

YENİ NESİL SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ENERJİ, EKSERJİ VE LCCP PERSPEKTİFİNDE ANALİZİ

2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

Merve ÖZER ŞİMŞEK

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alper ERGÜN

YENİ NESİL SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ENERJİ, EKSERJİ VE LCCP PERSPEKTİFİNDE ANALİZİ

Merve ÖZER ŞİMŞEK

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alper ERGÜN

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

KARABÜK
Haziran 2023

Merve ÖZER ŞİMŞEK tarafından hazırlanan "YENİ NESİL SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ENERJİ, EKSERJİ VE LCCP PERSPEKTİFİNDE ANALİZİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Alper ERGÜN .....
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ .....
2. Tez Danışmanı, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/06/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)	İmzası
Başkan : Doç. Dr.Engin GEDİK (KBÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ (GÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ)	.....
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Onur KARAAĞAÇ (SÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."

Merve ÖZER ŞİMŞEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ NESİL SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ENERJİ, EKSERJİ VE LCCP PERSPEKTİFİNDE ANALİZİ

Merve ÖZER ŞİMŞEK

Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı:
Doç. Dr.Alper ERGÜN

Haziran 2023, 52 sayfa

Geçmişten günümüze süregelen soğutma ihtiyacında ve soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlarda zaman içerisinde çeşitli değişimler ortaya çıkmıştır. Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların iklim değişikliğine, ozon tabakasına ve küresel ısınmaya ciddi etkileri olduğu bilinmektedir. Bu etkileri azaltmak için son yıllarda çeşitli yasal düzenlemeler ve çalışmalar yapılmıştır. İklim değişikliği üzerindeki bu olumsuz etkileri azaltmak için düşük küresel ısınma potansiyeline sahip, çevre dostu yeni nesil soğutucu akışkanlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada, Genetron Properties programı kullanılarak buhar sıkıştırmalı bir soğutma çevrimi sistemi tasarlanmış R404A soğutucu akışkanına alternatif olarak düşünülen R410A ve yeni nesil soğutucu akışkan olan R1234yf soğutucu akışkanlarının enerji, ekserji ve yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) teorik olarak incelenmiştir. Soğutucu akışkanlar dört farklı buharlaşma sıcaklığında (-30,-15, -5, 0°C) ve sabit kondenser sıcaklığında (50°C) test edilmiştir. Çalışmanın sonunda

R410A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının kompresör enerji tüketimlerinin birbirine çok yakın ve R404A soğutucu akışkanına göre yaklaşık %7 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek COP değeri R1234yf olarak belirlenmiştir. -30°C'de en düşük ekserji verimi R404A soğutucu akışkanına aittir. R1234yf soğutucu akışkanın -15°C'den itibaren en yüksek ekserji verimine sahip olduğu görülmüştür. LCCP yöntemi ile hesaplanan kgCO_2 eşd. emisyon değerlerinde CO_2 emisyonu yüksek olan soğutucu akışkanın R404A, en düşüğün ise R1234yf olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada görüldüğü gibi soğutma sistemlerinde küresel ısınma potansiyel oranı düşük soğutucu akışkanların kullanılması CO_2 azaltımı için tek çözüm olamaz. Ancak sistemin verimliliğinin artırılması ve enerji tüketiminden kaynaklanan dolaylı emisyonların azaltılması için çevre dostu enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş enerjisi vb.) kullanılması CO_2'nin azaltılmasında daha etkin rol oynamaktadır.

Anahtar Sözcükler : Soğutucu Akışkan, Enerji, Ekserji, LCCP, GWP
Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS OF NEW GENERATION REFRIGERANTS IN ENERGY, EXERGY AND LCCP PERSPECTIVE

Merve ÖZER ŞİMŞEK

Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:
Assoc. Prof. Dr. Alper ERGÜN
June 2023, 52 pages

Over time, there have been various changes in the cooling requirements and the refrigerants used in cooling systems. It is well-known that the refrigerants employed in these systems have significant impacts on climate change, the ozone layer, and global warming. In recent years, several legal regulations and studies have been conducted to mitigate these effects. To minimize the adverse effects on climate change, it became necessary to utilize environmentally friendly refrigerants of the new generation with low global warming potential.

In this study, a vapor compression refrigeration cycle system is designed using the Genetron Properties program to investigate the energy, exergy, and life cycle climate performance (LCCP) of R410A and the new generation refrigerant R1234yf, which are considered as alternatives to the R404A refrigerant. Theoretical analysis is conducted to evaluate these refrigerants. The refrigerants are tested at four different evaporation temperatures (-30, -15, -5, and 0°C), while maintaining a constant

condenser temperature of 50°C. At the end of the study, it was determined that the compressor energy consumption of R410A and R1234yf refrigerants is very close to each other and approximately 7% lower than that of the R404A refrigerant. The highest COP value was determined as R1234yf.

At -30°C, the lowest exergy efficiency was calculated for the R404A refrigerant. It was observed that R1234yf refrigerant had the highest exergy efficiency starting from -15°C. When calculating the equivalent kgCO_2 emissions using the life cycle climate performance (LCCP) method, it was determined that the R404A refrigerant had the highest CO_2 emissions, while R1234yf had the lowest emissions. As seen in this study, the use of refrigerants with low GWP ratio in cooling systems cannot be the sole solution for CO_2 reduction. However, increasing the efficiency of the system and reducing direct emissions from energy consumption, and using environmentally friendly energy sources (such as wind, solar energy, etc.) play a more effective role in reducing CO_2.

Key Word **:** Refrigerant, Energy, Exergy, LCCP, GWP

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli fikirlerini zaman ve mekân fark etmeksizin esirgemeyen, maddi manevi yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Doç.Dr. Alper ERGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamın başından sonuna kadar tavsiye ve rehberliklikleriyle bana yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi her türlü fedakârlığı ve sabrı gösteren annem Fadime ÖZER ve babam Abdi ÖZER'e, biricik kardeşim Emre ÖZER'e ve her daim destekleyen, her koşulda yanımda olan sevgili eşim Emre ŞİMŞEK'e destekleri için tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL iv
ÖZET iv
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiii

BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1

BÖLÜM 2 4
LİTERATÜR TARAMASI 4

BÖLÜM 3 10
SOĞUTMA ÇEVRİMİ 10
3.1. İDEAL BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVRİMİ 10
3.2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN SINIFLANDIRILMASI 12
3.4. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ 16

BÖLÜM 4 22
MATERYAL VE METOD 22
4.1. MATERYAL 22
4.2. METOD 23
4.2.1. Enerji Analizi 23

BÖLÜM 5 30

Sayfa

ARAŞTIRMA BULGULARI 30
5.1. ENERJİ ANALİZİ BULGULARI 30
5.2. EKSERJİ ANALİZ BULGULARI 32
5.3. LCCP ANALİZİ BULGULARI 34

BÖLÜM 6 45
SONUÇLAR ve ÖNERİLER 45
ÖZGEÇMİŞ 52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevriminin Tesisat Şeması ve T-S Diyagramı 10

Şekil 3.2. Soğutucu Akışkanların Tarihsel Süreçteki Gelişimi 14

Şekil 3.3. Klor Molekülünün Ozonu Parçalanması 10

Şekil 4.1. Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Çevriminin Şematik Görünümü 22

Şekil 4.2. Yaşam Döngüsü İklim Performansı (LCCP) Kategorileri 26

Şekil 5.1. Soğutucu Akışkanların Kompresör Enerji Tüketimleri. 31

Şekil 5.2. Akışkanlara Ait COP(c,h) Değerleri. 31

Şekil 5.3. Sistemin Farklı Akışkanlara Göre Kondenser Yükleri. 32

Şekil 5.4. Sistemlerin Ekserji Yıkımları 33

Şekil 5.5. Sistemlerin Ekserji Verimi 33

Şekil 5.6. Soğutucu Akışkanların Yaşam Döngüsü Iklim Performans Analizlerinin Buharlaşma Sıcaklığına Göre Karşılaştırılması 34

Şekil 5.7. Soğutucu Akışkanların LCCP Analizinin Karşılaştırılması (-30℃ buharlaşma sıcaklığı için). 36

Şekil 5.8. Soğutucu Akışkanların LCCP Analizinin Karşılaştırılması (-15℃ buharlaşma sıcaklığı için) 38

Şekil 5.9. Soğutucu Akışkanların LCCP Analizinin Karşılaştırılması (-5℃ buharlaşma sıcaklığı için) 40

Şekil 5.10. Soğutucu Akışkanların LCCP Analizinin Karşılaştırılması (-0℃ buharlaşma sıcaklığı için) 42

Şekil 5.11. Ortalama Emisyon Değeri ve Rüzgar Enerjisi Emisyon Değerine Göre LCCP Karşılaştırılması 44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. HFC ve HFO olarak Sınıflandırılan Soğutucu Akışkanların Fiziksel ve Termodinamik Özellikleri 16

Çizelge 4.1. Sistem Için Alınan Kabuller..... 23

Çizelge 4.2. Gelişmiş Ülkeler Için ALR, EOL ve L Ortalama Değerleri 27

Çizelge 4.3. Bazı Soğutucu Akışkanların GWP ve GWPadp Değerleri. 27

Çizelge 4.4. Bazı Enerji Kaynaklarının Emisyon Değerleri. 28

Çizelge 4.5. Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Yaygın Kullanılan Malzemeler ve Üretim Emisyon Değerleri 28

Çizelge 4.6. Malzemelerin Geri Dönüşüm Emisyon Değerleri. 28

Çizelge 4.7. Bazı Soğutucu Akışkanların Üretimin Emisyon Değerleri..... 29

Çizelge 4.8. LCCP Analizi Için Yapılan Bazı Varsayımlar..... 29

Çizelge 5.1. Soğutucu Akışkanların Yaşam Döngüsü Iklim Performans Analizinin Karşılaştırılması (-30°C buharlaşma sıcaklığı için) 35

Çizelge 5.2. Soğutucu Akışkanların Yaşam Döngüsü Iklim Performans Analizinin Karşılaştırılması (-15°C buharlaşma sıcaklığı için) 37

Çizelge 5.3. Soğutucu Akışkanların Yaşam Döngüsü Iklim Performans Analizinin Karşılaştırılması (-5°C buharlaşma sıcaklığı için) 39

Çizelge 5.4. Soğutucu Akışkanların Yaşam Döngüsü Iklim Performans Analizinin Karşılaştırılması (0°C buharlaşma sıcaklığı için) 41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO_2 : karbondioksit

m : kütle

ṁ : alüminyum

T : sıcaklık

ψ : özgül enerji

Ex : ekserji

Q : ısı

0 : ölü hal referans noktası

W : iş

η : verim

s : entropi

h : entalpi

KISALTMALAR

GWP	:Global Warning Potential (Küresel Isınma Potansiyeli)
GWP_{adp}	:Global Warning Potential of Refrigerants Degrading in the Atmosphere (Atmosferde Bozunan Soğutucu Akışkan Küresel Isınma Potansiyeli)
ODP	:Ozane Depletion Potential (Ozan Delme Potansiyeli)
LCCP	:Life Cycle Climate Performance (Yaşam Döngüsü İklim Performansı)
COP	:Coefficient of Performance (Soğutma Performans Katsayısı)
HVAC	:Heating Ventilation Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme)
HC	:Hidrokarbonlar
CFC	:Kloroflorokarbon
HCFC	:Hidrokloroflorokarbon
HFC	:Hidroflorokarbon
HFO	:Hidrofloroolefin
UNEP	:United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
WMO	:World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
UNCED	:United Nations Conference on Environment and Development (Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı)
UNFCCC	:United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
DE	:Direkt Emisyon
EE	:Endirekt Emisyon
C	:Soğutucu Akışkan Şarj Miktarı
L	:Sistemin Çalışma Ömrü
ALR	:Yıllık Soğutucu Akışkan Sızıntı Oranı
EOL	:Cihaz Ömrü Sonunda Soğutucu Akışkan Sızıntı Oranı
AEC	:Yıllık Enerji Tüketimi
EM	:Elektrik Üretimi Emisyon Değeri

MM :Malzeme Üretim Emisyonunu

mr :Geri Dönüştürülen Malzeme Kütlesi

RM :Geri Dönüştürülen Malzeme Emisyonu

RFM :Soğutucu Akışkan Üretim Emisyonu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir maddenin veya ortamın sıcaklığını, onu çevreleyen hacim sıcaklığının altına düşürmek ve bu sıcaklığı orada korumak üzere ısının alınması işlemine soğutma denir[1]. Soğutmanın en basit ve en eski yöntemi soğuk bölgelerde doğal olarak oluşan buzu muhafaza edip, bunları sıcak veya ısısı alınmak istenen yerlere yerleştirerek soğutmanın sağlanmasıdır. Kışın oluşan kar ve buz muhafaza etme ve sıcak mevsimlerde ise bunu soğutma amaçlı kullanmanın geçmişte MÖ. 1000 yıllarından beri uygulandığı bilinmektedir. Bu yöntemin bugün bile ülkemizin bazı bölgelerinde etkili bir serinleme yöntemi olduğu görülmektedir. Diğer taraftan suyun geceleri açık havayı görülebilecek şekilde yerleştirilen seramik sürahilerde soğutularak tüketilmesi eski Mısırlılardan beri kullanılmaktadır. Bu soğutma şekli, gece karanlıkta gökyüzünün sıcaklığının mutlak sıfır (-273 derece) olması ve ısının ışıma (radyasyon) ısı tranferi yoluyla gökyüzüne aktarılmasından yararlanılmaktadır[1].1806 yılında Frederic Tudor, Favorite adlı bir gemiyle Antil adalarına, 130 ton buz sevk ettiğinde, ticari amaçlarla ilk büyük buz bloklarının satışına başlanmıştır. Buz Kralı olarak tanınan Tudor, 1880'lü yıllara kadar doğanın bahşettiği buzu soğutma maksadıyla kullanarak geniş çapta erişilebilir hale gelmiştir.

Buz ve kar ile elde edilen soğutma biçimlerinin zamanlama ve yer açısından pratik, ucuz bir soğutma sağlamadığı açıktır. Buz ile kısa süreli soğutma sağlaması ve bulunabilirliğinin zor olması sebebiyle mekanik araç-gereç ve teknikler üzerinden araştırmalar yapılmıştır. Soğutma tekniği biliminde buzla soğutma yerine mekanik araç ve cihazlar ile soğutma sağlanması tercih edilir. 1790 yılında mekanik soğutmaya ait ilk patent İngiliz Thomas Harris ile John Long'a aittir. 1834 yılında Amerikalı Jacob Perkins, eter kullanarak bir pistonlu soğutucunun patentini almıştır. Doktar olan John Gorrie, ilk ticari soğutma makinası yaparak "Klima-Soğutma-Ticari buz imali" konularının babası olarak anılmaktadır.

1860 yılında ilk defa Avustralyalı bilim adamı Dr. James Harrison tasarladığı sistemde üretim esnasında birayı soğutmak için mekanik soğutmayı kullanmaya başlamıştır. Soğutucu akışkan olarak dietil eter sülfat başarıyla kullanmıştır. Dr. Alexander Kirk 1861 yılında, kömür ısısıyla çalışmakta olan ilk absorpsiyonlu soğutma tesisini inşa etmiştir. Mekanik soğutma ile birlikte buz üretimi ticari olarak 1890 yıllara uzanmıştır. 1904 yılında New York Ticaret Borsası'nda 450 ton/frigo'luk bir soğutma makinası piyasaya sürülerek iklimlendirme alanında ilk büyük ölçekli uygulama gerçekleştirilmiştir ve konutlarda kullanılmak maksadıyla buzdolabı yapılmıştır. 1918'de Kelvinator Company otomatik çalışan buzdolapları üretmeye başlamıştır. 1927'de Amerika Birleşik Devletleri de absorpsiyon prensibini kullanan otomatik bir buzdolabını piyasaya sürmüştür[1].

İnsanlar günlük hayatta ihtiyaçlarını karşılamak ve konfor sağlamak için sıklıkla ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma (HVAC-R) sistemlerini kullanmaktadır. HVAC-R sistemlerini kullanırken enerji tüketimi önemlidir. Ülkeden ülkeye değişmekle beraber HVAC-R sistemlerinin enerji tüketimleri binalarda tüketilen toplam enerjinin %16 ile %50'sini oluşturmaktadır[2] ve toplam sera gazı emisyonlarının %33'ne karşılık gelmektedir[3].

Teknoloji gelişmesiyle artık günümüzde birçok farklı türde soğutma sistemi üretilmektedir. Iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin kullanımının son zamanlarda artması nedeniyle soğutucu akışkan tüketimi buna bağlı olarak artış göstermeketdir. Alternatif soğutucu akışkanların ön plana çıkmasında küresel ısınma ve sera etkisi gibi nedenler etkili olmuştur. Soğutucu akışkanlarda aranan özellikler temel olarak düşük küresel ısınma potansiyeli ve düşük ozon tabakasını inceltme potansiyelidir[4].
Buhar sıkıştırma sistemlerinden kaynaklanan doğrudan emisyonlar (soğutucu akışkan sızıntılarından kaynaklanan emisyonlar), bu sistemlerden kaynaklanan toplam CO_2 emisyonlarının %20'sini oluşturur. Buhar sıkıştırma sistemlerinden kaynaklanan emisyonların %80'i dolaylı emisyonlardan (elektrik tüketimi, sistem ekipmanı üretimi, soğutucu akışkan üretimi, geri dönüşüm vb.) kaynaklanmaktadır. Dolaylı emisyonlar, yüksek ortam sıcaklıklarına sahip ülkelerde büyük bir sorundur. Bunun nedeni, yüksek ortam sıcaklıklarının sistemlerin verimini düşürmektedir. Yüksek ortam sıcaklıklarına sahip ülkeler, buhar sıkıştırma sistemlerinin düşük verim ile çalışması sebebiyle daha

fazla enerji tüketimine neden olacaktır. Bu sebeple elektriğini fosil yakıtlardan elde eden ülkelere kıyasla sera gazı emisyonları açısından daha yüksek olacaktır[5].
Enerji tüketiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için konvansiyonel enerji kaynakları yerine çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve verimliliği yüksek teknolojilerin kullanılması çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadelenin hedeflerindendir. Ancak bu önlemler tek başına yeterli değildir. Bu kapsamda, buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışan iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin enerji tüketimi ve kullanılan akışkanların çevresel etkileri önemli bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Geleneksel soğutucu akışkanlar olan kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve hidroflorokarbonlar (HFC'ler) ozon delme potansiyeli, sera gazlarına katkıda bulunmaları ve küresel ısınma potansiyelleriyle çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Soğutucu akışkanların olumsuz çevresel etkilerini azaltmak için Montreal Protokolü, Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması vb. kanunlar çıkarılmış ve çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır. Dolayısıyla, buhar sıkıştırmalı sistemler için alternatif veya yeni nesil soğutucu akışkanların kullanılması önemli bir konu haline gelmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde birçok farklı türde soğutma sistemi üretilmektedir. Bu sistemler çevre dostu olan yeni nesil soğutucu akışkanlarla daha verimli iklimlendirme ve soğutma çözümleri geliştirmek amacıyla ortaya çıkmaktadır. Hidrofloroolefin (HFO'lar) ve hidrokarbonlar (HC'ler) gibi yeni nesil akışkanlar çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltarak daha sürdürülebilir ve çevre dostu soğutma teknolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Yeni nesil soğutucu akışkanlarda aranan temel özellikler düşük ozon tabakası delme potansiyel (ODP), düşük küresel ısınma potansiyeli (GWP), yüksek verimlilik ve güvenlik kullanım sağlanmasıdır. Dolayısıyla, buhar sıkıştırmalı sistemler için alternatif veya yeni nesil soğutucu akışkanların kullanılması önemli bir konu haline gelmiştir.

