T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

R404A SOĞUTUCU AKIŞKANI KULLANAN SİSTEMLERDE R442A VE R453A SOĞUTUCU AKIŞKANLARI KULLANILARAK SİSTEM VERİMLERİNİN ARTTIRILMASI

Sertaç ENDER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DİYARBAKIR
Şubat - 2018

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Seraç ENDER tarafından yapılan "R404A Soğutucu Akışkanı Kullanan Sistemlerde R442Ave R453A Soğutucu Akışkanları Kullanılarak Sistem Verimlerinin Arttırılması" konulu bu çalışma , jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Doç.Dr. Vedat ORUÇ

Üye : Yrd. Doç.Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU

Üye : Yrd. Doç.Dr. Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 16/02/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2018

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında çok önemli katkıları olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. A.Gencer DEVECİOĞLU'na ve MÜHENDİSLİK-15.001 numaralı projesi ile desteğinden dolayı Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Sertaç ENDER

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR…… I

İÇİNDEKİLER……..... II

ÖZET……..... IV

ABSTRACT……..... V

ÇİZELGE LİSTESİ……..... VI

ŞEKİL LİSTESİ……..... VII

EK LİSTESİ……..... X

KISALTMA VE SİMGELER…… XI

1. GİRİŞ……..... 1

1.1. Doğal Soğutucu Akışkanlar……..... 4

1.1.1. Amonyak(R717)……... 4

1.1.2. Karbondioksit(R744)……... 4

1.2. Hidrokarbonlar(HC)……..……..……... 5

1.3. Hidrofloroolefinler(HFO)……..... 5

1.3.1. R1234yf……..……..... 5

1.3.2. R1234ze……..……..... 5

1.4. Soğutucu Akışkanların Özellikleri……... 5

1.5. Soğutucu Akışkanların Sınıflandırılması…… 6

1.6. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sistemi……..……... 8

1.6.1. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sistemi Temel Elemanları…….. 11

1.6.1.1. Kompresör…..……...…… 11

1.6.1.2. Kondenser(Yoğuçturucu)...……..…… 12

1.6.1.3. Genleşme Valfi…...…...…… 12

1.6.1.4. Evaporatör(Buharlaştırıcı)…..……..…… 12

1.7. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkisi……..…….. 12

1.7.1. Ozon Tabakasının Aşınması……. 13

1.7.1.1. Montreal Protokolü……... 14
1.7.2. Küresel Isınma…..…… 15
1.7.2.1. Kyoto Protokolü.……...…… 16
1.7.2.2. F-Gaz Yönetmeliği……... 16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR…….. 19
2.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar……... 19
3. MATERYAL VE METOT……....…… 27
3.1. Materyal…… 27
3.1.1. Çalışılan Soğutucu Akışkanlar……..……... 27
3.1.1.1. R404A……..……. 27
3.1.1.2. R442A……..……. 27
3.1.1.3. R453A……..……. 27
3.2. Metot…….…… 29
3.2.1. Deney Düzeneği, Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri…….……. 29
3.2.2. Hesaplamalar…… 34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI…… 37
5. TARTIŞMA VE SONUÇ…….……..... 61
6. KAYNAKLAR……..... 65
EKLER……..... 69
ÖZGEÇMİŞ……... 81

ÖZET

R404A SOĞUTUCU AKIŞKANI KULLANAN SİSTEMLERDE R442A VE R453A SOĞUTUCU AKIŞKANLARI KULLANILARAK SİSTEM VERİMLERİNİN ARTTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sertaç ENDER

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Bu çalışmada R404A soğutucu akışkanı kullanılan buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde hiçbir değişiklik yapılmadan R404A yerine R442A ve R453A kullanılması deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, aynı çalışma şartları altında üç farklı buharlaşma sıcaklığı(-6°C, -3°C ve 0°C) ve üç farklı yoğuşma sıcaklığında(35°C, 40°C ve 45°C) İç Isı Değiştiricinin (IHX) etkisinin de tespit edilmesi için tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda soğutucu akışkanlara ait soğutma kapasitesi, kompresörde harcanan enerji, performans katsayısı(COP), kütlesel debi, izentropik ve hacimsel verim, sıkıştırma oranı ve kuruluk dereceleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu enerji parametreleri akışkanların kendi aralarındaki ve IHX kullanılıp kullanılmaması durumlarına göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuçların ortalama değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmeye göre, R442A ve R453A nın soğutma kapasitelerinin sırayla R404A dan %6.92 ve %3.10 daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, IHX kullanımı soğutma kapasitelerinin %19.63 ve %24.0 arttırmaktadır. Performans katsayılarında %10.83 ve %13.38 artış gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, IHX in etkisiyle, performans katsayılarında %25.29 ve %26.97 fazladan artış olmaktadır. Soğutma sistemlerinde Küresel Isınma Potansiyeli(GWP) 3943 olan R404A soğutucu akışkanının yerine GWP'si R404A'ya göre %52 daha düşük olan R442A(GWP:1888) ve %55 daha düşük olan R453A(GWP:1765) kullanılabilir. Sonuç olarak R442A ve R453A, R404A'nın yerine orta vadede kullanılabilecek uygun soğutucu akışkanlar olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: R404A, R442A, R453A, GWP, IHX

ABSTRACT

INCREASE OF SYSTEM EFFICIENCIES BY USING R442A AND R453A REFRIGERANTS IN SYSTEMS WHICH USE R404A

MASTER THESIS

Sertaç ENDER

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2018

In this study, the use of R442A and R453A instead of R404A was experimentally investigated without any changes in the vapour compression refrigerant system which uses R404A refrigerant. Experiments were conducted under the same operating conditions, and they are repeated at three different evaporation temperatures (-6°C, -3°C, and 0°C), and three different condensation temperatures (35°C, 40°C and 45°C) also, in order to detect the effect of internal heat exchanger (IHX). From the results of the experiments, the cooling capacity of the refrigerants, the energy consumed in the compressor, the performance coefficient (COP), the mass flow rate, the isentropic and volumetric efficiency, the quality and the compression ratios were determined. Energy parameters of these refrigerants are coMPared among them. Furthermore, effects of IHX usage are also investigated. According to the evaluation which is made using the averages of results, we have seen that the cooling capacity of R442A and R453A are 6.92% and 3.10% higher than that of R404A, respectively. Moreover, the use of IHX gives an additional 19.63% and 24.0% increase in the cooling capacity. We have observed 10.83% and 13.38% increases in the performance coefficients. In addition, with the effect of IHX, there is an additional increase in the performance coefficients by 25.29% and 26.97%. In the refrigerant systems, instead of R404A, which has a Global Warming Potential (GWP) 3943, R442A with GWP 52% smaller than that of R404A (R442A GWP: 1888) and R453A (GWP: 1765) with GWP 55% smaller than GWP of R404A could be used. As a result, it is observed that R442A and R453A refrigerants are suitable for use, instead of R404A in the middle term.

Key Words: R404A, R442A,R453A, GWP, IHX

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1.	Bazı soğutucu akışkanların temel özellikleri	3
Çizelge 3.1.	Çalışılan soğutucu akışkanların temel özellikleri	28
Çizelge 3.2.	Ölçüm cihazlarının özellikleri	33
Çizelge 5.1.	Deney sonucunda elde edilen parametrelerin ortalama değerleri	62

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Geçmişten günümüze soğutucu akışkanlar	2
Şekil 1.2.	Tek bileşenli soğutucu akışkanların sınıflandırılması	7
Şekil 1.3.	Karışım halindeki soğutucu akışkanların sınıflandırılması	7
Şekil 1.4.	Soğutma sistemi temel elemanları	9
Şekil 1.5.	İdeal soğutma çevrimi *P-h* diyagramı	10
Şekil 1.6.	Gerçek soğutma çevrimi *P-h* diyagramı	10
Şekil 1.7.	IHX'li sistemde *T-S* diyagramı	11
Şekil 1.8.	CFC'lerin ozon tabakası üzerindeki etkisi	14
Şekil 3.1.	R404A, R442A ve R453A soğutucu akışkanların *P-h* diyagramı	28
Şekil 3.2.	Hermetik kompresör, Evaporatör(iç Ünite) ve Termostatik genleşme valfi	29
Şekil 3.3.	Soğuk Oda(Kontrol Hacmi)	30
Şekil 3.4.	Kütlesel debi ölçme cihazı	31
Şekil 3.5.	Dijital manifold, Veri toplama ünitesi	31
Şekil 3.6.	Güç analiz cihazı	32
Şekil 3.7.	Kullanılan Soğutucu Akışkanlar(R453A, R442A ve R404A) ve Elektronik Terazi	32
Şekil 3.8.	İç Isı Değiştirici(IHX)	33
Şekil 3.9.	IHX'li soğutma sistem şeması	34
Şekil 4.1	IHX'siz sistemde $\dot{Q}_e$'nin T_e ve T_c sıcaklığı ile değişimi	37
Şekil 4.2.	IHX'li sistemde $\dot{Q}_e$'nin T_e ve T_c sıcaklığı ile değişimi	38
Şekil 4.3.	R404A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi	38
Şekil 4.4.	R442A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi	39
Şekil 4.5.	R453A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi	39
Şekil 4.6.	IHX'siz sistemde COP değerinin T_e ve T_c sıcaklığı ile değişimi	40
Şekil 4.7.	IHX'li sistemde COP değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi	41
Şekil 4.8.	R404A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi	41

Şekil 4.9. R442A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi 42

Şekil 4.10. R453A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi 42

Şekil 4.11. 35 ^{o}C T_c sıcaklığında W_{el} değerinin T_e sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi 44

Şekil 4.12. 40 ^{o}C T_c sıcaklığında W_{el} değerinin T_e sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi 45

Şekil 4.13. 45 ^{o}C T_c sıcaklığında W_{el} değerinin T_e sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi 46

Şekil 4.14. IHX'siz sistemde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 47

Şekil 4.15. IHX'li sistemde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 47

Şekil 4.16. R404A'lı soğutma çevriminde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıları ile değişimi ve IHX etkisi 48

Şekil 4.17. R442A'lı soğutma çevriminde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi 48

Şekil 4.18. R453A'lı soğutma çevriminde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi 49

Şekil 4.19. IHX'siz sistemde izentropik verimin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 50

Şekil 4.20. IHX'li sistemde izentropik verimin T_e ve T_c sıcaklıları ile değişimi 51

Şekil 4.21. IHX'siz sistemde hacimsel verimin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 52

Şekil 4.22. IHX'li sistemde hacimsel verimin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 53

Şekil 4.23. R404A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve izentropik verimin değişimi ve IHX etkisi 54

Şekil 4.24. R442A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve izentropik verimin değişimi ve IHX etkisi 54

Şekil 4.25. R453A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve izentropik verimin değişimi ve IHX etkisi 55

Şekil 4.26. R404A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve hacimsel verimin değişimi ve IHX etkisi 56

Şekil 4.27. R442A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve hacimsel verimin değişimi ve IHX etkisi 56

Şekil 4.28. R453A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve hacimsel verimin değişimi ve IHX etkisi 57

Şekil 4.29. IHX'siz ve IHX'li çevrimde P_H'ın T_c sıcaklığı ile değişimi 58

Şekil 4.30. IHX'siz sistemde x'nin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 59

Şekil 4.31. IHX'li sistemde x'nin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi 59

EK LİSTESİ

Ek No		Sayfa
Ek-1	R404A Soğutucu Akışkanının T-S Diyagramı	69
Ek-2	R442A Soğutucu Akışkanının T-S Diyagramı	70
Ek-3	R453A Soğutucu Akışkanının T-S Diyagramı	71
Ek-4	R404A Soğutucu Akışkanının Termodinamik Tablosu	72
Ek-5	R442A Soğutucu Akışkanının Termodinamik Tablosu	75
Ek-6	R453A Soğutucu Akışkanının Termodinamik Tablosu	78

KISALTMA VE SİMGELER

ASHP	:Hava Kaynaklı ısı PoMPası
ASHRAE	:Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Amerikan Derneği
CCOL	:Ozon Tabakası Koordinasyon Komitesi
CFC	:Kloroflorokarbon
COP	:Performans Katsayısı
GWP	:Küresel Isınma Potansiyeli
h	:Entalpi(kj/kg)
HCFC	:Hidrokloroflorokarbon
IHX	:İç Isı Değiştirici
LGWP	:Düşük Küresel Isınma Potansiyeli
$\dot{m}$	:Kütlesel Debi(g/s)
η_{is}	:İzentropik Verim
$\eta_{volumetrik}$	:Hacimsel Verim
ODP	:Ozon Yok Etme Potansiyeli
P	:Basınç(kPa)
P_H	:Yüksek Basınç(kPa)
P_L	:Düşük Basınç(kPa)
$\dot{Q}_c$	:Kondenser Kapasitesi(W)
$\dot{Q}_e$	:Soğutma Kapasitesi(W)
T_c	:Yoğuşma Sıcaklığı
T_e	:Buharlaşma Sıcaklığı
TEWI	:Toplam Eşdeğer Isıtma Etkisi
UNCED	:Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı
UNEP	:Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	:Birleşmiş Milletler Çerçeve Anlaşması
W_{el}	:Kompresörde Harcanan Güç(W)
WMO	:Dünya Meteoroloji Örgütü

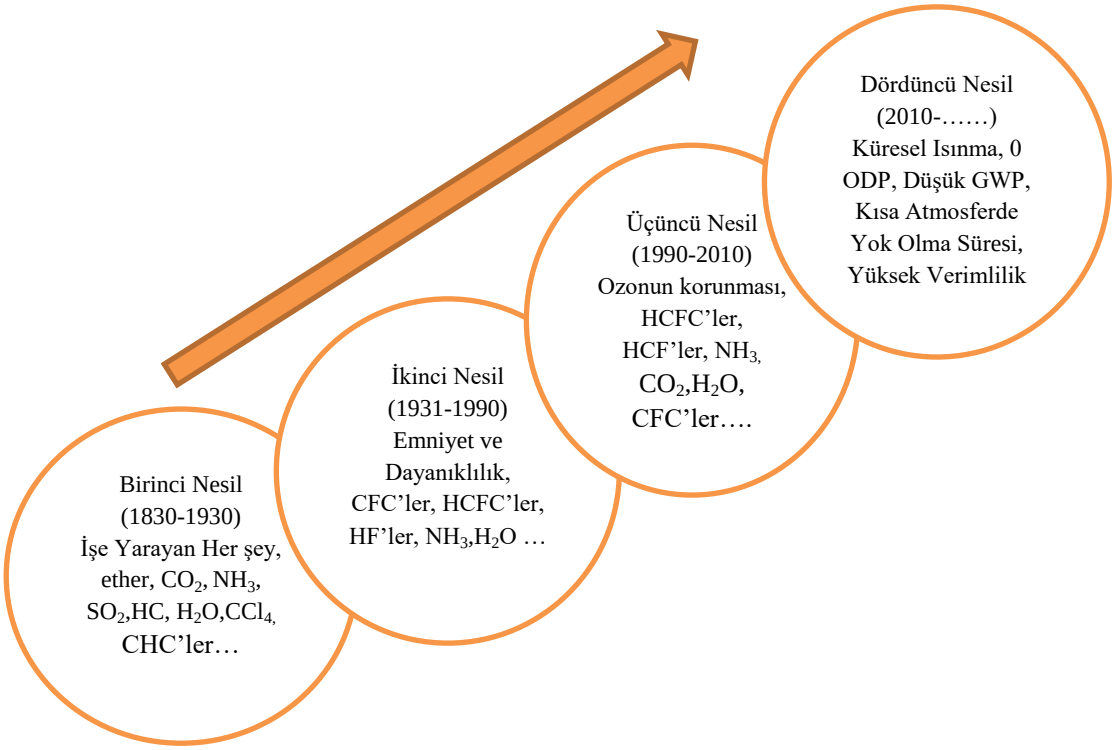
1. GİRİŞ

Soğutmanın tarihsel süreci, buzun depolanarak kullanılması, suyun buharlaştırılması ve buna benzer yöntemlerle soğutma yapılan dönemlere kadar dayanmaktadır. 1600'lü yıllarda bilim adamları faz değişim konusunda yaptıkları çalışmalarla soğutma sistemlerinin temellerini atmışlardır. 1830 'lu yıllarda, Perkins tarafından ilk buhar sıkıştırmalı makine icat edilmiş ve soğutucu akışkanlar kullanılarak soğutma sağlanmıştır(Araz ve ark. 2013).

Soğutma sanayisinin 1850 yıllarında ortaya çıkması ile ilk başlarda karbondioksit, hava, su, amonyak gibi doğal maddeler akışkan olarak kullanılarak soğutma yapılmıştır. Perkins tarafından 1834 de üretilen ilk pratik soğutma makinesinde soğutucu madde olarak eter kullanılmış ve buhar sıkıştırmalı çevrim esas alınmıştır. Soğutma sanayinde karbondioksit (CO_2) ilk olarak 1866'da, amonyak(NH_3) ise 1873'de kullanılmıştır.

Soğutma sanayisinin fazla gelişmediği dönemlerde gıdaların muhafazası buz kalıplarının biriktirilerek kullanılması veya endüstriyel olarak üretilmesi sayesinde sağlanabilmiştir. Hava, su, amonyak, CO_2, eter, sülfürdioksit gibi doğal maddelerin soğutucu olarak kullanılması, yapay olarak elde edilen kloroflorokarbonların(CFC) ve hidrokloroflorokarbonların (HCFC) bulunmasına kadar sürmüştür. Laboratuvarlarda elde edilen CFC ve HCFC'ler bu doğal soğutucu akışkanların bir kısmının yerini alarak yoğun şekilde kullanılmaya başlamıştır. 1926'da ilk CFC olan R12'yi Thomas Midgely bulmuştur. Sülfürdioksit ile karşılaştırıldığında CFC'lerin yanmaz, zehirsiz ve daha verimli oldukları görülmüştür. Laboratuvarda oluşturulan soğutucuların ticari olarak üretimine 1931'de başlanmıştır. İlk kullanılan yapay soğutucular CFC11, CFC12, CFC113, CFC114, HCFC22 ve R502'dir. İkinci dünya savaşından sonra CFC'ler ve HCFC'ler soğutma piyasasına yerleşmişler. Ancak amonyak büyük soğutma tesislerinde kullanılmaya devam etmiştir. Fakat bu soğutucu gazların soğutma sistemi içinde tekrar kullanılamaması ve zamanla çevreye atılması atmosferde sera etkisinin artmasına ve canlıları güneşten gelen zararlı ışınlardan koruyan ozon tabakasının tahrip olmasına neden olmuştur. Bu olumsuz gelişmeler, küresel ısınma ve ozon delme potansiyeli düşük olan yeni alternatif soğutucu akışkanlar üzerine çalışmaları başlatmıştır(Çomaklı ve ark. 2006).

1830 yılından bugüne kadar değişen koşullar, çevresel etkiler, yasal zorunluluklar gibi faktörlerin etkisiyle sahip olması istenilen özelliklere göre pek çok soğutucu akışkan geliştirilmiş ve sistemlerde kullanılmıştır. Calm(2008) yaptığı çalışmada, Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi soğutucu akışkanları dört nesle ayırmıştır.



Şekil 1.1. Geçmişten günümüze soğutucu akışkanlar

1. Nesil olarak sınıflandırılan soğutucu akışkanlara bakıldığında işe yarayan her akışkan kullanılmıştır. 2. Nesilde güvenlik ve kalıcılık gibi özellikler ön plana çıkmıştır. 3. Nesilde ozon tabakasının korunması gündeme gelmiş ve ozon tabakasına zarar vermeyecek soğutucu akışkanlar kullanılmıştır. Günümüzde kullanılan 4. Nesil soğutucu akışkanlarda ise artan küresel ısınma endişelerinden dolayı soğutucu akışkanların, 0 ODP ve düşük GWP değerlerine sahip olması, verimliliğinin yüksek olması ve kısa süre içerisinde atmosferde yok olması gibi şartlar gerekli hale gelmiştir(Araz ve diğerleri, 2013).

Soğutucu akışkanların çevresel etkileri göz önüne alınarak hazırlanan yasal düzenlemelerin getirdiği kısıtlama ve zorunluluklar soğutma sistemlerinde çeşitli alternatif soğutucu akışkanların kullanımına yönelimi sağlamıştır. Soğutucu akışkanların neden olduğu çevresel sorunların engellenmesinin başka bir yolu da yeni soğutucu akışkanlar geliştirmektir(Jarahnejad, 2012). Çizelge 1.1.'de bazı soğutucu akışkanların temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı soğutucu akışkanların temel özellikleri

Soğutucu Akışkan	Kimyasal Bileşim	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Kritik Sıcaklık(°C)	Kritik Basınç(MPa)	Normal Kaynama Sıcaklığı(°C)	Emniyet Sınıfı	ODP	GWP
Amonyak (R717)	N-H3	17.02	132.3	11.28	-33.34	B2	0	0
CO2 (R744)	O=C=O	44.01	31.03	7.38	-56.6	A1	0	1
Propan (R290)	CH3-CH2-CH3	44.10	134.67	4.23	-42.09	A3	0	3
Propilen (R1270)	CH2=CH-CH3	42.08	52.42	4.62	-47.69	A3	0	3
R11	CFCL3	137.37	198	44.1	23.8	A1	1	3400
R22	CHF2CL	86.47	96.2	49.9	-40.8	A1	0.05	1810
R32	CH2F2	52.02	78.2	5.8	-51.7	A2L	0	580
R134a	C2H2F4	102.03	101.1	40.6	-26.1	A1	0	1200
R125	CF3CHF2	120.02	66.3	3.63	-48.1	A1	0	3200
R152a	F2HC-CH3	66.05	114	4.76	-24	A2	0	140
R1234ze (E)	Trans, CHF= CHCF3	114.04	109	3.63	-20	A2L	0	6
R1234yf	CF3CF=CH2	114	95	3.38	-29	A2L	0	4

Bir soğutucu akışkanın kabul edilebilmesi için güvenli bir şekilde kullanılabilir olması gerekmektedir. Soğutucu akışkanın emniyetli olup olmadığı zehirleme etkisi ve yanıcılık özelliği ile ilgilidir.

Soğutucu akışkanın yanıcı olup olmadığı ve yanıcı ise yanma limitlerinin ne olduğu çok önemlidir. Yanma limitleri, alt yanma ve üst yanma limiti olarak tanımlanmıştır. Alt yanma limiti bir soğutucu akışkanın yanması için ortamda bulunması gereken minimum miktarı, üst yanma limiti ise yanma oluşması için havada bulunabilecek maksimum miktarı göstermektedir. Havadaki soğutucu akışkan oranı belirli bir değerin üzerine çıktığında yanmaya neden olacak yeterli oksijen miktarı bulunamayacağından yanma gerçekleşmeyecektir.

Bir tutuşturma kaynağının, alev almaya yetecek enerji miktarını sağlama ihtimalinin ne olduğu da önemli konulardan biridir. Bunun için de kendiliğinden tutuşma sıcaklığı ve minimum tutuşma enerjisi olmak üzere iki kavram tanımlanmıştır. Soğutucu akışkanlara ait bu özellikler, soğutucu akışkanın alev alma olasılığının göstergeleridir.

Yanma ısısı ve yanma hızı gibi özellikler soğutucu akışkanların alev alması durumunda

yaratacağı etkiyi ortaya koyan göstergelerdir. Yanma sonucunda 1 kg başına ortaya çıkan ısı enerjisi yanma ısısı olarak tanımlanmaktadır ve birimi MJ/kg'dır(Spatz ve Minor, 2008).

Soğutucu akışkanların performansının değerlendirilebilmesi için termodinamik özelliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri çeşitli hal denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Soğutma çevrimi performansının değerlendirilebilmesinde basınç–entalpi(P-h) diyagramları oldukça faydalıdır ve sıkça kullanılmaktadır.

1.1. Doğal Soğutucu Akışkanlar

1.1.1. Amonyak(R717)

Çevreci bir soğutucu akışkan olan R717'nın GWP değeri ve ozon delme potansiyeli sıfırdır. Kolay temin edilebilmesi, ısı transfer özelliklerinin iyi olması ve maliyetinin de az olması nedeniyle endüstriyel soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı transfer katsayısının R22, R11, R12 ve R502 gibi soğutucu akışkanlardan daha yüksek olması sebebiyle en iyi seçeneklerden biridir. Maliyetinin düşük olmasının yanında, daha yüksek hacimsel soğutma kapasitesine sahiptir. R717'nin olumlu özelliklerinin yanı sıra yanıcı ve zehirlidir. Ayrıca bakır ile uyumlu olmaması nedeniyle de bakır borulu sistemlerde kullanılamamaktadır. Yüksek maruziyette zehirli olmakla birlikte keskin kokusu nedeniyle gaz kaçaklarının kolayca tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Havadan daha hafif olması nedeniyle atmosferde yükselerek dağılmaktadır(Jarahnejad, 2012).

1.1.2. Karbondioksit(R744)

20.yüzyılın başlarında amonyak gibi yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlardan biri de CO_2'dir. Ancak CFC'lerin ortaya çıkması ve soğutma sistemlerinde kullanılmaya başlaması ile birlikte kullanım alanları giderek azalmıştır. En çok bilinen sera gazı olmasına rağmen, çevresel etkisinin CFC ve HFC'lere göre çok daha az olması sebebiyle, soğutma endüstrisinde tekrar kullanılmaya başlanmıştır. Yanıcı olmayan, 0 ODP, düşük zehirlilik ve düşük GWP değerine sahip olması, CO_2'yi önemli bir alternatif yapmaktadır.

CO_2'nin çok iyi ısı transferi özelliklerine ve yüksek hacimsel soğutma kapasitesine sahiptir. Bu sayede soğutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılabilecek doğal bir soğutucu akışkan olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak CO_2'li bir çevrimin çalışma basınçları çok yüksektir ve transkritik bir çevrimdir. Bu nedenle de özel tasarıma ihtiyaç duyulmaktadır. Kokusuz olması nedeniyle muhtemel sızıntıların fark edilebilmesi için içerisine konulacak bir madde ile kokulandırılması gerekmektedir(Araz ve ark.2013).

1.2. Hidrokarbonlar(HC)

Hidrokarbonlar da CO_2 gibi 20.yüzyılın başlarında soğutucu akışkan olarak kullanılmaktaydı. HC soğutucu akışkanların kullanımından kaynaklanan teknik ve emniyet açısından ortaya çıkan sorunlar ve CFC'lerin ortaya çıkması HC'lerin soğutma piyasasından çıkmalarına neden olmuştur. Çevreci olmayan soğutucu akışkanların kullanımından kaynaklanan sorunların ortaya çıkması ile birlikte bu soğutucu akışkanlar alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Propane(R290), izobütan(R600a) ve propilen(R1270) soğutma sistemlerinde en çok kullanılan hidrokarbonlardır. R-1270 ve R-290 HC gurubu soğutucu akışkanlar genel olarak ısı poMPası uygulamalarında kullanılmaktadır. R-600a ise daha çok ev tipi buzdolapları ve dondurucularda kullanılmaktadır.

Bu soğutucu akışkanlar farklı termodinamik özellik göstermesine rağmen, çevresel özellikleri açısından bakıldığında, 0 ODP ve 3'den düşük GWP değerleri ile benzer karakteristikte oldukları görülmektedir.

HC'ler yanıcı ve az zehirli özelliktedir ve ASHRAE'nin emniyet sınıflandırmasında A3 sınıfında bulunmaktadır. İklimlendirme ve soğutma sistemlerinde kullanılan pek çok kompresör yağı ile uyumlu çalışabilmektedir. Florokarbon soğutucu akışkanları için tasarlanan sistemlerde de kullanılabilmektedir(Araz ve diğerleri, 2013).

1.3. Hidrofloroolefinler(HFO)

1.3.1. R1234yf

R1234yf soğutucu akışkanı, mobil iklimlendirme uygulamalarında R134a'ya alternatif olmak üzere geliştirilmiştir ve mükemmel çevresel özelliklere sahiptir. Ozon delme potansiyeli 0 olan akışkanın küresel ısınma potansiyeli 4 olup oldukça düşüktür.

1.3.2. R1234ze

R1234ze soğutucu akışkanı da R134a'ya alternatif olarak ortaya çıkan yeni soğutucu akışkanlardan biridir. Bu soğutucu akışkan da R1234yf gibi 0 ODP'ye sahip olup 6 GWP değeri ile mükemmel çevresel özelliklere sahiptir. R1234ze oda sıcaklığında yanıcı değildir. ASHRAE'nin zehirlilik sınıflandırmasına göre zehirleyici olamayan A2L sınıfında yer almaktadır.

1.4. Soğutucu Akışkanların Özellikleri

Soğutucu akışkanlar sahip oldukları bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde soğutma görevini yerine getirmektedir. Soğutucu akışkanların sahip olması gereken özellikler,

uygulama ve çalışma şartlarına göre değişkenlik göstermektedir. Soğutucu akışkanlar çalışma şartlarına göre bir takım özellikleri daha önemli olurken bazı özellikleri de göz ardı edilebilmektedir. Sahip olması istenilen özelliklerin tamamını birden yerine getirebilen bir soğutucu akışkan bulunmamaktadır.

Soğutucu akışkanların genel olarak sahip olması istenilen özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

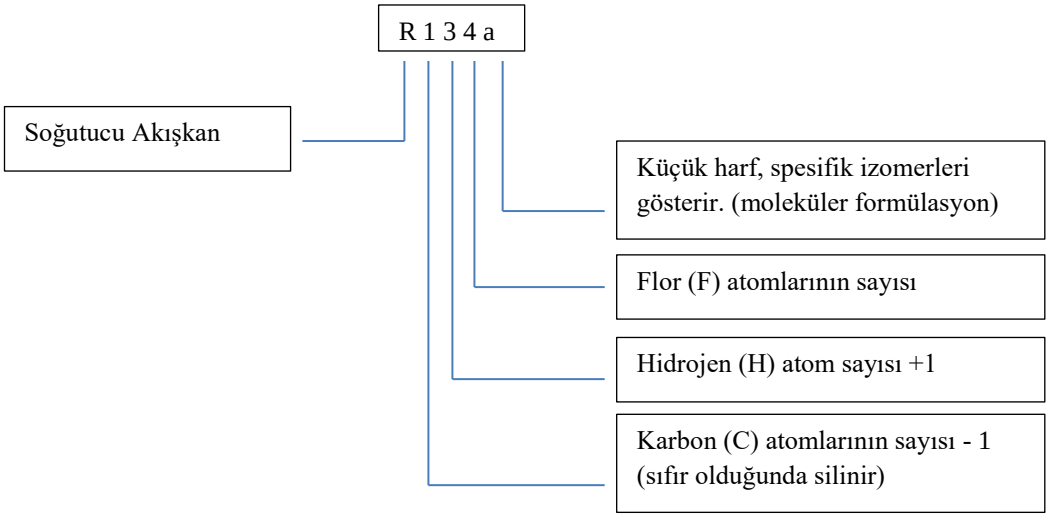
1. Pozitif buharlaşma ve düşük yoğuşma basıncına sahip olmalıdır.
2. Yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmalıdır.
3. Kimyasal olarak aktif özellikte olmalı, tesisat malzemesini etkilememeli, korozif olmamalı ve yağlama yağının özelliğini değiştirmemelidir.
4. Patlayıcı, yanıcı ve zehirli olmamalıdır.
5. Koku ve renk gibi fiziksel özellikleri ile kaçakların kolay tespit edilebilmesine olanak sağlamalıdır.
6. Maliyeti düşük olmalıdır.
7. Yüksek ısı geçirgenliğine sahip olmalıdır.
8. Dielektrik özellikte olmalıdır.
9. Düşük donma ve yüksek kritik sıcaklığa sahip olmalıdır.
10. Özgül hacmi küçük olmalıdır.
11. Viskozitesi düşük olmalıdır.

