



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARDA FARKLI
SOĞUTUCU AKIŞKAN KULLANIMININ
İNCELENMESİ: LCCP VE TEWI ANALİZİ**

Melis ÖDER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Melis ÖDER tarafından hazırlanan “TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARDA FARKLI SOĞUTUCU AKIŞKAN KULLANIMININ İNCELENMESİ: LCCP VE TEWI ANALİZİ” adlı tez çalışması 30/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ulaş ATMACA

.....

Danışman

Doç. Dr. Adnan BERBER

.....

Üye

Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Melis ÖDER

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARDA FARKLI SOĞUTUCU AKIŞKAN KULLANIMININ İNCELENMESİ: LCCP VE TEWI ANALİZİ

Melis ÖDER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adnan BERBER

2024, 59 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Adnan BERBER
Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN
Dr. Öğr. Üyesi Ulaş ATMACA

Bu tez çalışması kapsamında teşhir tipi soğutucularda kullanılan farklı çeşitteki soğutucu akışkanların termodinamik performansı ve çevresel etkileri açısından yapılan değerlendirmeleri içermektedir. Çalışmada, teşhir tipi soğutucularda kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 beş farklı soğutucu akışkanın kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Termodinamik analizler, Danfoss Coolselector2 programından belirlenen sınır şartlarıyla teşhir tipi bir soğutucuda farklı çeşitte soğutucu akışkan kullanımıyla kompresör güçleri, soğutma performans katsayıları ve ikinci yasa verimleri hesaplanmıştır. Kompresör güç tüketimleri karşılaştırıldığında doğal bir soğutucu akışkan olan R290 R404A'ya göre %11,34, R410A'ya göre %8,30, R134A'ya göre %5,75, R1234yf'e göre %2,69 oranında daha az kompresör gücüne sahip olduğu görülmüştür. COP değerleri karşılaştırıldığında ise R290 soğutucu akışkanı R404A soğutucu akışkanına göre %11,40, R410A'ya göre %9,10, R134A'ya göre %5,95, R1234yf'e göre %2,09 oranında daha fazla soğutma performansına sahip olduğu bulunmuştur. İkinci yasa verimlilik sonuçlarına göre R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanları için sırasıyla %47,71, %48,95, %50,65, %52,73 ve %53,85 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, R290 soğutucu akışkanın diğer akışkanlara kıyasla daha düşük kompresör gücü tükettiğini, daha yüksek soğutma performansı ve daha yüksek verimlilik gösterdiğini ortaya koymuştur. Çevresel etkilerin değerlendirilmesi için yapılan LCCP (Yaşam Döngüsü İklim Performansı) analizi, soğutucu akışkanların üretiminden bertarafına kadar olan süreçte toplam sera gazı emisyonlarını hesaba katmaktadır. R290 soğutucu akışkanı R404A'ya göre %40,61, R410A'ya göre %34,03, R134A'ya göre %27,63, R1234yf'e göre %13,3 oranında daha az LCCP değeri hesaplanmış olup aralarında çevreye en az zararı olan R290 soğutucu akışkanı olarak gözlemlenmiştir. Yüksek küresel ısınma potansiyeli değerlerine sahip R404A, R410A ve R134A gibi akışkanların, düşük küresel ısınma potansiyeli değerlerine sahip R1234yf ve R290'a göre daha yüksek LCCP değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. TEWI (Toplam Eşdeğer Isınma Etkisi) analizi ise, doğrudan ve dolaylı emisyonları dikkate alarak akışkanların küresel ısınma potansiyellerini değerlendirir. TEWI değerleri R290 soğutucu akışkanı R404A'ya göre %45,96, R410A'ya göre %39,10, R134A'ya göre %32,22 ve R1234yf'e göre %16 oranında emisyon değeri daha düşük çıkmıştır. Bu analizler, R404A, R410A ve R134A gibi yüksek küresel ısınma potansiyeli değerlerine sahip akışkanların genellikle daha yüksek TEWI değerlerine sahip olduğunu, buna karşın R1234yf ve R290 gibi düşük KIP değerlerine sahip akışkanların daha düşük TEWI değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bu çalışma teşhir tipi soğutucular için en uygun soğutucu akışkanın belirlenmesine yönelik kapsamlı bir analiz sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: LCCP, TEWI, teşhir tipi soğutucular, soğutucu akışkanlar, soğutma sistemleri

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF DIFFERENT REFRIGERANTS IN REFRIGERATED DISPLAY CABINETS: LCCP AND TEWI ANALYSIS

Melis ÖDER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Associate Professor Adnan BERBER

2024, 59 Pages

Jury

**Associate Professor Dr. Adnan BERBER
Associate Professor Dr. Aziz Hakan ALTUN
Asst. Prof. Dr. Ulaş ATMACA**

This thesis evaluates the thermodynamic performance and environmental impacts of different types of refrigerants used in refrigerated display cabinets. The study focuses on the use of five different refrigerants such as R404A, R410A, R134A, R1234yf and R290 used in refrigerated display cabinets. Thermodynamic analyses, compressor powers, cooling performance coefficients and second law efficiencies were calculated by using different types of refrigerants in a refrigerated display cabinets with boundary conditions determined from Danfoss Coolselector2 program. When the compressor power consumption is compared, it is seen that R290, a natural refrigerant, has %11,34 less compressor power than R404A, %8,30 less than R410A, %5,75 less than R134A and %2,69 less than R1234yf. When COP values are compared, it is found that R290 refrigerant has %11,40 more cooling performance than R404A refrigerant, %9,10 more than R410A, %5,95 more than R134A and %2,09 more than R1234yf. According to the second law efficiency results, it was calculated as %47,71, %48,95, %50,65, %52,73 and %53,85 for R404A, R410A, R134A, R1234yf and R290 refrigerants, respectively. The results show that R290 refrigerant consumes less compressor power, has higher cooling performance and higher efficiency compared to other refrigerants. The LCCP (Life Cycle Climate Performance) analysis for assessing environmental impacts takes into account total greenhouse gas emissions from the production of refrigerants to their disposal. R290 refrigerant has a LCCP value of 40,61% less than R404A, %34,03 less than R410A, %27,63 less than R134A, %13,3 less than R1234yf and R290 is the least environmentally harmful refrigerant among them. Fluids with high global warming potential values such as R404A, R410A and R134A were found to have higher LCCP values than R1234yf and R290 with low global warming potential values. TEWI (Total Equivalent Warming Impact) analysis evaluates the global warming potential of fluids by considering direct and indirect emissions. TEWI values of R290 refrigerant were %45,96 lower than R404A, %39,10 lower than R410A, %32,22 lower than R134A and %16 lower than R1234yf. Whereas fluids with low global warming potential values such as R1234yf and R290 have lower TEWI values. In conclusion, this study presented a comprehensive analysis to determine the most suitable refrigerant for refrigerated display cabinets.

Keywords: Cooling systems, LCCP, TEWI, refrigerated display cabinets, refrigerants

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın hazırlığında bana başından sonuna dek yardımcı olan ve yönlendiren sayın danışmanım Doç. Dr. Adnan Berber'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda soğutma sistemleri ile ilgili bilgi birikimimin oluşmasına yardımcı olan Nurdil Teknik Soğutma A.Ş. Test Odaları Müdürü Süleyman Erten'e teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca her zaman maddi ve manevi her türlü yanımda olan, yüksek lisansa başlamamdan bitirmeme kadarki süreçte her zaman destek olan canım annem Yeşim Öder'e ve canım babam Mustafa Öder'e teşekkür ederim.

Melis ÖDER
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Soğutma sistemi ekipmanları	16
3.1.1.1. Kompresör	17
3.1.1.2. Yoğuşturucu (Kondenser)	18
3.1.1.3. Genleşme elemanı	18
3.1.1.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör)	20
3.1.1.5. Kurutucu filtre.....	21
3.1.2. Soğutucu akışkanlar	21
3.1.2.1. Hidrokarbonlar (HC).....	21
3.1.2.2. Kloroflorokarbonlar (CFC).....	22
3.1.2.3. Hidrofloroolefin (HFO)	22
3.1.2.4. Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)	22
3.1.2.5. Hidroflorokarbonlar (HFC).....	22
3.1.3 Soğutucu Akışkanların Yanıcılık ve Zehirlilik Sınıfları.....	27
3.2. Yöntem.....	28
3.2.1. Termodinamik analiz	28
3.2.2. LCCP analizi	30
3.2.3. TEWI analizi	33
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Termodinamik Analiz Sonuçları.....	34
4.2. LCCP Analiz Sonuçları	38
4.3. TEWI Analiz Sonuçları	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
5.1 Sonuçlar	46
5.2 Öneriler	48
KAYNAKLAR	50

EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	59



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

h	Entalpi (kJ/kg)
L	Ekipmanın ortalama ömrüdür (yıl)
m	TTS'nin kütlesi (kg)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
T_L	Düşük sıcaklık (K)
T_H	Yüksek sıcaklık (K)
\dot{Q}_c	Yoğuşurucu kapasitesi (kJ/s)
\dot{Q}_e	Buharlaştırıcı kapasitesi (kJ/s)
\dot{W}_c	Kompresör kapasitesi (kJ/s)
η	İkinci yasa verimi (%)

Kısaltmalar

Adp. KIP	Soğutucu akışkanın atmosferik ayrışma ürününün KIP değeri
AEC	Yıllık Enerji Tüketimi
ALR	Yıllık soğutucu akışkan sızıntı oranı
C	Soğutucu akışkanın şarj miktarı
CFC	Kloroflorokarbonlar
COP	Soğutma performans katsayısı
EM	Elektrik üretim emisyonu
EOL	Cihaz ömrü sonundaki soğutucu akışkan sızıntı oranı
HCFC	Hidrokloroflorokarbonlar
HFC	Hidroflorokarbonlar
HFO	Hidrofloroolefin
KIP	Küresel ısınma potansiyeli
LCCP	Yaşam döngüsü iklim performansı
MM	Malzeme üretim emisyonu
MR	Geri dönüştürülmüş malzemenin kütlesi
TTS	Teşhir tipi soğutucu
TEWI	Toplam eşdeğer ısınma etkisi
ODP	Ozon delme potansiyeli
RM	Geri dönüştürülmüş malzeme
RFD	Soğutucu akışkanın bertaraf emisyonları
RFM	Soğutucu akışkan üretim emisyonları

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ

Şekiller

Şekil 3.1. Teşhir tipi soğutucu şematik gösterimi.....	13
Şekil 3.2. Teşhir tipi soğutucu (Anonim a, 2024).....	14
Şekil 3.3. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi	14
Şekil 3.4. LogP-h diyagramı	15
Şekil 3.5. T-s diyagramı.....	16
Şekil 3.6. Hermetik tip kompresöre ait görünüm (Anonim c, 2024)	17
Şekil 3.7. Yoğuşturucu (Anonim d, 2024).....	18
Şekil 3.8. Kılcal boru (Anonim f, 2024).....	19
Şekil 3.9. Termostatik genişleme valfi (Anonim g, 2024).....	19
Şekil 3.10. Elektronik genişleme valfi (Anonim h, 2024)	20
Şekil 3.11. Buharlaştırıcı (Anonim ı, 2024).....	20
Şekil 3.12. Kurutucu filtre (Anonim i, 2024)	21
Şekil 3.13. R404A soğutucu akışkanı (Anonim k, 2024)	24
Şekil 3.14. R410A soğutucu akışkanı (Anonim l, 2024)	25
Şekil 3.15. R134A soğutucu akışkanı kimyasal gösterimi (Anonim n, 2024).....	25
Şekil 3.16. R1234yf soğutucu akışkanı kimyasal gösterimi (Anonim o, 2024)	26
Şekil 3.17. R290 soğutucu akışkanı kimyasal gösterimi (Anonim ö, 2024)	26
Şekil 3.18. Soğutucu akışkan yanıcılık ve zehirlilik sınıf tablosu	28
Şekil 3.19. LCCP analizi detaylı bilgi tablosu (International Institute of Refrigeration, 2016)	30
Şekil 3.20. TEWI analizi detaylı bilgi tablosu.....	33
Şekil 4.1. Kompresör güç tüketimi grafiği	35
Şekil 4.2. COP grafiği.....	36
Şekil 4.3. İkinci yasa verimlilik grafiği	37
Şekil 4.4. LCCP analizi doğrudan emisyonlar grafiği	39
Şekil 4.5. LCCP analizi dolaylı emisyonlar grafiği	40
Şekil 4.6. LCCP analizi sonuç grafiği.....	41
Şekil 4.7. TEWI analizi doğrudan emisyonlar sonuç grafiği.....	43
Şekil 4.8. TEWI analizi dolaylı emisyonlar sonuç grafiği.....	44
Şekil 4.9. TEWI analizi sonuç grafiği.....	45

Çizelgeler

Çizelge 3.1. Soğutucu akışkan özellik tablosu (Anonim j, 2024).....	23
Çizelge 3.2. Soğutucu akışkan yanıcılık sınıf tablosu (Özcan ve Arcaklıoğlu, 2011). ..	27
Çizelge 3.3. TTS için yapılan kabuller	28
Çizelge 3.4. KIP ve adp. KIP değerleri (International Institute of Refrigeration, 2016) 31	
Çizelge 3.5. Süpermarket sistemleri olan TTS'ler için L, ALR ve EOL değerleri (International Institute of Refrigeration, 2016).....	32
Çizelge 3.6. Üretim emisyonları (International Institute of Refrigeration, 2016)	32
Çizelge 3.7. Geri dönüştürülmüş malzeme üretim emisyonları (International Institute of Refrigeration, 2016).....	32
Çizelge 3.8. Malzemelerin geri dönüştürüldüğünde ortaya çıkardıkları emisyonlar (International Institute of Refrigeration, 2016).....	33

1. GİRİŞ

Günümüzde, iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik kavramları, endüstriyel ve teknolojik gelişimlerin biçimlenmesinde belirleyici etmenler olarak öne çıkmaktadır. Bu dönüşüm, enerji verimliliği ve çevre dostu teknolojilere yönelik bir odaklanma sağlayarak, birçok sektörde temel bir öncelik haline gelmiştir. Özellikle soğutma sistemleri, endüstriyel tesislerden ticaret alanlarına ve ev kullanımlarına kadar geniş bir yelpazede yaygın olarak kullanılan kritik teknolojik sistemlerinden biridir. Bu sistemlerin performansının artırılması, enerji tüketiminin optimize edilmesi ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi, sürdürülebilir bir geleceğe geçiş sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

Soğutma sistemleri, enerji yoğunluğu ve çevresel etkileri nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir. Artan enerji talepleri, geleneksel soğutma sistemlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini daha da vurgulamaktadır. Bu bağlamda, araştırmacıları ve mühendisleri, soğutma sistemleri alanında sürdürülebilir ve çevre dostu çözümler üzerine yoğunlaşmaya yönlendirmiştir. Bu çözümler hem enerji verimliliğini artırmak hem de çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla farklı doğal soğutucu akışkan kullanımını ve soğutma sistemleri tasarım stratejileri üzerine yapılan çalışmaları içermektedir.