Bu doğrultuda yapılan çalışmada yüksek GWP oranına sahip hidroflorokarbon (HFC) tabanlı R404A, R410A akışkanları ile düşük GWP oranına sahip yeni nesil soğutucu akışkan olan HFO tabanlı R1234yf akışkanı, aynı çalışma koşulları altında buhar sıkıştırmalı bir soğutma çevrimi seçilerek teorik olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak her bir soğutucu akışkan için birinci yasa (enerji) analizi, ikinci yasa (ekserji) analizi ve yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) analizi yapılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Geçmişte ve günümüzde kullanılan soğutucu akışkanların genel bir özeti Calm tarafından yapılan çalışmada sunulmuştur. Bu çalışmada soğutucu akışkanları belirli seçim kriterlerine göre dört nesile ayırmıştır ve eskiden kullanılan doğal soğutucu akışkan olarak adlandırılan soğutucu akışkanlara ilginin yeniden canlandığından bahsetmiştir. Ozon tabakasının incelmesiyle birlikte küresel iklim değişikliğini ve diğer çevresel konuları önlemeye yönelik Montreal ve Kyoto Protokollerini dahil olmak üzere uluslararası anlaşmalar ve yerel yönetimlerin önlemlerini incelemektedir. Bireysel olarak çevre sorunlarına ve düzenleyici gerekliliklere dikkat edilmesi gerektiğini ve çünkü bu durumun gelecekte tersine istenmeyen çevresel zararlara yol açabileceğinden söz etmektedir. Yeni nesil soğutucu akışkanları önemli ölçüde etkileyen politika ve düzenleme değişikliklerinden de bahsetmektedir[6].

Bilen ve Demir tarafından yapılan teorik çalışmada, konut ısıtmasında kullanılan 3 farklı ısı pompalarının enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Çalışmada soğutucu akışkan R1234yf, R134a, R410A, R407A, R600A'yı seçmişlerdir. Bu çalışmada su, hava, toprak kaynaklı ısı pompaları kullanışmıştır ve her ısı pompası için aynı sıcaklık seçilmiştir. Isıtma tesir katsayısı ve ekserji verimi hesaplanarak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonunda kullanılan soğutucu akışkanlar, toprak kaynaklı ısı pompasında COP değerleri hava ve su kaynaklı ısı pompalarına kıyasladaha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Hava kaynaklı ısı pompası, su ve toprak kaynaklı olan ısı pompalarına göre daha iyi ekseji verimine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kullanılan toprak, hava, su kaynaklı ısı pompalarında, R600A soğutucu akışkanının bu çalışmada kullanılan diğer R134a, R407A, R410A, R1234yf soğutucu akışkanlara göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır[7].

Berk tarafından yapılan çalışmada, R22 soğutucu akışkan ile çalışan 2,05 kW soğutma kapasiteli bir klima ile R422A ve R424A soğutucu akışkanlarını kullanmıştır. Deneysel olarak, enerji parametrelerinden soğutma kapasitesi ve performans katsayısını incelenmiştir. Deneyler dış ortam sıcaklığını sabit tutan yatılım kanal, yalıtımlı oda, konderser ve iç mekan split klima ünitesi kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda R22 yerine kullanılan R422A ve R424A gazlarının COP değerlerinin R22 kullanılan sisteme göre azaltıldığı bulmuştur. R22 ve diğer farklı soğutucu akışkanlar sunulan çeşitli iklim koşullarını bu çalışmada simüle eden sıcaklıkların, iklimlendirme için faydalı olabileceğini, bu yüzden de sıcak iklim bölgelerinde R22 yerine R422A veya R424A kullanılması önermiştir[8].

Ender tarafından yapılan çalışmada, R404A, R442A ve R453A soğutucu akışkanlarını buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde kullanarak izentropik verim, hacimsel verim, sıkıştırma miktarı, sistemin soğutma kapasitesi, kompresörün tükettiği enerji, performans katsayısı, kütlesel debi ve kuruluk derecesi, iç ısı değiştirici kullanılıp kullanılmaması durumlarınıdeneyler yaparak incelemiştir. Üç farklı buharlaşma ile üç farklı yoğuşma sıcaklığında iç ısı değiştiricisinin etkisini de araştırmıştır. Deneyde kullanılan soğutucu akışkanların karşılaştırmaları yapılarak R442A ve R453A'nın soğutma kapasitelerinin R404A'ya göre yüksek olduğunu hesaplamıştır. İç ısı değiştirici kullanıldığında soğutma kapasitelerinin arttığını ve COP değerlerinde de artış olduğunu gözlemlemiştir. R404A soğutucu akışkanı yerine R442A ve R453A soğutucu akışkanlarının yakın zamanda kullanılabilecek uygun soğutucu akışkanlar olduğundan bahsetmiştir[9].

Kılıç ve Arabacı tarafından yapılan çalışmada, buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak LPG (R1270 propilen) kullanımının enerji analizi yapmıştır. Coolpack programı ile hesaplama yaparak, farklı çalışma koşullarında LPG'nin (R1270-Propilen) sistemin performansına olan etkileri incelemiştir. Buharlaşma sıcaklığında artış olduğunda COP değerinin arttığı, yoğuşturucu sıcaklığı arttığında COP değerinin azaldığını tespit ederek, en yüksek COP değerine ise 25°C kondenser ve -1°C evaporatör sıcaklığı olan çalışma koşullarında elde etmişlerdir[10].

Yıldız ve Yıldırım tarafından yapılan çalışmada teorik olarak R134A ve R513A soğutucu akışkanlarının performansını incelemiştir. Kullanılan akışkanların çevreye olan etki değerlendirmelerini yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) analiziyle hesaplamıştır. Farklı evaporatör ve farklı kondenser sıcaklıklara göre için soğutucu akışkanların enerji performanslarını değerlendirmiştir. R134A ve R513A soğutucu akışkanlarının soğutma sistemine ait performans değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğunu ve R513A'nın, R134A'ya göre daha düşük doğrudan emisyon (DE) değerine sahip olduğu gözlemlemiştir. R513A'nın yanıcılık özelliğini olmadığından sistemde herhangi bir değişiklik yapmadan R134A ile çalışan kullanılabileceğini ve bu sonuçlar ile R513A'nın R134A'ya alternatif olarak kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir[11].

Choi ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, ev tipi buzdolaplarının çevresel etkilerini değerlendirmek için yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) açısından yeni bir yöntem geliştirmiştir. Buzdolabının enerji tüketim modeli, üç tip tipik tek evaporatörlü buzdolabı ile sağlamıştır. Çift evaporatörlü buzdolaplarının enerji tüketimi hesaplamak için seri, bypass ve paralel devreli buzdolaplarının deneysel verilerini kullanmıştır. LCCP açısından sistem performansının ve ekipman üretim emisyonlarının, ömür boyu CO_2 emisyonları üzerinde etkili bir faktör olduğunu belirtmiştir. Soğutma çevriminde tek evaportör yerine, çift evaporatör bir çevrim kullandığında CO_2 emisyonunda yaklaşık %14 oranında, kondenser malzemelerinde çelik yerine alüminyum kullanıldığında CO_2 emisyonu yaklaşık %2,5 oranında, yalıtım için buzdolabının her iki yanına vakumlu yalıtım panelleri uygulandığında CO_2 emisyonunda yaklaşık %7 oranında, enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynak kullandığında CO_2 emisyonlarında yaklaşık %20 oranında emisyonların azalabileceğinden bahsetmiştir[12].

Lee ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, R134a,R1234yf, R1234ze ve R152a ile geleneksel ve alternatif soğutucu akışkanlar kullanılan (GSHP) toprak kaynaklı ısı pompası ve (SGSHP) güneş enerji ile desteklenmiş toprak kaynaklı ısı pompası için yaşam döngüsü iklim performansı ve ısıtma performansı karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı ülkelerden altı şehir (Berlin, Wien, Stockholm, Bern, Helsinki, Bergen) belirleyerek şeçilen soğutucu akışkanların ısıtma performansını araştırmak için deneyler yapmış, R134a yerine R1234yf, R1234ze ve R152a'nın yüksek COP

değerine sahip olduğu için R134a yerine kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Elektrik enerjisi için emisyon dönüştürme faktörü düşük olan altı şehirden Berlin hariç diğer beş ülkede GSHP ısı pompasında düşük GWP ve yüksek performansı gösteren R1234yf soğutucu akışkanından düşük LCCP sonuçları elde etmiştir. Elektrik enerjisi için emisyon dönüştürme faktörü yüksek olan şehir olan Berlin'de R134a soğutucu akışkanını ve SGSHP kullanmış, ısıtma pompasının verimin daha öncelikle olduğundan bahsetmiştir. Petrol veya doğalgazın yoğun olarak kullanıldığı bölgelerde elektrik SGSHP sistemleri düşük birincil enerji tüketim miktarı için sistemin boyutunun artması gerektiğini veya elektrik enerjisinin birinci dönüşüm faktörünün azaltılması gerektiğini vurgulamıştır[13].

Wan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, 10,5 kW'lık klima kullanarak çeşitli etki parametreleri ile birlikte 11 farklı şehir ve 5 farklı soğutucu akışkan belirlemiştir. LCCP değerlendirmesini yaparak sonuçları karşılaştırmıştır. R-410A yerine kullanabilecek R-290, R-32, R-452B, R-466A gibi farklı düşük GWP'li soğutucu akışkanları kullanarak saha testi verileri ve hava durumu istasyonu verileriyle elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonucu olarak yaptığı çıkarımda, yıllık enerji tüketimi yüksek emisyona faktörüne sahip ülkeler için önemli bir faktör olduğunu, bazı düşük emisyon faktörüne sahip ülkelerde R-290, R-32, R-452B ve R-466A, R-410A için mükemmel alternatif soğutucu akışkanlar olduğunu belirtmiştir. R-32, R-452B ve R-466A'nın LCCP sonuçlarının birbirine yakın olduğunu, R-410A'nın LCCP değerinin en yüksek, R-290'ın LCCP değerinin en düşük olduğunu ve R-410A'yı R-290 ile değiştirerek LCCP değerinin % 60'a kadar azaltılabileceğinden bahsetmiştir[14].

Choi ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, Güney Kore'nin 5 farklı şehrinde soğutma ve ısıtma sistemlerini için yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) değerlendirmişlerdir. Güney Kore'de soğutma için ısı pompası, ısıtma için bir gaz kazanı kullanıldığını, alan ısıtması için ısı pompası kullanıldığında CO_2 emisyonlarını %11-17 oranında azaltabileceğini, küresel ısınma potansiyeli düşük olan soğutucu akışkanlar kullanarak, çevrim seçenekleri ve hava koşulları ile birlikte değerlendirilmiştir. Düşük GWP'li soğutucu akışkanların R410A'ya kıyasla şarj miktarını azaltarak doğrudan emisyonları azaltacağını, R290 kullanılması durumunda

ise toplam CO_2 emisyonlar %19–22 oranında azalacağından bahsetmişlerdir. R410A soğutucu akışkanı kullanılan buhar çevrimine çürük buhar tankı eklendiğinde enerji verimliliğini artıracağını ve CO_2 emisyonlarının %7–10 oranında azalacağını, R32 veya R290 soğutucu akışkanı ile çalışan döngüsüne uyguladığında toplam emisyonların %27–35 oranında azalacağını vurgulamışlardır[15].

Menlik ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, R-22 yerine R-407C ve R-410A soğutucu akışkanları kullanılarak, buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde enerji ve performanslarını karşılaştırmışlardır. R-407C soğutucu akışkanın yerine R-410A soğutucu akışkanı kullanıldığında daha iyi performansa sahip olduğunun sonucuna ulaşmışlardır[16].

Ergün ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, soğutma sistemlerinde kullanılan R-22 soğutucu akışkanına alternatif R-417A ve R-438A soğutucu akışkanlarını termodinamik açıdan inceleyerek, bu soğutucu akışkanların performanslarını karşılaştırmışlardır. Farklı buharlaşma sıcaklıkları için, sistemdeki soğutucu akışkan performansını katsayısını hesaplamak için termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını kullanmış, sonuç olarak ise R-22'ye alternatif olan R-417A ve R-438A akışkanlarından, R-438A soğutucu akışkanının daha yüksek performans katsayıları değerlerine sahip olduğu hesaplamışlardır. Sonuç olarak değerlendirilen üç soğutucu akışkandan R22 soğutucu akışkanın en iyi alternatifi R438A soğutucu akışkanı olduğu tespit edilmiştir[17].

Özgür tarafından yapılan çalışmada, HFC-134a soğutucu akışkanına alternatif olan HFO-1234yf ve HFO-1234ze soğutucu akışkanlarının soğutma çevriminde ekserji verimi ve etkinliğini incelemiştir. HFC-134a, HFO-1234yf ve HFO-1234ze soğutucu akışkanlarını aynı çevrimde, aynı çalışma aralığında kullanarak soğutma çevriminin etkinliğine ve ekserji verimine olan etkilerini karşılaştırmalı olarak sunmuştur. HFC-134a ve HFO-1234ze soğutucu akışkanları ile elde edilen sonuçlarda çevrim etkinliği ve ekserji verimi değerlerini aynı olduğu ve HFO-1234yf soğutucu akışkanın kullanıldığında diğer iki soğutucu akışkana kıyasla daha yüksek olduğundan bahsetmiştir[18].

Bobbo ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, R410A kullanılan toprak kaynaklı ısı pompalarında, R410A, R32 ve R454B soğutucu akışkanlarını kullanarak termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarının yanı sıra çeşitli bileşenlerde enerjik kayıpları, kompresör deşarj sıcaklığı ve hacimsel ısıtma efekti dikkate alınarak kapsamlı bir analiz yapmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılan konut uygulamalarında ısıtma, soğutma ve evsel su üretimi için enerji tüketiminde ve ilgili emisyonlarda önemli bir azalma (örneğin, hava kaynaklı ısı pompalarına kıyasla %44'e kadar) sağladığını, soğutucu akışkan olarak R410A'nın GWP değerinin 2087 olduğunu, bu uygulamaların artması için düşük GWP'li soğutucu akışkanlar kullanılması gerektiğinden bahsetmiştir. Döngüye LLSL-HX (Sıvı hattı/emiş hattı ısı eşanjörü) ekleyerek temel konfigürasyon ile döngünün rejeneratif konfigürasyonu arasında bir karşılaştırma da yapmıştır. R454B, R410 ve R32'den önemli ölçüde daha yüksek COP ve enerjik verimlilik değerleri elde etmiştir. Değerledirme sonucunda R454B belirli koşullarda çalışan bir toprak kaynaklı ısı pompasında kullanmak için en uygun akışkan olduğu ortaya çıkarmıştır[19].

Leck tarafından yapılan bu çalışmada, bazı soğutucu akışkan adaylarının konut ve hafif ticari araç kullanımlarındaki klima için tasarlandığını, diğer soğutucu akışkanlar ise orta sıcaklıktaki soğutma uygulamalarında kullanılmak üzere daha özel olarak tasarlandığından bahsetmiştir. Bu çalışmada kullanılan soğutucu akışkanların R22, R407C, R32, HFO-1234yf, DR-11, DR-4, DR-3, DR-5, DR-9 olduğunu ve bu soğutucu akışkanların R-134a, R-410A ve R-404A ile enerji ve LCCP değerlendirilmesi yapılmıştır. R22, R407C, R32, HFO-1234yf, DR-11, DR-4, DR-3, DR-5, DR-9 soğutucu akışkanlar düşük GWP değerlerine sahiptir. Bu akışkanlar birlikte R-134a, R-410A ve R-404A LCCP değerlendirmesini yaparak GWP miktarı 500'den biraz daha az olan DR-5, en iyi genel enerji ve LCCP performansını verdiğini belirtmiştir[20].

Bu tez çalışmasında literatür taramasından farklı olarak iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde sıkça kullanılan hidroflorokarbon (HFC) tabanlı GWP≥3000'den yüksek R404A soğutucu akışkanı, GWP≥1500'den yüksek R410A soğutucu akışkanı ile GWP≤100'den az, HFO tabanlı yeni nesil soğutucu akışkan olan R1234yf soğutucu akışkanın soğutma sistemlerine yönelik detaylı performans ve LCCP analizleri yapılmıştır.

