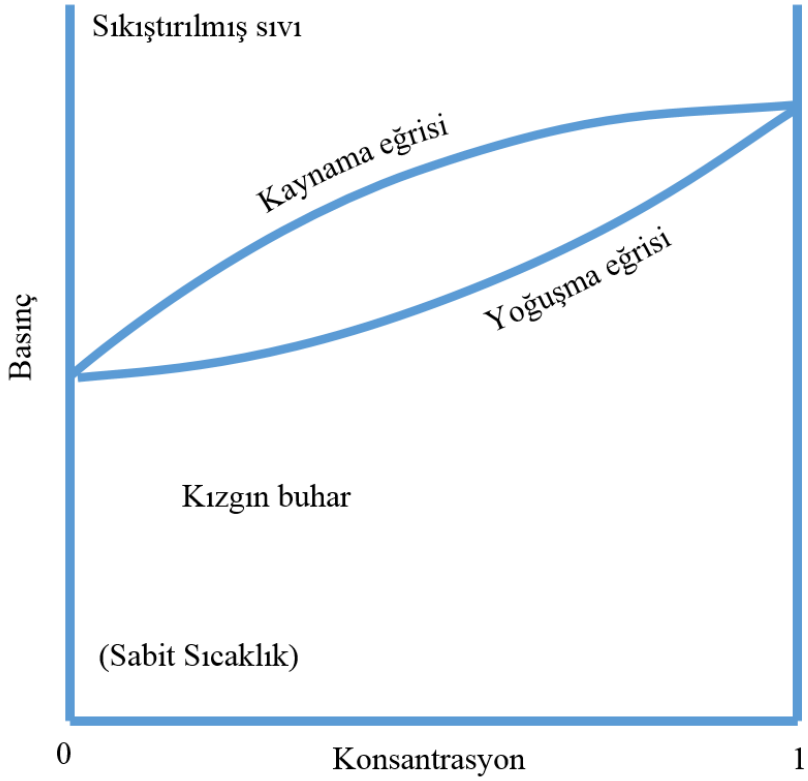
Daha basit bir noktadan açıklamak gerekirse, sözgelimi elimizde saf bir akışkan var ise ve bu akışkanın sıvı-buhar noktasındaki özelliklerini belirlemek istersek C değeri 1, P değeri 2 olduğu noktada $F = 1 - 2 + 2$ olduğundan bu bölgedeki serbestlik derecesi 1 olacaktır. Yani basınç veya sıcaklık gibi sadece bir değeri bildiğimizde o noktadaki diğer özellikleri bilebiliriz. Ancak kızgın buhar bölgesine geldiğimizde P değeri 2 olacaktır böylece $F = 2 - 2 + 2$ olduğundan F=2 olacaktır. Bu da bu bölgede basınç, sıcaklık, özgül hacim, entalpi, entropi gibi değerlerden en az iki tanesini bilmemiz durumunda diğer özelliklere ulaşabileceğimiz manasına gelir.



Şekil 4.2 Zeotropik karışımlar için sabit basınçta Sıcaklık-Konsantrasyon diyagramı

Buradan ikili karışımlara dönecek olursak, ikili karışımlarda C değeri 2 olacaktır. Böylece tek fazlı bölgeler olarak adlandırılan kızgın buhar ve sıkıştırılmış sıvı bölgelerinde serbestlik derecesi $F = 2 - 1 + 2$ sonucunda $F = 3$ olacaktır. Sıvı-buhar karışımının olduğu bölgelerde ise serbestlik derecesi $F = 2$ olacaktır. Bu dikkat edilirse tek bileşene sahip saf akışkanlardan bir derece fazladır.

Böylece soğutucu akışkan karışımlarında Şekil 4.2 ve 4.3'de görüldüğü gibi sabit basınçta sıcaklık-konsantrasyon grafiği veya sabit sıcaklıkta basınç-konsantrasyon grafiği oluşturulduğunda yoğuşma ve kaynama eğrileri birbirinden farklılaşırlar.

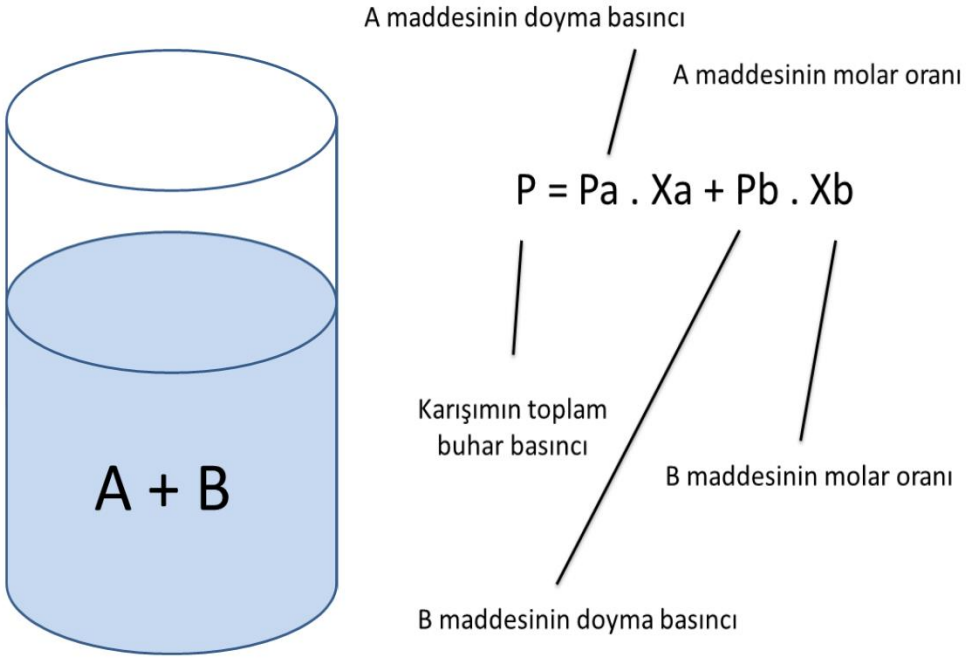


Şekil 4.3 Zeotropik karışımlar için sabit sıcaklıkta Sıcaklık-Konsantrasyon diyagramı

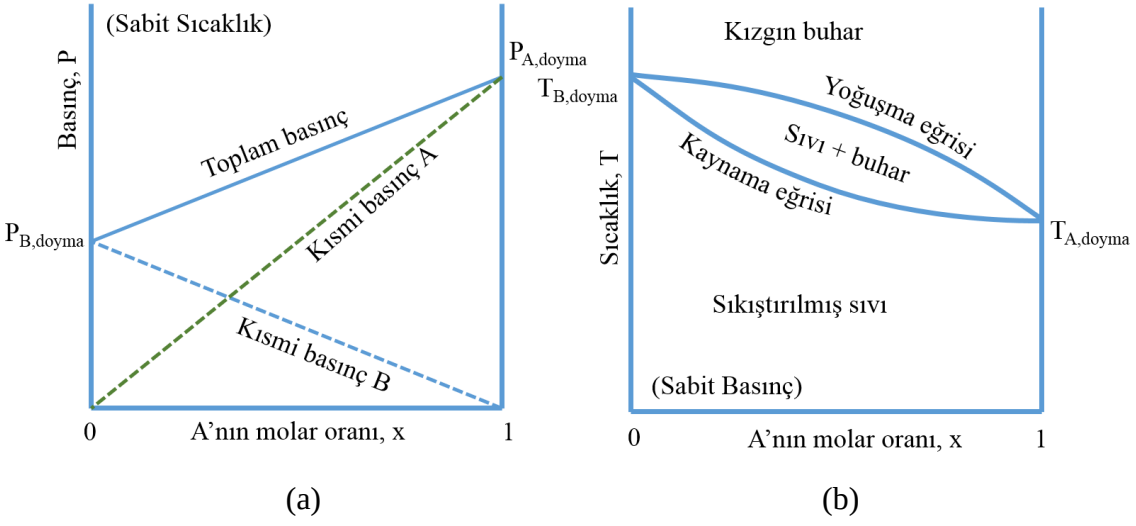
Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki grafikler soğutucu akışkan karışımlarını anlamak için çok önemli bir yere sahiptirler. Özellikle Şekil 4.2'de görülen sıcaklık-konsantrasyon grafiği bu bölüm içerisinde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

4.3. Rault Kuralı ve karışımların gruplandırılması

Rault Kuralı'na göre birbiri ile reaksiyona girmeyen ve diğer komponentin molekülleri ile herhangi bir çekim veya itme kuvveti oluşturmayan karışımlarda karışımın toplam buhar basıncı karışımı oluşturan A ve B maddelerinin buhar basıncının molar oranlarının katılmasıyla alınan ortalamasıdır.



Şekil 4.4 Rault Kuralının gösterimi

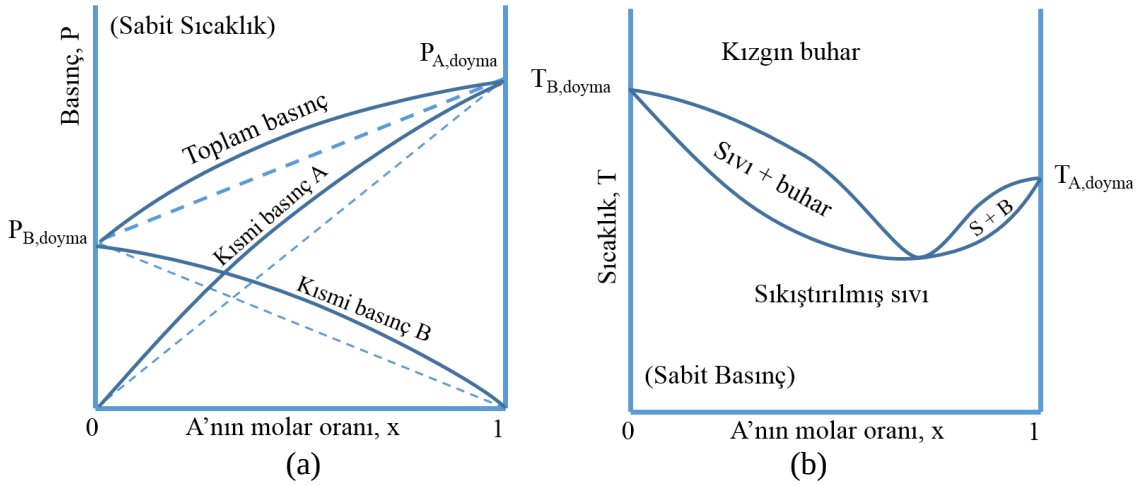


Şekil 4.5 Rault Kuralı'na göre davranan bir karışımın (a) P-x, (b) T-x diyagramları[27]

Rault kuralına uygun davranan soğutucu akışkanların basınç-konsantrasyon ve sıcaklık-konsantrasyon diyagramları Şekil 4.5'de görüldüğü gibidir.

Sol tarafta görülen basınç-konsantrasyon grafiğinde toplam basınç lineer bir çizgi izlediğinden sıcaklık-konsantrasyon grafiğinde sıvı-buhar bölgesi az sonra incelenecek durumlara nispeten daha dengeli bir şekil izlemektedir.

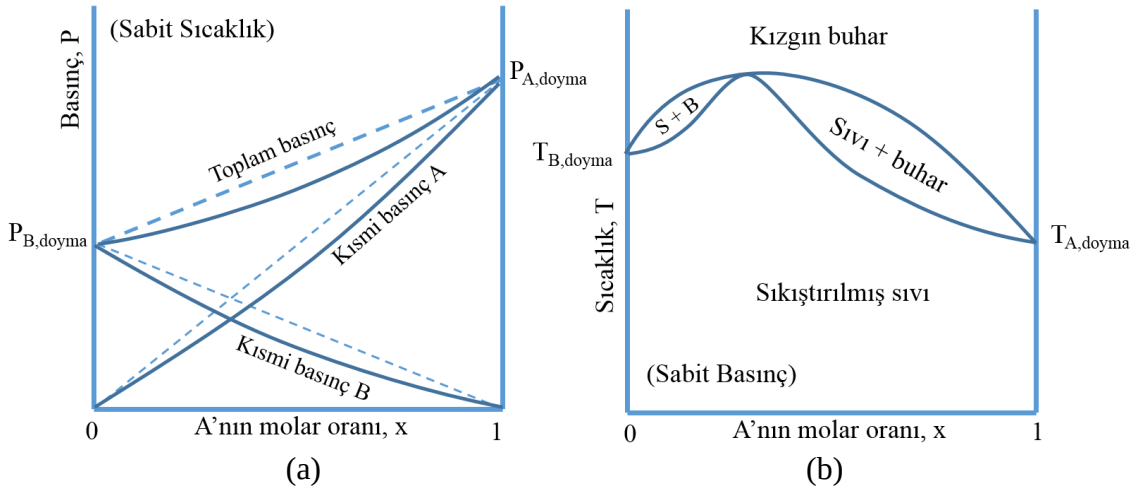
Ancak Rault kuralından sapmalar başladığında bu şekil bozulmaya başlar. Eğer karışan maddeler arasında itme kuvveti var ise bu karışımın toplam buhar basıncının beklenenden daha fazla olmasına yol açacaktır.



Şekil 4.6 Rault Kuralından pozitif sapma gösteren bir karışımın (a) P-x, (b) T-x diyagramları [27]

Şekil 4.6'da P-x diyagramında görüldüğü gibi artık Rault kuralında belirtildiği gibi toplam buhar basıncı kısmi basınçların toplamından daha fazla olacaktır. Böylece toplam buhar basıncının artması kaynama noktasını düşürücü bir etki oluşturacaktır. Şekil 4.6'da T-x diyagramında görüldüğü gibi kaynama noktasının minimum olduğu bir alt değer oluşacaktır. İlginç bir şekilde görülen bu minimum kaynama noktası karışımı oluşturan iki maddenin de kaynama noktasının altında gerçekleşir. Bu alt değerde karışım yapıldığı zaman karışım saf bir akışkan gibi davranacaktır.

Rault kuralından sapma farklı bir şekilde de gerçekleşebilir. Az önce verilen durumun tam tersi gerçekleştiğinde, yani karışımı oluşturan maddelerin molekülleri birbirlerini çekme yönünde bir davranış sergiler ise, bu durumda toplam buhar basıncı beklenen buhar basıncından daha düşük olacaktır.



Şekil 4.7 Rault Kuralından negatif sapma gösteren bir karışımın (a) P-x, (b) T-x diyagramları [27]

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi buhar basıncının beklenenden daha düşük olması kaynama noktasının sıcaklığının artması anlamına gelmektedir. Bu durumda ise T-x diyagramında görüldüğü gibi karışım belirli bir konsantrasyonda kendini oluşturan maddelerin kaynama noktalarından daha yüksek bir maksimum kaynama noktasını oluşturacaktır. Yine bu maksimum noktadaki konsantrasyonda elde edilen karışım azeotropik davranış sergileyecektir.

4.3.1. Azeotropik Soğutucu Akışkan Karışımları

Azeotropik soğutucu akışkan karışımları az önce görülen Rault kuralından sapmış soğutucu akışkan karışımlarından minimum veya maksimum kaynama noktasının görüldüğü konsantrasyonlarda hazırlanmış karışımlardır. Bu karışımlar kaynama ve yoğuşma durumunda sıcaklık ve basınç değişimine uğramazlar. Karışım oldukları halde saf akışkan gibi davranırlar. Oluşturulan azeotropik karışım eğer maksimum kaynama noktasında oluşturulmuşsa bu karışımlara maksimum kaynama azeotropu, eğer minimum kaynama noktasında oluşturulmuş ise bunlara maksimum kaynama azeotropu denilir.

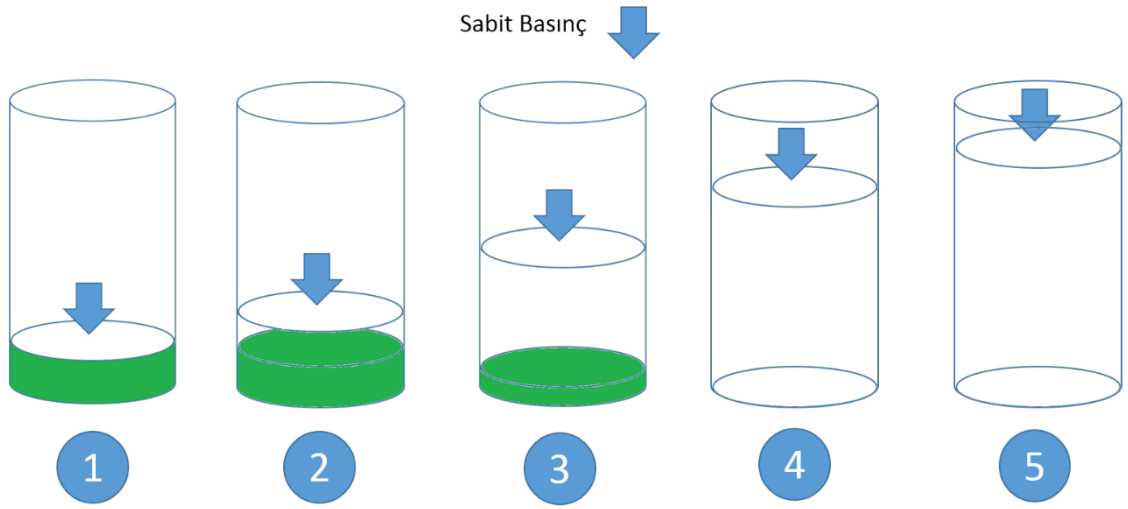
4.3.2. Yakın Azeotropik Soğutucu Akışkan Karışımları

Yakın-azeotropik karışımlar Rault kuralına uygun davranan karışımlar için saf akışkana yakın bölgelerde, Rault kuralından sapmalar görülen karışımlar için ise minimum veya maksimum bölgenin yakınında veya saf akışkana yakın bölgelerde

gözlenebilir. Bu tür karışımlarda kaynama ve yoğuşma esnasında sıcaklık değişimi görülse de bu değişimler sistemi ciddi oranda etkilemeyecek kadar küçük seviyelerdedir.

4.3.3. Azeotropik Olmayan Soğutucu Akışkan Karışımları (NARM)

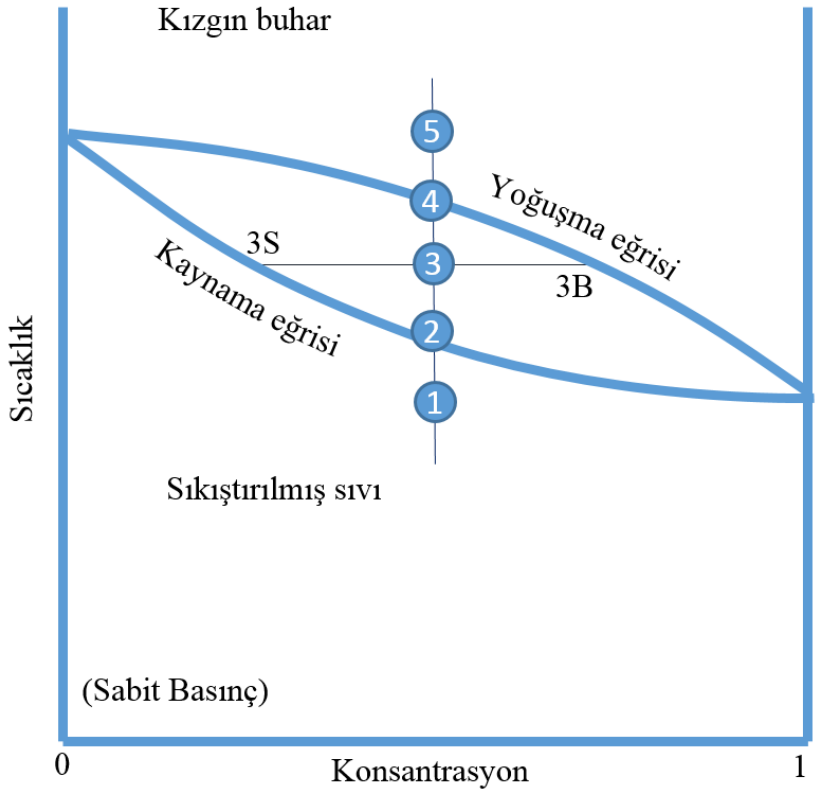
Non-Azeotropik Soğutucu Akışkan Karışımları literatürde isminin baş harfleri olan NARM(Non Azeotropik Refrigerant Mixtures) şeklinde veya kısaca zeotropik olarak bulunurlar. NARMlar buharlaşma ve yoğuşma sırasında sıcaklık değişimi geçirirler. Ayrıca buharlaşma ve yoğuşma esnasında karışımın gaz fazı ve sıvı fazındaki bileşen konsantrasyonları değişiklik gösterir. Bu durum farklı hesaplamaları beraberinde getirir. Bununla birlikte non-azeotropik soğutucu akışkan karışımlarının yoğuşma ve buharlaşma esnasında sıcaklıklarının değişmesi kullanılarak soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında enerji tüketimi düşürülebilir[27]. Bu konu bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.



Şekil 4.8 Zeotropik karışımlar için hayali deney düzeneğinin gösterimi

NARM'ları daha iyi anlayabilmek için Şekil 4.8'de görüldüğü gibi hayali bir deney düzeneği kurabiliriz. A ve B maddesinden oluşan karışımı sıvı fazında bir piston silindir düzeneğine koyduğumuzda ve basınç sabit olacak şekilde pistona kuvvet uygularsak ve sıcaklığı giderek arttırırsak bir süre sonra kaynama başlayacaktır. Ancak kaynama olayı ilk etapta daha uçucu olan maddeden başlayacaktır. Eğer A'nın daha uçucu olduğunu kabul edersek, ilk kaynama başladığında oluşan buhar fazı A yönünden zengin

olacaktır. Bu durumda geride kalan sıvı fazı ise B yönünden daha zengin bir karışım oluşturacaktır.



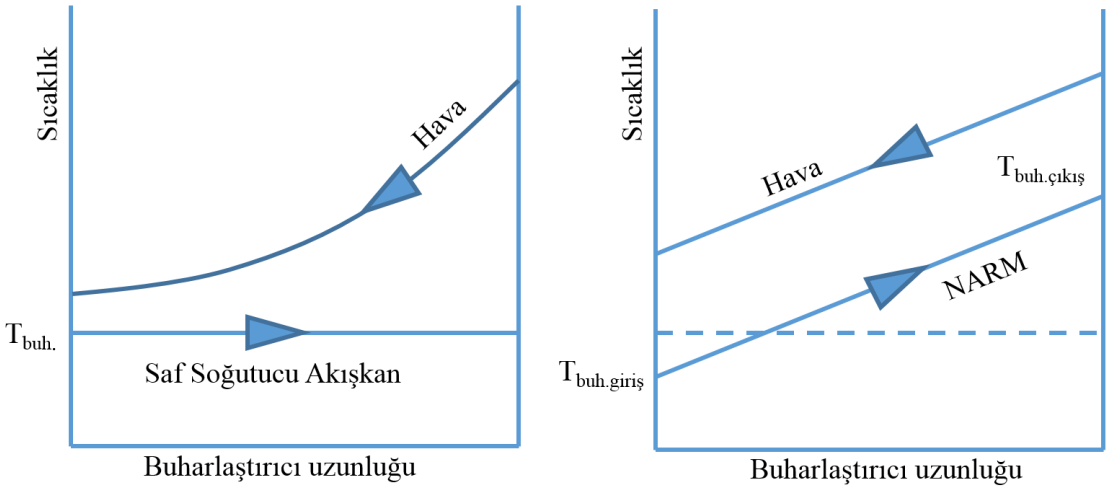
Şekil 4.9 Zeotropik karışımlar için sıcaklık-konsantrasyon diyagramı [27]

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi 3 noktasında hem sıvı hem de buhar fazı görülecektir. İşte tam bu noktada sıvı fazının konsantrasyonu sola doğru çekilen yatay çizginin kaynama eğrisini kestiği yerdeki yatay değer okunarak bulunur, buhar fazının konsantrasyonu ise 3 noktasından sağa doğru çekilen yatay çizginin yoğuşma eğrisi ile buluştuğu noktadaki x değerinden okunur. Dikkat edileceği üzere kaynama devam ettikçe sıvı fazının konsantrasyonu B akışkanı yönünden zenginleşmektedir. Ta ki son sıvı damlalarında en yüksek B konsantrasyonu görülür. Gaz fazı ise ilk buhar kabarcıklarında en yüksek A konsantrasyonlarını görürken, kaynamanın devam etmesiyle giderek B yönünden zenginleşir ve en sonunda karışımın ilk halindeki konsantrasyona ulaşır ki zaten olması gereken de karışımın konsantrasyonunun korunmasıdır.

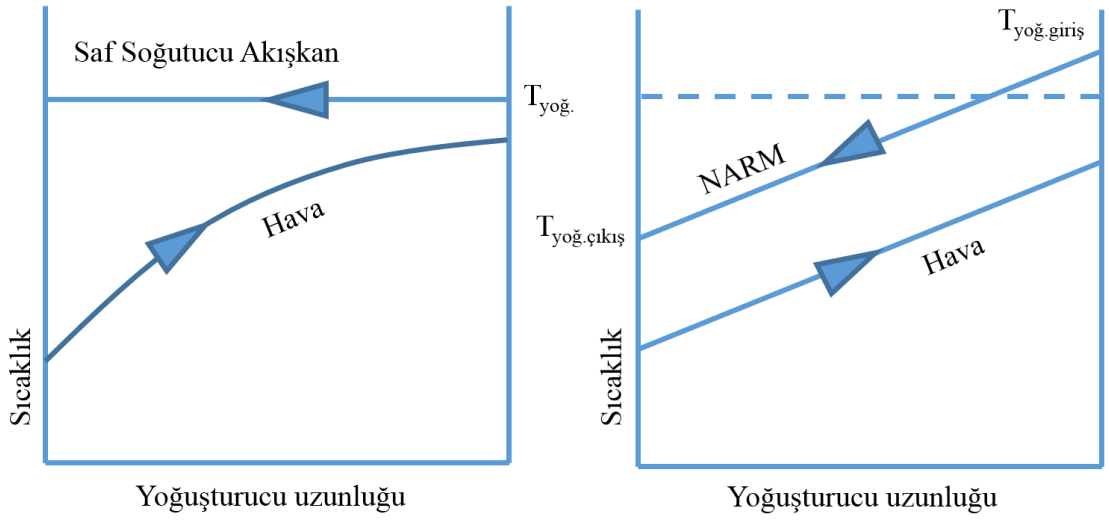
NARM'ların ayırıcı en önemli özellikleri kaynama ve yoğuşma sırasında sıcaklık ve konsantrasyon değişimine uğramasıdır. Bu durum bazı noktalardan dezavantaj gibi

görülse de termodinamik açıdan birçok avantajı ve enerji verimliliği potansiyelini de beraberinde getirmektedir.

Mesela saf soğutucu akışkanlarda buharlaştırıcı ve yoğuşturucu hava-akışkan sıcaklık profilleri logaritmik oluşur. Bunun nedeni kaynama ve yoğuşma sırasında sıcaklığın sabit kalmasıdır.



Şekil 4.10 Buharlaştırıcı hava ve soğutucu akışkan sıcaklık profilleri [27]



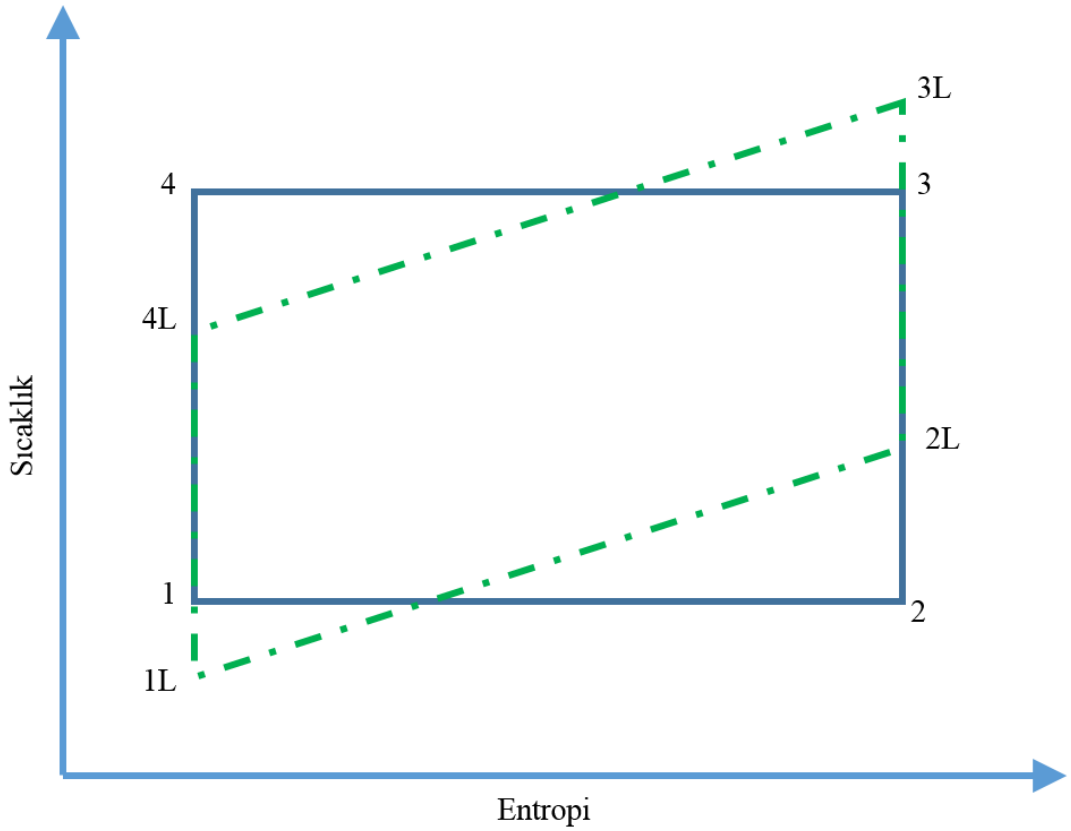
Şekil 4.11 Yoğuşturucu hava ve soğutucu akışkan sıcaklık profilleri [27]

Şekil 4.10 ve 4.11'de görüldüğü gibi saf akışkan kullanılması durumunda soğutucu akışkan ve hava arasında logaritmik bir sıcaklık farkı oluşmaktadır. Bu logaritmik sıcaklık farkları özellikle çıkış noktalarında hava ve soğutucu akışkan arasındaki sıcaklık farkının azalmasına neden olmaktadır, bu durumda oluşturulan ısı değiştiricisinin alanının arttırılması veya bazı durumlarda bir fan vasıtasıyla bu sıcaklık farkının korunması gerekmektedir. Bu durum ise en ufak bir enerjinin bile önem kazandığı buzdolapları gibi uygulamalarda enerji verimliliğini düşüren bir faktör olarak göze çarpmaktadır.

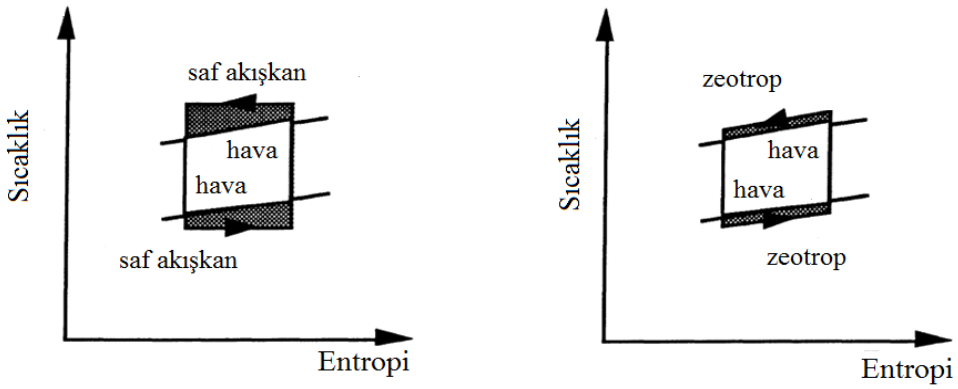
NARM'larda ise sıcaklık profilleri gerekli ayarlamalar yapıldığı takdirde Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de görüldüğü gibi yoğuşturucu ve buharlaştırıcıda lineer olarak elde edilebilir. Kaynama ve yoğuşma sırasında sıcaklık değişiminin oluşması havanın da sıcaklık profilini değiştirerek logaritmik bir yapıdan lineer bir yapıya geçmesini sağlar. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'da yatay kesikli çizgiler havadaki aynı sıcaklık değişimi için saf soğutucu akışkanın alması gereken sıcaklığı göstermektedir. Buradan açıkça görüldüğü gibi ortalama buharlaştırıcı sıcaklığı bir önceki duruma göre artış gösterirken, ortalama yoğuşturucu sıcaklığı bir önceki duruma göre düşüş göstermiştir.