Soğutma teknolojilerindeki bu odak değişimi, çeşitli sektörlerde sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini hızlandırmaktadır. Özellikle perakende sektöründe kullanılan Teşhir Tipi Soğutucular (TTS), ürün sergileme ve koruma amacıyla kritik bir rol oynamaktadır. TTS'ler, genellikle perakende sektöründe kullanılan bir soğutma cihazı türüdür. Temel amacı, satışa sunulan ürünleri sergilemek ve müşterilere çekici bir şekilde sunarak ürünlerin taze kalmasını sağlamaktır. Bu tip soğutucular genellikle marketler, süpermarketler, bakkallar, pastaneler ve benzeri ticari alanlarda kullanılır.

Teşhir tipi soğutucular, içerisinde yiyecek ve içecek ürünlerini sergilemek için tasarlanmıştır. Bu sayede müşteriler, ürünleri görerek seçebilirler. Bu soğutucular genellikle içerisinde birçok raf, aydınlatma sistemi ve kontrol mekanizmalarını barındırır. Ayrıca, ürünlerin tazeliklerini korumak amacıyla genellikle özel soğutma sistemleri kullanılır.

Teşhir tipi soğutucular, özellikle süpermarket, büfe ve bakkallarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip soğutucular, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından optimize edilmeye çalışılarak, modern soğutma teknolojilerinin gelişimine paralel olarak çeşitlenmiş ve iyileştirilmiştir.

Bu nedenle, teşhir tipi soğutucularda kullanılan soğutucu akışkanların seçimi ve sistem tasarım stratejilerinin değerlendirilmesi, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir araştırma alanı olmuştur. Yapılan araştırmalar, marketlerde tercih edilen teşhir tipi soğutucuların, bu işletmelerin enerji tüketiminin %50 ila %70 arasında önemli bir payını oluşturduğunu göstermektedir (Faramarzi, 1999).

Teşhir tipi soğutucular, perakende sektöründe ürün sergileme amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olup, bu sistemlerin çevresel etkileri ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri büyük önem taşımaktadır. Soğutma sistemlerinin tasarımında ve işletilmesinde kullanılan soğutucu akışkanların seçimi, sadece enerji tüketimi üzerinde değil, aynı zamanda maliyetler, güvenilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik bir faktördür. Bu nedenle, düşük karbonlu soğutucu akışkanların ve çevresel etkilerin analiz edilmesi, sürdürülebilir soğutma sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir adım olarak kabul edilmektedir.

Modern endüstrilerde, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik, teknolojik gelişmelerin belirleyici unsurları olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, soğutma sistemleri, enerji tüketimi ve çevresel etkileri açısından kritik bir öneme sahip teknolojik bileşenlerdir. Soğutma sistemlerinin işleyişinde temel bir rol oynayan soğutucu akışkanlar, bu sistemlerin performansını, enerji verimliliğini ve çevresel etkilerini belirleyen önemli bir faktördür.

Soğutucu akışkanlar, sıvı veya gaz halindeki özel kimyasal bileşenlerden oluşan maddelerdir ve bir soğutma sistemini çalıştırmak, ısı transferini sağlamak ve istenilen sıcaklık aralığını korumak için kullanılırlar. Soğutucu akışkanların seçimi, kullanılacak soğutma sistemlerinin verimliliği, enerji tüketimi, maliyetleri ve çevresel etkileri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yeni nesil soğutucu akışkanlarda aranan temel özellikler, düşük Ozon Delme Potansiyeli (ODP), düşük Küresel Isınma Potansiyeli (KIP), yüksek verimlilik ve güvenli kullanım sağlama kapasitesidir.

Bu nedenle, buhar sıkıştırımlı sistemlerde alternatif veya yeni nesil soğutucu akışkanların kullanılması, giderek artan bir öneme sahiptir.

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle çeşitli soğutma sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Son dönemde iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin kullanımındaki artış, soğutucu akışkan tüketiminde bir artışa neden olmuştur. Küresel ısınma ve sera etkisi gibi çevresel endişeler, alternatif soğutucu akışkanların önemini artırmıştır. Soğutucu akışkanlarda aranan özellikler genellikle düşük KIP ve düşük ODP gibi faktörlere dayanmaktadır (Keogh, 2005).

Sera gazlarının büyük bir kısmı, antropojenik faaliyetlere veya endüstriyel ve ticari süreçlerden kaynaklanan emisyonlara dayanmaktadır, özellikle fosil yakıtların yakılması gibi. Buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimleri, bu emisyonlara önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu sistemlerin ölçülen doğrudan emisyonları, Hidroflorokarbonların (HFC), Kloroflorokarbonların (CFC) veya Hidrokloroflorokarbonların (HCFC) kazara salınımı veya sızıntılarından kaynaklanan eşdeğer toplam CO₂ miktarının %20 oranında doğrudan emisyonlardaki paya sahiptir. Geri kalan %80'i ise atmosfere, fosil yakıtların yakılması için gereken elektrik enerjisiyle ilgili dolaylı emisyonlarına denk gelmektedir (Coulomb ve ark, 2015).

Bu tez çalışmasında, soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların çeşitliliği, bu akışkanların özellikleri ve çevresel etkileri üzerine odaklanılacaktır. Yaşam Döngüsü İklim Performansı (LCCP) ve Toplam Eşdeğer Isınma Etkisi (TEWI) analiz yöntemleri, farklı soğutucu akışkanların kullanımının çevresel etkilerini üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında Hidroflorokarbon (HFC) grubuna ait R404A, R410A, R134A; Hidrofloroolefin (HFO) grubuna ait R1234yf ve doğal soğutucu akışkan olan R290 (Propan) soğutucu akışkanlarının kullanıldığı Teşhir Tipi Soğutucunun LCCP ve TEWI analizleri gerçekleştirilmiştir. LCCP analizi, soğutucu akışkanların üretiminden kullanımına ve atılma süreçlerine kadar olan ömrü boyunca sera gazı emisyonlarını değerlendirirken, TEWI analizi, enerji verimliliği ve doğrudan gaz emisyonlarından kaynaklanan ısınma potansiyeli üzerine odaklanılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasının ana hedefini oluşturan LCCP ve TEWI analizleri ile ilgili literatür taramaları yapılmıştır.

Wang ve ark. (2013) LCCP endeksi bir kamu binası için üç farklı klima soğuk ve ısı kaynağı planının genel sera etkisini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, klima ısıtma ve soğutma sistemlerinden kaynaklanan toplam eşdeğer CO₂ emisyon miktarının yaşam döngüsü boyunca 50.000 tona kadar çıkabildiğini göstermektedir. Dolaylı küresel ısınma etkisinin, soğutma ve ısıtma sistemlerinin LCCP değerlerinde baskın olduğu görülmektedir; bu, genel etkinin %96'dan fazlasını oluşturmakta olup hem soğutucu akışkan üretimi hem de soğutma ve iklimlendirme ekipmanlarının çalıştırılması için enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, dolaylı küresel ısınma etkisini azaltmak için iklimlendirme ve soğutma ekipmanlarının enerji verimliliğini artırmak, klimanın iklim değişikliği üzerindeki toplam etkisini azaltma konusunda kilit bir faktördür. Su kaynaklı ısı pompası, LCCP değeri açısından geleneksel elektrikli su soğutucuları ve doğrudan gaz ateşlemeli ünitelere kıyasla her zaman daha düşük bir profilde olmuştur ve karbon emisyonu azaltma oranları %32,4'e kadar çıkabilmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, klimanın soğuk ve ısı kaynağından kaynaklanan genel etkiyi etkili bir şekilde azaltmak için önemli bir strateji olduğunu bildirmişlerdir.

Li (2015), hava kaynaklı ısı pompalarının çeşitli etki parametreleri üzerinden detaylı yaşam döngüsü iklim performansını (LCCP) değerlendirmişlerdir. Isı pompası sistemlerinin sezonsal enerji verimliliği oranı (SEER) derecelendirmesi, karbondioksit eşdeğeri (CO_{2e}) emisyonlarının azaltılmasında belirleyici bir faktördür. Örneğin, 13 SEER R410A, 13 SEER R22'ye kıyasla %1-7 CO_{2e} emisyon azaltımı sağlarken, 14 SEER R410A %7-19 azaltım göstermektedir. Genel olarak, soğuk bölgelerden (örneğin, Minneapolis) sıcak bölgelere (örneğin, Phoenix) doğru her üç kategoride de soğutma talebi artmakta ve ısıtma talebi azalmaktadır. Sıcak bölgelerde, özellikle San Antonio ve Phoenix gibi yerlerde yedek ısı gereksinimi bulunmamaktadır. Ilıman bölgeler, örneğin Los Angeles, rahat hava koşulları nedeniyle en düşük emisyonu sahiptir. Emisyona katkıda bulunan faktörler arasında, enerji tüketimi toplam emisyonların yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Temel 14 SEER R410A'ya kıyasla COP'nin (Soğutma Performans Katsayısı) %5, %10 ve %15 oranında iyileştirilmesi, buna bağlı olarak LCCP'yi sırasıyla %4, %8 ve %12 oranında azaltmaktadır.

Bu nedenle, etkili CO_{2e}. emisyon azaltımına ulaşmak için enerji verimliliği iyileştirmelerine daha fazla odaklanılmasını belirtmişlerdir. Soğutucu akışkan geri kazanım oranının LCCP sonuçları üzerinde ihmal edilebilir etkileri bulunmaktadır. Çevrim bozunma katsayısı, CO_{2e}. emisyon azaltımları üzerinde soğutucu akışkan geri kazanım oranından biraz daha büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca, 14 SEER R410A ısı pompasına göre 14 SEER iki kapasiteli ısı pompası ürünü uygun şekilde %5 oranında CO_{2e}. emisyon azaltımına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Troch (2016), yapmış olduğu tez çalışmasında LCCP hesaplamaları için standartlaştırılmış bir yaklaşım ve izlenebilir veri kaynaklarının kullanımını önermektedir. Önceki araştırmalardan yararlanarak oluşturulan bir denklem, hesaplama sürecini birleştirmek için önerilmektedir. Veri kaynakları için LCCP girişlerinin ortalama değerleri de önerilmektedir. Yapılan tezin metodolojisini gösteren bir konut ısı pompası örnek problemi sunulmuştur, bu örnek problemde ısı pompası beş farklı ABD lokasyonundaki farklı iklim bölgelerinde değerlendirilmiştir. Isı pompası uygulamalarında kullanılan gelişmiş buhar sıkıştırma çevrimlerinin etkileri araştırılmıştır. Bu gelişmiş çevrim seçenekleri, enerji tüketimini çeşitli yollarla azaltmaya yönelik çabalar içermektedir. Aşırı soğutma çevrimleri, genleşme kaybı kurtarma çevrimleri ve çok aşamalı çevrimler gibi gelişmiş çevrim seçenekleri incelenmiştir. Seçilen çevrimler, Mühendislik Denklemi Çözücü kullanılarak modellenmiş ve elde edilen sonuçlar LCCP metodolojisine uygulanmıştır. Genişletme döngüsü, ejektör döngüsü ve buhar enjeksiyon döngüsü, Phoenix, AZ'de bir konut ısı pompasının LCCP'sini sırasıyla %5,6, %8,2 ve %10,5 oranında azaltmada etkili olmuştur. Gelişmiş çevrimler, düşük Küresel Isınma Potansiyeli (KIP) değerine sahip soğutucu akışkanlar kullanılarak değerlendirilmiş ve KIP değeri 10 olan bir soğutucu ile konut ısısının LCCP'sini %13,7, %16,3 ve %18,6 oranında azaltma kapasitesine sahiptir. Konutlarda enerji kullanımının 2025 yılına kadar %40 oranında azaltılması ve diğer tüm konut enerji tüketimi kategorilerinde orantılı bir azalma sağlanması için Phoenix, AZ için soğutucu akışkan KIP değeri 10 olan bir konut ısı pompasının enerji tüketiminde %34,8'lik bir azalma gerekli olmaktadır.