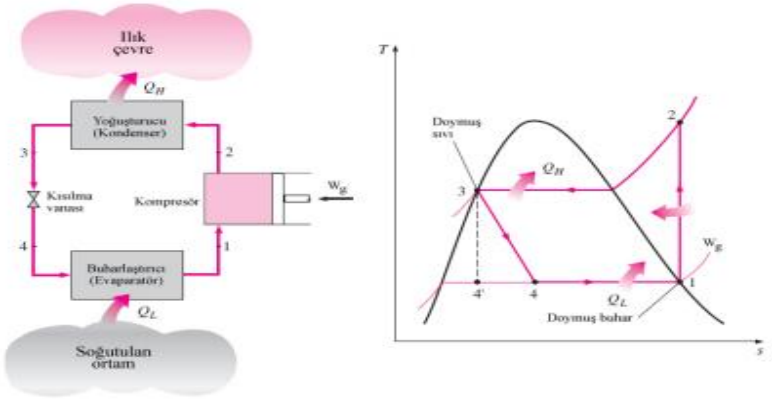
BÖLÜM 3
SOĞUTMA ÇEVRİMİ

Isı her zaman sıcaklığın azaldığı yönüne doğru olduğu gerçekleşir. Yani ısı transferinde ısı, yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru gerçekleştiği bilinen bir gerçektir. Kendiliğinden meydana gelen doğal bir olgudur ve tersi kendiliğinden gerçekleşemez. Soğutma makinalarının kullanılmasıyla düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı aktarılarak ısı transferi mümkün olmaktadır. Soğutma makinaları ısı makinaları benzer bir çevrimi esası ile çalışmaktadır. Yaygın olarak buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi kullanılmaktadır. Soğutma çevrimi temelinde kompresör, kondenser, kısılma vanası ve evaporatör dört eleman ile gerçekleşir[21].

3.1. İDEAL BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVRİMİ

Soğutma makinaları ters carnot çevrimine bağlı olarak soğutma verimliliğinin maksimize edilebildiği şekilde çalışırlar.

Şekil 3.1'de Ters Carnot soğutma makinasının çevrimine bağlı olarak çalışan İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ve T-s diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1. İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin tesisat şeması ve T-s diyagramı [22]

1-2 noktası arasında kompresörde izantropik sıkıştırma
2-3 noktası arasında kondenserde çevreye sabit basınçta ısı verilmesi
3-4 noktası arasında genleşme cihazında kısılma
4-1 noktası arasında evaporatörde sabit basınçta ısı alınması

İdeal buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde soğutucu akışkan 1 (bir) noktasından kompresöre doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak yoğuşma basıncına kadar sıkıştırılır. Bu izantropik sıkıştırmada, soğutucu akışkanın sıcaklığı ortamın sıcaklığı üstüne çıkarak, soğutucu akışkan kondensere 2 (iki) noktasından kızgın buhar olarak girerek 3 (üç) noktasından çevreye ısı vererek doymuş sıvı olarak çıkar. Bu noktada soğutucu akışkan sıcaklığı halen ortam sıcaklığından yüksektir. 3 (üç) noktasındaki soğutucu akışkan, doymuş bir sıvı olarak bir genleşme valfi veya kılcal boru yoluyla evaporatör basıncına kadar kısılır. Soğutucu akışkanın sıcaklığı bu işlem sırasında, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. 4 (dört) noktasından evaporatöre düşük kurulukta doymuş bir sıvı olarak girer. Soğutulan ortamdan ısı alarak tamamen buharlaşır. Evaporatörden doymuş buhar çıkan soğutucu akışkan kompresöre geri dönerek çevrim tamamlanır[22].

3.1.1. İdeal Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sistemi Temel Elemanları

Buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri dört temel elemandan oluşur. Sıkıştırma işi kompresör tarafından, akışkanın ısısının çevreye atıldığı kısım yoğuşturucu (kondenser) tarafından, kısılmanın gerçekleştiği kısım genleşme valfi tarafından ve ortamın ısını çekerek soğumanın sağlandığındığı kısım buharlaştırıcı (evaporator) tarafından gerçekleşmektedir.

Kompresör

Soğutma sisteminde yer alan en önemli elemandır. Kompresörler, soğutma sisteminde kullanılan soğutucu akışkanın cinsine göre farklı konstrüksiyonlarda yapılmaktadır. Kompresörün temel amacı, evaporatörden çıkan soğutucu akışkanı düşük basınçlı buhar olarak emerek yüksek basınçlı kondensere iletmektir. Soğutma performans katsayısı üzerinde kompresörün mekanik verimi ve hacimsel verimi büyük etkiye sahip olduğundan, kompresörler sisteminin cinsine ve boyutuna bağlı olarak vidalı, pistonlu, döner, hermetik gibi farklı tiplerde geliştirilmiştir.

Kondenser (Yoğuşturucu)

Soğutma sisteminde kondenser görev olarak, kompresör tarafından sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa getirilen gazı soğutup yoğuşturmaktır. Soğutma sistemindeki temel prensibe göre, evaporator tarafından çekilen ısı ve kompresör tarafından soğutucu akışkana verilen toplam ısı kondenserin bulunduğu ortama aktarılır. Bütün kondenserler aynı göreve sahiptir, ancak farklı türleri vardır. Üç ana grupta toplanabilirler. Su soğutmalı kondenser, evaporatif kondenser ve hava soğutmalı kondenserlerdir.

Kısılma Vanası

Yüksek basınçlı kondenserden çıkan soğutucu akışkanın basıncını evaporatör basıncına düşüren kısma elemanıdır. Kısılma vanası boyunca basınç düşüşü sırasında entalpinin ideal koşullar altında sabit olduğu varsayılır. Soğutma kapasitesi düşük olan soğutma sistemlerinde kılcal borular kısma işlemini gerçekleştirir, ancak içten veya dıştan dengeli termal genleşme cihazları ve elektronik genleşme cihazları gibi cihazlarda daha büyük sistemlerde kullanılır.

Evaporatör (Buharlaştırıcı)

Kısılma vanasında sıkıştırılmış olan soğutucu akışkanı buharlaştırarak ortam sıcaklığını düşüren ısı değiştirici elemandır. Soğutucu akışkanın özelliklerine bağlı olarak farklı malzemelerden yapılmıştır. Genel olarak bakır ve çelik borular kullanılmaktadır. Hava, su veya hava-su karışımlarının soğutulmasıyla ilgili olarak evaporatörlerin farklı tipleri geliştirilmiştir. Ayrıca manometre, presostat, termostat, yağ ayırıcı, sıvı tankı, susturucu, kurutucu filtre, çek valf, otomatik kontrol sistemleri ve elektrik panoları gibi soğutma sisteminin yardımcı parçaları da bulunmaktadır[23].

3.2. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN SINIFLANDIRILMASI

Buhar sıkıştırma soğutma çevrimi esasına göre çalışan sistemlerde, ısının taşınmasını gerçekleştiren ara maddelere soğutucu akışkan olarak tanımlanmaktadır[1].
Soğutucu akışkanlar, bir takım fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı soğutma işlevi görürler. Soğutucu akışkanın sahip olması gereken özellikler, uygulama ve

çalışma koşullarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Soğutucu akışkanın çalışma koşullarına bağlı olarak bazı özellikler daha önemli olurken, bazı özellikler göz ardı edilebilmektedir Soğutucu akışkanlar istenen tüm özellikleri aynı anda yerine getirememektedir. Soğutucu akışkanlardan genel olarak aşağıda verilen bazı özellikleri sahip olması gerekmektedir

1. Buharlaşmaya aktif ve yoğuşma basıncı düşük olmalıdır.
2. Buharlaşma gizli ısısı yüksek olmalıdır.
3. Kimyasal olarak aktif olmalı, tesisat montaj malzemesini etkilememeli, aşınmamalı ve yağlama yağının özelliklerini değiştirmemelidir.
4. Patlayıcı, yanıcı ve zehirli gibi özelliklere sahip olmamalıdır.
5. Sızıntı, koku ve renk gibi fiziksel özelliklerle kolay tespit edilebilmelidir.
6. Düşük maliyette olmalıdır.
7. Isı iletkenliğine yüksek olmalıdır.
8. Dielektrik olmalıdır.
9. Donma noktasına düşük ve yüksek kritik sıcaklığa sahip olmalıdır.
10. Küçük özgül hacime sahip olmalıdır.
11. Düşük viskoziteye sahip olmalıdır.

Soğutucu akışkanın suda ve yağda erime gibi özellikleri göz ardı edilmemelidir. Soğutucu akışkanın suda erimesi kolay ise karışımın donma noktası düşeceği için donma riski azalır. Aksi halde çevredeki havanın basınçlı kısımlarına giren havadaki su buharı, sıcaklık düşüşü ile genleşme valfi kelebeği kapandığında kolayca yoğuşarak katılaşacak ve çalışma sırasında tıkanmaya ve arızaya neden olacaktır Yağlama yağının çözünmesi nedeniyle, yağlama yağı segman deliklerinden sızabilir ve soğutucu akışkan ile karışabilir. Sıvı buharı yağda erimezse, gelen yağ kondenser hatta evaporatör yüzeyinde birikir ve orada bir yağ filmi oluşturarak ısı transferini bozar ve kompresördeki yağ miktarını azaltır. Bu tür sıvılar için kompresör çıkışında yağ ayırıcı kullanılmaktadır[24].

3.2.1 Hidrokarbonlar ve inorganikler

Bu soğutucu akışkan gurubunda amonyak (R717), karbondioksit (R744), su ve hidrokarbonlar (HC) bulunur. Bu soğutucu akışkanlar genellikle sıfır ODP, düşük GWP ve düşük toksik özelliklerine sahip olduklarından doğal soğutucu akışkanlar

olarak bilinir. HC grubunda yer alan propan (R290), bütan (R600), izobütan (R600a), propilen (R1270) vb. gibi soğutucu akışkanların en önemli dezavantajı yüksek yanıcılığa sahiptir olmasıdır[9,25].

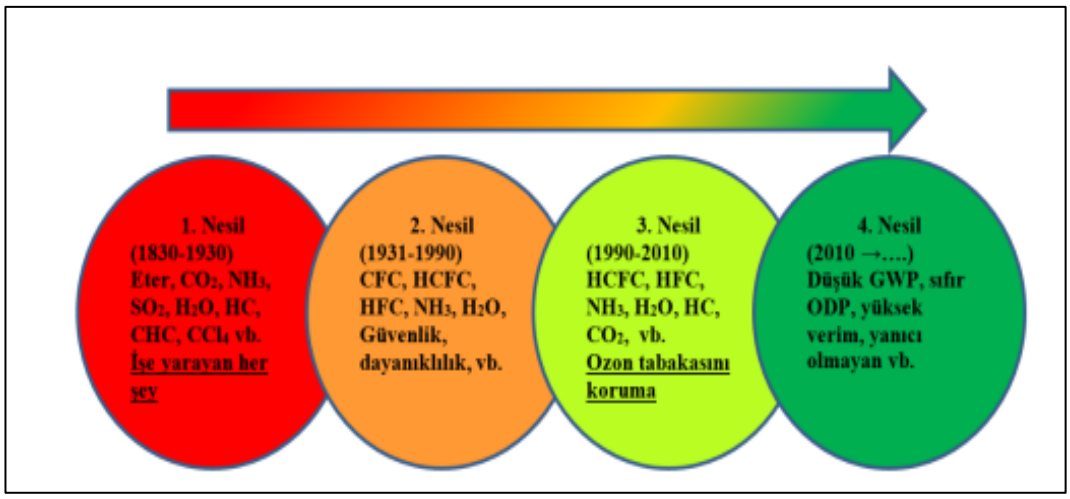
3.2.2 Halokarbonlar

Bu soğutucu akışkan grubunda kloroflorokarbonlar (CFC), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC), hidroflorokarbonlar (HFC) vb. soğutucu akışkanlar yer alır. En yaygın olarak R11, R12, R22 ve R134a bilinmektedir[25].

3.2.3 Hidrofloroolefinler

Hidrofloroolefinler (HFO'lar) karbon, hidrojen ve flor içerir. Doymamış organik moleküller olan hidrofloroolefinler (HFO'lar), dördüncü nesilde yer alan flor bazlı gazlardır. Avrupa Birliği'nin araç klima sistemlerinde R134a soğutucu akışkan kullanımını yasaklaması ile birlikte, R134a'nın yerini alacak soğutucu akışkan olan R1234yf soğutucu akışkanı geliştirilmiştir. R1234yf'de R134a gibi aynı termodinamik özelliklere sahiptir. Ayrıca R134a soğutucu akışkanına alternatif olarak geliştirilmiş bir diğer soğutucu akışkan ise R1234ze'dir[25,26].

1830 yılından bu yana değişen şartlar, çevresel etkiler ve yasal yükümlülükler gibi faktörler nedeniyle, istenilen özelliklere bağlı olarak birçok soğutucu akışkan geliştirilmiş ve sistemlerde kullanılmıştır[6].



Şekil 3.2. Soğutucu akışkanların tarihsel süreçteki gelişimi [6]

Birinci nesil soğutucu akışkanlar incelendiğinde, işe yarayan mevcut herşey soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır. İkinci nesil soğutucu akışkanlarda güvenlik ve dayanıklılık gibi özellikler öne çıkmıştır. Üçüncü nesil soğutucu akışkanlarda ise ozon tabakasının korunması öne plana çıkmış ve ozon tabakasına zarar vermeyen soğutucu akışkanlar kullanılmaya başlanmıştır. Küresel ısınmayla ilgili artan endişeler nedeniyle, şu anda kullanımda olan 4. nesil soğutucu akışkanların ODP 0, düşük GWP, yüksek verimlilik ve atmosfere kısa sürede kaybolması gibi koşullar gerekli hale gelmiştir[6].

3.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

3.3.1. R404A

R22 soğutucu akışkanın yerini alması için R404A soğutucu akışkanı geliştirilmiştir. Düşük sıcaklıktaki ticari soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. R125, R134a ve R143a'nın belirli oranda karıştırılmasıyla oluşan zeotropik bir karışımdır [9]. R404A soğutucu akışkanın ozon delme potansiyeli sıfır olmasına rağmen yüksek GWP oranına sahip olduğu için artık üretimi yapılmamaktadır. Yönetmeliklerin getirmiş zorunluluktan dolayı 2030 yılına kadar kullanılabilecektir.

3.3.2. R410A

R410A,R22'nin alternatif olarak kabul edilen R32 ve R125 soğutucu akışkanların ağırlıkça %50 / 50 oranında karıştırlmasıyla oluşan azeotropik bir karışımdır[6]. İklimlendirme amaçlı tüm cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek GWP oranına sahip olan R410A,2030 yılına kadar HFC'lerin %70-80 oranında azaltılması gerektiğinden dolayı kullanımı sınırlandırılarak, kademeli olarak azaltılacaktır.

3.3.3. R1234yf

R1234yf soğutucu akışkanı mobil iklimlendirme uygulamalarında kullanılmak üzere R134a'ya alternatif olarak geliştirilmiştir. Mükemmel çevresel özelliklere sahip olan soğutucu akışkanın ozon delme potansiyeli 0 (sıfır) ve küresel ısınma potansiyeli 4 (dört) olup, diğer akışkanlara göre oldukça düşüktür[6].

Çizelge 3.1. HFC ve HFO olarak Sınıflandırılan Soğutucu Akışkanların Fiziksel ve Termodinamik Özellikleri[6]

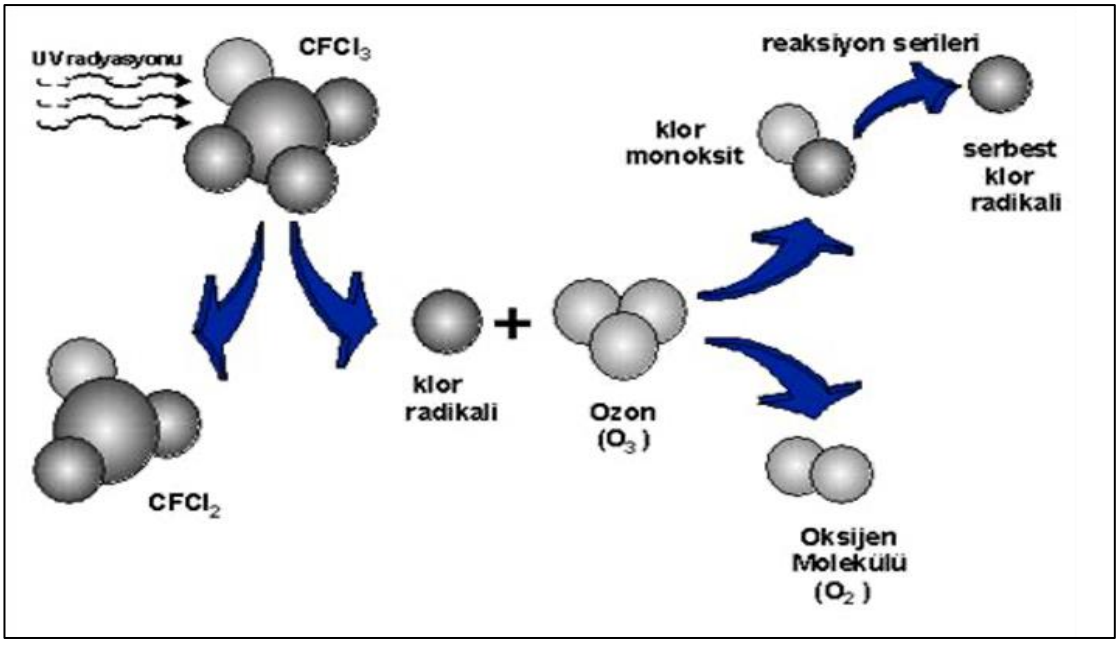
	R404A	***R410A***	***R1234yf***
Kimyasal Bileşimi	CF3CHF3, CF3CH3, CFcCH2F (52% R-143a / 44% R-125 / 4% R-134a)	CH2F2, CF3CHF2 (50% R-125 / 50% R-32)	CF3CF=CH2
Molekül Ağırlığı (g/mol)	97,6	72,4	114,04
Kritik Sıcaklık (°C)	72,05	71,36	95
Kritik Basınç (MPa)	37,29	49,02	3,382
Normal Kaynama Sıcaklığı (°C)	-51,2	-60,6	-29
Emniyet Sınıfl	A1	A1	A2L
ODP	0	0	0
GWP	3922	2088	4

3.4. SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Soğutma işlemlerinde soğutucu akışkanların tekrar kullanılamaması ve zaman içerisinde çevreye salınması çevre kirliliğini ve atmosferdeki sera etkisinin artarak, canlıları zararlı güneş ışınlarından koruyan ozon tabakasının aşınmasına neden olur. Bazı soğutucu gazların yapısında bulunan brom ve klor atomları salınması zayıf ozon molekülleri parçalayarak yok eder. Küresel ısınma ve ozon tabakasının incelmesi gibi çevre sorunları sebebiyle alternatif soğutucu akışkanlar kullanılmaktadır. Alternatif soğutucu akışkanlariçin gerekli olan çevresel özellikler, öncelikle düşük küresel ısınma potansiyeli olması ve ozon tabakasını delme potansiyelinin sıfır olmamasıdır[23].