Zikredilen bu durum soğutma çevriminin COP'sinde değişimlere yol açabilir. İşte NARM soğutucu akışkanların enerji verimlilik potansiyelleri buradan kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.12'de şematik olarak Carnot çevrimi ve NARM'lar için oluşturulan Lorenz çevrimi görülmektedir. Kesikli çizgiler Lorenz çevrimini gösterir, kesikli olmayan çizgiler ise Carnot çevrimini gösterir. Lorenz çevriminde kaynama ve yoğuşma için ortalama değerleri alıp bu çevrimi Carnot çevrimine uyarlarsak, Carnot çevriminden daha yüksek bir COP değerine sahip olduğunu görebiliriz.



Şekil 4.12 Carnot ve Lorenz çevrimlerinin Sıcaklık-Entropi diyagramında mukayesesi



Şekil 4.13 (a) Carnot ve (b) Lorenz çevrimlerinin iki farklı Sıcaklık-Entropi diyagramında mukayesesi [28]

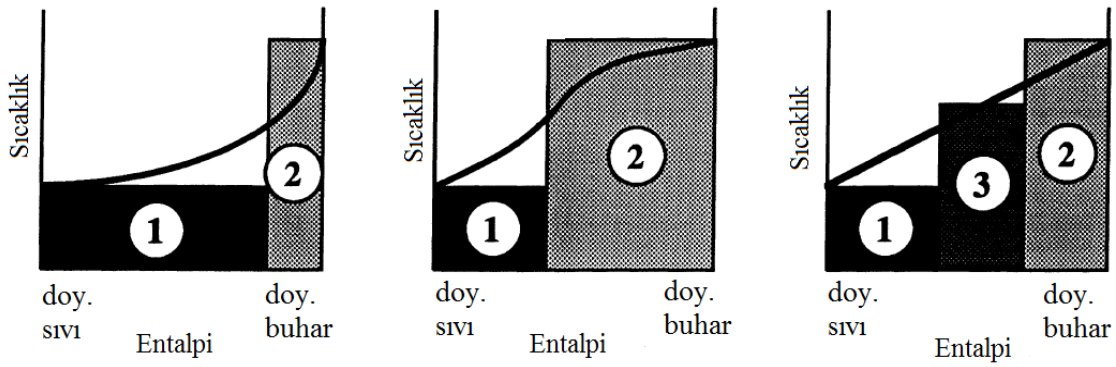
Bir diğer örnek Şekil 4.13'de görülebilir. Burada daha açık bir şekilde çevrimin içinde kalan alanın küçüldüğünü, altında kalan alanın ise büyüdüğünü gözlemleriz. Bu durum ise sistemin COP'sinin arttırma yönünde bir etki yaparak enerji verimliliği sağlayacaktır.

Ayrıca NARM'ların getirdiği yeni sıcaklık profili sayesinde buharlaştırıcı veya yoğuşturucu fan kullanımı zorunluluğu da ortadan kalkacaktır. Böylece fan için kullanılabilecek olan enerji de tasarruf edilmiş olur. Çünkü yeni sıcaklık profillerinde sıcaklık kesişmesi riski çok daha düşüktür.

4.3.3.1. NARM Soğutucu Akışkanların Seçimi

Bu bölümde anlatılan enerji verimlilik potansiyellerinin sorunsuz şekilde gerçekleştirilebilmesi için uygun NARM seçiminin yapılması çok önemlidir. NARM'ların uygun hava profilleriyle eşleştirilmesi literatürde "glide match" olarak tanımlanır. Bunun dışında NARM seçiminde dikkat edilmesi gereken birçok faktör vardır.

Bu faktörlerden bazıları bir önceki bölümde ele alınan soğutucu akışkan seçimi bölümünde okunabilir. Burada ise NARM'lara has bazı özelliklerden bahsedilecektir. Bilindiği gibi enerji verimliliği potansiyelini bize getiren en önemli faktör sıcaklık kaymasıdır. Dolayısıyla sıcaklık kaymasının karakteri çok iyi anlaşılmalı ve NARM seçimleri buna göre yapılmalıdır. Öncelikle sıcaklık kaymasının lineer bir yapıda olması çok önemlidir. Çünkü sıcaklık kaymasının lineer olmaması hava profilinin de lineer olmaması anlamına gelir ki bu da Lorenz çevriminin oluşmasını engelleyici bir unsurdur.

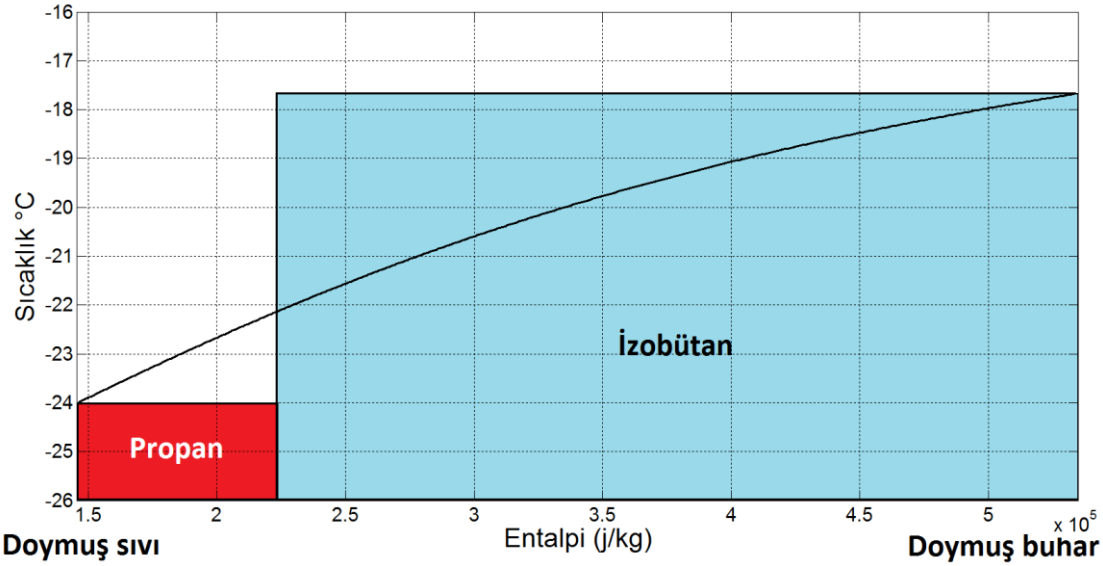


Şekil 4.14 Farklı konsantrasyonlar için sıcaklık kayması karakterinin değişimi [28]

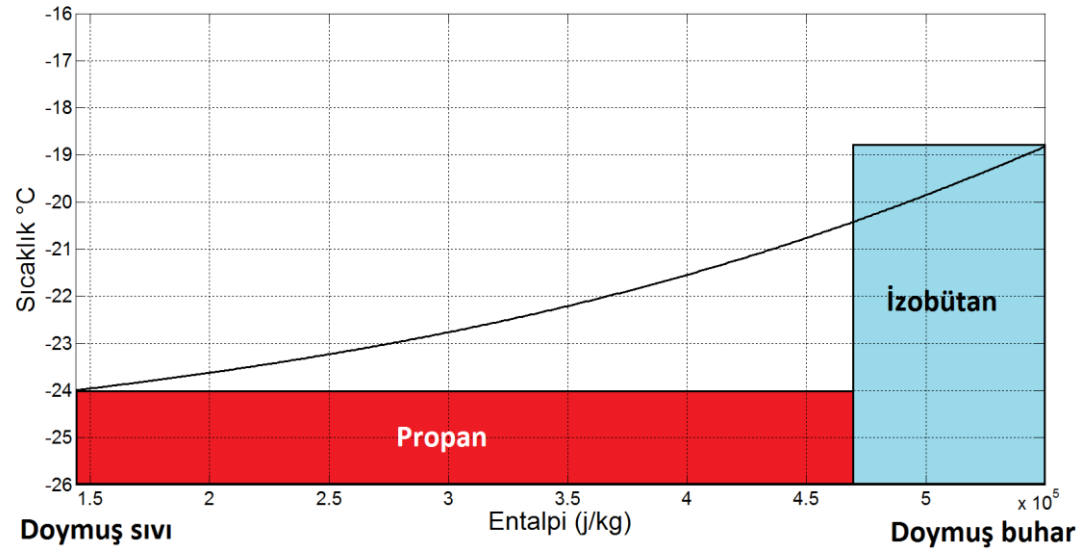
Şekil 4.14'de bazı durumlarda sıcaklık kaymalarının nasıl olduğu görülmektedir. Buna göre iki karışım olması durumunda eğer bileşenlerden birisi baskın ise sıcaklık kaymasının lineerliği bozulacaktır. Bizim incelediğimiz soğutucu akışkan karışımlarında

ise sıcaklık kaymasında lineerlik bu sebepten dolayı 0.55 gibi iki karışımın dengeli olduğu durumlarda elde edilmiştir.

Bazı durumlarda ise lineerliğin sağlanması araya üçüncü bir akışkan koymak ile sağlanabilir. Ancak bu üç akışkan kullanıldığında mutlaka lineer bir sıcaklık kayması elde edileceği anlamına gelmemektedir. Sadece üç akışkan kullanmak lineer sıcaklık kaymasına ulaşmayı kolaylaştırıcı bir faktördür ancak iki akışkan ile de lineer sıcaklık kaymalarına ulaşmak mümkündür.



Şekil 4.15 Propan/izobütan(20/80) karışımı için sıcaklık kayması oluşumu



Şekil 4.16 Propan/izobütan(80/20) karışımı için sıcaklık kayması oluşumu

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da ise propan/izobütan karışımlarının farklı konsantrasyonları için oluşan sıcaklık kaymaları görülmektedir. Bu sıcaklık kaymaları ve Şekil 4.14'deki sıcaklık kaymaları incelendiğinde çabuk buharlaşan akışkanın karışımda fazla olması durumunda sıcaklık kaymasının iç bükey, diğer karışımın fazla olması durumunda ise sıcaklık kaymasının dış bükey oluştuğu görülmektedir. Bu durumda lineerliğin sağlanması ise karışımın dengeli olması ile sağlanabilmektedir. Bu durum ileriki bölümlerde yapılan seçimlerde ayrıntılı olarak görülecektir.

NARM'lar seçilirken ayrıca ne kadarlık bir sıcaklık kaymasına ihtiyaç duyuluyorsa ona göre seçim yapılmalıdır. Bunun için öncelikle buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklık değişimleri belirlenmelidir. Buharlaştırıcıdaki sıcaklık değişimi belirlenirken özellikle kuruluk derecesinin nereden nereye değiştiği çok iyi bilinmelidir. Örneğin termodinamik çevrimde buharlaştırıcı girişindeki kuruluk derecesi 0.3 mertebelerindeyse bu buharlaştırıcıda sıcaklık kaymasının 0.3'den 1'e kadar hesaplanmasını gerektirir. Ancak yoğuşturucu için durum farklıdır. Yoğuşturucuda ara kuruluk derecelerinde giriş çıkış olmadığı için kuruluk derecesinin 0'dan 1'e kadar değişimi ele alınmalıdır.

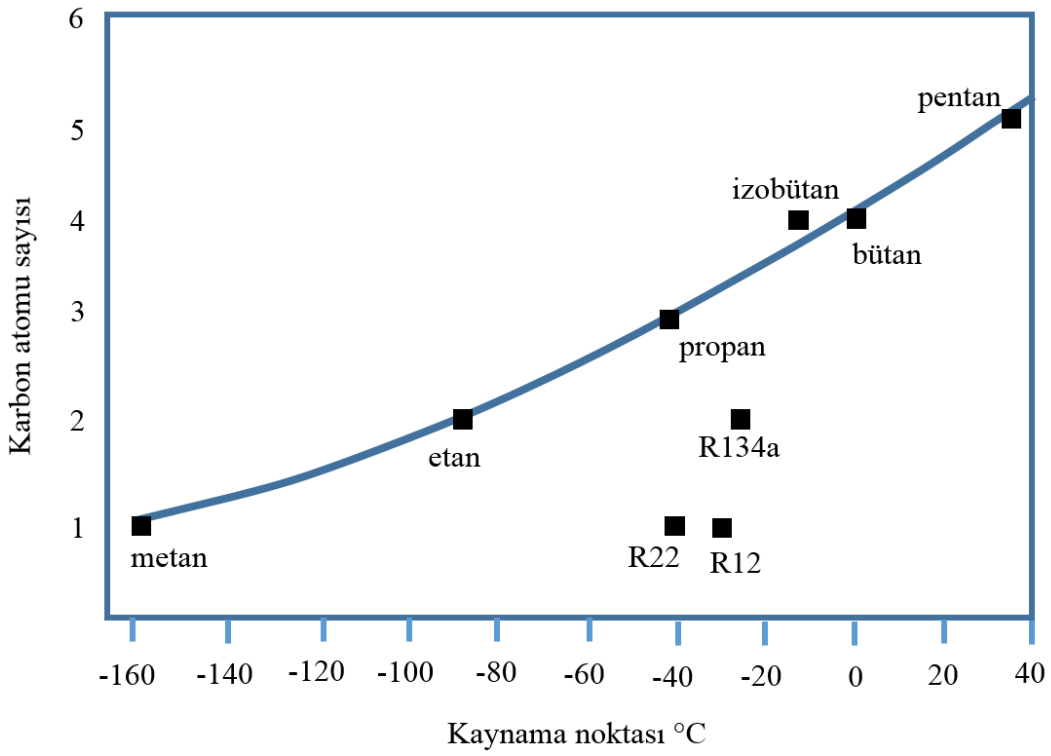
Her zaman hem yoğuşturucu hem de buharlaştırıcı için birebir sıcaklık kaymasını yakalamak mümkün değildir. Bu yüzden sıcaklık kayması önce buharlaştırıcı için belirlenmeli, ardından yoğuşturucunun UA alanları gerekli olan sıcaklık kaymasına göre tasarlanmalıdır. Böylece hem buharlaştırıcıda hem de yoğuşturucuda sıcaklık kaymaları tam olarak örtüşmüş olacaktır.

BÖLÜM 5

TEORİK MODELLEME

5.1. Giriş

Bu bölümde hidrokarbon karışımları incelenirken yapılan nümerik modellemeler sunulmuştur. Nümerik modellemede MATLAB ve REFPROP programları kullanılmıştır. MATLAB programı ile REFPROP programı birbirine bağlanılarak soğutucu akışkanların gerekli verileri MATLAB programında yazılan kodların içine yerleştirilmiştir. Böylece MATLAB yaptığı hesaplamalar esnasında sürekli REFPROP'dan çalışan soğutucu akışkan karışımı için gerekli verileri temin edebilmektedir.



Şekil 5.1 Farklı soğutucu akışkanların atmosfer basıncında kaynama sıcaklıkları [12]

Yapılan analizler üç farklı HC soğutucu akışkanın birbirlerine karışımından oluşur. Bu farklı hidrokarbonların farklı karışımları taranarak termodinamik açıdan en uygun karışımlar seçilmiştir. Bu üç HC karışımı propan, izobütan ve bütandır. Bilindiği gibi bu üç karışım arasında en çabuk buharlaşma potansiyeline sahip akışkan propan, bunun ardından bütan ve son olarak da izobütandır. Bu soğutucu akışkanların birbirleri ile olan durumları Şekil 5.1'den izlenebilir. Burada görüldüğü gibi propan R134a'ya yakın bir kaynama noktasına sahip iken, izobütan ve bütan birbirlerine yakın ve propandan daha yüksek kaynama noktalarına sahiptirler.

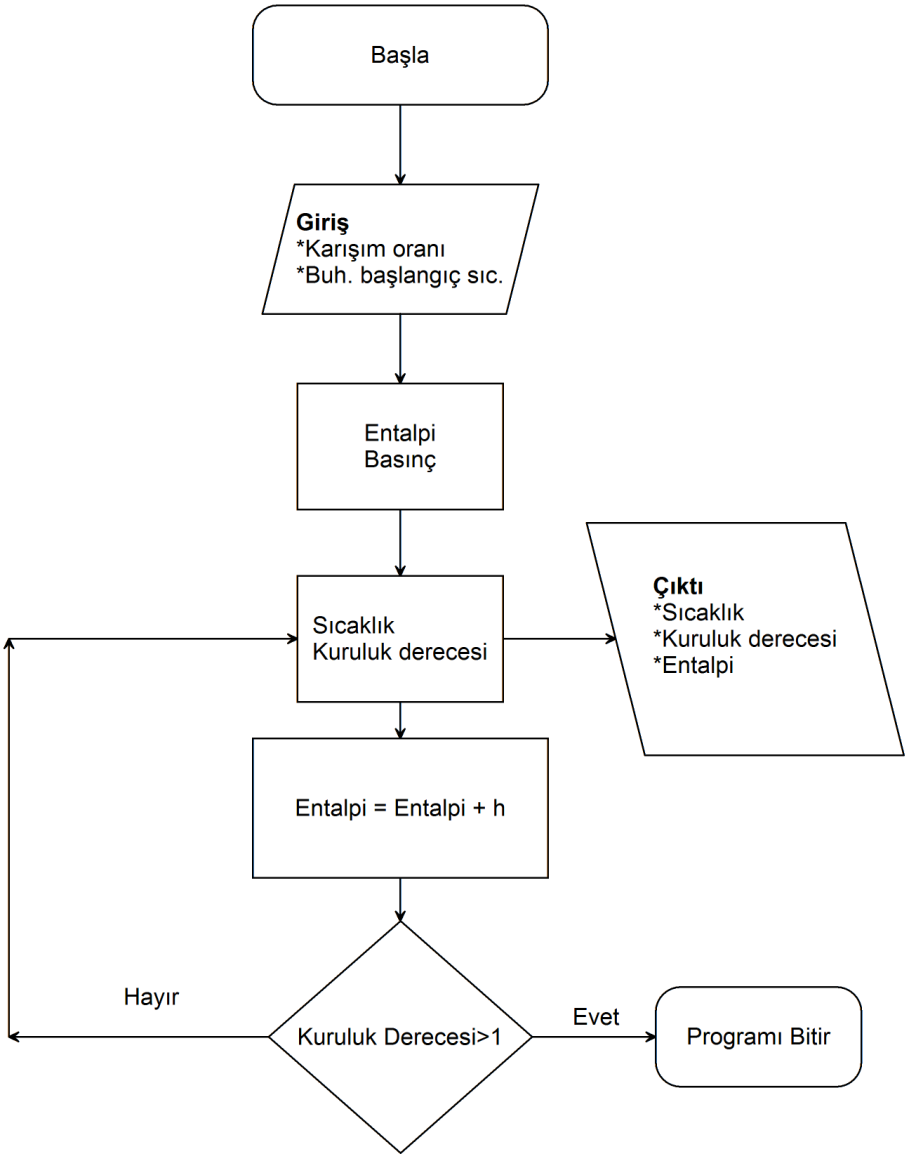
5.2. Sıcaklık kayması

Zeotropik karışımların incelenmesi için öncelikle sıcaklık kayması davranışının açık şekilde bilinmesi gerekmektedir. Sıcaklık kayması hesaplamalarda en önemli parametrelerden birisidir. Bunun nedeni buharlaşma ve yoğuşma durumunda ısı transferi mekanizmalarını başlıca etkileyen parametrenin sıcaklık olmasıdır. Hatta kolaylıkla denilebilir ki zeotropik karışımları saf akışkanlara göre termodinamik açıdan avantajlı kılan unsur sıcaklık kaymasıdır. Bu yüzden ancak sıcaklık kaymasının davranışı belirlendikten sonra gerekli olan hesapların yapılabilmesi mümkün olabilir.

5.2.1. Sıcaklık kaymasının hesaplanması

Karışımlarda sıcaklık kaymasının hesaplanması REFPROP ve MATLAB programlarının birbirine bağlanmasıyla son derece kolay hale gelmektedir.

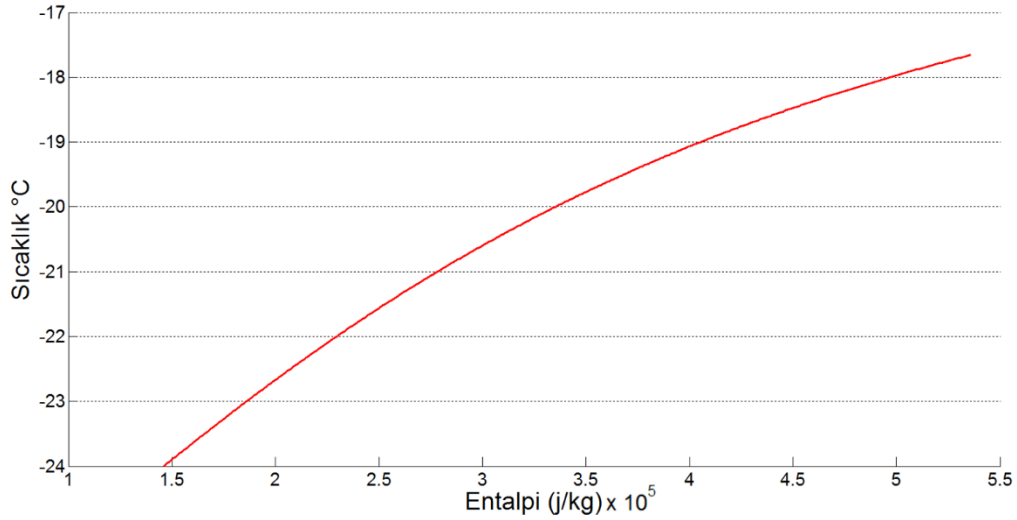
Sıcaklık kayması hesaplanırken öncelikle bazı parametrelerin programa önceden verilmesi gerekmektedir. Bu parametre basınç veya sıcaklık olarak belirlenebilir. Bu çalışmada genellikle başlangıç değeri sıcaklık olarak belirlenmektedir. Çünkü evsel buzdolaplarında buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları hemen hemen sabit olması gerekirken basınç kullanılan soğutucu akışkana göre değişiklik gösterebilir. Sıcaklık değeri girildikten sonra bu sıcaklıkta başlayan bir buharlaşma ve yoğuşma değeri için program basıncı sabit tutarak sıcaklık kaymasını belirleyecektir.



Şekil 5.2 Sıcaklık kayması hesaplanması için akış şeması

Buharlaşma durumu için önce girilen sıcaklık değeri için kuruluk derecesi x=0 noktasındaki entalpi ve bu sıcaklıkta kaynamanın başladığı basınç hesaplanır. Ardından basınç sabit tutularak entalpi değeri seçilen adım sayısı kadar yükseltilir. Böylece entalpi bir miktar artar. Daha sonra bu yeni entalpi değeri için kuruluk derecesi ve sıcaklık programa tekrar hesaplattırılır. Bu süreç kuruluk derecesi 1'e ulaşana kadar tekrar edilir. Elde edilen değerler grafik haline getirilir. X eksenine entalpi veya kuruluk derecesi, Y eksenine ise sıcaklık yerleştirilerek sıcaklık kayması okunabilir. X eksenine

entalpinin konulması ısı transferi hesaplamaları için daha sağlıklı bir fikir verecektir. Çünkü değişen entalpiyle beraber yoğuşturucu veya buharlaştırıcıda hava ve soğutucu akışkan için sıcaklık eğrileri beraber okunabilir. Bu da sıcaklık kaymasının hava tarafıyla uyumlu olup olmadığını gösterir.



Şekil 5.3 Propan/izobütan (20/80) -24°C buharlaşma başlangıcı için sıcaklık kayması

Şekil 5.3'de propan/izobütan (20/80) karışımı için hesaplanmış örnek bir sıcaklık kayması grafiği görülmektedir.

Burada şu noktayı da ayrıca belirtmek gerekir ki, hesaplama yapılırken kuruluk derecesinin 0'dan 1'e doğru gitmesi veya 1'den sıfıra doğru gitmesi sonucu değiştirmeyecektir. Bu ise buharlaşma ve yoğuşma için farklı hesaplar yapılmasına gerek olmadığını, aynı hesaplamanın ikisi için de kullanılabileceğini gösterir.

5.3. Sıvı-Buhar fazı konsantrasyonları

Gerekli analizlerin yapılabilmesi için gerekli olan bir diğer parametre de sıvı ve buhar fazlarının konsantrasyonlarının belirlenmesidir. Çünkü karışım buharlaşırken veya yoğuşurken her bir adımda gazın buhar ve sıvı fazları farklı termodinamik ve fiziksel özellikler gösterecektir. Sözgelimi propan/izobütan (80/20) gibi bir karışımda buharlaşma esnasında önce propanca zengin bir karışım buharlaşmaya başlayacaktır. Bu durum buharlaşmanın başlarında buhar fazında propan oranının yüksek çıkmasına sıvı fazında ise ilk karışım oranına göre düşük çıkmasına neden olacaktır. Böyle bir durum söz konusu olduğunda h_{fg} diye bilinen sıvı fazından buhar gazına geçmek için birim kg

başına gerekli olan ısı miktarı değişiklik gösterecektir. Tüm bu parametrelerin doğru takip edilmesi için her bir kuruluk derecesinde sıvı ve buhar fazı konsantrasyonlarının tam olarak bilinmesi son derece önemlidir.

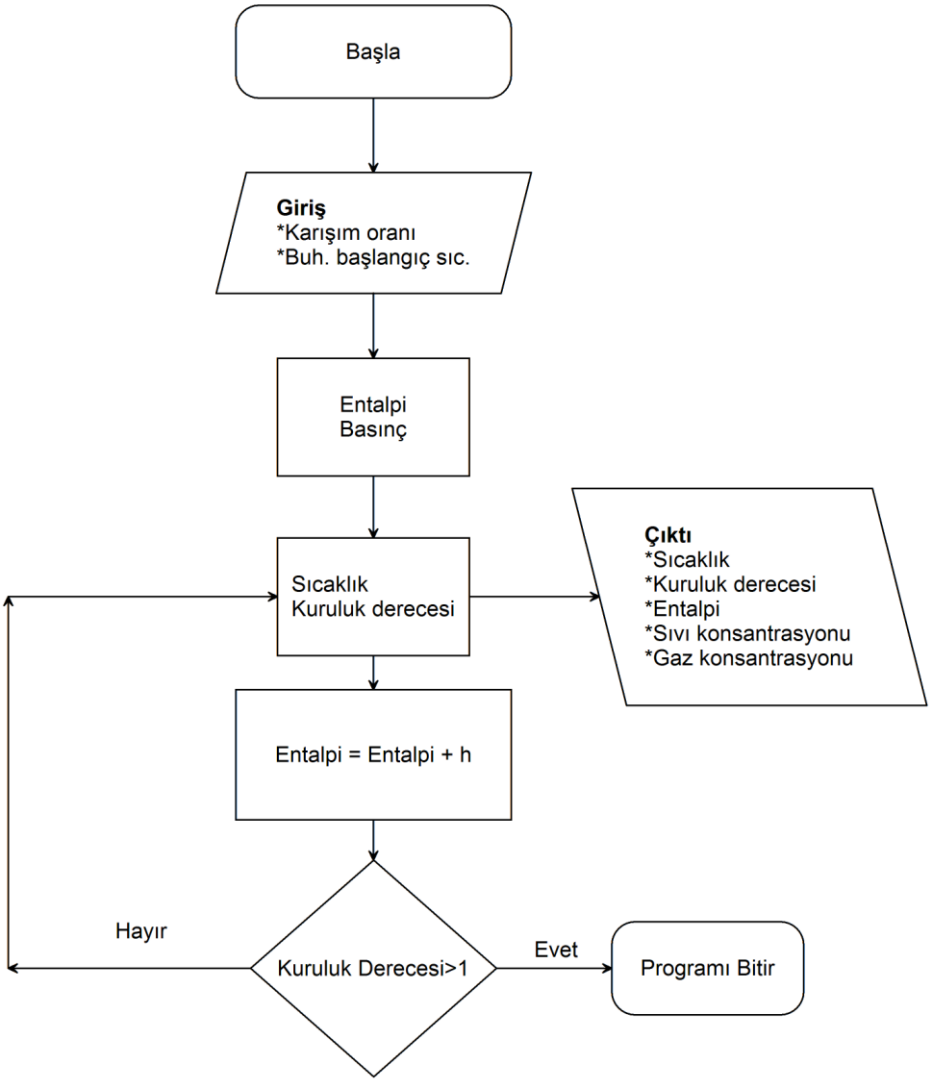
Buharlaşma ve yoğuşma esnasında buhar fazının ve sıvı fazının konsantrasyonları değişiklik gösterecektir. Örneğin %80 propan oranına sahip bir karışım kaynamaya başladığında propan daha uçucu ve kaynamaya meyilli bir gaz olduğundan dolayı önce propan oranı yüksek karışım kaynamaya başlayacaktır. Bu durumda buharın konsantrasyonu başlangıçta propanca daha zengin olurken %96 propan oranına sahip olurken sıvı fazı %78 propan civarlarında propanca daha fakir bir karışım oluşturacaktır. Böylece konsantrasyonlar kaynama sonuna kadar değişiklik gösterecek, nihayet buhar fazındaki propan oranı %80'e ulaşırken, sıvıdaki propan oranı son kalan sıvı damlacıklarında %55 propan olarak ölçülen son noktaya kadar düşecektir. Buharlaşma anında kompozisyonların değişimi Şekil 5.5'de ayrıntılı olarak izlenebilir.

Bu durum ısı transferinde veya herhangi bir durumda akışkan özelliklerinin sıvı ve gaz kompozisyonları için değişmesine sebep olacaktır. Bu yüzden hem konsantrasyonu veren grafiklerin görülmesi gerekir böylece gerekli yorumlar yapılabilir, hem de konsantrasyonu veren kodların oluşturulması gerekmektedir.

5.3.1. Sıvı-buhar fazı konsantrasyonlarının hesaplanması

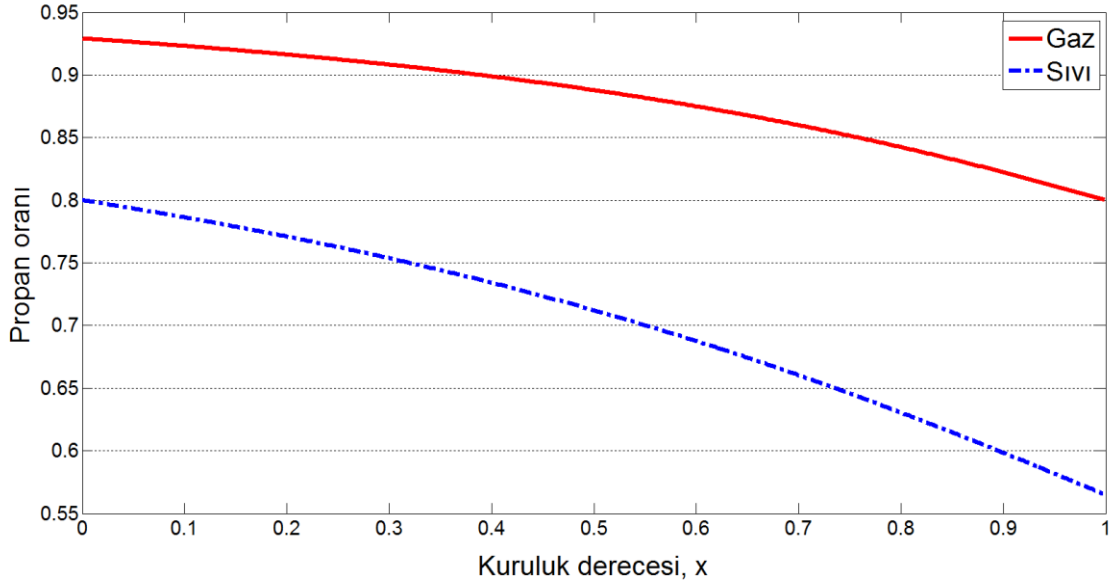
Sıvı-buhar fazı konsantrasyonu da sıcaklık kaymasına benzer şekilde hesaplanır. Aynı sıcaklık kaymasında olduğu gibi öncelikle basınç parametresinin girilmesi gerekmektedir. Bu parametre girildikten sonra program çalıştırılabilir. Sıcaklık kayması hesaplamasında olduğu gibi yine kuruluk derecesinin x=0 olduğu noktadan başlanarak hesaplama yapılır.

x=0 değeri için programdan entalpi değeri alınır. Alınan entalpi değeri üzerine her adımda belirlenen miktarda entalpi eklenir. Böylece her adım için yeni entalpi değeri ile birlikte, kuruluk derecesi, bu sıcaklıkta doymuş sıvı ve gaz konsantrasyonları hesaplanır. Bu işlem yine x=1 oluncaya değin tekrarlanır, böylece x=0'dan x=1'e doğru giden sıvı ve buhar kompozisyonları çıkartılmış olur. Burada yine X eksenine ister kuruluk derecesi, ister entalpi değeri konulabilir.