Lee ve ark. (2016) yaptığı çalışmada, düşük KIP değerine sahip çeşitli buhar sıkıştırma döngülerinde LCCP analizi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen LCCP değerlendirme yöntemi temelinde, çeşitli Değişken Kapasiteli Sıkıştırma (DKS) seçenekleri ve düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanlar, iklimlendirme uygulamaları için değerlendirilmiştir.

DKS için, emme hattı ısı eşanjörü çevrimi, genişletici çevrimi, ejektör çevrimi, buhar enjeksiyon çevrimi ve doyma çevrimi de dahil olmak üzere çeşitli çevrim modelleri geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen dikkat çeken sonuçlar şu şekildedir: Temel DKS modeli, soğutma veya ısıtma kapasitesinin $\pm\%10$ aralığında olduğu tahmin edilmekte olup, ortalama mutlak sapma $\%3,1$ 'dir. Modelin güç tüketimi $\pm\%10$ olarak tahmin edilmiştir ve ortalama mutlak sapma $\%4,4$ 'tür. Doyma döngüsünün COP'u, H3 test koşulu altında taban çizgisine kıyasla $\%36,7$ 'ye kadar iyileştirilmiştir. Phoenix, ABD'de R410A için genişletici, ejektör, VI ve doyma döngüleri uygulandığında LCCP'ler sırasıyla $\%4,5$, $\%5,7$, $\%7,1$ ve $\%10,4$ oranında azalır. Propan, $\%15,1$ ile en büyük LCCP düşüşünü gösterir ve R32'nin yaklaşık $\%7,3$ azalma ile takip edilir. Miami, ABD'de doyma döngüsüne propan uygulandığında LCCP $\%24,3$ oranında azaltılır; bu, bu çalışmada araştırılan tüm olası DKS seçenekleri ve düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanlar ile maksimum azalma sağlanmıştır.

Devecioğlu ve ark. (2016), ozon tabakasına zarar vermeyen R417A ve R424A soğutucu akışkanlarının, HCFC-22 gazının yerine geçme potansiyeli olan TEWI değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bir split klima cihazı için, ortalama 38°C çevre sıcaklığında, üç farklı soğutucunun tükettiği enerji miktarları deneysel olarak belirlenmiştir. Soğutma ihtiyacının yoğun olduğu Mayıs-Eylül dönemi için belirli çalışma saatleri üzerinden yıllık enerji tüketimi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, yüksek KIP değerine sahip R424A'nın doğrudan etkisinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. R424A ve R417A'nın enerji tüketimleri, R22'ye kıyasla $\%10$ oranında daha düşük olmasına rağmen, yüksek KIP değerlerinden dolayı TEWI değerlerinin $\%2$ ila $\%4$ arasında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Choi ve ark. (2017) Güney Kore'nin hava koşulları için soğutma ve ısıtma sistemlerinin yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) geliştirilmiş ve değerlendirmiştir. Değerlendirme sonuçları, ısı pompasının alan ısıtma için kullanılmasının CO_2 emisyonlarını $\%11-17$ oranında azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca, çeşitli düşük KIP değerine sahip soğutucular, çeşitli çevrim seçenekleri ve farklı hava koşulları altında uygulanmış ve değerlendirilmiştir. Düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanlar, R410A'ya kıyasla şarj miktarını azaltarak doğrudan emisyonları azaltır. Örneğin, R290 kullanılması durumunda toplam CO_2 emisyonları $\%19-22$ oranında azaltılır. R410A'lı flaş tanklı buhar enjeksiyon döngüsü, enerji verimliliğini artırır ve CO_2 emisyonlarını $\%7-10$ oranında azaltır. VI döngüsünü R32 veya R290 ile uygulayarak ise toplam emisyonlar $\%27-35$ oranında azalır.

Devecioğlu ve ark. (2017), R453A, klima uygulamalarında R22'nin yerine geçecek bir alternatif olarak test edilmiş bir yeni soğutucudur. Bu çalışmada, sistemle bağlantılı plaka tipi sıvı-emici ısı değiştiricinin (LSHX) etkisi hem çevresel faktörler hem de enerji parametreleri açısından incelenmiştir. LSHX'in sisteme entegre edilmesi, doğrudan katkıyı artırırken dolaylı katkıyı azaltmıştır. Sonuç olarak, LSHX'nin sistemle bağlandığı durumda her iki soğutucu akışkan için de TEWI miktarında bir azalma gözlemlenmiştir. Özellikle R453A kullanıldığında, LSHX'li sistem TEWI'de yaklaşık %8'lik bir azalma sergilemiştir. Daha düşük TEWI değeri, R453A'nın alternatif soğutucu olarak tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Deney sonuçları aynı zamanda, R453A'nın COP'sinin R22 kadar yüksek olmadığını, ancak LSHX'in varlığının her iki soğutucu akışkanı için de COP'yi önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir. LSHX'in sisteme eklenmesiyle η_{Ex} 'nin en az %30 oranında önemli ölçüde iyileştirildiği tespit edilmiştir. Son olarak, LSHX'in COP'yi artırmasına rağmen, buharlaştırıcı çıkışındaki daha yüksek sıcaklık, üflenmiş havanın sıcaklığının artabileceği ve bu durumun soğutma uygulamaları için istenmeyen bir durum olabileceği anlamına gelmektedir. Bu durumda, mekânın konfor sıcaklığına ulaşması için biraz daha uzun süre gerekebileceği önerilmiştir.

İslam ve ark. (2017) süpermarket uygulamalarında soğutma sistemlerinin doğrudan ve dolaylı küresel ısınmaya önemli ölçüde zarar verdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışma, bu tür sistemleri soğutucu akışkanlar, makineler ve operasyonel protokoller açısından değerlendirerek toplam eşdeğer ısınma etkisini (TEWI) en aza indirme amacını taşımaktadır. Bu metodoloji, çevresel etkiyi azaltma konusunda soğutma endüstrisine yeni bir bakış açısı sunmaktadır. -20 °C'de düşük sıcaklık (LT) buharlaşma, 0 °C'de orta sıcaklık (MT) ve 40 °C'de yoğunlaşma koşullarına sahip hava soğutmalı bir soğutma sistemi analiz edilmiştir. Analizde, emme aşırı ısınma ve aşırı soğutmanın etkileri de dikkate alınmıştır. 50 kW'lık LT yükünü ve 250 kW'lık MT yükünü karşılamak için R134a, R507A gibi çeşitli soğutucu akışkanlar ve bunların kombinasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar, LT ve MT için R134a'nın en iyi kombinasyonunu göstermektedir. Ayrıca, transkritik CO₂ soğutma çevrimi için COP'nin TEWI üzerindeki etkileri de değerlendirilmiştir. Çalışma koşullarında muhtemelen daha yüksek bir COP değerine sahip olan soğutma sisteminin, bol miktarda bulunabilirliği nedeniyle soğutucu sızıntısı sonucunda minimum ekonomik kayıpla TEWI perspektifinden en iyi seçenek olduğu bulunmuştur.

Botticella ve ark. (2018), gerçekte yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlar (R410A, R407C, R134a) ile potansiyel alternatifler arasında yer alan düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanlarını (R32, R290, R1234yf, R1234ze, XL41, XL55) karşılaştırmak amacıyla bir konutsal alan ısıtma split sisteminin tasarım konfigürasyonlarına dair bir analiz sunmuşlardır. Bu analiz, 5 kW'lık bir ısıtma sistemi için geçerlidir. Özel bir model kullanılarak, sistem performansı, mevcut kompresör ve ısı değiştirici teknolojilerine göre mümkün olan çeşitli geometrik konfigürasyonlar için tahmin edilmiştir.

Mancuhan ve ark. (2019), çeşitli soğutucu akışkan çiftleri kullanılarak enerji verimli ve çevre dostu bir kaskad sisteminin teorik bir modelini önermişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, sistem performansını maksimize eden optimum kaskad buharlaşma sıcaklığını belirlemek için performans katsayısı (COP) değerlerini optimize eden bir optimizasyon süreci uygulanmıştır. Optimizasyon sonrasında, termodinamik analiz yoluyla sistem için en iyi soğutucu akışkan çiftini belirlemek için iki farklı durum incelenmiştir. Düşük sıcaklık çevrimi (LTC) için, yüksek KIP değerine sahip R404A yerine doğal soğutucu akışkan olan CO₂ (R744) seçilmiştir. Yüksek sıcaklık çevrimi (HTC) için ise sentetik soğutucu akışkanlar (R134a, R152a) ve doğal soğutucu akışkan (NH₃) kullanılmıştır. Enerji verimli ve çevre dostu bir kaskad sistemi belirlemek amacıyla Vaka 1'de R134A/CO₂, R152A/CO₂ ve NH₃/CO₂ soğutucu akışkan çiftleri incelenirken, Durum 2'de R134A/R404A, R152A/R404A ve NH₃/R404A soğutucu akışkan çiftleri değerlendirilmiştir. Hesaplamalarda, buharlaşma sıcaklığı (TE) LTC'de 20 °C ile -40 °C arasında değiştirilmiştir. Vaka 1'de, R134A/CO₂ çifti en düşük COP_{max} (1,63) ile sonuçlanarak en düşük performansı sergilerken, NH₃/CO₂ çifti en yüksek COP_{max} (1,78) değeriyle en iyi performansı göstermiştir. Ayrıca, Vaka 2'de, R134A/R404A çifti en düşük COP_{max} (1,70) ile sonuçlanırken, NH₃/R404A çifti en yüksek COP_{max} (1,77) değeriyle en iyi performansı sergilemiştir. TEWI sonuçları, düşük KIP değerine sahip bir soğutucu akışkan kullanan bir sistemin, çevresel etkiyi azaltmak için etkili bir yol olduğunu göstermektedir. R134A/CO₂ ve R134A/R404A sistemleri, TEWI değerleri üzerinde en yüksek etkiye sahip olan dolaylı etki eşdeğerine CO₂ emisyonu katkısına sahiptir. Bu sistemler aynı zamanda en düşük COP değerlerine sahip olma eğilimindedir. Diğer yandan, NH₃/CO₂ ve NH₃/R404A sistemleri, dolaylı etkinin CO₂ emisyon eşdeğerine en düşük katkıyı sağlar. Ayrıca, bu sistemlerin COP_{max} değerleri en yüksek olarak hesaplanmıştır.

Belchi (2019), R513A ve R1234yf soğutucu akışkanlarının, R134A'nın yerine geçme potansiyelini deneysel ve sayısal olarak değerlendirmiştir. Araştırma, özellikle yüksek yoğuşma sıcaklıklarında mini kanallı bir tüp içindeki diyabatik faz değişim süreçlerinin performanslarına odaklanmaktadır. Bu geometrinin seçilmesinin nedeni, mini kanallı ısı değiştiricilerin soğutucu akışkan yükünü azaltma ve dolayısıyla doğrudan emisyonlara izin verme potansiyeline sahip olmalarıdır. Bu geometrilerde elde edilen yüksek ısı transfer katsayıları (HTC), dolaylı emisyonların azaltılmasına da katkıda bulunmaktadır. Deneysel verilerin ve sayısal sonuçların karşılaştırılması, termal açıdan R134a'nın en iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir, ancak çevresel etkenler göz önüne alındığında, özellikle yüksek KIP değeri nedeniyle en kötü doğrudan davranışı sergilediği de belirtilmelidir. R134A'nın, en düşük enerji tüketimine sahip olmasına rağmen, çevresel faktörlerle dengelemesi zor bir seçenek olduğu görülmektedir. Bu değerlendirmeyi yapabilmek için TEWI parametresi, farklı soğuk odak sıcaklıkları, ısı güçleri ve CO₂ enerji faktörleri için temsili koşullar altında hesaplanmıştır. Bu faktör, dünya genelindeki çeşitli bölgeleri içerecek şekilde çeşitlendirilmiştir. Sonuçlar, CO₂ enerji faktörünün düşük olduğu ve soğuk iklim bölgelerinde R1234yf'nin en iyi seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. R513A ise yüksek CO₂ enerji faktörüne sahip sıcak bölgelerde en iyi performansı sergilemektedir. Diğer durumlarda, R134A, daha yüksek termal performansları nedeniyle hala en iyi seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Llopis ve ark. (2020), bağımsız soğutma sistemlerinde düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanların (R-454C, R-459B, R-457A, R-455A) deneysel verileri göz önüne alındı, ancak sistem enerji performansı, soğutucu akışkan şarjına ve bu bağlamda yıllık kaçak oranına bağlı olarak değiştiğini vurgulamışlardır. Çevresel etkiyi değerlendirmek için önerilen yöntemler, sızıntı etkisini hesaba katmamakta ve derinlemesine bir analiz gerektirmektedir. Yapılan çalışmada, bağımsız soğutma sistemlerinin TEWI analizini, kullanım ömrü boyunca şarjlarının gerçekçi bir evrimini dikkate alarak genişletmeyi ve klasik metodolojinin tutarsızlıklarını ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, dört farklı düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanın performansı referans olarak alınmıştır. Klasik TEWI, atmosfere salınan toplam CO₂ emisyonunu %4,06 ile %16,70 aralığında düşük tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada sızıntının dikkate alınmasının, klasik TEWI'nin herhangi bir ülke, soğutucu akışkan veya yıllık sızıntı oranı için emisyonları %20'ye kadar eksik tahmin etmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Yılmaz ve ark. (2020), ultra düşük sıcaklık (UDS) uygulamalarında (-50 °C ile -100 °C aralığı) farklı tasarım ve işletme parametrelerinin kaskad sistem performansına etkilerini incelemek amacıyla EES yazılımı kullanılarak teorik bir model oluşturmuşlardır. Kaskad sisteminde kullanılan sentetik soğutucu akışkan çiftlerine çevre dostu bir alternatif bulmak adına doğal ve sentetik soğutucu akışkan çiftleri analiz etmişlerdir. Önerilen modelde, yüksek sıcaklık çevrimi (YSC) yoğuşma ve düşük sıcaklık çevrimi (DSC) buharlaşma sıcaklıkları, kaskad ısı değiştiricisi sıcaklık farkı gibi parametrelerin etkileri incelemiştir. Ayrıca, UDS uygulamalarında aşırı soğutma koşullarına ulaşmak için kritik çalışma parametreleri olan genleşme valfi sonrası soğutucu akışkanın buhar kalitesi ve ön soğutma amaçlı ısı değiştiricisi kapasitesinin sistem performansına etkileri araştırmışlardır. Yapılan analizler, soğutma sisteminde R1270/R170 doğal soğutucu çiftinin kullanılmasının, R404A/R508B sentetik soğutucu çiftine kıyasla yaklaşık %5 daha iyi sistem performans katsayısı sağladığını ve TEWI analizi sonucunda CO₂ emisyon salımının yaklaşık yarısı kadar olduğu gözlemlenmiştir.