1974'te Molina ve Rowland, CFC grubundanki soğutucu akışkanların yüksek frekansa sahip mor ötesi ışık etkisiyle reaksiyona girerek ayrıştığını, bunun da 60 yıl içinde ozon tabakasında %7'lik bir aşınmaya neden olduğunu bildirdi. Bu araştırma sonucunda CFC'lerin aerosol spreylerde kullanımı 1978 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yasaklanmıştır. Diğer ülkeler zaman içinde yasağa uymuşlardır ancak CFC'lerin endüstride soğutucu akışkan olarak kullanımının kısıtlanmasına karşı çıkmışlardır. Furman, Gardinan ve Shanklin tarafından 1985 yılında İngiliz Antarktika Araştırma Grubu'nun bir paneli için düzenlenen bir araştırma, dünyayı güneşin zararlı UV ışınlarından koruyan ozon tabakasının bu CFC'lerden ve Antarktika ozon

seviyelerinden sorumlu olduğunu bulmuş ve ocak ayında normal seviyelerin %10'un altına düşmüştür. Böylelikle CFC'lerin kullanımının kısıtlanmasının önüne geçilmiştir. Soğutucu akışkan olarak yarar sağlayan CFC'lerin kararlılık özelliği, ozon tabakası aşınması sorununa neden olur. CFC'lerin parçalanması çok zor olduğundan, stratosfere taşınmadan önce uzun yıllar atmosferde kalırlar. Atmosferdeki güçlü ultraviyole radyasyonun etkisi altında moleküller parçalanarak klor iyonlarını açığa çıkarmaktadır. Böylece açığa çıkan klor iyonları ozon moleküllerini oksijen moleküllerine dönüştürür. Şekil 3.3'te ozon tabakasının nasıl yok edildiğini göstermektedir.



Şekil 3.3. Klor Molekülünün Ozonu Parçalanması [27]

Serbest klor molekülleri, atmosferde meydana gelen kimyasal reaksiyonlarda katalizör görevi görerek bu reaksiyonlar sonsuza kadar devam eder. Bir serbest klor atomu yaklaşık 100.000 ozon molekülünü oksijene dönüştürdüğü tahmin edilmektedir[28].

3.4.1 Montreal Protokolü

Montreal Protokolü dünyada soğutucu akışkanların kullanılması, üretilmesi, ozon tabakasını koruma, sera etkisinin azaltılması gibi önemli çevresel konuların izlenmesini amaçlamaktadır. Ozon tabakasının araştırılması konusu ilk olarak 1976 yılında ortaya atılmış ve bu tarih itibariyle Birleşmiş Milletler Çevre Programı

Konseyi'nin (UNEP) gündemine alınmıştır. UNEP ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), yapılacak araştırmaları belirlemek üzere Ozon Tabakası Koordinasyon Komisyonu'nu (CCOL) kurmuştur. Ozon tabakası üzerinde periyodik olarak ozon tabakasının incelmesini değerlendirmek için, ozon tabakası konusunda uzmanlaşmış bilim adamlarından oluşan bir komite 1977 yılında toplanmış ve ilk toplantısını ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılması konusunda gerçekleştirmiştir. 1981'de başlayan hükümetler arası müzakereler ve 1985'te Ozon Tabakasının Korunmasına İlişkin Viyana Sözleşmesinin imzalanmasıyla sonuçlanmıştır. Viyana Sözleşmesi, araştırmalarda hükümetler arası koordinasyonu ve iş birliğini, ozon tabakasının düzenli olarak izlenmesini, CFC üretiminin izlenmesini ve bilgi paylaşımını teşvik etmektedir. Sözleşmeye katılan hükümetler, insan sağlığını ve çevreyi ozon tabakasına zarar veren insan faaliyetlerinden korumak için genel önlemler almıştır. Bu anlaşma kontrol veya hedeflerin yasal olarak bir bağlayıcı olmadığı çerçeve anlaşmadır. Viyana anlaşmasıyla birlikte ozon tabakasını incelten maddelerin üretimini ve kullanımını kontrol altına alacak bir protokol üzerinde ivedilikle çalışmalara başlanmıştır. 1987 yılında Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü kabul edilmiştir. 1985'te Antarktika üzerinde ozon deliği keşfedildiğinde, hükümetler büyük miktarlarda CFC'lerin ve bazı halojen gazların üretimini ve tüketimini azaltmak için ciddi önlemlerin alınması gerektiği sonucuna varmışlardır. Bu teknik ve bilimsel değerlendirmelerin sonrasında protokole ait azaltımın hızlandırılması için 1990 yılında Londra'da başlayarak 2007 yılında Montreal dahil olmak üzere belirli aralıklarla çeşitli ülkelerde toplantılar düzenlenmiştir. Ülkelerdeki toplantılarda alınan hükümlerle birlikte sözleşmeye yeni kontrol maddeleri ve tedbirlerin eklenmesi gerekliliği doğmuştur. Montreal Protokolü'ne 196 ülke katılmış olmasına rağmen, en başarılı çok taraflı çevre anlaşması olarak belirlenmiştir. 1990 yılında gelişmiş ülkelerin desteğiyle Londra'da çok taraflı bir fon kurulmuş ve Protokol'ün en önemli başarılarından biri olarak kabul edilmiştir. Kurulan fon ozon tabakasını incelten maddelerin gelişmekte olan ülkelerin endüstriye girmesini önlemek için projelere, yeni teknolojilere ve ekipmanlara kullanılmıştır[29]. 1991 yılında, Türkiye Montreal Protokolü'ne taraf olan ülkeler arasında olmuş ve protokolde yapılan bütün değişiklikleri kabul etmiştir. Protokol ile ilgili ulusal ve uluslararası çalışmalar Çevre ve Orman Bakanlığı ile koordineli olarak takip edilmektedir. Ülkemiz, Montreal Protokolünü uygulamada en başarılı ülkelerden biridir. Ülkemizde ozon tabakasını

incelten maddelere ilişkin yönetmelik, Viyana Sözleşmesi, Montreal Protokolü ve Avrupa Komisyonu'nun 1005/2009 sayılı Yönetmeliğine göre geliştirilmiştir. Üretilen, tüketilen ve satılan maddelerin kontrolü için mevzuat oluşturulmuştur[29].

3.4.2 Küresel Isınma

Soğutucu akışkanların çevreye verdiği tek zarar ozon tabakasının yok edilmesi değildir. Su buharı (H2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH4), nitrojen dioksit (N2O), kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve hidroflorokarbonlar (HCFC'ler) gibi birçok soğutucu akışkanlar, sera etkisi adı verilen bir çevre sorununa neden olur. 1896 yılında ilk olarak İsveçli kimyager Suante Arrhenius tarafından önerilen sera etkisi, gazların güneşin kısa dalga radyasyonunun taşıdığı termal enerjiden geçmesi ve bu enerjinin atmosfer ve dünyanın alt kısmı tarafından emilmesi nedeniyle oluşur. Ayrıca bu gazlar, dünyanın yaydığı uzun dalga boylu radyasyonun geçişine izin vermediği için bu radyasyon atmosferin alt kısmında birikmektedir. Zamanla bu, sera etkisini artırarak küresel ısınmaya yol açar. Bu olay, kutup buzullarını erittiği ve yükselen küresel sıcaklıklar sonucunda ülkenin bazı kısımlarını su basmasına neden olduğu için dünyamızın geleceği için büyük bir tehlike oluşturmaktadır[4].

3.4.3. Kyoto Protokolü

1980'li yılların sonunda ortaya çıkan iklim değişikliğini çevreleyen kargaşa ortamı, uluslararası farkındalığı harekete geçirmiştir. 1992 yılında, Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED) toplanarak, Rio Anlaşmaları olarakta bilinen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) 154 ülke tarafından onaylanmıştır. Bu anlaşma ile gelişmiş ülkelerin CO_2 ve diğer sera gazları emisyonlarını 2000 yılına kadar 1990 yılındaki seviyelerine indirmelerini taahhüt edilmesi istenmiştir. Ancak gönüllü olarak imzalandığı için anlaşma başarısız olmuştur. Japonya'nın Kyoto kentinde 1997 yılında 161 ülkeden 2.200 delegenin katılımıyla daha başarılı bir anlaşmaya varmak için başka bir girişimde bulunularak, Kyoto Protokolü adı verilen protokol ile 38 gelişmiş ülkenin 2008 ile 2012 yılları arasında sera gazı emisyonlarını 1990 yılı seviyelerine göre %5,2 oranında azaltmasını istenmiştir. Gelişmekte olan ülkelerin Kyoto Protokol ile sera gazı emisyonlarını azaltmalarını beklenmiyordu ancak ülkeler arası emisyon ticaretine onay verilmiştir. Bu onay ile birlikte sera gazı emisyon limitleri altında olan bir

ülkenin, sera gazı emisyon limitini aşan başka bir ülkeye ek emisyon limitleri satma fırsatı vermiştir. Amerika Birleşik Devletleri, en yüksek sera gazı emisyonuna sahip ülke olduğu için Kyoto Protokolünü kabul etmemiştir[4].

3.4.4. F-Gaz Yönetmeliği

F-Gaz yönetmeliği florlu gazların neden olduğu sera gazı emisyonlarını azaltmaktır. Belirli miktarda soğutucu içeren sistemlerde rutin sızıntı testleri, geri kazanım ve iyileştirme prosedürleri ile operatörlerin ve personelin eğitimi ve sertifikasyonu, servis personeli, etiketli soğutucu konteynerleri ve kontrol kullanımını içerir.

Emisyon kontrolü için bu yönetmelik kapsamında uygulamaya konulan florlu sera gazı ekipmanlarının sahip olanlar ve işletmecileri, emisyonların önlenmesinden ve tespit edilen kaçakların giderilmesinden sorumludur. Bu soğutucu gazları kullanan ekipmanlar periyodik olarak kontrol edilmelidir. 3 ile 30 kg arasında soğutucu gaz içeren cihazlar yılda birkez, 30 ile 300 kg arasında soğutucu gaz içeren cihazlar 6 ayda birkez, 300 kg veya daha fazla soğutucu gaz içeren cihazlar her 3 ayda birkez personel sertifikalı teknisyen tarafından kontrol edilmelidir. Tespit edilen sızıntılar giderildikten sonra, ekipman bir ay içinde tekrar test edilecektir.

Her cihaz ayrı olarak, cihaz başına 3 kg veya daha fazla gaz içeren ekipman sahipleri;

1. Flor içeren gazın türü ve miktarı,
2. Bakımı esnasında yüklenen veya geri kazanılan gaz miktarı,
3. Bertaraf gaz miktarını,
4. Servis sağlayan firma ve personeli bilgisi,
5. Servis ve bakım hizmetlerinin tarihleri ve sonuçları bilgilerinin saklanarak talep edilmesi halinde yetkili mercilere ibraz edilmesinden sorumludurlar.

Emisyon kontrol çerçevesi kapsamında getirilen yükümlülüklerden biri geri kazanımdır. Bu kapsamda florlu sera gazlarının geri dönüşüm, yeniden işleme veya bertarafı amacıyla yeniden işlenmesini sertifikalı teknik personele yaptırtmak aşağıdaki ekipmanların işletmecisinin sorumluluğundadır.

1.Soğutma sistemi, iklimlendirme sistemi ve ısı pompası sistemi,
2. Florlu sera gazı solventleri içeren ekipmanlar,
3. Yangın korunma sistemleri veya yangın söndürücüler,
4. Yüksek gerilim ekipmanları.

Ekipman atılmadan önce tercihen bakım ve servis sırasında geri dönüşüm yapılmalıdır [30].

Yukarıda sayılmayan cihazlarda ve mobil cihazlarda dâhil olmak üzere içersinde bulunan florlu sera gazlarını teknik olarak mümkünse, yüksek maliyet gerektirmiyorsa geri kazanımı esastır. Avrupa Birliği 2020 yılına kadar %20 CO_2 emisyonlarını azaltmak, %20 yenilenebilir enerjinin payını arttırmak, %20 daha az birincil enerji tüketilmesini 20/20/20 politikası ile hedeflenmiştir. Avrupa Birliği'nin bu politikası küresel ısınmayı durdurmak için düşük karbonlu yol haritasına ilişkin 2050 hedefini karşılamaya yeterli olacaktır. Bu nedenle Avrupa Birliği daha ciddi önlemler almaya başlanmıştır. 23 Ekim 2014'te, Avrupa Birliği'nin ana ülkeleri, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını azaltma sözü veren, iklim değişikliği konusunda tarihi bir anlaşmayı kabul etmiştir. Bu anlaşma ile yenilenebilir enerji kullanımının ve enerjinin verimli kullanılmasının %27'ye çıkarılması amaçlanmaktadır. 2025 yılından itibaren 2014 F Gaz yönetmeliği ile GWP değeri 750'nin altında olan soğutucu akışkanların kullanımı, 3 kg'dan az soğutucu akışkan içeren spilt klimalar için zorunluluğu getirilmiştir[31].

Çevresel etki ile ilgili olarak yaygın olarak kullanılan küresel ısınma potansiyeli (GWP) her bir sera gazı için, atmosferde ortalama ne kadar kaldığı ve ısıyı ne kadar güçlü bir şekilde hapsolduğu küresel ısınma potansiyeli ile hesaplanmaktadır. GWP değeri 1 olan karbondioksit referans alınır[4].

Bu çalışmada R404A GWP≥3000'den yüksek, R410A GWP≥1500'den yüksek, R1234yf GWP≤100'den az soğutucu akışkanlar seçilmiştir. Düşük GWP oranına sahip soğutucu akışkanların kullanılması belirli bir süre sonra çeşitli yönetmelik ve protokoller ile zorunlu olacağı kaçınılmazdır. Bu doğrultuda yapılan çalışmada yüksek GWP oranına sahip hidroflorokarbon (HFC) tabanlı R404A, R410A akışkanları ve düşük GWP oranına sahip yeni nesil soğutucu akışkan olan HFO tabanlı R1234yf akışkanının soğutma sistemlerine yönelik detaylı performanslarının ve LCCP analizi yapılmıştır.

BÖLÜM 4

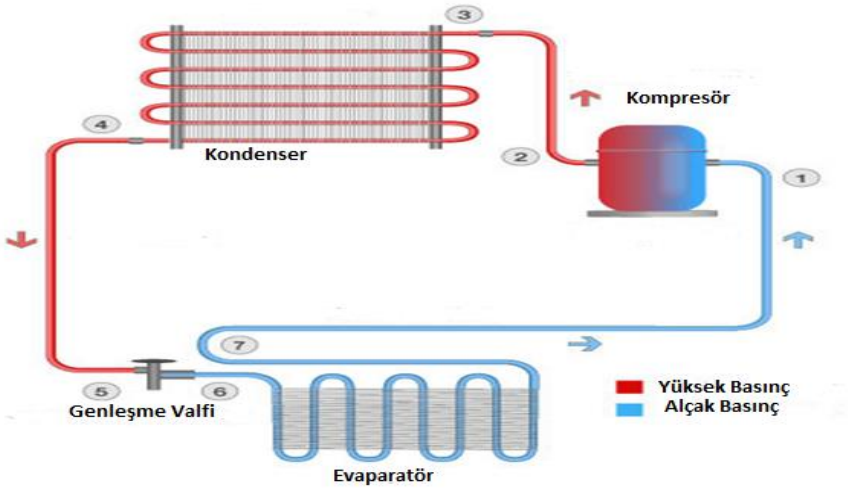
MATERYAL VE METOD

4.1. MATERYAL

Yapılan bu çalışmada yüksek GWP oranına sahip hidroflorokarbon (HFC) tabanlı R404A, R410A soğutucu akışkanları ile düşük GWP oranına sahip yeni nesil soğutucu akışkan olan HFO tabanlı R1234yf soğutucu akışkanını kullanarak Çizelge 4.1'de belirlenen tasarım parametreleriyle Genetron Properties programı kullanılarak ve program bünyesinde bulunan basit soğutma çevrimi seçilerek, bu sistemin enerji, ekserji ve LCCP (Yaşam Döngüsü İklim Performansı) analizi yapılmıştır.

Sistemin soğutma performans katsayısı ve ekserji verimi, aynı çalışma koşullarında farklı soğutucu akışkanlar kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.1'de sistemin şematik görünümü verilmiş olup, sistemdeki elemanların ekserji kayıpları hesaplanmıştır.

Sistemin sürekli açık akışlı olduğu ve kullanılan borularda basınç kaybının olmadığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Basit buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminin şematik görünümü

Program aracılığıyla girilen parametreler; 2 kW gücünde bir soğutma sistemi seçilmiştir. Sistemdeki kompresörlerin elektriksel verimi %98, mekanik verimi %88 olarak sabit alınmıştır. Sistemde kondenser sıcaklığı 50°C'de sabit tutulmuş ve buharlaşma sıcaklığı Eurovent standardına göre -30, -15, -5, 0°C olarak değiştirilerek her akışkan için ayrı ayrı analiz edilmiştir[17].

Çizelge 4.1. Sistem için alınan kabuller

Soğutma yükü	2 kW
Kondenser sıcaklığı	50°C
Evaporatör sıcaklığı	-30,-15,-5,0°C
Kompresör elektrik verimi	%98
Kompresör mekanik verimi	%88
Aşırı kızdırma	5°C
Aşırı soğutma	5°C

4.2. METOD

4.2.1. Enerji Analizi

Soğutma sisteminin birinci yasa analizi için Şekil 4.1'deki çevrim noktaları dikkate alınarak sistem elemanlarına uygulanan enerji denklemleri aşağıda verilmiştir.