Soğutucu akışkanların suda ve yağda erime gibi özelliklerinin de gözardı edilmemesi gerekmektedir. Soğutucu akışkanın suda erimesi sonucunda karışımın donma noktası düşeceğinden don oluşma tehlikesi azalmaktadır. Donma noktasının yüksek olması durumunda çevre basıncından daha düşük olan kısımlara hava girmesi sonucunda hava içerisinde bulunan su buharı yoğuşur, genleşme vanasındaki kısılmanın da etkisi ile sıcaklık düşmesi sonucunda donma gerçekleşir ve tıkanıklıklara, işletme sırasında aksamalara neden olur. Yağda erime durumunda ise, kompresör yağı segman boşluklarından sızması sonucunda soğutucu akışkana karışabilir. Soğutucu akışkan buharı yağda erimez ise akışkanla birlikte gelen yağ kondenser ve hatta evaporatör yüzeylerinde birikerek yağ filmi oluşturabilir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcıda yağ filmi oluşması durumunda ısı transferi kötüleştirir ve ayrıca kompresör yağının eksilmesine neden olur. Yağda erime özelliği gösteren akışkanlar için kompresörün çıkışına bir yağ ayırıcı konulması gerekmektedir(Koyun ve ark. 2005).

1.5. Soğutucu Akışkanların Sınıflandırılması

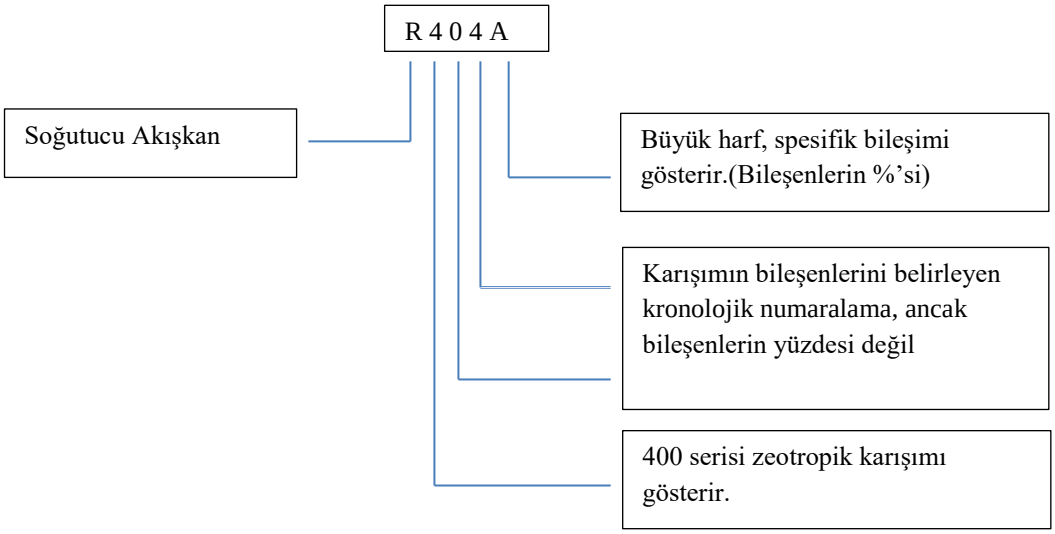
Soğutucu akışkanlar isimleri R(refrigerant) ile başlayan ve ASHRAE tarafından

belirlenen kurallara göre sınıflandırılırlar. Örneğin, doymuş hidrokarbonlardan türeyen ve sadece bir maddeden oluşan halojen soğutkanlarının sınıflandırması Şekil 1.2.'de gösterilmiştir. Örnekte CH_2FCF_3 (tetrafloroetan) kimyasal formülüne sahip R134a soğutucu akışkanı görülmektedir.



Şekil 1.2. Tek bileşenli soğutucu akışkanların sınıflandırılması

Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi karışımlar, ilgili soğutucu akışkan sayıları ve kütle oranlarıyla gösterilir.



Şekil 1.3. Karışım halindeki soğutucu akışkanların sınıflandırılması

Zeotropik karışımlara 400 serisinde tanımlayıcı bir numara verilir. Bu sayı hangi bileşenin karışımda olduğunu belirtir ve devamındaki büyük harf oranları gösterir. Bu sayılar ASHRAE tarafından kabul edilen soğutucu akışkanların kronolojik sırasıdır. Örneğin; R407A

(R32/R125/R134a (%20/%40%/40)), R407B(R32/R125/R134a (%10/%70/%20)), R407C (R32/R125/R134a (%23/%25/%52)), gibi(Hundy ve ark. 2008). Zeotropik bir karışım, soğutma çevrimde kullanıldığında, sabit basınçta buharlaşırken veya yoğuşurken hacimsel bileşimi ve doyma sıcaklığı değişen farklı akışkanlıklara sahip soğutucu akışkan bileşenleri içerir.

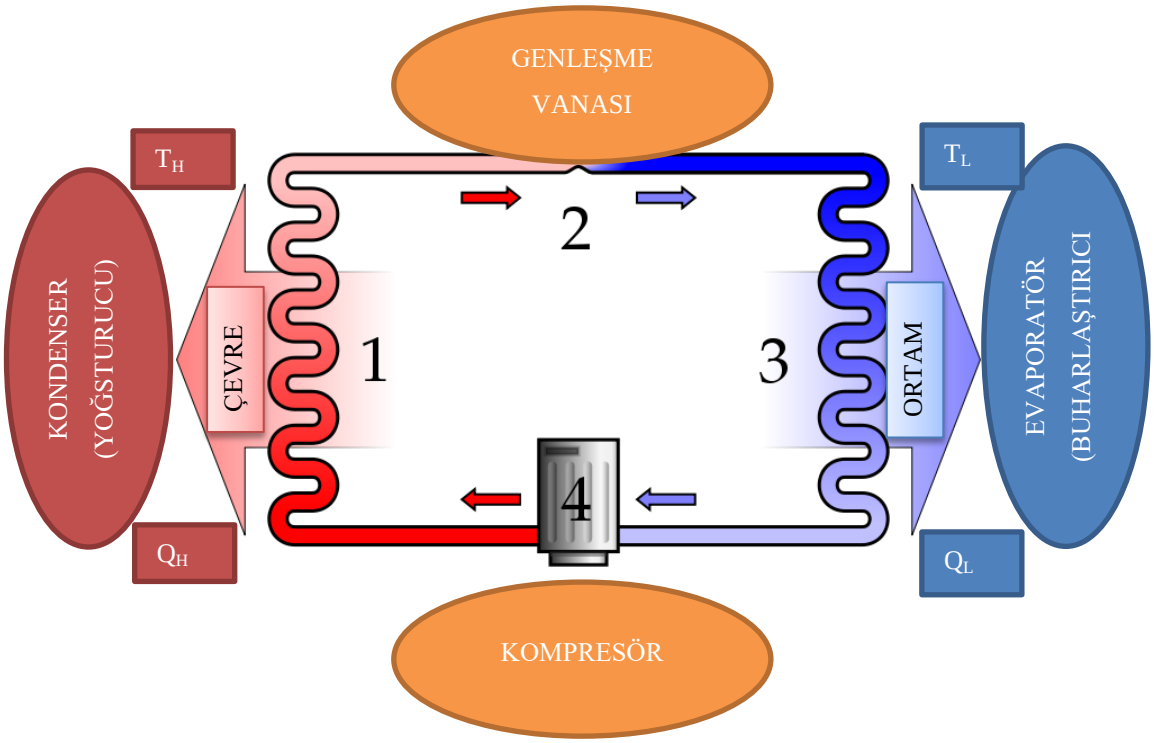
Zeotropik bir karışım sabit basınç altında ısıtıldığında, uçuculuğu daha fazla olan bileşenler ilk önce kaynayarak karışımı terk eder ve geriye kalan sıvının hacimsel birleşimi değişir. Başlangıçta en uçucu soğutucu akışkan veya akışkanlardan oluşan gazın birleşimi de değişir. İşlem sıcaklığı yükseldikçe daha az uçucu olan bileşenler de aynı şekilde buharlaşır. Zeotropik karışımdan ısı alındığında daha az uçucu olan soğutucu akışkanlar daha önce yoğuşacaktır(Alarko, 2005).

Azeotropik karışımlar 500 serisindedir. Örnek: R507 (R125 / R143a(50/50))(Hundy ve ark. 2008). Karışım şeklindeki bir soğutucu akışkanı oluşturan bileşen soğutucu akışkanlar, genellikle özdeş fiziksel özellikler göstermezler. Verilen bir basınç altında farklı özgül ağırlıklar, farklı akışkanlıklar ve farklı buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklıkları gösterebilirler. Bazı karışımlarda bileşenler, verilen belli bir basınç altında buhar ve sıvı fazlar aynı bileşime sahip olacak şekilde etkileşirler. Bu karışımlara azeotropik soğutucu akışkan denir. Azeotropik bir karışım saf bir akışkan gibi davranır veya yaklaşık olarak azeotropik kabul edilmeye yeterince yakındır. Azeotropik bir soğutucu akışkan karışımına ısı eklendiğinde veya çıkarıldığında bütün proses süresince gaz birleşimi (mol kesri) ve sıvı kompozisyonu esas olarak sabit kalır(Alarko, 2005).

Çeşitli organik bileşikler 600 serisinde sayılar sayısal sırayla verilmektedir, örneğin R600a, izobutandır. İnorganik bileşikler 700 serisindedir. Tanımlama sayıları, bileşenlerin bağıl moleküler kütlesini 700'e ekleyerek oluşturulmuştur. Örnek: R717, moleküler kütlesi 17 olan amonyağa karşılık gelir(Hundy ve ark. 2008).

1.6. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sistemi

Buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminde kompresörde sıkıştırılarak yüksek basınca çıkarılan soğutucu akışkan kızgın buhar halinde kondensere(yoğuşturucu) girer. Kondenserden geçen akışkan çevreye ısı vererek yoğuşur ve genleşme(kısılma) vanasında alçak basınca düşürülerek ıslak buhar halinde evaporatöre(buharlaştırıcı) girer. Ortam sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahip olan soğutucu akışkan, ortamdan ısıyı çekerek, ortamı soğutur ve evaporatör çıkışında doymuş buhar olarak kompresöre girer. Böylece soğutma çevrimi sürekli olarak tekrarlanır. Şekil 1.4.'de bir buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi şematik olarak verilmiştir.

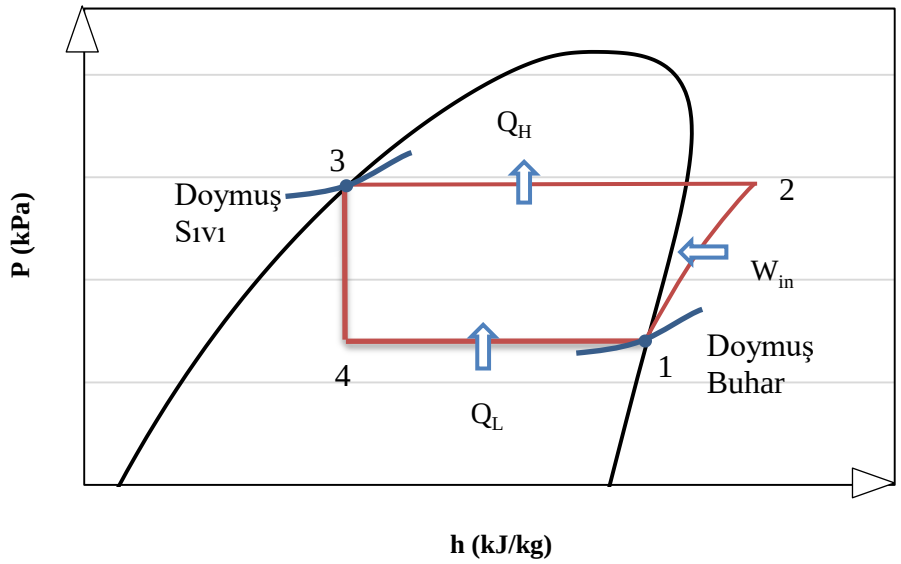


Şekil 1.4. Soğutma sistemi temel elemanları

Bir soğutma sistemi için herhangi bir bileşenin seçiminde dikkatle düşünülmesi gereken bir takım faktörler vardır. Bunlar;

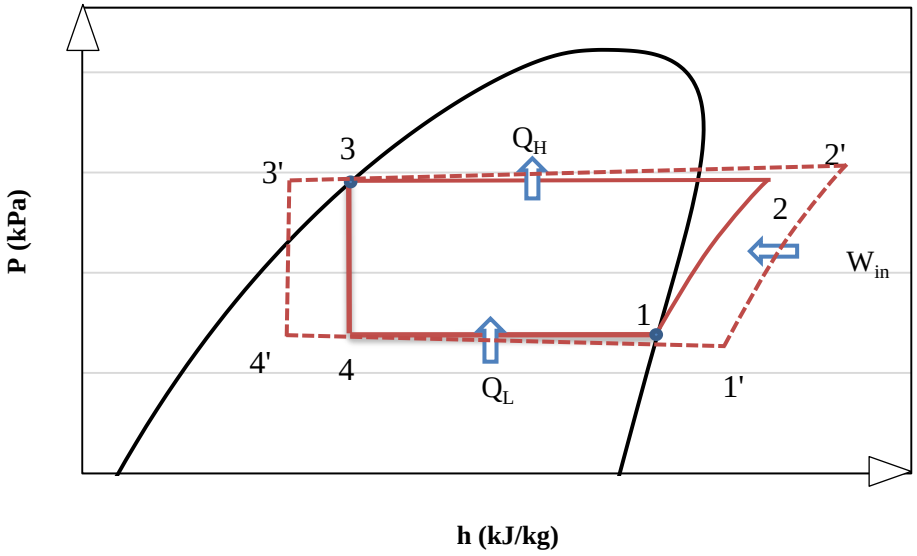
- % 0 ile % 100 arasında değişen yüklerde toplam soğutma kullanılabilirliğini korumak,
- Sistem performansı için donma kontrolünün sürekli yapılması,
- Büyük sıcaklık değişiklikleri nedeniyle soğutucu akışkan ile yağın birleşmemesi ve kompresör krank karterindeki yağ kaçaklarının olmaması,
- Sistem verimliliği ve bakımı,
- Kondenser tipi(hava, su veya evaporatif soğutma),
- Kompresör tasarımı (açık, hermetik, semihermetik, pistonlu, vidalı veya dönel),
- Sistem tipi (tek aşamalı, bileşik veya kademeli düzenleme)
- Soğutucu akışkan seçimi(soğutucu akışkan türünün temel olarak çalışma sıcaklığına ve basınçlara dayalı olarak seçildiğine dikkat edilmelidir.)(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde, basınç düşüşlerine neden olan akışkan sürtünmesi, çevreden alınan veya verilen ısı aktarımları göz ardı edilir. Sıkıştırma işlemi, ideal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde izentropiktir. Ayrıca soğutucu, buharlaştırıcıdan ayrılır, doymuş buhar olarak kompresöre girer ve Şekil 1.5.'de gösterildiği gibi, ideal çevrimde kondenser çıkış basıncında doymuş sıvı olarak çıkar. Sabit basınçta ısı aktarımı, sabit entalpide genleşme ve sabit entropide sıkıştırma işlemlerinden meydana gelir.



Şekil 1.5. İdeal soğutma çevrimi *P-h* diyagramı

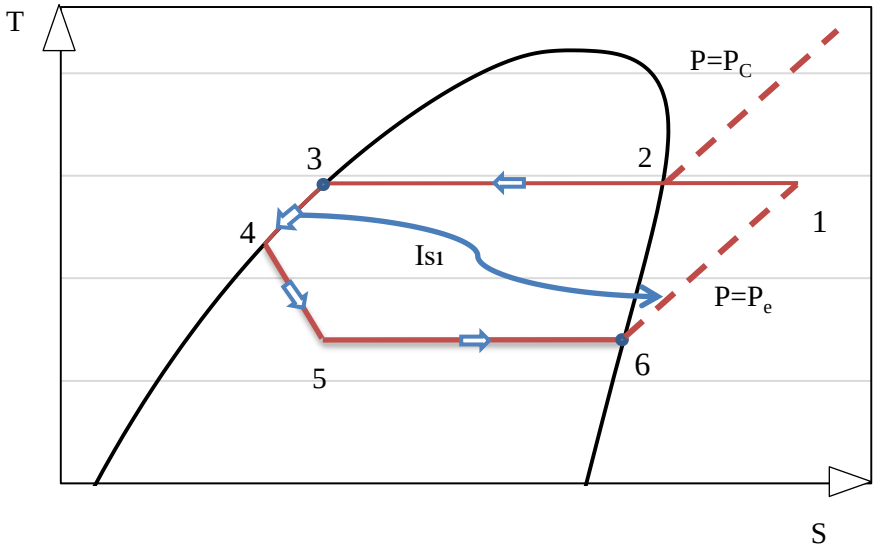
Gerçek buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde soğutucu akışkanın entropisi sıkıştırma işlemi sırasında sabit değildir. Ayrıca, soğutucu akışkanının durumunu tam olarak kontrol etmek mümkün değildir. Bu nedenle, evaporatörden kompresöre gönderilen soğutucu akışkan buharı aşırı ısıtılır(superheat) ve kondenserden genleşme valfine gönderilen sıvı soğutucu akışkan aşırı soğutulur(subcooling). Gerçek buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin *P-h* diyagramı Şekil 1.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Gerçek soğutma çevrimi *P-h* diyagramı

Soğutma sisteminde iç ısı değiştirici(IHX) kullanılması durumunda *T-S* diyagramı Şekil 1.7.'de gösterilmiştir. Sistemde iç ısı değiştirici kullanılmasıyla, soğutma kapasitesinde

artış meydana gelir. Aynı zamanda sıkıştırma işleminde de bir artış olur. Bu sayede soğutma performans katsayısı artabilir veya azalabilir. Sonucu, soğutucu akışkanın termodinamik özelikleri ve deney sisteminin bileşenleri belirler. IHX kullanılması durumunda, kondenser çıkışındaki sıvı haldeki sıcak soğutucu akışkan, ısısını buharlaştırıcı çıkışındaki buhar halindeki soğuk soğutucu akışkana aktarır. Böylece subcooling ve superheat değeri artar. Bu artış soğutma kapasitesinin artmasını sağlar.



Şekil 1.7. IHX'li sistemde *T-S* diyagramı

1.6.1. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sistemi Temel Elemanları

Mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri, sıkıştırma işinin yapıldığı kompresör, akışkan ısısının çevreye atıldığı yoğuşturucu(kondenser), kısılmanın gerçekleştiği genleşme valfi ve ortamın ısını çekerek soğumanın sağlandığı buharlaştırıcı(evaporator) olmak üzere dört ana elemandan meydana gelir.

1.6.1.1. Kompresör

Kompresör soğutma sisteminin en önemli elemanıdır. Kompresör, soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanın cinsine göre değişik yapılarda imal edilmektedir. Kompresörün temel amacı, evaporatörden düşük basınçta buhar halinde çıkan soğutucu akışkanı emerek daha yüksek basınçtaki kondensere göndermektir. Kompresörün mekanik ve hacimsel veriminin soğutma performans katsayısı (COP) üzerinde etkisinin büyük olması dolayısıyla soğutma sisteminin cinsine ve büyüklüğüne göre pistonlu, rotatif, hermetik, vidalı gibi çeşitli kompresörler geliştirilmiştir.

1.6.1.2. Kondenser(Yoğuşturucu)

Kondenserin soğutma sistemindeki görevi, kompresörle sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa çıkartılmış gazın soğutularak yoğuşturulmasıdır. Soğutma sisteminde temel prensip olarak evaporatörde çekilen ısı ile kompresör tarafından akışkana kazandırılan toplam ısı kondenserin bulunduğu ortama verilmesidir. Tüm kondenserlerin görevi aynıdır ancak değişik tipleri vardır. Bunları başlıca üç gruba toplamak mümkündür. Su ile soğutulan kondenserler, evaporatif kondenserler ve hava ile soğutulan kondenserlerdir.

1.6.1.3. Genleşme Valfi

Yoğuşturucudan yüksek basınçta çıkan soğutucu akışkanının basıncını buharlaştırıcı basıncına düşüren kısılma elemanıdır. İdeal şartlarda kısılma vanasında meydana gelen basınç düşüşü sırasında entalpinin sabit olduğu kabul edilir. Gerçek şartlarda da çok yakın bir fark oluşmaktadır. Düşük soğutma kapasitesine sahip soğutma sistemlerinde kılcal borular kısılma işinin yapmakla birlikte, daha büyük sistemlerde iç veya dıştan dengeli termostatik genleşme cihazı, elektronik genleşme cihazı gibi elemanlar kullanılmaktadır.

1.6.1.4. Evaporatör(Buharlaştırıcı)

Evaporatör, genleşme valfinde basıncı düşürülmüş olan soğutucu akışkanı buharlaştırarak, ortam sıcaklığını düşürmeye yarayan ısı değiştirici elemandır. Soğutucu akışkanın özelliğine göre çeşitli malzemelerden yapılmaktadır. Genellikle bakır ve çelik borular kullanılır. Hava, su veya hava su karışımının soğutulmasına bağlı olarak farklı tipleri geliştirilmiştir.

Soğutma sisteminde ana elemanların dışında manometre, presostat, termostat, yağ ayırıcı, sıvı tankı, susturucu, kurutucu filtre, çekvalf, otomatik kontrol sistemleri ve elektrik panoları gibi yardımcı yardımcı elemanlar da mevcuttur.

1.7. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkisi

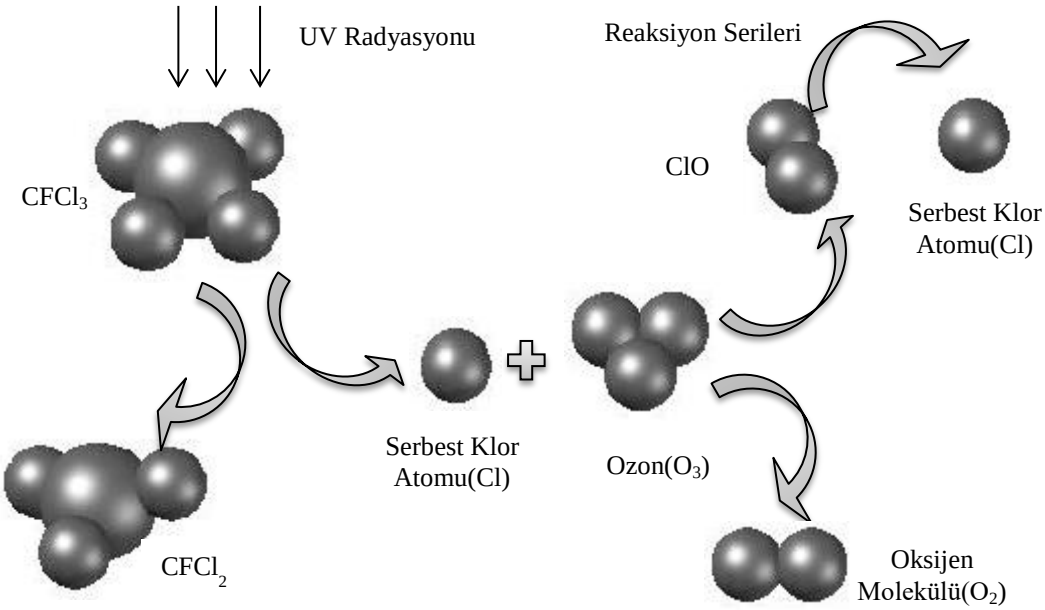
Soğutucu gazların soğutma prosesi içerisinde tekrar tekrar kullanılamaması ve zamanla çevreye atılması, doğal çevrenin kirlenmesine, atmosferde sera etkisinin artmasına ve canlıları güneşten gelen zararlı ışınlardan koruyan ozon tabakasının aşınmasına yol açmaktadır. Bazı soğutucu gazların yapısında bulunan brom ve klor atomlarının serbest kalması ile zayıf ozon molekülleri parçalanıp tahrip olmaktadır. Küresel ısınma ve ozon tabakasının tahrip olması gibi çevresel sorunlar nedeniyle alternatif soğutucu akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. Alternatif soğutucu akışkanların sahip olması istenilen çevresel özellikler öncelikle düşük küresel ısınma

potansiyeli ve sıfır ozon delme potansiyelidir. Soğutucu akışkanların çevresel etkileri konusunda bilinmesi gereken en önemli kavramlar Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) ve Ozon Yok Etme Potansiyelidir. Küresel Isınma Potansiyeli sera gazı ile küresel ısınma etkisinin bir göstergesidir ve GWP'si 1 olan karbondioksit(CO_2) referans alınarak hesaplanır. Ozon Yok Etme Potansiyeli ise bir maddenin ozon tabakasına zarar verme riskini ifade eder ve ODP'si 1 olarak kabul edilen R11 soğutucu akışkanı referans alınarak ifade edilir(Yılmaz ve Tosun, 2014).

1.7.1. Ozon Tabakasının Aşınması

1974'de M.J.Molina ve F.S.Rowland tarafından CFC soğutucu akışkanlarının yüksek frekanslı mor ötesi ışık etkisi ile ozonla reaksiyona girerek ayrıştırmasına neden olduğunu ve 60 yıl içerisinde ozon tabakasında %7'lik bir oranda aşınma gerçekleşeceğini bildiren bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde Amerika'da aerosol spreylerde CFC kullanılması 1978 yılında yasaklanmıştır. Zamanla diğer ülkelerin de bu yasağa uymasına rağmen, sanayide CFC'nin soğutucu akışkan olarak kullanımının sınırlamasına karşı çıkılmıştır. 1985 yılında İngiliz Antartik Araştırma grubu bünyesinde toplanan Farman, Gardinan ve Shanklin tarafından yapılan araştırmada dünyayı güneşten gelen zararlı ultraviyole ışınlara karşı koruyan ozon tabakasının söz konusu CFC'ler tarafından yok edildiğini ve ozon konsantrasyonunun Antartika'da Ocak ayı normal seviyesinin %10 altına düştüğünü belirten açıklamalarıyla nedeniyle CFC'lerin kullanımının sınırlandırılmasına karşı çıkılmasının önüne geçilmiştir.

CFC'lerin sahip olduğu ve soğutucu akışkan olarak avantaj sağladığı kararlılık özelliği ozon tabakasının aşınması probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. CFC'lerin parçalanmasının çok zor olması nedeniyle stratosfere geçene kadar uzun yıllar boyunca atmosferde kalmaktadır. Atmosferde yoğun mor ötesi güneş radyasyonu nedeniyle moleküller parçalanıp klor iyonu açığa çıkmaktadır. Serbest klor iyonları da ozon moleküllerini oksijen moleküllerine dönüştürmektedir. Şekil 1.8.'de ozon tabakasının nasıl tahrip olduğu görülmektedir.



Şekil 1.8. CFC'lerin ozon tabakası üzerindeki etkisi

Atmosferde meydana gelen kimyasal tepkime ile serbest klor molekülleri, katalizör görevi yaparak tepkimenin sonsuza kadar devam etmesini sağlamaktadır. Serbest haldeki bir klor atomunun, yaklaşık 100.000 ozon molekülünü oksijene dönüştürdüğü tahmin edilmektedir(Çomaklı ve diğerleri, 2006).

Klor içeren bir bileşiğin atmosfere salınımı sonucunda ozon tabakasının delinmesine etki edip etmediği, içerisindeki klor atomlarının miktarı ve bileşiğin kararlılığına bağlıdır. Kararsız ve tepkimeye girme eğilimi olan bileşikler stratosfere geçmeden önce atmosferde uzun süre kalmadıkları için daha az zarar verme potansiyeline sahiptirler.

1.7.1.1. Montreal Protokolü

Ozon tabakasının korunması, sera etkisinin azaltılması, soğutucu akışkanların kullanımı ve üretimi gibi önemli konuların takip edilmesi dünya genelinde amaçlanmıştır. Ozon tabakasının incelenmesi konusu ilk kez 1976 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı(UNEP)'nın Yönetim Konseyi gündeme getirilmiştir. Ozon tabakasının incelmesini periyodik olarak değerlendirmek üzere UNEP ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından Ozon Tabakası Koordinasyon Komitesi (CCOL) kurulmuştur. Ozon tabakası konusunda uzmanlık yapan bilim adamlarının bulunduğu komite 1977 yılında bir araya gelerek ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılmasıyla ilgili olarak ilk kez bir toplantı gerçekleştirmişlerdir. 1981 yılında Hükümetler arasında görüşmeler başlamış ve 1985 yılında Ozon Tabakasının Korunması amacıyla Viyana Sözleşmesi kabulü edilmiştir. Viyana Sözleşmesi ile araştırma, ozon tabakasının düzenli olarak gözlenmesi, CFC üretiminin takip

edilmesi ve bilgi paylaşımı konularında hükümetler arası koordinasyon ve işbirliğinin sağlanması teşvik edilmiştir. Sözleşmeye taraf olan hükümetler, ozon tabakasına zarar veren insan kaynaklı faaliyetlere karşı, insan sağlığını ve çevre korumaya yönelik genel önlemler almak gibi görevler üstlenmişlerdir. Kontrollerin veya hedeflerin yasal bağlayıcılığının olmadığı bir çerçeve sözleşmesidir.

Viyana sözleşme ile ozon tabakasını incelten maddelerin üretiminin ve kullanımının kontrol altına alınmasını sağlayacak olan bir protokol üzerinde çalışmalar vakit kaybedilmeden başlatılmıştır. 1987 yılında Ozon Tabakasını İncelten Maddeler İlişkin Montreal Protokolü kabul edilmiştir. 1985'de Antartika üzerindeki ozon deliğinin tespit edilmesi üzerine hükümetler, çok sayıda CFC'nin ve bazı halon gazlarının üretimini ve tüketimini azaltacak ciddi önlemlere ihtiyaç olduğu kanaatine varmışlardır. Montreal Protokolü, periyodik olarak yapılan bilimsel ve teknolojik değerlendirmeleri esas alarak ozon tabakasına zarar veren maddelerin azaltılması takvimi yeniden oluşturulmuştur. Bu teknik ve bilimsel değerlendirmelerin ardından, protokole ait takvimdeki azaltımın hızlandırılması için 1990 yılında Londra'da, 1992 yılında Kopenhag'da, 1995 yılında Viyana'da, 1997 yılında Montreal'de, 1999 yılında Pekin'de ve 2007 yılında Montreal'de bir kez daha düzenlenmiştir. Bu düzenlemelerle yeni kontrol maddelerinin ve önlemlerin de anlaşmaya dahil edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Montreal Protokolü'ne 196 ülke taraf olmakla birlikte, çevre konusunda düzenlenmiş en başarılı çok taraflı anlaşma olarak tanımlanmaktadır. Protokolün büyük başarılarından biri olarak görülen ve gelişmiş ülkelerin desteği ile 1990 yılında Londra'da çok taraflı fon kurulmuştur. Bu fon Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin gelişmekte olan ülkelerin endüstrisine girmesinin önlenmesi amacıyla projelerde, yeni teknolojiler ve ekipmanların finansı için kullandırılmıştır(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016).

Türkiye 1991 yılında Montreal Protokolüne taraf olmuş ve protokoldeki tüm değişiklikleri kabul etmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın koordinasyonu ile protokole ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmaların izlenmesi gerçekleştirilmektedir. Montreal Protokolünün uygulanmasında en başarılı ülkeler arasında ülkemiz de yer almaktadır(Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016). Ülkemizde, Viyana Sözleşmesi hükümleri ile Montreal Protokolüne ve Avrupa Komisyonunun 1005/2009 sayılı Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Tüzüğüne uygun olarak Ozon Tabakasını İncelen Maddelere İlişkin Yönetmelik hazırlanmış ve üretim, tüketim ve ticareti yapılacak maddeleri kontrol altına alınacak hükümler mevzuat haline getirilmiştir.