Şekil 5.4 Sıvı-buhar konsantrasyonlarının hesaplanması için akış şeması

Propan/izobütan (80/20) için bulunan bir örnek sonuç Şekil 5.5'te görülmektedir. Hem buhar fazının hem de sıvı fazının propan oranın kuruluk derecesi 1'e yaklaştıkça düştüğü görülmektedir. x=0 noktasında sıvıdaki propan oranı 0.8 iken x=1'e gelindiğinde buhar fazındaki propan oranı 0.8 olmuştur. Bu da hesabın doğruluğunu kanıtlayan bir durumdur.



Şekil 5.5 Propan/izobütan (80/20) karışımı için 185.79 kPa kaynama veya yoğuşma durumunda

5.4. Simülasyon tanımı

Oluşturulan simülasyon soğutma çevriminde farklı parametreleri içine katarak sistem için soğutma tesir katsayısını hesaplamaktadır. Ancak COP hesaplanırken sabit tutulması gereken başka bir parametre buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun UA değerleridir. İki farklı çevrim için UA değeri sabit tutulduğunda çıkan COP değerleri bu iki çevrimi kıyaslamaya olanak sağlamaktadır. Burada bir noktayı vurgulamakta fayda vardır, bu da soğutucu akışkan karışımlarının sıcaklık kaymasından kaynaklanan avantajını kullanabilmek için farklı UA değerlerine ihtiyaç duyulduğudur. Yani eldeki bir buzdolabına soğutucu akışkan karışımı şarjı yapılarak soğutucu akışkan karışımından elde edilecek avantajı kullanmak mümkün olmayabilir. Gerektiği yerde UA değerlerini, tabi olarak A değerini yani alanı arttırarak bu avantaj yakalanabilir. Bu durum ilerdeki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

5.4.1. Parametrelerin tanıtımı

Öncelikle yapılan simülasyonda tanımlanan parametrelerin ayrıntılı olarak belirlenmesi gereklidir. Bu parametrelerin hepsi belirlendikten sonra sistem için daha sağlıklı fikir sahibi olunabilir. Simülasyon için tanımlanan parametreler sağlıklı sonuç alınabilmesi için soğutma çevrimi için gerekli olan tüm değerleri içine almalıdır. Bu yüzden çevrimi etkileyen tüm parametreler simülasyonun içerisine katılmıştır.

5.4.1.1. Buharlaşma basıncı

Buzdolaplarında NARM karışımların kullanılması durumunda buharlaşma esnasında sıcaklık kayması oluşmaktadır. Bu durum da sıcaklık üzerinden bir tanımlama yapmak yerine basıncın sabit kabul edilerek sıcaklık kaymasının elde edilmesini daha sağlıklı bir durum haline getirir. Bu nedenle yapılan çalışmada buharlaşma basıncı bir giriş parametresi olarak alınacaktır. Her ne kadar buharlaşma esnasında bir miktar basınç düşüşü oluşabilse de bu durum yapılan hesaplamalarda ihmal edilecektir. Böylece buharlaşma basıncı kullanıcı arayüzünde görülebilen ve girilmesi gereken parametrelerden bir tanesidir.

5.4.1.2. Yoğuşturucu basıncı

NARM'lar buharlaşma durumunda sıcaklık kayması oluşturdukları gibi yoğuşma durumunda da sıcaklık kayması oluştururlar. Bu yüzden yoğuşma için de bir sıcaklık değerinin girilerek hesaplama yapılması oldukça zordur. Bu yüzden yoğuşma durumunda da basınç bir girdi parametresi olarak alınarak gerekli hesaplamalar yapılır ve farklı kuruluk derecelerinde bulunan farklı sıcaklıklar hesaplamalarda kullanılır.

5.4.1.3. Aşırı Kızdırma

Soğutma sistemlerinde buharlaşma tamamlandıktan sonra tamamen buharlaşan gaz bir miktar daha ısıtılır. Buna aşırı kızdırma (superheat) adı verilir. Bu uygulamanın yapılmasının nedeni buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın tam olarak buharlaşmasını sağlamak ve böylece kompresöre gelebilecek sıvı damlacıklarının kompresöre zarar vermesini önlemektir. Bu parametrede hesaplama esnasında kullanıcının girmesi gereken bir parametredir. Çalışma boyunca aşırı kızdırma sıcaklığı 2-3°C civarında alınmıştır.

5.4.1.4. Aşırı Soğutma

Soğutma sistemlerinde yoğuşturucu çıkışında yoğuşmanın tam olarak gerçekleşmesini sağlamak ve genleşme valfine buhar kabarcıklarının girmesini engellemek için yoğuşturucu çıkışı ile genleşme valfi arasında yoğuşmanın tamamen gerçekleşmesinin ardından bir miktar soğutma yapılır. Bu işleme aşırı soğutma (subcooling) adı verilir. Çalışmada bu parametre de kullanıcı tarafından girilmesi

gereken bir parametredir. Çalışma boyunca aşırı soğutma sıcaklığı 2-3°C civarında alınmıştır.

5.4.1.5. Buharlaştırıcı hava debisi

Buharlaştırıcı hava debisi programın en önemli parametrelerinden birisidir. Çünkü buharlaştırıcıdaki havanın sıcaklık değişimi belirlendiğinde bu iki parametre kabindeki soğutma yükünü verecektir. Kabindeki soğutma yükünün belirlenmesi ise dolaylı olarak soğutucu akışkan debisinin bulunmasını sağlayacaktır. Buharlaştırıcı hava debisi $\dot{m}_{hava,buh.}$ olarak tanımlandığı zaman buharlaştırıcı hava debisi ile kabin soğutma yükü arasındaki ilişki Denklem 5.1'den okunabilir.

$$\dot{Q}_{kabin} = \dot{m}_{hava,buh.} C_{hava} \Delta T \qquad (5.1)$$

Denklem 5.1'de görülen parametreler içerisinde soğutma yükü kullanıcı tarafından belirlendiği için buharlaştırıcı hava debisi hesaplanan bir parametre olacaktır.

5.4.1.6. Buharlaştırıcı hava giriş-çıkış sıcaklığı

Buharlaştırıcı hava giriş ve çıkış sıcaklıklarının değişmesi diğer parametrelerin sabit tutulması halinde buharlaştırıcı UA değerinin değişmesine sebep olacaktır. Çalışma esnasında buharlaştırıcı giriş sıcaklığı -18°C olarak kabul edilmiştir. Ancak buharlaştırıcı çıkış sıcaklığını belirlemek kullanıcıya bağlıdır. Sıcaklık kayması oluşturan karışımların incelenmesi durumunda buharlaştırıcı çıkış sıcaklığı soğutucu akışkanın yaptığı sıcaklık kaymasına eşitlenerek çıkartılır. Bunun yapılması için kullanıcı arayüzünde görülen "Glide Match" seçeneği işaretlenir. Böylece buharlaştırıcı hava tarafındaki sıcaklık kayması ile soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya girdiği noktada oluşturduğu kuruluk derecesindeki sıcaklığı ile çıktığı noktadaki sıcaklığı arasındaki fark buharlaştırıcı hava tarafına uygulanır.

Ancak çalışma esnasında bazen saf soğutucu akışkanlar da kullanılabilir veya kıyaslama amacıyla bazı durumlarda kullanıcı buharlaştırıcı hava çıkış sıcaklığını kendisi girme imkânına da sahiptir. Bunun için "Glide Match" seçeneği kaldırılır ve hava için istenilen çıkış sıcaklığı girilebilir.

5.4.1.7. Kabin Soğutma Yükü

Kabin soğutma yükü kabinde gerçekleşen soğutma yükünü vermektedir. Bu soğutma yükü gerçek durumda daimi olarak devam etmez. Ancak yapılan hesaplamalar daimi rejim içindir ve genellikle soğutma yükü 130W seviyelerinde kabul edilmiştir. Soğutma yükü de program arayüzünde kullanıcının belirleyebileceği bir parametredir. Böylece farklı soğutma yükü durumları için hesaplama yapılabilir ve böylece diğer parametreler gözlenebilir.

5.4.1.8. Soğutucu akışkan debisi

Soğutucu akışkan debisi yapılan termodinamik analiz ile soğutma yükünün kullanılması sonucunda bulunur. Soğutma yükünün buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın entalpi farkına bölünmesi sonucunda elde edilir. Soğutucu akışkan debisinin elde edilmesi sonucunda özellikle soğutucu akışkan şarj miktarı ile ilgili fikir edinilebilir. Debinin düşük çıkması eldeki literatür ile karşılaştırıldığında şarj miktarının da azalması anlamına gelmektedir.

Soğutucu akışkan debisi soğutma yükünden yola çıkılarak bulunur. Buharlaştırıcıdaki entalpi farkı ile soğutma yükü kullanılarak soğutucu akışkanın debisi bulunur. Aşağıdaki denklem durumu gösterir niteliktedir.

$$\dot{Q}_{kabin} = \dot{m}_{soğutkan}(h_{buh.çıkış} - h_{buh.giriş}) \quad (5.2)$$

5.4.1.9. UA Buharlaştırıcı

Elimizde hem soğutucu akışkanın giriş-çıkış sıcaklıkları, hem de havanın giriş-çıkış sıcaklıkları bulunduğundan. Sıra bu iki akışkan arasında gerçekleşecek ısı transferinde gerekli olan UA'yı bulmaya gelir. UA verilen değerlerden hesaplanır. Bu hesaplamanın ayrıntısı ileriki bölümlerde açıklanacaktır. UA'nın bulunması çok önemlidir. Bu değerin bulunması ile hangi UA değerlerinde COP'de ne gibi artışların olduğu okunabilir. Böylece buzdolabı tasarımı yapılırken buharlaştırıcı ve yoğuşturucunun sahip olması gereken alan hakkında fikir sahibi olunabilir. Bu çalışmada genel olarak buharlaştırıcı UA değeri 20W/K bulunan noktalar daha ayrıntılı incelenmiştir. Bu değer standart buzdolaplarına yakın bir değer olarak seçilmiştir.

5.4.1.10. Yoğuşturucu hava debisi

Çevrimde önce kabin içi yük tanımlanacağından yoğuşturucu hava debisi doğrudan yoğuşturucudaki sıcaklık farkını etkileyecektir. Bu durum ise yoğuşturucu UA değerlerini değiştirecektir. Yoğuşturucu hava debisinin belirlenmesi için önce yoğuşturucu kısmında soğutucu akışkanın kaybettiği entalpinin ve soğutucu akışkan debisinin bilinmesi gereklidir. Bu veriler alındıktan sonra ise yoğuşturucudaki havanın oluşturduğu sıcaklık farkı bilinmelidir. Bunun ardından yoğuşturucu hava debisi aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\dot{Q}_{\text{yoğuş.}} = \dot{m}_{\text{soğutkan}}(h_{\text{yoğ. çıkış}} - h_{\text{yoğ. giriş}}) \quad (5.3)$$

$$\dot{Q}_{\text{yoğuş.}} = \dot{m}_{\text{hava,buh.}} C_{\text{hava}} \Delta T_{\text{yoğ.}} \quad (5.4)$$

5.4.1.11. Yoğuşturucu hava giriş çıkış sıcaklığı

Yoğuşturucu hava giriş-çıkış sıcaklıklarının değişmesi diğer parametrelerin sabit tutulması halinde yoğuşturucu UA değerinin değişmesine sebep olacaktır. Bu çalışmada yoğuşturucu giriş sıcaklığı 25°C olarak alınmıştır. Burada da aynı buharlaştırıcıda olduğu gibi yoğuşturucu çıkış sıcaklığı saf soğutucu akışkan kullanılması durumunda kullanıcı tarafından belirlenir. Soğutucu akışkan karışımı kullanılması durumunda ise "Glide Match" seçeneği işaretlenerek soğutucu akışkan ve yoğuşturucu hava sıcaklık farkı arasında sıcaklık kayması eşleştirilir.

5.4.1.12. UA Yoğuşturucu

Program yoğuşturucu hava giriş-çıkış sıcaklıklarını ve soğutucu akışkanın yoğuşturucudaki giriş-çıkış sıcaklıklarını elde ettikten sonra bu verileri kullanarak yoğuşturucudaki sıcaklık profilleri ile beraber yoğuşturucu UA değerini de hesaplamaktadır. UA yoğuşturucunun da hesaplanması hakkında ayrıntılı bilgi ileride açıklanacaktır. Yoğuşturucu UA değerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Yapılacak herhangi bir buzdolabı tasarımında önemli yer tutan bir parametredir. Bu çalışmada genellikle UA yoğuşturucu değeri 10W/K olan noktalar evsel buzdolaplarına uygun bulunduğu için daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.4.1.13. COP (Soğutma Tesir Katsayısı)

Sistemin COP'si bu çalışmanın merkezinde yer alan parametredir. Bilindiği gibi COP yapılan soğutma ile verilen işin birbirine oranıdır. Bu oranın yüksek olması soğutma sisteminin verimliliğini arttıracak ve enerji tüketimini düşürecektir. Elbette COP'deki düşüş ve artışlar enerji tüketimini aynı oranda etkilemeyecektir. Enerji tüketimindeki değişimler ancak yapılan deneylerden sonra anlaşılabilir. Ancak gerekli deneylerin ne yönde yapılması hakkında bir fikir verebilecek olan parametre de COP'dir. Çünkü ancak COP değerinde bir artış ile enerji verimliliği yakalanabilmesi mümkün olmaktadır. COP'nin artmış olması süreksiz rejimler için daha verimli sonuç alınacağı anlamına gelmemekle birlikte sürekli rejimler için enerji verimliliğinin yakalandığını göstermektedir.

5.4.2. Metod

Soğutucu akışkan karışımlarının hesaplanarak uygun soğutucu akışkan karışımının bulunmasında izlenen yol ele alınacaktır.

Başlangıçtaki bu süreçte farklı karışımlar için sıcaklık kaymaları incelenir. İhtiyaç duyulan şey lineer bir sıcaklık kaymasını yakalamaktır. Sıcaklık kaymasındaki avantaj ancak bu şekilde elde edilebilir. Lineerlik bozulduğu zaman durum daha çok saf akışkana benzediğinden karışımın avantajı yok olur.

Sıcaklık kaymasında bunun dışında sıcaklık kaymasının aralığının ne olduğu, çalışılan basınçlar da önemli parametrelerdir.

Uygun karışımı bulmak için 3 farklı grup oluşturulmuştur. Bunlar;

a) Propan/izobütan

b) Propan/bütan

c) Propan/izobütan/bütan karışımlarıdır.

Propan/izobütan ve propan/bütan karışımlarında propan oranı 0.2, 0.5 ve 0.8 olmak üzere üç durum incelenmiştir. Ancak daha sonra tam lineerliği yakalamak adına ara noktalardaki karışımlarda incelenmiştir. Propan/izobütan/bütan karışımı da kendi içinde izobütan miktarına göre 0.2, 0.5 ve 0,8 olmak üzere üçe ayrılır ve bu üç grup içerisinde yeniden farklı propan oranlarında karışımlar yapılmıştır. Bu gruplandırma ayrıntılı olarak bir sonraki bölümde görülecektir.

Farklı soğutucu akışkanlar için yapılan tarama için bulunan karışımlar arasından lineer sıcaklık kaymasına sahip olanlar artık simülasyona tabi tutulabilirler. Burada bulunan akışkan için öncelikle sıcaklık kayması değeri belirlenir. Daha sonra önemli bir parametre buharlaştırıcıya giren havanın sıcaklığının -18°C olmasıdır. Bu noktada -18°C'de buharlaştırıcıya giren hava sıcaklık kayması kadar bir düşüş sergilemelidir. Program karışım için bunu ayarlayarak girilen soğutma yükünde sıcaklık kaymasını eşleştirir.

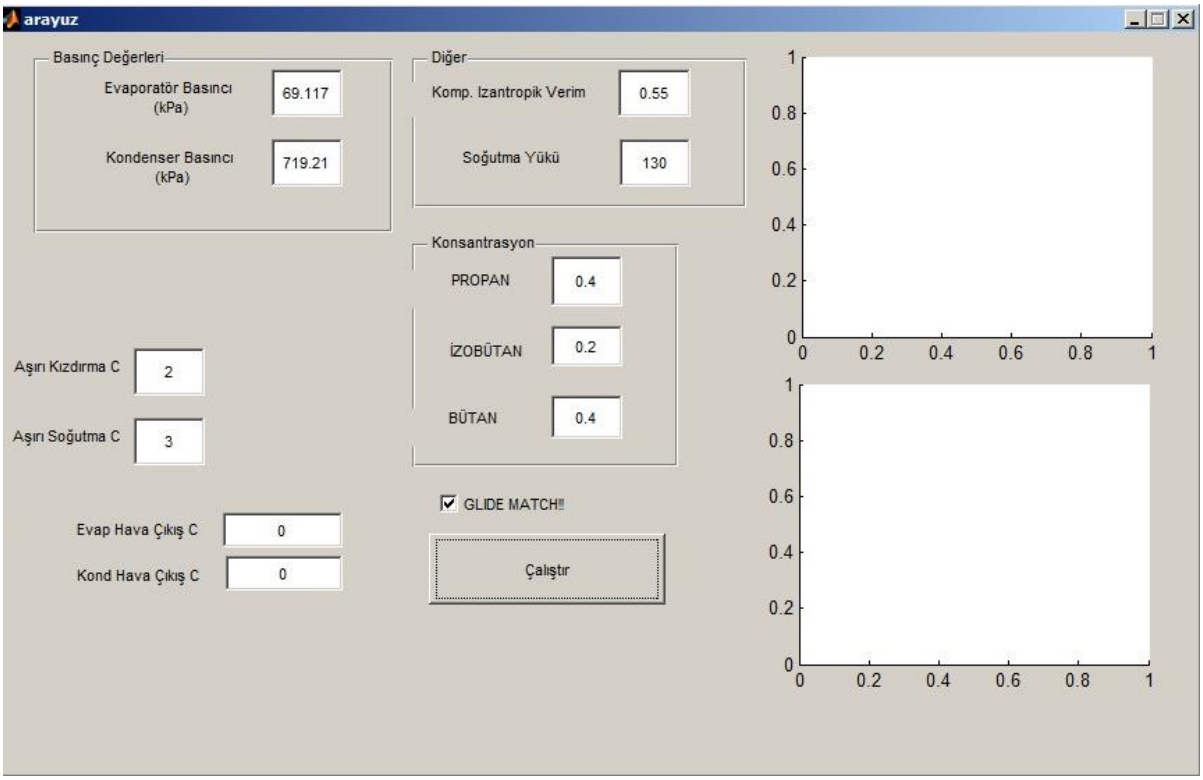
Burada bir diğer önemli nokta da şudur. Soğutucu akışkanın buharlaştırıcı tarafındaki sıcaklık kayması bulunurken kuruluk derecesi 0'dan 1'e doğru hesaplanamaz. Burada gerekli termodinamik analiz yapılarak buharlaştırıcıya girişteki kuruluk derecesi öncelikle çıkartılır. Daha sonra bu kuruluk derecesinden 1'e kadar olan sıcaklık kayması bulunarak hesaplamaya devam edilir.

Bulunan sıcaklık kayması hem buharlaştırıcı tarafı için hem de hava tarafı için aynı olmalıdır. Böylece sözgelimi sıcaklık kayması miktarı 5°C bulunduysa. Buharlaştırıcı giriş sıcaklığı -18°C alındığından çıkış sıcaklığı da -23°C alınacaktır. Burada soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı havanın giriş sıcaklığının 6°C altında seçilmiştir. Yani buradaki problem için hava giriş sıcaklığı -18°C olduğundan buharlaştırıcıdaki soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı -24°C olmalıdır. Yoğuşturucu tarafı için de aynı şekilde sıcaklık kayması seçeneği işaretlendiği durumda 25°C'de yoğuşturucuya giren havanın debisi sıcaklık kaymasıyla eşit olacak şekilde oluşturulur.

Bu sıcaklıklar elde edildikten sonra program UA değerlerini ve çevrimin COP'sini hesaplar. Bu hesap yapıldıktan sonra aynı şartlarda izobütan için hesaplamalar yapılır. İzobütan saf akışkan olduğu için hesaplamalar önceki akışkan kadar karışık olmayacaktır. Ancak burada önemli olan şey aynı soğutma yükünü yakalamaktır. Bu yüzden soğutucu akışkan debisi buna göre ayarlanır. Buharlaştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıkları aynı olmalıdır. Tüm bu şartlarda hesaplamalar yapıldıktan sonra buharlaşma ve yoğuşma değerleri önceki karışımla aynı UA değerlerini verene kadar değiştirilir. Sözgelimi eğer buharlaştırıcı UA değeri öncekinden düşük çıktıysa buharlaştırıcı basıncı yükseltilerek UA değerinin artması sağlanır ya da yoğuşturucu UA değeri öncekinden düşük çıktıysa yoğuşturucu basıncı arttırılarak ve böylece soğutucu akışkanın sıcaklığı yükseltilerek ısı transferi iyileştirilir ve UA değerinin düşürülmesi sağlanır.

Aynı UA değeri yakalandıktan sonra artık karşılaştırmak için iki farklı durum oluşmuştur. Bu noktada farklı soğutucu akışkanlar için COP'deki yüzde artış miktarları belirlenmiş olur.

5.5. Program akışı



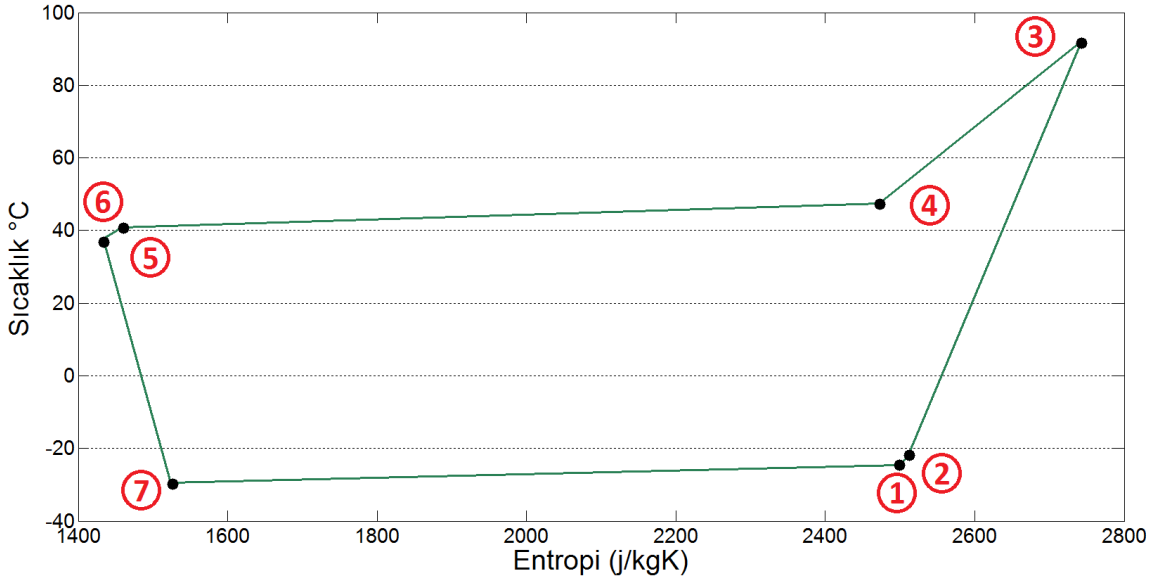
Şekil 5.6 Program arayüzü

Program öncelikle bazı parametrelerin girilmesini gerektirir. Gerekli parametreler girildikten sonra hesaplamalar başlar. Şekil 5.6'de program arayüzü görülmektedir. Bu arayüz üzerinden kullanıcı bazı parametreleri belirleyebilir. Şekil 5.8'de ise programın akış şeması görülmektedir.

Girilen parametreler buharlaştırıcı basıncı, yoğuşturucu basıncı, aşırı soğutma, aşırı kızdırma, kompresör izantropik verimi ve soğutma yüküdür. Bunun yanında tabii olarak karışım konsantrasyonuda girilmelidir. Eğer çalışılan akışkan bir karışım ise bu durumda "Glide Match" seçeneğini kullanmak daha uygundur. Ancak akışkan saf olduğunda "Glide Match" kullanılamayacağından buharlaştırıcı ve yoğuşturucu çıkış sıcaklıkları kullanıcı tarafından belirlenir. "Glide Match" seçeceği kullanıldığında

buharlaştırıcı ve yoğuşturucu çıkış sıcaklıkları program tarafından sıcaklık eşleştirmesi olacak en uygun şekilde seçilir.

Tüm bu parametreler girildikten sonra program önce 1 noktasını hesaplayacaktır. 1 noktası verilen buharlaşma basıncındaki doymuş buhar noktasıdır. Programdan doymuş buhar için gerekli karışımdan sıcaklık (T_1), entalpi (h_1) ve entropi (s_1) değerleri alınır.



Şekil 5.7 Noktaların Sıc.-Entropi diyagramında gösterimi [propan/izobütan(45/55)]

Ardından iki noktasının hesaplanmasına geçilir. 2 noktası aşırı kızdırmanın bittiği noktadır. Bu nokta da buharlaştırıcı basıncındadır. Bu basınçta 2 noktasının sıcaklığı aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{\text{aşırı kızdırma}} \tag{5.5}$$

Böylece iki değer bilindikten sonra s_2 değeri ve h_2 değerleri hesaplanır.

3 noktası sıkıştırmanın bittiği noktadır. Bu noktanın hesaplanmasında önceden alınan kompresör izantropik veriminin kullanılması gerekir. Öncelikle izantropik sıkıştırma noktası olan;

$$s_{3s} = s_2 \tag{5.6}$$

eşitliği kullanılır, bunun ardından program h_{3s} değerini hesaplar ve izantropik verim denkleme katılarak;

$$h_3 = h_2 + (h_{3s} - h_2)/\eta_{komp.} \quad (5.7)$$

eşitliği kullanılır. Böylece 3 noktasının entalpisine (h_3) ulaşılır, 3 noktasındaki yoğuşma basıncı bilindiğinden buradan 3 noktasının sıcaklığına (T_3) ve basıncına (P_3) ulaşılır.

4 noktası ise basitçe yoğuşma basıncında doymuş buhar noktasıdır. Bu noktanın bulunması kolaydır, sadece basıncın bilinmesi yeterlidir, böylece 4 noktasının sıcaklığı (T_4), entalpisi (h_4) ve entropisi (s_4) bulunur.

5 noktası da yine aynı basınçta doymuş sıvıdır, burası da 4 noktasına benzer şekilde hesaplanır ve 5 noktasının sıcaklığı (T_5), entalpisi (h_5) ve entropisi (s_5) bulunur.

6 noktasında 5 noktasından bir miktar soğutma yapılacaktır. Burada gerekli olan aşırı soğutma parametresi alınarak

$$T_6 = T_5 - \Delta T_{aşırı\ soğutma} \quad (5.8)$$

eşitliği ile bulunur. Bunun ardından 6 noktasının sıcaklığı (T_6), entalpisi (h_6) ve entropisi (s_6) bulunabilir.

7 noktasında ise genleşme valfinden sonrası temsil edilir. Genleşme valfi izentalpik kabul edilerek burada;

$$h_7 = h_6 \quad (5.9)$$

olur. Böylece bu noktada da sıcaklık (T_7), entropi (s_7) ve bu nokta için en önemli parametre olan kuruluk derecesi (x_7) hesaplanmış olur.

Tüm bu veriler hesaplandıktan sonra eğer çalışılan akışkan bir karışım ise gerekli olan sıcaklık eşleştirilmesinin yapılması gerekmektedir. Bunun için buharlaştırıcıdaki ve yoğuşturucudaki sıcaklık kaymaları program tarafından tespit edilir. Yani $T_5 - T_6$ yoğuşturucuda, $T_1 - T_7$ ise buharlaştırıcıdaki sıcaklık kaymalarını verir. Program yoğuşturucu giriş sıcaklığını 25°C, buharlaştırıcı giriş sıcaklığını da

-18°C kabul ederek yoğuşturucu ve buharlaştırıcı için çıkış sıcaklıklarını hesaplar böylece;

$$T_{buh.giriş} - T_{buh.çıkış} = T_1 - T_7 \quad (5.10)$$

$$T_{yoğ.çıkış} - T_{yoğ.giriş} = T_5 - T_6 \quad (5.11)$$

olmalıdır. Burada önemli bir nokta ise soğutma yükünün sabit olmasıdır, soğutma yükü sabit olduğundan buharlaştırıcıdaki havada gerçekleşen sıcaklık düşüşünün girilen soğutma yükünü karşılaması gerekir, böylece buharlaştırıcıdaki havanın debisi bulunur.

$$\dot{Q}_{buh.} = \dot{m}_{hava\ buh.} C_{hava} \Delta T_{hava\ buh.} \quad (5.12)$$

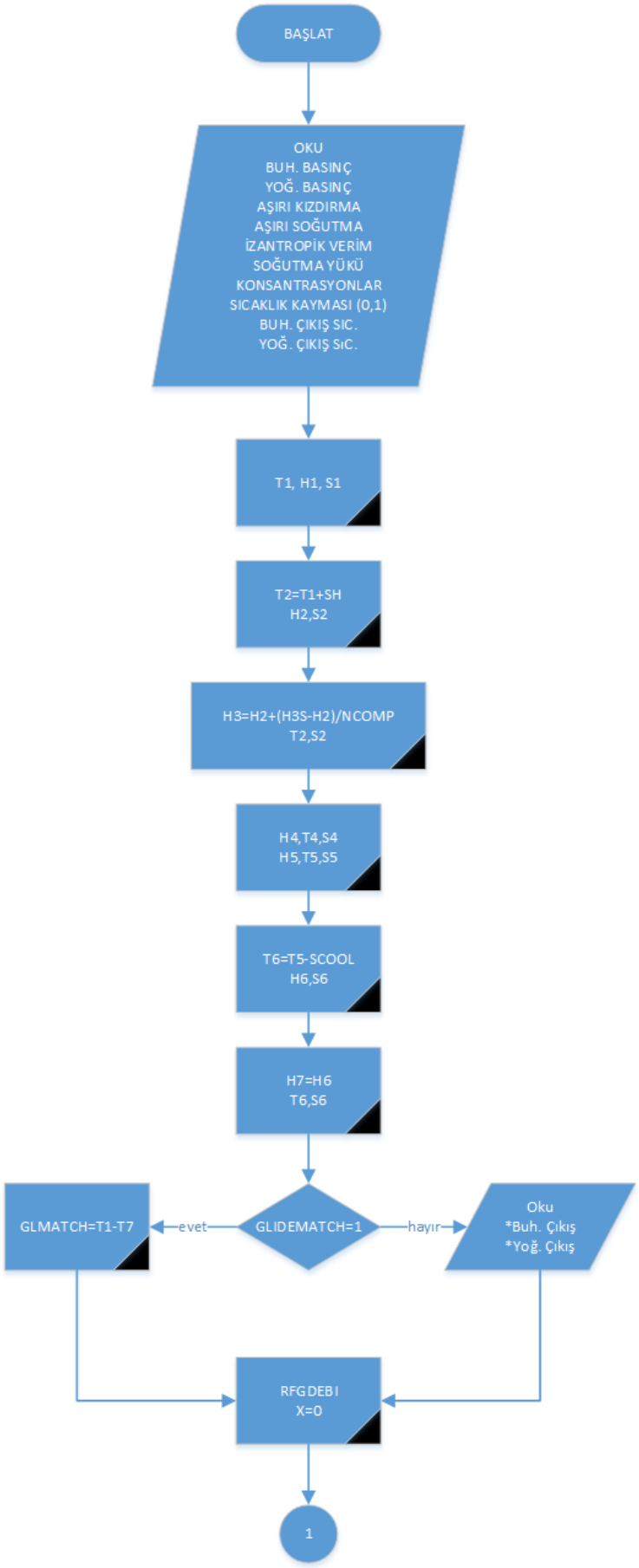
Soğutucu akışkanın debisi de bu şekilde bulunabilir. Yine buharlaştırıcı giriş çıkışı göz önüne alınır.