Kondenser ısı yükü;

$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad (4.1)$$

Evaporatör ısı yükü;

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}\,(h_7 - h_6) \quad (4.2)$$

Kompresörün gücü;

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (4.3)$$

Kompresöre uygulanan elektrik gücü;

$$\dot{W}_{komp,el} = \frac{\dot{W}_{komp}}{\eta_{el} \times \eta_{me}} \quad (4.4)$$

Sistemin soğutma performans katsayısı;

$$COP_C = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{komp,el}} \quad (4.5)$$

Sistemin ısıtma performans katsayısı;

$$COP_H = \frac{\dot{Q}_{kond}}{\dot{W}_{komp,el}} \quad 4.6$$

4.2.2. Ekserji Analizi

Ekserji, bir sistemin çevresindeki iş potansiyelini ve sistemin çevre ile dengelenerek kazandığı yararlı iş miktarı olarak tanımlar. Çevresiyle denge halinde olan bir sistemin ekserjisi sıfırdır. Sistemler arası ekserji; kütle, enerji, entropi ve diğer sistem özellikleri aracılığıyla aktarılır. Bir sistem termodinamik olarak iş yapamaz hale geldiğinde ortamın durumu "ölü hal" olarak adlandırılır. Bir sistemin ölü hali, sistemin çevresi ile termodinamik dengede olduğu anlamına gelir. Ölü bir sistem, çevresinin sıcaklığı ve basıncı altındadır. Çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjisi yoktur ve çevresiyle reaksiyona girmez. Aynı zamanda sistem ile çevresi arasında herhangi bir dengesiz manyetik, elektriksel ve yüzey gerilim etkileride yoktur. Ölü sistem özellikleri, P_0, T_0, h_0, u_0, s_0, vb. özellikler için alt dizin sıfır ile belirtilir. Aksi belirtilmedikçe, ölü durum sıcaklığı ve basıncının T_0 = 25 °C ve P_0 = 1 atm (101,325 kPa) olduğu varsayılır. Sistemde sıfır ölü haldeki kullanılabilirliği sıfırdır[22].

Kinetik enerji ve potansiyel enerji ihmal edilmesi durumunda akış halindeki bir sistemde, birim kütle için ekserji aşağıdaki aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\psi = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad 4.7$$

Soğutucu akışkanın kütlesel debi miktarı, her bir nokta ile çarpıldığında denklem aşağıdaki gibidir.

$$\dot{E}x = \dot{m}\,[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad 4.8$$

Soğutma sisteminde yer alan elemanların ekserji dengesi ve ekserji kaybı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Kondenserin ekserji dengesi denklemi

$$\dot{E}x_{Yık.,kond} = \dot{E}x_3 - \dot{E}x_4 - Q_{kond}\,(1 - T_0/T_{kond}) \quad 4.9$$

Evaporatörün ekserji dengesi denklemi

$$\dot{E}x_{Yık.,evap.} = \dot{E}x_7 - \dot{E}x_6 + Q_{evap}(1 - T_0/T_{evap}) \quad 4.10$$

Kompresörün ekserji dengesi denklemi

$$\dot{E}x_{Yık.,komp} = \dot{E}x_2 - \dot{E}x_1 + \dot{W}_{\text{komp,el}} \quad 4.11$$

Genleşme valfinin ekserji dengesi denklemi

$$\dot{E}x_{Yık.,GV} = \dot{E}x_5 - \dot{E}x_6 \quad 4.12$$

Sistemin toplam ekserji yıkım denklemi

$$\dot{E}x_{Yık.,Toplam} = \dot{E}x_{Yık.,kond} + \dot{E}x_{Yık.,komp} + \dot{E}x_{Yık.,evap.} + \dot{E}x_{Yık.,GV} \quad 4.13$$

Soğutma sisteminin ikinci yasa ekserji verimi ise aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$\eta_{\text{Ex}} = \frac{Ex_7 - Ex_6}{\dot{W}_{\text{komp,el}}} \quad 4.14$$

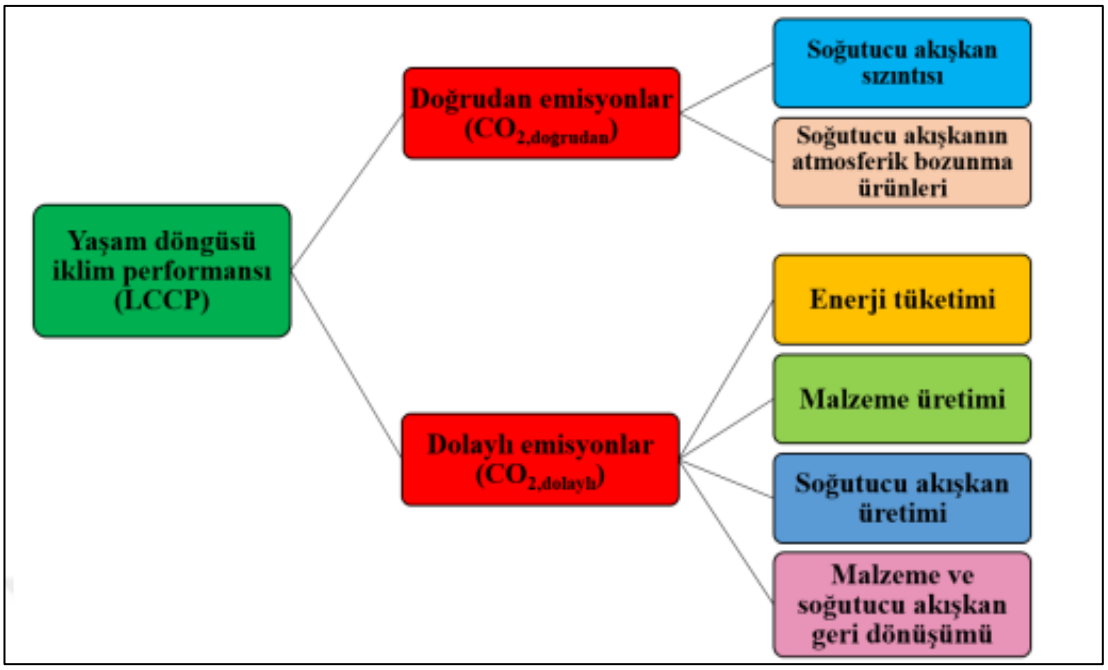
4.2.3 LCCP (Yaşam Döngüsü İklim Performansı) Analizi

LCCP (Yaşam Döngüsü İklim Performansı) küresel ısınmanın HVAC sistemlerinin yaşam döngüsü üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılan bir değerleme yöntemidir. Sistemin tüm ömrü boyunca (beşikten mezara) içerdiği doğrudan ve dolaylı emisyonları hesaba katarak değerlendirme yapılır. Doğrudan emisyonlar, sistemin ömrü boyunca atmosfere salınan soğutucu akışkanın tüm etkilerini içerir. Bu, cihaz atıldığında ortaya çıkan yıllık sızıntı ve kayıpları içerir. Dolaylı emisyonlar; üretim süreçlerinden, enerji tüketiminden ve tesislerin bertarafından kaynaklanan emisyonları içerir[32]

LCCP iki ana gruptan oluşmaktadır: Doğrudan emisyonlar ve dolaylı emisyonlar.

Şekil 4.2'de LCCP kategorileri gösterilmektedir. Verilen ana grupların her bir kategorisi ayrı ayrı hesaplanır. LCCP, kgCO_2eşd. cinsinden aşağıdaki eşitlik 4.15 ile hesaplanır.

$$\text{LCCP} = \text{DE}\,(\text{CO}_{2,\text{Doğrudan}}) + \text{EE}\,(\text{CO}_{2,\text{Dolaylı}}) \quad 4.15$$



Şekil 4.2 Yaşam Döngüsü İklim Performansı (LCCP) kategorileri

Doğrudan emisyonlar buhar sıkıştırmalı sistemlerin kullanımından kaynaklanmaktadır. Sistemin kullanım ömrü süresince atmosfere salınan soğutucu akışkanın etkilerinden (sızıntılar sebebiyle oluşan yıllık soğutucu akışkan kaybı, sistem ömrünün sonunda soğutucu akışkan kaybı ve atmosferdeki soğutucu akışkan parçalanması sonucu ortaya çıkan reaksiyon ürünleri) oluşur Buhar sıkıştırmalı sistemlerin doğrudan emisyonlar (CO_2,doğrudan) aşağıdaki eşitlik 4.16 kullanılarak hesaplanabilir[32].

$$CO_{2,\text{Doğrudan}} = C * (L * ALR + EOL) * (GWP + GWP_{adp}) \qquad 4.16$$

Eşitlik 4.15'teki denklemde verilen C kullanılan soğutucu akışkan şarj miktarı (kg), L kullanılan sistemin çalışma ömrü (yıl), ALR kullanılan soğutucu akışkanın yıllık sızıntı oranını (soğutucu akışkan şarjının %), EOL kullanılan cihazın ömrü sonunda soğutucu akışkan sızıntı oranı (soğutucu akışkan şarjının %), GWP soğutucu akışkanın küresel ısınma potansiyelini (kgCO_2eşd. /kg) ve GWP_{adp} atmosferdeki soğutucu akışkanın bozulmasından kaynaklanan küresel ısınma potansiyelini (kgCO_2eşd./kg) göstermektedir. Çizelge 4.2'te gelişmiş ülkeler için ALR, EOL ve L ortalama değerleri görülmektedir[32].

Ayrıca, yaygın olarak kullanılan bazı soğutucu akışkanların GWP ve GWPadp değerleri Çizelge 4.3'de görülmektedir[32].

Çizelge 4.2 Gelişmiş ülkeler için ALR, EOL ve L ortalama değerleri [32]

Sistem	**ALR (%)**	**EOL (%)**	**L (yıl)**
Konut paket sistemleri	2,5	15	15
Konut split sistemleri	4	15	15
Paket soğutma sistemleri	2	10	7-10
Süper market - doğrudan soğutma sistemleri	18	10	7-10
Süper market - dolaylı soğutma sistemleri	12	15	15
Ticari soğutma sistemleri – bağımsız sistem	5	15	10
Ticari paket sistemleri	5	15	15
Ticari split sistemleri	5	15	15
Chiller soğutma sistemleri	5	15	15
Marine soğutma sistemleri	20	15	15

Çizelge 4.3. Bazı soğutucu akışkanların GWP ve GWPadp değerleri

Soğutucu Akışkan	**GWP (kgCO_2eşd./kg)**	**GWPadp (kgCO_2eşd./kg)**
CO_2	1	0
R32	677	-
R290	3	-
R404A	3943	-
R410A	1924	-
R134a	1300	1,6
R1234yf	1'den küçük	3,3

Dolaylı emisyonlar, bir sistemin üretiminden bertaraf edilmesine kadar tüm emisyonları içerir. Yani ünitenin üretilmesi, kullanılması ve geri dönüştürülmesi sırasındaki tüm emisyonları hesaba katar. Dolaylı emisyonlar Eşitlik 4.17 ile hesaplanır.

$$CO_{2,\text{Dolaylı}} = L*AEC*EM + \Sigma(m\ MM) + \Sigma(m_r\ RM) + C*(1 + L*ALR)*RFM + C*(1 - EOL) \quad 4.17$$

Eşitlik 4.16'daki denklemde verilen AEC kullanılan sistemin yıllık enerji tüketimini (kWh/yıl) ve EM elektrik üretimi emisyon değerini (kgCO_2eşd./kWh), m kullanılan soğutma ünitesinin kütlesini (kg), MM malzeme üretim emisyonunu (kgCO_2eşd./kg), mr geri dönüştürülen malzemenin kütlesini (kg) ve RM geri dönüştürülen malzemenin

emisyonunu ($kgCO_2$eşd./kg), RFM soğutucu akışkan üretim emisyonunu ($kgCO_2$eşd./kg) göstermektedir[32].

LCCP analizi için elektrik üretimi emisyon değeri önemlidir. Elektik enerjisi üretiminde kullanılan bazı enerji kaynaklarının emisyon değerleri Çizelge 4.4'te görülmektedir [32]

Türkiye için ortalama elektrik üretim emisyon değeri 0,440 $kgCO_2$eşd./kWh'dir[33].

Çizelge 4.4. Bazı enerji kaynaklarının emisyon değerler[32]

Enerji kaynağı	**EM* ($kgCO_2$eşd./kWh)**
Hidroelektrik	0,0037 – 0,237
Rüzgâr	0,0097- 0,1237
Güneş termal	0,0136 – 0,202
Nükleer	0,0242
Biyokütle	0,035 – 0,178
Güneş fotovoltaik	0,0534 – 0,250
Kömür	0,9753
Petrol	0,7421
*EM Elektrik Üretiminden Kaynaklanan Emisyon	

Isıtma ve soğutma sistemlerinde dört temel malzeme yaygın olarak kullanılır ve sistemde bulunma yüzdeleri ve üretim emisyon değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir[32].

Çizelge 4.5. Isıtma ve soğutma sistemlerinde yaygın kullanılan malzemeler ve üretim emisyon değerleri[32]

Malzeme	**Sistemde bulunma oranı (%)**	**MM* ($kgCO_2$eşd./ kg)**
Çelik	46	1,8
Alüminyum	12	12,6
Bakır	19	3
Plastik	23	2,8
*MM Isıtma ve Soğutma Sistemlerin Yaygın Kullanılan Malzemelerin Üretimde Ortaya Çıkan Emisyonu		

Malzemelerin geri dönüşüm emisyon değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir [32].

Çizelge 4.6. Malzemelerin geri dönüşüm emisyon değerleri

Malzeme	**RM* ($kgCO_2$eşd./kg)**	**Sistemde bulunma oranı (%)**
Metal	0,07	77
Plastik	0,01	23
*RM Isıtma ve Soğutma Sistemlerinde Ömrü Sonunda Geri Dönüştürülen Malzemenin Emisyonu		

Bazı soğutucu akışkanların üretimin emisyon değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir [32].

Çizelge 4.7. Bazı soğutucu akışkanların üretimin emisyon değerleri[32]

Soğutucu akışkan	**RFM* ($kgCO_2$eşd./kg)**
R32	7,2
R290	0,05
R404A	16,7
R410A	10,7
R134a	5
R1234yf	13,7
*RFM Soğutucu Akışkan Üretilirken Ortaya Çıkan Emisyonu	

LCCP denklemindeki en etkili faktör, bir sistemin ömrü boyunca tükettiği enerji miktarıdır. LCCP analizi, hesaplama kolaylığı için basitleştirilebilir. Ayrıntılı bir LCCP analizinde, bazı faktörler toplam emisyonlar üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahiptir. Bu nedenle RFD faktörü de göz ardı edilebilir faktördür. Sistemin kullanım ömrünü sonunda geri dönüştürülmesinden kaynaklanan emisyonlar genellikle ihmal edilir. Bunun nedeni, bu emisyonların toplam emisyonların %0,5'inden daha az olmasıdır. Bu nedenle, basit veya genel değerlendirme için göz ardı edilir. Ancak, ayrıntılı bir LCCP analizine dahil edilmelidir[32]. Bu çalışmada her bir soğutucu akışkan için deneysel veriler kullanılarak LCCP analizi yapılmıştır. LCCP analizi için yapılan bazı kabuller çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. LCCP analizi için yapılan bazı varsayımlar

Açıklama	**Değer**	**Birim**
Soğutma kapasitesi	2	kW
Sistemin çalışma ömrü (L)	15	Yıl
Yıllık soğutucu akışkan sızıntı oranı (ALR)	2,5	%
Cihaz ömrü sonunda soğutucu akışkan sızıntı oranı (EOL)	15	%
Soğutma ünitesinin kütlesi (m)	100	kg

BÖLÜM 5

ARAŞTIRMA BULGULARI

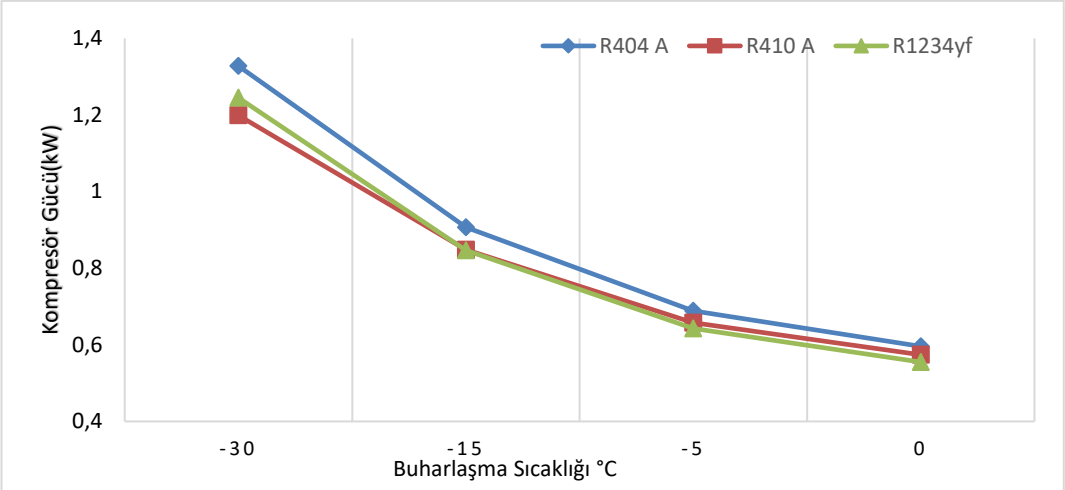
Buhar sıkıştırmalı bir soğutma çevriminde sistemin enerji, ekserji ve LCCP analizleri farklı GWP değerleri, aynı ODP değerlerine sahip olan soğutucu akışkanlar kullanılarak aynı çalışma şartları altındaki yapılmıştır. Bu analizlerde soğutucu akışkanların termodinamik özellikleri hesaplanmasında Genetron Properties isimli program kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, tablolar ve grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir.

5.1. ENERJİ ANALİZİ BULGULARI

Bu çalışma kapsamında termodinamiğin birinci kanununa göre R410A, R404A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının performans analizi yapılmıştır. Elde edilen değerler yapılan analizlerin sonucunda grafikler halinde sunulmuştur.