1.7.2. Küresel Isınma

Soğutucu akışkan olarak kullanılan gazların çevreye verdikleri zarar, yalnızca ozon

tabakasının tahrip olmasından ibaret değildir. Su buharı(H_2O), karbondioksit(CO_2), metan(CH_4), Azotdioksit(N_2O), kloroflorokarbon(CFC), hidroflorokarbon (HCFC) gibi birçok gaz, sera etkisi adı verilen bir çevre sorununa da yol açmaktadır. Sera etkisi, ilk olarak 1896 yılında İsveç'li kimya bilimci Suante Arrhenius tarafından ortaya atılmıştır. Bu etki, bu gazların güneşten gelen kısa dalgalı radyasyonun taşıdığı ısı enerjisini geçirmeleri ve geçirdikleri bu enerjinin atmosferin alt kısımları ve yeryüzü tarafından emilmesi sonucu meydana gelir. Ayrıca bu gazların yeryüzünden yayılan uzun dalga boyuna sahip radyasyonu geçirmemeleri sonucu, bu radyasyon atmosferin alt kısımlarında birikir. Bu ise sera etkisini zamanla çoğaltmakta ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Bu olay, dünyanın sıcaklığının giderek artması sonucu kutuplardaki buzulların erimesi ve bazı kara parçalarının sular altında kalması anlamına geldiğinden, dünyamızın geleceği için büyük bir tehlike oluşturmaktadır(Keogh, 2005).

1.7.2.1. Kyoto Protokolü

1980'li yılların sonlarına doğru oluşan iklim değişikliği ile ilgili kargaşa ortamı, uluslararası bilinci harekete geçirmiş ve 1992'de Brezilya'nın Rio De Janeiro kentinde Dünya Zirvesi olarak görülen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED)'nın toplanmasını sağlanmıştır. Rio Anlaşması olarak bilinen Dünya Zirvesinde iklim değişimiyle ilgili Birleşmiş Milletler Çerçeve Anlaşması (UNFCCC) 154 ülke tarafından onaylanmıştır. Bu anlaşma ile gelişmiş ülkeler 2000 yılına kadar CO_2 ve diğer sera gazı emisyon oranlarını 1990 yılındaki seviyeye çekilmesi hususunda taahhütte bulunmuşlardır. Ancak, bu anlaşma gönüllülük esasına göre imzalandığı için başarısızlığa uğramıştır.

1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde daha başarılı bir anlaşma yapılması için 161 ülkeden 2200 temsilcinin katılımıyla bir girişimde daha bulunulmuştur. Kyoto Protokolü ile 38 gelişmiş ülkeden sera gazı emisyonlarını 2008-2012 yılları arasında 1990 yılındaki seviyenin %5.2 oranında düşürmeleri istenilmiştir. Kyoto Protokolü ile gelişmekte olan ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltması beklenmiyordu, ancak emisyon alışverişine izin veriliyordu. Protokol ile sera gazı emisyon limitinin altında bulunan bir ülke ekstra emisyon limitini, emisyon limitini aşan başka bir ülkeye satabilme imkanı verilmişti. Amerika Birleşik Devletleri sera gazı emisyonuna en fazla katkısı olan ülke olması nedeniyle Kyoto Protokolünü kabul etmemiştir(Keogh, 2005).

1.7.2.2. F-Gaz Yönetmeliği

F-Gaz Yönetmeliğinin amacı Kyoto Protokolüne paralel olarak flor içeren gazların yol açtığı sera gazı emisyonlarının azaltılmasıdır. Bu yönetmelik, belirli miktarda soğutucu akışkan bulunduran sistemlerde düzenli olarak kaçak kontrollerinin yapılmasını, geri kazanım ve

iyileştirme işlemlerini, işletici ve servis elemanlarının eğitimi ve sertifikalandırılmasını, soğutucu gaz tanklarının etiketlendirilmesini ve kullanım kontrolünü kapsamaktadır.

Bu yönetmelik kapsamında emisyon kontrolü için getirilen uygulamalar ile florlu sera gazlarının kullanıldığı ekipman sahipleri ve işletmeciler emisyonları önlemek ve tespit edilen kaçakları gidermekle sorumludurlar. Bu soğutucu akışkanların kullanıldığı cihazlar belirli periyodlarla kontrol edilmelidir. 3-30 kg arası soğutucu gaz bulunduran cihazlar yılda bir, 30-300 kg arası gaz içerenler 6 ayda bir, 300 kg ve daha fazla gaz içeren cihazlar ise 3 ayda 1 defa olmak üzere yetkili teknik personel tarafından kaçak kontrolü yapılması gerekmektedir. Tespit edilen kaçaklar giderildikten sonra 1 ay içerisinde cihaz tekrar kontrol edilir.

Her bir cihaz için ayrı ayrı olmak üzere 3 kg ve üzerinde gaz içeren cihaz sahipleri,

1. Florlu sera gazının çeşidi ve ne kadar olduğunu,
2. Servis hizmeti sırasında şarj edilen veya geri kazanılan gazın ne kadar olduğunu,
3. Bertaraf edilmek üzere gönderilen gazın ne kadar olduğunu,
4. Servis hizmetini veren firma ve personel bilgilerini,
5. Servis ile bakım hizmetinin tarih ve nasıl sonuçlandığını kayıt altında tutmak ve istenildiğinde yetkili kuruluşlara ibraz etmekle sorumludurlar.

Emisyon kontrolü kapsamında getirilen zorunluluklardan biri de geri kazanımdır. Bu kapsamda aşağıda verilen cihazlara sahip işletmeciler geri dönüşüm, yeniden işleme veya bertaraf edilmek üzere florlu sera gazlarının geri dönüşüm işlemini sertifikalı teknik personele yaptırmakla sorumludur.

1. Soğutma, iklimlendirme ve ısı poMPası sistemleri,
2. Florlu sera gazı ağırlıklı çözücü içeren ekipman,
3. Yangından koruma sistemleri veya yangın söndürücüler,
4. Yüksek voltajlı şalt cihazları.

Geri kazınım işlemi cihazın bertaraf edilmesinden önce servis ve bakım hizmeti sırasında yapılması tercih edilir(Bulgurcu ve ark. 2012).

Mobil cihazlar da dâhil olmak üzere yukarıda adı geçmeyen cihazların içerisinde kalan florlu sera gazları teknik olarak uygulanabilir olan ve yüksek maliyetlere sebep olmayacaksa geri kazanılması uygun olacaktır.

Avrupa Birliği'nin 20/20/20 politikası ile 2020 yılına kadar %20 daha az CO_2 emisyonu, %20 yenilenebilir enerji payı ve %20 daha az birincil enerji tüketimi hedeflenmiştir. Avrupa Birliğinin mevcut 20/20/20 politikasının, küresel ısınmanın önüne geçecek AB düşük karbon yol haritasının 2050 hedefini gerçekleştirmekte yeterli olmayacağı görülmüştür. Bu nedenle Avrupa Birliği daha ciddi önlemler almak amacıyla çalışmalara başlamıştır. 23 Ekim

2014 tarihinde Avrupa Birliği'nin önde gelen ülkeleri, sera gazı emisyon değerlerini 2030 yılına kadar %40 oranında azaltma taahhüttü veren iklim değişimi konusunda dönüm noktası niteliğindeki bir antlaşmayı kabul etmişlerdir. Bu antlaşma ile yenilenebilir enerji kullanımını ve enerji verimliliğini en az %27'ye çıkarması da hedeflenmiştir. 2014 yılı F Gaz Regülasyonu ile birlikte 2025 yılından itibaren 3 kg'dan daha az soğutucu akışkan içeren tekli split klimalarda GWP değeri 750'den daha düşük olan soğutucu akışkanların kullanımı zorunlu hale getirilmiştir(Yakut,2016).

Bu çalışmada soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların çevreye salınımları ile neden oldukları çevresel etkilerin azaltılması, özellikle küresel ısınmaya katkısının düşürülmesi amacıyla küresel ısınma potansiyeli(GWP) 3943 olan R404A soğutucu akışkanının yerine GWP'si R404A'ya göre %52 daha düşük olan R442A ve %55 daha düşük olan R453A soğutucu akışkanları kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada soğutma sisteminde hiçbir değişiklik yapılmadan soğutma kapasitesi, elektrik tüketimi, performans katsayısı, kütlesel debi, izentropik ve hacimsel verim, sıkıştırma oranı gibi parametrelerin karşılaştırılması ve sistemde plakalı tip bir İç Isı Değiştirici(IHX) kullanılmasının bu parametrelere nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Bu çalışma ile R442A ve R453A soğutucu akışkanlarının R404A'nın alternatifi olarak kullanılabileceğinin gösterilmesi için hazırlanan soğutma sisteminde deneysel çalışma yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Küresel iklim değişikliği ile ilgili endişeler ve küresel ısınma potansiyeli yüksek olan soğutucu akışkanların üretimini ve kullanımını etkileyebilecek mevzuat dikkate alınarak yeni soğutucu akışkanlar geliştirilmektedir. Bazı akışkanlar konut ve hafif ticari amaçlı kullanımlar için tasarlanmıştır. Bazı akışkanlar da daha özel olarak orta ve düşük dereceli soğutma uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Soğutma ve diğer yararlı amaçlar için kullanılan bazı florinli gazların, atmosfere salınmaları durumunda küresel ısınma potansiyelleri CO_2'den çok daha yüksektir. Soğutmada, klima ve ısı poMPalarının hayatımıza kazandırdığı faydalar çok değerlidir. Bu nedenle yüksek GWP değerlerine sahip soğutucu akışkanlara bağımlı olmayan materyalleri kullanarak soğutmayı başarmak için yeni yöntemler belirleme çalışmaları artmaktadır. Soğutucu akışkanların olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması için ODP ve GWP değerleri düşük alternatif soğutucu akışkanların ortaya çıkması sağlanmış ve bu yönde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmaların son yıllarda yapılması nedeniyle konunun güncel ve çalışmaya açık olduğu anlaşılmaktadır. Çeşitli uygulama alanlarında özellikle soğutma sistemlerinde düşük GWP değerli ve 0 ODP değerli alternatif soğutucu akışkanların kullanımı ile literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen veriler ve sonuçlar aşağıdaki verilmiştir.

2.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Oruç ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, yüksek GWP'ye sahip olan R404A kullanılan soğutma sisteminde, R404A'ya göre daha düşük GWP'ye sahip R442A ve R453A soğutucu akışkanları kullanılarak deneysel olarak karşılaştırma yapılmıştır. R442A ve R453A'nın soğutkanları, soğutma sisteminde yapısal değişiklik yapılmadan doğrudan test edilmiştir. Deneysel çalışmada -6, -3 ve 0 °C buharlaşma sıcaklıkları ve 35, 40 ve 45 °C kondenser sıcaklıklarında inceleme yapılmıştır. Üç kondenser sıcaklığında da kompresördeki güç tüketimi R404A için en yüksek olurken R453A için en düşük olmuştur. Ölçümler, R442A ve R453A'nın soğutma kapasitesi miktarlarının R404A'nınkinden %1-8 daha büyük olduğunu ortaya koymuştur. R404A ile karşılaştırıldığında, R442A kullanılarak COP (performans katsayısı) değeri % 5-12 daha iyi ve R453A soğutucu akışkan için yaklaşık % 10-14 oranında önemli ölçüde iyileşme olduğu görülmüştür. Hacimsel verimlilik değerleri R453A için en yüksek olarak elde edilmiştir.

Devecioğlu ve Oruç (2017)'un yapmış olduğu çalışmada plaka tipi ısı değiştiricinin, R22 yerine R453A soğutucu akışkanının kullanıldığı iklimlendirme sisteminde enerji

performansı ve çevresel faktörlere etkisi incelenmiştir. Plaka tipi ısı değiştirici kullanılması durumunda her iki gazın kullanıldığı sistemde 35 ^{o}C çevre sıcaklığında soğutma kapasitesini %20 oranında artırdığı ve artış oranının çevre sıcaklığına göre değiştiği görülmüştür. Isı değiştirici kullanılarak ya da kullanılmadan deneysel çalışma yapılan tüm çevre sıcaklıklarında R22'nin soğutma kapasitesinin %7-15 arasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ısı değiştirici kullanılarak ya da kullanılmadan kompresörde harcanan güç karşılaştırılmış, ısı değiştiricili sistemde kompresörde harcanan güç(W_{el}) her iki akışkan için de aynı olmakla birlikte, ısı değiştirici olmadan 30 ^{o}C çevre sıcaklığında yaklaşık %7.3, 35 ve 40 ^{o}C çevre sıcaklıklarında %2.7 oranında R22 gazlı sistemde daha fazla enerji harcandığı ve çevre sıcaklığı arttıkça kompresörde harcanan enerjinin arttığı görülmüştür. Isı değiştirici kullanılması durumunda 35 ^{o}C çevre sıcaklığında kompresörde harcanan güç R22 için %14.3 ve R453A için %12 oranında düşüş meydana gelmiştir.

İklimlendirme sistemlerinde R22 soğutucu akışkanı yerine R442A kullanılması durumunda enerji parametrelerindeki değişimin incelenmesiyle ilgili yapılan çalışmada buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde deneysel çalışma yapılmıştır. R22'li sistemde mineral yağ, R442A'lı sistemde ise sentetik polyol ester yağ(POE) kullanılmış ve bunun dışında sistemde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Deneysel çalışmalar aynı şartlar altında (25, 30 ve 35°C) çevre sıcaklıkları için tekrarlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda soğutucu akışkanlara ait soğutma kapasitesi, COP, kütlesel debi ve sıkıştırma oranı tespit edilmiştir. Çalışma yapılan üç çevre sıcaklığında R442A'nın R22 akışkanına göre %8-13 arasında daha düşük soğutma kapasitesine, %13-18 arasında daha düşük COP değerine sahip olduğu ve kompresörde harcanan enerjinin %5 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca R442A'nın kütle debisinin daha düşük olduğu ve sıkıştırma oranının daha yüksek olduğu ancak 35°C sıcaklıkta aynı değerlere sahip olduğu görülmüştür. R22 kullanan iklimlendirme sistemlerinde sadece kompresörde kullanılan yağın değişimi ile R442A'nın kullanılabileceği ve R22'nin enerji parametreleri ile yakın değerlere sahip olması nedeniyle R22'nin alternatifi olabileceği sonucuna varılmıştır.(Devecioğlu ve ark., 2016).

Bortolini ve ark. (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmada GWP'si 3943 olan R404A akışkanının kullanıldığı orta sıcaklık (-5^{o}C, 10^{o}C) ve düşük sıcaklık (-25^{o}C,-15^{o}C) aralığındaki endüstriyel bir sistemde bu akışkanın yerine GWP'si 2088 olan R410A ve GWP'si 1825 olan R407F akışkanlarının kullanılarak performans incelemesi yapılmıştır. Orta sıcaklık aralığındaki sistemde R407F ve R410A akışkanlarının COP ve soğutma kapasitelerinin daha yüksek olduğu, bunların arasından da R407F'nin daha yüksek soğutma kapasitesine sahip olduğu ancak R410A'nın COP değerinin biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda ortalama COP ve soğutma kapasite değerleri, R404A için sırasıyla 1.47 ve 1297

W, R407F için 1.51 ve 1417W ve R410A için 1.75 ve 1324W olarak hesaplanmıştır. Orta sıcaklık aralığında R410A potansiyel alternatif olarak öne çıksa da düşük sıcaklık aralığında yüksek kompresör sıcaklıkları meydana gelmesi nedeniyle R407F alternatif olacağı belirtilmiştir.

Babiloni ve ark.(2015) tarafından 517/2014 AB düzenlemesine göre R404A'nın GWP değerinin (3943) çok yüksek olması nedeniyle yasaklanacağından bu akışkana alternatif olarak GWP değeri 1390 olan R448A akışkanı ile ilgili araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada tipik donma ve koruma sıcaklıkları ile farklı yoğuşma koşullarında simule edilmiştir. R448A'nın soğutma kapasitesinin biraz daha düşük olmasına rağmen enerji tüketiminin çok daha düşük ve COP değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada hacimsel verim, kütlesel akış oranı, soğutma kapasitesi, COP ve kompresör çıkış sıcaklığı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Aynı sıcaklık aralığında R448A'nın hacimsel veriminin %5-7 arasında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kütlesel akış hızında 240 ile 265 K buharlaşma sıcaklıklarında sırasıyla % 36-41 ile % 29-30 oranına kadar azalma olduğu görülmüştür. R448A'nın soğutma kapasitesinin 240 K'de %12-15 ve 265 K'de %1-6 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Soğutma kapasitesi düşük olsa da enerji tüketimi daha az olan R448A'nın 240 K'de COP değeri % 13-21 ve 265 K'de % 6-15 arasında artış göstermektedir. Kompresör çıkış sıcaklığının ise düşük buharlaşma sıcaklığında 12.5-14.7 K, yüksek buharlaşma koşullarında ise 9.4-11.2K arasında fazla olduğu tespit edilmiştir.

Arora ve Kaushikb(2008) tarafından yapılan incelemede gerçek bir buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin ayrıntılı bir ekserji analizi sunulmuştur. R502a, R404A ve R507A için performans katsayısı, ekserji tahribatı, ekserjetik verimlilik ve verim kusurlarını hesaplamak için bir hesaplama modeli geliştirilmiş. Yapılan incelemelerde - 50 ile 0°C arasındaki buharlaşma ve 40 ile 55 °C aralığında yoğuşma sıcaklıkları için yapılmıştır. R507A'nın R404A ve R502a' ya kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 40 ve 55 ° C arasındaki yoğuşma sıcaklıkları arasında R507A 'nın COP ve ekserji veriminin R404A'dan daha iyi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, her iki soğutucu, 40 ve 55 ° C arasındaki yoğuşma sıcaklıkları için R502'ye kıyasla % 4-17 daha düşük COP değerini ve ekserji verimi göstermektedir. Enerji yıkım oranı azalan şekilde R404A, R507A ve R502 olarak sıralanmıştır. Ekserji tahribatı açısından en kötü bileşen sırasıyla kondenser, ardından kompresör, genleşme valfi ve buharlaştırıcıdır. En verimli bileşenin evaporatör olduğu tespit edilmiştir. R507A için toplam verim düşüşü, 40 ve 55 ° C arasındaki yoğuşma sıcaklıkları için R404A'dan düşüktür. R507A 40 ve 55 °C kondenser sıcaklıkları arasında R404A'ya göre %0.8-0.3 oranında daha yüksek ekserjik verim göstermiştir. COP ve ekserjetik verimi hem R404A hem de R507A'nın, yoğunlaşmış sıvı soğutucu akışkan maddenin aşırı soğutmasıyla iyileşir. Bununla birlikte, ters

sıvı buhar ısı değiştiricisinin etkinliği 0'dan 1'e yükseldiğinde gerçekleşir. Bu durumda da R507A, R404A'ya kıyasla daha yüksek bir performans verir. Evaporatör ve kondenserdeki basıncın düşmesiyle, COP ve ekserjitik verimlilik düşerken enerji verim oranı artar. R507A evaporatör ve kondenserdeki basınç düşüşlerine R404A'dan daha iyi performans gösterir. Sonuç olarak R507A'nın R502a'ye R404A'dan daha iyi bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

Makhnatch ve ark.(2015) tarafından yapılan çalışmada R404A'nın kullanıldığı orta sıcaklıklı bir sistemde -9 ve -4 °C evaporatör çıkış sıcaklığında ikincil bir akışkan olarak GWP değeri 1282 olan R449A'nın kullanıldığı sistem incelenmiştir. R449A, uygun termodinamik özellikleri ve kabul edilebilir maksimum kompresör çıkış sıcaklığı nedeniyle R404A için tasarlanmış bu soğutma sisteminde hafif bir genleşme valfi ayarı ve soğutucu akışkan şarjının %4 oranında arttırılmasıyla kullanılabileceği belirtilmiştir. Yoğuşturucu girişindeki 30 ° C'lik ikincil bir akışkan sıcaklığında, R449A yaklaşık %13 daha düşük soğutma kapasitesine rağmen her iki akışkanın COP değerleri de 1.9 ve 2.2 arasında yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, GWP azaltımına ve benzer enerji performansına katılan TEWI(toplam eşdeğer ısıtma etkisi) metodolojisini kullanarak, bu uygulamalarda yakın zamanda geliştirilen R449A soğutucu akışkanının R404A soğutucu için tasarlanmış dolaylı bir süpermarket soğutma sisteminin toplam CO_2 eşdeğer emisyonunu azaltabileceği gösterilmiştir.

Kaya(2009) tarafından yapılan çalışmada buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimlerinin orta sıcaklık uygulamalarında, R22 yerine ozon tabakasına zarar vermeyen R404A kullanılması ile sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. R22 ile çalışan soğutma sisteminin R404A'ya uyarlanması sonucunda soğutma sistemi; sistem performansı, maliyet analizi, ODP ve GWP olmak üzere dört açıdan incelenmiştir. Orta sıcaklık uygulamalarında, R22'nin önemli bir alternatifi olan R404A'nın, R22 ile karşılaştırıldığında çeşitli avantajları ve dezavantajları bulunduğu sonucuna varılmıştır. R404A'nın avantajları olarak yüksek soğutma kapasitesini, iyi ısı iletim yeteneğini, sıfır ozon delme potansiyelini, dezavantajları olarak da düşük performans katsayısını, yüksek güç tüketimini, yüksek maliyetini ve yüksek küresel ısınma etkisini olarak tespit edilmiştir. R22 yerine R404A kullanılması ile toplam soğutma kapasitesinin %2.32 oranında arttığı, R22'nin COP değeri 2.12 iken R404A'nın COP değerinin 1.91 olduğu ve kütlesel debinin de %42.2 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca düşük buharlaşma sıcaklıkları için R404A'nın, düşük yoğuşma veya çevre sıcaklığı için R22'nin daha uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Çomaklı ve ark.(2009) yapmış oldukları çalışmada, R404A soğutucu akışkanının yaklaşık % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 kütle oranı ile R22 soğutucu akışkanından oluşan ikili karışımları kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Farklı gaz karışım oranlarının,

buharlaştırıcı hava giriş sıcaklığının 24°C'den 32°C'ye, buharlaştırıcı hava kütle akış oranının 0.58'den 0.74 kg/s'ye, yoğunlaştırıcı hava giriş sıcaklığının 22°C'den 34°C'ye kadar, kondenser hava kütle akış hızının 0.57'den ila 0.73 kg/s'ye, buhar sıkıştırmalı ısı poMPası sisteminde performans katsayısı (COP) ve ekserjetik verimi değerlerinin değişimi incelenmiştir. Seçilen parametrelerin sistem üzerindeki etkisini ve optimum çalışma koşullarını belirlemek için Genichi Taguchi tarafından önerilen deneysel bir tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, en etkili parametrelerin, COP ve ekserjetik verimlilik için yoğunlaştırıcı hava giriş sıcaklığı olduğu bulunmuştur.

Jin ve ark.(2016), ortam sıcaklığının hava kaynaklı ısı poMPası(ASHP) performansı üzerindeki etkisini araştırmak için, soğutucu olarak R404A kullanan, iç ısı eşanjörü olan bir ASHP geliştirilmiş ve düşük ortam sıcaklıklarında çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak ASHP'nin performansını değerlendirmek için teorik simulasyon yapılarak IHX ve üç farklı döngü ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarının, literatürden elde edilen veriler ve deneysel verilerle uyuştuğu görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda IHX'li R404A ASHP sisteminin konut ısıtma için iyi bir potansiyele sahip olduğunu gösterilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarının ASHP'nin IHX ile performansının, IHX'siz ASHP'nin performansından çok daha iyi olduğunu, Ortam sıcaklığı 0 °C'den ve -26 °C'ye düştükçe, R404A ASHP'nin IHX ile ısıtma kapasitesindeki iyileşmenin %5.91'den %15.92'ye yükselirken, COP iyileşmesi %10'dan %20'ye yükseldiği görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, ortam sıcaklığı düştükçe IHX'li sistemin daha etkili hale geldiği gösterilmiştir.

Salimpour ve Gholami(2014) çalışmasında, sarılmış tel yerleştirilmiş tüplerde R404A buharının konvektif yoğuşması sırasında basınç düşüşünün artışını belirlemek için deneysel bir araştırma yapılmıştır. Deneyler, düz tüp ve beş sargı teli takılı tüp için gerçekleştirilmiş. Dört kütle hızı için veriler toplanmış ve her kütle hızı için, altı farklı buhar kalitesi düşünülmüştür. Deneysel sonuçlar sargılı tel eklerin düz tüp değerlerine kıyasla basınç düşüşünün % 1200 arttırdığı görülmüştür.

Fannou ve ark. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, R410A, R407C ve R22'yi soğutucu olarak kullanan doğrudan genleşmeli jeotermal evaporatörün karşılaştırmalı bir performans analizi sunulmuştur. Ana hedef, R22'nin yerini alabilecek en iyi soğutucu akışkanı öngörmektir. Çalışmada geçerli bir jeotermal evaporatör modeli kullanılmış ve doğrudan genleşmeli jeotermal ısı poMPası sistemindeki simülasyon sonuçları, düşük soğutucu akış hızı için R410A doğrudan genleşmeli evaporatörün R22'nin performansından daha iyi performans sergilediğini ancak basınç düşüşleri ve aşırı ısınma değerlerine bakıldığında R407C'nin R22'ye alternatif en iyi soğutucu akışkan olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, özellikle yüksek

soğutucu akış hızlarında basınç düşüşünü en aza indirgemek için R410A, yeni doğrudan genleşmeli sistemlerin tasarımı için daha iyi bir seçim olacağı belirtilmiştir.

Esbri ve ark. (2013a) tarafından yapılan çalışmada buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminde R134a yerine R1234yf soğutkanı kullanılarak deneysel analizler yapılmıştır. Çalışmada iki akışkan arasındaki enerji performansı, geniş çalışma koşullarındaki durumu gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel testlerde değişen yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıkları, superheat değeri, kompresör hızı ve iç ısı değiştirici kullanılarak gözlemler yapılmıştır. R134a esas alınarak elde edilen sonuçlarda R1234yf kullanılması durumunda soğutma kapasitesinde %9 ve COP değerinde %19 oranında daha düşük değerler elde edilmiş, az bir fakla da daha yüksek yoğuşma sıcaklığı gözlemlenmiştir. İç ısı değiştirici kullanılarak iki soğutucu akışkan arasındaki enerji performansındaki farklılıkta önemli azalma görülmüştür. R1234yf kullanılması durumunda hacimsel verimin %5‘e kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu da daha yüksek kompresör hızlarında çalışılmasını sağladığı görülmüştür. Yüksek yoğuşma sıcaklığında ve iç ısı değiştirici kullanılması durumunda iki soğutucu akışkanın performans değerlerinin yakın olduğu yapılan çalışmada görülmüştür.

Esbri ve ark. (2013b) tarafından yapılan başka bir çalışmada R134a nın yerine R1234yf’nin kullanıldığı buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminde iç ısı değiştiricinin etkisinin deneysel bir analizi sunulmaktadır. Bu çalışmada, sisteminin enerji performansını, hem soğutucu R134a hem de R1234yf'yi kullanarak, geniş çalışma koşulları altında bir iç eşanjör kullanarak ve kullanmadan karşılaştırılmıştır. Yoğuşma sıcaklığı, buharlaşma sıcaklığı ve iç ısı eşanjörünün kullanımını değiştiren bir dizi deneysel test gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, R134a'nın yerine R1234yf kullanılması durumunda soğutma kapasitesi ve COP değerlerinde %6 ila %13’ lük bir düşüş olduğu, iç ısı değiştirici kullanıldığında ise bu azalmaya ilave olarak %2 ila %6 arasında daha azalmaya neden olduğunun görüldüğü tespit edilmiştir.

Fukuda ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada düşük küresel ısıtma potansiyeli olan R1234ze (E) ve R1234ze (Z) soğutucu akışkanlar tercih edildiği endüstriyel uygulamalarda yüksek ısı dereceli ısı poMPası sistemlerinin termodinamik özellikleri deneysel ve sayısal olarak değerlendirilmiştir. Termodinamik değerlendirme, teorik performans katsayılarının (COP) her bir soğutucu akışkan için kritik sıcaklıkların yaklaşık 20 K altında bir yoğuşma sıcaklığında en üst düzeye çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte, hacimsel kapasite yetersiz olduğunda, gerçek COP, büyük basınç düşüşünden ötürü teorik COP'dan farklı olduğu belirtilmiştir. Hem deneysel hem de simülasyon çalışması ile yoğuşma sıcaklığını 75, 105 ve 125 ^{o}C olduğu durumlarda sistemin enerji parametreleri incelenmiş ve 75 ^{o}C‘de en yüksek basınç düşüşlerinin olduğu ve 105 ile 125 ^{o}C‘deki COP değerlerinin daha yüksek olduğu

görülmüştür. Ana faktör, basınç düşüşünün neden olduğu kayıpların azaltılmasıdır. Bu araştırmada yapılan değerlendirme, R1234ze'nin(Z) tipik klimalarda değil, yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun olduğudur.

Mancin ve ark.(2014) yapmış olduğu çalışmada ısı dağılımının, elektronik cihazların güvenilirliği için en önemli konulardan biri olduğunu belirtmiştir. Kaynamanın çok verimli bir ısı iletim mekanizması olduğu, dolayısıyla verimli ve koMPakt ısı emiciler kullanarak teknoloji ile uyumlu değerlerde elektronik teçhizatın bağlantı sıcaklığını korumak için kullanılabileceği belirtilmiştir. Öte yandan, sentetik soğutucu akışkanların kullanımı ile ilgili çevresel etkiler nedeniyle alternatif çözümler üzerinde çalışılmakta olduğu belirtilmiştir. Son zamanlarda, yeni düşük GWP'li soğutucu, özellikle R1234ze (E), daha geleneksel R134a'nın olası alternatifleri olarak önerilmiştir. Ayrıca, olasılıksal ve periyodik, özellikle de açık hücreli metal köpüklerden oluşan hücresel yapılı malzemeler, yüksek ısı akılarında elektronik sıcaklıkları düşürmek için olası yüzeyler olarak önerilmiştir. Şimdiye kadar, metal köpükler üzerine yapılan araştırmaların çoğunda tek fazlı akış gözükürken, iki fazlı akımın hala neredeyse keşfedilmediği belirtilmiştir. Bu makale, 5 PPI bakır köpük içinde tek fazlı sıvı ve akış kaynaması esnasında R134a ve R1234ze'nin (E) ısı transferine ilişkin deneysel bir çalışmayı sunmaktadır. Deneysel ölçümler iki farklı ısı akısının(50 ve 100 kW/m^2) yüklenmesiyle gerçekleştirilmiş, sabit doygunluk sıcaklığı 30 °C'de, soğutucu akışkan kütle hızı, 50 ila 200 kg/m^2s arasında değişirken, buhar kalitesi 0.2 ila 0.95 arasında değişik değerler ile çalışma yapılmış. Sonuç olarak, soğutucu akışkan kütle akış hızının, ısı akısının ve buhar kalitesinin ısı transfer katsayısı, kuruma olgusu ve basınç düşüşü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, akış kaynar ısı transferi, deneysel sonuçların detaylı bir analizine olanak tanıyan yüksek hızlı bir video kamera kullanılarak gözlemlenmiştir. İki fazlı toplam basınç düşüşleri en kritik dezavantaj olarak değerlendirilmiş. Sonuçlar her iki akışkan için de buhar kalitesi ve kütle hızı ile basınç düşüşlerini arttırdığını ve R1234ze'nin(E) R134a' ya göre daha yüksek iki fazlı basınç düşüşleri sergilediğini gösterdiği belirtilmiştir. İki akışkanın farklı termofiziksel özellikleri, farklı ısı iletimi ve akışkan davranışlarını açıklamakta ve yeni düşük GWP soğutucu akışkanının olumlu ve olumsuz yönlerini vurgulamaktadır. Çalışmada sunulan ısı transferi sonuçları, akışlı kaynama ısı iletiminde metal köpüklerin ilginç ısı transfer özelliklerini göstermektedir.