Yıldız ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, R134a ve R513A soğutucu akışkanlarının performansları teorik olarak incelemiştir. Ayrıca, soğutucu akışkanların çevresel etkisi LCCP açısından değerlendirilmiştir. Soğutucu akışkanların enerji performansları farklı buharlaştırıcı (-15 ile 2,5 °C arasında) ve yoğuşturucu (30 ve 35 °C) sıcaklıklarında değerlendirilmiştir. Buharlaştırıcı sıcaklığı -15 °C ve yoğuşturucu sıcaklığı 30 °C olduğunda, R134a ve R513A'nın COP değerleri sırasıyla 3,87 ve 3,77 olarak bulunmuştur. Aynı yoğuşturucu sıcaklığı için buharlaştırıcı sıcaklığı 2,5 °C olduğunda, R134a ve R513A'nın COP değerleri sırasıyla 7.28 ve 7.16 olmuştur. Bu sonuçlar, R134a ve R513A'nın COP değerlerinin hemen hemen benzer olduğunu göstermektedir. R513A'nın KIP oranı, R134a'nın yaklaşık yarısı kadardır. Bu nedenle, R513A'nın %56 oranında daha düşük bir direkt emisyon (DE) değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Her iki soğutucu akışkanın toplam emisyon değerinin büyük bir çoğunluğu (R134a için %94,98, R513A için %96,77), sistemin enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. R513A, yanıcılık özelliğine sahip olmaması ve doğrudan R134a ile çalışan sistemde herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilme özelliğiyle dikkat çekmektedir. Bu özelliklerinden dolayı R513A, R134a'nın alternatifi olarak kullanılabilmesi gözlemlenmiştir.

Wan ve ark. (2021), bir vaka çalışması olarak üniter bir klima sistemini kullanarak, dünya genelinde 11 farklı şehirde beş farklı soğutucu akışkan için LCCP hesaplamalarını karşılaştırmışlardır. R410A'nın yerine geçmek için mükemmel adaylar olan R32, R290, R452B ve R466A da bu çalışmada ele alınmıştır. Daha sonra, saha test verileri ve meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek emisyon faktörüne sahip ülkelerde yıllık enerji tüketimi önemli bir etken olmaktadır. Bazı düşük emisyon faktörlü ülkelerde ise R290 kullanılarak LCCP %60 oranına kadar azaltılabilir. Dış üniteye gerçek giriş hava sıcaklığı ile yerel hava durumu istasyonunda ölçülen sıcaklık arasındaki farklar, LCCP'de %8 oranına kadar bir farka neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Yang ve ark. (2021), ev tipi ısı pompalarında R410A'nın yerine geçecek çeşitli düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanların LCCP değerlendirmesini rapor etmişlerdir. Altı soğutucu akışkan, yani HFC32, HFC32 ve HFO1234yf'nin ikili karışımları (KIP değerleri 300, 200 ve 150) ve KIP değerleri 300 ve 200 olan HFC32 ve HFO1234ze(E), R410A ile karşılaştırılmıştır. Bu soğutucu akışkanların performans verileri, deneysel bir ısı pompası tesisinden elde edilen veriler kullanılarak LCCP'yi değerlendirmek için kullanılmıştır. Seçilen soğutucu akışkanlar arasında, HFC32/HFO1234ze(E) ile KIP 300'ün ikili karışımının en düşük LCCP değerini gösterdiği görülmüştür. Enerji üretimlerinden kaynaklanan CO₂ emisyonu, sistemin optimizasyonu veya yenilenebilir enerji kullanımı yoluyla azaltılabildiğinde, düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanlar R410A'ya göre daha rekabetçi hale geleceği belirtilmiştir.

Choi ve ark. (2021), ev tipi buzdolaplarının çevresel etkilerini LCCP açısından değerlendirmeye yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Buzdolabının enerji tüketim modeli, üç tip tipik tek buharlaştırıcılı buzdolabı üzerinden oluşturulmuştur. Çift buharlaştırıcılı buzdolapları için kritik olan buharlaştırıcıların çalışma oranı, seri, bypass ve paralel devre çevrimli buzdolaplarına ait deneysel sonuçlar kullanılarak belirlenmiştir. LCCP sonuçları, sistem performansının ve ekipman üretim emisyonlarının ömür boyu CO₂ emisyonlarında belirleyici faktörler olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, öncelikle buzdolabı çevrim seçenekleri, buzdolabı malzemesi, yalıtım ve güç kaynakları gibi enerji ve malzemeyle ilgili faktörler detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Döngü seçenekleri için, CO₂ emisyonları iki aşamalı bir döngü kullanılarak %14,7 oranında azaltılabilir. Yoğuşturucu malzemeleri için CO₂ emisyonları çelik yerine alüminyum kullanılarak %2 ila %2,5 oranında azaltılabilir.

Buzdolabının her iki tarafına vakumlu yalıtım panelleri uygulanarak toplam emisyonlar %7,7'ye kadar azaltılabilir. %20 oranında yenilenebilir enerji sağlandığında, toplam emisyonların başlangıçta %13, paralel devre döngüsünde %19,9 ve iki aşamalı döngüde %26 oranında azaltılması beklenmektedir. Çalışmada ele alınan konfigürasyonlar, ekonomik (kurulum ve toplam maliyetler), termodinamik (COP) ve çevresel kriterler (LCCP) açısından karşıt kriterlere göre değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, R32 kullanımıyla elde edilen enerji performansının, sabit kurulum maliyetleri için en etkili tasarım konfigürasyonlarını tanımlamak adına önemli olduğunu göstermektedir. Düşük kurulum maliyetli çözümler arasında, R32 ve R410A tasarım seçeneklerinin benzer performans seviyelerine ulaşabileceği belirlenmiştir.

Özellikle R32'nin, R290'na kıyasla %15 daha düşük toplam maliyetle minimum LCCP değerine ulaşma potansiyeli olduğu vurgulanmıştır.

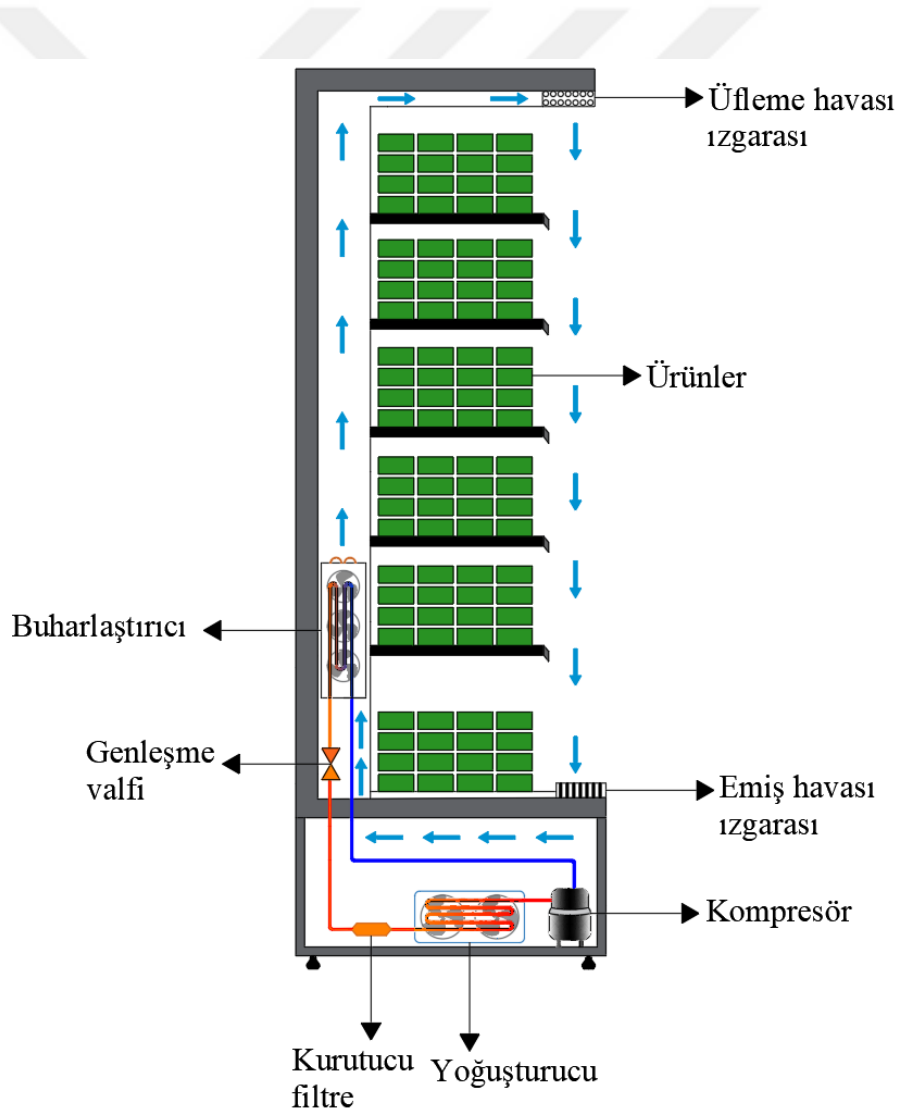
Aktekeli ve ark. (2023), Sürdürülebilir enerji kaynaklarını kullanarak, yeni bir tip fotovoltaiik termal güneş kolektörlü soğutma sistemi tasarlanmış ve bu sistemin LCCP analizi yapılmıştır. Tasarlanan soğuk oda için R449A soğutucu akışkanı kullanıldığında, doğrudan emisyon 1.362,1 kgCO_{2e}, dolaylı emisyon değeri 18.401,3 kgCO_{2e} ve toplam LCCP emisyon değeri ise 19.763,4 kgCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Aynı soğuk oda tasarımında, doğal soğutucu akışkanlardan biri olan ve yaygın olarak kullanılan R290 soğutucu akışkanının kullanılması durumunda; doğrudan emisyon 0,6 kgCO_{2e}, dolaylı emisyon 18.400,3 kgCO_{2e} ve toplam LCCP emisyon değeri 18.400,8 kgCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Bu durumda, R449A yerine R290 soğutucu akışkanı kullanılmasıyla %6,9 oranında CO₂ salımının azalması öngörülmüştür. Soğuk oda için R290 soğutucu akışkanı kullanılması durumunda (toplam hacmi 35 m³), yıllık salınan CO₂ miktarı m³ başına 525,7 kgCO₂ olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında literatür taramasından farklı olarak teşhir tipi soğutucularda sıkça kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının soğutma sistemlerine yönelik termodinamik, LCCP ve TEWI analizleri yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

TTS'ler, genellikle mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ile çalışan ve belirli bir sıcaklık aralığında doğal veya zorlanmış taşınım yoluyla soğutma sağlayan, gıdaların teşhir ve satışı için farklı boyutlarda yalıtımlı kabinler olarak bilinir. Örnek bir TTS'ye ait şematik şekil Şekil 3.1.'de ve TTS'ye ait görsel Şekil 3.2.'de verilmiştir. TTS'lerin çalışma prensibi; emiş ızgarasından geçen ortam ısısındaki hava buharlaştırıcı tarafından soğutularak üfleme ızgarasından ürünlerin üzerine gönderilmektedir. Çevrim bu şekilde devam etmektedir.