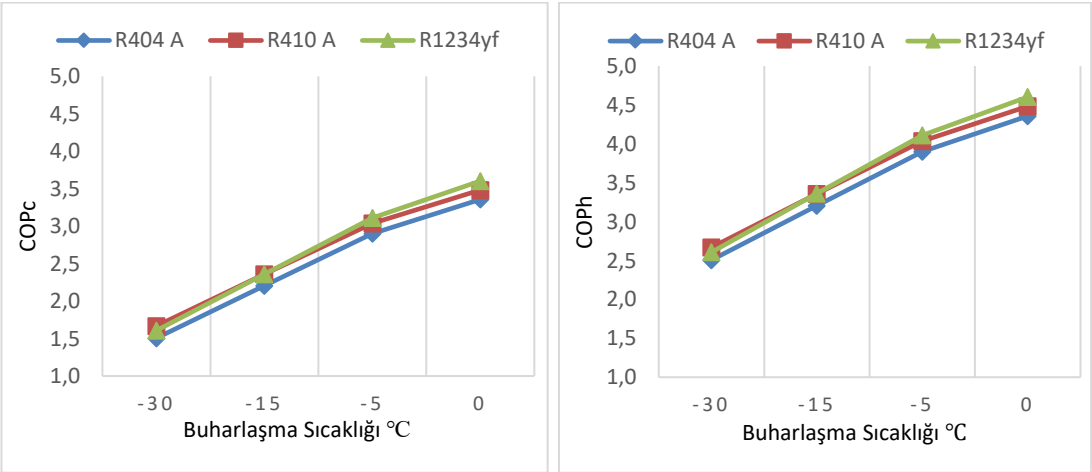
R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının buharlaşma sıcaklıkları -30 ℃ ile 0℃ arasında değiştirildiğinde kompresör gücünün değişimi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekildende görüldüğü gibi bu buharlaşma sıcaklık aralığında en fazla kompresör gücü R404A soğutucu akışkanı tarafından harcanmıştır. -30 ℃ buharlaşma sıcaklığında en yüksek kompresör enerji tüketimine sahip soğutucu akışkan sırasıyla 1,328 kW ile R404A, 1,245 kW ile R1234yf ve 1,199 kW ile R410A'dır. R404A, R1234yf ile kıyaslandığında %6,24 ve R410A ile kıyaslandığında %9,71 oranında daha yüksek kompresör enerji tüketmiştir.

R404A -30℃ 1,328kW, 0℃'de 0,596 kW güç harcamış, aradaki fark 0,732 kW'dır.
R410A -30℃ 1,199 kW, 0℃'de 0,574 kW güç harcamış, aradaki fark 0,625 kW'dır.
R1234yf -30℃ 1,245 kW, 0℃'de 0,555 kW güç harcamış, aradaki fark 0,69 kW'dır.
Buharlaşma sıcaklığı artıkça tüm akışkanların kompresör güç tüketim değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.1. Soğutucu akışkanların kompresör enerji tüketimleri

R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının buharlaşma sıcaklıklarının -30 °C ile 0 °C arasında değiştirildiğinde performans katsayıları (COP_h, COP_c) Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Isıtma ve soğutma COP değerlerine bakıldığı zaman R404A, R410A'dan %10 ve R1234yf %7 oranında bir artış ile buharlaşma sıcaklığı ile soğutma ve ısıtma performans katsayılarının doğru orantılı, kompresör enerji tüketimi ise ters orantılı olduğu görülmektedir. R404A soğutucu akışkanın soğutma performans katsayı değerleri 1.5-3.3 arasında, ısıtma performans katsayı değerleri 2,5-4,3 arasında, R410A soğutucu akışkanın soğutma performans katsayı değerleri 1,66-3,48 arasında, ısıtma performans katsayı değerleri 2,66-4,48 arasında, R1234yf soğutma performans katsayı değerleri 1.60-3.60 arasında, ısıtma performans katsayı değerleri ise 2.60-4.60 arasında değişmektedir.

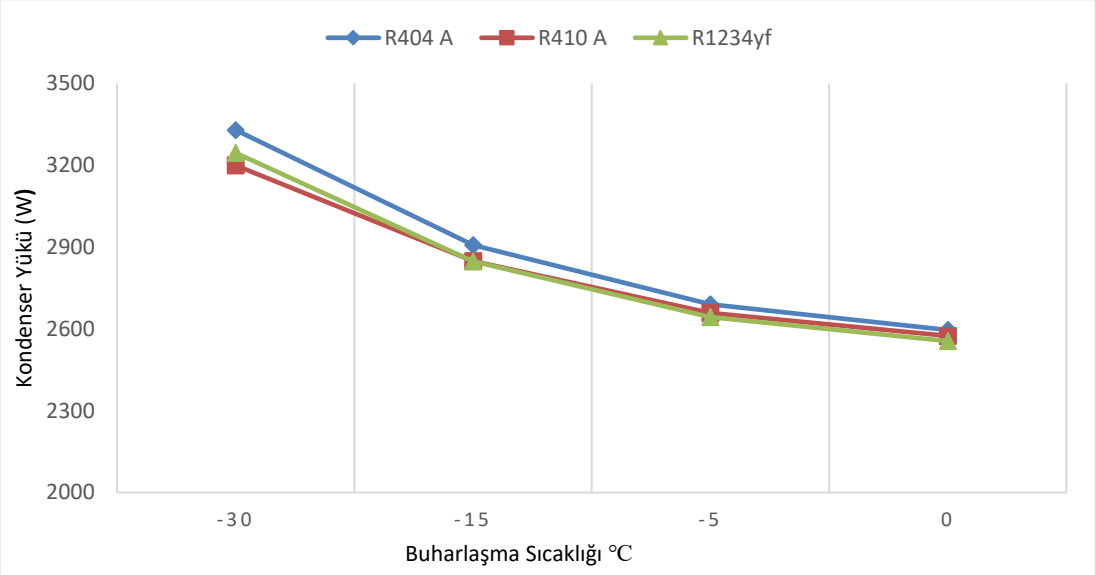


a) Soğutma COP değerleri b) Isıtma COP değerleri

Şekil 5.2. Akışkanlara ait COP (c, h) değerleri

R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının buharlaşma sıcaklıklarının -30 °C ile 0 °C arasında değiştirildiğinde sistemin kondenser yükünün değişimi Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Şekildende görüldüğü gibi en yüksek kondenser yükü -30°C'de R404A akışkanında 3.3 kW, R1234yf akışkanında 3,244 kW ve R410A akışkanında ise 3,199 kW olarak hesaplanmıştır. Soğutucu akışkanların buharlaşma sıcaklığı artırıldığında kondenser kapasitelerinde azalma meydana gelmiştir. Kondenserin yoğuşma sıcaklığı arttığında kompresörün sıkıştırma oranı artacağından ve sistemde dolaşan akışkanın debisi düşeceğinden soğutma kapasiteside kısmen azalacaktır.

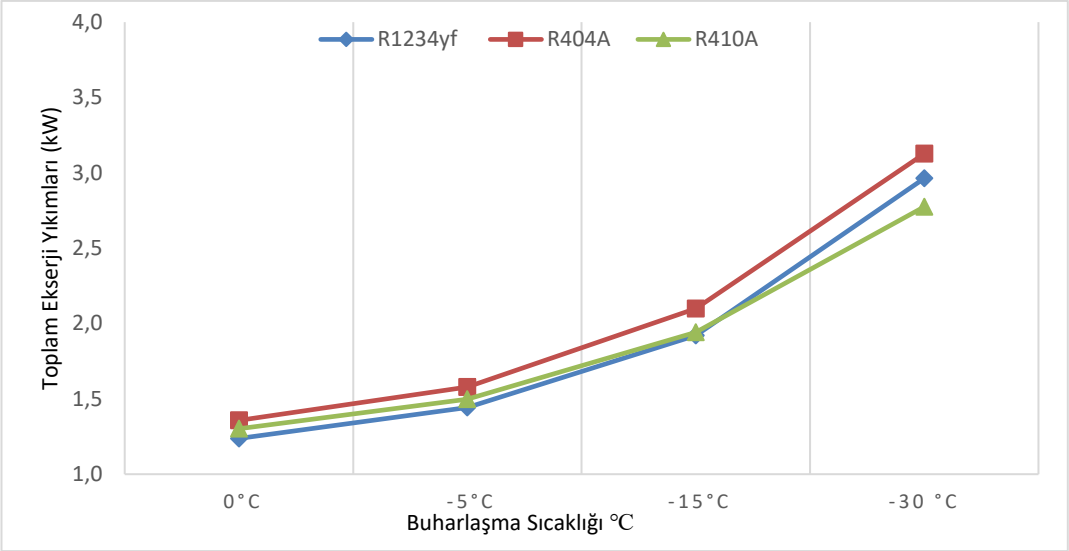
Şekil 5.1 ve Şekil 5.3 birlikte kıyasladığında R1234yf soğutucu akışkanında daha az kompresör gücü gerektiği için kondenser yükününde az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Sistemin farklı akışkanlara göre kondenser yükleri

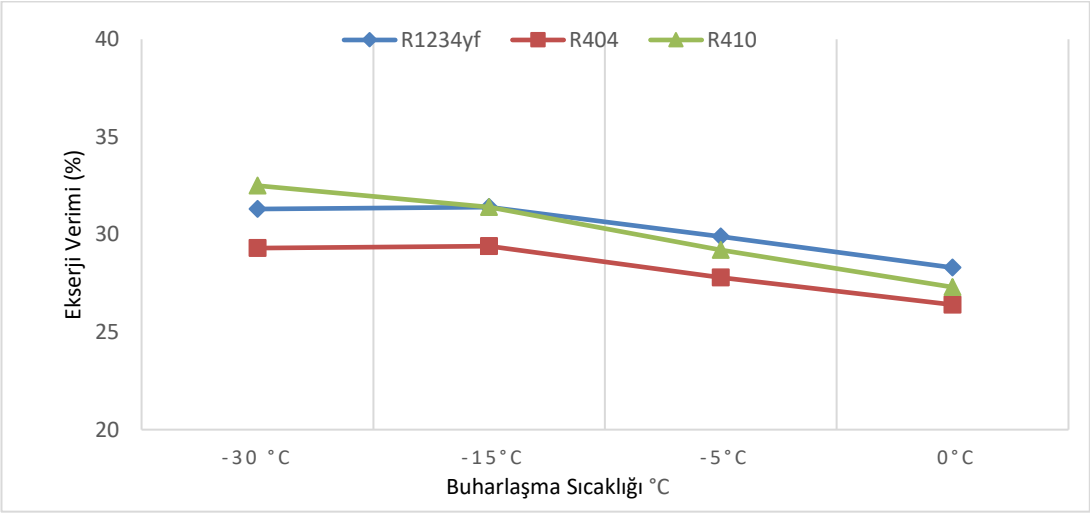
5.2. EKSERJİ ANALİZ BULGULARI

Sistemin kullanılabilirliğinin ölçüsü termodinamiğin ikinci kanununa olan ekserji analizi ile ölçülmüştür. Şekil 5.4 ve 5.5'te elde edilen sonuçlar grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 5.4. Sistemlerin ekserji yıkımları

R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının buharlaşma sıcaklıklarının -30 °C ile 0 °C arasında değiştirildiğin de sistemin toplam ekserji yıkımı değişimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir. En yüksek toplam ekserji yıkımı -30 °C sıcaklıkta R404A'da 3,13 kW, R1234yf'de 2,96 kW R410A'da ise 2,775 kW olarak hesaplanmıştır. Buharlaşma sıcaklıkları düştüğünde sistemde toplam ekserji yıkımları artmaktadır. Toplam ekserji kaybının buharlaşma sıcaklığı ile ters orantılıdır.

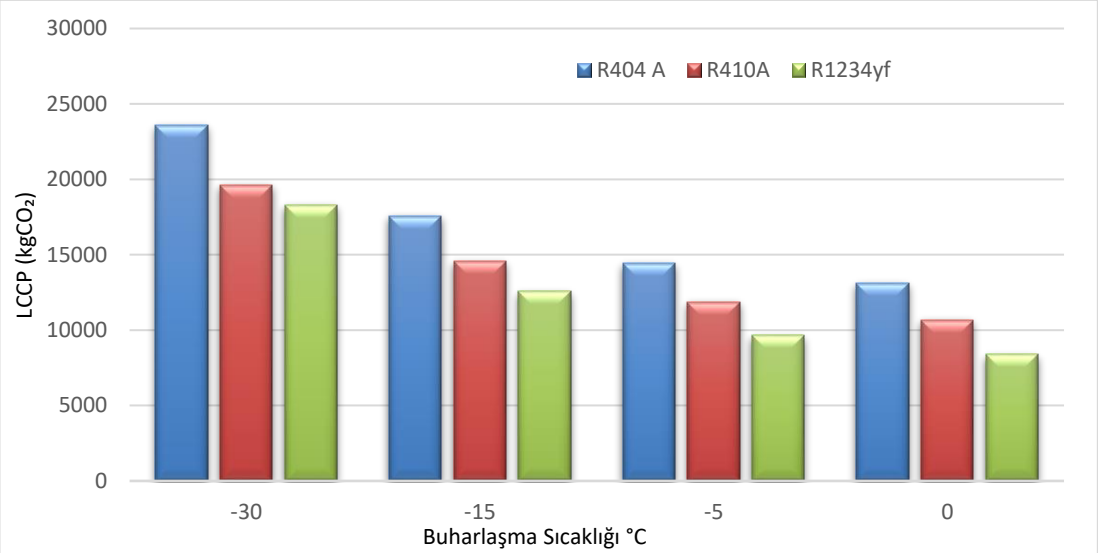


Şekil 5.5. Sistemlerin ekserji verimi

R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının buharlaşma sıcaklıklarının -30 °C ile 0 °C arasında değiştirildiğinde sistemin gerçek performansını belirleyen ekserji verimi şekil 5.5'te gösterilmiştir. Soğutma sisteminin ekserji verimi; R404A soğutucu akışkanı için %26-29,4 arasında, R410A soğutucu akışkanı için %27-32,5 arasında, R1234yf soğutucu akışkanı için ise %28-31,5 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

5.3. LCCP ANALİZİ BULGULARI

Tüm soğutucu akışkanların -30°C, -15°C, -5°C ve 0°C evaporatör sıcaklıkları için yaşam döngüsü iklim performans analizi çizelge 5.1 ile çizelge 5.4 arasında görülmektedir. Ayrıca R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanların yaşam döngüsü iklim performans analizlerinin karşılaştırılması Şekil 5.6'da verilmiştir.



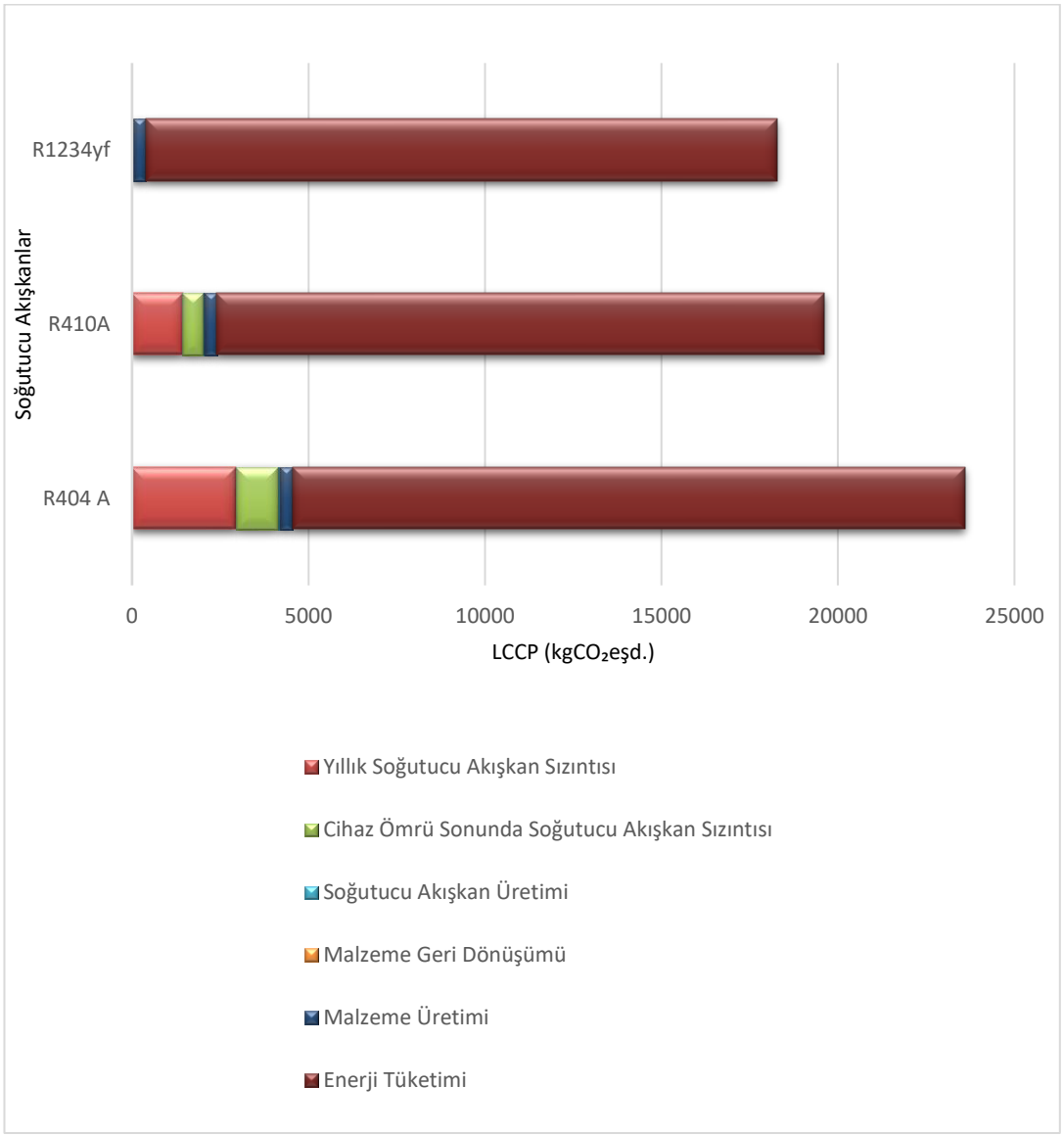
Şekil 5.6. Soğutucu akışkanların yaşam döngüsü iklim performans analizlerinin buharlaşma sıcaklığına göre karşılaştırılması

Soğutucu akışkanların buharlaşma sıcaklıklarına göre yaşam döngüsü iklim performans analizi yapılmış Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Buharlaşma sıcaklığı azaldıkça kgCO_2eşd. miktarında artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması (-30°C buharlaşma sıcaklığı için)