Lee ve Jung(2012), yapmış oldukları çalışmada R1234yf ve R134a'nın performansı, mobil klima cihazlarında (MAC'ler) bir ısı poMPası düzeneğinde incelenmiştir. R134a, ağırlıklı olarak son on yılı aşkın süredir MAC'lerde kullanılmasına rağmen, yüksek küresel ısınma potansiyeli nedeniyle Avrupa'daki yeni MAC'lerde 2011'den itibaren aşamalı olarak azaltılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu sorunu çözmek için MAC'lar için açık tip kompresör ile donatılmış bir deney düzeneğinde R1234yf ve R134a ile yaz ve kış koşullarında testler yapılmıştır. Test

sonuçları, R1234yf'nin performans katsayısının ve kapasitesinin R134a'nınkinden % 2.7 ve % 4.0 daha düşük olduğunu ortaya çıkmıştır. Kompresör çıkış sıcaklığı ve R1234yf şarj miktarının R134a'ya göre 6.5 ^{o}C ve %10 daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara dayanarak, R1234yf'nin kabul edilebilir performansa sahip mükemmel çevre özellikleri nedeniyle MAC'lerde uzun vadeli çevre dostu bir çözüm olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Shen ve Bansal(2014), yaptığı çalışmada R410A'ya alternatif çevre dostu soğutkanların teknik olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. R410A'ya alternatif olarak R32, R600a, R290, R1234yf, R1234ze ile % 90 R32 ve % 10 R125 molar konsantrasyonlu soğutucu akışkanları ile ilgili inceleme yapılmıştır. Temel deneyler, R410A ile doldurulan sistem üzerinde gerçekleştirilmiş. Ayrıntılı bir ısı poMPası tasarım modeli temel verilerle kalibre edilmiş ve iklimlendirme sistemi alternatif soğutucu akışkanlarla karşılaştırmalı performansını değerlendirmek için kullanılmış. Çalışmada, her soğutucu akışkan maddenin avantaj ve dezavantajlarını ve bunların klimalar için uygunluğu incelenmiştir. İklimlendirme sisteminde R410A için en iyi potansiyeli tanımlamak için, 35ºC dış ortam kuru termometre sıcaklığı ve 26.7 - 19.4 ºC kapalı ortam kuru ve yaş termometre sıcaklığında standart derecelendirme koşullarında simülasyonlar gerçekleştirilmiş. 10.000 Btu/h soğutma kapasitesi, %66 izentropik verim ve %86 hacimsel verim değerlerine göre yapılan çalışmada soğutucu akışkanlar için hesaplamalar yapılmıştır. Kondenser subcooling dereceleri ve evaporatör superheat 12.5 ºC'de tutulmuştur. Yapılan çalışmada R410A, R32 ve R32-%90/R125-%10 karışımının benzer sıkıştırma hacimleri gösterdiği görülmüştür. Yani R410A kullanılan sistemde kompresörde herhangi bir değişiklik yapılmadan bu akışkanların da kullanılabileceği belirtilmiştir. Eşanjör yapılandırmaları karşılaştırıldığında R134a, R600a, R1234yf ve R1234ze için doygunluk sıcaklık düşüşlerinin daha belirgin olduğu görüldüğü ve bu soğutucuların kullanıldığı sistem için farklı ısı değiştirici konfigürasyonlarının gerektiği belirtilmiştir. Çeşitli soğutkanların kompresör çıkış sıcaklıklarının değişimi incelenmiş R32'nın en yüksek kompresör çıkış sıcaklığının R410A'dan yaklaşık 37.5 ºC daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

R404A soğutucu akışkanının yerine R410A, R407F, R448A, R449A, R452A gibi alternatif soğutucu akışkanlar kullanılarak literetürde yapılan çalışmalara bakıldığında soğutma sisteminin enerji parametrelerinde genellikle iyileşmeler görülmektedir. Yapılan bu çalışmada da literatürde yapılan çalışmalara paralel olarak R404A soğutucu akışkanının yerine R442A ve R453A soğutucu akışankanları kullanılarak enerji parametrelerinde iyileşme sağlanmış ve sistemde hiçbir değişiklik yapılmadan bu soğutucu akışkanların kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca sisteme plakalı iç ısı değiştirici eklenerek enerji performanslarına etkiside araştırılmıştır. Sonuçlarda, sisteme plakalı iç ısı değiştirici eklenmesiyle soğutma kapasitesi ve soğutma performans katsayısının arttığı belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışılan Soğutucu Akışkanlar

3.1.1.1. R404A

R404A soğutucu akışkanı R22'ye alternatif olarak geliştirilmiştir ve düşük sıcaklık soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. R125, R134a ve R143a'dan oluşan zeotropik bir karışımdır. HFC içerdiğinden nihai bir alternatif olmayıp yönetmeliklerin getirdiği zorunluluktan dolayı 2030 yılına kadar kullanılabilecektir. R404A soğutucu akışkanına ait *T-s* diyagramı Ek-1'de, termodinamik özelliklerini gösteren tablo Ek-4'de sunulmuştur.

3.1.1.2. R442A

R404A'nın alternatifi olarak geliştirilen yeni soğutucu akışkanlardan biri R442A'dır. Yanıcı ve zehirleyici olmamakla birlikte 0 ODP ve R404A'ya göre %52 daha düşük GWP'ye sahiptir. Ayrıca yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır. R442A soğutucu akışkanı orta ve düşük sıcaklık aralıklarında R404A ve R507 için iyi bir alternatif olabilir. R404A ve R507 kullanılan bir sistemde bir kaç küçük değişiklik yapılarak bu akışkanların yerine kullanılabilir. Molekül ağırlığının yüksek olması nedeniyle genleşme valfinde değişiklik yapılması gerekebilir. Ancak kompresör yağının değişmesine gerek yoktur. ASHRAE'nin zehirlilik sınıflandırmasına göre zehirleyici olamayan A1 sınıfında yer almaktadır. R442A soğutucu akışkanına ait *T-s* diyagramı Ek-2'de, termodinamik özelliklerini gösteren tablo Ek-5'de sunulmuştur.

3.1.1.3. R453A

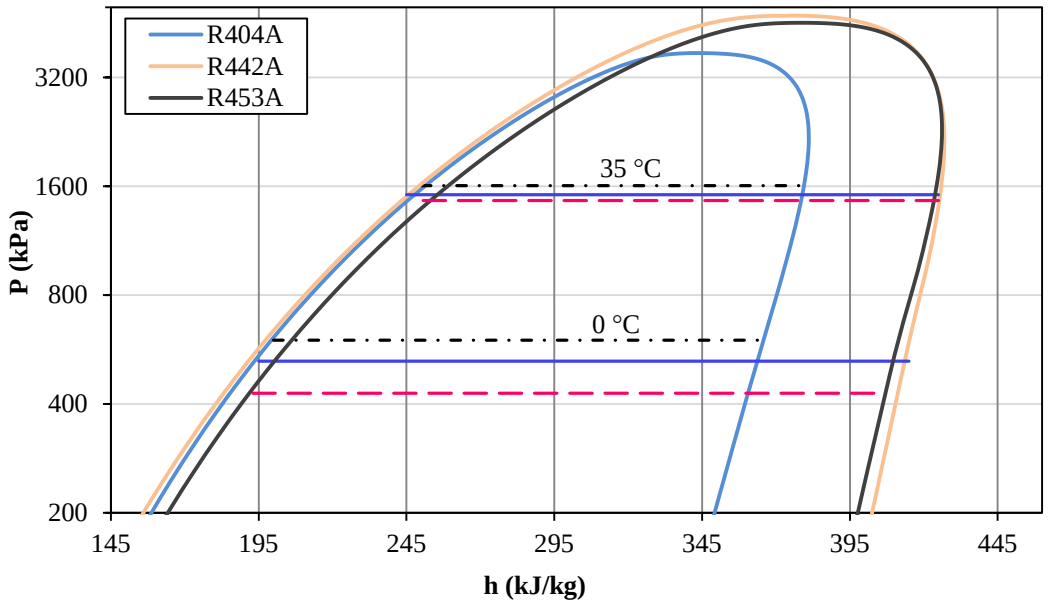
R404A'nın alternatifi olarak geliştirilen diğer bir soğutucu akışkan da R453A'dır. R453A soğutucu akışkanı yanıcı olmayan 0 ODP ve R404A'ya kıyasla %55 daha düşük GWP'ye sahiptir. Ayrıca yüksek enerji verimliliği de sağlamaktadır. Ancak aşırı maruziyet durumunda ölümcül olabilmekte, sıvı halde fışkırma veya püskürme durumunda deri veya göz ile temasta donma yanıklarına neden olabilmektedir. Yüksek atmosferik konsantrasyonda bayılmaya neden olmaktadır(Refrigerant Solutions, 2015). Mevcut sistemde değişiklik yapılmadan kullanılabilmektedir. Kompresör yağının değişmesine de gerek yoktur. R453A soğutucu akışkanına ait *T-s* diyagramı Ek-3'de, termodinamik özelliklerinin gösteren tablo Ek-6'da sunulmuştur.

Çizelge 3.1.' de deneysel çalışmada kullanılan soğutucu akışkanların temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışılan soğutucu akışkanların temel özellikleri

Soğutucu Akışkan	Kimyasal Bileşim	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basınç (MPa)	Normal Kaynama Sıcaklığı (°C)	Emniyet Sınıfı	ODP	GWP
R404A	R125 44% R143a 52% R134a 4%	97.6	72.1	3.76	-46.5	A1	0	3943
R442A	R32 %31 R125 %31 R134a %30 R152 %3 R227ea %5	81.8	82.4	4.76	-46.5	A1	0	1888
R453A	R134a %53,8 R125 %20 R32 %20 R227ea %5 R601a %0,6 R600 %0,6	88.8	87.9	4.53	-42.2	A1	0	1765

Şekil 3.1.'de 0 °C evaporatör ve 35 °C kondenser sıcaklıkları için test edilen üç soğutucu akışkan için sabit basınç eğrileri görülmektedir. R442A ve R453A nın basınç-entalpi dağılımı benzer özellik göstermektedir. R404A nın kritik noktası diğer akışkanlardan daha düşüktür. Aynı basınç için evaporatördeki özgül soğutma etkisi, R442A ve R453A da daha yüksektir.



Şekil 3.1. R404A, R442A ve R453A soğutucu akışkanların *P-h* diyagramı

3.2. Metot

3.2.1. Deney Düzeneği, Kullanılan Ekipmanlar ve Özellikleri

Buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde GWP değeri 3943 olan R404A soğutucu akışkanının yerine GWP değerleri sırasıyla 1888 ve 1765 olan R442A ve R453A gazlarının kullanılması ve IHX entegre edilmesi durumunda enerji parametrelerindeki değişikler incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Kurulan deney sisteminde 2 kW soğutma kapasiteli R404A soğutucu akışkanı ile çalışan buhar sıkıştırmalı bir soğutma sistemi kullanılmıştır. Sistemde, Şekil 3.2.a'da görülen 2 HP gücünde Cubigel MTZX21 marka hermetik pistonlu tip kompresör kullanılmıştır. Soğutulan ortamdaki sıcaklık değişimlerinin ve sistem performansının daha iyi tespit edilmesi için soğuk oda oluşturulmuş ve Şekil 3.2.b'de görülen bakır boru alüminyum kanatlı hava soğutmalı evaporatör kullanılmıştır. Sistemde Şekil 3.2.c'de görülen Castel marka içten dengelemeli termostatik genleşme valfi kullanılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.2. Hermetik kompresör, Evaporatör(iç Ünite), Termostatik genleşme valfi

Şekil 3.3.'de görülen soğuk oda(kontrol hacmi) 8 cm kalınlığında poliüretan köpük dolgu malzemeden yapılmış panel duvarlar ile oluşturulmuştur ve 6 m^3 hacme sahiptir. Kontrol hacminde değişik ısı yükleri oluşturmak için soğuk odaya elektrikli rezistanslar yerleştirilmiş ve termokupl ile hacmin sıcaklığı izlenmiştir.



Şekil 3.3. Soğuk oda(Kontrol hacmi)

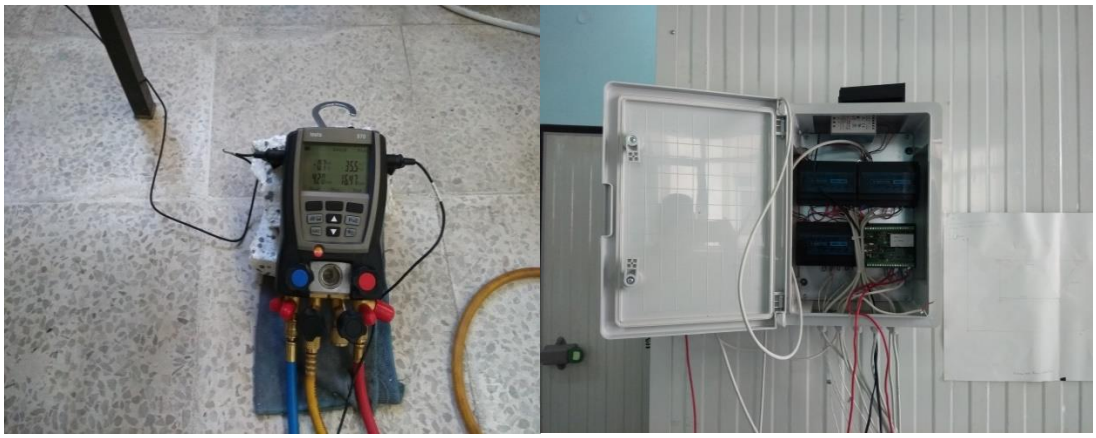
Sabit dış ortam koşullarında kondenserin çalışmasını simule etmek amacıyla kondenser izolasyonu yapılmış bir kanal içine yerleştirilmiştir.

Sistem performansını ölçmek üzere yardımcı ölçme cihazları sisteme entegre edilmiştir. Sistemin soğutma kapasitesini hesaplamak için sistemde dolaşan akışkanın kütlesel debisine ihtiyaç vardır. Kütlesel debiyi tayin etmek için Şekil 3.4.'deki Coriolis prensibi ile çalışan debi ölçüm cihazı genleşme valfinden önce sisteme monte edilmiştir.



Şekil 3.4. Kütlesel debi ölçme cihazı

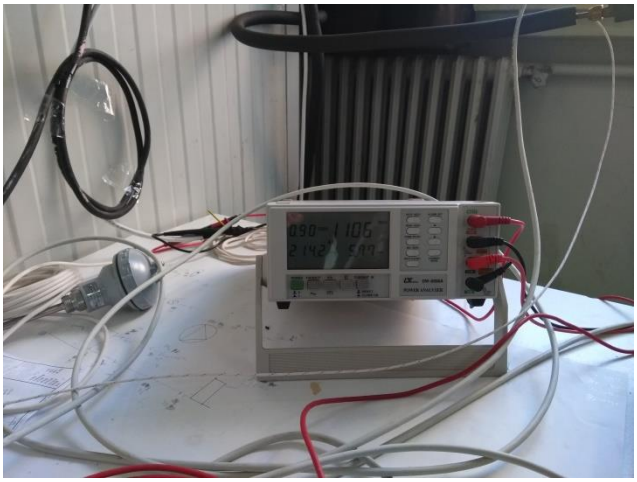
Sistemde dolaşan gazın sıcaklık ve basınç değerlerinin izlenebilmesi için kompresör ve genleşme valfi ve evaporatör girişlerine ve kondenserin giriş ve çıkışına sıcaklık ve basınç sensörleri yerleştirilmiştir. Sitemin alçak ve yüksek basınç yani kompresör giriş ve çıkış hattına bağlanan Şekil 3.5.a' da görülen dijital manifold ile sistemin rejime geçmesi izlenmiştir. Sistem rejime girdikten sonra veriler kaydedilmiştir. Ayrıca anlık olarak okunan veriler Şekil 3.5.b'deki veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Veri toplama ünitesi ile sisteme yerleştirilen sensörlerden gelen veriler bir yazılım ile bilgisayara aktarılmaktadır.



(a) (b)

Şekil 3.5. Dijital manifold, Veri toplama ünitesi

Kompresörde harcanan elektrik enerjisi gerilim, akım ve güç faktörünün aynı anda okunabildiği Şekil 3.6.'daki bir güç analiz cihazı ile belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Güç analiz cihazı

Sistemde kullanılacak Şekil 3.7.a'da görülen her gaz için sistem vakum edilerek herhangi bir soğutucu akışkanın ve nemin kalmaması sağlanmıştır. Daha sonra Şekil 3.7.b'de görülen elektronik terazi aracılığı ile sisteme 1500 g R404A, 1555 g R442A ve 1560 g R453A soğutucu akışkanları şarj edilmiştir. Sisteme şarj edilecek soğutucu akışkan miktarının tamamı direk olarak şarj edilmemektedir. Vakumla sistem boşaltıldıktan sonra çevrimde dolaşacak soğutucu akışkan miktarının yaklaşık %60-65'i sisteme şarj edildikten sonra sistem çalıştırılmaktadır. Daha sonra şarj edilmesi gereken toplam miktara ulaşana kadar soğutucu akışkan kademeli olarak kompresörde bulunan doldurma vanasından sisteme şarj edilmektedir. Bunun yapılmasının nedeni soğutucu akışkanın tamamının sisteme yüklenerek ani donmaların ve kompresörde meydana gelebilecek mekanik arızaların önüne geçmektir.



(a) (b)

Şekil 3.7. Kullanılan Soğutucu Akışkanlar(R453A, R442A ve R404A), Elektronik Terazi

Ölçüm cihazlarına ait ölçüm aralığı ve hassasiyet değerleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

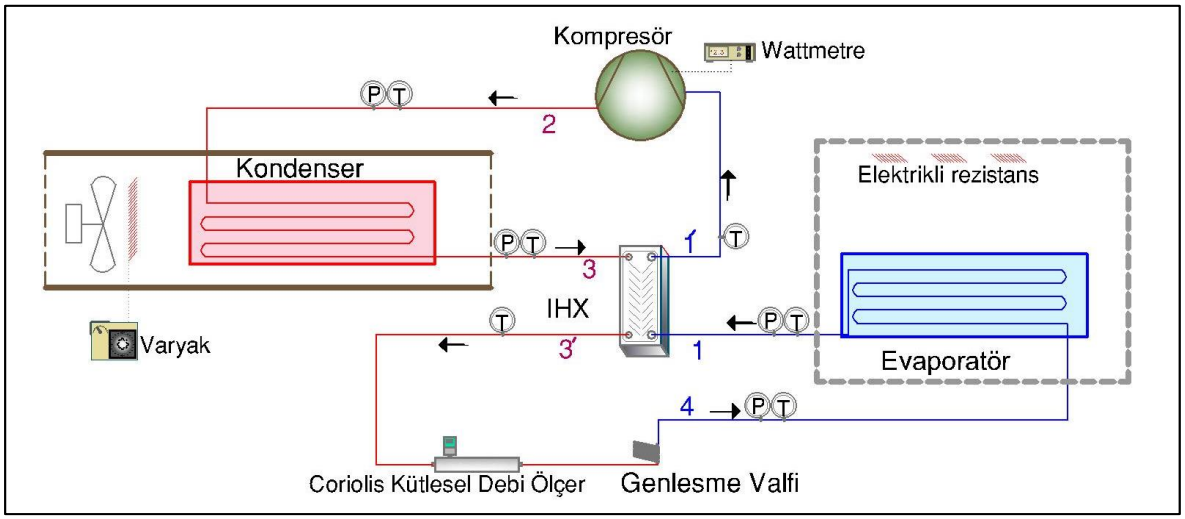
Çizelge 3.2. Ölçüm Cihazlarının Özellikleri

Cihaz Adı	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Basınç Sensörü	0-40 Bar	±%1 FSO
K Tipi Isıl Çift	-50/150 ^{o}C	± 0,5 ^{o}C
PT100	-100/500 ^{o}C	± 0,5 ^{o}C
Coriolis Tipi Kütlesel Ölçüm Cihazı	0-250 kg/h	± 0,1 %
Wattmetre	0-6000 W	± 1,5 %

Şekil 3.8.'de görülen plaka tipi IHX entegre edilmiştir. Lehimlenmiş plakalı sıvı-gaz ısı değiştiricinin, kanal plaka malzemesi paslanmaz çelik, sert lehimleme malzemesi bakırdır. IHX 10 adet plakadan meydana gelmiştir. Sıvı tarafı basınç dayanımı 41 bar, emme tarafı basınç dayanımı 34 bar'dır. Sıvı tarafı hacmi 0.10 litre, emme tarafı hacmi 0.12 litredir. Sisteme zıt akış oluşturacak şekilde bağlanmıştır. IHX'li sistem şeması Şekil 3.9.'da verilmiştir.



Şekil 3.8. İç Isı Değiştirici(IHX)



Şekil 3.9. IHX'li soğutma sistem şeması

Yapılacak deneysel çalışma için hazırlanan buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde 0 ^{o}C, -3 ^{o}C ve -6 ^{o}C gibi üç farklı buharlaşma sıcaklıkları ile 35 ^{o}C, 40 ^{o}C ve 45 ^{o}C gibi üç farklı yoğuşma sıcaklıklarında R404A, R442A ve R453A soğutucu akışkanları kullanılarak sistemin soğutma kapasitesi, sistem performansı, kütlesel debi, sıkıştırma oranı, kompresör izentropik ve hacimsel verimi gibi parametreler IHX kullanılarak ve kullanılmadan karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

3.2.2. Hesaplamalar

Sistemin soğutma kapasitesi($\dot{Q}_e$);

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_{e,ç} - h_{e,g}) \quad (1)$$

denklemiyle hesaplanmıştır, burada ṁ soğutucu akışkanın kütlesel debisi (kg/s); *h*e,ç ve *h*e,g akışkanın evaporatör çıkışındaki ve girişindeki entalpi değerleridir (kJ/kg)(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

Soğutma performans katsayısı(COP);

$$\mathrm{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{el}} \quad (2)$$

denklemiyle hesaplanmış olup, burada W_{el} kompresörde harcanan birim zamandaki enerji miktarıdır (kW)(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

İzentropik verim(η_{is});

$$\eta_{is} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

denklemiyle hesaplanmıştır. Formülde h_{2s}; sıkıştırmanın izentropik olması durumunda kompresör çıkışındaki entalpi değeri(kJ/kg), h_2; gerçek çevrimde kompresör çıkışındaki entalpi değeri(kJ/kg), h_1; kompresör girişindeki entalpi değeridir(kJ/kg)(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

Kondenser kapasitesi($\dot{Q}_c$);

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_e + \dot{W}_{el} \quad (4)$$

denklemiyle hesaplanmıştır. $\dot{Q}_e$ sistemin soğutma kapasitesini, $\dot{W}_{el}$ kompresörde harcanan enerjiyi göstermektedir(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

Sıkıştırma oranı;

$$\frac{P_H}{P_L} \quad (5)$$

Deneysel analizlerde karşılaştırma yapılan diğer bir değer de sıkıştırma oranıdır. Yüksek basınç P_H değerinin, düşük basınç P_L değerine oranı olan P_H/ P_L değerine sıkıştırma oranını vermektedir(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

Hacimsel verim $\eta_{volumetrik.}$;

$$\eta_{volumetric} = 1 - \mathrm{R}(\frac{v_1}{v_2} - 1) \quad (6)$$

Diğer bir kompresör verimi de hacimsel verimlilik olup boşluk hacminin yer değiştirme hacmine oranı olan (R) ve kompresör girişinde (emme) ve çıkışta (basma) soğutucuya ait özgül hacimler ile hesaplanmaktadır(Dinçer ve Kanoğlu, 2010).

Kuruluk derecesi x(%);

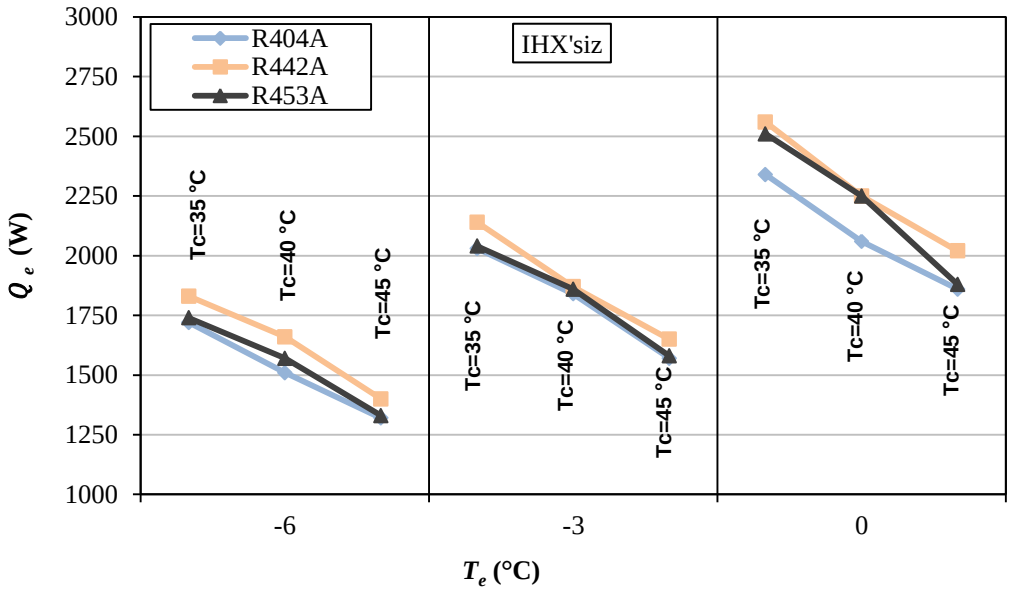
$$h_3 = h_4 \quad (7)$$

$$h_4 = (1 - x_4)h_{f,e} + x_4 h_{g,e} = h_f + x_4 h_{fg} \quad (8)$$

Sabit entalpide gerçekleşen genleşme işleminde kinetik enerji değişimi önemlidir, ancak genleşme cihazını kontrol hacmi gibi akışı aşığı yönlü sayarsak, kinetik enerji viskoz etkilerden dolayı dağılır. Genleşme cihazı çıkışında soğutucu akışkan iki fazlı bölgede olur. Böylece denkleme kalite (kuruluk derecesi) tanımlaması uygulanır.

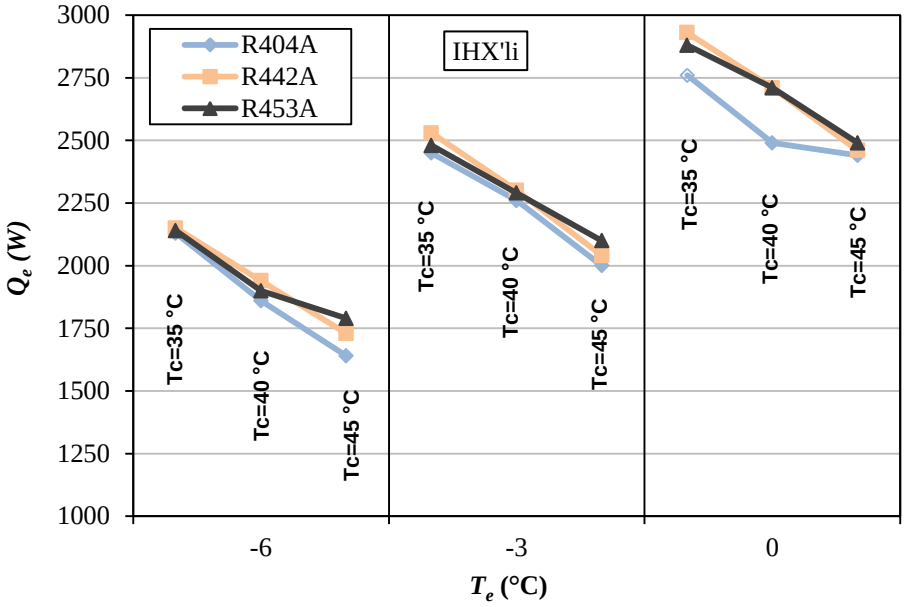
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri Refprop(Lemmon ve ark., 2013) programı ile tespit edilmiştir. IHX olmadan çevrimin enerji analizleri sonucunda elde edilen soğutma kapasitesinin ($\dot{Q}_e$), buharlaşma sıcaklığı (T_e) ve yoğuşma sıcaklığı (T_c) ile değişimi Şekil 4.1.'de verilmiştir. Öncelikle, soğutucu akışkan türünden bağımsız olarak T_e arttıkça $\dot{Q}_e$ değerlerinin arttığı ancak T_c arttıkça $\dot{Q}_e$ değerinin azaldığı görülmektedir. Soğutucu akışkanların 35 °C kondenser sıcaklığı ve 0 °C evaporatör sıcaklığındaki soğutma kapasiteleri, R404A'lı sistemin 2340 W, R442A'lı sistemin 2560 W ve R453A'lı sistemin 2510 W'dır. R442A ve R453A gazlarının kullanılması durumunda sistemin soğutma kapasitelerinin R404A'ya kıyasla sırasıyla %1.6-%9.9 ve %0.5-%9.2 arasında daha yüksek olduğu, R442A'nın soğutma kapasitesinin de R453A'ya göre %7.4'e kadar daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.



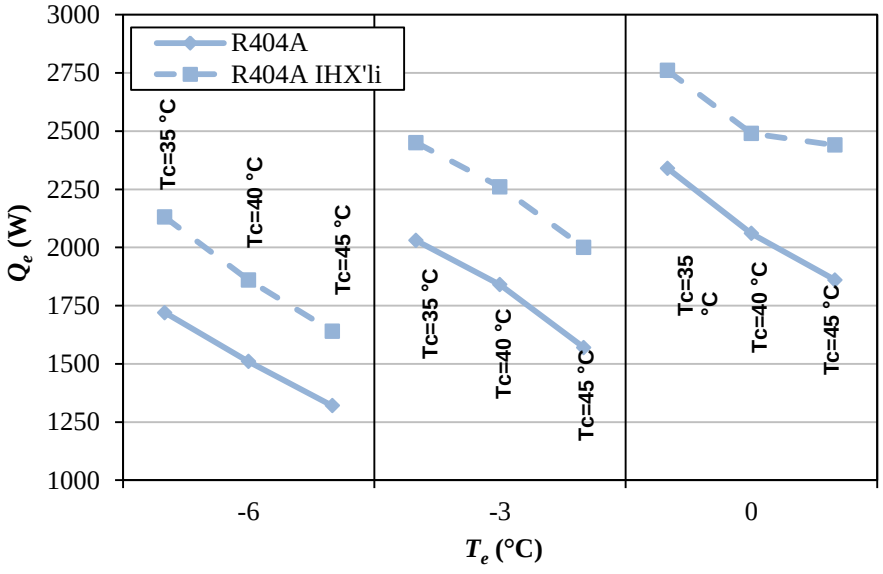
Şekil 4.1. IHX'siz sistemde $\dot{Q}_e$'nin T_e ve T_c sıcaklığı ile değişimi

IHX'li sistemde soğutucu akışkanların soğutma kapasitelerinin buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları ile değişim grafiği Şekil 4.2.'de verilmiştir. Soğutma çevriminde IHX kullanılması durumunda 35 °C kondenser sıcaklığı ve 0 °C evaporatör sıcaklığındaki soğutma kapasiteleri R404A'lı sistemin 2760 W, R442A'lı sistemin 2930 W ve R453A'lı sistemin 2880 W'dır. Soğutucu akışkanların soğutma kapasiteleri kendi aralarında karşılaştırıldığında R442A ve R453A'nın R404A'ya kıyasla sırasıyla %0.8-%8.8 ve %0.5-%9.1 arasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



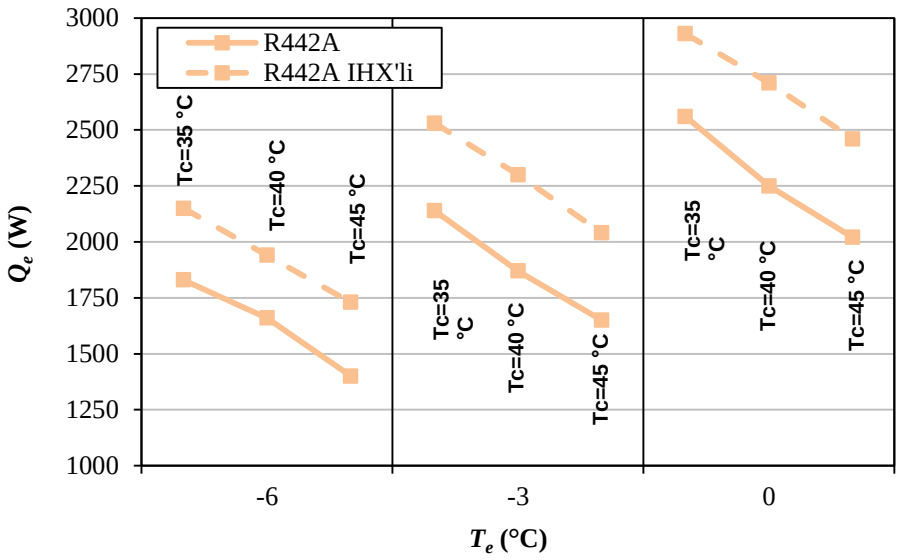
Şekil 4.2. IHX'li sistemde $\dot{Q}_e$'nin T_e ve T_c sıcaklığı ile değişimi

Şekil 4.3.'de, R404A kullanılan soğutma çevriminde farklı buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarında IHX kullanılmasının soğutma kapasitesine etkisi görülmektedir. IHX'li sistemin soğutma kapasitesi IHX'siz sisteme göre %17.9-%31.2 oranları arasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



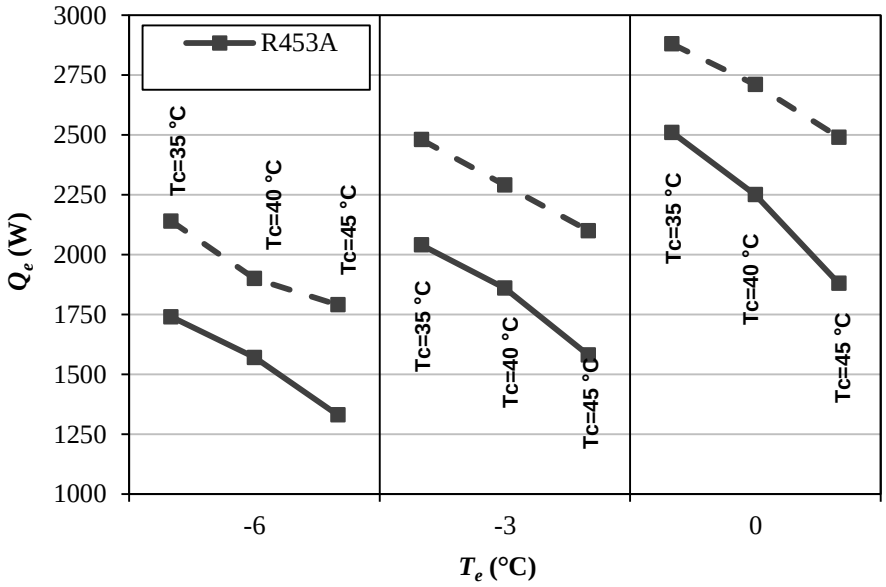
Şekil 4.3. R404A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi

R442A'lı sistemde farklı yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi Şekil 4.4.'de görülmektedir. IHX'li sistemin soğutma kapasitesi IHX'siz sisteme göre %14.5-%23.6 oranlarında daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.