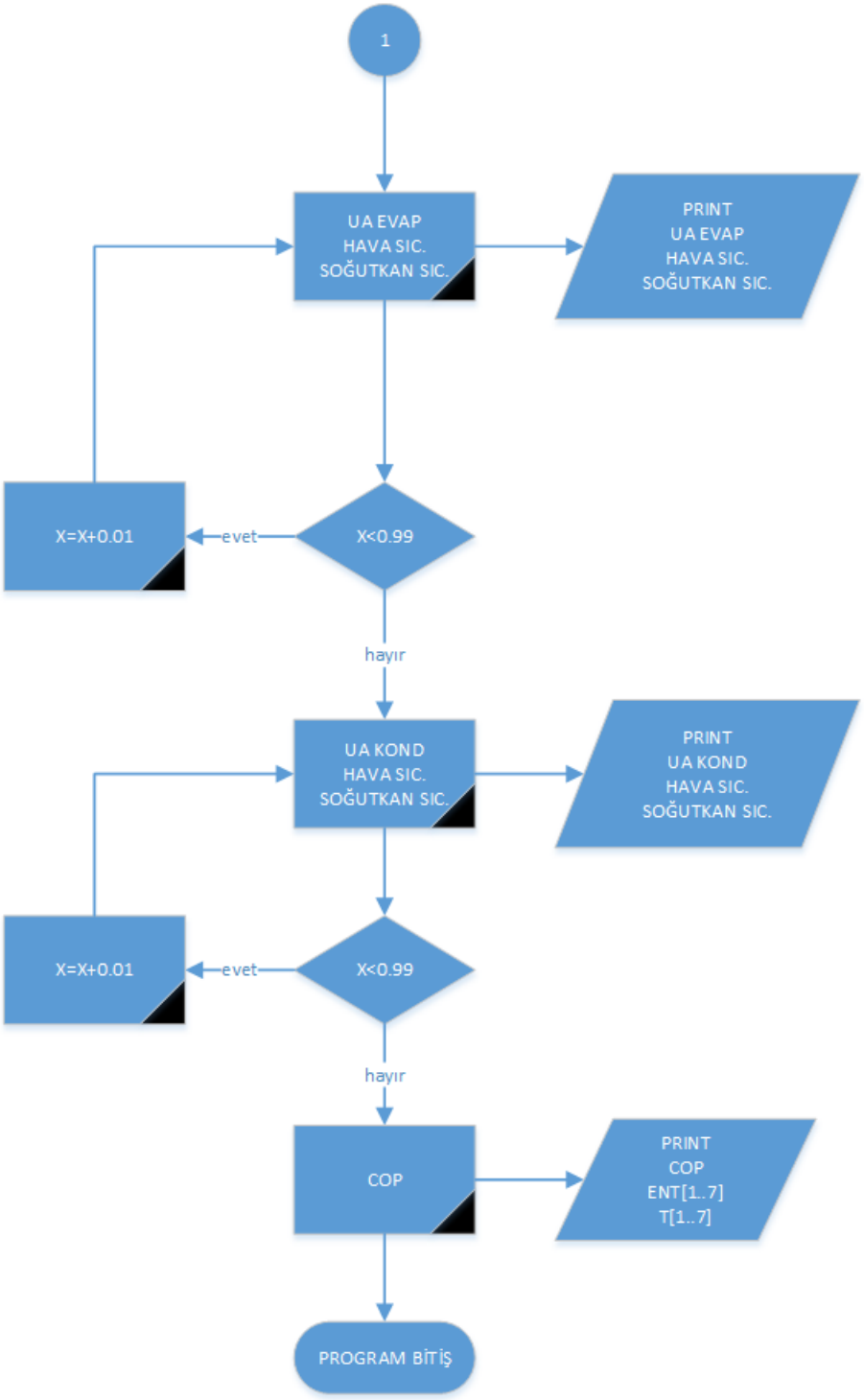
$$\dot{Q}_{buh.} = \dot{m}_{soğ.akışkan}(h_7 - h_1) \quad (5.13)$$

Böylece soğutucu akışkan debisi ve buharlaştırıcıdaki havanın debisi bulunmuş olur. Soğutucu akışkanın debisi artık bilindiğinden yoğuşturucuda atılacak ısı da bilinebilir ve böylece yoğuşturucudaki havanın da debisi Denklem 5.15'de bulunabilir.

$$\dot{Q}_{yoğ.} = \dot{m}_{soğ.akışkan}(h_5 - h_6) \quad (5.14)$$

$$\dot{Q}_{yoğ.} = \dot{m}_{hava\ yoğ.} C_{hava} \Delta T_{hava\ yoğ.} \quad (5.15)$$


BAŞLAT
OKU
BUH. BASINÇ
YOĞ. BASINÇ
AŞIRI KIZDIRMA
AŞIRI SOĞUTMA
İZANTROPİK VERİM
SOĞUTMA YÜKÜ
KONSANTRASYONLAR
SICAKLIK KAYMASI (0,1)
BUH. ÇIKIŞ SIC.
YOĞ. ÇIKIŞ SIC.
T1, H1, S1
T2=T1+SH
H2,S2
H3=H2+(H3S-H2)/NCOMP
T2,S2
H4,T4,S4
H5,T5,S5
T6=T5-SCOOL
H6,S6
H7=H6
T6,S6
GLIDEMATCH=1
evet
GLMATCH=T1-T7
hayır
Oku
*Buh. Çıkış
*Yoğ. Çıkış
RFGDEBI
X=0
1



Şekil 5.8 Programın akış şeması

Tüm bu hesaplamalardan sonra program için en önemli çıktı, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için UA değerlerinin hesaplanması ve bu sırada sıcaklık profillerinin çıkarılmasıdır.

Bunun için öncelikle buharlaştırıcı ve yoğuşturucu $x = 0.01$'lik dilimlere ayrılır. Yani kuruluk derecesinin her 0.01 artışı için ayrı hesaplama yapılır. Bu yapıldıktan sonra $x = 0.01$'lik dilimler için gerekli olan ısı transferi miktarı bulunur. Bu ısı transferi miktarı ile havanın sıcaklığı eşleştirilir. Bu yapılırken hava tarafında da bir miktar sıcaklık değişimi gerçekleşecektir. İşte bu küçük eleman için giriş ve çıkış noktalarında sıcaklık farkları hesaplanır. Bunun ardından ise logaritmik sıcaklık farkı bu küçük eleman için hesaplanır ve ortalama sıcaklık farkı bulunduktan sonra bu küçük eleman için gerekli olan UA alanı hesaplanır. Çünkü artık hem transfer edilen ısı bilinmektedir hem de bu ısı transferi için oluşan sıcaklık farkı böylece;

$$\mathrm{LMTD} = (\Delta T_1 - \Delta T_2)/\log(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}) \tag{5.16}$$

$$\text{Ek UA} = \frac{\dot{Q}}{\mathrm{LMTD}} \tag{5.17}$$

bağıntısı ile bulunan her bir UA değeri kümülatif olarak birbirine eklenir ve böylece hesaplama sonunda bu kümülatif UA değeri bize buharlaştırıcının veya yoğuşturucunun toplam UA değerini verecektir.

Tüm bu hesaplamalar yapılırken her bir eleman için giriş-çıkış sıcaklıkları bilinir. Hava tarafı için bir elemanın çıkış sıcaklığı diğer elemanın giriş sıcaklığına eşitlenir ve böylece süreklilik sağlanır. Tüm bu giriş-çıkış değerleri ise çizdirilmek üzere saklanır ve hesaplamalar bittiğinde hava tarafı için ve soğutucu akışkan tarafı için sıcaklık profilleri çizdirilir. y ekseninde sıcaklık bulunurken daha iyi bir yorum yapılabilmesi açısından x ekseni kuruluk derecesi değil, entalpi değerini gösterir. Böylece hava tarafı ve soğutucu akışkan tarafı ile mukayese yapılmaya uygun bir grafik ortaya çıkmış olur.

Tüm bu hesaplamalardan sonra ise COP'nin hesaplanması için geriye fazla bir şey kalmaz. COP değeri soğutma yükü olan $h_1 - h_7$ değerinin kompresör sıkıştırma işi olan $h_3 - h_2$'ye bölünmesiyle bulunur.

$$\text{COP} = \frac{\text{Soğutma Yükü}}{\text{Kompresör işi}} = \frac{h_1 - h_7}{h_3 - h_2} \quad (5.18)$$

Bunun ardından kullanılabilecek gerekli analizler için 1'den 7'ye kadar olan noktaların sıcaklıkları ve entropileri sıcaklık-entropi diyagramı çizdirilmek üzere saklanır. Şekil 5.6'da propan/izobütan (45/55) için çizilmiş bir sıcaklık-entropi diyagramı görülmektedir. Bu sıcaklık-entropi diyagramları üst üste konularak termodinamik çevrim analizleri yapılabilir.

5.6. Farklı soğutma yüklerinde değişen konsantrasyonların hesaplanması

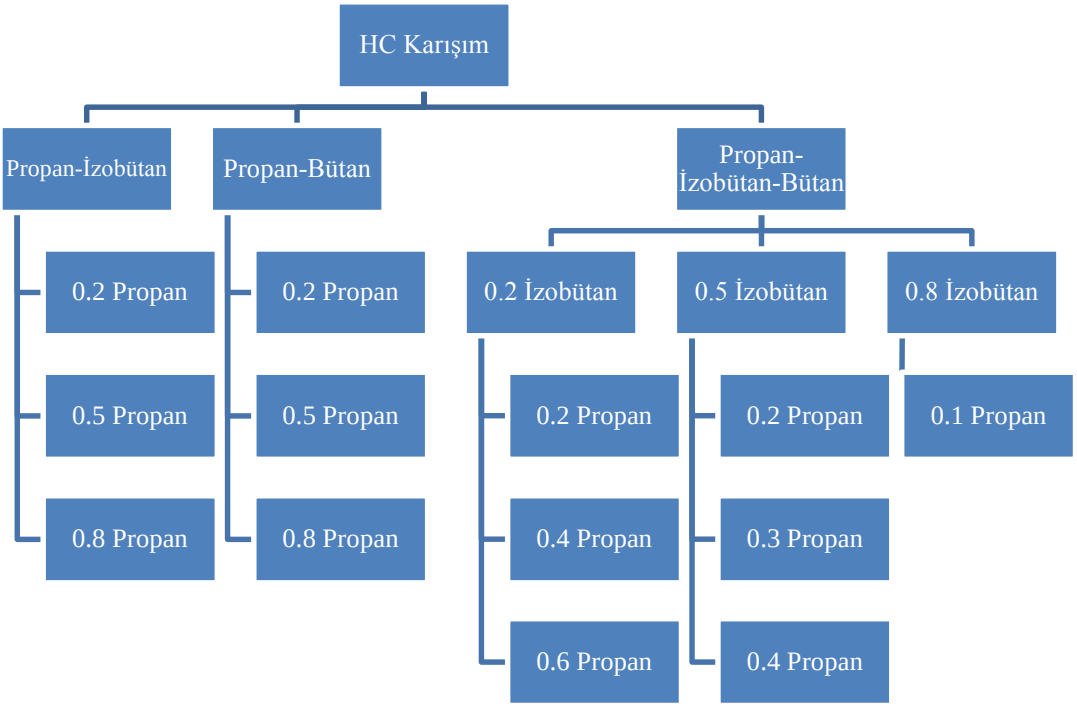
Soğutucu akışkan karışımları tam olarak buharlaşmaları halinde mevcut konsantrasyonlarını korumaktadırlar. Ancak buharlaşmanın tam olarak gerçekleşmediği durumlarda konsantrasyonda bozulmalar meydana gelecektir. Bu durum gaz fazı ile sıvı fazının buharlaşma anında konsantrasyonlarının farklı hale gelmesinden kaynaklanır.

Bir sonraki bölümde incelenecek akışkanlardan uygun olan karışımların farklı soğutma yüklerinde karışım konsantrasyonlarının değişimi incelenmiştir. Bunun için soğutma yükü 130W olarak kabul edilmiş ve 130W soğutma yükünün altında oluşan soğutma yüklerinde soğutucu akışkanın tam olarak buharlaşamadığı ve buharlaşan gaz fazının sistemde dolaştığı kabul edilmiştir. Yapılan analizlerde soğutucu akışkan karışımının 10W/K yoğuşturucu ve 20W/K buharlaştırıcı UA değerlerine en yakın bulunduğu koşullar ele alınmıştır. Böylece 50W soğutma yükünden başlayarak karışımının tam olarak buharlaşamaması halinde konsantrasyonun nasıl değişeceği hesaplanmıştır.

BÖLÜM 6

MODELLEME SONUÇLARI

6.1. Farklı akışkanlar için sıcaklık kaymaları



Şekil 6.1 Nümerik modelleme içerisinde incelenen karışımların gruplandırılması

Şekil 6.1'de sıcaklık kaymalarının incelendiği soğutucu akışkan karışımları görülmektedir. Üç farklı karışım ile analizler yapılmıştır. Bunlar şekilde de görülebileceği gibi propan/izobütan, propan/bütan ikili karışımları ve propan/izobütan/bütan üçlü karışımıdır. Bu akışkanlardan en çabuk buharlaşma eğilimine sahip olanı propandır. Ardından izobütan daha sonra ise bütan gelir. İzobütan ve bütan birbirlerine daha yakın iken, propan daha uzak bir noktadadır. Böylece propan/izobütan karışımı izobütana göre

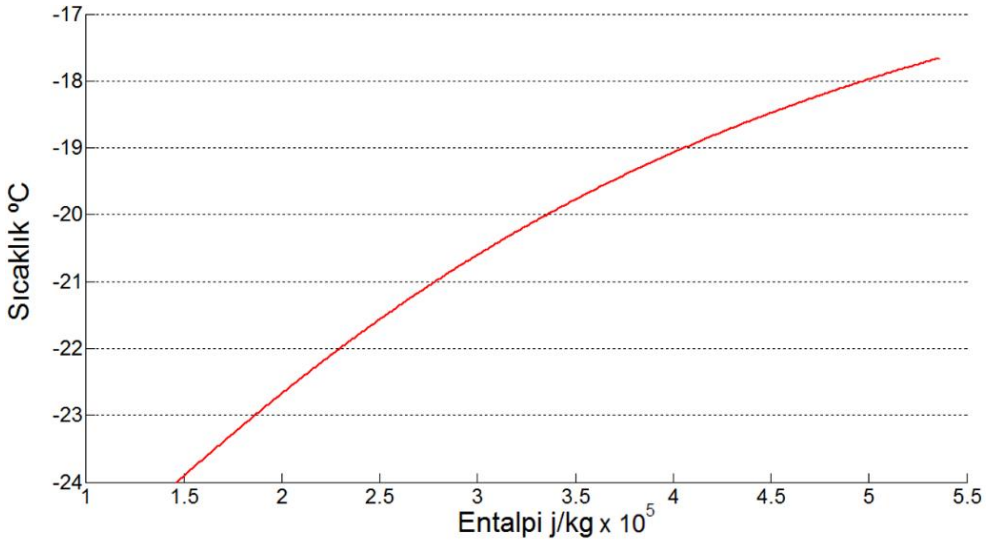
daha çabuk buharlaşma eğilimine sahip olacaktır. Propan-bütan karışımı ise belirli yerlerde, bu yerler daha çok bütana yakın bölgeler olacaktır, izobütan ile yakın kaynama noktalarını yakalayabilir.

Aşağıda şekillerde de anlaşıldığı gibi ve önceki bölümlerde tanıtılan ikili karışımlar genellikle lineer bir sıcaklık kayması oluşturmakta zorlanabilirler, ancak bu durum üçlü karışımlarla daha kolay aşılabilir. Bu yüzden çalışmada propan-izobütan-bütan üçlü karışımı da seçilmiştir.

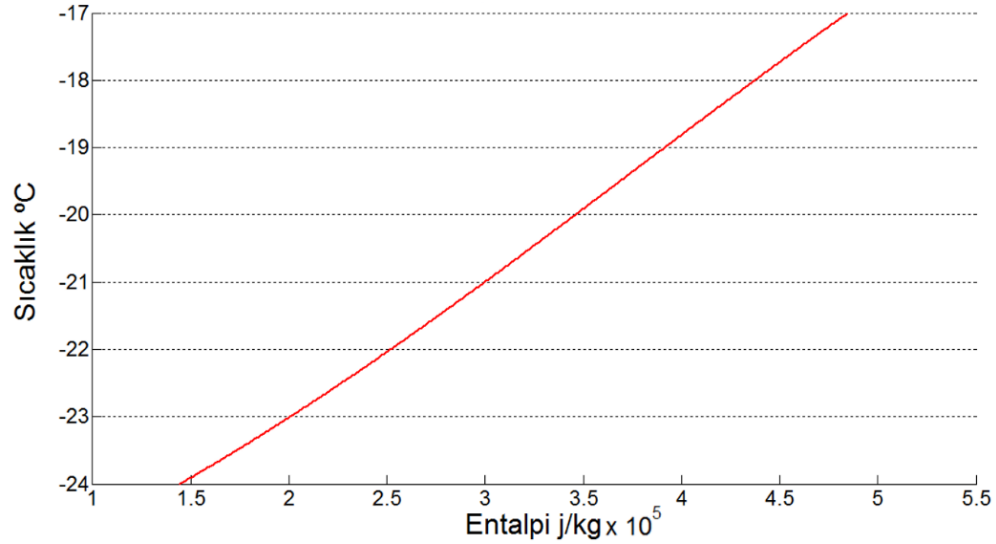
İkili karışımlarda 0.8, 0.2, 0.5 gibi değerler kullanılmıştır. Gerekli noktalarda ise lineerliği yakalayabilmek adına ara değerler de kullanılacaktır.

Aşağıda bu karışımlar için -24 °C'den başlaması durumunda buharlaşma durumunda sıcaklık kaymaları görülmektedir. X ekseni olarak beklenenin aksine kuruluk derecesi değil, entalpi seçilmiştir. Entalpinin seçilme nedeni burada sıcaklık kayması oluştururken entalpinin daha çok önem kazanmasından dolayıdır.

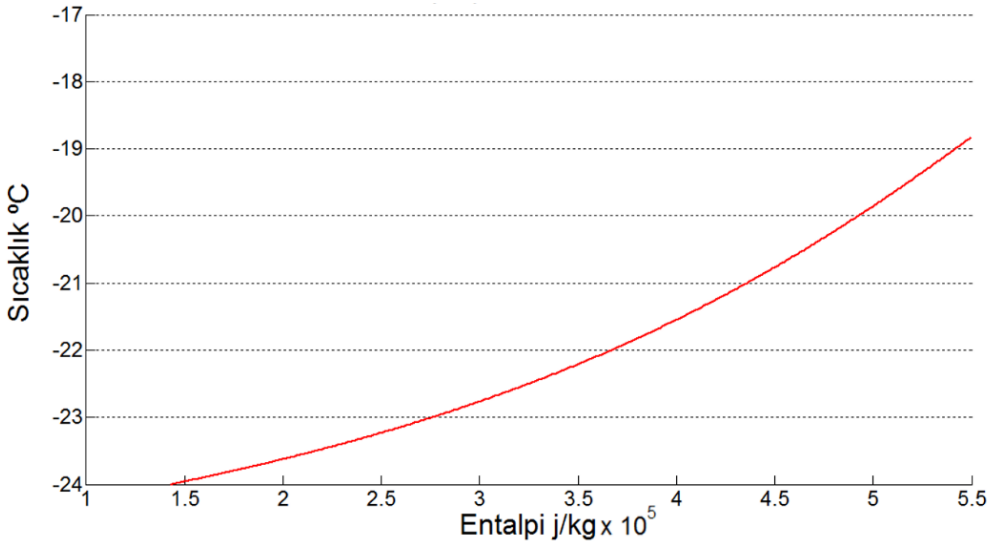
6.1.1. Propan/izobütan karışımları



Şekil 6.2 Propan/izobütan (20/80) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması



Şekil 6.3 Propan/izobütan (50/50) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması



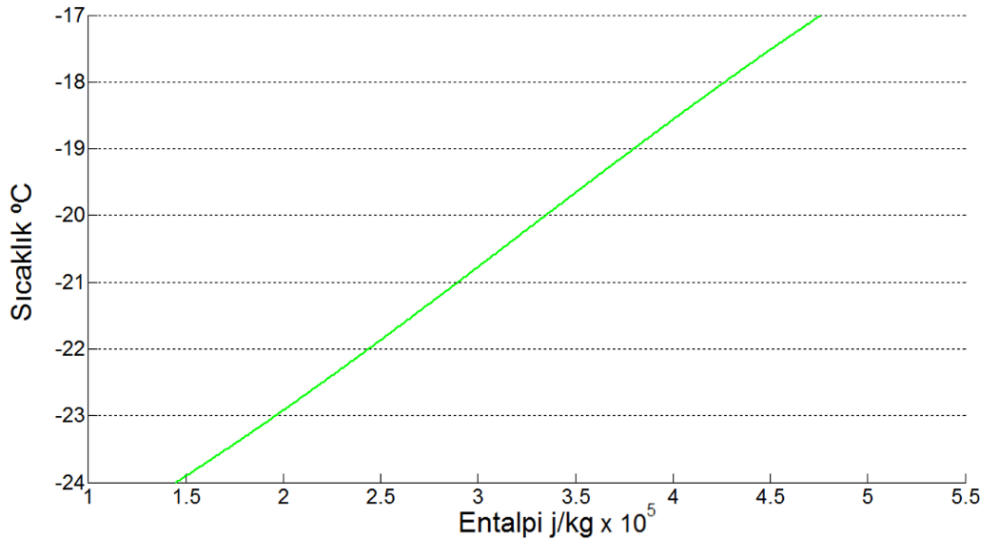
Şekil 6.4 Propan/izobütan (80/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

Bu karışımlar propan/bütan karışımlarına göre nispeten daha düşük sıcaklık kayması aralığı oluşturmaktadırlar. Mesela Şekil 6.2'deki propan/izobütan (20/80) karışımını incelediğimizde yaklaşık 6,5°C'lik bir sıcaklık kayması oluştuğunu görürüz. Şekil 6.5'te ise propan/izobütan (50/50) karışımında bu sıcaklık kaymasının 7°C'ye kadar çıktığını görmekteyiz. Ancak propanca zengin karışımlarda bu sıcaklık kaymasının daha da düşerek yaklaşık 5°C mertebelerinde olduğu görülmektedir.

İzobütanca zengin karışımlar dış bükey bir sıcaklık kayması grafiği gösterirken propanca zengin karışımlar incelendiğinde grafik iç bükey bir yapıya bürünür.

Elde edilen sonuçlar lineer sıcaklık kayması bölgesinin (50/50) noktasına yakın olduğunu göstermektedir. Ancak (50/50) noktasında da bir miktar iç bükey yapı görülmesinden dolayı bu iç bükeyliğin giderilmesi amacıyla propan miktarı bir miktar daha düşürülerek karışım propan/izobütan (45/50) olarak seçilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Şekil 6.5'te görülmektedir. Buradaki lineerlik sıcaklık kayması eşleştirmesi için uygun bir durumdadır. Böylece elde edilen sıcaklık profili yeşil renk ile gösterilmektedir.



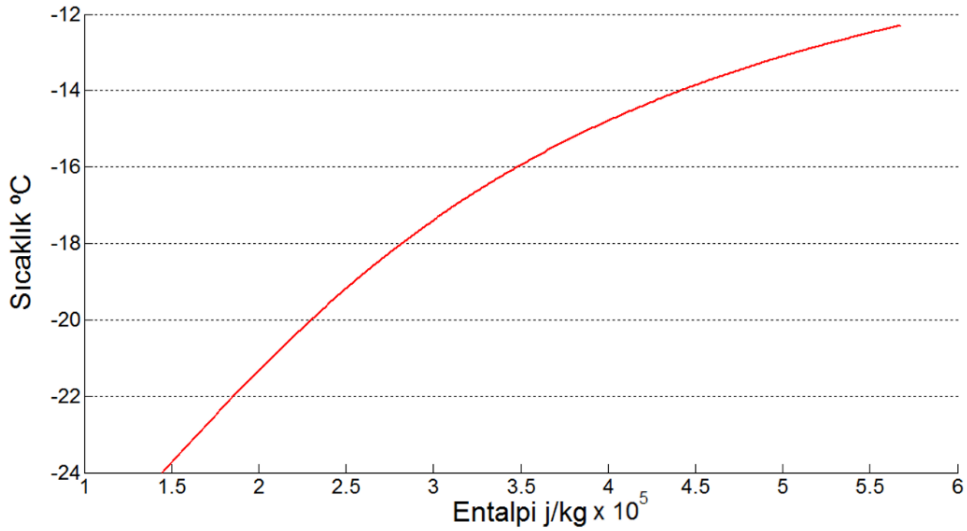
Şekil 6.5 Propan/izobütan (45/55) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

6.1.2. Propan/bütan karışımları

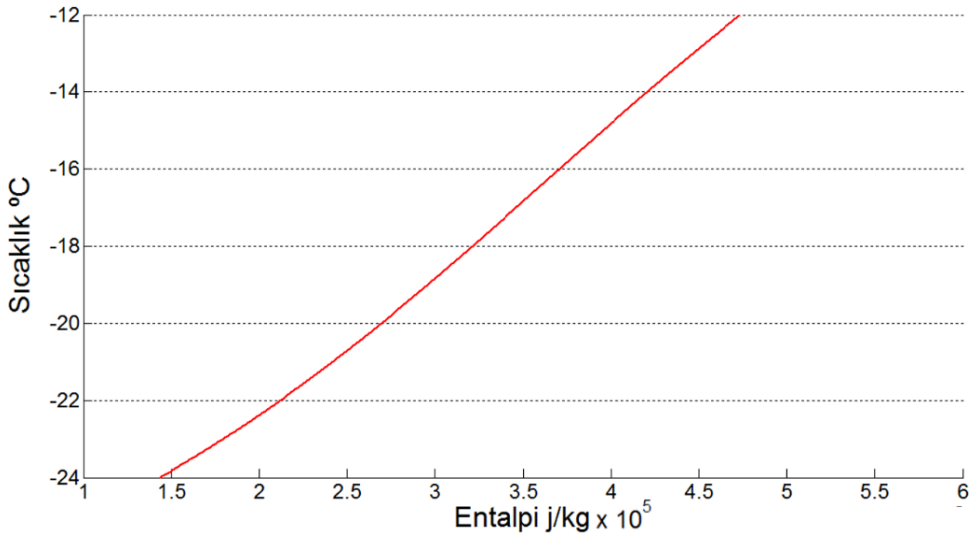
Bu karışımların da propan/izobütan karışımlarına benzer karakterde olması beklenmektedir. Propan ile bütanın uçuculuk farkı propan ile izobütana göre daha yüksektir. Dolayısıyla bu karışımlarda sıcaklık kayması propan/izobütana göre daha fazla olacaktır. Şekilleri incelediğimizde Şekil 6.6'da propan/bütan (20/80) karışımında sıcaklık kaymasının neredeyse 12°C'ye ulaştığını görmekteyiz. Bu şekilde bir aşırı sıcaklık kayması buzdolabı uygulamaları için kullanılabilir olmamaktadır. Yine aynı şekilde Şekil 6.7'yi incelediğimizde propan/bütan (50/50) karışımının da 12°C'ye ulaşan sıcaklık kaymasına sahip olduğunu görmekteyiz. Bu durum propan/bütan (80/20) karışımında biraz daha düşerek 10°C'den biraz daha az hale gelmektedir. Bu gibi sıcaklık kaymaları izobütan ile birebir kıyaslamalarda daha yüksek COP kazancı gibi sonuçlar

ortaya koyacak olsa da bu buharlaştırıcılarda bu denli sıcaklık kaymalarının oluşmadığının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

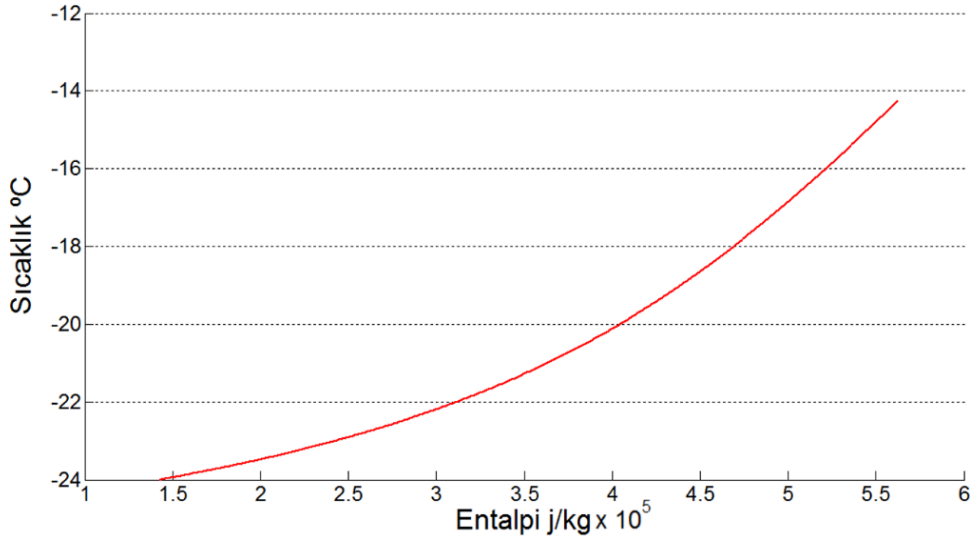
Yine bir önceki propan/izobütan karışımlarında olduğu gibi bütanca zengin karışımlar dış bükey bir grafik gösterirken, propanca zengin karışımlar iç bükey bir yapı göstermektedir. Propan/bütan (50/50) karışımı da iç bükey bir yapı gösterdiğinden bu iç bükey yapının giderilmesi için uygun karışım olarak propan/bütan (45/55) karışımı seçilmiştir.