EMİSYON SINIFLANDIRMASI	R404 A		R410A		R1234yf	
	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd)	Toplam Emisyona Oranı (%)
Direkt Emisyon (DE)	***4140,15***	***20,3***	***2020,2***	***11,725***	***4,2***	***0,023***
Yıllık Soğutucu Akışkan Sızıntısı	2957,25	14,50	1443	8,375	3	0,016
Cihaz Ömrü Sonunda Soğutucu Akışkan Sızıntısı	1182,9	5,80	577,2	3,35	1,2	0,007
Endirekt Emisyon(EE)	***23137,01***	***79,7***	***20990,12***	***88,27***	***21788,68***	***99,98***
Soğutucu Akışkan Üretimi	45,925	0,23	29,425	0,17	37,675	0,206
Malzeme Geri Dönüşümü	5,62	0,03	5,62	0,03	5,62	0,031
Malzeme Üretimi	355,6	1,74	355,6	2,06	355,6	1,945
Enerji Tüketimi	19064,04	77,7	17212,19	86,01	17872,54	97,795
LCCP($kgCO_2$)	***23611,13***	***-***	***19622,83***	***-***	***18275,43***	***-***

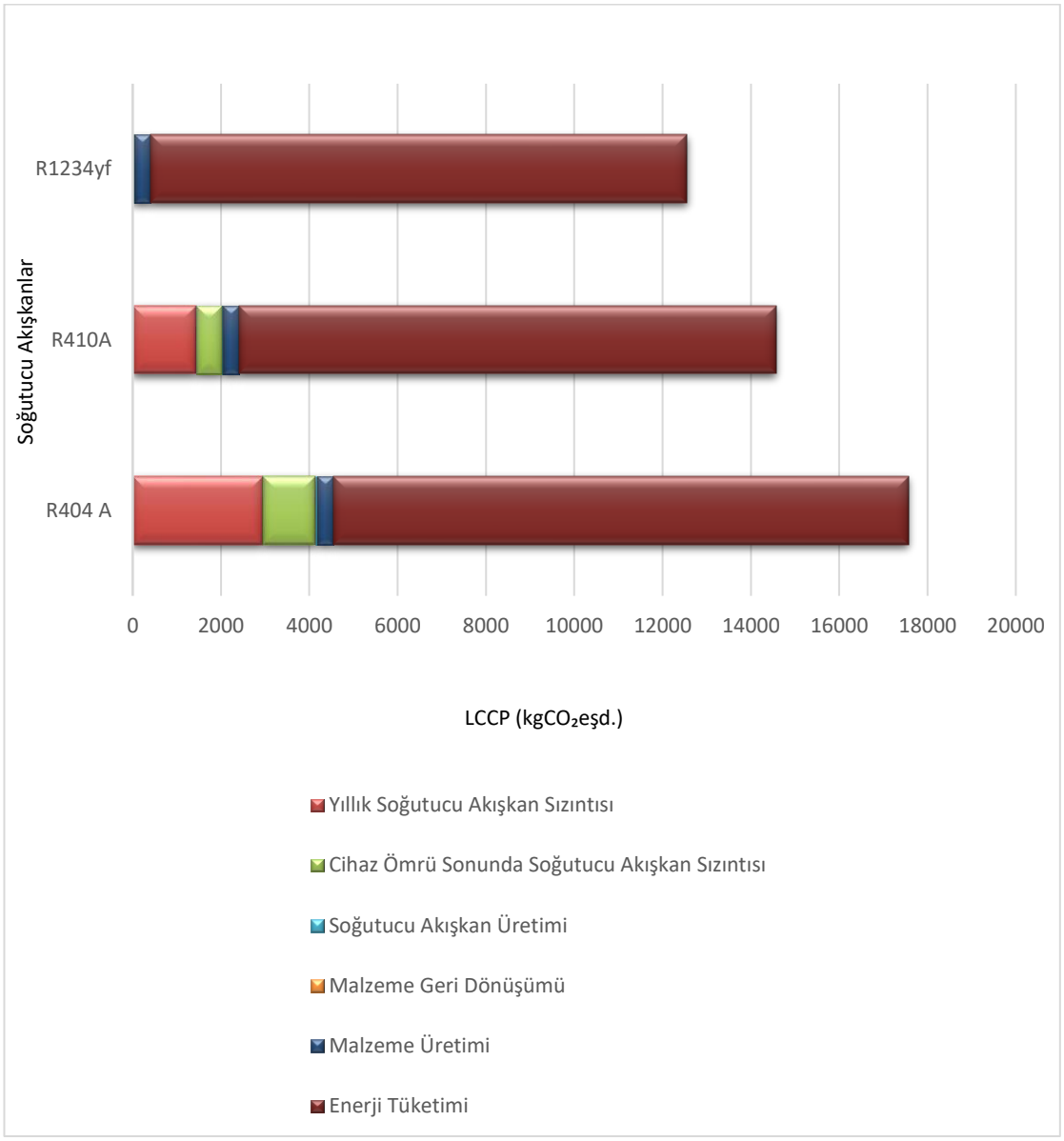
Şekil 5.7. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması (-30°C buharlaşma sıcaklığı için)



Çizelge 5.2. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması analizinin karşılaştırılması (-15°C buharlaşma sıcaklığı için)

EMİSYON SINIFLANDIRMASI	R404 A		R410A		R1234yf	
	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)
Direkt Emisyon (DE)	***4140,15***	***20,3***	***2020,2***	***11,725***	***4,2***	***0,027***
Yıllık Soğutucu Akışkan Sızıntısı	2957,25	14,50	1443	8,375	3	0,019
Cihaz Ömrü Sonunda Soğutucu Akışkan Sızıntısı	1182,9	5,80	577,2	3,35	1,2	0,008
Endirekt Emisyon(EE)	***15987,315***	***79,7***	***14986,745***	***88,27***	***14950,815***	***99,97***
Soğutucu Akışkan Üretimi	45,925	0,23	29,425	0,17	37,675	0,25
Malzeme Geri Dönüşümü	5,62	0,03	5,62	0,03	5,62	0,03
Malzeme Üretimi	355,6	1,74	355,6	2,06	355,6	2,34
Enerji Tüketimi	13020,39	77,7	12173,42	86,01	12159,07	97,35
LCCP($kgCO_2$)	***17567,49***	***-***	***14584,07***	***-***	***12561,96***	***-***

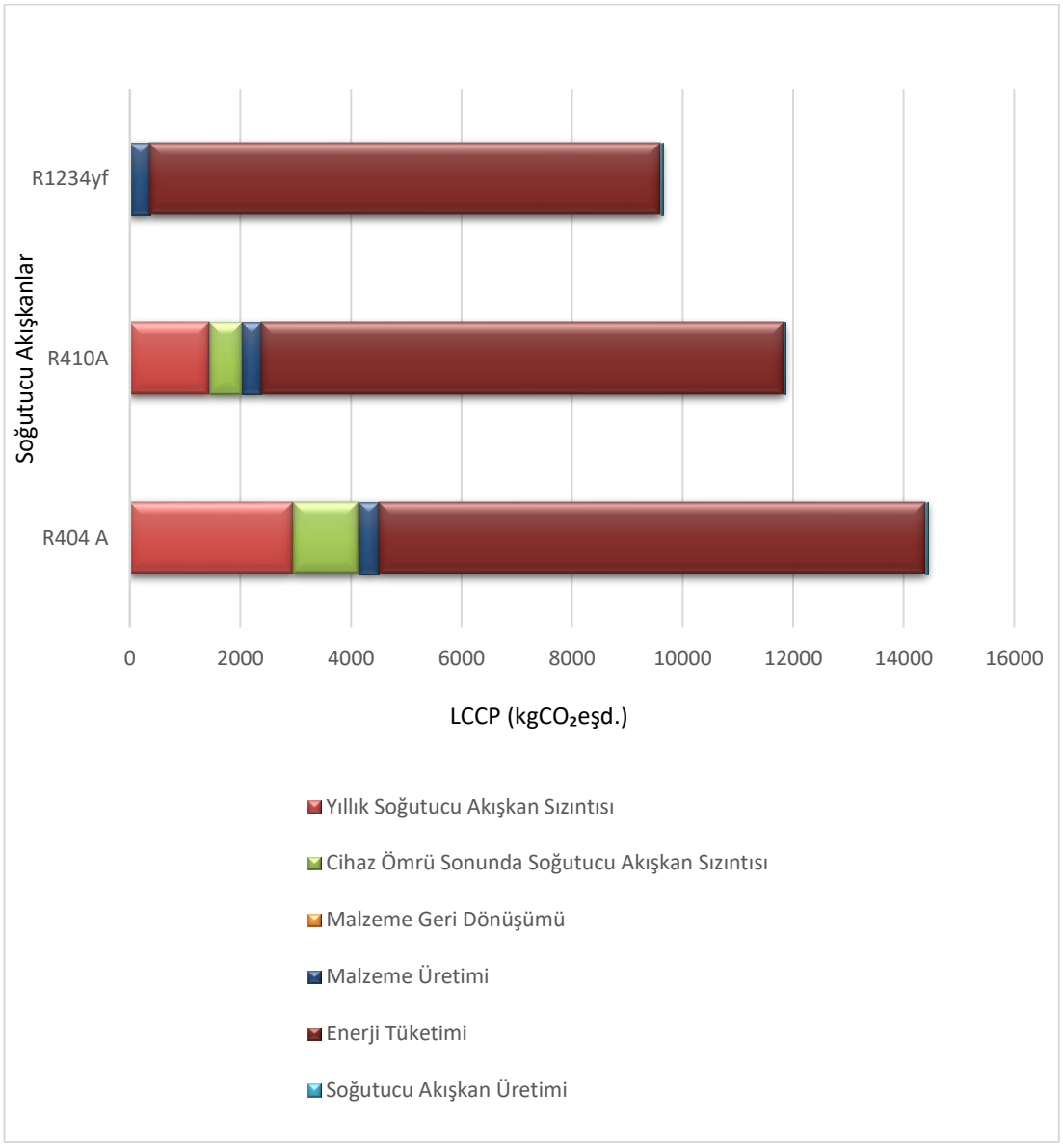
Şekil 5.8. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması analizinin karşılaştırılması (-15°C buharlaşma sıcaklığı için)



Çizelge 5.3. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması analizinin karşılaştırılması (-5°C buharlaşma sıcaklığı için)

EMİSYON SINIFLANDIRMASI	R404 A		R410A		R1234yf	
	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyon aOranı (%)
Direkt Emisyon (DE)	***4140,15***	***20,3***	***2020,2***	***11,725***	***4,2***	***0,044***
Yıllık Soğutucu Akışkan Sızıntısı	2957,25	14,50	1443	8,375	3	0,032
Cihaz Ömrü Sonunda Soğutucu Akışkan Sızıntısı	1182,9	5,80	577,2	3,35	1,2	0,012
Endirekt Emisyon(EE)	***12244,535***	***79,7***	***11695,445***	***88,27***	***11445,985***	***99,96***
Soğutucu Akışkan Üretimi	45,925	0,23	29,425	0,17	37,675	0,391
Malzeme Geri Dönüşümü	5,62	0,03	5,62	0,03	5,62	0,058
Malzeme Üretimi	355,6	1,74	355,6	2,06	355,6	3,691
Enerji Tüketimi	9890,91	77,7	9445,89	86,01	9230,55	95,816
LCCP($kgCO_2$)	***14438,00***	***-***	***11856,73***	***-***	***9633,65***	***-***

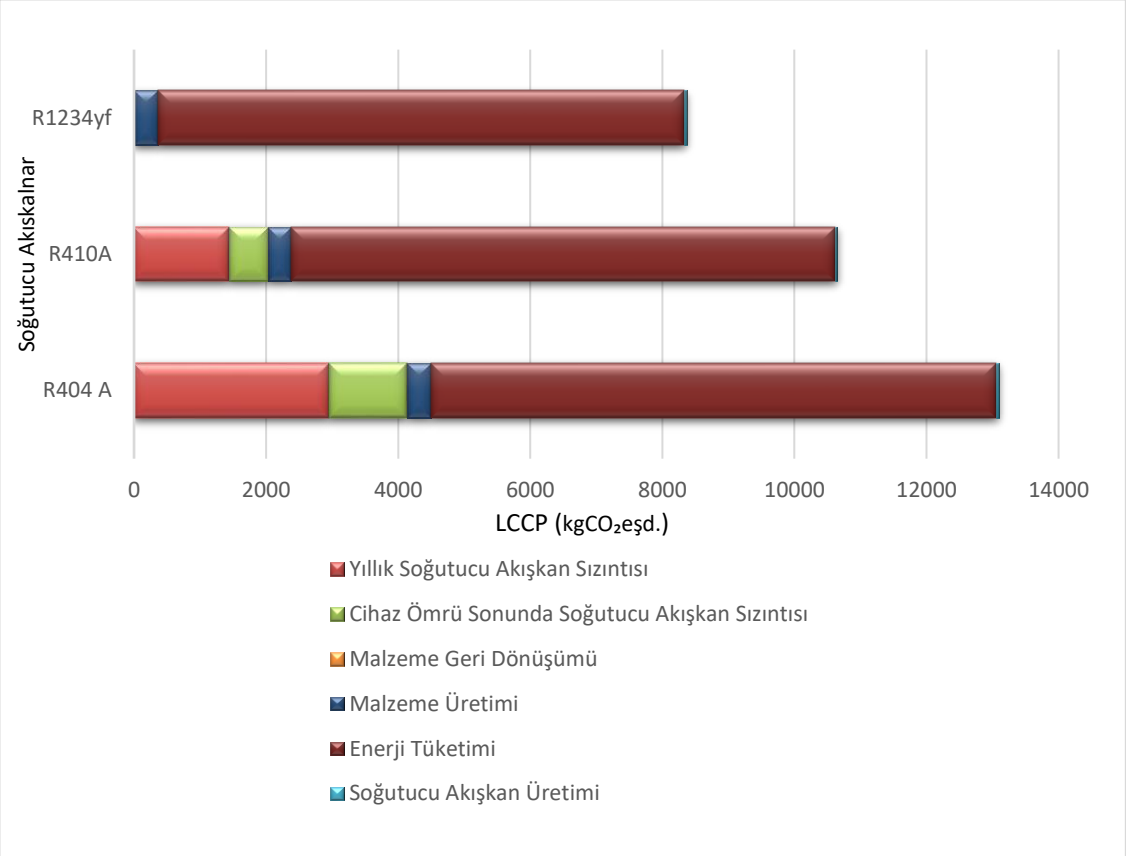
Şekil 5.9. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması analizinin karşılaştırılması (-5°C buharlaşma sıcaklığı için)



Çizelge 5.4. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması analizinin karşılaştırılması (0°C buharlaşma sıcaklığı için)

EMİSYON SINIFLANDIRMASI	R404 A		R410A		R1234yf	
	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)	Emisyon Miktarı ($kgCO_2$eşd.)	Toplam Emisyona Oranı (%)
Direkt Emisyon (DE)	***4140,15***	***20,3***	***2020,2***	***11,725***	***4,2***	***0,050***
Yıllık Soğutucu Akışkan Sızıntısı	2957,25	14,50	1443	8,375	3	0,036
Cihaz Ömrü Sonunda Soğutucu Akışkan Sızıntısı	1182,9	5,80	577,2	3,35	1,2	0,014
Endirekt Emisyon(EE)	***8962,99***	***79,7***	***11695,445***	***88,27***	***11445,985***	***99,950***
Soğutucu Akışkan Üretimi	45,925	0,23	29,425	0,17	37,675	0,450
Malzeme Geri Dönüşümü	5,62	0,03	5,62	0,03	5,62	0,067
Malzeme Üretimi	355,6	1,74	355,6	2,06	355,6	4,248
Enerji Tüketimi	8555,85	77,7	8240,03	86,01	7967,28	95,184
LCCP($kgCO_2$)	***13103,14***	***-***	***10650,87***	***-***	***8370,37***	***-***

Şekil 5.10. Soğutucu akışkanların LCCP analizinin karşılaştırılması analizinin karşılaştırılması (0°C buharlaşma sıcaklığı için)



Çizelge 5.1-5.4 ve Şekil 5.7-5.9'u incelediğimizde R404A soğutucu akışkanının LCCP değeri buharlaşma sıcaklığına göre 13102 kgCO_2eşd. ile 23611 kgCO_2eşd. arasında değişirken, doğrudan emisyon değerleri toplam emisyon içindeki oranı %20.3'den azdır. R410A soğutucu akışkanın LCCP değeri buharlaşma sıcaklığına göre 10650 kgCO_2eşd. ile 19622 kgCO_2eşd. arasında değişirken, doğrudan emisyon değerleri toplam emisyon içindeki oranı %11,7'den azdır. R1234yf soğutucu akışkanın LCCP değeri buharlaşma sıcaklığına göre 8370 kgCO_2eşd. ile 18275 kgCO_2eşd. arasında değişirken, doğrudan emisyon değerleri toplam emisyon içindeki oranı %0,05'den azdır. Bu oran ihmal edilebilir düzeydedir.