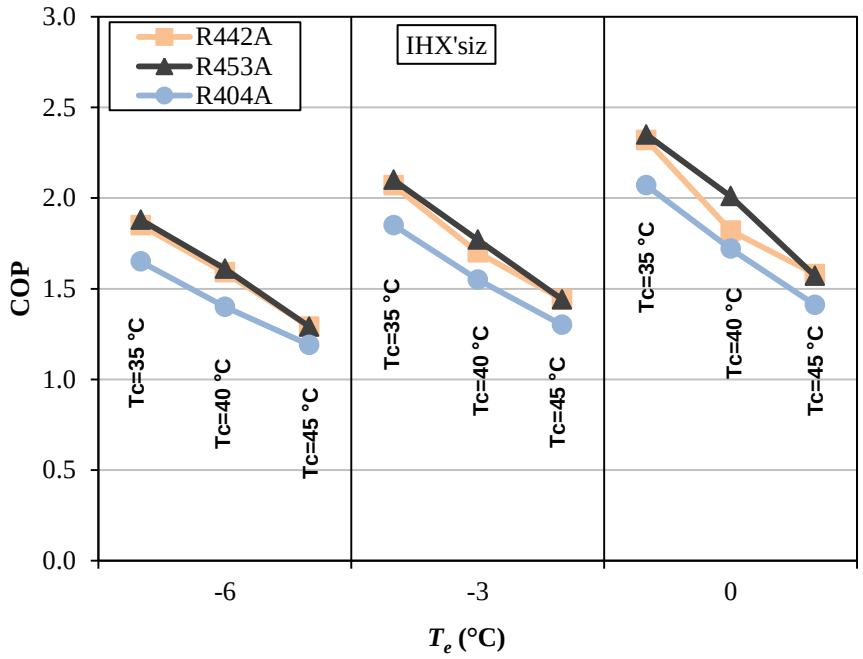
Şekil 4.4. R442A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi

IHX'in, R453A'nın kullanıldığı sistemde farklı yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıklarında soğutma kapasitesine etkisi Şekil 4.5.'de verilmiştir. IHX'in kullanıldığı çevrimin soğutma kapasitesi IHX'siz duruma göre %14.7-%34.6 arasında daha yüksektir.



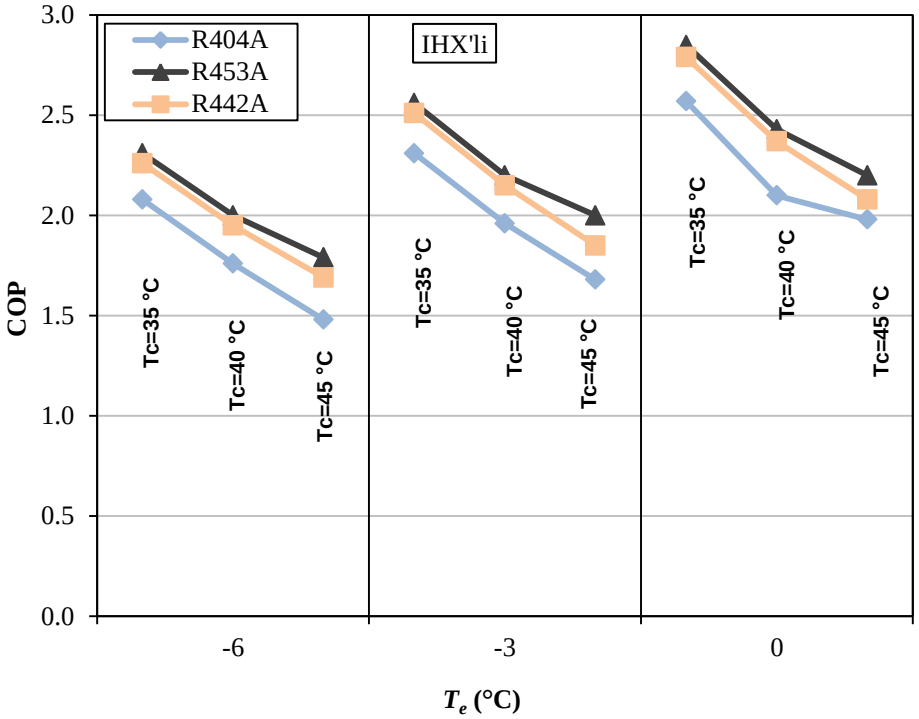
Şekil 4.5. R453A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in soğutma kapasitesine etkisi

IHX'siz çevrimin performans katsayısının buharlaşma sıcaklığı ve yoğuşma sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.6.'da verilmiştir. Deneysel çalışma yapılan üç soğutucu akışkan türünde de buharlaşma sıcaklığı arttıkça COP değerlerinin arttığı ancak yoğuşma sıcaklığı arttıkça COP değerinin azaldığı görülmektedir. Çevrim performans katsayısının en yüksek değerleri R404A, R442A ve R453A için sırasıyla 2.07, 2.32 ve 2.35 olarak hesaplanmış olup en yüksek performans R453A ile sağlanmıştır. R442A ve R453A gazlarının performans katsayılarının R404A ile kıyaslandığında sırasıyla %5.8-%13.6 ve %13.4-%16.9 arasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. R453A'nın COP değerinin de R442A'ya göre %10.4'e kadar daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.



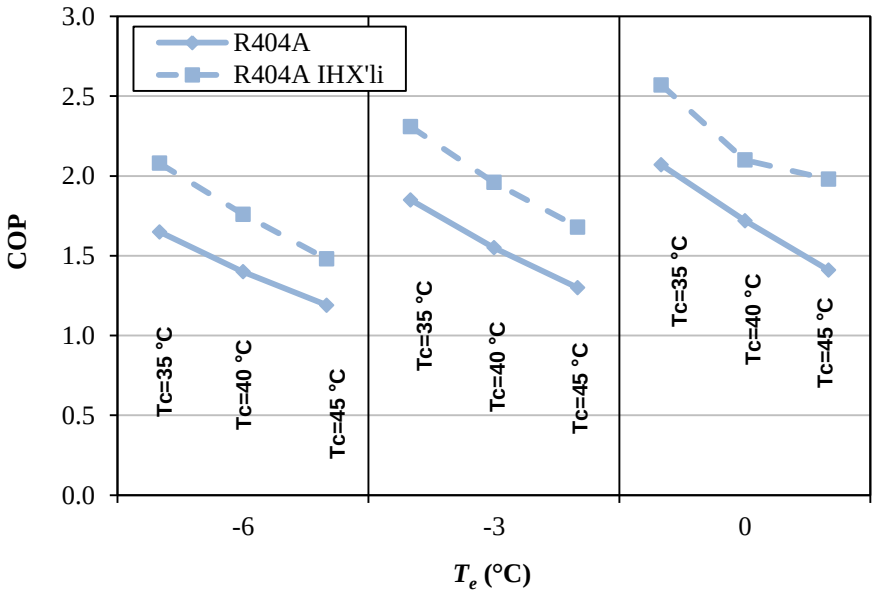
Şekil 4.6. IHX'siz sistemde COP değerinin T_e ve T_c sıcaklığı ile değişimi

Sistemde IHX kullanılması durumunda soğutucu akışkanların performans katsayılarının buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları ile değişim grafiği Şekil 4.7.'de verilmiştir. IHX'li sistemde performans katsayısının en yüksek değerleri R404A, R442A ve R453A için sırasıyla 2.57, 2.79 ve 2.85 olarak hesaplanmış olup en yüksek performans yine R453A ile sağlanmıştır. COP değerlerinde akışkanların kendi aralarında karşılaştırılmalarına bakıldığında R442A ve R453A'nın COP değerleri R404A'ya kıyasla sırasıyla %5.0 -%14.2 ile %10.8-%20.9 arasında daha yüksektir. R453A'nın ise R442A'ya göre %2.0-%8.4 arasında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



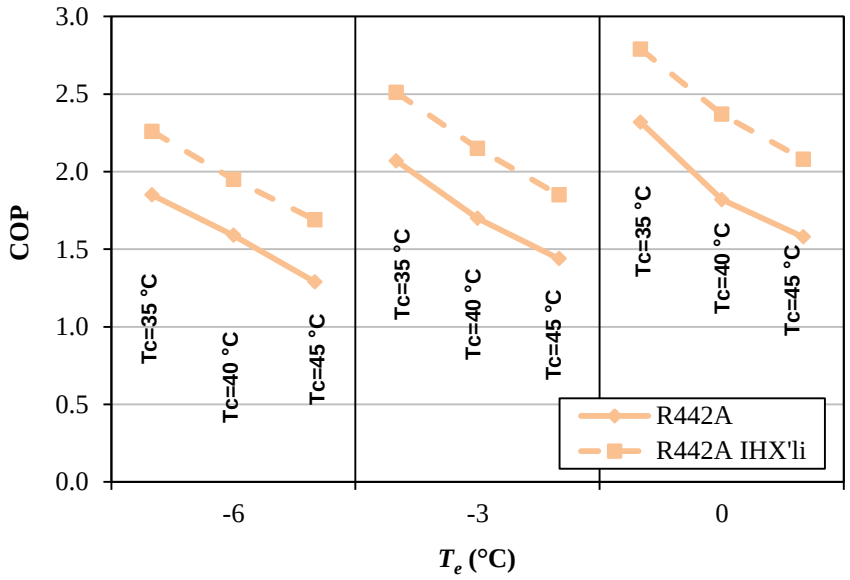
Şekil 4.7. IHX'li sistemde COP değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

Şekil 4.8.'de, R404A kullanılan soğutma çevriminde ele alınan yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıklarında IHX'in performans katsayısına etkisi görülmektedir. IHX'li sistemin COP değerinin IHX'siz sisteme göre %22.1-40.4 arasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



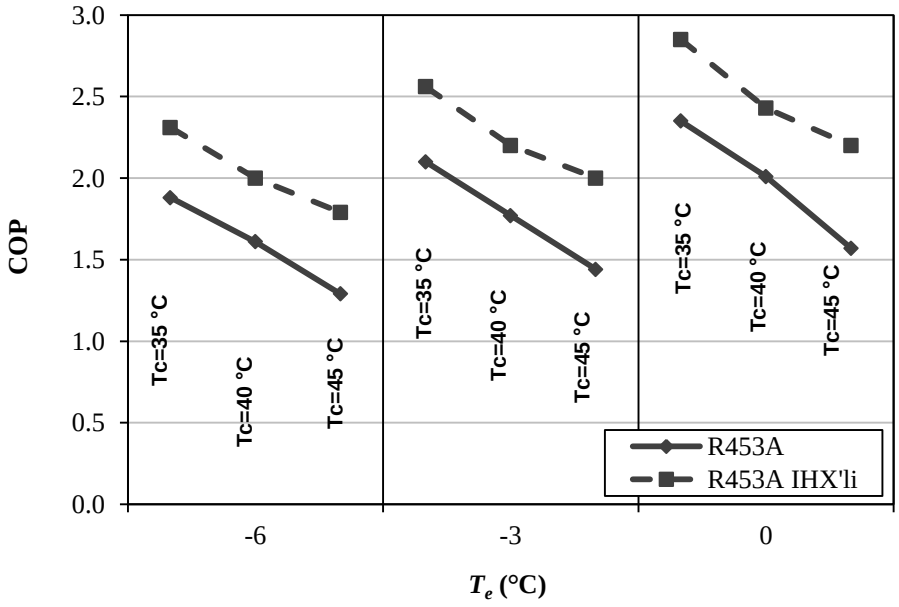
Şekil 4.8. R404A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi

R442A'lı sistemde test edilen buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi Şekil 4.9.'da verilmiştir. R442A'lı sistemde IHX, COP değerini %20.3 ile %31.6 arasında arttırmaktadır.



Şekil 4.9. R442A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi

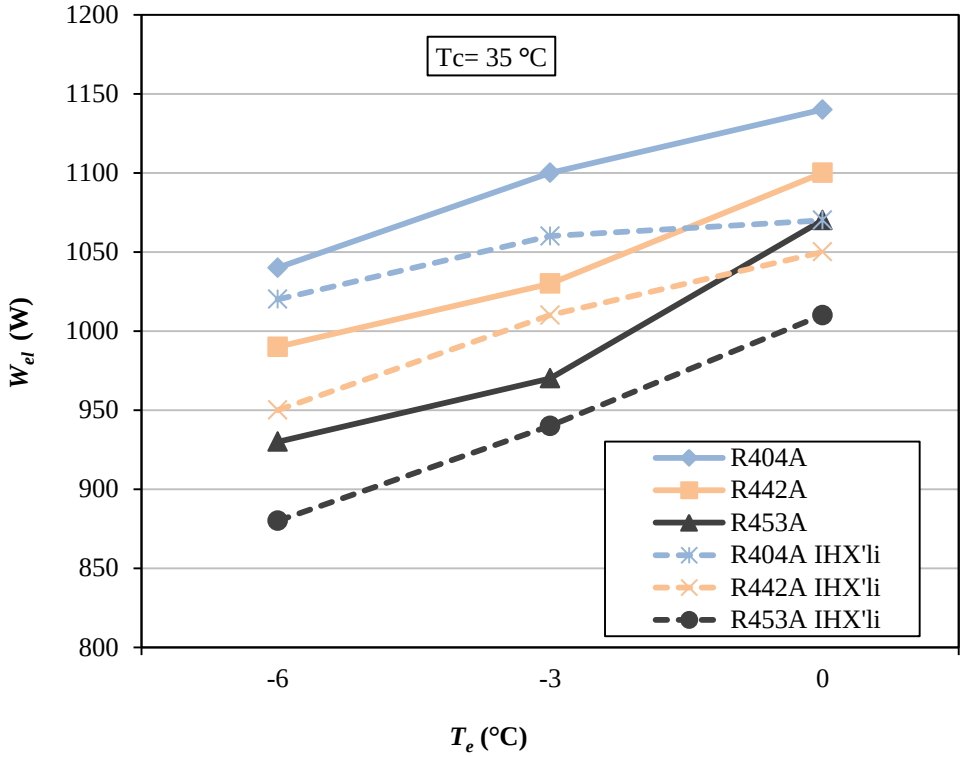
IHX'in R453A'lı sistemde faklı buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarında COP'yi nasıl etkilediği ise Şekil 4.10'da görülmektedir. IHX, COP değerinde %20.9 ile %40.1 arasında bir artış sağladığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. R453A'lı sistemde T_e ve T_c sıcaklıklarında IHX'in COP değerine etkisi

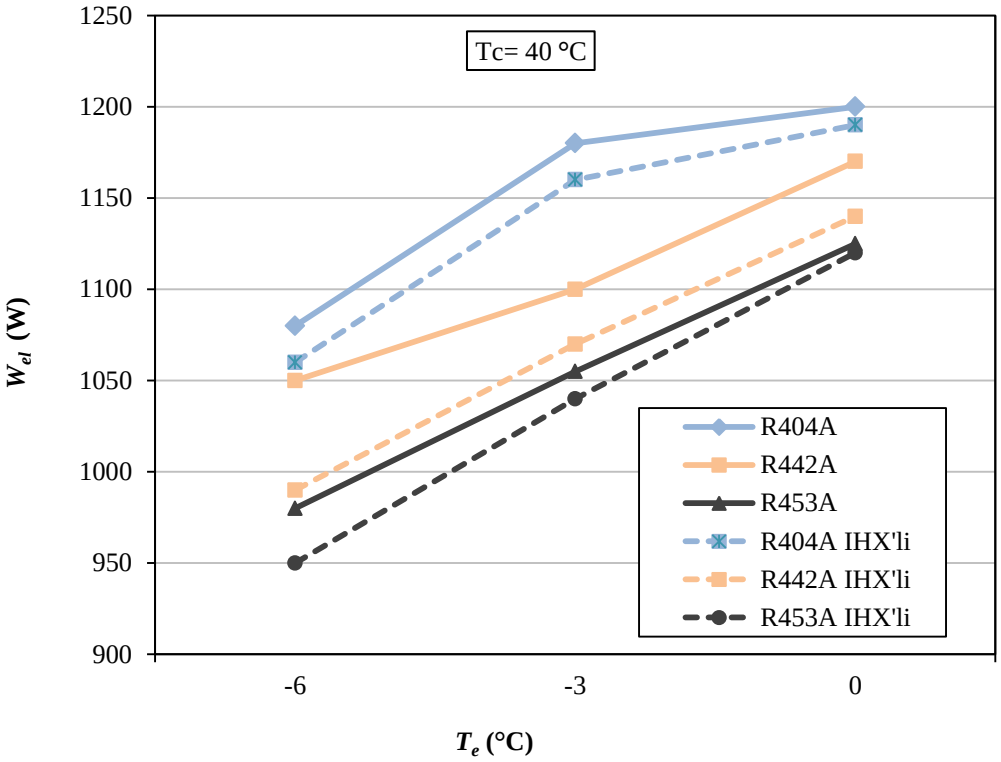
IHX'siz ve IHX'li sistemde farklı yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıklarında kompresörde harcanan elektrik enerjisinin değişim grafikleri Şekil 4.11., Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de verilmiştir. Her iki durumda da tüm soğutucu akışkan türlerinde T_c ve T_e arttıkça W_{el} değerlerinin arttığı görülmektedir. IHX'siz ve IHX'li durumda her sistem kendi içerisinde değerlendirildiğinde tüm akışkanlar için kompresörde harcanan minimum enerji -6 ^{o}C T_e ve 35 ^{o}C T_c sıcaklıklarında gerçekleşmiştir. IHX'siz sistemde minimum W_{el} değerleri R404A, R442A ve R453A soğutucu akışkanları için sırasıyla 1040 W, 990 W ve 930 W, IHX'li sistemde ise 1020 W, 950 W ve 880 W değerlerinde olduğu tespit edilmiştir.

35 ^{o}C yoğuşma sıcaklığı ile farklı buharlaşma sıcaklıklarında IHX'siz ve IHX'li sistemde kompresörde harcanan enerjilerin değişim grafiği Şekil 4.11.'de görülmektedir. IHX'siz sistemde R404A'nın yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda sırasıyla %3.5-%6.4 ile %6.1-%10.6 oranları arasında kompresörde harcanan enerjiler azalmaktadır. R442A yerine R453A kullanılması durumunda ise aynı sıcaklık parametrelerinde kompresörde harcanan enerjiler %2.7-%6.1 oranları arasında azalmıştır. IHX' li sistemde aynı şekilde R404A'nın yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda aynı buharlaşma sıcaklıklarında kompresörde harcanan güçlerde sırasıyla %1.9-%6.8 ile %5.6-%13.7 oranları arasında düşüş olmaktadır. R442A yerine R453A kullanılması durumunda ise aynı buharlaşma sıcaklıklarında %3.8-%7.4 oranlarında kompresörde harcanan enerjilerde azalma olduğu görülmektedir. Soğutma sisteminde IHX'in etkisine bakıldığında, sistemde IHX kullanılması durumunda aynı buharlaşma sıcaklıklarında R404A için %1.9-%6.1, R442A için %1.9-%4.5 ve R453A için ise %3.1-%5.6 oranları arasında kompresörde harcanan enerjilerde azalma olmaktadır.



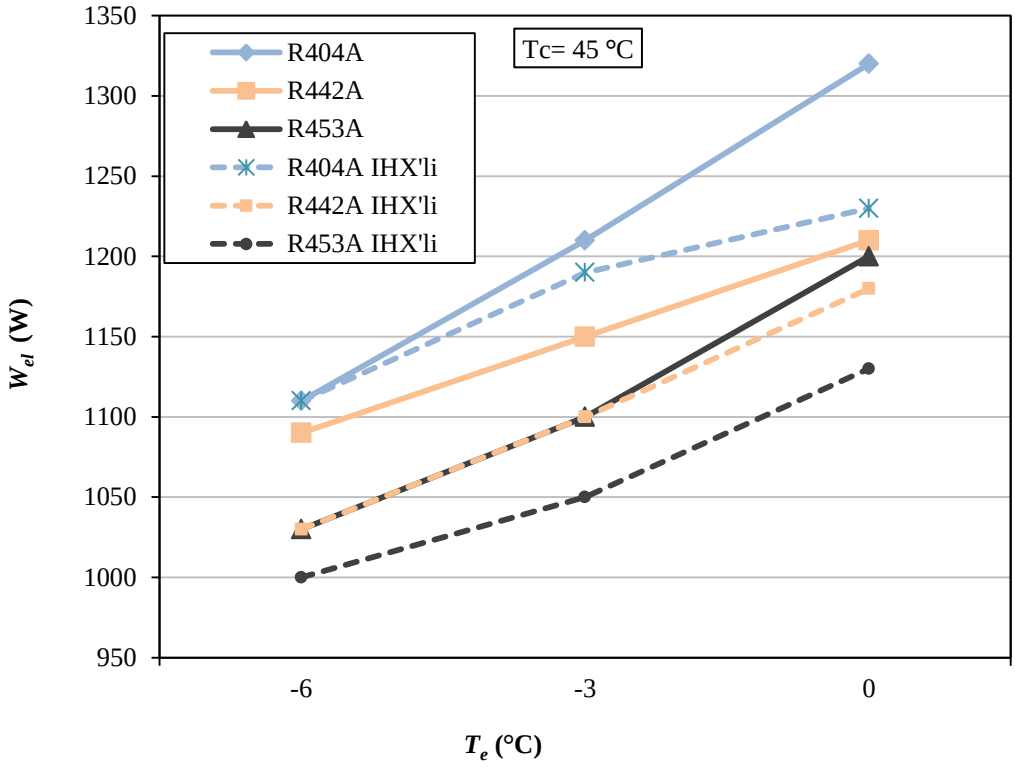
Şekil 4.11. 35 °C T_c sıcaklığında W_{el} değerinin T_e sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi

Şekil 4.12.'de verilen 40 °C yoğuşma sıcaklığı ile farklı buharlaşma sıcaklıklarında IHX'siz ve IHX'li sistemde kompresörde harcanan güçlerin değişimi görülmektedir. IHX'siz sistemde R404A'nın yerine R442A kullanılması durumunda %2.5 ile %6.8 arasında, R453A kullanılması durumunda %6.2 ile %10.6 arasında, R442A yerine R453A kullanılması durumunda ise %3.8 ile %6.7 arasında kompresörde harcanan enerjiler azalmaktadır. IHX' li sistemde aynı şekilde R404A'nın yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda farklı buharlaşma sıcaklıklarında kompresörde harcanan güçlerde sırasıyla %4.2 ile %7.8 ve %5.9 ile %10.4 oranlarında, R453A yerine R442A kullanılması durumunda ise %1.7 ile %4.0 arasındaki oranlarda azalma olduğu görülmektedir. IHX'siz ve IHX'li sistemde elde edilen değerlere göre karşılaştırıldığında sistemde IHX kullanılması durumunda, R404A için %0.8 ile %1.8, R442A için %2.6 ile %5.7 ve R453A için %0.4 ile %3.1 oranları arasında kompresörde harcanan enerjilerde azalma olmaktadır.



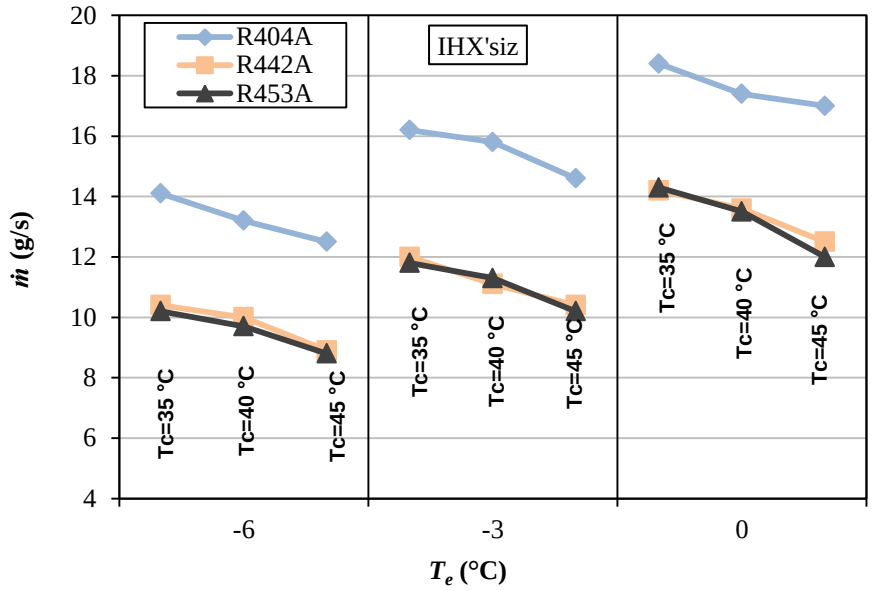
Şekil 4.12. 40 °C T_c sıcaklığında W_{el} değerinin T_e sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi

45 °C yoğuşma sıcaklığı ile buharlaşma sıcaklıklarında IHX'siz ve IHX'li sistemde kompresörde harcanan güçlerin IHX kullanılması durumunda nasıl değiştiği Şekil 4.13.'de verilmiştir. Soğutucu akışkanlar kendi aralarında karşılaştırıldığında IHX'siz sistemde R404A'nın yerine R442A kullanılması durumunda %1.8 ile %8.3 arasında, R453A kullanılması durumunda %7.2 ile %9.1 arasında kompresörde harcanan enerjilerde azalma olmaktadır. R442A yerine R453A kullanılması durumunda ise %0.8 ile %6.6 oranları arasında kompresörde harcanan enerji düşmektedir. IHX'li sistemde aynı şekilde R404A'nın yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda kompresörde harcanan güçlerde sırasıyla %4.1-%7.6 ve %8.1-%11.8 oranları arsında azalma olmaktadır. R442A yerine R453A kullanılması durumunda ise %2.9-%4.5 arasında kompresörde harcanan elektrik tüketiminde düşüş görülmektedir. IHX'siz ve IHX'li sistemde tespit edilen kompresörde harcanan enerji değerlerine göre karşılaştırıldığında sistemde IHX kullanılması durumunda R404A için %6.8'e kadar azalmak görülürken R442A ve R453A için sırasıyla %2.5-%5.5 ve %2.9-%5.8 oranlarında düşüş meydana gelmektedir.



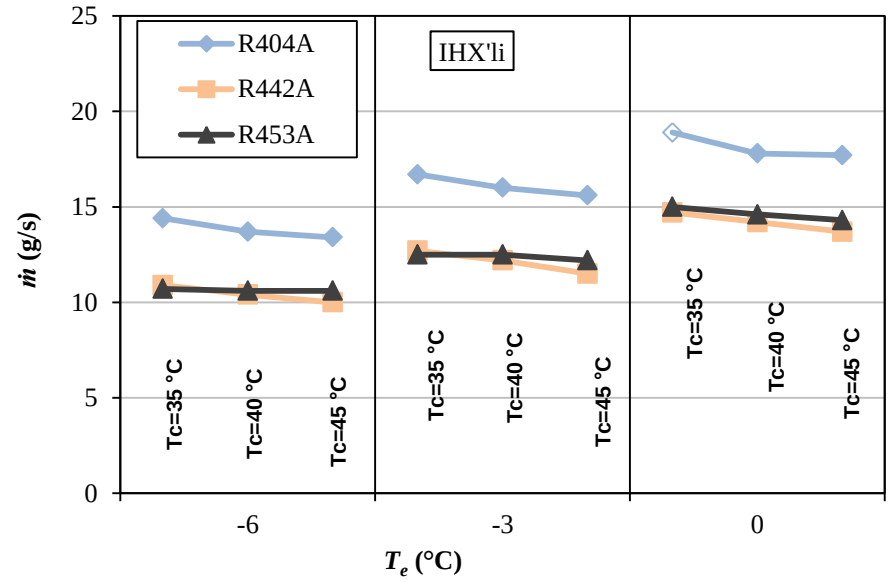
Şekil 4.13. 45 °C T_c sıcaklığında W_{el} değerinin T_e sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi

IHX'siz sistemde kütlesel debinin, buharlaşma sıcaklığı ve yoğuşma sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.14.'de verilmiştir. Tüm soğutucu akışkan türlerinde buharlaşma sıcaklığı arttıkça kütlesel debi artarken yoğuşma sıcaklığı arttıkça kütlesel debinin azaldığı görülmektedir. Aynı koşullar altında en düşük kütlesel debi 8.8 g/s ile R453A' ya ait olup 8.9 g/s ile R442A ve 12.5 g/s ile R404A için gerçekleşmiştir. R404A yerine R442A ve R453A gazlarının kullanılması durumunda kütlesel debilerde sırasıyla %21.8-%29.7 ve %22.3-%30.1 arasında azalma görülmektedir.