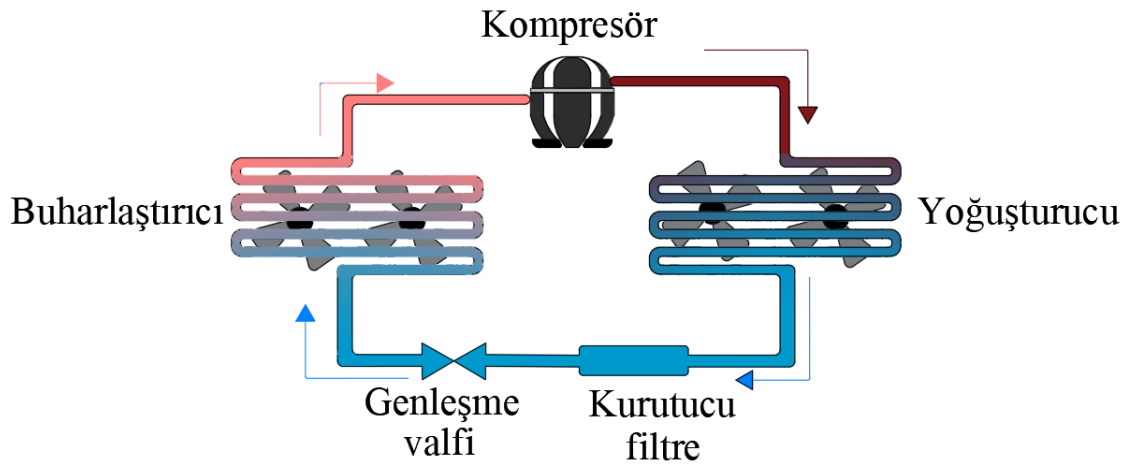
Şekil 3.1. Teşhir tipi soğutucu şematik gösterimi

Örnek bir teşhir tipi soğutucuya ait görsel Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Teşhir tipi soğutucu (Anonim a, 2024)

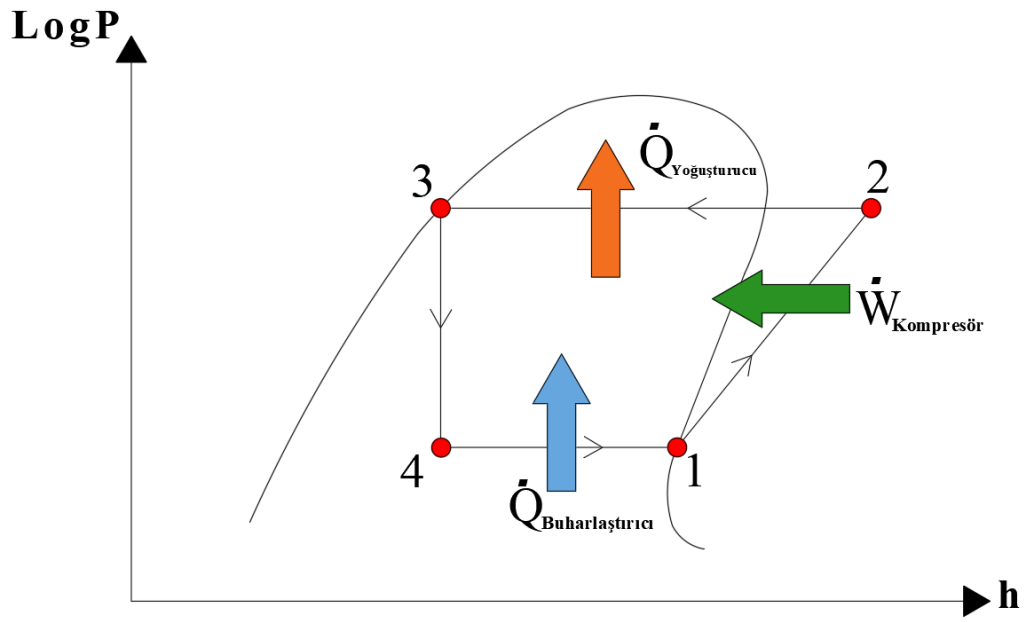
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin detaylı görünümü Şekil 3.3.'te gösterildiği gibidir. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin 5 temel ekipmanı bulunmaktadır. Bunlar; kompresör, yoğuşturucu, genişleme valfi, kurutucu filtre ve buharlaştırıcıdır. Soğutma sistemi ekipman seçimi son derece önem arz etmektedir.



Şekil 3.3. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi

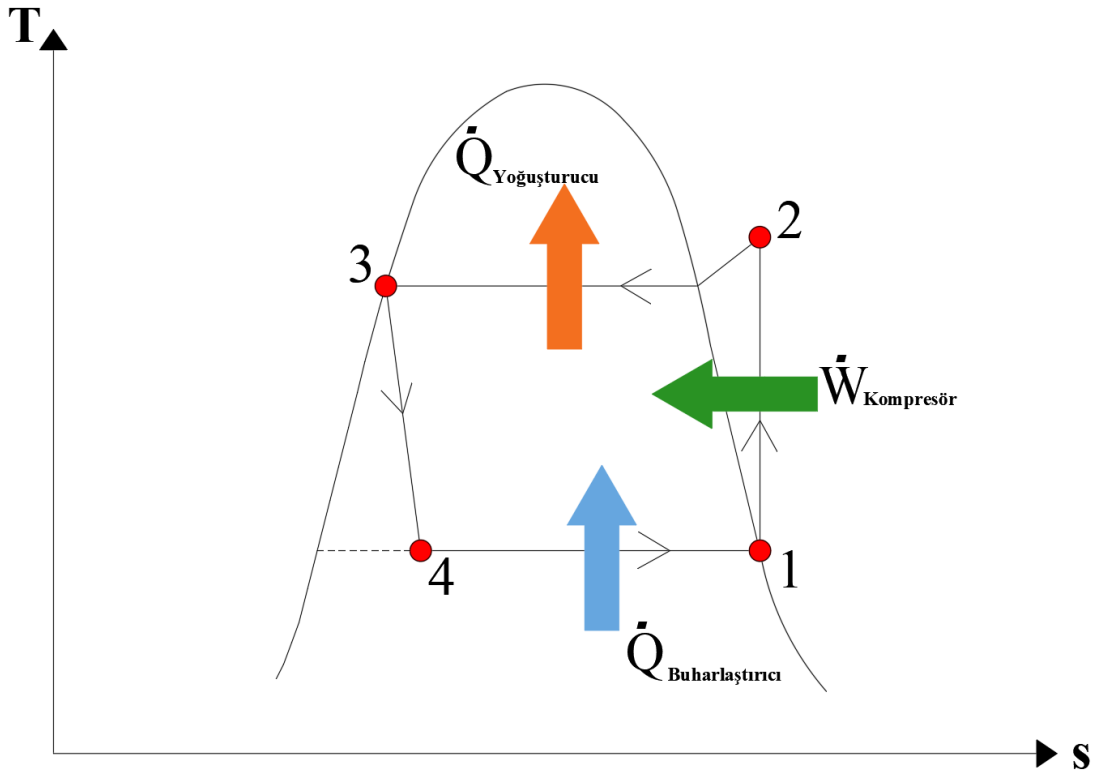
Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminin çalışması; kompresöre gelen gaz fazındaki soğutucu akışkan yüksek sıcaklık ve basınçta yoğuşturucuya gönderilir. Yoğuşturucuya gelen gaz fazındaki yüksek sıcaklık ve basınçtaki soğutucu akışkan yoğuşturucunun ortama ısı atmasıyla yoğuşma olayı gerçekleşir ve soğutucu akışkan gaz fazından sıvı fazına geçer. Yoğuşturucudan çıkan sıvı fazdaki sıcaklık değeri düşmüş soğutucu akışkan kurutucu filtreden geçerek genleşme valfine gelir ve genleşme valfinde soğutucu akışkanın buharlaştırıcıya girmesi gereken basınca düşürülür. Sıvı fazındaki soğutucu akışkan buharlaştırıcıya gelerek ve çevreden ısı çekerek buharlaşma işlemi meydana gelir ve soğutucu akışkan sıvı fazından gaz fazına geçer. Buharlaştırıcıda soğutma işlemi gerçekleşir ve böylece çevrim tamamlanmış olur (Çengel ve ark, 2013).

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimine ait LogP-h diyagramı Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. LogP-h diyagramı

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimine ait T-s diyagramı Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. T-s diyagramı

Diyagramlarda 1-2 noktaları arası kompresör sıkıştırma işlemini yapar, 2-3 noktaları yoğuşturucu ortama ısı atar, 3-4 noktaları genişleme elemanı kısılma işlevini yapar, 4-1 noktaları buharlaştırıcı ortamdan ısı çekerek soğutma işlevini yapar ve böylece çevrim tamamlanmış olur (Çengel ve ark, 2013).

3.1.1. Soğutma sistemi ekipmanları

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi, genellikle klimalar, buzdolapları, dondurucular ve endüstriyel soğutma sistemleri gibi birçok soğutma uygulamasında kullanılan bir termal enerji dönüşüm çevrimidir. Bu çevrim, bir soğutucu akışkanın dolaşımı üzerinde kuruludur ve sıkıştırma ve genişleme adı verilen iki ana işlemi içerir. Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi 5 temel ekipmandan oluşmaktadır.

3.1.1.1. Kompresör

Soğutma sisteminin en önemli ve en fazla enerji tüketen elemanıdır. Soğutma sistemlerinde buhar sıkıştırmaya göre tasarlanan kompresörler buharlaştırıcıdan alınan düşük basınçtaki kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanı, yüksek basınçlı yoğuşturucuya gönderen ekipmanlardır. Kompresör ile yoğuşturucu arası basma hattı olarak ifade edilir. (Anonim b, 2024). Kompresörler beş farklı gruba ayrılır (İsa ve Onat, 2012):

- Hermetik kompresörler
- Vidalı kompresörler
- Pistonlu kompresörler
- Santrifüj kompresörler
- Rotatif kompresörler

Teşhir tipi soğutucularda genellikle hermetik tip kompresör kullanılmaktadır. Şekil 3.6.'da örnek bir hermetik tip kompresöre ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.6. Hermetik tip kompresöre ait görünüm (Anonim c, 2024)

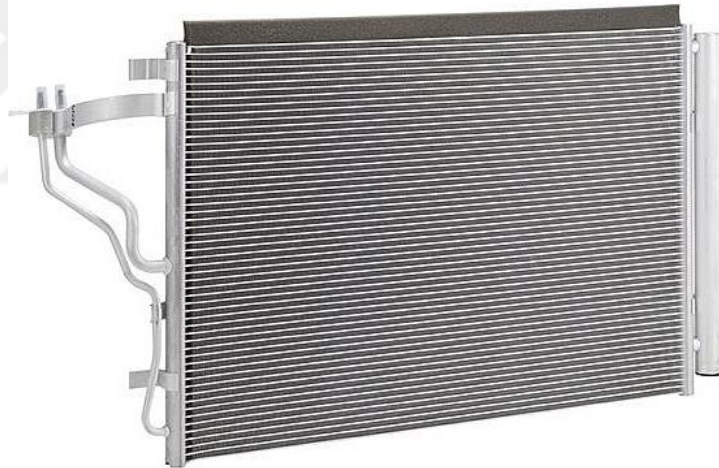
Hermetik tip kompresörler, motor ve kompresörün tamamen kapalı bir muhafaza içinde yer aldığı, genellikle evsel ve küçük ticari soğutma sistemlerinde kullanılan güvenilir ve sessiz çalışan cihazlardır. Kapalı yapıları sayesinde sızdırmazlık sağlar, dış ortamdan etkilenmez ve düşük ses ile titreşim seviyesine sahiptir. Bakım gerektirmez; arızalandığında tamir yerine değiştirilir. Çeşitli soğutucu gazlarla çalışabilir ve düşük ila orta kapasiteli soğutma ihtiyaçlarını karşılar.

Kompakt yapıları sayesinde enerji tasarruflu ekipmanlardır. Buzdolapları, klimalar, içecek dolapları gibi alanlarda sıkça kullanılan bu kompresörler, sessiz ve dayanıklı olmalarıyla öne çıkar ancak yüksek kapasiteli uygulamalar için uygun değildir (Anonim , 2024).

3.1.1.2. Yoğuşturucu (Kondenser)

Buharlaştırıcıdan aldığı ısıyla buharlaşan ve kompresörde sıkışan yüksek basınç ve kızgın haldeki soğutucu akışkanın ısını dışarı vermesi suretiyle sıvı hale geçmesini sağlayan elemandır. Yoğuşturucu eşitleri:

- Demir yoğuşturucu
- Bakır yoğuşturucu
- Mikrokanal yoğuşturucu olarak bilinmektedir. (Anonim d, 2024).



şekil 3.7. Yoğuşturucu (Anonim e, 2024)

3.1.1.3. Genleşme elemanı

Yoğuşturucudan yüksek basınçta çıkan soğutucu akışkanı, istenilen buharlaştırıcı basıncına dışürmede kullanılan ekipmandır. Küçük sistemlerde genleşme valfi olarak kılcal borular kullanılırken, daha büyük sistemlerde elektronik ve termik genleşme valfi kullanılır (Anonim f, 2024).

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminde kullanılan kılcal boru görseli Şekil 3.8.'deki gibidir.



Şekil 3.8. Kılcal boru (Anonim g, 2024)

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sisteminde kullanılan termostatik genişleme valfi görseli Şekil 3.9.'daki gibidir.