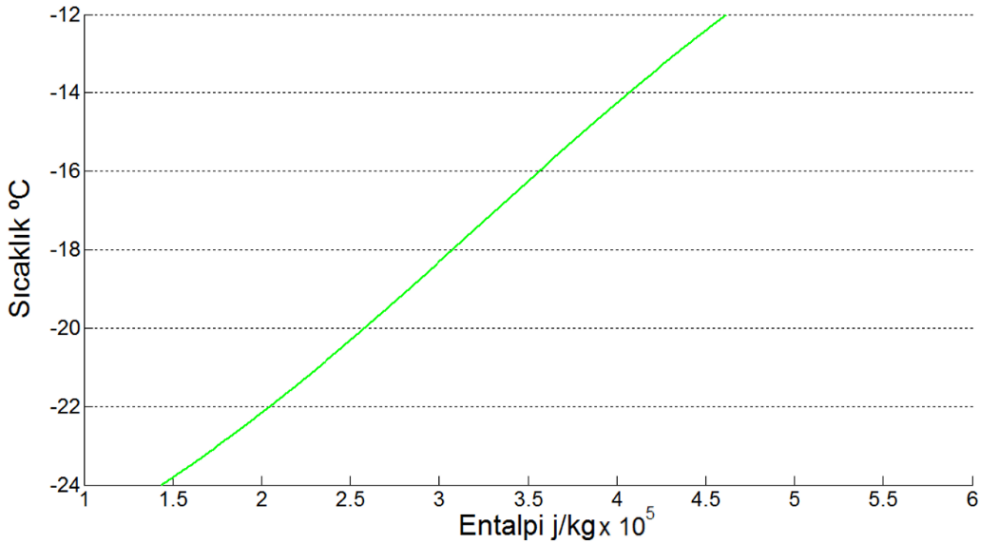
Şekil 6.6 Propan/bütan (20/80) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması



Şekil 6.7 Propan/bütan (50/50) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması



Şekil 6.8 Propan/bütan (80/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması



Şekil 6.9 Propan/bütan (45/55) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

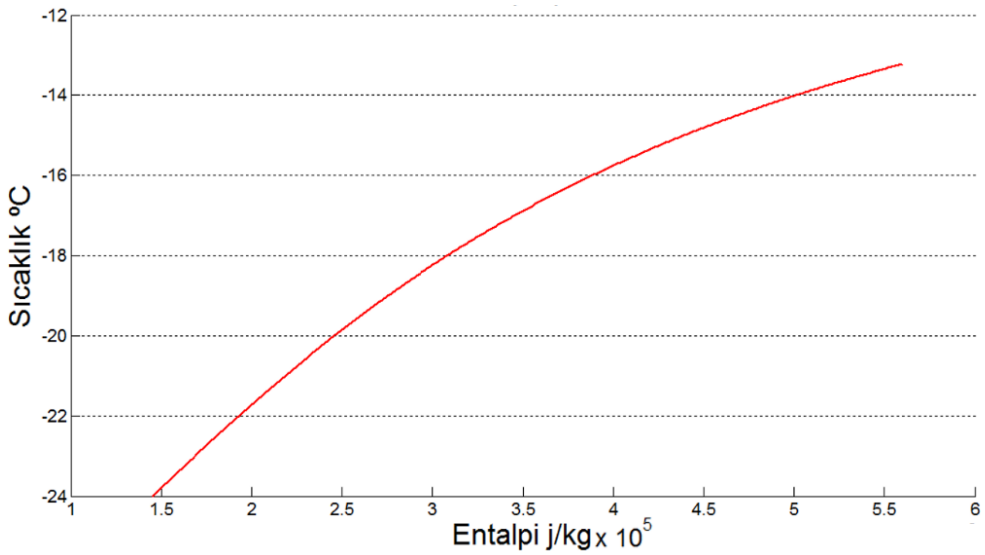
Şekil 6.9'da görülen karışımın sıcaklık kaymasında lineer olmayan durumlar gözlense de grafik sıcaklık kayması eşleştirmesi için yeterli lineerliktedir. Bu karışım yaklaşık 12°C'lik sıcaklık kayması ile en yüksek sıcaklık kaymasına sahip karışımdır.

6.1.3. Propan/izobütan/bütan üçlü karışımları

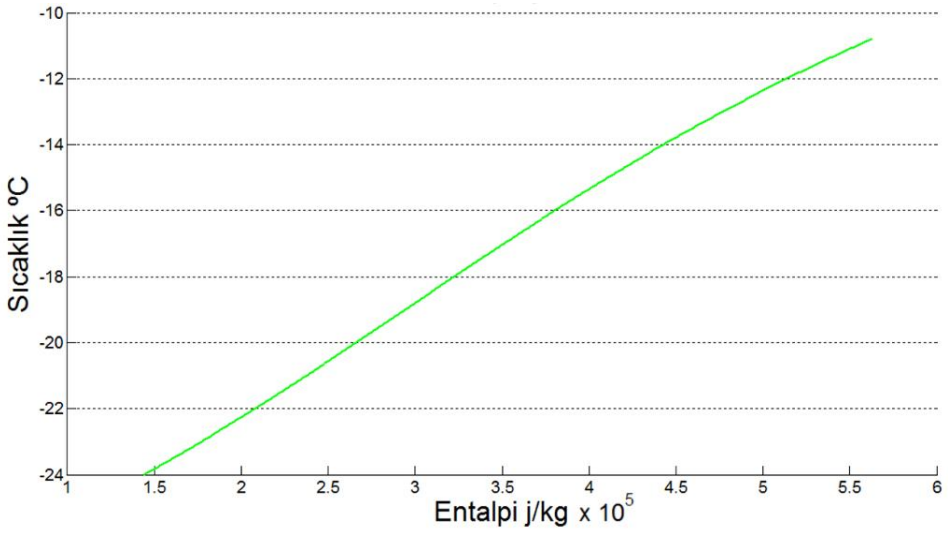
Üçlü karışımlarda lineer sıcaklık kaymasını yakalamak ikili karışımlara göre daha kolaydır. Daha önce açıklandığı gibi üçlü karışımlarda aradaki madde sıcaklık kaymasını dengelemektedir. Bu durum kuramsal temellerin ele alındığı Bölüm 3 ve 4'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

6.1.3.1. İzobütan (0.2) içeren karışımlar

Bu bölümde 0.2 izobütan ile diğer bileşenlerin karışımları propan/bütan için (20/60), (40/40) ve (60/20) alınarak yapılmıştır.



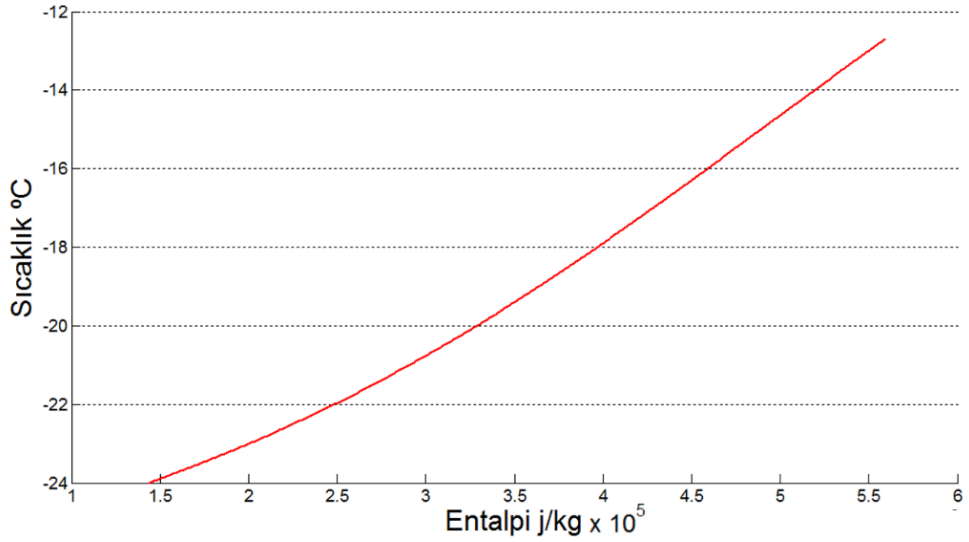
Şekil 6.10 İzobütan/propan/bütan (20/20/60) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması



Şekil 6.11 İzobütan/propan/bütan (20/40/40) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

İncelenen karışımlar içerisinde Şekil 6.11'de görüldüğü gibi izobütan/propan/bütan (20/40/40) karışımı en uygun lineerliği sağlamıştır. Bu karışımlarda izobütan ve bütanı bir tarafa, propanı ise diğer tarafa koyarsak izobütan ve

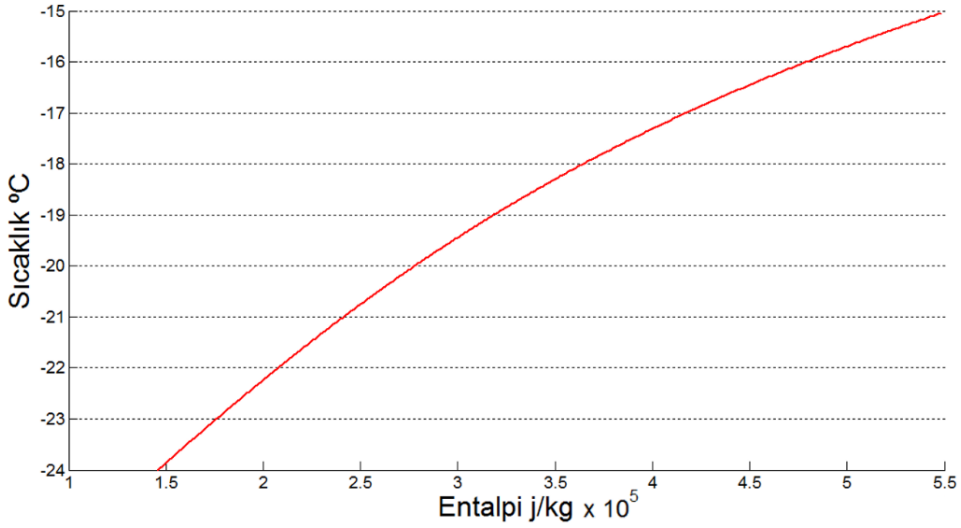
bütanca zengin karışımların dış bükey bir yapı izlediğini, propanca zengin karışımların ise yine iç bükey bir yapı izlediğini görmekteyiz.



Şekil 6.12 İzobütan/propan/bütan (20/60/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

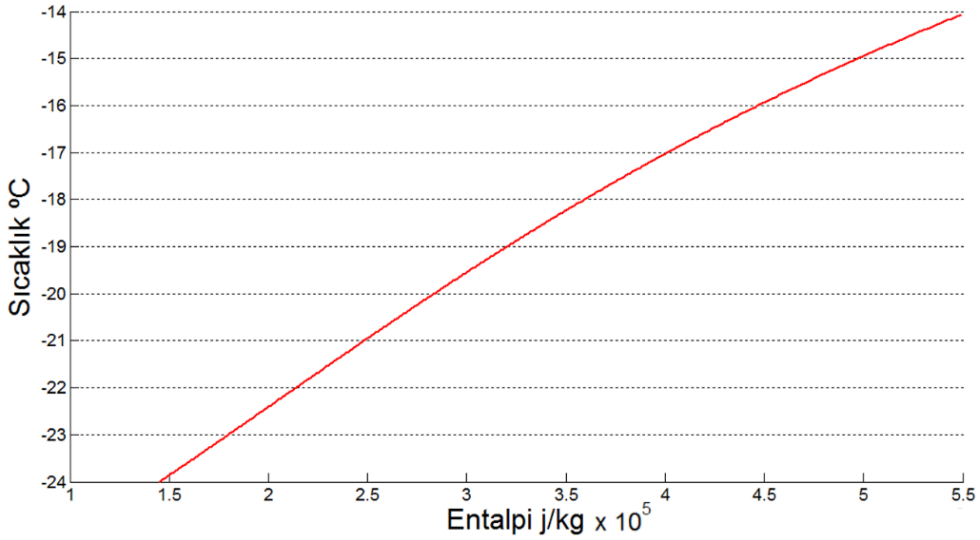
Bu bölümde incelenen soğutucu akışkanlar da yüksek sıcaklık kaymasına sahip akışkanlardır. Şekil 6.11'de seçilen akışkanın yaklaşık 13°C bir sıcaklık kayması aralığına sahip olduğunu görmekteyiz.

6.1.3.2. İzobütan (0.5) içeren karışımlar

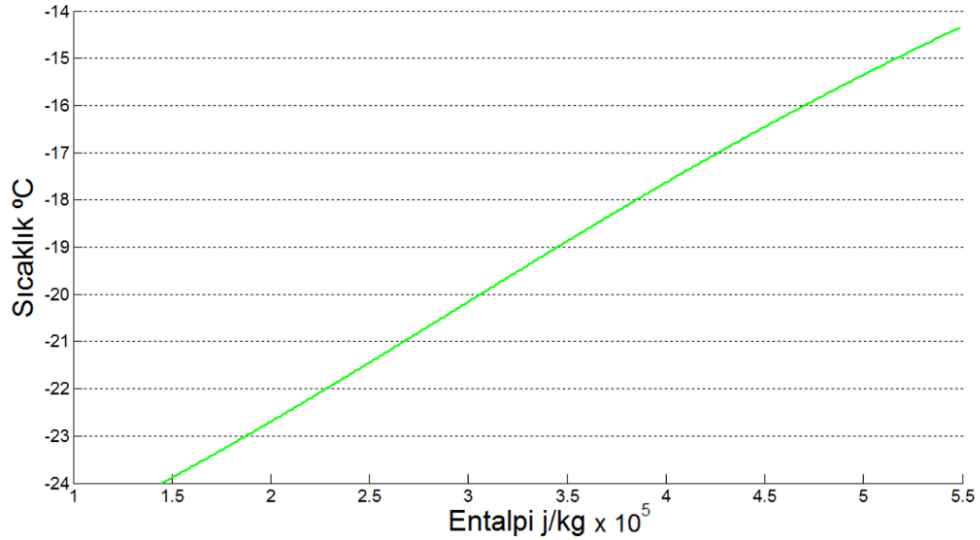


Şekil 6.13 İzobütan/propan/bütan (50/20/30) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

Bu bölümde 0.5 izobütan ile diğer bileşenlerin karışımları propan/bütan için (20/30), (30/20) ve (40/10) alınarak yapılmıştır. (10/40) alınmamasını sebebi ise (20/30) seçilen karışımın bile dış bükey olmasından dolayıdır.



Şekil 6.14 İzobütan/propan/bütan (50/30/20) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

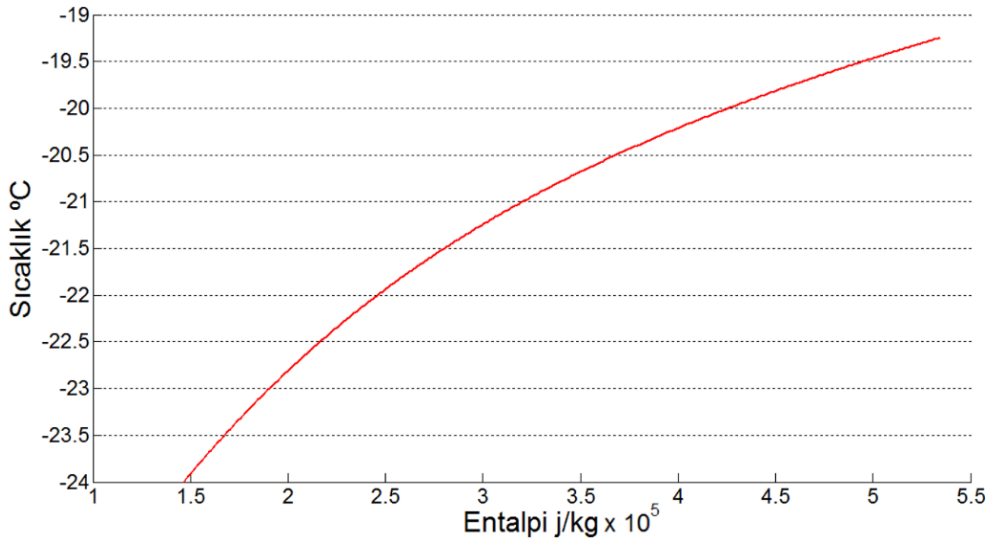


Şekil 6.15 İzobütan/propan/bütan (50/40/10) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

6.1.3.3. İzobütan (0.8) içeren karışımlar

Bu bölümde 0.8 izobütan ile diğer bileşenlerin karışımı sadece propan/bütan (10/10) olacak şekilde kullanılmıştır. Şekil 6.16'da görüldüğü gibi bu karışımda lineerlik oluşmamaktadır.

Böylece incelenen tüm karışımlar içerisinde yeterli lineerliğe sahip olanları bir sonraki bölümde soğutma sisteminde termodinamik çevrim üzerinde ne gibi katkılar gerçekleştireceği ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 6.16 İzobütan/propan/bütan (80/10/10) karışımı için buharlaşma sıcaklık kayması

6.2. Lineer sıcaklık kaymasına sahip akışkanların incelenmesi

Yapılan ön çalışmalar sonucunda uygun sıcaklık kaymasını oluşturacak karışımlar önceki bölümden de anlaşılacağı üzere propan/izobütan (45/55), propan/bütan (45/55), izobütan/propan/bütan (20/40/40) ve izobütan/propan/bütan (50/40/10) olarak belirlenmiştir. Bu soğutucu akışkanların bazı değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Soğutucu akışkanların ve karışımlarının termodinamik değerleri

	Mol ağırlığı (kg)	Kaynama noktası (atm)	Kritik sıcaklık (°C)	Kritik basınç (Mpa)	H_{fg} (kJ/kg)
HCFC-22	86,47	-40,7	96,1	4,98	233,75
HFC-134a	102,03	-26,1	101,1	4,06	216,97
HC600a	58,12	-11,7	134,7	3,64	365,11
HC600	58,12	-0,5	152	3,8	385,71
propan/izobütan (45/55) A	50,844	-23/-31,5	120,06	4,20	408,09
propan55bütan (45/55) B	50,844	-14,1/-29,5	128,38	4,31	433,98
izobütan/propan/bütan (20/40/40) C	51,562	-15,1/-28,4	127,45	4,19	423,5
izobütan/propan/bütan (50/40/10) D	51,562	-19,9/-29,6	123,02	4,15	409,86
HC290	44,1	-42,1	96,7	4,25	425,59

Tablo 6.1'i dikkatli incelediğimizde atmosfer basıncı seviyelerinde kaynama sıcaklığı en düşük HC olarak propanı görmekteyiz, en yüksek kaynama sıcaklığına sahip HC ise -0,5°C ile bütandır. Bu nedenle bütan ve propan akışkanları kaynama sıcaklıklarının değiştirilmesinde etkili olurlar. Propan/bütan (45/55) (B) karışımı ile propan/izobütan (45/55) (A) karışımlarını kıyasladığımızda izobütan kullanılan karışımın daha düşük kaynama sıcaklıklarına sahip olduğunu görürüz. Ancak bütan ile yapılan karışımın sıcaklık kayması daha yüksektir. Böylece izobütan ve bütan ile propan karışımlarında izobütan ile yapılan karışımlar daha düşük kaynama sıcaklığı ve daha dar sıcaklık kayması oluştururken, bütan ile yapılan karışımlarda sıcaklık kayması artacak ve kaynama noktası sıcaklığı daha yüksek olacaktır. İzobütan/propan/bütan (20/40/40) (C) karışımı B karışımına benzer özelliklere sahiptir ancak sıcaklık kayması biraz daha düşürülmüştür. İzobütan/propan/bütan (50/40/10) (D) karışımı ise A karışımına benzer özellikler taşır ancak sıcaklık kayması daha büyüktür.

Yapılan hesaplamalarda bahsedilen uygun akışkan karışımları ile izobütan kıyaslanmıştır.

Aşağıda ele alınan her bir soğutucu akışkan karışımı için önce 20W/K sabit buharlaştırıcı UA'sı için değişen yoğuşturucu UA'larında alınan sonuçlar tablo halinde verilmekte, ardından aynı şartlarda izobütan kullanıldığında alınacak COP değerleri diğer veriler ile beraber tablo halinde sunulmaktadır. Sarı ile altı çizilen noktalar genellikle 10W/K yoğuşturucu ve 20W/K buharlaştırıcı UA değerlerine yakın bölgelerdir ve sıcaklık kaymalarının gösterimi standart buzdolaplarına görülen bu UA değerleri üzerinden yapılacaktır. Bunun ardından sarı ile altı çizilen noktalarda soğutucu akışkan karışımı için sıcaklık profilleri görülmekte, daha sonra ise grafik şeklinde değişen UA değerlerinin COP'yi nasıl etkilediği okunabilmektedir. Bu işlem önce sabit buharlaştırıcı UA'sı için 20W/K, ardından ise sabit yoğuşturucu UA'sı için değişen buharlaştırıcı UA'larında yapılmaktadır. Sabit yoğuşturucu UA'sı için alınan değerlerde aynen bir önceki durumda olduğu gibi tablo halinde önce karışım ve ardından aynı durum için izobütan akışkanı için yapılan analizleri içermektedir. Ardından bu durum için de grafikte değişen buharlaştırıcı UA'larının COP'ye etkisi programdan alınan veriler hem tablo halinde görülmektedir hem de grafik halinde farklı UA değerleri için değişen COP değerleri okunabilmektedir. Son olarak ise belirtilen 20W/K buharlaştırıcı ve 10W/K yoğuşturucu değerlerinde soğutucu akışkan karışımı ile izobütanın T-s diyagramında

çevrimlerinin karşılaştırması yer almaktadır. Böylece COP kazancının nereden kaynaklandığı analiz edilebilir. T-s diyagramında genleşme valfinin izlediği yol doğrusal olarak gösterilmiştir.

6.2.1. A karışımı: Propan/izobütan (45/55)

Tablo 6.2 A karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-21,86	31,13	0,676788	0,031951	0,033548	95	1400	20,01	5,87	0,925
-22,37	31,4	0,612913	0,028962	0,030064	95,35	1200	19,998	7,08	1,08
-22,68	31,62	0,567057	0,026822	0,027602	94,9	1040	19,996	8,98	1,24
-22,96	31,75	0,542296	0,025668	0,026287	95,1	950	19,993	10,92	1,351
-23,1	31,83	0,526426	0,024929	0,025451	95	890	20,014	13	1,433
-23,23	31,89	0,515978	0,024443	0,024904	95	850	19,959	15,07	1,493
-23,29	31,93	0,508998	0,024119	0,024541	95	823	20,016	16,97	1,537
-23,34	31,97	0,503157	0,023848	0,024237	94,9	800	20,031	19,12	1,576

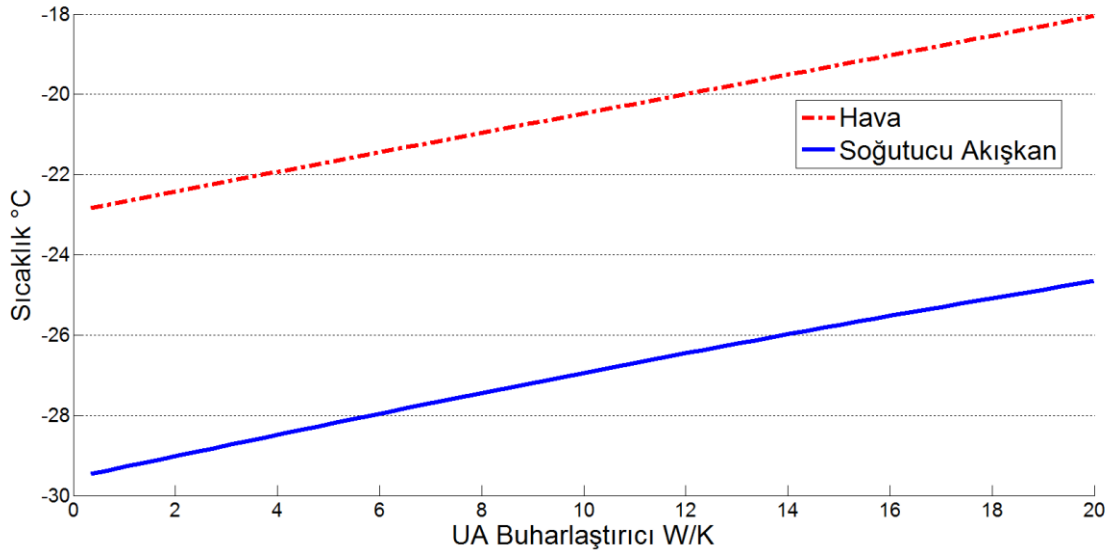
Tablo 6.3 Aynı koşullarda (Tablo 6.2) izobütan için hesaplanan değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-21,86	31,13	0,774536	0,035062	0,033485	54,5	950	20,03	5,98	0,876
-22,37	31,4	0,693806	0,031251	0,029577	53,75	800	20	7,07	1,034
-22,68	31,62	0,630126	0,028386	0,027618	53,28	670	20,01	9,05	1,214
-22,96	31,75	0,600456	0,026995	0,026059	52,79	605	20	11,02	1,324
-23,1	31,83	0,58207	0,026155	0,025343	52,56	564	20,02	13,04	1,404
-23,23	31,89	0,570138	0,025588	0,024713	52,4	537	20,02	15,03	1,463
-23,29	31,93	0,561718	0,025201	0,025201	52,288	517,8	20	17,02	1,508
-23,34	31,97	0,554878	0,024859	0,024204	52,325	502,5	20	19,14	1,548

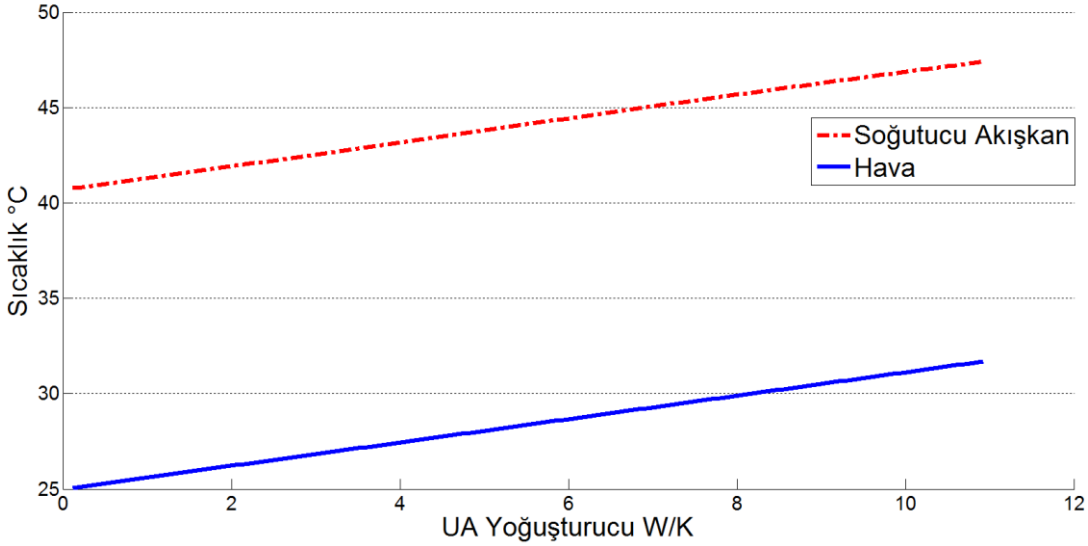
Tablo 6.2 ve Tablo 6.3'de hesaplanan değerler görülmektedir. Bu değerler buharlaştırıcı UA değeri 20W/K'de sabit tutularak elde edilmiştir. Tablo 6.2'de sarı ile gösterilen satır ise buharlaştırıcı UA'sı 20W/K ve yoğuşturucu UA değeri 10W/K'e en yakın nokta olduğu için sıcaklık kaymalarının gösterimi için seçilmiştir. Yani Şekil 6.15 ve 6.14'de görülen buharlaştırıcı ve yoğuşturucu soğutkan-hava sıcaklık profilleri karışım için bu bölgede çıkartılmıştır.

Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de görüldüğü gibi buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için sıcaklık kaymaları gayet uyumlu bir şekildedir. Buharlaştırıcıdaki sıcaklık kayması 4-5°C civarlarındadır ve bu kayma ev-tipi buzdolapları için uygun bir değerdir. Yoğuşturucuda

ise 6°C civarında bir sıcaklık kayması görülmektedir, buradaki sıcaklık kayması da ev-tipi buzdolapları için öngörülebilir bir sıcaklık kaymasıdır. Şekil 6.19'da ise karışım ve izobütan için 20W/K buharlaştırıcı ve 10W/K yoğuşturucu UA değerleri için oluşturulmuş T-s diyagramı görülmektedir. Diyagramdan okunacağı üzere karışımın buharlaşma entalpisi izobütandan daha yüksektir. Ancak izobütanın maksimum sıcaklığı karışımın kompresör çıkışındaki maksimum sıcaklığından daha düşüktür. Bu durum karışım kullanılırken göz önüne alınması gereken bir parametredir. Karışım kullanılması durumunda kompresörün soğutulmasının gerekli olduğunu gösterir.



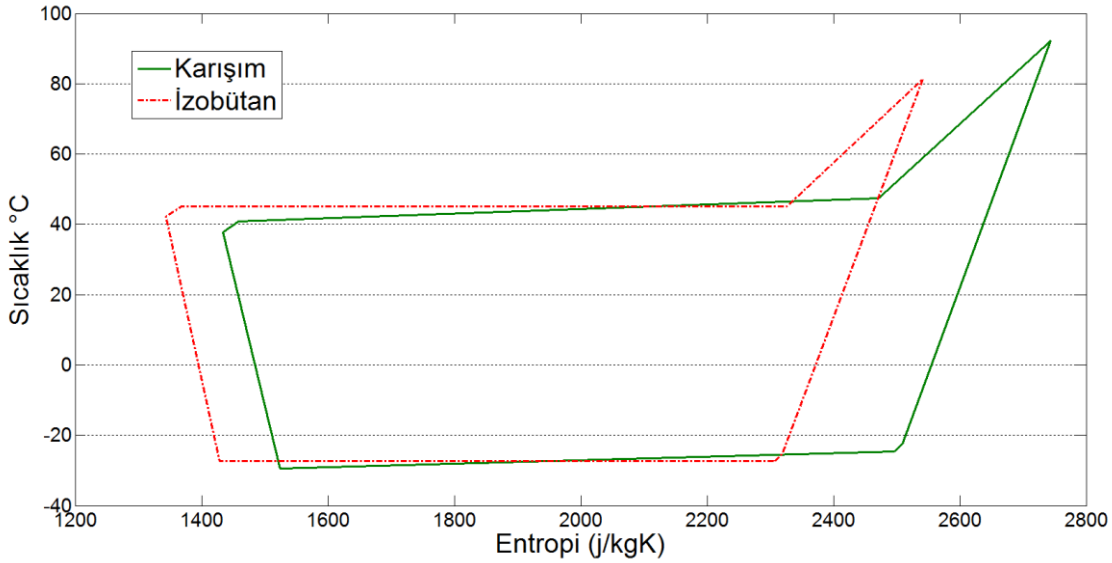
Şekil 6.17 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (A karışımı)



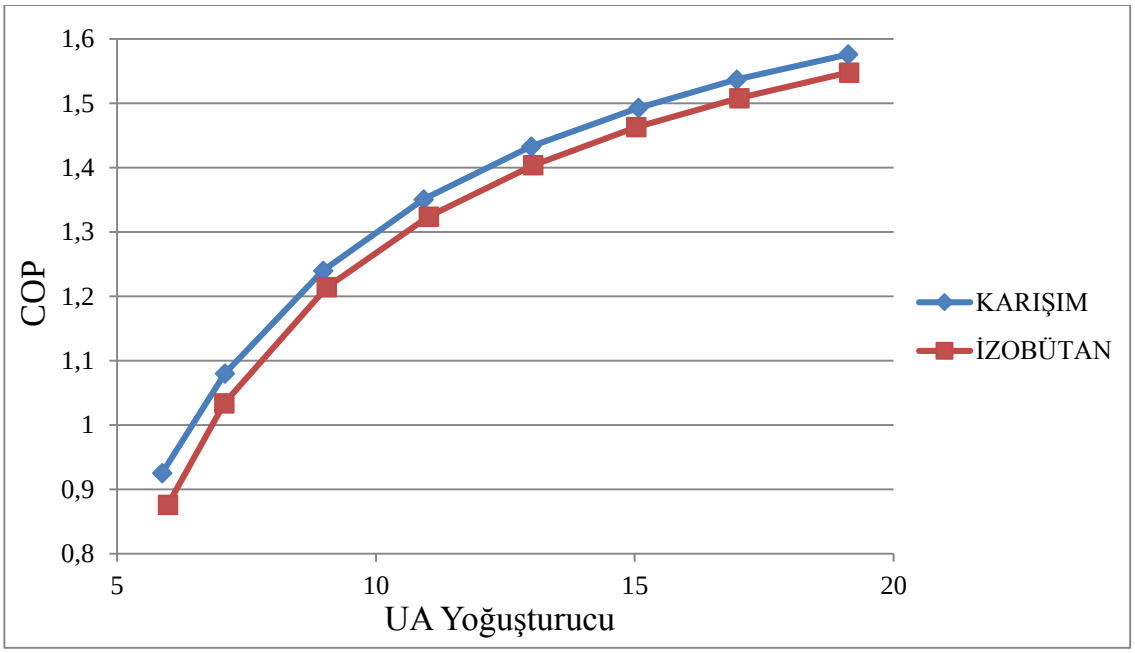
Şekil 6.18 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (A karışımı)

Soğutucu akışkan debisi karışımda nispeten daha düşüktür ve bu durum kompresördeki kayıpların azalması anlamına gelmektedir. Yoğuşturucu hava debisinde ise büyük farklar göze çarpmamaktadır.