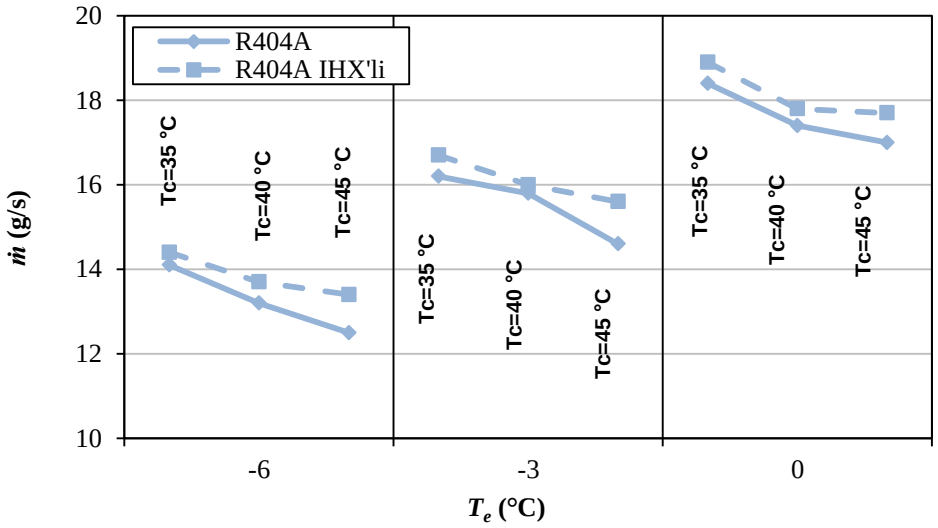
Şekil 4.14. IHX'siz sistemde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

IHX'li sistemde kütlesel debinin, buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.15.'de verilmiştir. Tüm soğutucu akışkan türlerinde buharlaşma sıcaklığı arttıkça kütlesel debi artarken yoğuşma sıcaklığı arttıkça kütlesel debinin azaldığı görülmektedir. R404A yerine R442A ve R453A gazlarının kullanılması durumunda kütlesel debilerde sırasıyla %20.2-%26.3 ve %18.0-%25.7 arasında azalma görülmektedir.

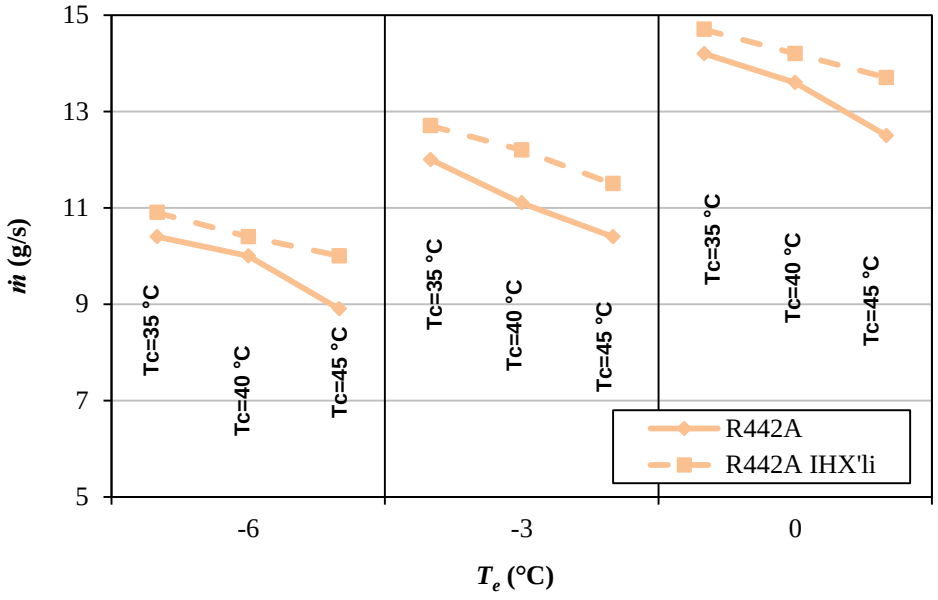


Şekil 4.15. IHX'li sistemde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

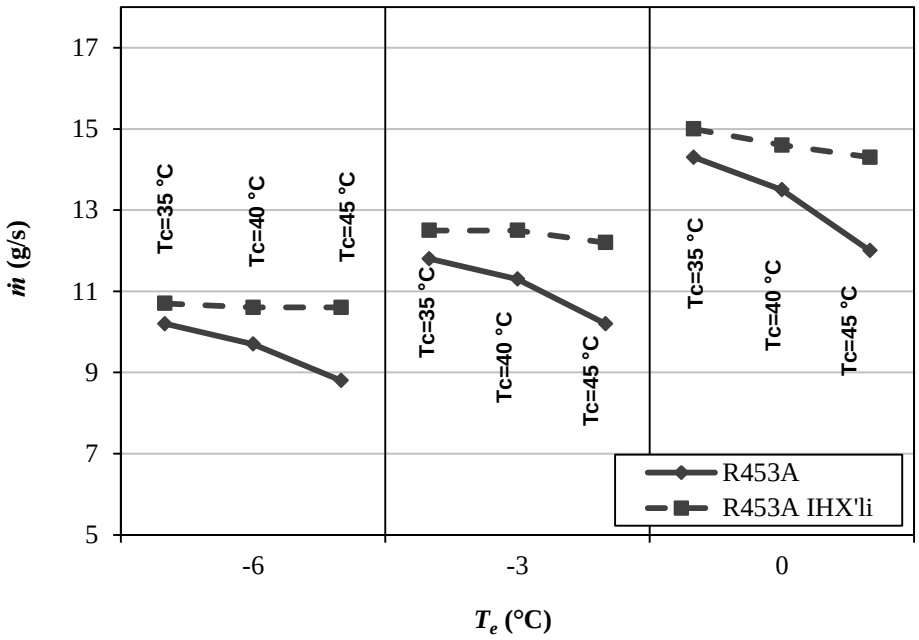
IHX'in kütlesel debi üzerindeki etkisi Şekil 4.16. Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'deki grafiklerde görülmektedir. IHX'li ve IHX'siz sistemde kütlesel debiler her akışkan için kendi sitemi içinde karşılaştırıldığında sistemin IHX'li olması durumunda R404A için %1.3-%7.2, R442A için %3.5-%12.4 ve R453A için %4.9-%20.4 oranlarında kütlesel debide artış görülmektedir. Bunun nedeni kondenserden çıkan sıcak soğutucu akışkan evaporatörden çıkan soğuk soğutucu akışkana ısısını verir. Kompresör tarafından emilen soğutucu akışkanın sıcaklığı ve yoğunluğu artar. Sabit kompresör hacminden dolayı kütlesel debisi artış meydana gelir.



Şekil 4.16. R404A'lı soğutma çevriminde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıları ile değişimi ve IHX etkisi

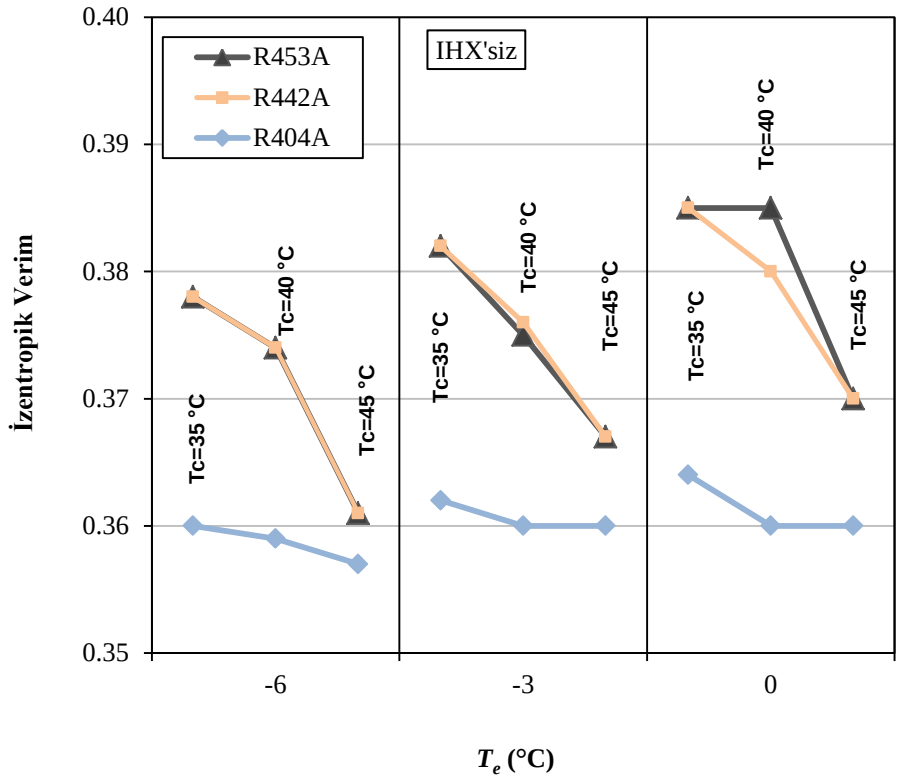


Şekil 4.17. R442A'lı soğutma çevriminde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi



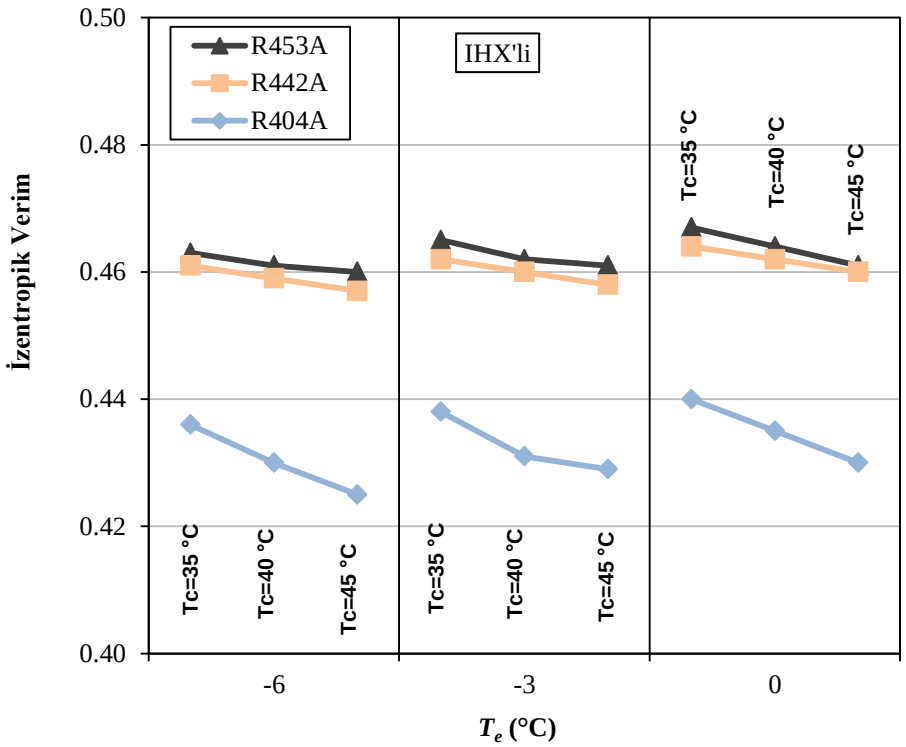
Şekil 4.18. R453A'lı soğutma çevriminde $\dot{m}$ değerinin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi ve IHX etkisi

IHX'siz sistemde kompresör izentropik veriminin(η_{is}), buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı ile değişim grafiği Şekil 4.19.'da verilmiştir. Test edilen üç soğutucu akışkan türünde de buharlaşma sıcaklığı arttıkça izentropik verim artarken yoğuşma sıcaklığı arttıkça izentropik verimin azaldığı görülmektedir. En yüksek izentropik verim R404A için 0.364, R442A ve R453A için 0.385 olarak gerçekleşmiştir. R404A yerine R442A ve R453A gazlarının kullanılması durumunda izentropik verimlerde sırasıyla %1.1-%5.8 ve %1.1-%7.0 arasında artış görülmektedir.



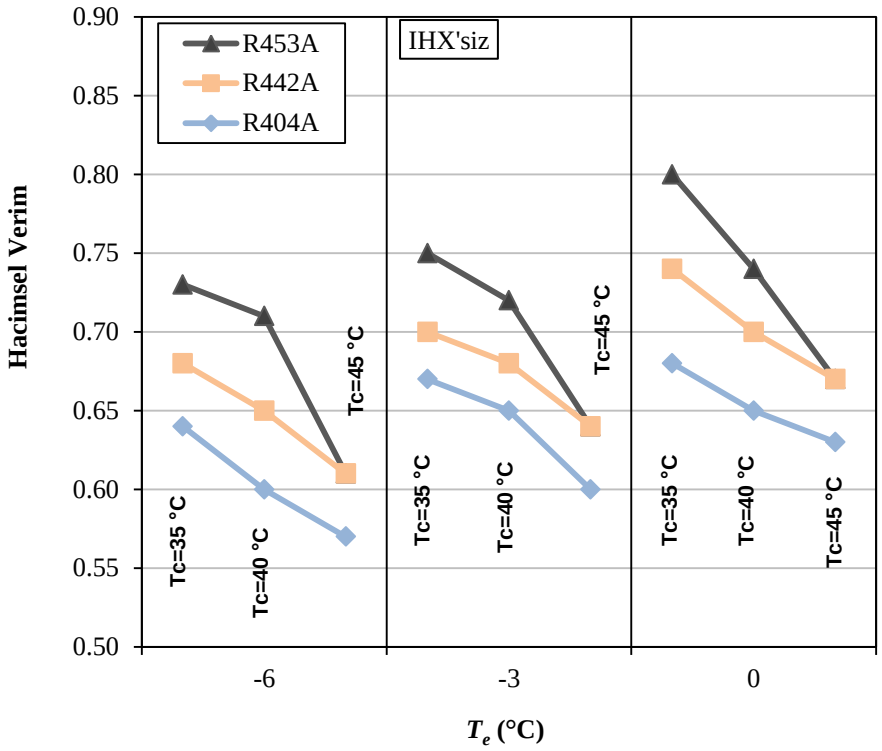
Şekil 4.19. IHX'siz sistemde izentropik verimin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

IHX'li sistemde kompresör izentropik veriminin(η_{is}), buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.20.'de verilmiştir. IHX kullanılması durumunda kompresör izentropik veriminde önemli ölçüde artış görülmekle birlikte bu artışlar R404A için %21.1, R442A için %26.6 ve R453A için %27.4 oranlarına kadar gerçekleşmiştir. IHX'li sistemde de en yüksek izentropik verim 0.467 ile R453A için sağlanmıştır. R404A yerine R442A ve R453A gazlarının kullanılması durumunda izentropik verimlerde sırasıyla %5.5-%7.5 ve %6.1-%8.2 arasında artış görülmektedir. R453A'lı sistemin izentropik veriminin R442A'lı sisteme göre tüm sıcaklıklarda çok az daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.



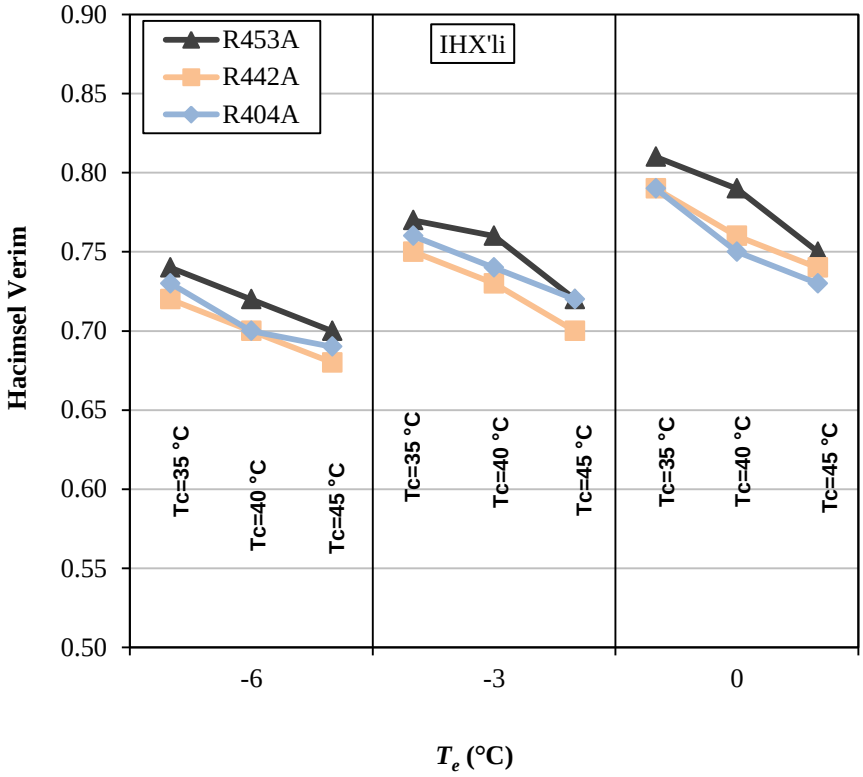
Şekil 4.20. IHX'li sistemde izentropik verimin T_e ve T_c sıcaklıları ile değişimi

IHX'siz soğutma çevriminde hacimsel veriminin($\eta_{volumetrik}$), buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.21.'de verilmiştir. Tüm soğutucu akışkan türlerinde buharlaşma sıcaklığı arttıkça hacimsel verim artarken yoğuşma sıcaklığı arttıkça hacimsel verimin azaldığı grafikten görülmektedir. R404A soğutucu akışkanı için en yüksek hacimsel verim 0.680, R442A için 0.740 ve R453A için 0.800 değerinde hesaplanmıştır. R404A yerine R442A ve R453A gazlarının kullanılması durumunda hacimsel verimlerde sırasıyla %4.5-%8.8 ve %6.3-%18.3 arasında artış görülmektedir.



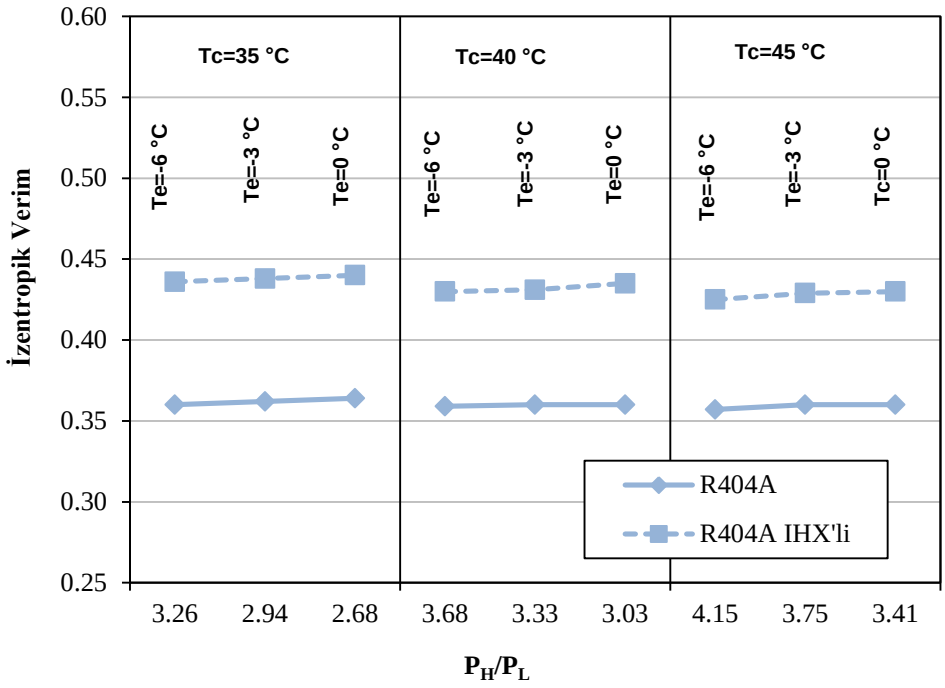
Şekil 4.21. IHX'siz sistemde hacimsel verimin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

IHX'li sistemde hacimsel veriminin($\eta_{volumetrik}$), buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı ile değişimi grafiği Şekil 4.22.'de verilmiştir. IHX'siz sistemde olduğu gibi soğutucu akışkan türünden bağımsız olarak buharlaşma sıcaklığı arttıkça hacimsel verim artarken yoğuşma sıcaklığı arttıkça hacimsel verimin azaldığı görülmektedir. IHX'li çevrimde R404A ve R442A soğutucu akışkanları için en yüksek hacimsel verim 0.790 değerinde gerçekleşirken, R453A için 0.810 değerindedir. R404A yerine R442A kullanıldığında sistemin hacimsel verimlerinde % 2.8'e kadar arasında artış ve %1.4'e kadar da azalışlar göstermektedir. R404A yerine R453A kullanılması durumunda hacimsel verimde %5.3'e kadar artış olduğu tespit edilmiştir. R453A yerine R442A kullanılması durumunda ise %1.3-%4.1 oranları arasında daha yüksek hacimsel verimlere ulaşılmaktadır. IHX'siz çevrimin hacimsel verimi ile IHX'li çevriminki karşılaştırıldığında R404A için %13.4-%21.0, R442A için %5.9-%11.5 ve R453A için %1.2-%14.7 oranlarında artış meydana gelmektedir.

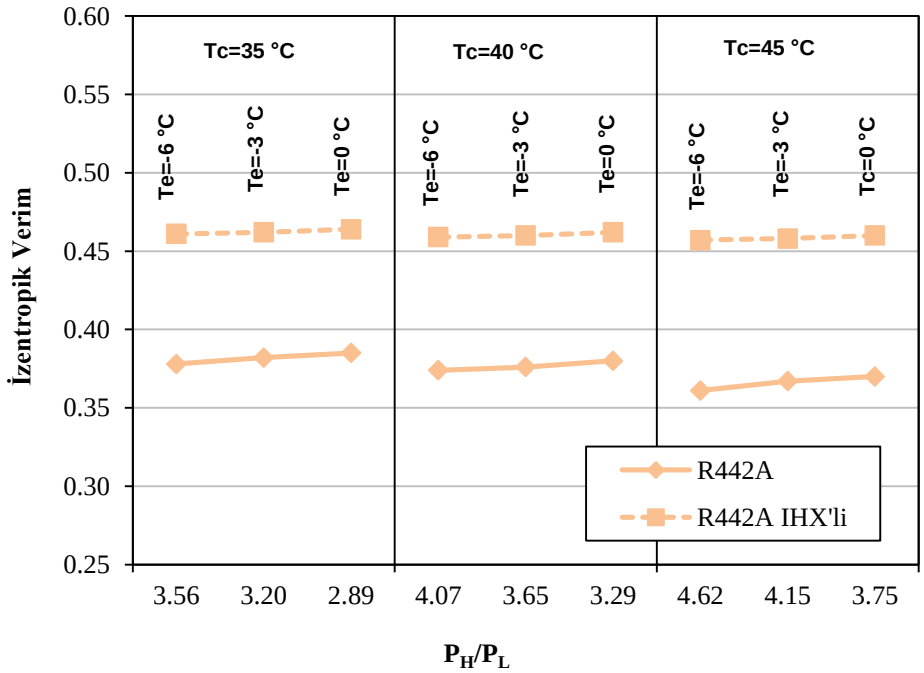


Şekil 4.22. IHX'li sistemde hacimsel verimin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

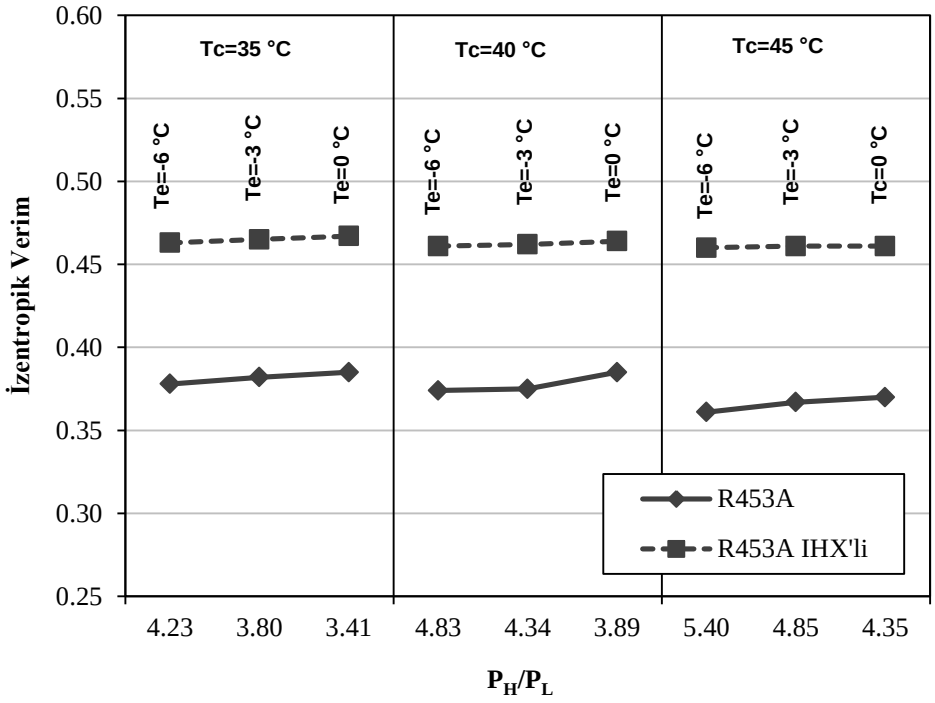
IHX'siz ve IHX'li soğutma çevriminde R404A, R442A ve R453A soğutucu akışkanlarıyla yapılan deneysel çalışmada incelenen buharlaşma ve yoğuşma sıcaklık parametrelerinde sıkıştırma oranının(P_H/P_L) kompresör izentropik verim(η_{is}) ile değişim grafiği Şekil 4.23., Şekil 4.24. ve Şekil 4.25.'de gösterilmiştir. Tüm soğutucu akışkan türünün kullanıldığı çevrimde sıkıştırma oranı ile izentropik verim arasında ters orantı vardır. Buharlaşma sıcaklığı arttığında izentropik verim artarken sıkıştırma oranı azalmakta, yoğuşma sıcaklığı arttığında izentropik verim azalırken sıkıştırma oranı artmaktadır. IHX'in sıkıştırma oranı üzerinde herhangi bir etkisi olmamakla birlikte en düşük sıkıştırma oranları 35 ^oC yoğuşma ve 0 ^oC buharlaşma sıcaklığında sırasıyla 2.68, 2.89 ve 3.41'dir. En yüksek sıkıştırma oranı değerleri ise 45 ^oC yoğuşma ve -6 ^oC buharlaşma sıcaklığında sırasıyla 4.15, 4.62 ve 5.40 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.23. R404A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve izentropik verimin değişimi ve IHX etkisi



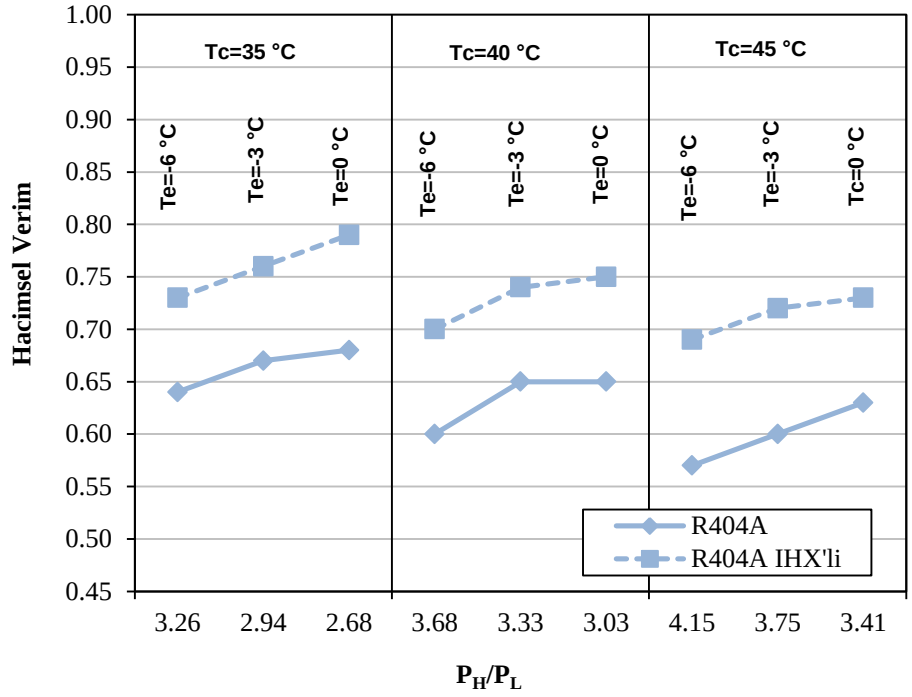
Şekil 4.24. R442A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve izentropik verimin değişimi ve IHX etkisi



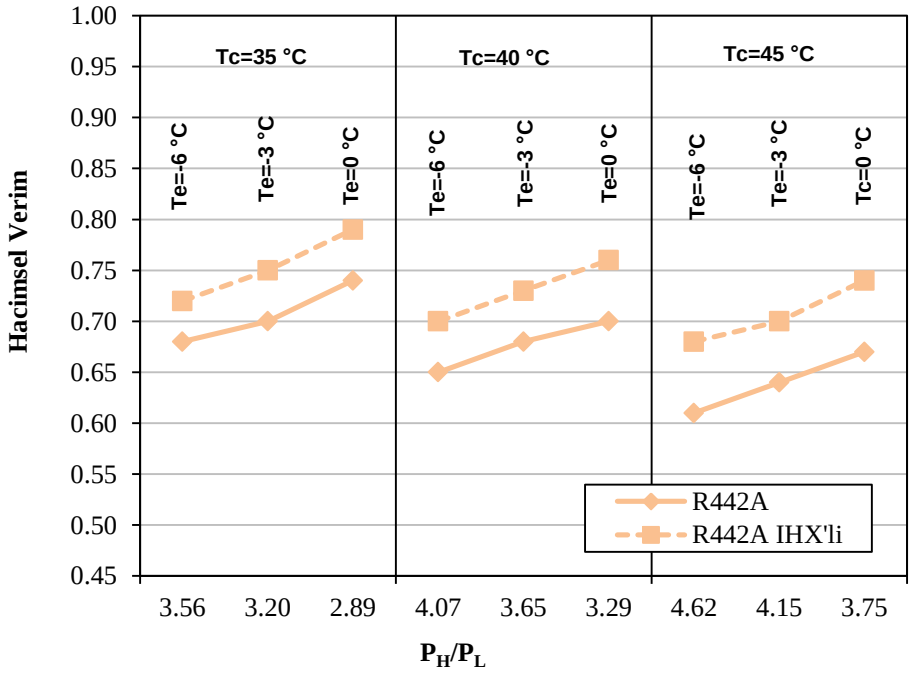
Şekil 4.25. R453A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve izentropik verimin değişimi ve IHX etkisi

R404A, R442A ve R453 soğutucu akışkanlarının kullanıldığı sistemlerde sıkıştırma oranlarının kendi aralarındaki kıyaslamasına bakıldığında R404A yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda gerçekleşen en düşük ve en yüksek sıkıştırma oranlarına göre sırasıyla %7.9-%11.4 ve %27.5-%30.2 arasında, R442A'nın yerine R453A kullanılması durumunda ise %16.9-%18.2 arasında daha yüksek sıkıştırma oranları elde edilmektedir.