Şekil 3.9. Termostatik genişleme valfi (Anonim h, 2024)

Mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminde kullanılan elektronik genleşme valfi görseli Şekil 3.10.'daki gibidir.



Şekil 3.10. Elektronik genleşme valfi (Anonim i, 2024)

3.1.1.4. Buharlaştırıcı (Evaporatör)

"Soğutma serpantini" olarak da bilinir. Soğutma sisteminde soğutucu akışkanın sıvı halde girip buharlaşınca gaz olarak çıktığı kısımdır. Soğutucu, buharlaştırıcının kanallarına girince ısıyı, soğutulan ortamdan soğurur, ısıyı ortamdaki uzaklaştırırken kaynamaya başlayarak buharlaşır. Buharlaştırıcılar ikiye ayrılırlar (Anonim i, 2024):

- Demir buharlaştırıcı
- Bakır borulu alüminyum kanatçıklı buharlaştırıcı



Şekil 3.11. Buharlaştırıcı (Anonim i, 2024)

3.1.1.5. Kurutucu filtre

Sistemde kuru ve temiz soğutucu akışkan ile temiz yağ dolanmalıdır. Soğutucu sistemin içerisinde bir miktar su bulunabilir. Toz veya küçük diğer parçalar sistemdeki boruları tıkeleyebilir. Bu gibi sorunların önüne geçmek için kurutucu filtre kullanılır (Anonim j, 2024).



Şekil 3.12. Kurutucu filtre (Anonim i, 2024)

3.1.2. Soğutucu akışkanlar

Soğutucu akışkanlar, ısı transferi ve soğutma işlemlerinde kullanılan özel kimyasal bileşenlerdir. Bu akışkanlar, bir soğutma sisteminde dolaşarak ısı transferini sağlar ve genellikle gaz veya sıvı halde bulunurlar. Soğutucu akışkanların seçimi, kullanıldıkları uygulamaya, sistem gereksinimlerine, enerji verimliliğine ve çevresel etkilere bağlı olarak yapılır. Soğutucu akışkanlar 5 farklı başlık altında incelenmektedir.

3.1.2.1. Hidrokarbonlar (HC)

Ozon tüketimi yapmayan, doğal, küresel ısınma potansiyeli (KIP) değeri göz ardı edilebilir seviyede olan akışkanlar doğal soğutucu akışkan olarak adlandırılmaktadır. En yaygın bilinen hidrokarbonlar bütan (R600), izobütan (R600a) propan (R290), propilen (R1270), etan (R170) ve etilen (R1150)'dir. Hidrokarbonlar dışındaki doğal soğutucu akışkanlar ise karbondioksit (R744) ve amonyaktır (R717) (Koç ve ark, 2021).

3.1.2.2. Kloroflorokarbonlar (CFC)

Günümüzde buzdolaplarında, klimalarda, spreylerde, yangın söndürücülerde ve plastik üretiminde kullanılmaktadır. Bu soğutucu akışkan zehirleyici ve yanıcı olmaması, kararlı bir kimyasal ve ısı özellikleri bulunmaktadır. Ancak ozon tabakasına ciddi zararlar vermektedir. Bu grupta yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlar R-11 ve R-12 verilebilir (Koyun ve ark., 2005).

3.1.2.3. Hidrofloroolefin (HFO)

Soğutucular, karbon, hidrojen ve floradan oluşan doymamış organik bileşiklerdir. Kojenerasyon, ısı geri kazanımı ve orta sıcaklıkta ısı pompaları gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Sıfır ozon delme potansiyeli (ODP) ve son derece düşük küresel ısınma potansiyeli sergilerler. Toksik değildirler ve yanmaz veya hafif yanıcıdırlar. Bu akışkanlardan en yaygın kullanılanları ise R1234yf, R1234ze, R1336mzz-Z, R1336mzz-E'dir (Koyun ve ark., 2005).

3.1.2.4. Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)

HCFC'ler, içerdikleri klor atomları nedeniyle ozon tabakasına zarar verebilen kimyasallardır. Ancak, bu tür soğutucu akışkanların yapılarında hidrojen bulunması, kimyasal kararlılıklarını olumsuz etkiler. Atmosferde, HCFC'lerin yapıları zamanla bozulur, çünkü içerdikleri hidrojen, atmosferdeki su molekülleriyle reaksiyona girer. HCFC'lerin ozon tabakasına zarar verme potansiyeli düşüktür. Uygulamada en çok kullanılan soğutucu akışkanlar ise R-22, R-123, R-124' tür (Koyun ve ark., 2005).

3.1.2.5. Hidroflorokarbonlar (HFC)

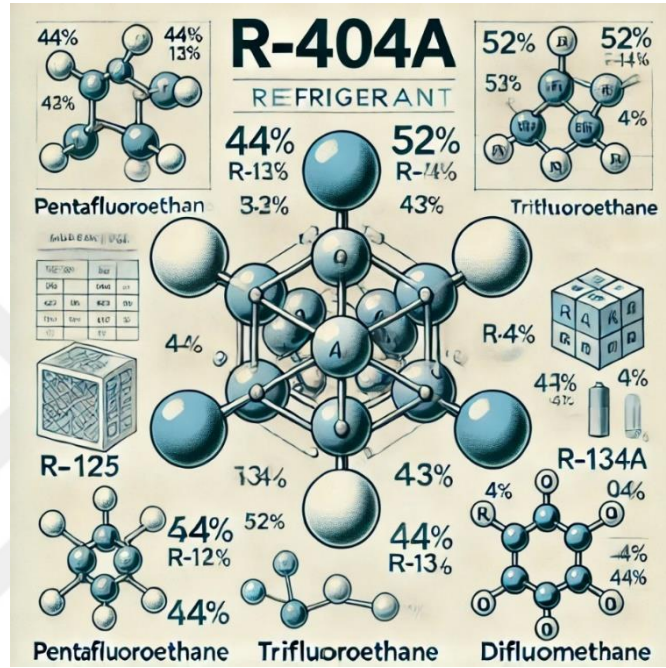
Konutların iklimlendirilmesinde, ısıtılmasında, soğutulmasında, yangın söndürücü gibi geniş uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Bu soğutucu akışkanların ODP değeri 0 olmasına rağmen KIP değeri oldukça yüksektir. Bu gazlara örnek olarak R134a, R32, R410A ve R407C verilebilir (Koyun ve ark., 2005).

Bu çalışmada örnek bir TTS ele alınarak TTS'lerde kullanılan soğutucu akışkanlar olan Hidroflorokarbon (HFC) grubuna ait R404A, R410A, R134A; Hidrofloroolefin (HFO) grubuna ait R1234yf ve Hidrokarbon (HC) grubuna ait olan R290'ın soğutma performans katsayısı, LCCP ve TEWI analizleri yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında analizleri gerçekleştirilen soğutucu akışkanların Danfoss Coolselector2 programından alınan özellik tablosu Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Soğutucu akışkan özellik tablosu (Anonim j, 2024)

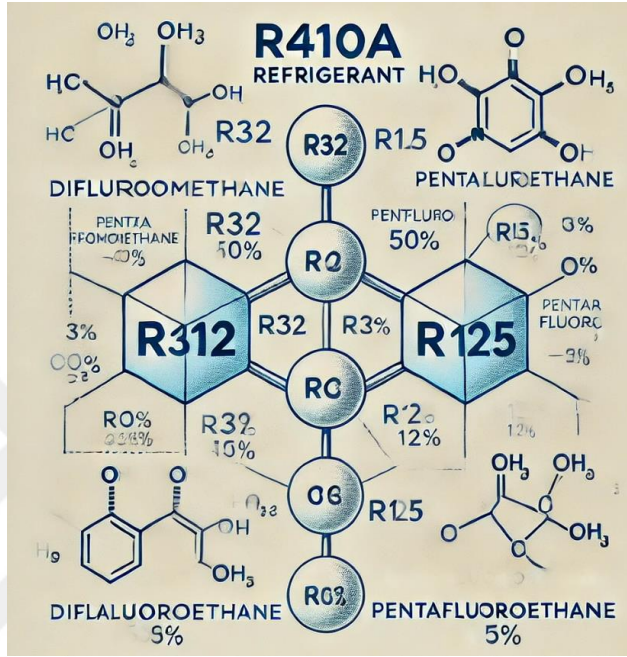
Parametreler	R404A	R410A	R134A	R1234yf	R290
Soğutucu Akışkan Grubu	HFC	HFC	HFC	HFO	HC
Molekül ağırlığı (g/mol)	97,6	72,59	102	114	44,096
Kaynama Sıcaklığı (°C)	-46,22	-51,44	-26,07	-29,49	-42,09
Kritik Sıcaklık (°C)	72,12	71,34	101,1	94,7	96,675
ODP	0	0	0	0	0
KIP	3922	2088	1430	4	3

Şekil 3.13.' te kimyasal bileşimi verilen R404A, soğutma sistemlerinde kullanılan bir hidroflorokarbon (HFC) gaz karışımıdır. Kimyasal formülü, bu karışımı oluşturan bileşenlerin oranlarına göre verilir. R404A, üç farklı HFC gazının bir karışımıdır. Bu soğutucu akışkan, %44 oranında R125 (C_2HF_5), %52 oranında R143a ($C_2H_3F_3$) ve %4 oranında R134a ($C_2H_2F_4$) karışımıyla elde edilmektedir. Yanıcı ve patlayıcı bir gaz değildir (Anonim 1, 2024).



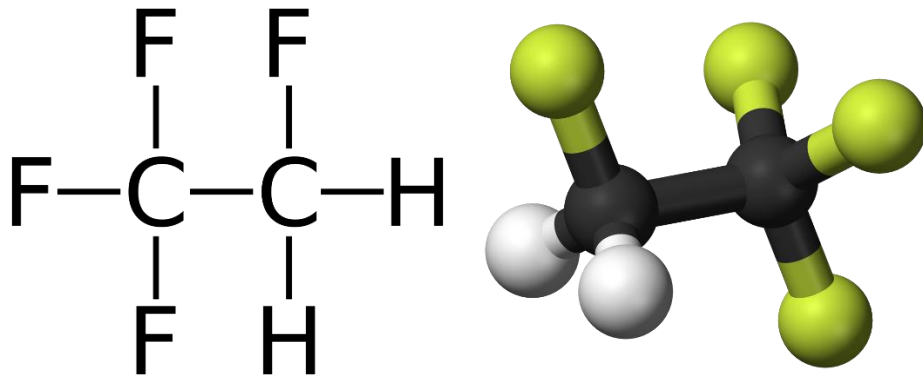
Şekil 3.13. R404A soğutucu akışkanı (Anonim 1, 2024)

Şekil 3.14.'te kimyasal bileşimi verilen R410A soğutucu akışkanı, soğutma ve iklimlendirme sektörünün en çok kullandığı gaz türlerinin arasındadır. R410A soğutkanı HFC grubuna ait bir akışkandır. İçerisinde %50 oranında R125 (C₂HF₅) ve %50 oranında R32 (CH₂F₂) gazları bulunmaktadır. R410a gazı yanıcı bir gaz değildir (Anonim m, 2024).



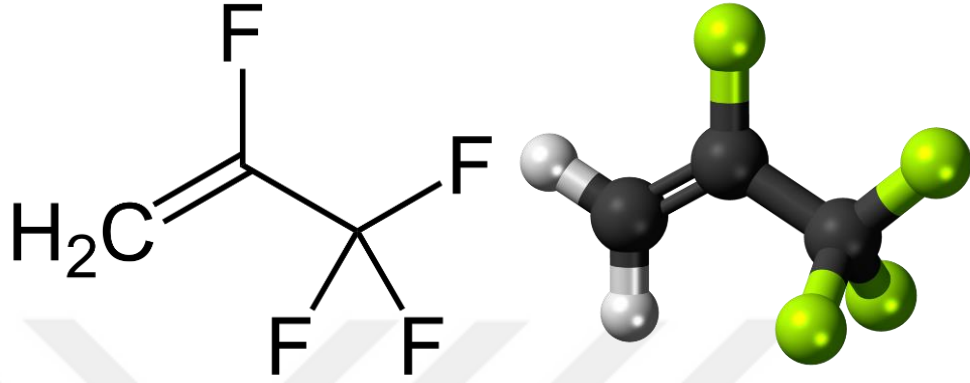
Şekil 3.14. R410A soğutucu akışkanı (Anonim m, 2024)

Şekil 3.15.'te kimyasal bileşimi verilen R134A soğutucu akışkanı, soğutucularda kullanılan renksiz bir gazdır. Genellikle R-134A, Freon 134A, HFC-134A ya da tetrafloroetan olarak adlandırılır. Ozon tabakasına zararlı olan R12 gazının yerine kullanılması için üretilmiştir. Soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır (Anonim n, 2024).