COP artışları ise bu karışımda %5.6 ile %1.8 arasında değişmektedir. Yoğuşturucu UA değeri artıkça COP'deki yüzde artışın azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 6.19 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (A karışımı)



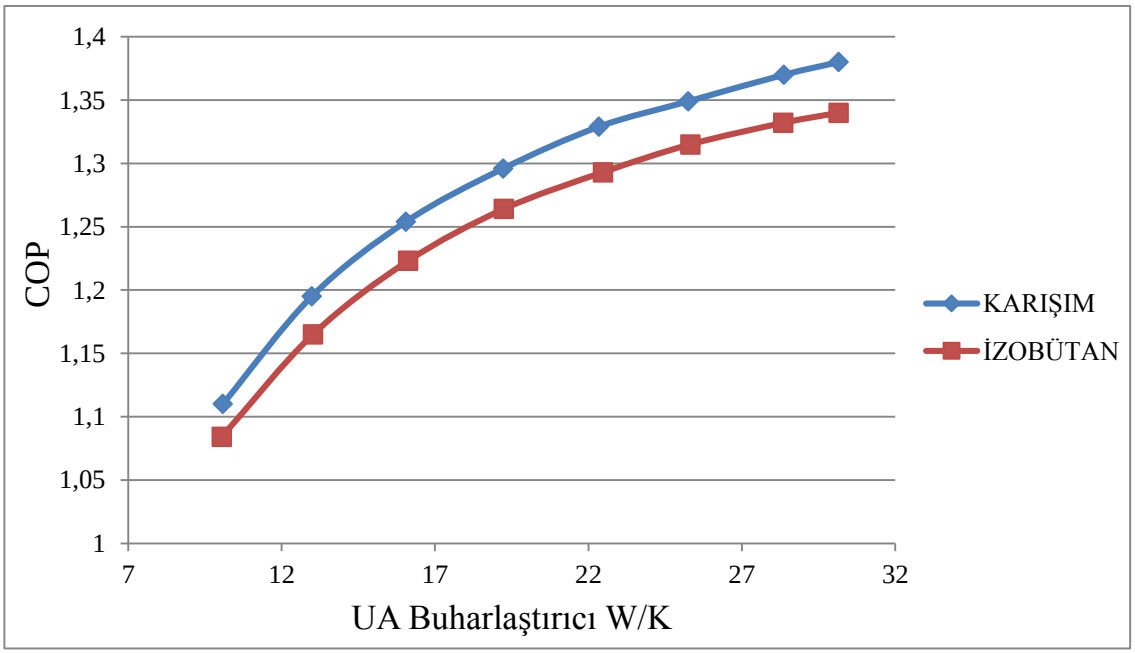
Şekil 6.20 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (A karışımı)

Tablo 6.4 A Karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-22,61	31,67	0,577165	0,027307	0,028218	72	1004	9,99	10,08	1,11
-22,75	31,69	0,565419	0,026753	0,027551	82	996	9,99	12,98	1,195
-22,82	31,69	0,558131	0,026409	0,027142	89	991	10	16,05	1,254
-22,85	31,7	0,55313	0,026173	0,026863	94	987	10,01	19,22	1,296
-22,92	31,7	0,549627	0,026008	0,026668	98	985	10	22,34	1,329
-22,88	31,7	0,547574	0,025911	0,026553	100,5	984	10	25,25	1,349
-22,93	31,71	0,545302	0,025804	0,026428	103	982	10	28,37	1,37
-22,95	31,71	0,544485	0,025765	0,026382	104	982	9,99	30,16	1,38

Tablo 6.5 Aynı koşullarda (Tablo 6.4) izobütan için hesaplanan değerler

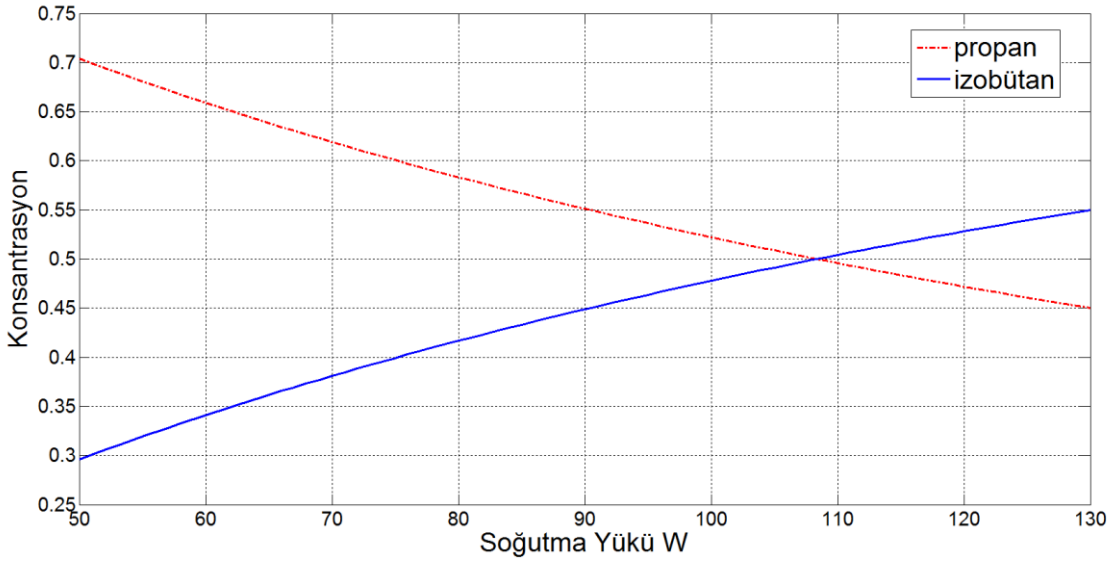
BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-22,61	31,67	0,644699	0,028994	0,028037	40	648	9,99	10,04	1,084
-22,75	31,69	0,629994	0,028301	0,027211	45,5	641	10,01	13,02	1,165
-22,82	31,69	0,620824	0,027919	0,026815	49,5	637	10,01	16,12	1,223
-22,85	31,7	0,614864	0,027624	0,02665	52,5	635	9,99	19,24	1,264
-22,92	31,7	0,610762	0,027455	0,02627	54,5	633	10	22,47	1,293
-22,88	31,7	0,607857	0,027332	0,026486	56,1	632	9,99	25,32	1,315
-22,93	31,71	0,605616	0,027197	0,026217	57,3	631	10	28,35	1,332
-22,95	31,71	0,604429	0,027152	0,026111	57,8	630	10,01	30,16	1,34



Şekil 6.21 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (A karışımı)

Yoğuşturucu debileri 10W/K'da sabit tutulduğunda ise Tablo 6.4'deki değerler elde edilmiştir. Yine aynı şekilde elde edilen bu değerler izobütanla kıyaslanmak üzere Tablo 6.5'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplar sonucunda 10W/K yoğuşturucu UA değerinde farklı buharlaştırıcı UA değerleri COP'de %2.3 ile %2.9 arasında yükselme sağlanmıştır. Buharlaştırıcı UA'sı arttıkça COP'deki yüzde artışın da küçük bir miktarda arttığı gözlenmiştir.

Karışımın yükünün azalması durumunda ise konsantrasyonun nasıl değiştiği Şekil 6.22'de görülmektedir. 130W'lık bir soğutma yüküne göre tasarlanmış bir buzdolabında yükün azalması durumunda konsantrasyon propan açısından zenginleşmeye başlamaktadır.



Şekil 6.22 A karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu

6.2.2. B karışımı: Propan/bütan (45/55)

Tablo 6.6 B karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-25,28	36,64	0,59583	0,016666	0,017846	63,5	1200	19,965	6,43	0,932
-26,22	37,16	0,5401	0,015078	0,015794	63,35	1000	19,997	8,38	1,097
-26,69	37,44	0,513964	0,014335	0,014857	63,263	900	20,093	10,31	1,2
-27,03	37,58	0,501196	0,013973	0,014406	63,263	850	20,009	11,84	1,259
-27,18	37,66	0,493659	0,013759	0,014142	63,23	820	20,041	13,07	1,296
-27,42	37,77	0,484166	0,01349	0,013813	63,23	782	20,035	15,18	1,348
-27,55	37,85	0,477534	0,013302	0,013585	63,16	755	20,03	17,27	1,387
-27,76	37,91	0,472533	0,013161	0,013414	63,25	735	19,968	19,31	1,418

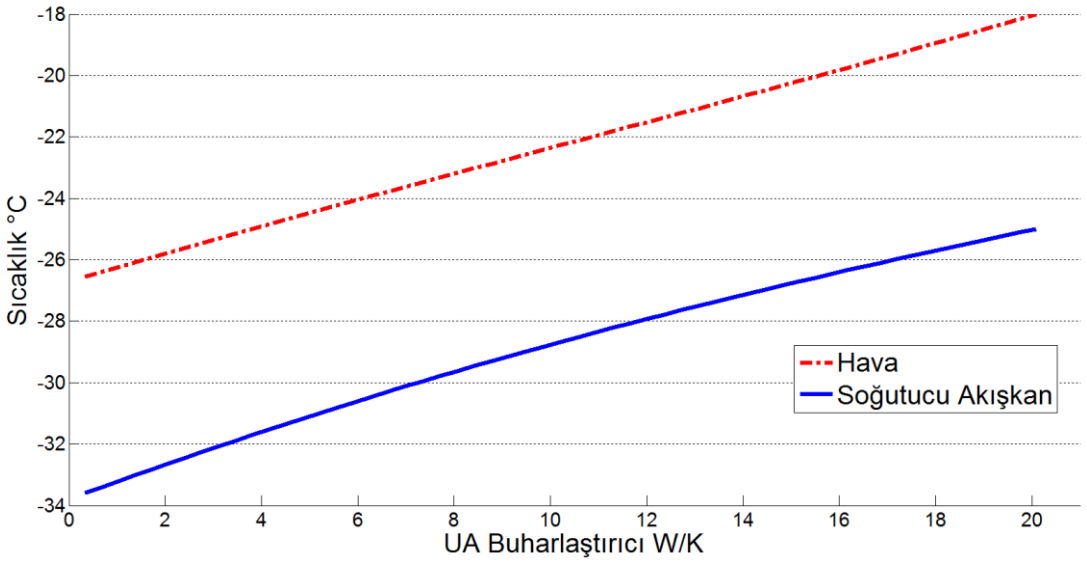
Tablo 6.7 Aynı koşullarda (Tablo 6.6) izobütan için hesaplanan değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-25,28	36,64	0,818846	0,019276	0,017754	49,415	1000	20,01	6,36	0,789
-26,22	37,16	0,690496	0,016497	0,015724	47,88	770	19,99	8,57	1,011
-26,69	37,44	0,651034	0,015524	0,014873	47,15	690	20	10,41	1,111
-27,03	37,58	0,63317	0,015082	0,014313	46,67	652	19,99	11,81	1,162
-27,18	37,66	0,620657	0,014797	0,01408	46,34	625	20,02	13,19	1,202
-27,42	37,77	0,606918	0,014462	0,013721	45,98	595	19,99	15,36	1,25
-27,55	37,85	0,598594	0,014245	0,013534	45,86	577	19,99	17,23	1,282
-27,76	37,91	0,592139	0,014084	0,013243	45,5	562	20	19,34	1,306

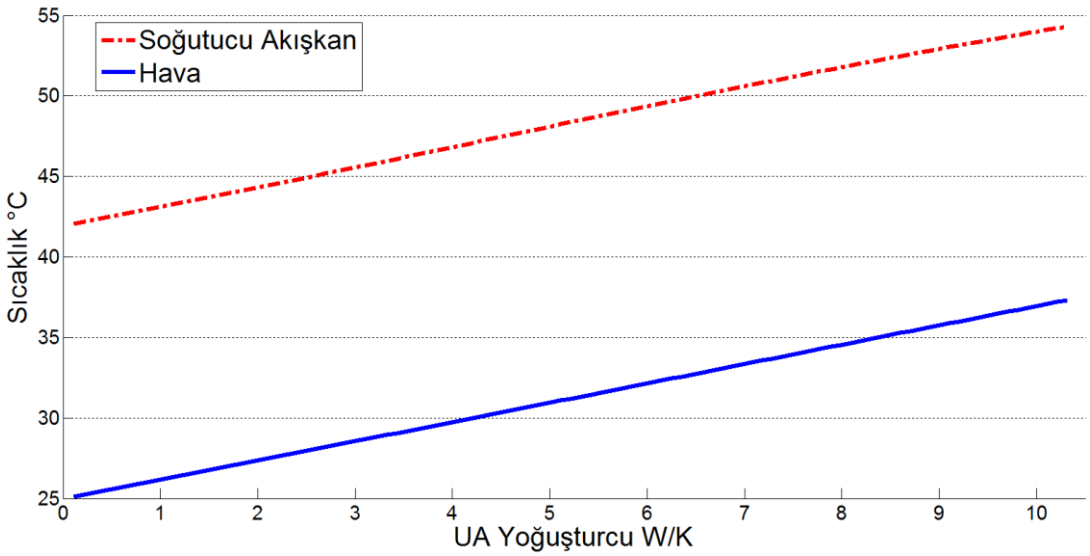
Tablo 6.6 ve 6.7'de B karışımı için buharlaştırıcı UA değeri 20W/K için hesaplanan değerler görülmektedir. Sarı ile gösterilen kısım yoğuşturucu ve buharlaştırıcı UA değerleri için sırasıyla 10W/K ve 20W/K'e en yakın olduğu noktadır. Sıcaklık kaymaları ve T-s diyagramı bu değerler için alınacaktır. Tablolar incelendiğinde soğutucu akışkan debisinin karışım için %25 ile %37 arasında daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum karışım kullanımında kompresör kayıplarını azaltacaktır ve izantropik verimin artmasını sağlayacaktır. Karışım kullanımında ise yoğuşturucudaki hava debisinde %8 ile %18 arasında düşüş sağlandığı görülmektedir. Bu durum da fan maliyetlerinin azaltılması konusunda ve yoğuşturucu tasarımında dikkat edilmesi gereken bir durumdur.

COP değerleri incelendiğinde karışım için %8 civarında artışlar görülmektedir. Yoğuşturucu UA değeri arttırıldıkça COP'deki yüzde artış azalmaktadır. Ancak burada sayısal olarak elde edilen yüksek COP artışı aldatıcı olmamalıdır. Çünkü bu COP artışı 15°C gibi yüksek sıcaklık kaymaları için elde edilmektedir. Ancak ev tipi buzdolaplarında pratikte bu kadar yüksek sıcaklık kaymaları görülmemektedir. Ancak yine de bu artış buharlaştırıcıda 15°C gibi yüksek sıcaklık kaymalarının istendiği uygulamalar için kullanılabilir.

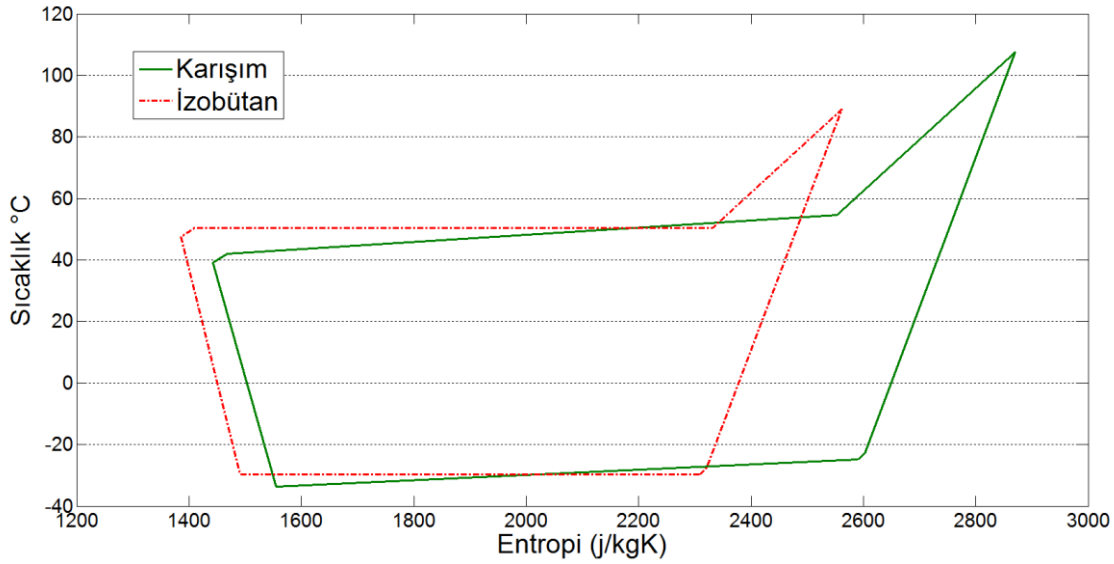
Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de sırasıyla buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için sıcaklık profilleri görülmektedir. Buharlaştırıcıda yüksek sıcaklık farklarıyla beraber paralel sıcaklık kaymalarından küçük miktarlarda kayma görülmektedir. Her ne kadar lineer sıcaklık kayması bir miktar bozulsa da bu durumun genelde büyük kayıplara yol açtığı söylenemez ve ihmal edilebilir.



Şekil 6.23 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (B karışımı)



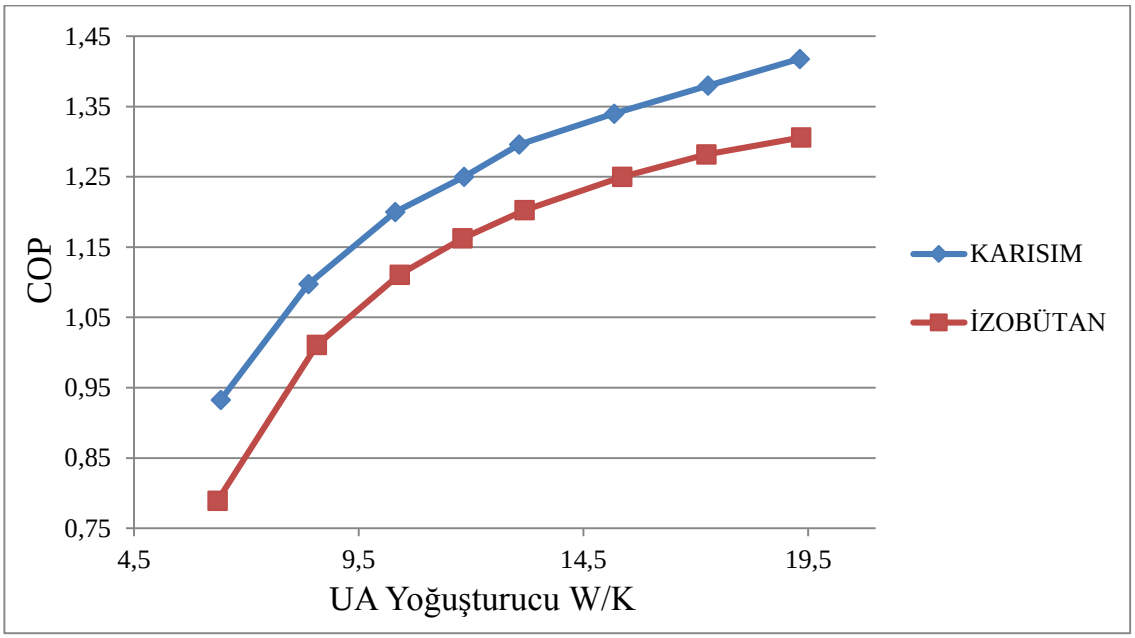
Şekil 6.24 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (B karışımı)



Şekil 6.25 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (B karışımı)

Şekil 6.26'te buharlaştırıcı UA değeri 20W/K'de sabit tutulmasına karşın değiştirilen UA yoğuşturucu değerlerinde COP değişimi görülmektedir.

Tablo 6.8 ve Tablo 6.9'da ise sabit yoğuşturucu UA değerlerinde farklı buharlaştırıcı uzunlukları denenmiştir. Yapılan hesaplamalarda COP değerinde %8 ile %10 arasında artışlar görülmektedir. Soğutucu akışkan debisinde ve yoğuşturucu hava debisinde sabit buharlaştırıcı UA değeri için alınan sonuçlarda olduğu gibi karışım için düşüşler görülmüştür. Şekil 6.27'da ise bu değerler grafik halinde görülebilir.



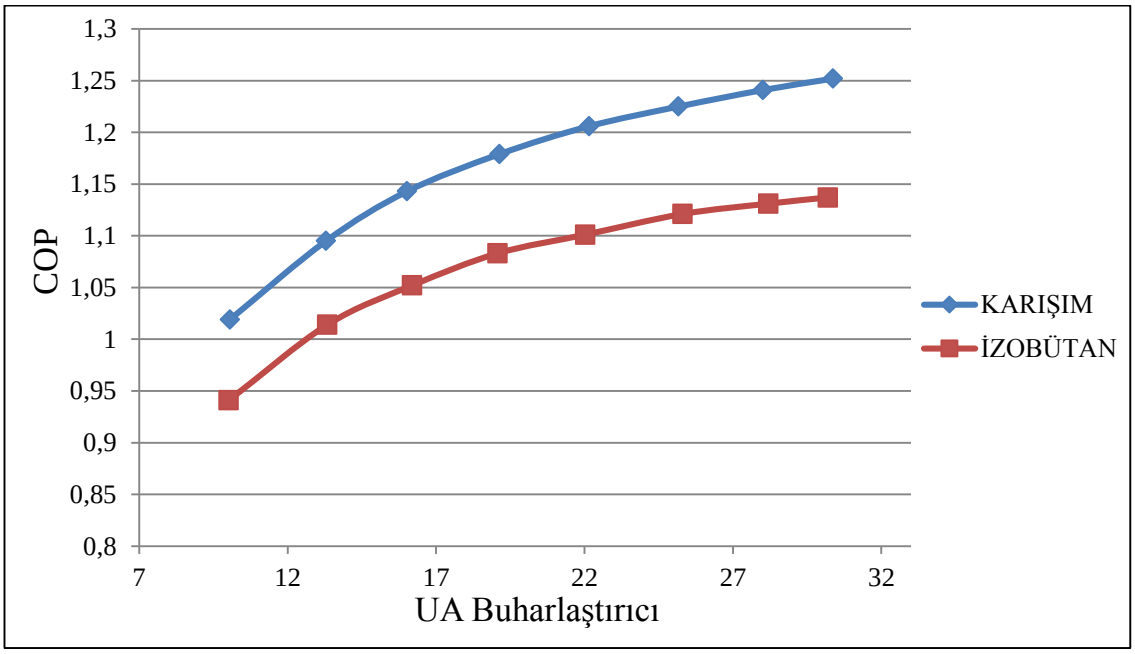
Şekil 6.26 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (B karışımı)

Tablo 6.8 B karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-26,24	37,36	0,539533	0,015052	0,015881	47	928	9,99	10,05	1,019
-26,39	37,38	0,528733	0,01475	0,015434	54,3	921	9,99	13,29	1,095
-26,65	37,39	0,522337	0,014571	0,015176	59	916	10,01	16,02	1,143
-26,69	37,4	0,518054	0,014451	0,015006	62,5	913	10,01	19,13	1,179
-26,82	37,41	0,514887	0,014363	0,01488	65,3	911	10,01	22,15	1,206
-26,77	37,41	0,5129	0,014307	0,014802	67,2	910	10	25,16	1,225
-26,84	37,42	0,511183	0,014259	0,014735	68,85	909	9,99	28,01	1,241
-26,9	37,42	0,509934	0,014224	0,014687	70	908	10	30,37	1,252

Tablo 6.9 Aynı koşullarda (Tablo 6.8) izobütan için hesaplanan değerler

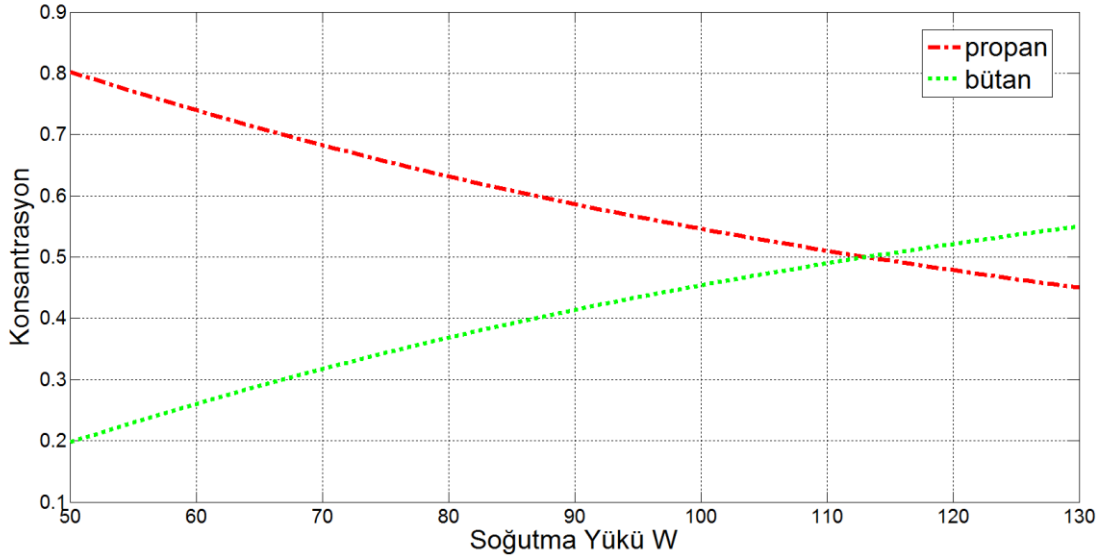
BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-26,24	37,36	0,691811	0,016477	0,015686	36,1	719	10,01	10,01	0,941
-26,39	37,38	0,674155	0,016063	0,015405	41,5	711,5	10	13,33	1,014
-26,65	37,39	0,666047	0,015871	0,014942	44,3	708	10	16,19	1,052
-26,69	37,4	0,659682	0,015719	0,014873	46,6	705	10	19,07	1,083
-26,82	37,41	0,656115	0,015628	0,014654	48	703,5	10	22,02	1,101
-26,77	37,41	0,652457	0,015547	0,014738	49,5	702	10	25,3	1,121
-26,84	37,42	0,65045	0,01549	0,014621	50,3	701	10,01	28,19	1,131
-26,9	37,42	0,649458	0,015469	0,014523	50,7	700,5	10,01	30,2	1,137



Şekil 6.27 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (B karışımı)

Şekil 6.25 incelendiğinde ise yine A karışımında olduğu gibi kompresör çıkışında yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Bu durum hesaplanan kompresör izantropik verimi 0.55 gibi değerlerde özellikle dikkate alınmalıdır. Şekil 6.27'de ise sabit yoğuşturucu UA değeri için COP değerinin değişimi grafik halinde görülmektedir. Grafik incelendiğinde buharlaştırıcı UA değeri arttıkça COP'nin de daha çok arttığı gözlenmektedir.

Şekil 6.28'de ise karışımın farklı soğutma yüklerindeki değişimi görülmektedir. Bu karışım için de A karışımına benzer şekilde soğutma yükü düştükçe propan yönünden zengin bir karışım çevrimde dolaşmaktadır. Ancak bu karışım için konsantrasyon bozulmasının A karışımından bir miktar fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.28 B karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu

6.2.3. C karışımı: Propan/bütan/izobütan (40/40/20)

C karışımı incelenen iki adet üçlü karışımdan bir tanesidir. Tablo 6.10 ve Tablo 6.11'de karışım ve izobütan için 20W/K'de sabitlenen buharlaştırıcı UA'sında değişen kondenser uzunlukları için yapılan hesaplamalar görülmektedir. Sarıyla gösterilen kısım yine buharlaştırıcı ve yoğuşturucu UA'larının sırasıyla 20W/K ve 10W/K değerine en yakın olduğu noktadır ve sıcaklık profilleri ile T-s diyagramları bu noktada çıkartılmıştır.

Tablo 6.10 C karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için

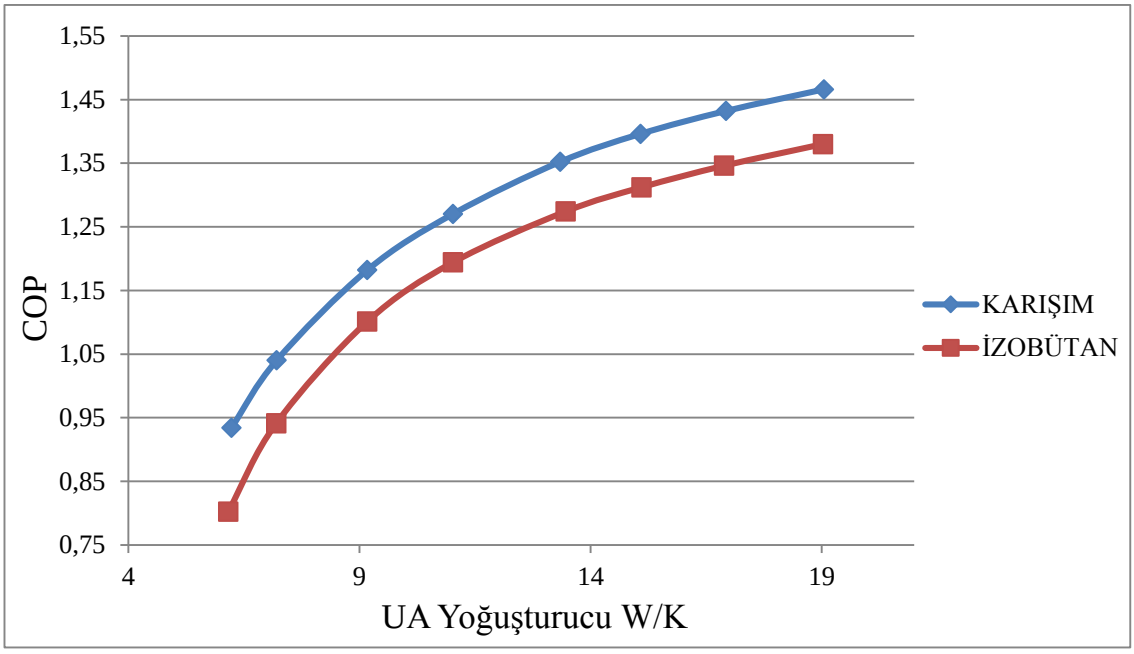
BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-24,14	34,95	0,619681	0,019677	0,021378	67,15	1200	20,005	6,23	0,934
-24,67	35,24	0,579923	0,018392	0,01973	67,12	1070	19,967	7,21	1,04
-25,28	35,58	0,5385	0,017055	0,01804	67	925	19,991	9,17	1,182
-25,52	35,77	0,517959	0,016393	0,017215	66,7	849	20,013	11,02	1,27
-25,91	35,91	0,501984	0,015879	0,016579	66,9	790	20,01	13,34	1,352
-26,06	35,99	0,494103	0,015625	0,016268	66,85	760	20,005	15,08	1,396
-26,14	36,05	0,487891	0,015426	0,016024	66,75	736	19,996	16,93	1,432
-26,21	36,1	0,482491	0,015252	0,015813	66,65	715	20,007	19,05	1,466

Tablo 6.11 Aynı koşullarda (Tablo 6.10) izobütan için hesaplanan değerler

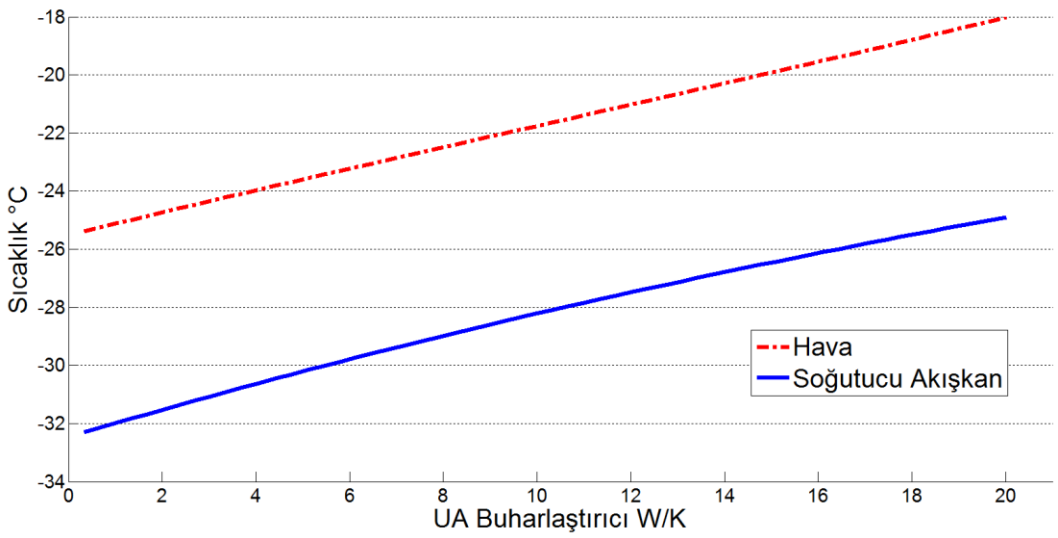
BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-24,14	34,95	0,814136	0,022421	0,021051	51,01	1000	20	6,16	0,802
-24,67	35,24	0,728294	0,020242	0,019378	50,19	850	20	7,2	0,941
-25,28	35,58	0,659134	0,01836	0,017754	49,4	715	20,01	9,17	1,101
-25,52	35,77	0,628027	0,017483	0,017188	48,95	650	19,99	11,02	1,194
-25,91	35,91	0,605238	0,016858	0,01634	48,35	600	19,99	13,46	1,274
-26,06	35,99	0,595308	0,01656	0,016036	48,12	578	20,01	15,1	1,312
-26,14	36,05	0,587186	0,016326	0,015878	47,97	560	20,01	16,89	1,346
-26,21	36,1	0,579838	0,016121	0,015743	47,95	544	20,01	19,03	1,38

Tablo 6.10 ve Tablo 6.11 incelendiğinde %6 ile %10 arasında artışlar görülmektedir. Bu artışlar yoğuşturucu UA değeri arttıkça azalmaktadır. Yoğuşturucu hava debisinde %10 civarında düşüş sağlanmıştır. Soğutucu akışkan debisi ise %20 ile %25 arasında düşürülmüştür. Elde edilen bu değerler Şekil 6.29'de grafik haline getirilmiştir.