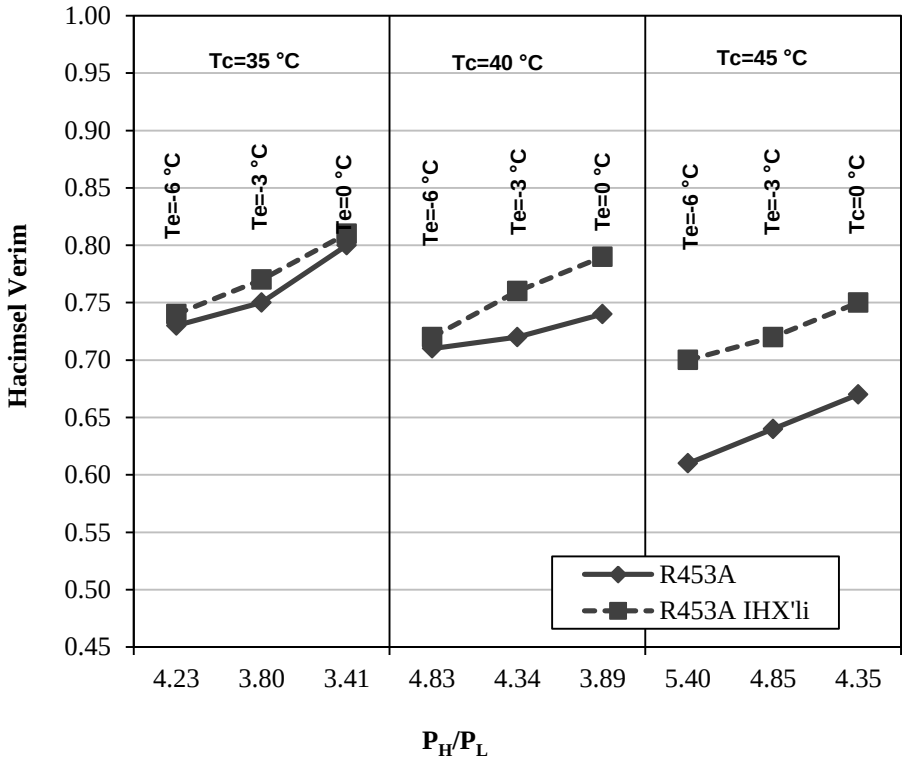
IHX'siz ve IHX'li soğutma çevriminde deneysel çalışmada incelenen buharlaşma ve yoğuşma sıcaklık parametrelerinde sıkıştırma oranının(P_H/P_L) kompresör hacimsel verim ile değişim grafikleri R404A için Şekil 4.26.'da, R442A için Şekil 4.27.'de ve R453A için Şekil 4.28'de verilmiştir. Her üç soğutucu akışkan türünde de aynı sıcaklık parametrelerinde sıkıştırma oranı arttıkça hacimsel verim azalmaktadır.



Şekil 4.26. R404A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve hacimsel verimin değişimi ve IHX etkisi

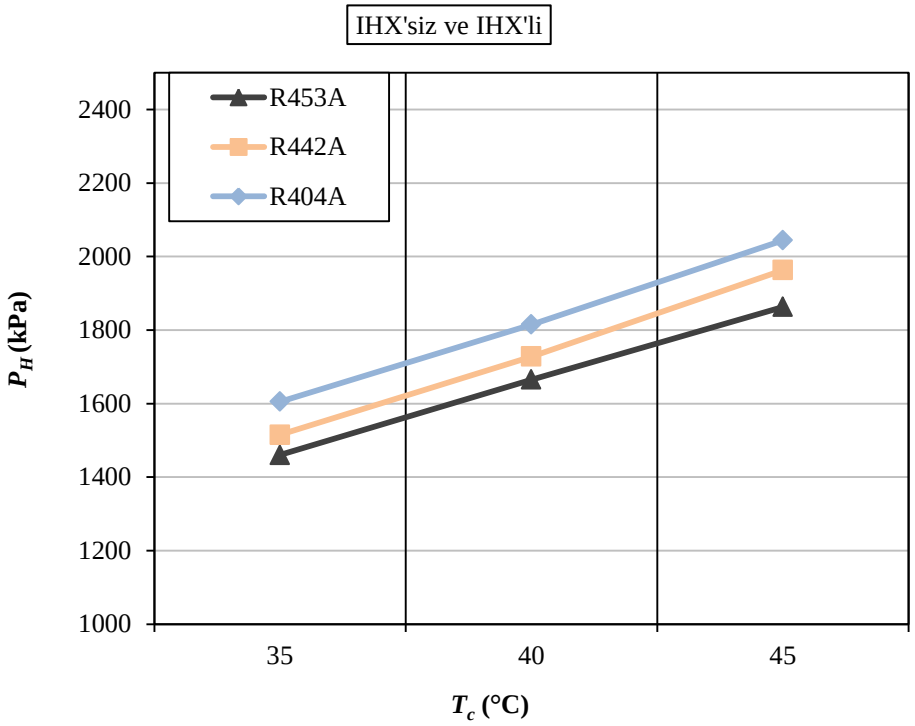


Şekil 4.27. R442A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve hacimsel verimin değişimi ve IHX etkisi



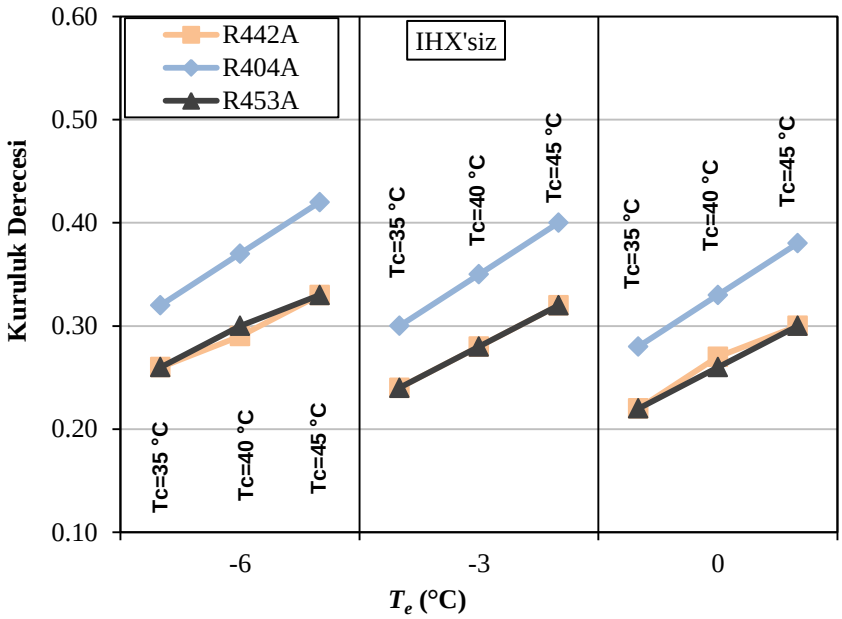
Şekil 4.28. R453A için T_e ve T_c sıcaklıklarında P_H/P_L ve hacimsel verimin değişimi ve IHX etkisi

Soğutma çevriminde yüksek basınç olarak adlandırılan (H_p), kompresör çıkışındaki basınçtır. Kompresör çıkış basıncının yoğuşma sıcaklığı ile değişim grafiği Şekil 4.29.'da verilmiştir. Üç akışkan türü için de yoğuşma sıcaklığı arttıkça yüksek basınç değerinin arttığı grafikten görülmektedir. R404A akışkanının kullanıldığı çevrimde 35 ^oC sıcaklıkta 1605 kPa, 40 ^oC'de 1814 kPa ve 45 ^oC'de 2044 kPa olarak belirlenmiştir. R442A ve R453A'lı çevrimde ele alınan sıcaklık parametrelerinde yüksek basınç değerleri sırasıyla R442A için 1515 kPa-1728 kPa-1963 kPa ve R453A için ise 1460 kPa-1665 kPa- 1863 kPa değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. R404A'nın yerine R442A ve R453A kullanılması halinde sırasıyla %3.9-%5.6 ve %8.2-%9.0 arasında yüksek basınç değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. R442A'nın yerine R453A kullanıldığında ise yüksek basınç %3.6-%5.1 arasında azalmaktadır.

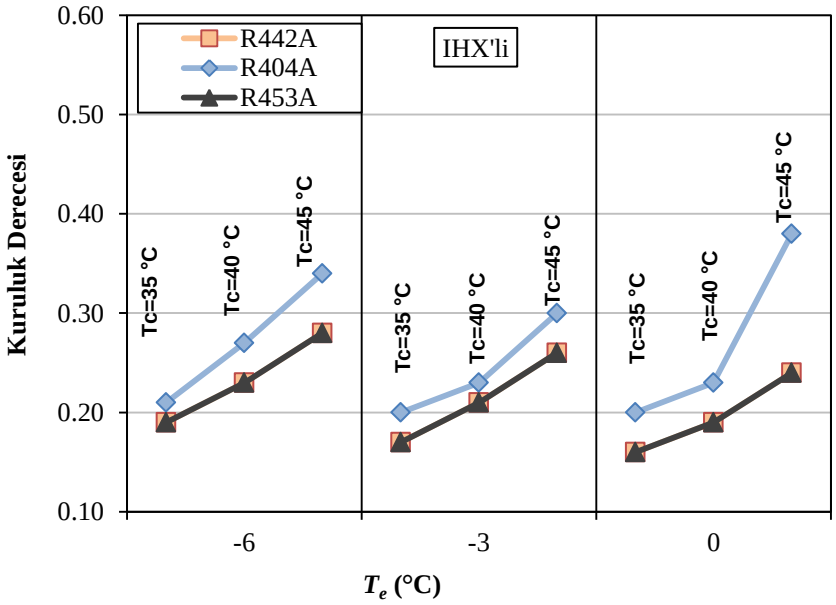


Şekil 4.29. IHX'siz ve IHX'li çevrimde P_H'ın T_c sıcaklığı ile değişimi

IHX kullanılmadan çevrimin kuruluk derecesinin(x), buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı değişimi grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir. Deneysel çalışma yapılan üç soğutucu akışkan türünde de buharlaşma sıcaklığı arttıkça kuruluk derecesinin azaldığı ancak yoğuşma sıcaklığı arttıkça kuruluk derecesinin arttığı görülmektedir. Kuruluk derecesinin en yüksek değeri R404A için 0.42 değerinde iken, R442A ve R453A soğutucu akışkanları için 0.33 olarak hesaplanmıştır. R442A ve R453A gazlarının kuruluk dereceleri R404A'ya kıyaslandığında % 18.1-%21.6 arasında daha düşük kuruluk dereceleri elde edilmektedir. Çevrimde IHX kullanılması durumunda ise kuruluk değerlerindeki değişim Şekil 4.31.'de verilmiştir. Bu grafikten görüldüğü gibi IHX'li sistemde her üç akışkan türünde de kuruluk değerlerinde düşme meydana gelmekte ve en yüksek kuruluk dereceleri R404A için 0.38 olurken R442A ve R453A için yine aynı olup 0.28 değerindedir. IHX'li sistemde kuruluk derecelerinde R404A için %34.3'e kadar düşüş meydana gelirken R442A ve R453A için bu düşüş %15.1-%29.6 arasındaki değerlerde gerçekleşmiştir. Kondenserden çıkan soğutucu akışkanın sıcaklığının düşmesiyle, evaporatöre giren soğutucu akışkanın kuruluk derecesinde azalış meydana gelir. Aşırı soğutma değerinde meydana gelen bu artış, kuruluk derecesini azaltır ve soğutma kapasitesinin artmasına sebeb olur.



Şekil 4.30. IHX'siz sistemde *x*'nin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi



Şekil 4.31. IHX'li sistemde *x*'nin T_e ve T_c sıcaklıkları ile değişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların küresel ısınmaya etkisinin azaltılması amacıyla yapılan protokol ve düzenlemeler ile küresel ısınma potansiyeli düşük olan gazların kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda soğutma sistemlerinde kullanılan mevcut soğutucu akışların alternatiflerinin bulunması amacıyla son yıllarda çalışmalar yapılmaktadır.

Daha önce yapılan bazı çalışmalarla bu çalışmanın sonuçları mukayese edilmiştir. Bortolini ve ark.(2015) tarafından orta ve düşük sıcaklık koşullarında R404A'nın yerine R407F ve R410A kullanarak elde edilen COP ve soğutma kapasitesi ortalamalarına göre sırasıyla %2.7-%19 ve %9.2-%2.1 oranında artış sağlamışlardır. Yapılan bu çalışmada IHX'siz sistemde R404A yerine R442A ve R453A'nın kullanılması ile elde edilen değerler kıyaslandığında COP değerlerinde sırasıyla %5.8-%13.6 ile %8.4-%16.9 oranlarında daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Soğutma kapasitesinde de %1.6-%9.9 ile %0.5-%9.2 oranlarında artış sağlanmıştır.

Babiloni ve ark.(2015) R404A yerine R448A kullanmış, hacimsel verimde %5-%7, kütlesel akış hızı ve soğutma kapasitesinde sırasıyla %29-%30 ve %1-%6 arasında azalma, COP değerinde %6-%15 arasında artış olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada IHX kullanılmadan tespit edilen hacimsel verimlere bakıldığında R404A yerine R442A ve R453A kullanıldığında sırasıyla %4.5-%8.8 ile %6.3-%18.3 oranları arasında daha yüksek değerlere ulaşılmıştır.

Makhnatch ve ark.(2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada R404A'nın kullanıldığı -9 ve -4 ^{o}C evaporatör çıkış sıcaklığındaki soğutma sisteminde R449A kullanılmış ve soğutma kapasitesinde %13, COP değerinde %3,6 düşüş olduğu görülmüştür. Ancak yapılan bu çalışmada soğutma kapasiteleri ve COP değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Jin ve ark.(2016) tarafından ise R404A nın kullanıldığı ısı poMPası sisteminde IHX etkisi incelenmiş ve ısıtma kapasitesinde %5.91-%15.91 arasında ve COP değerinde %10-%20 arasında artış olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada soğutma sisteminde IHX kullanılması durumunda COP değerlerinde R404A'lı sistemde %22.1-%28.3, R442A'lı sistemde %20.2-%31.0 ve R453A'lı sistemde %20.9-%28.9 oranları arasında artış olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların sera gazı etkisini azaltmak amacıyla GWP'si 3943 olan R404A soğutucu akışkanının yerine GWP'si R404A'ya göre %52 daha düşük olan R442A ve %55 daha düşük olan R453A soğutucu akışkanlar kullanılmıştır. Çalışmada -6, -3 ve 0 ^{o}C buharlaşma ve 35, 40 ve 45 ^{o}C yoğuşma sıcaklık parametreleri esas alınarak enerji parametreleri irdelenmiştir. Ayrıca sisteme bir iç ısı değiştirici entegre edilerek enerji parametrelerine etkisi araştırılmıştır.

R404A, R442A ve R453A akışkanları kullanılan soğutma sisteminde test edilen buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığında R404A yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda elde edilen parametrelerin ortalama değerleri Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Deney sonucunda elde edilen parametrelerin ortalama değerleri

	R404A		R442A		R453A	
	IHX'siz	IHX'li	IHX'siz	IHX'li	IHX'siz	IHX'li
$\dot{Q}_e$(W)	1806	2226	1931	2310	1862	2309
COP	1.57	1.99	1.74	2.18	1.78	2.26
W_{el}(W)	1153	1121	1099	1058	1051	1013
$\dot{m}$(g/s)	15.47	16.02	11.46	12.26	11.31	12.56
η_{is}	0.360	0.433	0.375	0.460	0.375	0.463
$\eta_{volumetrik}$	0.632	0.734	0.674	0.730	0.708	0.751
P_H/P_L	3.357		3.686		4.345	
P_H(kPa)	1821		1735		1663	
X(%)	0.350	0.262	0.279	0.214	0.279	0.214

Elde edilen ortalama değerler üzerinden sonuçlar değerlendirildiğinde R404A yerine R442A ve R453A kullanılması durumunda;

Soğutma kapasitelerinde sırasıyla %6.92 ve %3.10 oranında artış olduğu, IHX kullanılması durumunda bu artış oranlarına ilave olarak %19.63 ve %24.0 oranında daha artış sağlandığı,

Sistemin performans katsayılarında %10.83 ve %13.38 oranında artış meydana gelmekle birlikte IHX'in etkisi ile bu artış oranlarında %25.29 ve %26.97 daha artış meydana geldiği,

Kompresörde harcanan güçler karşılaştırıldığında %4.68 ve %8.85 oranında azalma meydana gelmekte ve IHX kullanarak bu azalmaya ilave olarak %3.73 ve %3.62 oranlarında katkı sağlandığı,

Kütlesel debilerde %25.92 ve %26.89 oranında azalma olurken, sistemde IHX kullanılınca %6.98 ve %11.05 oranında artış olduğu,

Kompresör izentropik verimlerinde her iki soğutucu akışkan için de %4.17 oranında artış oluren, IHX etkisi ile R442A ve R453A için sırasıyla %22.67 ve %23.47 oranında daha artış sağlandığı, hacimsel verimlere bakıldığında ise %6.64 ve %12.02 oranlarında artışa ilave olarak IHX ile %8.31 ve %6.07 oranlarında daha artış meydana geldiği,

Kompresördeki sıkıştırma oranlarında %9.80 ve %29.43 oranında artış, kompresör çıkış basıncı olan yüksek basınç değerlerinde de %4.72 ve %8.68 oranlarında azalmaya neden olduğu, IHX'in sıkıştırma oranı ve yüksek basınç üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı,

R442A ve R453A soğutucu akışkanlarının kuruluk derecelerinin aynı ve R404A'ya göre %20.29 oranında daha düşük olduğu ve IHX etkisi ile bu azalmaya %23.30 oranında daha azalma sağladığı, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ile tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yasal zorunluklar nedeniyle GWP değeri yüksek olan R404A soğutucu akışkanının kademeli olarak soğutma sistemlerinde azaltılması ve tamamen kaldırılması sürecinde, R442A ve R453A akışkanlarının orta vadede R404A'nın yerine kullanılabileceği ve bu akışkanların arasında da en iyi alternatifin R453A olduğu tespit edilmiştir. Ancak GWP değerleri R442A ve R453A'dan daha düşük ve enerji parametreleriyle de kullanılabilirliği olan soğutucu akışkanların araştırılması için yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

Alarko Carrier San. Tic. A.Ş. 2005. Yeni Ticari Hava Koşullandırma Cihazlarında R-22'nin Yerine Kullanılabilecek Çevre Koruma Açısından Güvenilir Yüksek Verimli Bir Soğutucu Akışkan. Erişim: [https://www.alarko-carrier.com.tr/eBulten/TekBulten/images_5/e_ tekbulten5 _ print.pdf]. Erişim Tarihi:01.05.2015.

Araz,M., Güngör,A., Hepbaşlı,A. 2013. Düşük küresel ısınma potansiyeline sahip soğutucu akışkanların soğutma uygulamalarındaki kullanımının değerlendirilmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İZMİR.

Arora,A., Kaushikb,S,C. 2008. Theoretical analysis of a vapour compression refrigeration system with R502, R404A and R507A, ***International Journal of Refrigeration***, 31:998-1005.

Babiloni,A,M., Esbri,J.N., Peris,B., Moles,F., Verdu,G. 2015. Experimental evaluation of R448A as R404A lower-GWP alternative in refrigeration systems, ***Energy Conversion and Management***, 105:756-762.

Bortolini,M., Gamberi,M., Gamberini,R., Graziani,A., Lolli F., Regattieri,A. 2015. Retrofitting of R404A commercial refrigeration systems using R410a and R407F refrigerants, ***International Journal of Refrigeration***, 55:142-152.

Bulgurcu,H., İsa,K., Onat,A. 2012. Florlu gazlar ile ilgili Avrupa Birliği Düzenlemeleri: F-Gaz Yönetmeliği, 1.Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu, Balıkesir.

Calm, J., M..2008. The Next Generation of Refrigerants – Historical Review, Considerations, and Outlook, ***International Journal of Refrigeration***, 31:1123-1133.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2016. Montreal Protokolü. Erişim: [http://iklim.cob.gov.tr/iklim/ AnaSayfa/montrealptotokolu.aspx?sflang=tr]. Erişim Tarihi:20.12.2016

Çomaklı,K., Şimşek,F., Özyurt,Ö., Bakırcı,K. 2006. Soğutma/ısıtma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve alternatifleri, ***Mühendis ve Makina Dergisi****, 47:562.*

Çomaklı,K., Şimşek,F., Çomaklı,O. Şahin,B. 2009. Determination of optimum working conditions R22 and R404A refrigerant mixtures in heat-pumps using Taguchi method, ***Applied Energy***, 86:2451-2458.

Devecioğlu,G,A., Oruç,V. 2017. The influence of plate-type heat exchanger on energy efficiency and environmental effects of the air-conditioners using R453A as a substitute for R22, ***Applied Thermal Engineering***, 112:1364-1372.

Devecioğlu,G,A., Oruç,V., Berk,U. Ender,S. 2016. İklimlendirme Sistemlerinde R22 Yerine R442A Kullanılmasının Enerji Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi, ***Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi***, 7-3:551-558.

Dinçer,İ., Kanoğlu,M. 2010. Refrigeration Systems and Applications, Second Edition, United Kingdom.

Esbri,N,J., Miranda,M,M,J., Babiloni,M,A., Cervera,B,A., Flores,B,M,J. 2013a. Experimental analysis of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a vapor compression system, ***International Journal of Refrigeration***, 36:870-880.

Esbri,N,J., Moles,F., Cervera,B,A. 2013b. Experimental analysis of the internal heat exchanger influence on a vapour compression system performance working with R1234yf as a drop-in replacement for R134a, ***Applied Thermal Engineering***, 59:153-161.

Fannou,C,L,J., Rousseau,C., Lamarche,L., Kajl,S. 2015. A coMParative performance study of a direct expansion geothermal evaporator using R410A and R407C as refrigerant alternatives to R22, ***Applied Thermal Engineering***, 82:306-317.

Fukuda,S., Kondou,C., Takata,N., Koyama,S. 2014. Low GWP refrigerants R1234ze(E) and R1234ze(Z) for high temperature heat pumps, ***International Journal of Refrigeration***, 40:161-173.

Hundy,G,F., Trott,A,R., Welch,T,C. 2008. Refrigeration and Air-Conditioning(Fourth Edition).

Jarahnejad, M. 2012. New Low GWP Synthetic Refrigerants, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Stockholm.

Jin,L., Cao,F., Yang,D., Wang,X. 2016. Performance investigations of an R404A air-source heat pump with an internal heat exchanger for residential heating in northern China, ***International Journal of Refrigeration***, 67:239-249.

Kaya,S. 2009. Performance CoMParison On The Vapour Compression Refrigeration System When Retrofittıng From R22 to R404A, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Keogh,A. 2005. Soğutucu akışkan seçimi ve su soğutma grubu tasarımı, Alarko Carrier Teknik Bülten, 4:1-10.

Koyun,T., Koyun,A., Acar,M. 2005. Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve bu akışkanların ozon tabakası üzerine etkileri, ***Tesisat Mühendisliği Dergisi***, *88,* 46-53.

Lee,Y., Jung,D. 2012. A brief performance coMParison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications, ***Applied Thermal Engineering***, 35:240-242.

Lemmon, E.W., Huber, M.L., McLinden, M.O. (2013) NIST Standard Reference Database 23 Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.1, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg.

Makhnatch,P., Babiloni,A,M., Rogstam,J., Khodabandeh,R. 2015. Retrofit of lower GWP alternative R449A into an existing R404A indirect supermarket refrigeration system, ***International Journal of Refrigeration***, 53.

Mancin,S., Diani,A., Doretti,L., Rossetto,L. 2014. R134a and R1234ze(E) liquid and flow boiling heat transfer in a high porosity copper foam, ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 74:77-87.

Oruç,V., Devecioğlu,G,A., Ender,S. 2017. Improvement of energy parameters using R442A and R453A in a refrigeration system operating with R404A, ***Applied Thermal Engineering***, 129:243-249.

Refrigerant Solutions Limited. 2015. Product Safety Data Sheet(R453A). Erişim: [http://www.refsols.com/files/RS-70/RS-70_Safety_data.pdf.]. Erişim Tarihi:01.05.2015.

Salimpour,R.M., Gholami,H. 2014. Effect of inserting coiled wires on pressure drop of R-404A condensation, ***International Journal of Refrigeration***, 40:24-30.

Shen,B., Bansal,P. 2014. Assessment of Environmentally Friendly Refrigerants for Window Air Conditioners, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, 1425.

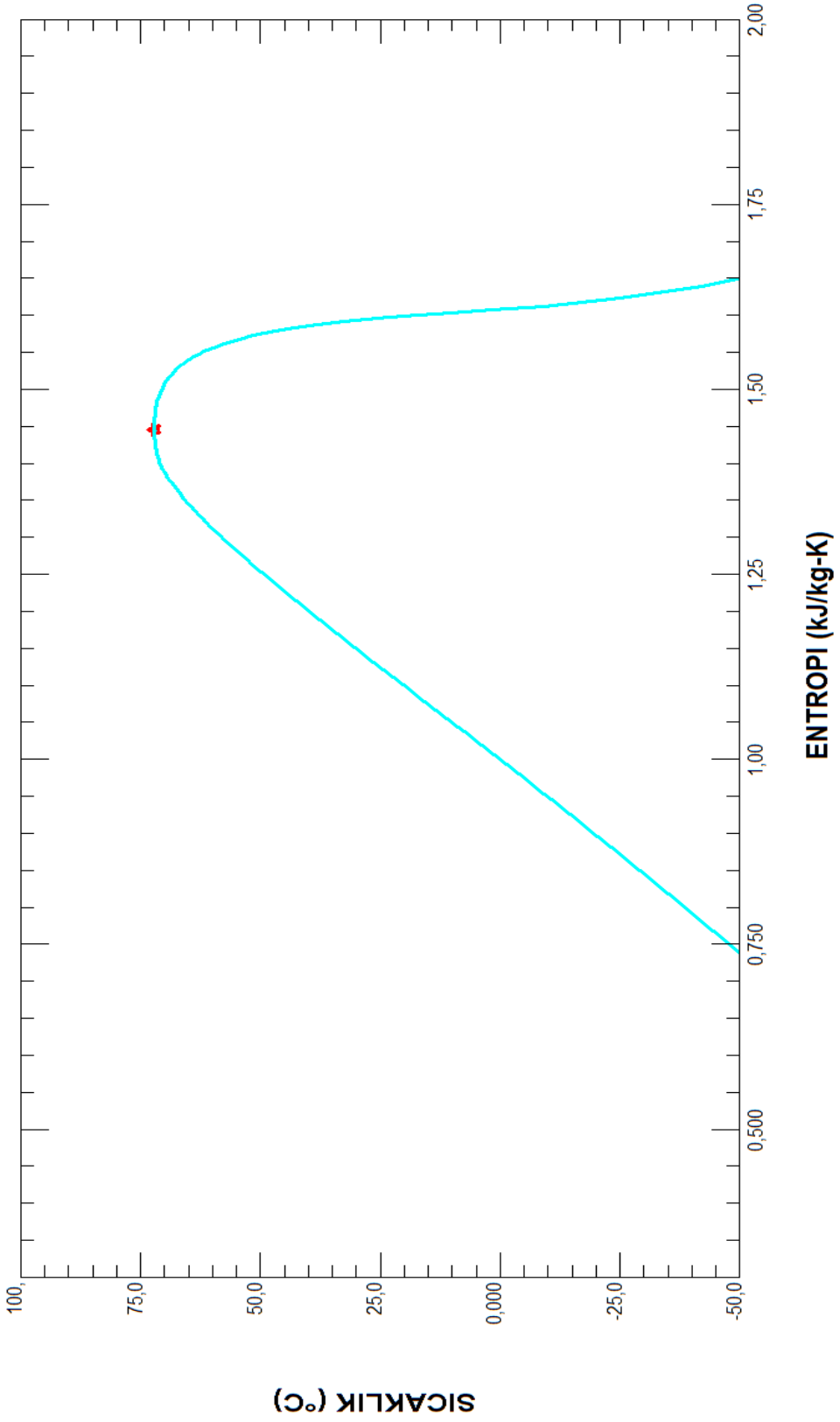
Spatz, M., Minor, B. 2008. HFO-1234yf : A Low GWP Refrigerant for MAC, SAE World Congress, Detroit, Michigan

Yakut,A. 2016. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkilerinin Azaltılması ve Alternatif Akışkan R-32 Hakkındaki Son Gelişmeler, Uluslararası Sürdürülebilir Yapılı Çevre Konferansı-SBE16, İstanbul, Bildiri No:68.

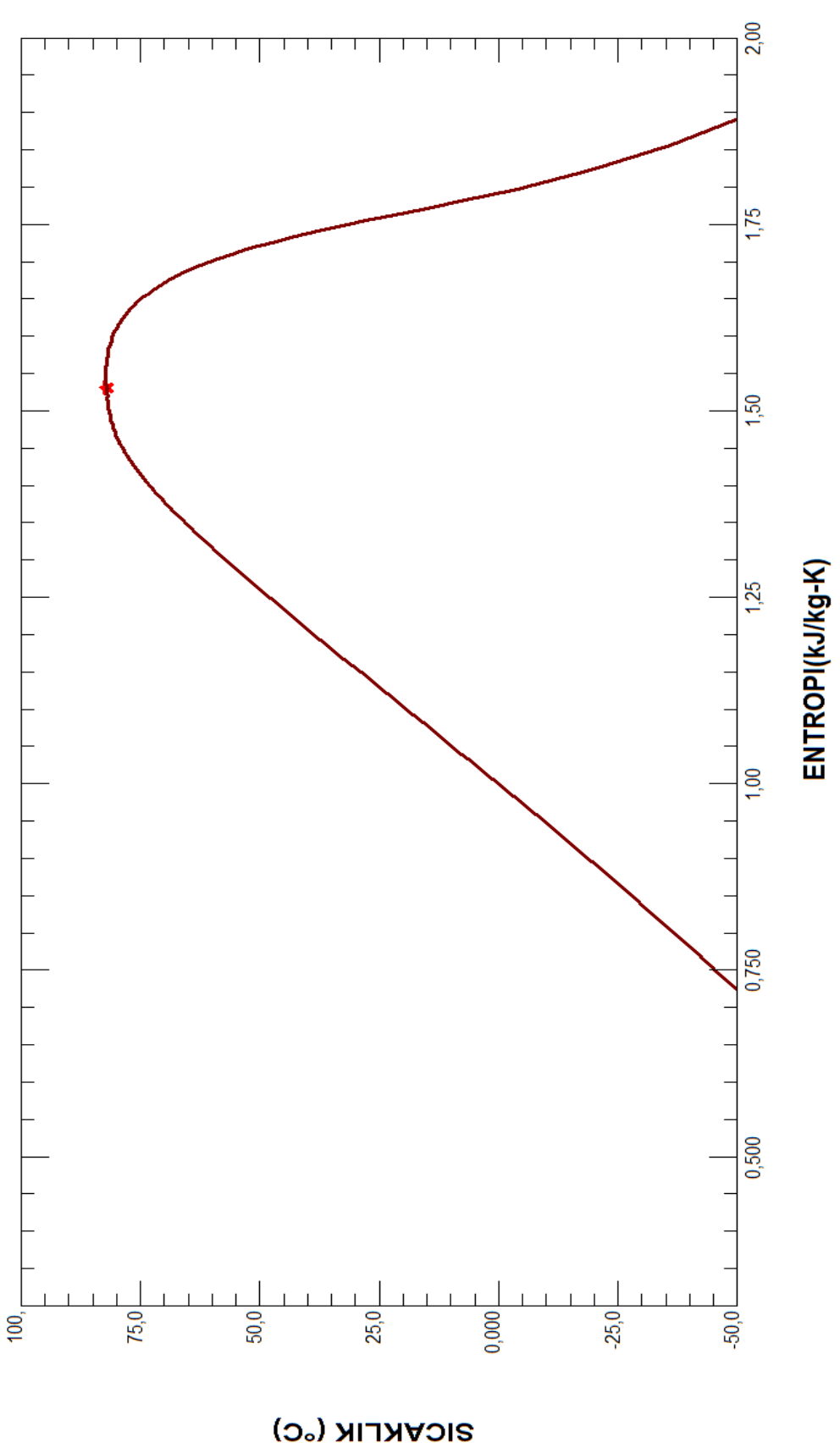
Yılmaz,F., Tosun,C. 2014. Düşük küresel ısınma potansiyeline sahip hfo-1234ze akışkanın termodinamik analizi, ***Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, *30(5),* 308-3013.