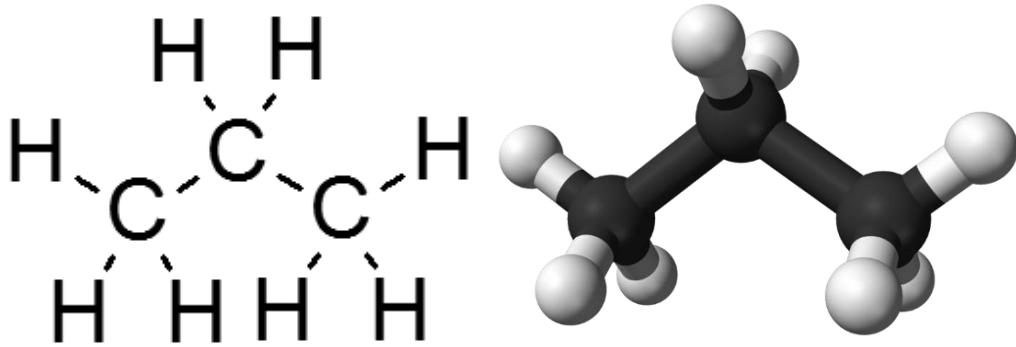
Şekil 3.15. R134A soğutucu akışkanı kimyasal gösterimi (Anonim o, 2024)

Şekil 3.16.'da kimyasal gösterimi verilen R1234yf soğutucu akışkanı, 2,3,3,3-Tetrafloropropen , HFO-1234yf , $\text{CH}_2 = \text{CFCF}_3$ moleküler formülüne sahip bir hidrofloroolefindir (HFO). Soğutma sistemlerinde küresel ısınma potansiyeli düşük olarak kullanılan bir soğutucu akışkandır (Anonim ö, 2024).



Şekil 3.16. R1234yf soğutucu akışkanı kimyasal gösterimi (Anonim ö, 2024)

Şekil 3.17.'de kimyasal bileşimi verilen doğal ve çevre dostu soğutucu akışkan olan R290 soğutucu akışkanı küresel ısınma potansiyeli düşük bir soğutkan olup, soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır. Son zamanlarda çevreci özelliğinden dolayı yaygın olarak teşhir tipi soğutucularda kullanılmaktadır. R290 soğutucu akışkanının kimyasal formülü C_3H_8 'dir (Anonim p, 2024).



Şekil 3.17. R290 soğutucu akışkanı kimyasal gösterimi (Anonim p, 2024)

3.1.3 Soğutucu Akışkanların Yanıcılık ve Zehirlilik Sınıfları

Hidrokarbonların yüksek yanıcı ve patlayıcı özellikleri, üreticileri kapsamlı güvenlik önlemleri almaya zorlamış ve soğutma sistemlerinde hidrokarbon kullanan birçok ülkede bu sistemlerin işleyiş standartlarını belirlemek üzere yasalar ve yönetmelikler çıkarılmıştır. Avrupa Birliği'nde belirlenen bazı standartlarla hidrokarbonların soğutma sistemlerindeki kullanımı sınırlandırılmıştır (Corberán ve ark, 2008). Soğutucu akışkanların ASHRAE tarafından sınıflandırılma şekli Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir. Sınıflandırmadaki harfler zehirlilik özelliğini, sayılar ise yanıcılık özelliğini ifade etmektedir.

Çizelge 3.2. Soğutucu akışkan yanıcılık sınıf tablosu (Özcan ve Arcaklıoğlu, 2011).

Yanıcılık Sınıfı	Zehirlilik Sınıfı	
	Düşük Zehirli (A)	Yüksek Zehirli (B)
Alevlenme özelliği yok	A1	B1
Düşük yanıcı	A2	B2
Yüksek yanıcı	A3	B3

Güvenli sistem tasarımı ve yapımı için gerekli ön koşullar belirlendikten sonra, sistem ekipmanlarının seçimi büyük önem taşır. HC (hidrokarbon içeren) sistemlerde kullanılabilen kompresör teknolojisi genellikle yarı hermetik kompresörlerle sınırlıdır. Avrupa Birliği'nin Basınçlı Ekipman Yönergesi (PED) gereği, hermetik, pistonlu ve skrol tipi kompresörlerin bu sistemlerde kullanımı yasaktır (Özcan ve Arcaklıoğlu, 2011). Soğutucu akışkanların zehirlilik ve yanıcılık tablosu Şekil 3.18.'de verilmiştir.

SOĞUTUCU AKIŞKANLAR TABLOSU						
GWP	> 4,000			● R422B/D		
	< 2,500			● R438A ● R22	● R410A	
	< 1,500		● R134a			
	< 750		● R450A ● R513A ● R513B ● R515A ● R515B	● R444B	● R466A ● R32/R452B ● R454B	
	< 150	● R514A ● R123 ● R1336mzz(z) ● R1233zd	● R516A ● R1270 ● R600a ● R1234ze/yf	● R454C ● R290	DGWP Seçeneği yok Düşük yoğunluğa geçilmeli	● R717/NH ₃ ● R744/CO ₂
	Vakumlu	Düşük	Orta	Yüksek	Diğer	
Yoğunluk →						

Şekil 3.18. Soğutucu akışkan yanıcılık ve zehirlilik sınıf tablosu

3.2. Yöntem

Teorik analiz için alt başlıklar halinde verilen denklemlerden faydalanılmıştır.

3.2.1. Termodinamik analiz

Termodinamik analizi yapılan TTS için alınan kabuller Çizelge 3.3.'te verilmiştir. TTS'nin termodinamik analizleri gerçekleştirilirken her bir soğutucu akışkan için Çizelge 3.3.'teki değerler hesaplamalara katılmıştır.

Çizelge 3.3. TTS için yapılan kabuller

Parametreler	Değerler
Soğutma Yüğü	3 kW
Yoğuşma Sıcaklığı	+45 °C
Buharlaştırma Sıcaklığı	-10 °C
Aşırı Isıtma ($\Delta T_{aşırı ısıtma}$)	8 K
Aşırı Soğutma ($\Delta T_{aşırı soğutma}$)	2 K

Buharlaştırıcı kapasitesinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklemden yararlanılır (Çengel ve Boles, 2013).

$$\dot{Q}_{buharlaştırıcı} = \dot{m} x (h_1 - h_4) \quad (3.1)$$

Yoğuşturucu kapasitesinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklemden yararlanılır (Çengel ve Boles, 2013).

$$\dot{Q}_{yoğuşturucu} = \dot{m} x (h_2 - h_3) \quad (3.2)$$

Kompresör tarafından tüketilen güç hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklemden yararlanılır (Çengel ve Boles, 2013).

$$\dot{W}_{kompresör} = \dot{m} x (h_2 - h_1) \quad (3.3)$$

Sistemin COP, COP_{Carnot} ve sistemin ikinci yasa verimi aşağıdaki denklemler yardımı ile bulunabilir (Çengel ve Boles, 2013).

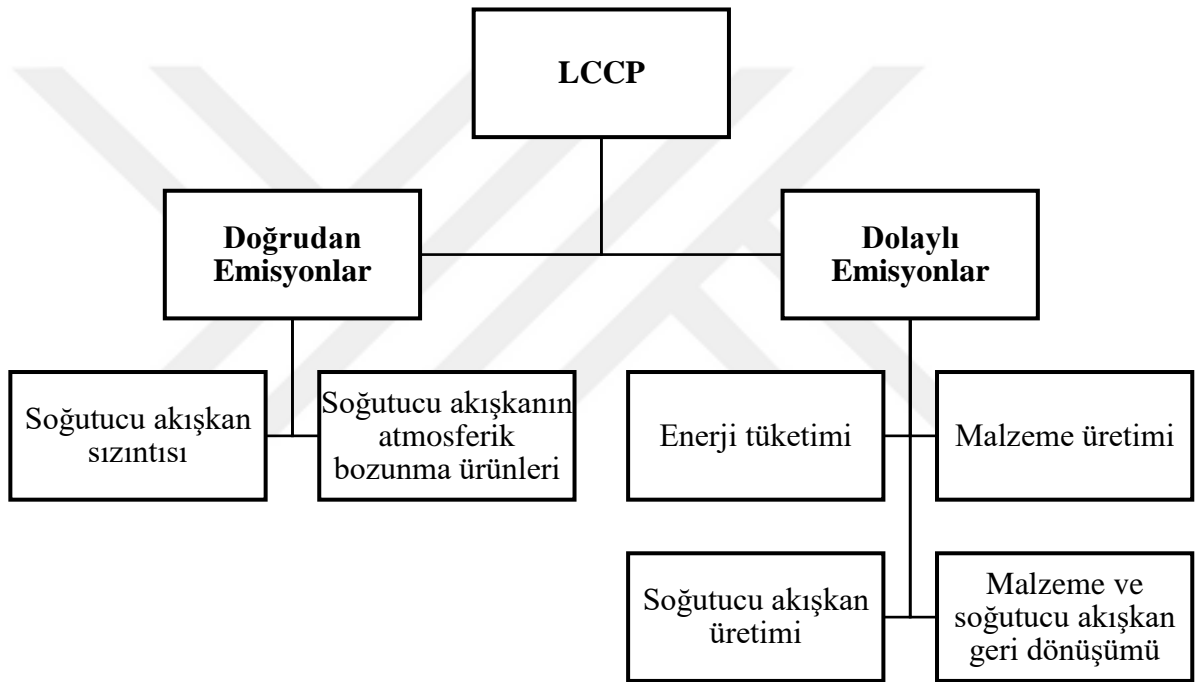
$$COP = \frac{\dot{Q}_{buharlaştırıcı}}{\dot{W}_{kompresör}} \quad (3.4)$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (3.5)$$

$$\eta = \frac{COP}{COP_{Carnot}} \times 100 \quad (3.6)$$

3.2.2. LCCP analizi

LCCP, ilk olarak 1999 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) Teknoloji ve Ekonomik Değerlendirme Paneli (TEAP) tarafından doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarının “beşikten mezara” iklim etkilerini hesaplamak için önerilmiştir. Doğrudan emisyonlar, bir kaynaktan atmosfere doğrudan salınan sera gazları veya kirleticilerdir. Dolaylı emisyonlar, Bir ürünün veya hizmetin üretimi, kullanımı veya atılma süreçleri sırasında ortaya çıkan sera gazı emisyonlarıdır (Lee ve ark, 2016). LCCP detaylı anlatan tablo Şekil 3.19.'da verilmiştir.



Şekil 3.19. LCCP analizi detaylı bilgi tablosu (International Institute of Refrigeration, 2016)

LCCP analizi aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur (Lee ve ark, 2016).

$$\text{LCCP} = \text{Doğrudan Emisyonlar} + \text{Dolaylı Emisyonlar} \quad (3.7)$$

Doğrudan Emisyonlar, soğutucunun kullanım ömrü boyunca soğutucu akışkan sızıntısını hesaba katar ve aşağıdakiler tarafından hesaplanır (Lee ve ark, 2016)

$$\text{Doğrudan Emisyonlar} = C \times (L \times \text{ALR} \times \text{EOL}) \times (\text{KIP} + \text{Adp. KIP}) \quad (3.8)$$

Burada C soğutucu akışkanın şarj miktarı (kg); L ekipmanın ortalama ömrü (yıl); ALR yıllık kaçak oranı (%); EOL ömrünü tamamlamış soğutucu akışkan sızıntısı (%); KIP Küresel Isınma Potansiyeli değeri, Adp. KIP soğutucu akışkanın atmosferik ayrışma ürününün KIP değeri (Lee ve ark, 2016).

Dolaylı Emisyonlar aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilir (Lee ve ark, 2016).

$$DolaylıEmisyonlar = L \times AEC \times EM + \sum(m \times MM) + \sum(MR \times RM) + C \times (1 + L \times ALR) \times RFM + C \times (1 - EOL) \times RFD \quad (3.9)$$

Burada AEC yıllık enerji tüketimidir (kWh); EM elektrik üretim emisyonu (kgCO_{2e}/kWh); m TTS'nin kütlesi (kg); MM malzeme üretim emisyonu (kgCO_{2e}/kg); MR geri dönüştürülmüş malzemenin kütlesi (kg); RM geri dönüştürülmüş malzeme (kgCO_{2e}/kg); RFM soğutucu akışkan üretim emisyonları (kgCO_{2e}/kg); RFD soğutucu akışkanın bertaraf emisyonları (kgCO_{2e}/kg) (Lee ve ark, 2016).

Adp. KIP, atmosferdeki soğutucu akışkan ayrışmasının etkilerinin ve bu soğutucu akışkanın bozunma etkilerinin bir ölçüsüdür. Soğutucu akışkanların atmosferde parçalanmasından kaynaklanan atmosferik reaksiyon ürünlerini içerir. Bu değer mevcut olduğunda hesaplamaya dahil edilmelidir. Soğutucu akışkan üretimi emisyon oranları, seçilen soğutucu akışkanlar için Çizelge 3.4.'de tez kapsamında analizleri gerçekleştirilen soğutucu akışkanlara ait değerler gösterilmektedir (Lee ve ark, 2016).

Çizelge 3.4. KIP ve adp. KIP değerleri (International Institute of Refrigeration, 2016)

Soğutucu akışkanlar	KIP	Adp. KIP	Üretim emisyonu (RFM) (kgCO _{2e} /kg)
R404A	3922	-	16,7
R410A	2088	-	10,7
R134A	1430	1,6	5
R1234yf	4	3.3	13,7
R290	3	-	0,05

Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) de kullanılan süpermarket sistemleri için L, ALR ve EOL değerleri Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Süpermarket sistemleri olan TTS'ler için L, ALR ve EOL değerleri (International Institute of Refrigeration, 2016)

	L	ALR	EOL
Süpermarket doğrudan sistemler	7-10	18	10
Süpermarket dolaylı sistemler	7-10	12	10

Üretimde en yaygın dört malzeme soğutma sistemlerindeki oranları Çizelge 3.6.'da verilmiştir (International Institute of Refrigeration, 2016).