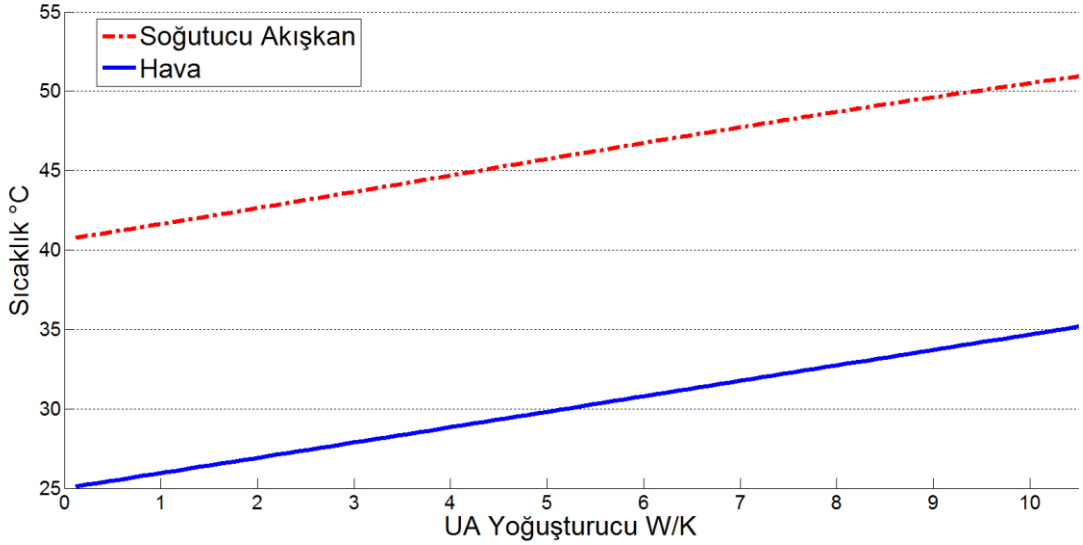
Soğutucu akışkan ve havanın sıcaklık profillerini incelediğimizde Şekil 6.30'de buharlaştırıcıda 7°C civarlarında sıcaklık kayması olduğu görülmektedir. Bu değer ev-tipi buzdolapları için uygun bir değerdir. Yine sıcaklık kayması beklenen şekilde gerçekleşmiştir. Yoğuşturucu incelendiğinde ise Şekil 6.31'da 11°C'lik bir sıcaklık kayması ile beraber uygun profiller görülmektedir. Yoğuşturucu için ise bu sıcaklık kayması yine beklenebilir.



Şekil 6.29 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (C karışımı)

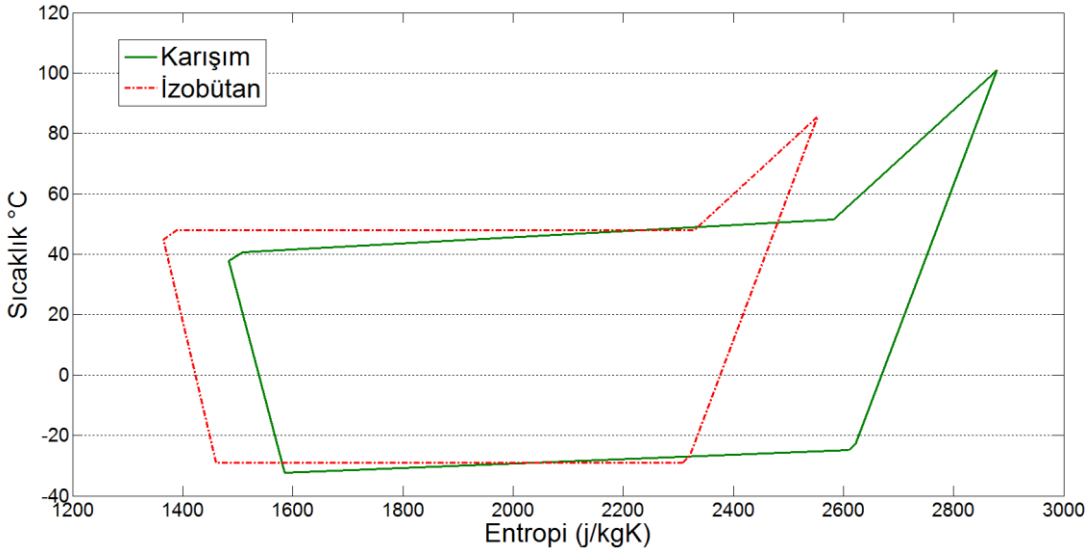


Şekil 6.30 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (C karışımı)



Şekil 6.31 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (C karışımı)

Şekil 6.32'de ise karışım için ve saf izobütan için T-s diyagramı görülmektedir. Bu karışımda kompresör çıkışındaki sıcaklık A ve B karışımlarına göre daha düşük olan yaklaşık 100°C civarlarındadır.



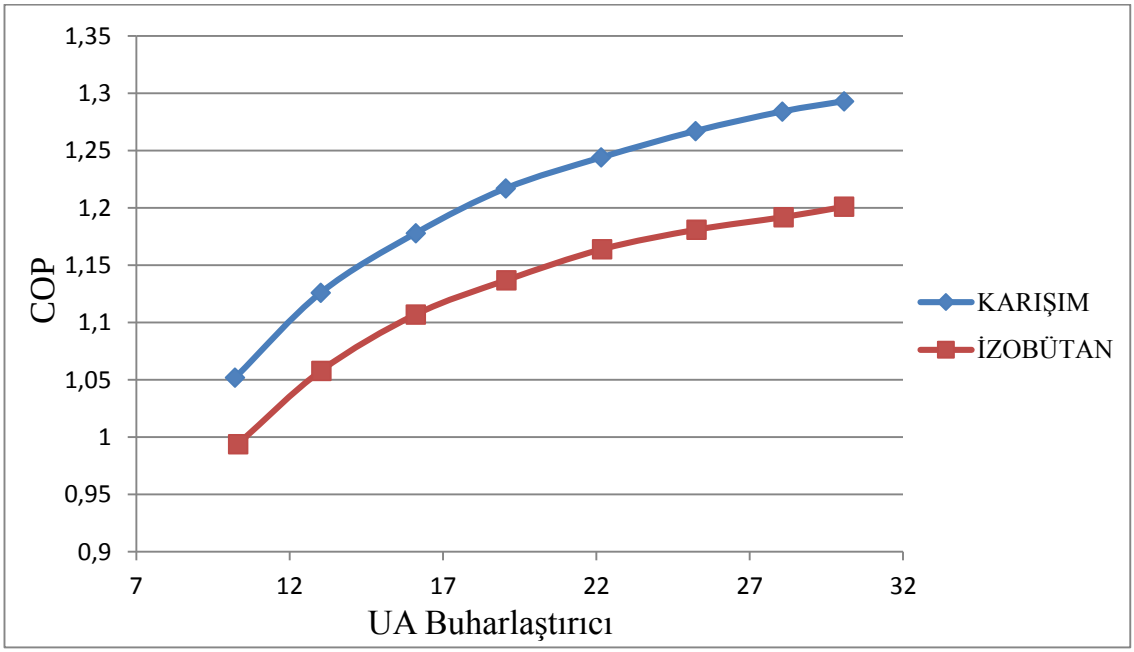
Şekil 6.32 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (C karışımı)

Tablo 6.12 C karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-23,23	32,73	0,572078	0,023759	0,024799	62,5	945	10	10,13	1,095
-23,42	32,75	0,559708	0,023245	0,024159	72	937	10,01	13,28	1,183
-23,49	32,76	0,55267	0,022952	0,023799	78	932	10,02	16,37	1,239
-23,5	32,76	0,548626	0,022784	0,023592	82	930	10	19,31	1,274
-23,59	32,77	0,54517	0,022641	0,023417	85	928	10	22,38	1,306
-23,56	32,77	0,54268	0,022537	0,023291	88	926,2	10	25,63	1,328
-23,6	32,77	0,541091	0,022417	0,02321	89,8	925,5	9,99	28,17	1,344
-23,62	32,77	0,539985	0,022425	0,023155	91	924,8	9,99	30,14	1,355

Tablo 6.13 Aynı koşullarda (Tablo 6.12) izobütan için hesaplanan değerler

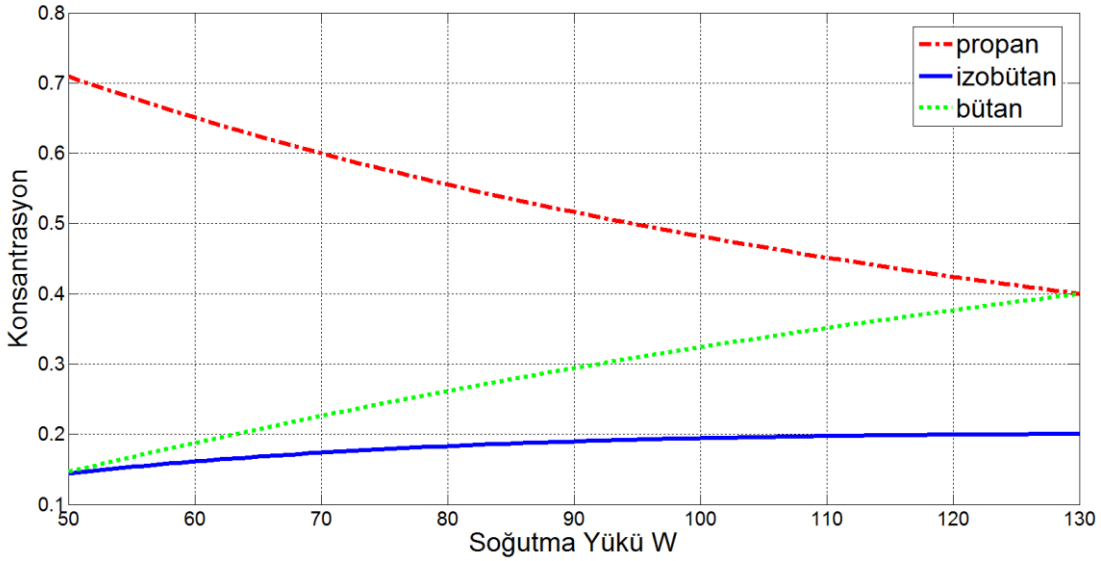
BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-23,23	32,73	0,651959	0,025219	0,024713	39,5	660	9,99	10,05	1,06
-23,42	32,75	0,636862	0,024617	0,023847	45	653	10,01	13,16	1,14
-23,49	32,76	0,627456	0,024248	0,023543	49	649	10,01	16,43	1,197
-23,5	32,76	0,622515	0,02407	0,0235	51,3	647	10	19,11	1,229
-23,59	32,77	0,618103	0,023882	0,023122	53,4	645	10,01	22,32	1,258
-23,56	32,77	0,614969	0,023767	0,023246	55,08	644	9,99	25,47	1,281
-23,6	32,77	0,613083	0,0237	0,02308	56	643	10	28,18	1,294
-23,62	32,77	0,611708	0,023653	0,022998	56,6	642	10,01	30,02	1,303



Şekil 6.33 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (C karışımı)

Tablo 6.12 ile Tablo 6.13 incelendiğinde %3 ile %4 arasında COP değerlerinde artış görülmektedir. Buharlaştırıcı UA değeri arttırıldığında yoğuşturucunun tam tersi şekilde COP değerleri artış göstermektedir. Şekil 6.33'de ise tablolarda okunan değerler grafik halinde görülmektedir.

Şekil 6.34'de farklı soğutma yüklerinde karışım konsantrasyon değişimi görülmektedir. Bu karışımı da %45 propan içeren A ve B karışımlarıyla kıyasladığımızda konsantrasyondaki bozulmanın A karışımına benzer seyrettiğini görebiliriz. Soğutma yükü düştükçe oluşan propan oranındaki artışın da daha çok bütan oranındaki azalmayla karşılandığı görülmektedir.



Şekil 6.34 C karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu

6.2.4. D karışımı: Propan/bütan/izobütan (40/10/50)

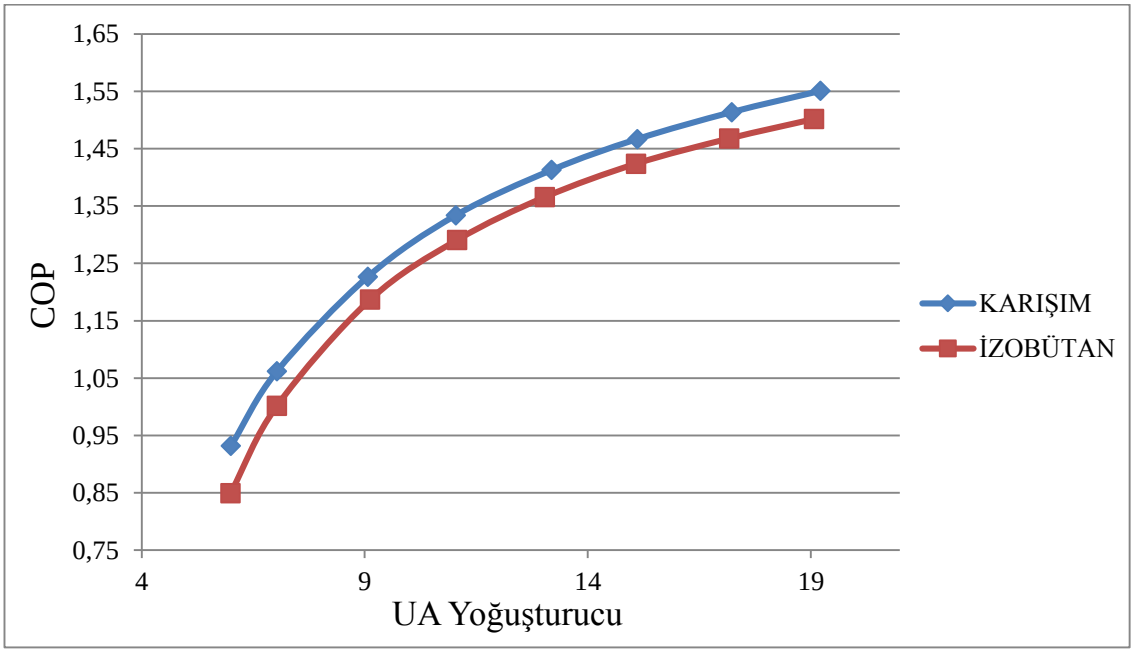
D karışımı incelenen ikinci üçlü karışımdır ve %50 izobütan oranı ile A ve B karışımına benzer özellikler taşır. Tablo 6.14 ve Tablo 6.15 incelendiğinde COP değerlerinde %5 ile %9 arasında artışlar görülmektedir. Şekil 6.35'te izlenebilen bu artışlar yoğuşturucu UA değeri arttıkça azalmaktadır. Soğutucu akışkan debisi ise %10 ile %20 arasında düşüş göstermiştir. Yoğuşturucudaki hava debilerinde ise yüzde %5 ile %10 arasında düşüşler gözlenmektedir.

Tablo 6.14 D karışımı için hesaplanan değerler, 20W/K buharlaştırıcı için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-22,49	32,15	0,661408	0,027489	0,029109	83,1	1300	19,98	6	0,932
-22,92	32,41	0,609577	0,025325	0,026555	83,1	1140	20,03	7,03	1,062
-23,35	32,68	0,560778	0,02329	0,024178	82,75	975	19,98	9,07	1,227
-23,66	32,83	0,536661	0,022286	0,023014	82,95	890	20,02	11,04	1,334
-23,82	32,93	0,521143	0,021641	0,02227	82,8	833	20,01	13,19	1,413
-23,95	32,99	0,511686	0,021247	0,021819	82,8	798	19,99	15,11	1,467
-24,04	33,05	0,504191	0,020936	0,021463	82,8	770	20,03	17,23	1,514
-24,18	33,08	0,498735	0,020709	0,021204	83	750	20,01	19,22	1,551

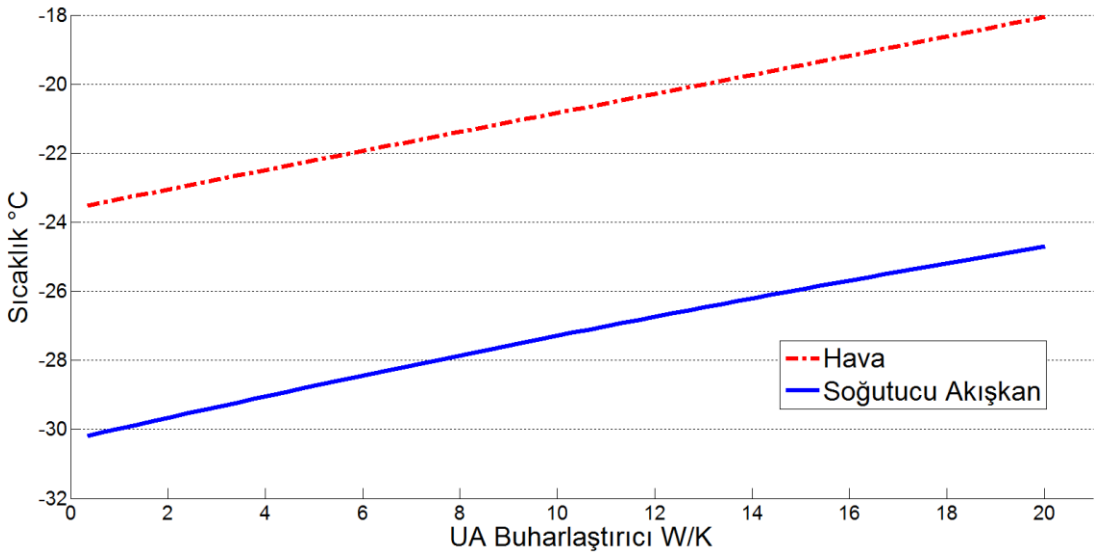
Tablo 6.15 Aynı koşullarda (Tablo 6.14) izobütan için hesaplanan değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-22,49	32,15	0,788649	0,030453	0,028786	53,6	970	20	5,99	0,849
-22,92	32,41	0,705938	0,027323	0,02627	52,95	820	19,99	7,03	1,001
-23,35	32,68	0,636508	0,02465	0,024159	52,35	680	20,01	9,12	1,187
-23,66	32,83	0,606639	0,023448	0,022836	51,8	615	19,99	11,07	1,291
-23,82	32,93	0,588612	0,022711	0,022208	51,52	575	20,01	13,04	1,366
-23,95	32,99	0,576129	0,022234	0,021723	51,35	547	19,99	15,08	1,424
-24,04	33,05	0,567332	0,021854	0,021399	51,2	527	19,99	17,17	1,468
-24,18	33,08	0,561131	0,021701	0,021399	51,15	513	19,99	19,07	1,502

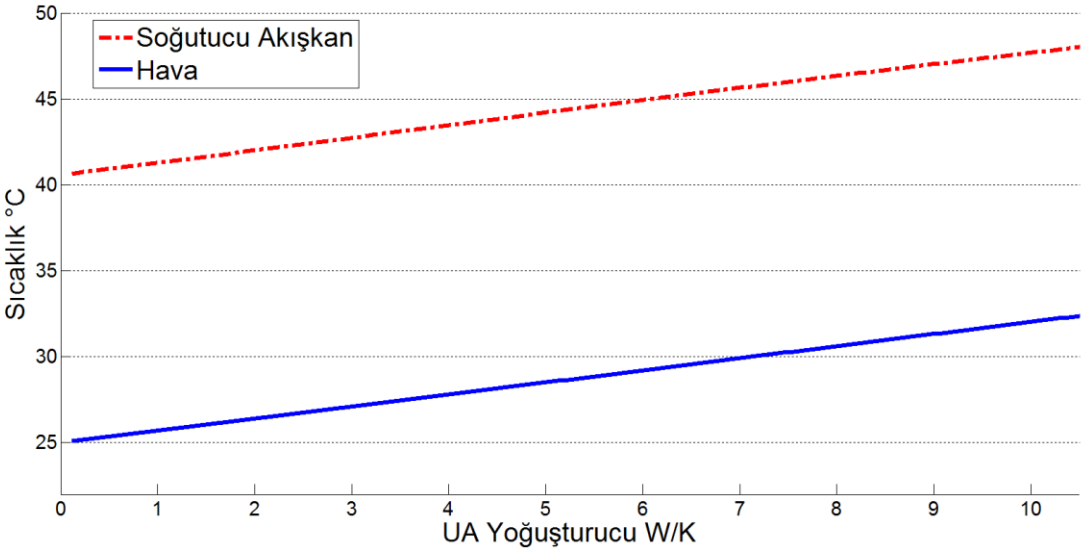


Şekil 6.35 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (D karışımı)

Şekil 6.36 ve Şekil 6.37'ü incelediğimizde buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda hava ile soğutucu akışkan sıcaklık profillerinin birbirine uyumlu olduğu görülmektedir. Buharlaştırıcıdaki 5°C'lik sıcaklık kayması ev-tipi buzdolapları için gayet uygun bir değerdir. Yoğuşturucuda ise 7°C'lik bir sıcaklık kayması görülmektedir. Bu da ev-tipi buzdolaplarında görülen sıcaklık farklarıdır.



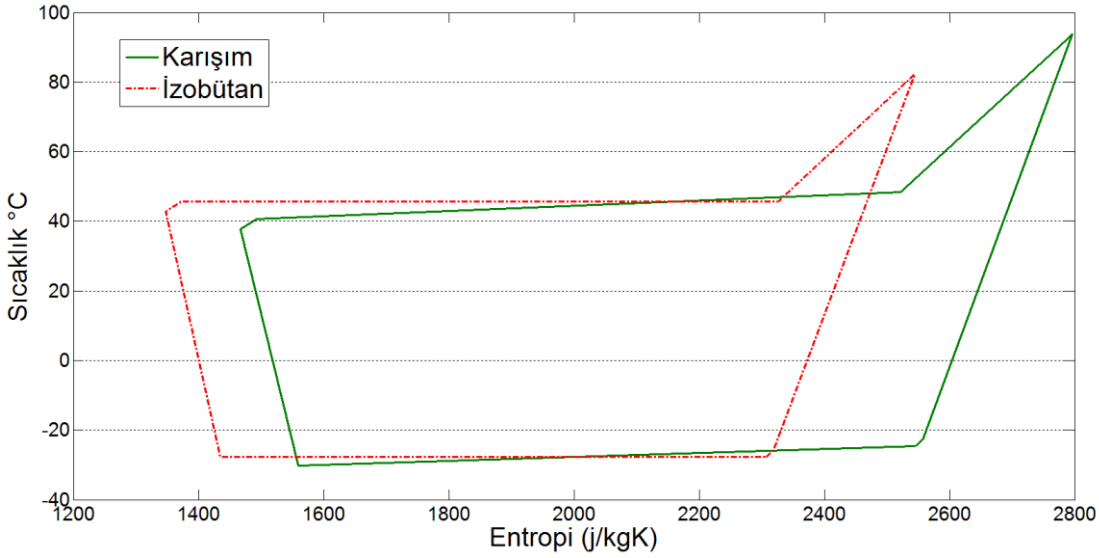
Şekil 6.36 Buharlaştırıcı için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (D karışımı)



Şekil 6.37 Yoğuşturucu için soğutkan-hava sıcaklık profilleri (D karışımı)

Şekil 6.38'de ise karışım ve izobütanın T-s diyagramlarının karşılaştırmalı analizi görülebilir. Kompresör çıkış noktasındaki sıcaklık bu karışımda diğer karışımlara göre daha düşüktür, ayrıca bu karışımın sıcaklık kaymalarının da ev-tipi buzdolapları için

uygun olduğu göz önüne alınırsa kullanım için en uygun alternatif olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 6.38 Karışım ve izobütanın Sıc.-Ent. diyagramında karşılaştırılması (D karışımı)

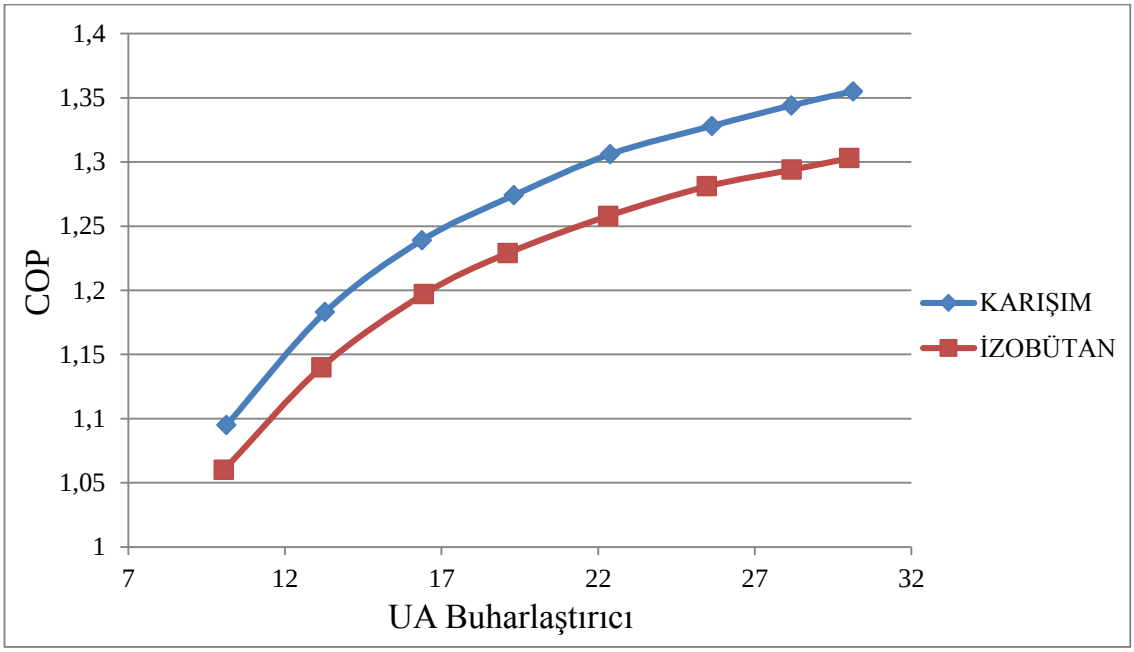
Tablo 6.16 D karışımı için hesaplanan değerler, 10W/K yoğuşturucu için

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-23,23	32,73	0,572078	0,023759	0,024799	62,5	945	10	10,13	1,095
-23,42	32,75	0,559708	0,023245	0,024159	72	937	10,01	13,28	1,183
-23,49	32,76	0,55267	0,022952	0,023799	78	932	10,02	16,37	1,239
-23,5	32,76	0,548626	0,022784	0,023592	82	930	10	19,31	1,274
-23,59	32,77	0,54517	0,022641	0,023417	85	928	10	22,38	1,306
-23,56	32,77	0,54268	0,022537	0,023291	88	926,2	10	25,63	1,328
-23,6	32,77	0,541091	0,022417	0,02321	89,8	925,5	9,99	28,17	1,344
-23,62	32,77	0,539985	0,022425	0,023155	91	924,8	9,99	30,14	1,355

D karışımı için sabit yoğuşturucu UA değerlerinde değişken buharlaştırıcı UA değerlerini incelediğimizde ise Tablo 6.16 ve Tablo 6.17'de COP değerlerinde %3 ile %4 arasında artışlar olduğunu görürüz. Bu artışlar buharlaştırıcı UA değeri arttıkça artmaktadır. COP değerindeki bu artışlar Şekil 6.39'daki grafikten izlenebilir.

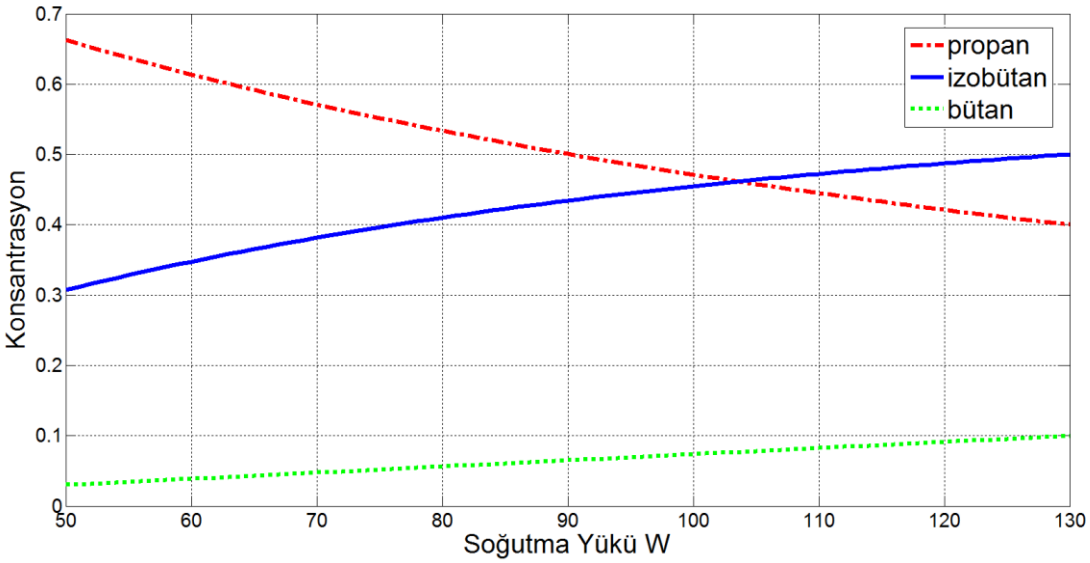
Tablo 6.17 Aynı koşullarda (Tablo 6.16) izobütan için hesaplanan değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	YOĞ. UA (W/K)	BUH. UA (W/K)	COP
-23,23	32,73	0,651959	0,025219	0,024713	39,5	660	9,99	10,05	1,06
-23,42	32,75	0,636862	0,024617	0,023847	45	653	10,01	13,16	1,14
-23,49	32,76	0,627456	0,024248	0,023543	49	649	10,01	16,43	1,197
-23,5	32,76	0,622515	0,02407	0,0235	51,3	647	10	19,11	1,229
-23,59	32,77	0,618103	0,023882	0,023122	53,4	645	10,01	22,32	1,258
-23,56	32,77	0,614969	0,023767	0,023246	55,08	644	9,99	25,47	1,281
-23,6	32,77	0,613083	0,0237	0,02308	56	643	10	28,18	1,294
-23,62	32,77	0,611708	0,023653	0,022998	56,6	642	10,01	30,02	1,303



Şekil 6.39 Karışım ve izobütanın COP değerlerinin kıyaslanması (D karışımı)

Şekil 6.40'ta ise farklı soğutma yükleri için oluşan konsantrasyonlar izlenebilir. Buna göre bu karışımı da %45 propan içeren A ve B karışımı ve %40 propan içeren C karışımı ile kıyasladığımız zaman propan oranının daha az değiştiği görülmektedir. Propandaki bu değişim ise daha çok izobütan oranındaki düşüş ile karşılanmaktadır.