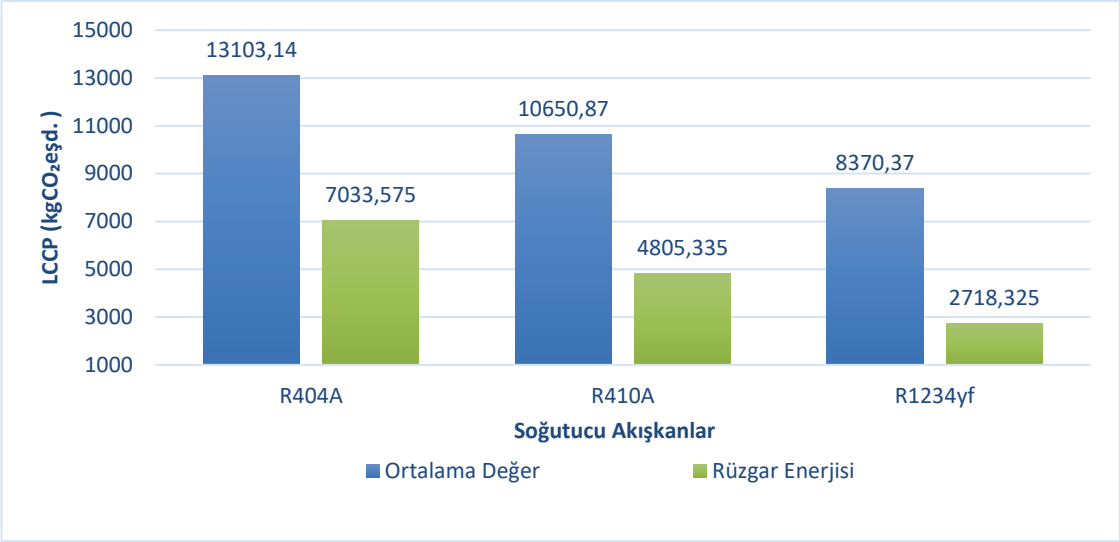
Yapılan analizlerde, buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinde ortaya çıkan toplam emisyon miktarının azaltılması düşük GWP oranına sahip soğutucu akışkanların kullanılması veya kullanılan soğutucu akışkan şarj miktarlarının azaltılması ile yetersiz kalmaktadır. Kullanılan soğutucu akışkanın GWP oranı azaltmak ve şarj

miktarını azaltmak buhar sıkıştırmalı sistemlerdeki direkt emisyon miktarını azaltmaktadır. Kullanılan soğutucu akışkanlar için toplam emisyon değerinin %80'den fazlası dolaylı emisyonlardan oluşmaktadır. Yapılan LCCP analizlerinden görüldüğü üzere buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde en çok emisyon enerji tüketiminden kaynaklandığı görülmektedir. Enerji tüketim miktarı aynı zamanda ülkenin ekonomik ve sosyal gelişimini yansıtan en önemli parametrelerden biridir. Buhar sıkıştırmalı sistemlerinin verimlerinin arttırılması ve kullanılan elektrik enerjisinin çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla dolaylı emisyonlardan kaynaklanan $kgCO_2$eşd. miktarı azaltılabilir.

Diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de elektrik enerjisi üretiminde büyük ölçüde fosil yakıtlar kullanılmaktadır. 2022 yılı verilerine göre Türkiye'de toplam elektrik üretiminde ise sırasıyla %34,6 kömür, %22,2 doğalgaz, %20,6 hidroelektrik enerjisi, %10,8 rüzgâr enerjisi, %4,7 güneş enerjisi , %3,3 jeotermal enerjisi ve %3,7'si diğer kaynaklarından elde edilmiştir[34].

Rüzgâr enerjisi dünyada yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kullanılan en gelişmiş ve ticari anlamda en elverişli enerji kaynağıdır[35]. Türkiye'nin yüzölçümü 784.347 km^2 olup ve sahip olduğu iklim özelikleri nedeniyle önemli bir rüzgâr potansiyeli sahiptir[36].

LCCP analizinde yenilenebilir enerji kaynaklarının dolaylı emisyonlara etkisini göstermek için, soğutma çevrimine gerekli elektrik enerjisini Çizelge 4.6'da bulunan enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisi kullanılmıştır. Rüzgar enerjisinin emisyon değeri 0,1237 $kgCO_2$eşd./kWh olarak alınmıştır. Ortalama alınan emisyon değeri ile rüzgâr enerjisini emisyon değeri mukayese edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 5.11'deki mukayeseye göre, enerji üretiminde rüzgar enerjisi kullanılması durumunda, R404A soğutucu akışkanında %17,79 $kgCO_2$eşd., R410A soğutucu akışkanında %41,68 $kgCO_2$eşd., R1234yf soğutucu akışkanında ise %65,88 $kgCO_2$eşd. azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5.11 Ortalama emisyon değeri ve rüzgâr enerjisi emisyon değerine göre LCCP karşılaştırılması

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir simülasyon programı kullanılarak buhar sıkıştırmalı basit soğutma çevrimi sistemi tasarlanmış, yüksek GWP oranına sahip R404A soğutucu akışkanın artık yeni cihazlarda kullanılamaması üzerine, R404A kıyasla düşük GWP oranına sahip R410A soğutucu akışkanı ve yeni nesil soğutucu akışkan olan R1234yf 'nin enerji, ekserji ve yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- En fazla kompresör gücü R404A, en az R1234yf soğutucu akışkanı tarafından harcanmıştır. -30 ℃ buharlaşma sıcaklığında en yüksek kompresör enerji tüketimine sahip soğutucu akışkan sırasıyla 1,328 kW ile R404A, 1,245 kW ile R1234yf ve 1,199 kW ile R410A'dır. R404A, R1234yf ile kıyaslandığında %6,24 ve R410A ile kıyaslandığında %9,71 oranında daha yüksek kompresör enerji tüketmiştir.
- Buharlaşma sıcaklığı artıkça tüm akışkanların kompresör güç tüketim değerlerinin arttığı görülmüştür.
- Kondenser yüküne en fazla sahip soğutucu akışkan -30°C buharlaşma sıcaklığında sırasıyla R404A, R1234yf ve R410A'dır. Soğutucu akışkanların buharlaşma sıcaklığı arttığında kondenser yük miktarında azalma meydana gelmiştir. Kondenserin yoğuşma sıcaklığı arttığında kompresörün sıkıştırma oranı artacağından ve sistemde dolaşan akışkanın debisi düşeceğinden soğutma kapasiteside kısmen azalacaktır.
- Isıtma ve soğutma performans katsayısı (COP) değerlerinde -30°C buharlaşma sıcaklığında R410A, -15°C ile 0°C buharlaşma sıcaklığı aralığında ise R1234yf soğutucu akışkanı en yüksek enerji performans katsayısına sahiptir. Buharlaşma sıcaklığı arttıkça soğutucu akışkanların ısıtma ve soğutma performans katsayısı artmaktadır.

- Buharlaşma sıcaklığı ile soğutma ve ısıtma performans katsayılarının doğru orantılı, kompresör enerji tüketiminin ise ters orantılı olduğu görülmektedir.
- -30°C buharlaşma sıcaklığında ekserji verimi en yüksek R410A iken -15°C ile 0°C buharlaşma sıcaklıklığı aralığında R1234yf soğutucu akışkanın ekserji verimi en yüksektir.
- COP değeri yüksek olan soğutucu akışkanın ekserji verimide yüksek olmaktadır.
- Ekserji verimi en düşük soğutucu akışkan R404A'dır. R404A soğutucu akışkanın ekserji verimi, R1234yf ile R410A soğutucu akışkanlarından yaklaşık olarak % 6,6 daha düşüktür.
- Tüm sistemlerin toplam ekserji yıkımı en düşük -30°C'de R1234yf, ardından R410A ve R404A'da gerçekleşmiştir. Buharlaşma sıcaklığının azalmasıyla birlikte sistemin ekserji yıkımıda artmaktadır. Ekserji yıkımı buharlaşma sıcaklığı ile ters orantılıdır.
- Yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) analizinde tüm soğutucu akışkanların doğrudan emisyon değerleri toplam emisyon içerisindeki değeri R404A yaklaşık %20, R410A'nın yaklaşık %12, R1234yf'nin ise yaklaşık olarak %1'den azdır, soğutucu akışkanların toplam emisyon değerinin %80'den fazlası dolaylı emisyonlardan kaynaklanmaktadır.
- Buharlaşma sıcaklıklarında en yüksekten emisyon değerine sahip soğutucu akışkanlar R404A'dır. Ardından sırayla R410A ve R1234yf gelmektedir.
- -30°C buharlaşma sıcaklığında R404A, R410A ile kıyaslandığından yaklaşık olarak %17 oranında $kgCO_2$eşd. emisyon miktarında azalma, R1234yf ile kıyaslandığında yaklaşık %23 oranında $kgCO_2$eşd. emisyon miktarında azalma söz konusudur.
- -15°C buharlaşma sıcaklığında R404A, R410A ile kıyaslandığında yaklaşık %17 oranında $kgCO_2$eşd. emisyon miktarında azalma, R1234yf ile kıyaslandığında yaklaşık %29 oranında $kgCO_2$eşd., emisyon miktarında azalma söz konusudur.
- -5 °C buharlaşma sıcaklığında R404A, R410A ile kıyaslandığında yaklaşık %18 oranında $kgCO_2$eşd. emisyon miktarında azalma, R1234yf ile

kıyaslandığında ise yaklaşık %34 oranında $kgCO_2$eşd., emisyon miktarında azalma söz konusudur.

- 0°C buharlaşma sıcaklığında ise R404A, R410A ile kıyaslandığında yaklaşık %19 oranında $kgCO_2$eşd. emisyon miktarında azalma, R1234yf ile kıyaslandığında yaklaşık %36 oranında $kgCO_2$eşd., emisyon miktarında azalması söz konusudur.
- 0°C buharlaşma sıcaklığı ve 50°C kondenser sıcaklığı sabit tutulduğu bir LCCP analizi ile ortalama emisyon değeri ve rüzgar enerjisi emisyon değeri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. R404A soğutucu akışkan parametrelerinde rüzgar enerjisi emisyon değeri, ortalama emisyon değerinden yaklaşık %18 oranında, R410A soğutucu akışkan parametreleri yaklaşık %42 oranında, R1234yf'de ise yaklaşık %66 oranında bir $kgCO_2$eşd. emisyon azalması söz konusudur.

Dolaylı emisyonların neredeyse tamamı soğutma sistemindeki kompresörün enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Düşük şarj miktarı ve düşük GWP oranına sahip soğutucu akışkanlar kullanımı ile birlikte sisteminin verimliliğini arttırılması ve kompresörü çalıştırmak için gerekli olan elektrik enerjisinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları gibi çevre dostu enerji kaynaklarının kullanılması gerekir.

Sonuç olarak, R404A, R410A ve R1234yf soğutucu akışkanları enerji, ekserji ve LCCP analiz sonuçlarına göre R404A ile çalışan sistemlerde alternatif soğutucu akışkan olarak R410A veya R1234yf soğutucu akışkanı soğutma sistemlerinde gerekli düzenleme ve uygun ekipman seçimi kullanılabilir. Ancak GWP oranı göz önüne alındığında yeni nesil soğutucu akışkan olan R1234yf kullanılması daha yararlı olacaktır.

İlerleyen çalışmalarda benzer veya farklı soğutucu akışkanlar kullanılarak farklı çalışma koşulları altında ısıtma veya soğutma sistemlerinde enerji, ekserji ve LCCP analizleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Özkol, N., "Uygulamalı Soğutma Tekniği", ***TMMOB Makina Mühendisleri Odası***, 49–521 (2004).
2. Hepbasli, A., "Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies", ***Renewable And Sustainable Energy Reviews***, 16 (1): 73–104 (2012).
3. Kharseh, M., Altorkmany, L., Al-Khawaj, M., and Hassani, F., "Warming impact on energy use of HVAC system in buildings of different thermal qualities and in different climates", ***Energy Conversion And Management***, 81: 106–111 (2014).
4. Keogh, A., "Soğutucu Akışkan Seçimi ve Su Soğutma Grubu Tasarımı Paket Tip Su Soğutma Gruplarında R410A Kullanımı", ***Teknik Bülten***, (4): 1–10 (2005).
5. López-Belchí, A., "Assessment of a mini-channel condenser at high ambient temperatures based on experimental measurements working with R134a, R513A and R1234yf", ***Applied Thermal Engineering***, 155: 341–353 (2019).
6. Calm, J. M., "The next generation of refrigerants - Historical review, considerations, and outlook", ***International Journal Of Refrigeration***, 31 (7): 1123–1133 (2008).
7. Bilen, K. and Demir, O., "Hava, Su ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Farklı Soğutucu Akışkanlar için Enerji ve Ekserji Analizi", ***El-Cezerî Fen Ve Mühendislik Dergisi***, 8 (2): 668–705 (2021).
8. Berk, U., "R422A Ve R424A Soğutucu Akişkanlariyla Çalişan Bir Soğutma Sisteminin Deneysel Incelenmesi", ***Dicle Üniversitesi***, (2019).
9. Ender, S., "R404A Soğutucu Akışkanı Kullanan Sistemlerde R442A Ve R453A Soğutucu Akışkanları Kullanılarak Sistem Verimlerinin Arttırılması", ***Dicle Üniversitesi***, (2018).
10. Kılıç, B. and Arabacı, E., "Lpg (R1270-Propilen) Soğutucu Akışkan Kullanılan Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sisteminin Enerji Analizi", ***MAKÜ-Uyg. Bil. Derg***, 2 (2): 75–81 (2018).

11. Yıldız, A. and Yıldırım, R., "R134a'ya Alternatif Bir Soğutucu Akışkan (R513A) Kullanan Buhar Sıkıştırmalı Soğutma Sistemlerinin Enerji ve Çevresel Analizi", ***Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi***, 8 (3): 1817–1828 (2020).
12. Choi, S., Jung, Y., Kim, Y., Lee, H., and Hwang, Y., "Environmental effect evaluation of refrigerator cycle with life cycle climate performance", ***International Journal Of Refrigeration***, 122: 134–146 (2021).
13. Lee, M., Kim, J., Shin, H. H., Cho, W., and Kim, Y., "CO2 emissions and energy performance analysis of ground-source and solar-assisted ground-source heat pumps using low-GWP refrigerants", ***Energy***, 261: (2022).
14. Wan, H., Cao, T., Hwang, Y., Radermacher, R., and Chin, S., "Comprehensive investigations on Life Cycle Climate Performance of unitary air-conditioners", ***International Journal Of Refrigeration***, 129: 332–341 (2021).
15. Choi, S., Oh, J., Hwang, Y., and Lee, H., "Life cycle climate performance evaluation (LCCP) on cooling and heating systems in South Korea", ***Applied Thermal Engineering***, 120: 88–98 (2017).
16. Menlik, T., Demircioğlu, A., and Özkaya, M. G., "Energy and exergy analysis of R22 and its alternatives in a vapour compression refrigeration system", ***International Journal Of Exergy***, 12 (1): 11–30 (2013).
17. Ergün, A., Gürel, A. E., and Ceylan, İ., "Ticari Soğutma Sistemlerinde R22 Akışkanının Alternatifi Olarak R438A ve R417A Akişkanlarinin Performansının İncelenmesi", ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji***, 6(4): 824–833 (2018).
18. Özgür, A. E., "HFC-134a ve Alternatifi Soğutkanların (HFO-1234yf ve HFO-1234ze) Soğutma Çevrimi Performansı Açısından Karşılaştırması", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.***, 28 (3): 465–472 (2013).
19. Bobbo, S., Fedele, L., Curcio, M., Bet, A., De Carli, M., Emmi, G., Poletto, F., Tarabotti, A., Mendrinos, D., Mezzasalma, G., and Bernardi, A., "Energetic and Exergetic Analysis of Low Global Warming Potential Refrigerants as Substitutes for R410A in Ground Source Heat Pumps", ***Energies***, 12 (3538): 1–16 (2019).
20. Leck, T. J., "New High Performance , Low GWP Refrigerants for Stationary AC and Refrigeration", ***International Refrigeration And Air Conditioning***

Conference, 2160 (1032): 1–8 (2010).

21. Halil, Tuzcu, and Güngör, A., "Süpermarket Soğutma Sistemleri ve Enerji Verimliliğinin Artırılması Amaçlı İzmir'de Bir Süpermarket Soğutma Sisteminin İncelenmesi", (2013).
22. Çengel, Y. A., Boles, M. A., and Pınarbaşı, A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", Güven Bili. Ed., ***Palme***, (2011).
23. Yilmaz, F. and Tosun, C., "Düşük küresel ısınma potansiyeline sahip hfo-1234ze akışkanın termodinamik analizi", ***Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 30 (5): 308–313 (2014).
24. Tansel, K., Koyun, A., and Acar, M., "Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri", ***Tesisat Mühendisliği Dergisi***, (88): 43–53 (2005).
25. Arora, P., Seshadri, G., and Tyagi, A. K., "Fourth-generation refrigerant: HFO 1234yf", ***Current Science***, 115 (8): 1497–1503 (2018).
26. Ciconkov, R., "Refrigerants: There is still no vision for sustainable solutions", ***International Journal Of Refrigeration***, 86: 441–448 (2018).
27. Internet: T.C Çevre, Ş. ve İ. D. B., "Ozon Tabakası Bilgi Platformu", **https://ozonturkiye.csb.gov.tr/ozon-tabakasi-bilgi-platformu-i-101959** (2023).
28. Çomaklı, K., Şimşek, F., Özyurt, Ö., and Bakırcı, K., "Soğutma/ısıtma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve alternatifleri", ***Mühendis Ve Makina***, 47 (562): 33–45 (2006).
29. "İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Montreal Protokolü", **http://iklim.cob.gov.tr/iklim/ AnaSayfa/montrealptotokolu** (2016) .
30. Bulgurcu, H., İsa, K., and Onat, A., "Florlu gazlar ile ilgili Avrupa Birliği Düzenlemeleri: F-Gaz Yönetmeliği", ***1. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu (İKSES 2012)***, 1–10 (2012).
31. Yakut Andaç, "Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkilerinin Azaltılması ve Alternatif Akışkan R-32 Hakkındaki Son Gelişmeler", (2016).
32. International Institute of Refrigeration, I.-I. (IIR) and Y., H., "Guideline for Life Cycle Climate Performance", (2016).
33. Internet: Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktasi Emisyon Faktörleri Bilgi Formu",

enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/Ç (2023).

34. Internet: T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Elektrik", **https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik** (2023).
35. Albostan, A., Çekiç, Y., Levent EREN, V., Sistemleri Müh, E., Fakültesi, M., Üniversitesi, B., Cd, Ç., Müh, M., and Müh, E.-E., "Rüzgar Enerjisinin Türkiye'nin Enerji Arz Güvenliğine Etkisi", ***Cilt***, 24 (4): 641–649 (2009).
36. Erdogdu, E., "On the wind energy in Turkey", ***Renewable And Sustainable Energy Reviews***, 13 (6–7): 1361–1371 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Merve ÖZER ŞİMŞEK ilk ve orta öğrenimini Ankara ilinde tamamladı. Mehmet Rüştü Uzel Kimya Teknik Lisesinden mezun oldu. 2012 yılında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Lisans eğitimine başladı. 2016 yılında onur derecesi ile mezun oldu. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda eğitime başladı. Özel sektörde çeşitli firmalarda çalıştıktan sonra 2021 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nda çalışmaya başladı ve aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.