EKLER

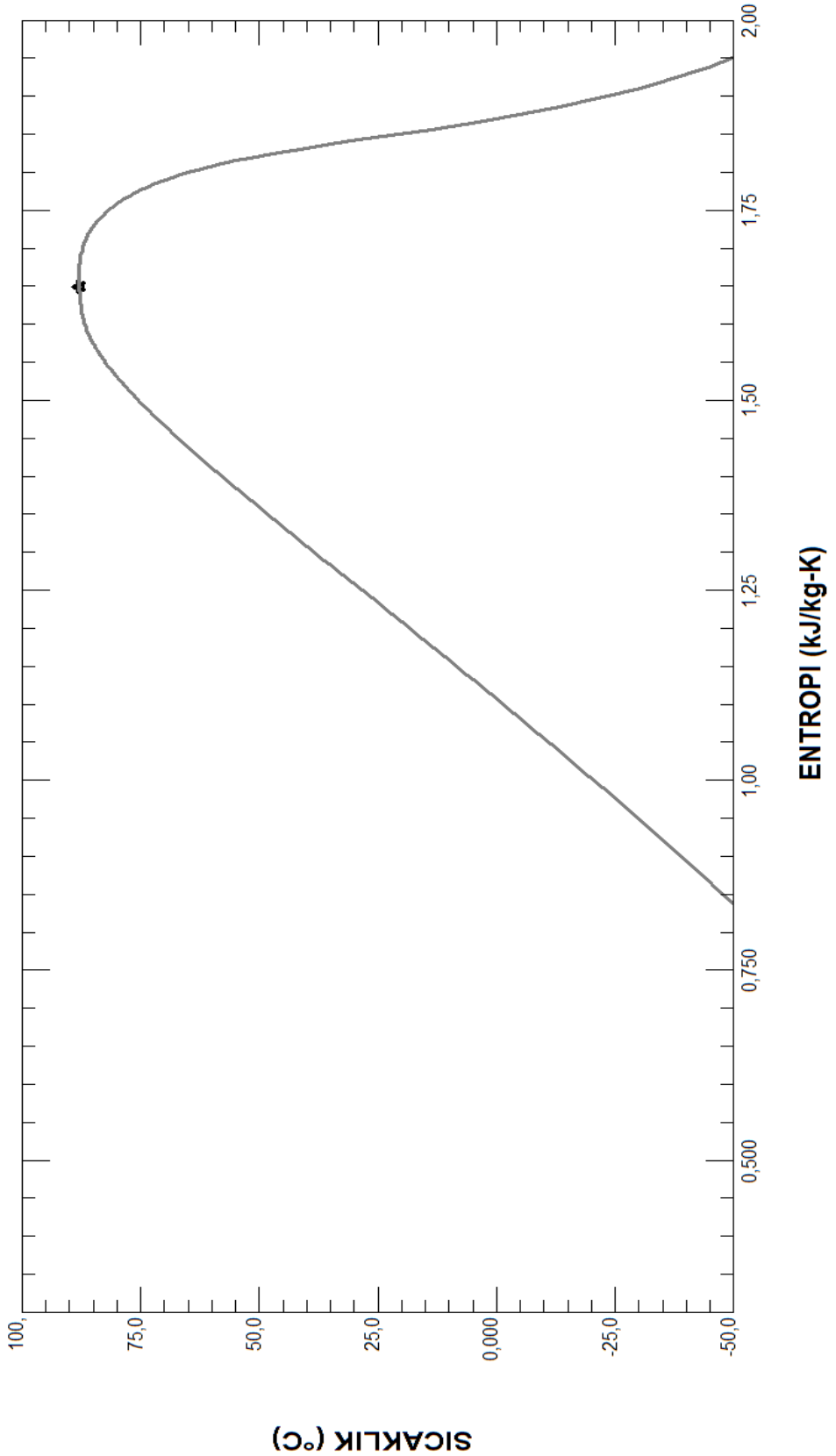
Ek-1: R404A Soğutucu Akışkanının T-S Diyagramı



EK-2: R442A Soğutucu Akışkanının T-S Diyagramı



EK-3: R453A Soğutucu Akışkanının T-S Diyagramı



Ek-4: R404A Soğutucu Akışkanının Termodinamik Tablosu

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
1	-30	0,20778	0,20223	1255	10,548	159,93	349,44	0,84601	1,6267
2	-29	0,21641	0,21073	1251,8	10,971	161,22	350,02	0,85128	1,6259
3	-28	0,22532	0,21951	1248,5	11,407	162,52	350,6	0,85654	1,625
4	-27	0,2345	0,22856	1245,2	11,856	163,81	351,18	0,86179	1,6242
5	-26	0,24397	0,23789	1241,9	12,32	165,11	351,75	0,86703	1,6234
6	-25	0,25373	0,24752	1238,6	12,797	166,41	352,33	0,87225	1,6226
7	-24	0,26379	0,25744	1235,3	13,289	167,72	352,9	0,87747	1,6219
8	-23	0,27415	0,26766	1231,9	13,796	169,03	353,47	0,88267	1,6211
9	-22	0,28481	0,27819	1228,6	14,318	170,34	354,04	0,88787	1,6204
10	-21	0,2958	0,28903	1225,2	14,855	171,65	354,6	0,89305	1,6197
11	-20	0,3071	0,30019	1221,8	15,409	172,97	355,16	0,89822	1,619
12	-19	0,31873	0,31168	1218,4	15,979	174,29	355,72	0,90339	1,6183
13	-18	0,33069	0,3235	1215	16,565	175,61	356,28	0,90854	1,6177
14	-17	0,343	0,33566	1211,5	17,169	176,93	356,84	0,91369	1,617
15	-16	0,35564	0,34816	1208,1	17,789	178,26	357,39	0,91883	1,6164
16	-15	0,36864	0,36101	1204,6	18,428	179,6	357,94	0,92395	1,6158
17	-14	0,382	0,37422	1201,1	19,085	180,93	358,49	0,92907	1,6152
18	-13	0,39572	0,3878	1197,6	19,761	182,27	359,03	0,93419	1,6146
19	-12	0,40981	0,40174	1194,1	20,456	183,61	359,58	0,93929	1,614
20	-11	0,42428	0,41606	1190,5	21,17	184,96	360,11	0,94439	1,6134
21	-10	0,43913	0,43076	1186,9	21,905	186,31	360,65	0,94947	1,6129
22	-9	0,45437	0,44586	1183,4	22,66	187,66	361,18	0,95456	1,6123
23	-8	0,47001	0,46135	1179,7	23,436	189,01	361,71	0,95963	1,6118
24	-7	0,48605	0,47724	1176,1	24,233	190,37	362,24	0,9647	1,6113
25	-6	0,5025	0,49354	1172,5	25,053	191,74	362,76	0,96976	1,6107
26	-5	0,51937	0,51026	1168,8	25,895	193,1	363,28	0,97481	1,6102
27	-4	0,53666	0,5274	1165,1	26,761	194,48	363,8	0,97986	1,6097
28	-3	0,55438	0,54497	1161,3	27,65	195,85	364,31	0,9849	1,6092
29	-2	0,57254	0,56298	1157,6	28,563	197,23	364,82	0,98994	1,6087
30	-1	0,59114	0,58143	1153,8	29,502	198,61	365,32	0,99497	1,6082
31	0	0,61019	0,60033	1150	30,465	200	365,82	1	1,6078
32	1	0,6297	0,61969	1146,2	31,456	201,39	366,32	1,005	1,6073

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
33	2	0,64968	0,63952	1142,3	32,473	202,79	366,81	1,01	1,6068
34	3	0,67013	0,65982	1138,4	33,517	204,19	367,29	1,0151	1,6064
35	4	0,69106	0,68059	1134,5	34,59	205,59	367,78	1,0201	1,6059
36	5	0,71247	0,70186	1130,6	35,692	207	368,25	1,0251	1,6054
37	6	0,73438	0,72362	1126,6	36,823	208,41	368,73	1,0301	1,605
38	7	0,75679	0,74588	1122,6	37,985	209,83	369,2	1,0351	1,6045
39	8	0,77971	0,76865	1118,6	39,179	211,26	369,66	1,0401	1,6041
40	9	0,80314	0,79194	1114,5	40,405	212,68	370,11	1,0451	1,6036
41	10	0,8271	0,81575	1110,4	41,664	214,12	370,57	1,0501	1,6032
42	11	0,85159	0,84009	1106,3	42,957	215,56	371,01	1,0551	1,6027
43	12	0,87661	0,86497	1102,1	44,286	217	371,45	1,06	1,6022
44	13	0,90219	0,8904	1097,9	45,65	218,45	371,89	1,065	1,6018
45	14	0,92832	0,91639	1093,6	47,052	219,9	372,32	1,07	1,6013
46	15	0,95501	0,94294	1089,4	48,491	221,36	372,74	1,075	1,6009
47	16	0,98227	0,97006	1085	49,971	222,83	373,15	1,08	1,6004
48	17	1,0101	0,99776	1080,7	51,49	224,3	373,56	1,085	1,5999
49	18	1,0385	1,026	1076,3	53,052	225,78	373,96	1,09	1,5994
50	19	1,0675	1,0549	1071,8	54,657	227,26	374,36	1,095	1,5989
51	20	1,0972	1,0844	1067,3	56,306	228,75	374,74	1,1	1,5984
52	21	1,1274	1,1145	1062,7	58,002	230,25	375,12	1,105	1,5979
53	22	1,1582	1,1452	1058,2	59,744	231,75	375,49	1,11	1,5974
54	23	1,1897	1,1766	1053,5	61,536	233,26	375,85	1,115	1,5969
55	24	1,2218	1,2086	1048,8	63,379	234,77	376,21	1,12	1,5964
56	25	1,2546	1,2412	1044,1	65,274	236,3	376,55	1,125	1,5958
57	26	1,288	1,2745	1039,2	67,223	237,83	376,89	1,13	1,5953
58	27	1,3221	1,3084	1034,4	69,229	239,37	377,22	1,1351	1,5947
59	28	1,3568	1,3431	1029,5	71,293	240,91	377,53	1,1401	1,5941
60	29	1,3922	1,3784	1024,5	73,418	242,47	377,84	1,1451	1,5935
61	30	1,4283	1,4144	1019,4	75,605	244,03	378,14	1,1502	1,5929
62	31	1,4651	1,4511	1014,3	77,858	245,6	378,42	1,1552	1,5923
63	32	1,5027	1,4885	1009,1	80,179	247,18	378,7	1,1603	1,5916
64	33	1,5409	1,5266	1003,8	82,57	248,77	378,96	1,1654	1,5909
65	34	1,5798	1,5655	998,49	85,035	250,37	379,21	1,1704	1,5903
66	35	1,6195	1,6051	993,07	87,577	251,97	379,45	1,1755	1,5895

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
67	36	1,66	1,6455	987,57	90,2	253,59	379,67	1,1806	1,5888
68	37	1,7012	1,6866	981,98	92,906	255,22	379,89	1,1858	1,588
69	38	1,7431	1,7285	976,3	95,7	256,86	380,08	1,1909	1,5872
70	39	1,7859	1,7712	970,52	98,586	258,51	380,26	1,1961	1,5864
71	40	1,8294	1,8146	964,65	101,57	260,17	380,43	1,2012	1,5855
72	41	1,8737	1,8589	958,67	104,65	261,85	380,58	1,2064	1,5846
73	42	1,9189	1,904	952,58	107,84	263,53	380,71	1,2116	1,5837
74	43	1,9648	1,9499	946,38	111,15	265,23	380,82	1,2169	1,5827
75	44	2,0116	1,9967	940,05	114,57	266,95	380,92	1,2221	1,5817
76	45	2,0593	2,0443	933,59	118,12	268,68	380,99	1,2274	1,5807
77	46	2,1078	2,0928	927	121,8	270,42	381,05	1,2327	1,5796
78	47	2,1572	2,1422	920,26	125,62	272,18	381,08	1,2381	1,5784
79	48	2,2074	2,1924	913,37	129,59	273,96	381,08	1,2434	1,5772
80	49	2,2586	2,2436	906,31	133,73	275,76	381,06	1,2488	1,5759
81	50	2,3106	2,2957	899,07	138,04	277,57	381,01	1,2543	1,5746
82	51	2,3636	2,3487	891,65	142,53	279,41	380,93	1,2598	1,5732
83	52	2,4175	2,4027	884,02	147,22	281,27	380,82	1,2653	1,5717
84	53	2,4724	2,4577	876,17	152,13	283,15	380,68	1,2709	1,5701
85	54	2,5283	2,5136	868,07	157,28	285,06	380,5	1,2766	1,5685
86	55	2,5851	2,5705	859,72	162,68	286,99	380,28	1,2823	1,5667
87	56	2,643	2,6285	851,09	168,36	288,96	380,01	1,288	1,5648
88	57	2,7019	2,6875	842,13	174,35	290,95	379,69	1,2939	1,5628
89	58	2,7618	2,7476	832,83	180,69	292,99	379,32	1,2998	1,5607
90	59	2,8228	2,8088	823,14	187,41	295,06	378,89	1,3059	1,5584
91	60	2,8849	2,8711	813,01	194,57	297,18	378,4	1,312	1,5559

Ek-5: R442A Soğutucu Akışkanının Termodinamik Tablosu

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
1	-30	0,21288	0,16157	1312,3	6,9226	157,98	398,5	0,83846	1,8429
2	-29	0,22189	0,16897	1309,1	7,2231	159,35	399,04	0,84402	1,8408
3	-28	0,23119	0,17664	1305,8	7,5338	160,71	399,59	0,84957	1,8388
4	-27	0,2408	0,18457	1302,6	7,8549	162,08	400,13	0,8551	1,8368
5	-26	0,2507	0,19278	1299,3	8,1868	163,45	400,67	0,86062	1,8349
6	-25	0,26092	0,20127	1296	8,5296	164,82	401,21	0,86613	1,8329
7	-24	0,27146	0,21006	1292,7	8,8837	166,19	401,74	0,87162	1,831
8	-23	0,28233	0,21913	1289,4	9,2492	167,57	402,28	0,8771	1,8291
9	-22	0,29352	0,22851	1286,1	9,6266	168,95	402,81	0,88256	1,8273
10	-21	0,30505	0,2382	1282,7	10,016	170,33	403,33	0,88801	1,8255
11	-20	0,31693	0,24821	1279,4	10,418	171,71	403,85	0,89345	1,8236
12	-19	0,32916	0,25853	1276	10,832	173,1	404,38	0,89888	1,8219
13	-18	0,34175	0,26919	1272,6	11,26	174,49	404,89	0,9043	1,8201
14	-17	0,3547	0,28018	1269,3	11,701	175,88	405,41	0,9097	1,8184
15	-16	0,36803	0,29152	1265,8	12,155	177,27	405,92	0,91509	1,8167
16	-15	0,38173	0,30321	1262,4	12,623	178,67	406,43	0,92047	1,815
17	-14	0,39583	0,31525	1259	13,106	180,07	406,93	0,92584	1,8133
18	-13	0,41031	0,32767	1255,5	13,603	181,47	407,43	0,9312	1,8117
19	-12	0,4252	0,34045	1252,1	14,115	182,88	407,93	0,93655	1,81
20	-11	0,44049	0,35362	1248,6	14,642	184,29	408,42	0,94188	1,8084
21	-10	0,45619	0,36717	1245,1	15,185	185,7	408,91	0,94721	1,8068
22	-9	0,47232	0,38112	1241,5	15,744	187,11	409,4	0,95253	1,8052
23	-8	0,48888	0,39548	1238	16,319	188,53	409,89	0,95784	1,8037
24	-7	0,50587	0,41024	1234,4	16,911	189,95	410,36	0,96314	1,8021
25	-6	0,52331	0,42542	1230,9	17,52	191,38	410,84	0,96843	1,8006
26	-5	0,5412	0,44103	1227,3	18,147	192,81	411,31	0,97371	1,7991
27	-4	0,55955	0,45708	1223,6	18,792	194,24	411,78	0,97898	1,7976
28	-3	0,57836	0,47357	1220	19,455	195,67	412,24	0,98425	1,7961
29	-2	0,59765	0,49051	1216,3	20,137	197,11	412,7	0,98951	1,7947
30	-1	0,61742	0,5079	1212,7	20,838	198,55	413,16	0,99476	1,7932
31	0	0,63767	0,52577	1209	21,559	200	413,61	1	1,7918
32	1	0,65843	0,54411	1205,2	22,301	201,45	414,05	1,0052	1,7904

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
33	2	0,67968	0,56293	1201,5	23,063	202,9	414,49	1,0105	1,7889
34	3	0,70145	0,58225	1197,7	23,846	204,36	414,93	1,0157	1,7875
35	4	0,72374	0,60207	1193,9	24,651	205,82	415,36	1,0209	1,7861
36	5	0,74656	0,6224	1190,1	25,479	207,29	415,79	1,0261	1,7848
37	6	0,76991	0,64324	1186,3	26,329	208,76	416,21	1,0313	1,7834
38	7	0,7938	0,66461	1182,4	27,202	210,23	416,63	1,0365	1,782
39	8	0,81824	0,68652	1178,5	28,1	211,71	417,04	1,0417	1,7807
40	9	0,84325	0,70898	1174,6	29,022	213,19	417,44	1,0469	1,7793
41	10	0,86882	0,73198	1170,7	29,969	214,68	417,84	1,0521	1,778
42	11	0,89496	0,75555	1166,7	30,943	216,17	418,24	1,0573	1,7766
43	12	0,92169	0,77969	1162,7	31,942	217,67	418,63	1,0624	1,7753
44	13	0,94901	0,80441	1158,6	32,969	219,17	419,01	1,0676	1,774
45	14	0,97693	0,82973	1154,6	34,024	220,68	419,39	1,0728	1,7726
46	15	1,0055	0,85564	1150,5	35,108	222,19	419,76	1,078	1,7713
47	16	1,0346	0,88216	1146,4	36,221	223,71	420,12	1,0831	1,77
48	17	1,0644	0,9093	1142,2	37,364	225,23	420,48	1,0883	1,7687
49	18	1,0948	0,93707	1138	38,538	226,76	420,83	1,0935	1,7674
50	19	1,1258	0,96548	1133,8	39,744	228,29	421,17	1,0986	1,7661
51	20	1,1575	0,99454	1129,5	40,983	229,83	421,51	1,1038	1,7648
52	21	1,1898	1,0243	1125,2	42,256	231,37	421,84	1,1089	1,7635
53	22	1,2228	1,0546	1120,9	43,563	232,92	422,16	1,1141	1,7621
54	23	1,2565	1,0857	1116,5	44,906	234,48	422,47	1,1193	1,7608
55	24	1,2909	1,1175	1112,1	46,285	236,04	422,78	1,1244	1,7595
56	25	1,326	1,1499	1107,6	47,703	237,61	423,08	1,1296	1,7582
57	26	1,3617	1,1831	1103,1	49,159	239,19	423,36	1,1348	1,7569
58	27	1,3982	1,2169	1098,6	50,655	240,77	423,65	1,1399	1,7555
59	28	1,4354	1,2516	1094	52,193	242,35	423,92	1,1451	1,7542
60	29	1,4733	1,2869	1089,4	53,773	243,95	424,18	1,1503	1,7529
61	30	1,512	1,323	1084,7	55,397	245,55	424,43	1,1554	1,7515
62	31	1,5514	1,3599	1080	57,067	247,16	424,68	1,1606	1,7501
63	32	1,5915	1,3976	1075,2	58,783	248,78	424,91	1,1658	1,7488
64	33	1,6324	1,436	1070,4	60,548	250,4	425,13	1,171	1,7474
65	34	1,6741	1,4753	1065,5	62,363	252,04	425,34	1,1762	1,746
66	35	1,7166	1,5153	1060,5	64,23	253,68	425,54	1,1814	1,7446

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
67	36	1,7598	1,5562	1055,5	66,15	255,33	425,73	1,1866	1,7432
68	37	1,8039	1,5979	1050,5	68,126	256,98	425,91	1,1918	1,7418
69	38	1,8488	1,6405	1045,4	70,16	258,65	426,08	1,1971	1,7403
70	39	1,8945	1,6839	1040,2	72,253	260,33	426,23	1,2023	1,7388
71	40	1,941	1,7282	1034,9	74,408	262,01	426,37	1,2075	1,7374
72	41	1,9883	1,7734	1029,6	76,628	263,71	426,5	1,2128	1,7359
73	42	2,0366	1,8195	1024,2	78,915	265,41	426,61	1,2181	1,7343
74	43	2,0856	1,8665	1018,8	81,271	267,13	426,71	1,2234	1,7328
75	44	2,1355	1,9145	1013,2	83,7	268,85	426,79	1,2286	1,7312
76	45	2,1864	1,9634	1007,6	86,205	270,59	426,86	1,234	1,7296
77	46	2,2381	2,0132	1001,9	88,789	272,34	426,91	1,2393	1,728
78	47	2,2906	2,0641	996,11	91,455	274,1	426,95	1,2446	1,7263
79	48	2,3441	2,1159	990,22	94,208	275,87	426,97	1,25	1,7246
80	49	2,3986	2,1687	984,24	97,051	277,66	426,97	1,2554	1,7229
81	50	2,4539	2,2226	978,16	99,989	279,46	426,95	1,2608	1,7212
82	51	2,5102	2,2775	971,97	103,03	281,28	426,9	1,2662	1,7194
83	52	2,5674	2,3335	965,66	106,17	283,1	426,84	1,2717	1,7175
84	53	2,6257	2,3905	959,24	109,42	284,95	426,76	1,2771	1,7156
85	54	2,6848	2,4486	952,69	112,79	286,81	426,65	1,2827	1,7137
86	55	2,745	2,5079	946,01	116,29	288,69	426,52	1,2882	1,7117
87	56	2,8061	2,5683	939,18	119,91	290,59	426,36	1,2938	1,7097
88	57	2,8683	2,6298	932,21	123,68	292,51	426,18	1,2994	1,7076
89	58	2,9315	2,6926	925,07	127,59	294,44	425,96	1,305	1,7054
90	59	2,9957	2,7565	917,75	131,66	296,4	425,72	1,3107	1,7032
91	60	3,0609	2,8217	910,25	135,89	298,39	425,44	1,3165	1,7009

Ek-6: R453A Soğutucu Akışkanının Termodinamik Tablosu

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Fazı Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
1	-30	0,17539	0,12816	1332,1	5,9128	160,05	390,15	0,94964	1,9101
2	-29	0,18293	0,13416	1328,9	6,1743	161,38	390,74	0,95508	1,9084
3	-28	0,19072	0,14039	1325,8	6,4449	162,71	391,32	0,9605	1,9068
4	-27	0,19876	0,14684	1322,6	6,7248	164,05	391,91	0,96591	1,9052
5	-26	0,20707	0,15352	1319,4	7,0142	165,39	392,49	0,97131	1,9036
6	-25	0,21564	0,16044	1316,3	7,3134	166,73	393,07	0,97669	1,902
7	-24	0,22448	0,1676	1313,1	7,6225	168,07	393,65	0,98206	1,9005
8	-23	0,2336	0,17501	1309,8	7,9419	169,41	394,23	0,98742	1,899
9	-22	0,24301	0,18267	1306,6	8,2718	170,76	394,8	0,99276	1,8975
10	-21	0,25271	0,1906	1303,4	8,6123	172,11	395,37	0,99809	1,8961
11	-20	0,2627	0,19878	1300,1	8,9639	173,46	395,94	1,0034	1,8946
12	-19	0,27299	0,20724	1296,9	9,3268	174,81	396,51	1,0087	1,8932
13	-18	0,28359	0,21598	1293,6	9,7011	176,17	397,07	1,014	1,8918
14	-17	0,29451	0,225	1290,3	10,087	177,53	397,64	1,0193	1,8905
15	-16	0,30574	0,23431	1287	10,486	178,89	398,2	1,0246	1,8891
16	-15	0,3173	0,24392	1283,7	10,896	180,25	398,76	1,0298	1,8878
17	-14	0,32919	0,25383	1280,4	11,319	181,62	399,31	1,0351	1,8865
18	-13	0,34142	0,26404	1277,1	11,756	182,99	399,86	1,0403	1,8852
19	-12	0,354	0,27458	1273,7	12,205	184,36	400,41	1,0455	1,8839
20	-11	0,36692	0,28544	1270,3	12,668	185,73	400,96	1,0507	1,8827
21	-10	0,3802	0,29662	1266,9	13,145	187,11	401,51	1,0559	1,8815
22	-9	0,39385	0,30814	1263,5	13,636	188,49	402,05	1,0611	1,8803
23	-8	0,40787	0,32001	1260,1	14,141	189,88	402,59	1,0663	1,8791
24	-7	0,42226	0,33222	1256,7	14,662	191,26	403,12	1,0715	1,8779
25	-6	0,43703	0,34478	1253,3	15,198	192,65	403,66	1,0767	1,8767
26	-5	0,4522	0,35772	1249,8	15,749	194,04	404,19	1,0818	1,8756
27	-4	0,46776	0,37102	1246,3	16,316	195,44	404,71	1,087	1,8745
28	-3	0,48372	0,38469	1242,8	16,899	196,84	405,24	1,0921	1,8734
29	-2	0,50009	0,39875	1239,3	17,499	198,24	405,76	1,0972	1,8723
30	-1	0,51688	0,4132	1235,7	18,116	199,64	406,28	1,1024	1,8712
31	0	0,53409	0,42805	1232,2	18,751	201,05	406,79	1,1075	1,8701
32	1	0,55172	0,44331	1228,6	19,403	202,46	407,3	1,1126	1,8691

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Fazı Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
33	2	0,5698	0,45898	1225	20,074	203,88	407,81	1,1177	1,868
34	3	0,58831	0,47506	1221,4	20,763	205,3	408,31	1,1228	1,867
35	4	0,60728	0,49158	1217,8	21,471	206,72	408,81	1,1278	1,866
36	5	0,6267	0,50853	1214,1	22,199	208,14	409,31	1,1329	1,8649
37	6	0,64659	0,52592	1210,4	22,947	209,57	409,8	1,138	1,8639
38	7	0,66694	0,54376	1206,7	23,716	211,01	410,28	1,1431	1,863
39	8	0,68778	0,56206	1203	24,505	212,44	410,77	1,1481	1,862
40	9	0,7091	0,58083	1199,3	25,317	213,88	411,25	1,1532	1,861
41	10	0,7309	0,60007	1195,5	26,15	215,33	411,72	1,1582	1,86
42	11	0,75321	0,61979	1191,7	27,005	216,78	412,19	1,1633	1,8591
43	12	0,77602	0,64	1187,9	27,884	218,23	412,66	1,1683	1,8581
44	13	0,79935	0,66071	1184,1	28,786	219,69	413,12	1,1733	1,8572
45	14	0,82319	0,68193	1180,2	29,713	221,15	413,58	1,1783	1,8562
46	15	0,84757	0,70366	1176,3	30,664	222,61	414,03	1,1834	1,8553
47	16	0,87247	0,72591	1172,4	31,641	224,08	414,48	1,1884	1,8544
48	17	0,89792	0,74869	1168,4	32,644	225,56	414,92	1,1934	1,8535
49	18	0,92392	0,77201	1164,4	33,674	227,03	415,35	1,1984	1,8525
50	19	0,95047	0,79587	1160,4	34,732	228,52	415,79	1,2034	1,8516
51	20	0,97758	0,8203	1156,4	35,817	230,01	416,21	1,2084	1,8507
52	21	1,0053	0,84529	1152,3	36,932	231,5	416,63	1,2134	1,8498
53	22	1,0335	0,87085	1148,2	38,076	233	417,05	1,2184	1,8489
54	23	1,0624	0,89699	1144,1	39,25	234,5	417,45	1,2234	1,848
55	24	1,0918	0,92373	1139,9	40,456	236,01	417,86	1,2284	1,8471
56	25	1,1219	0,95106	1135,7	41,694	237,52	418,25	1,2334	1,8462
57	26	1,1525	0,97901	1131,5	42,965	239,04	418,64	1,2384	1,8453
58	27	1,1838	1,0076	1127,2	44,27	240,57	419,02	1,2434	1,8444
59	28	1,2157	1,0368	1122,9	45,61	242,1	419,4	1,2484	1,8435
60	29	1,2482	1,0666	1118,6	46,986	243,63	419,77	1,2534	1,8425
61	30	1,2814	1,0971	1114,2	48,399	245,18	420,13	1,2584	1,8416
62	31	1,3152	1,1282	1109,7	49,85	246,72	420,49	1,2634	1,8407
63	32	1,3497	1,16	1105,3	51,34	248,28	420,83	1,2684	1,8398
64	33	1,3848	1,1925	1100,8	52,87	249,84	421,17	1,2734	1,8389
65	34	1,4206	1,2256	1096,2	54,442	251,41	421,5	1,2784	1,8379
66	35	1,4571	1,2595	1091,6	56,057	252,98	421,82	1,2834	1,837

Sıra No	Sıcaklık (°C)	Sıvı Faz Basıncı (MPa)	Buhar Faz Basıncı (MPa)	Sıvı Faz Yoğunluğu (kg/m^3)	Buhar Fazı Yoğunluğu (kg/m^3)	Sıvı Faz Entalpi (kj/kg)	Buhar Faz Entalpi (kj/kg)	Sıvı Faz Entropi (kj/kg-K)	Buhar Faz Entropi (kj/kg-K)
67	36	1,4943	1,2941	1086,9	57,716	254,56	422,14	1,2884	1,836
68	37	1,5321	1,3294	1082,2	59,421	256,15	422,44	1,2934	1,8351
69	38	1,5707	1,3654	1077,5	61,173	257,74	422,74	1,2985	1,8341
70	39	1,61	1,4021	1072,7	62,974	259,35	423,03	1,3035	1,8331
71	40	1,65	1,4396	1067,8	64,825	260,96	423,3	1,3085	1,8321
72	41	1,6907	1,4779	1062,9	66,728	262,57	423,57	1,3136	1,8311
73	42	1,7322	1,5169	1058	68,685	264,2	423,83	1,3186	1,8301
74	43	1,7744	1,5568	1052,9	70,698	265,83	424,07	1,3236	1,8291
75	44	1,8173	1,5974	1047,8	72,769	267,48	424,31	1,3287	1,828
76	45	1,861	1,6388	1042,7	74,9	269,13	424,53	1,3338	1,827
77	46	1,9055	1,6811	1037,5	77,093	270,79	424,75	1,3388	1,8259
78	47	1,9508	1,7241	1032,2	79,352	272,46	424,94	1,3439	1,8248
79	48	1,9969	1,7681	1026,8	81,677	274,14	425,13	1,349	1,8237
80	49	2,0437	1,8129	1021,4	84,073	275,83	425,3	1,3541	1,8225
81	50	2,0914	1,8585	1015,9	86,542	277,52	425,46	1,3593	1,8214
82	51	2,1398	1,9051	1010,3	89,087	279,24	425,61	1,3644	1,8202
83	52	2,1891	1,9525	1004,6	91,711	280,96	425,74	1,3696	1,819
84	53	2,2393	2,0009	998,83	94,419	282,69	425,85	1,3747	1,8177
85	54	2,2902	2,0501	992,97	97,214	284,44	425,95	1,3799	1,8164
86	55	2,3421	2,1004	987,01	100,1	286,19	426,03	1,3851	1,8151
87	56	2,3947	2,1516	980,95	103,08	287,96	426,1	1,3903	1,8138
88	57	2,4483	2,2038	974,78	106,16	289,75	426,14	1,3956	1,8124
89	58	2,5027	2,2569	968,49	109,35	291,55	426,17	1,4009	1,811
90	59	2,558	2,3111	962,09	112,65	293,36	426,17	1,4062	1,8095
91	60	2,6143	2,3663	955,56	116,07	295,19	426,15	1,4115	1,808

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı	:Sertaç ENDER
Doğum Tarihi	:28/03/1987
Doğum Yeri	:Siverek
Lise	:Ziya Gökalp Liseli(Diyarbakır)
Üniversite	:Yıldız Teknik Üniversitesi(İstanbul)
Çalıştığı Kurum	:MSB Akarayakıt İkmal ve NATO POL Tesisleri İşletme Başkanlığı Diyarbakır İşletme Müdürlüğü

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Sertaç ENDER
ÖĞRENCİ NO	13818001
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017-2018
YARIYIL	☒ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	R404A Soğutucu Akışkanı Kullanan Sistemlerde R442Ave R453A Soğutucu Akışkanları Kullanılarak Sistem Verimlerinin Arttırılması
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	93
BENZERLİK ORANI	%14
RAPORLAMA TARİHİ	21/02/ 2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 93 (doksan üç) sayfalık kısmına ilişkin, 21/02/2018 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından *Turitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☒ Kabul/Onay sayfaları hariç,
- ☐ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç/dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Sertaç ENDER

21/02/2018

Yrd.Doç.Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU
Tez Danışmanı

21/02/2018

Doç.Dr. Vedat ORUÇ
Anabilim Dalı Başkanı