Şekil 6.40 D karışımının farklı yüklerdeki konsantrasyonu

BÖLÜM 7

MEVCUT LİTERATÜR VE SONUÇLARIN MUKAYESESİ

7.1. Mevcut çalışmalara genel bakış

Bu bölümde mevcut literatür verileri ile yapılan çalışmada elde edilen verilerin karşılaştırması yapılarak analiz edilecektir.



Şekil 7.1 Literatürde karşılaştırmalı incelenen çalışmaların seçim süreci

Mevcut literatürde hidrokarbon soğutucu akışkan karışımları ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Literatürde tarama yapılırken karşılaştırma için kullanılan çalışmaların bulunması için Şekil 7.1'de görülen yöntem izlenmiştir. Soğutma ile ilgili yapılan çalışmalar arasından ev-tipi buzdolabı, hidrokarbonlar ve karışımlar konularını inceleyen deneysel çalışmalar incelenmiştir. Bulunan çalışmalar ise genellikle R22 veya R134a gibi soğutucu akışkanların yerine hidrokarbon soğutucu akışkan karışımlarının kullanımı şeklindedir. Genellikle deneysel olarak yapılan çalışmalar her ne kadar mevcut sistemlerin yeni soğutucu akışkanlarla kullanılması durumunda ne kadar uyum göstereceğini ortaya çıkartsa da ileride yapılacak tasarım konularında yeterli bilgi sağlamamaktadır. Bunun en büyük nedeni deneysel olarak mevcut buzdolapları üzerinde yapılan çalışmalardaki bazı parametrelerin sınırlı kalmasıdır. Soğutucu akışkan karışımlarının kullanılarak enerji verimliliği elde edilmesi ise sıcaklık kaymalarının eşleştirilmesi açısından oldukça hassas işlemlerdir. Dolayısıyla bu enerji verimliliğin elde edilebileceği tasarım koşullarının iyi belirlenmesi gerekir.

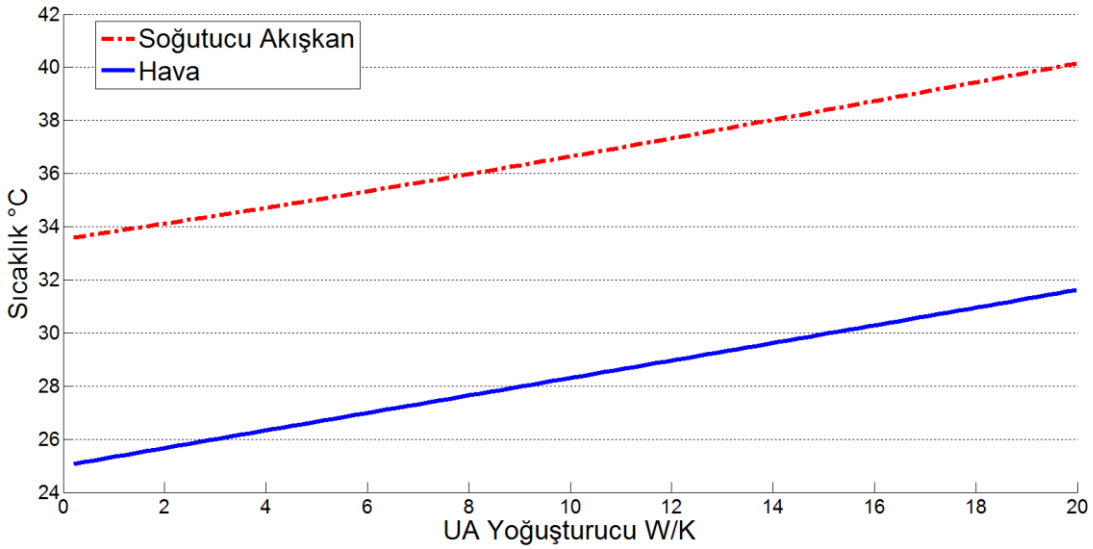
Bu çalışmada ise tüm parametreler kullanılarak ileride yapılacak tasarımlara yardımcı olmak, soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması durumunda hangi noktalarda ne gibi artışların sağlanabileceği sorgulanmıştır. Durumun daha iyi anlaşılması için bir örnek getirilebilir. Mesela R22 yerine soğutucu akışkan karışımlarını denemek isteyen bir araştırmacı daha önce R22 ile çalışan bir buzdolabında farklı hidrokarbon soğutucu akışkanları ve saf hidrokarbon soğutucu akışkanları denediğinde, enerji tüketiminin en az %100 propan durumunda olduğu sonucuna varabilir. Ancak bu durum sadece mevcut buzdolabı için geçerli olan bir durumdur. Böyle bir çalışma soğutucu akışkan karışımı kullanılması durumunda oluşabilecek enerji verimliliği potansiyelini kaçırmış olur. Hâlbuki böyle bir araştırmacı hidrokarbon soğutucu akışkanların enerji verimliliği potansiyelini bulmak istiyorsa önce yaptığı karışımlardaki sıcaklık kaymalarını belirlemeli, daha sonra buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için hava tarafındaki kütlesel debileri ve soğutucu akışkan debisini, ayrıca buharlaştırıcı ve yoğuşturucu için alınan UA değerlerini de işin içine katarak çalışma yapmak durumundadır. Eğer bir çalışmada soğutucu akışkan karışımları deneniyorsa, mutlaka yapılan çalışma için buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklık profilleri ortaya konmalıdır. Aksi takdirde yapılan çalışma sonucunda karışımların daha iyi performans vermesi beklenirken saf soğutucu akışkanlardan daha iyi performans alınabilir ve bu sonuç yanıltıcı olabilir.

Bu bölümde mevcut literatürde elde edilen hidrokarbon soğutucu akışkanların neden iyi olduğu sorusuna cevap aranacak, yapılan çalışmanın literatürde bulunan sonuçlar ile ne ölçüde uyum içerisinde olduğu incelenecektir. Literatürdeki çoğu çalışma soğutucu akışkan karışımlarını incelerken az önce belirtildiği gibi buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tarafındaki sıcaklık profilleri incelememiştir. Burada ise mevcut çalışmalar üzerinden buharlaştırıcı ve yoğuşturucudaki sıcaklık profilleri de çıkartılarak konu üzerinde tartışılacaktır.

7.2. R12 ile karşılaştırma

Richardson ve Butterworth 1995 yılında yaptıkları çalışmada R12 yerine propan/izobütan karışımlarını denemişler ve propan/izobütan (56/44) için en iyi COP değerini yakalamışlardır. Programda yapılan hesaplamalar ise Tablo 7.1'de

görülmektedir. Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te ise bu karışım için oluşan sıcaklık profilleri görülmektedir.

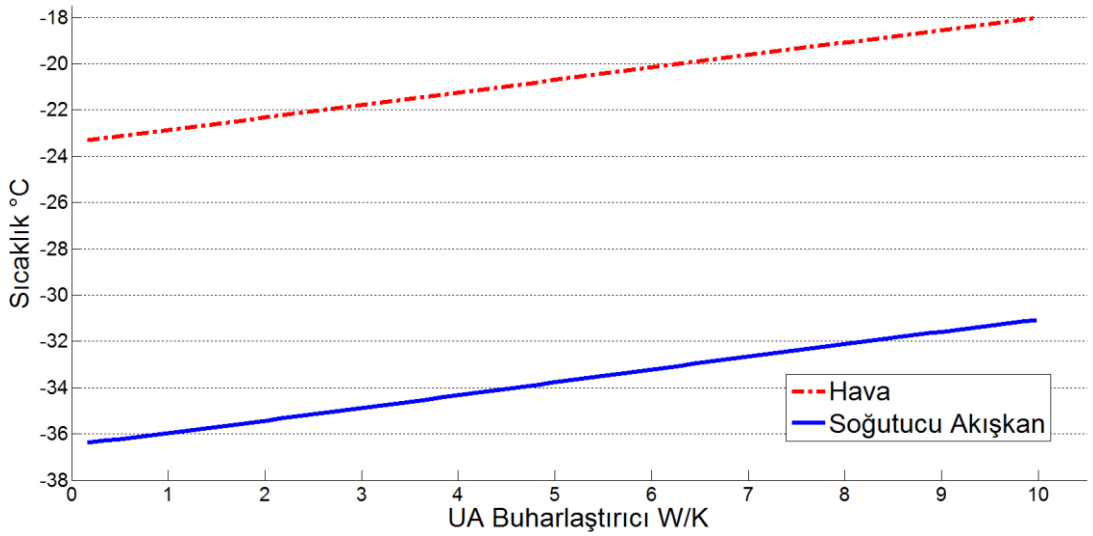


Şekil 7.2 Propan/izobütan (56/44) için yoğuşturucu sıcaklık profilleri

Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 incelendiğinde sıcaklık kaymasının yoğuşturucuda 9°C, buharlaştırıcıda ise yaklaşık 6°C civarlarında olduğu görülmektedir. Bu durum ise ev tipi bir buzdolabı için normal bir koşuldur. Böylece sıcaklık profillerinin bu karışım için uygun olduğu görülür ve bu karışımda COP değerlerinin yükselmesi beklenebilir. Tablo 7.1'de karışım için hesaplanan değerler görülmektedir. Bu değerler genellikle ev tipi buzdolaplarında kullanılan 10 W/K yoğuşturucu ve 20 W/K buharlaştırıcı UA değerleri için hesaplanmıştır. Aynı değerleri R12 soğutucu akışkanında kullandığımızda ise Tablo 7.2'de görülen değerleri elde ederiz.

Tablo 7.1 Propan/izobütan (56/44) karışımı için hesaplanan değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-23,42	31,68	0,514786	0,025446	0,023895	82	878,5	19,99	9,99	1,3485



Şekil 7.3 Propan/izobütan (56/44) için buharlaştırıcı sıcaklık profilleri

Soğutucu akışkan debisinde görülen ciddi farklılık hidrokarbon soğutucu akışkanların neden daha az şarj miktarlarında çalışabildiklerini gösterir. Yapılan çalışmada propan/izobütan karışımlarının R12 ile yakın veya biraz daha yüksek COP değerine sahip oldukları elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalar da bu elde edilen bilgilere paralellik arz etmektedir.

Tablo 7.2 R12 soğutucu akışkanı için aynı koşullardaki (Tablo 7.1) değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-23,42	31,68	1,314868	0,024710	0,023847	111,3	1081	20	10	1,34

7.3. R134a ile karşılaştırma

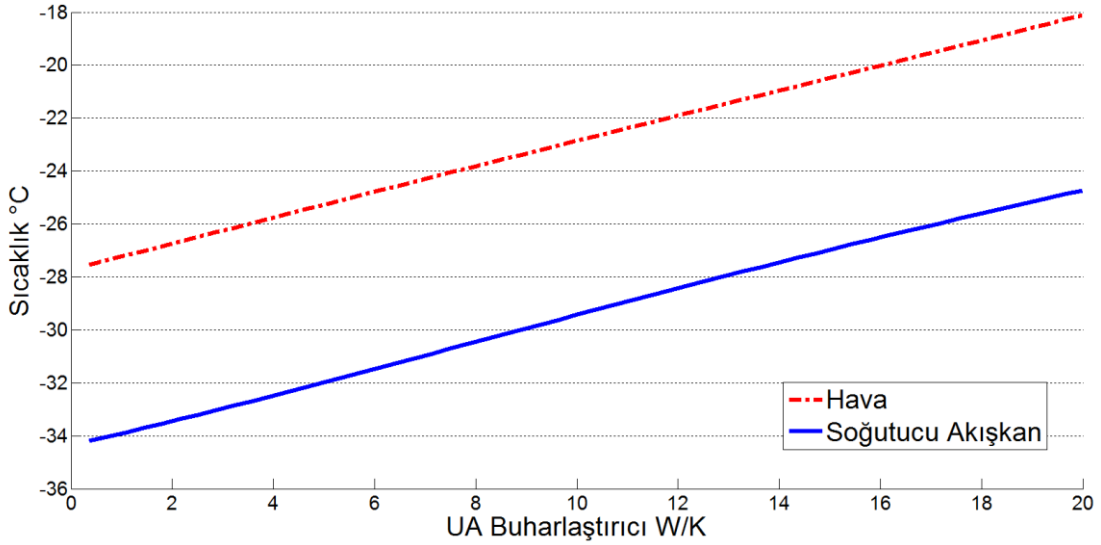
Wongwises ve Chimres 2005 yılında yaptıkları çalışmada ev tipi buzdolabında R134a yerine farklı hidrokarbon soğutucu akışkan karışımlarını denemişler ve ikili karışımlar içerisinde propan/bütan (60/40) karışımının en iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir. Zikredilen karışımın kullanılması durumunda R134a'nın yarısı olan bir şarj miktarıyla R134a'dan daha yüksek enerji verimliliği yakalamışlardır.

Program içerisinde propan/bütan (60/40) karışımı 20W/K buharlaştırıcı ve 10W/K yoğuşturucu UA değerleri ile çalıştırıldığında Tablo 7.3'de görülen değerler

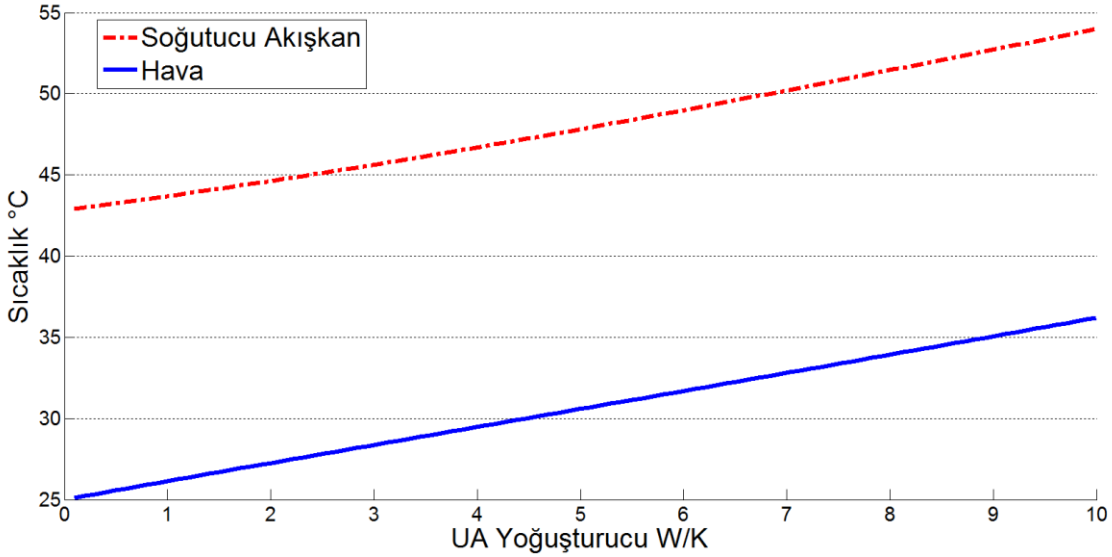
elde edilmektedir. Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de ise bu hesaplamalar için ortaya çıkan buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklık profilleri görülmektedir.

Tablo 7.3 Propan/bütan (60/40) karışımı için hesaplanan değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-27,82	36,30	0.521085	0,015575	0,013312	81,6	1073	20	10	1,176



Şekil 7.4 Propan/bütan (60/40) için buharlaştırıcı sıcaklık profilleri



Şekil 7.5 Propan/bütan (60/40) için yoğuşturucu sıcaklık profilleri

Tablo 7.4 R134a soğutucu akışkanı için aynı koşullardaki (Tablo 7.3) değerler

BUH. ÇIKIŞ °C	YOĞ. ÇIKIŞ °C	SOĞ. DEBİ (g/sn)	YOĞ. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. HAVA DEBİ (g/sn)	BUH. BASINÇ (kPa)	YOĞ. BASINÇ (kPa)	BUH. UA (W/K)	YOĞ. UA (W/K)	COP
-27,82	36,30	1.124921	0,015222	0,013162	812,11	1263	20	10,01	1,112

Alınan değerler incelendiğinde buharlaştırıcıda yaklaşık 8°C'lik, yoğuşturucuda ise 11°C'lik bir sıcaklık kayması oluştuğu görülmektedir. Bu değerler ev tipi buzdolapları için normalin biraz üzerinde kabul edilebilir. Ancak deneysel olarak alınan sonuçlarda görece yüksek sıcaklık kayması olmasına rağmen enerji tasarrufu oluştuğu belirlenmiştir. Tablo 7.4'de R134a için aynı koşullarda alınan değerler okunabilmektedir. Böylece yapılan teorik çalışmada da R134a'nın yerine propan/bütan (60/40) kullanılması durumunda COP'de %6 mertebelerinde artış görülmektedir. Bu artış ise enerji verimliliğindeki bir potansiyeli işaret etmektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlara Genel Bakış

Yapılan çalışmada farklı hidrokarbon soğutucu akışkan karışımları incelenmiş ve bu karışımların performansları analiz edilmiştir.

İncelenen dört farklı soğutucu akışkan karışımı yapılan analizler sonucunda 10W/K yoğuşturucu ve 20W/K buharlaştırıcı UA değerlerinde yaklaşık olarak A karışımı için %2, B karışımı için %8, C karışımı için %15, D karışımı için ise %12 mertebelerinde artışlar görülmüştür.

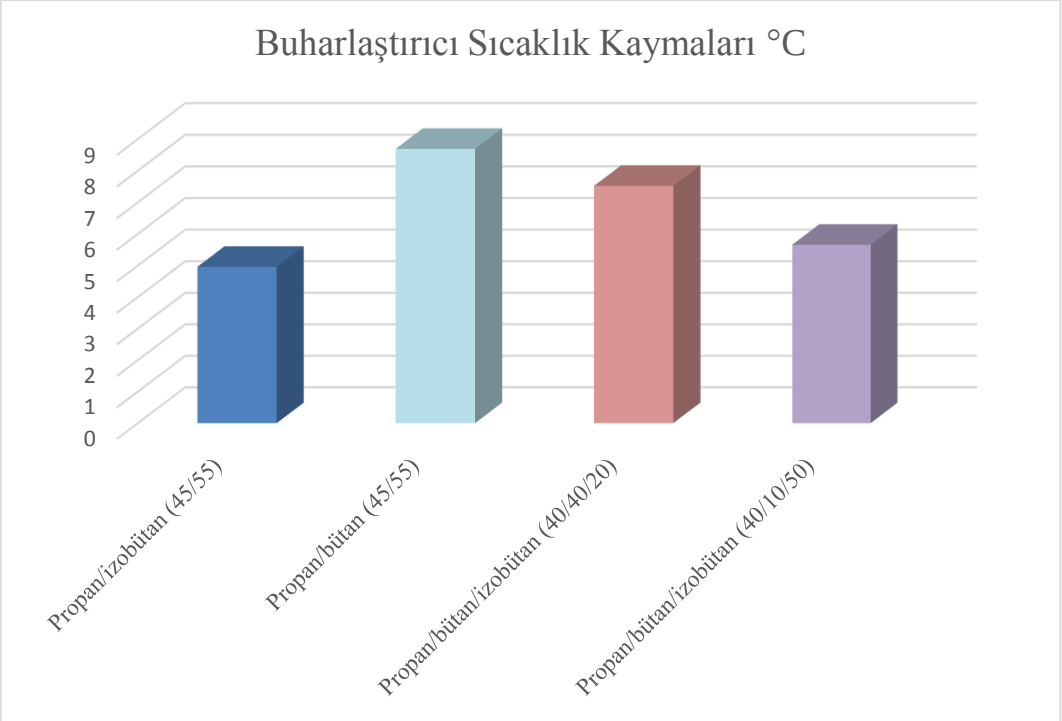
Bulunan bu değerler tam olarak belirli bir soğutucu akışkan karışımını önermekten ziyade, çalışılacak sıcaklık aralıklarına göre nasıl bir soğutucu akışkan karışımı seçileceği konusunu aydınlatmayı amaçlamaktadır ve bu yönde veriler sağlamaktadır. Elde edilen bu veriler mevcut endüstride birebir olarak kullanılmaktan ziyade hazırlanmış olan hesaplama programları ile yapılacak deneysel çalışmalara bir ön hazırlık sağlamaktadır.

Çalışmada incelenen propan, bütan ve izobütanın ikili ve üçlü karışımlarından en iyi enerji tasarrufunu sağlayabilecek uygun karışımlar seçilmiştir. Ancak bu karışımlardaki enerji verimliliğinin kullanılabilmesi için oluşan sıcaklık kaymalarının karşılanabildiği problemlerin oluşması gerekmektedir. Bu durum Şekil 8.1'de okunabilir. Şekil 8.1'de incelenen soğutucu akışkan karışımlarının bu çalışma içerisindeki şartlarda buharlaştırıcıda oluşturdukları sıcaklık kaymaları görülmektedir.

8.2. Öneriler

Farklı soğutucu akışkan karışımlarının farklı sıcaklık kaymaları oluşturmaları sıcaklık kayması avantajının farklı problemlerde de kullanılabileceğini gösterir. Soğutma ve ısıtma uygulamalarında hava tarafındaki veya ısının alıp verildiği

ortamlardaki sıcaklık kaymaları farklı olabilir. Mesela bir ev tipi klima ile bir buzdolabı veya bir soğuk odanın çalışma koşulları birbirinden farklıdır. Böylece farklı her problem için uygun olabilecek farklı bir soğutucu akışkan karışımı oluşturulmalıdır. Bu işlem yapılırken problemdeki buharlaştırıcı giriş çıkış sıcaklıkları ile yoğuşturucu giriş çıkış sıcaklıkları açık bir şekilde belirlenmelidir. Bunun ardından bu noktalardaki sıcaklık kaymalarına uygun soğutucu akışkanlar ve bu soğutucu akışkanların karışımlarının konsantrasyonu belirlenmelidir. Belirlenen bu soğutucu akışkan karışımlarının sıcaklık kaymalarının lineer olmasına özellikler dikkat edilmelidir. Zira bu durum enerji tasarrufunu oluşturan en önemli etkendir.



Şekil 8.1 İncelenen karışımların buharlaştırıcıda oluşturdukları sıcaklık kaymaları

İncelenen soğutucu akışkan karışımları zeotropik olduklarından dolayı sıcaklık kayması oluşturmaktadırlar. Sıcaklık kayması durumu buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tasarımında yenilikleri beraberinde getirmelidir. Günümüzde kullanılan buharlaştırıcı ve yoğuşturucular genellikle buharlaştırıcı ve yoğuşturucuda sıcaklığın sabit olduğu varsayımına dayanılarak tasarlanmıştır. Ancak sıcaklık kayması oluşturan karışımlar için daha farklı buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tasarımları yapılabilir. Bu anlamda özellikle buharlaştırıcı ve yoğuşturucu geometrisi değiştirilebilir. Tasarımda yapılan bu

tip değişiklikler günümüzde kullanılan hesaplamalı akışkanlar mekaniği programlarıyla optimize edilebilir. Bu anlamda hem hava tarafını hem de soğutucu akışkan tarafını içeren modellemeler yapılabilir. Böylece zeotropik karışımların soğutma sistemlerinde kullanımı durumunda oluşabilecek enerji verimliliği daha etkin şekilde kullanılabilir.

Yapılacak bir diğer çalışma ise günümüzde kullanılmaya başlanan 1234yf ve 1234ze gibi GWP oranı düşük soğutucu akışkanların karışımları veya bu soğutucu akışkanların hidrokarbonlar ile karışımlarının incelenmesidir. Böylece daha fazla soğutucu akışkan karışımı incelenerek enerji verimliliği konusunda daha fazla seçenek ortaya konulabilir.

Bu çalışmada birçok parametre sabit tutularak farklı soğutucu akışkan karışımları incelenmiştir. Ancak pratik hayatta bunun oluşması zordur. Parametrelerin sabit tutulması ancak farklı seçenekler arasında bir fikir oluşmasını sağlar. Önceden de belirtildiği gibi pratik sonuçlar ancak deneysel çalışmalar sonrasında elde edilir. Ancak bu çalışmayla deneysel çalışmalara arasında yapılabilecek bazı diğer çalışmalar da oluşturulabilir. Bunlar bu çalışmada sabit tutulan parametrelerin soğutma sistemine etkilerinin araştırılmasıdır. Sözgelimi soğutma yükü, kompresör izantropik verimi gibi parametreler değiştirilerek bu parametrelerin karışım kullanılması durumunda sisteme etkileri tartışılabilir. Bunun dışında soğutucu akışkan debisi gibi bazı parametreler sabit tutularak farklı problemlerin de incelenmesi mümkündür. Mühendislikte parametreler ne kadar çok ise yapılacak çalışmalar da o kadar çoğalır. Hatta farklı parametreler ile yapılacak çalışmaların sayısı sayılamayacak kadardır. Ancak burada bir araştırmacının yapması gereken mevcut parametreler içerisinden hangisinin incelenmesi durumunda pratik hayata daha çok fayda sağlayabileceğinin farkında varması ve bu akıl yürütmeyi önceden yapmış olmasıdır.

KAYNAKLAR

[1] Sattar, M.A., Saidur, R., Masjuki, H.H., ***Performance Investigation of Domestic Refrigerator Using Pure Hydrocarbons and Blends of Hydrocarbons as Refrigerants***, World Academy of Sciences, Engineering and Technology 29, 223-228, 2007.

[2] Radermacher, R., Kim, K., ***Domestic Refrigerators: Recent Developments***, International J. Refrigeration, Vol.19, No.1, 61-69, 1996.

[3] Midgley, T., ***Organic Florides as Refrigerants***, Industrial and Organic Chemistry, Vol.22, No.5, 542-545, 1930.

[4] Rowland, F.S., Molina, M.J., ***Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalyzed destruction of ozone***, Nature, 249, 810-812, 1974.

[5] Stoecker, W.F., Walukas, D.J., ***Conserving energy in domestic refrigerators through the use of refrigerant mixtures***, Int. J. Refrigeration, 4, 201-208, 1981.

[6] Energy Efficient Cities, Joint Action for the Build Environment, European Urban Knowledge Network, 2013.

[7] Didion, D.A., Bivens, D.B***., Role of refrigerant mixtures as alternatives to CFC's***, Int. J. Refrigeration, Vol.13, 163-175, 1990.

[8] Jung, D.S., Radermacher, R., ***Performance simulation of single-evaporator domestic refrigerators charged with pure and mixed refrigerants***, Int. J. Refrigeration, Vol. 14, 223-232, 1991.

[9] James, R.W., Missenden, J.F., ***The use of propane in domestic refrigerators, Int. J. Refrigeration***, Vol. 15, No. 2, 95-100, 1992.

[10] Bodio, E., Chorowski, M., Wilczek, M., ***Working parameters of domestic refrigerators filled with propane-butane mixture***, Int. J. Refrigeration, Vol. 16, No. 5, 1993.

[11] Baskin, E., Perry, R.B., ***The performance of hydrocarbons in a household refrigerator/freezer***, Int. Refrigeration and Air Cond. Conference, Paper 254, 1994.

[12] Richardson, R.N., Butterworth, J.S., ***The performance of propane/isobutene mixtures in a vapour-compression refrigeration system***, Int. J. Refrigeration, Vol.18, No. 1, 1995.

[13] Hammad, M.A., Alsaad, M.A., ***The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerators***, Applied Thermal Engineering 19, 1181-1189, 1999.

[14] Jung, D., Chong-Bo, K., Song, K., Byounjing, P., ***Testing of propane/isobutene mixture in domestic refrigerators***, Int. J. Refrigeration 23, 517-527, 2000.

[15] Tashtoush, B., Tahat, M., Shudeifat, M.A., ***Experimental study of new refrigerant mixtures to replace R12 in domestic refrigerators***, Applied Thermal Engineering 22, 495-506, 2002.

[16] Lee, Y.S., Su, C.C., ***Experimental studies of isobutane (R600a) as the refrigerant in domestic refrigeration system***, Applied Thermal Engineering 22, 507-519, 2002.

[17] Akash, B.A., Said, S.A., ***Assesment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators***, Energy Conversion and Management 44, 381-388, 2003.

[18] Wongwises, S., Chimres, N., ***Experimental study of hydrocarbon mixtures to replace HFC-134a in a domestic refrigerator***, Energy Conversion and Management 46, 85-100, 2005.

[19] Fatouh, M., El Kafafy, M., ***Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG***, Applied Thermal Engineering 26, 1593-1603, 2006.

[20] Mohanraj, M., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., Improved energy efficiency for HFC-134a domestic refrigerator retrofitted with hydrocarbon mixture (HC290/HC600a) as drop-in substitute, Energy for Sustainable Development, Vol. 11, No. 4, 29-33, 2007.

[21] Lee, M-Y., Lee, D-Y., Kim, Y., ***Performance characteristics of a small-capacity directly cooled refrigerator using R290/R600a (55/45)***, Int. J. Refrigeration 31, 734-741, 2008.

[22] Jwo, C-S, Ting, C-C, Wang, W-R, ***Efficiency analysis of home refrigeratos by replacing hydrocarbon refrigerants***, Measurement 42, 697-701, 2009.

[23] Mohanraj, M., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., Chandrasekar, P., ***Experimental investigation of R290/R600a mixture as an alternative to R134a in a domestic refrigerator***, Int. J. Thermal Sciences 48, 1036-1042, 2009.

[24] Rasti, M., Hatamipour, M.S., Aghamiri, S.F., Tavakoli, M., ***Enhancement of domestic refrigerator's energy efficiency index using a hydrocarbon mixture refrigerant***, Measurement 45, 1807-1813, 2012.

[25] Hundy, G.F., Trott, A.R., Welch, T.C., ***Refrigeration and Air Conditioning, Fourth Edition,*** 2008.

[26] Bellis, M., ***Freon***, http://inventors.about.com/library/inventors/blfreon.htm, 2013.

[27] Nguyen, D.C., ***Non-Azeotropic Refrigerant Mixture(NARM) Vapor Compression Cycles***, Oklahoma State University, Doctorate of Philosophy, 1992.

[28] Ragazzi, F., Pedersen, C.O., ***Thermodynamic Optimization of Evaporators with Zeotropic Refrigerant Mixtures***, ACRC, University of Illionis, TR-74, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

31.08.1986'da Manisa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Yeşilköy 50.Yıl Anadolu Lisesi'nden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl başladığı Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında mezun oldu. 2 yıl kadar özel sektörde market soğutma sistemleri alanında çalıştı. 2011 Mayıs ayında askerlik hizmetini tamamladı ve aynı yıl Eylül ayında Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimi ile beraber Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Görevine ve eğitimine halen devam etmektedir.

İletişim:
0533 315 34 23 / ubadekemerli@hotmail.com