Çizelge 3.6. Üretim emisyonları (International Institute of Refrigeration, 2016)

Malzeme	Sistemde bulunma oranı (%)	İşlenmemiş Üretim Emisyonları (MM) (kgCO_{2e}/kg)	Karma Üretim Emisyonları (kgCO_{2e}/kg)
Çelik	%46	1,8	1,43
Alüminyum	%12	12,6	4,5
Bakır	%19	3	2,78
Plastik	%23	2,8	2,61

Geri dönüştürülmüş malzeme üretim emisyonları Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Geri dönüştürülmüş malzeme üretim emisyonları (International Institute of Refrigeration, 2016)

Malzeme	Karışık Malzeme Bileşimi Yüzdesi (%)	%100 Geri Dönüştürülmüş Malzeme Üretim Emisyonları (kgCO_{2e}/kg)
Çelik	%29	0,54
Alüminyum	%67	0,63
Bakır	%40	2,46
Plastik	%7	0,12

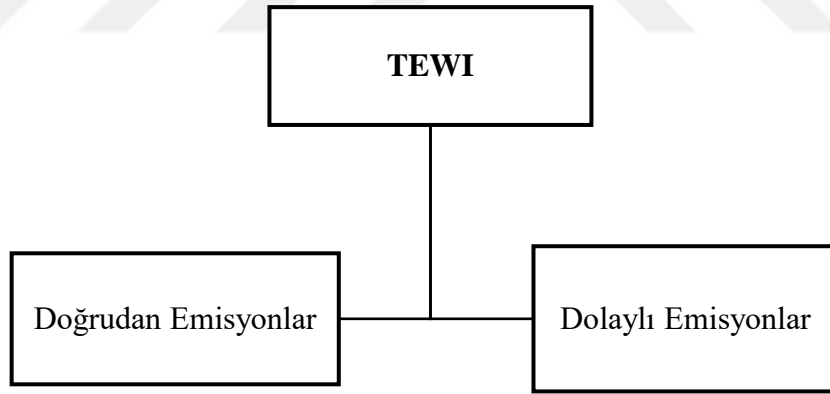
Malzeme imha emisyonları, geri dönüştürülmüş malzeme üretimine kadar olan tüm emisyonları içerir. Malzemenin geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilmesi durumunda bu emisyonlar üretim emisyonlarına dahil edilebilir. Değerler Çizelge 3.8.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. Malzemelerin geri dönüştürüldüğünde ortaya çıkardıkları emisyonlar (International Institute of Refrigeration, 2016)

Malzeme	Geri dönüştürülebilir malzeme emisyonları (RM) (kgCO _{2e} /kg)
Metal	0,07
Plastik	0,01

3.2.3. TEWI analizi

TEWI analizi, bir soğutma sisteminin çevresel etkisini değerlendirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz, sistemin yaşam döngüsü boyunca doğrudan ve dolaylı sera gazı emisyonlarını hesaplamayı amaçlar. TEWI, soğutma sisteminin toplam sera gazı ısınma etkisini ölçer ve hem cihazın enerji verimliliğini hem de soğutucu akışkanın çevresel etkisini değerlendirir. Bu analiz, özellikle süpermarketlerde kullanılan büyük soğutma sistemleri gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. TEWI analizi, sürdürülebilir soğutma çözümlerini belirlemek ve çevresel etkiyi azaltmak için önemli bir araçtır (Islam ve ark, 2017). TEWI analizi Şekil 3.20.'de detaylandırılmıştır.



Şekil 3.20. TEWI analizi detaylı bilgi tablosu

TEWI analizi aşağıdaki formül ile hesaplanır (Andrade ve ark, 2024).

$$\text{TEWI} = \text{Doğrudan Emisyonlar} + \text{Dolaylı Emisyonlar} \quad (3.10)$$

Doğrudan emisyonların hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur (Andrade ve ark, 2024).

$$\text{Doğrudan Emisyonlar} = C \times (L \times \text{ALR} + \text{EOL}) \times \text{KIP} \quad (3.11)$$

Dolaylı emisyonların hesaplanabilmesi için aşağıdaki denklem yardımı ile bulunur (Andrade ve ark, 2024).

$$\text{Dolaylı Emisyonlar} = \text{AEC} \times \text{EM} \times L \quad (3.12)$$

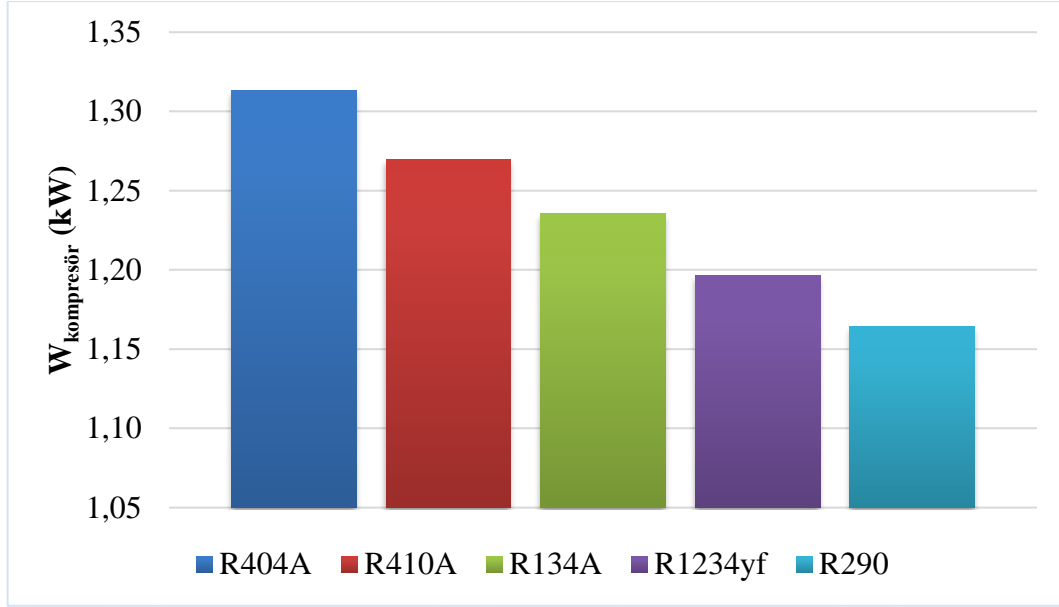
Teorik analizler neticesinde teşhir tipi soğutucuların farklı soğutucu akışkanlarla termodinamik, LCCP ve TEWI analizleri perspektifinden değerlendirmek amacıyla bir çerçeve sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, -10 °C buharlaşma sıcaklığı ve +45 °C yoğuşma sıcaklığı, 2K aşırı soğutma (subcooling) ve 8K aşırı ısıtma (superheating) şartları için buharlaştırıcı soğutma gücü 3 kW seçilmiştir. TTS’de kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının termodinamik, LCCP ve TEWI analizleri gerçekleştirilmiştir. Termodinamik hesabı yapılırken hesaplamada kullanılan değerler için Danfoss Coolselector2 programından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı başlıklar altında grafikler ve yorumlamalar yapılarak değerlendirilmiştir.

4.1. Termodinamik Analiz Sonuçları

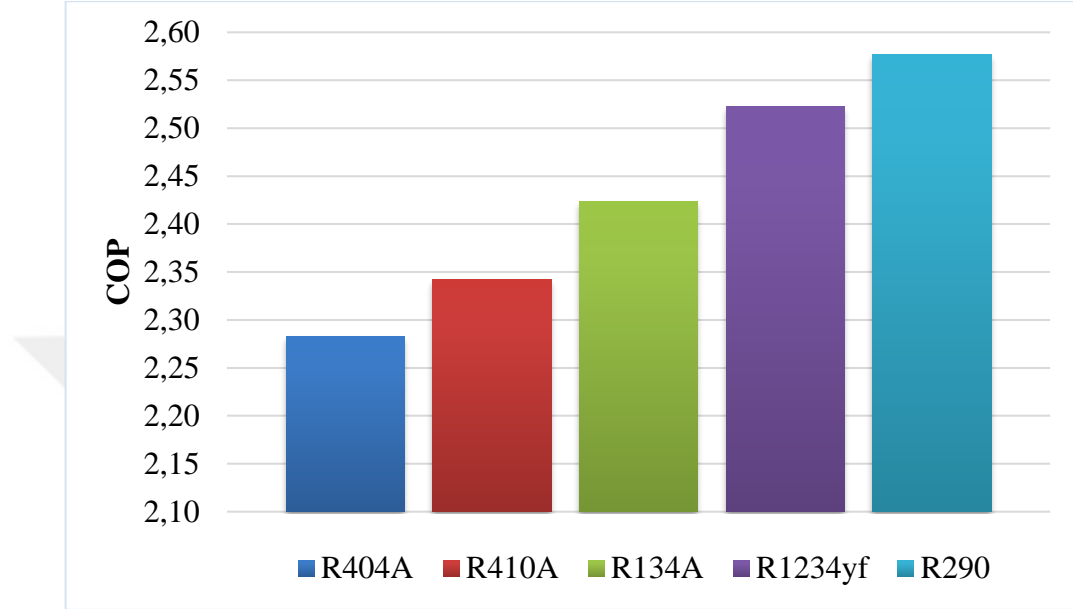
Bu çalışma kapsamında TTS’lerde kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının termodinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler Danfoss Coolselector2 programından alınan değerler ile hesaplanmış olup bu değerler EK1, EK 2, EK 3, EK 4, EK 5, EK 6, EK 7, EK 8, EK 9, EK 10’da verilmiştir. TTS’de kullanılan soğutucu akışkanların analizi Eşitlik 3.3. yardımı ile bulunmuş olup, kompresör güçleri Şekil 4.1.’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kompresör güç tüketimi grafiği

TTS'lerde en fazla güç tüketimine sahip ekipman kompresördür. Kompresör güç tüketim grafiğine (Şekil 4.1.) bakıldığı zaman ODP ve KIP değeri yüksek soğutucu akışkanların kullanıldığı TTS'lerde daha yüksek kompresör güç tüketimlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi TTS'de kullanılan her bir soğutucu akışkanın farklı kimyasal yapısı olduğu için farklı oranlarda kompresörün enerji tüketimlerinin olduğu gözlemlenmiştir. TTS'lerde R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 farklı soğutucu akışkanlar kullanıldığında kompresör güçleri sırasıyla 1,31 kW, 1,27 kW, 1,24 kW, 1,20 kW, 1,16 kW bulunmuştur. TTS'lerde R290 soğutucu akışkanı kullanılarak hem çevresel etkileri hem de enerji tüketiminde azalmalar olabilir.

TTS'lerde ürünlerin istenilen sıcaklık aralığında tutulması için soğutucunun soğutma performansı önem arz etmektedir. Eşitlik 3.4. yardımı ile yapılan analizler sonucunda R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanları kullanılan TTS'lere ait COP değerleri Şekil 4.2.'de verilmiştir.

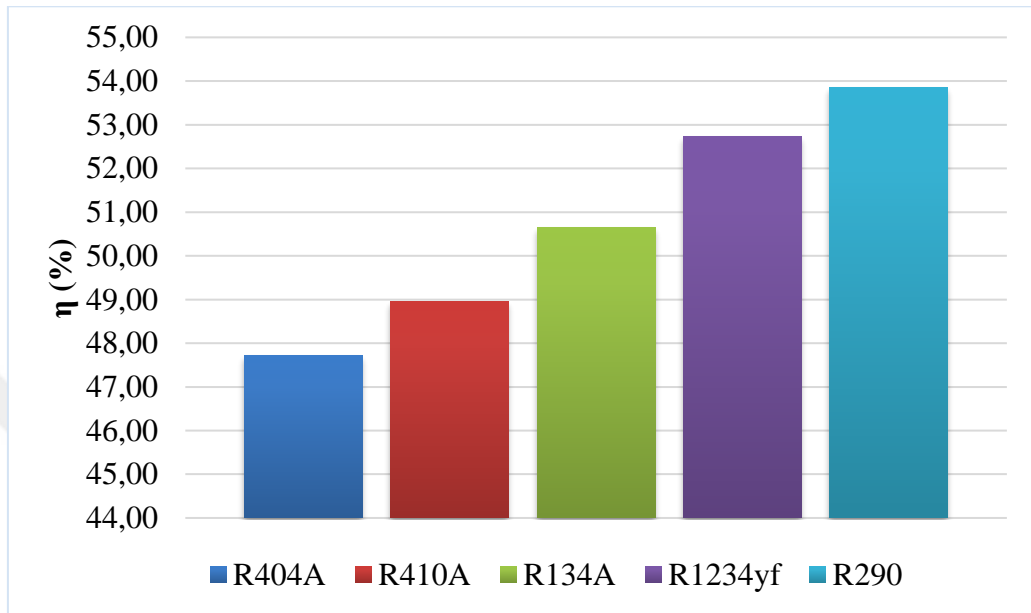


Şekil 4.2. COP grafiği

COP değerlerinin farklı çıkmasının nedeni kompresörün tükettiği enerji ile COP katsayısının ters orantılı olmasından dolayıdır. Kompresörün tükettiği enerji ne kadar artarsa COP değeri o oranda düşmektedir. Kompresör güç tüketimi düşük olan R290 soğutucu akışkanı en yüksek COP değerini gösterirken, kompresör güç tüketimi fazla olan R404A soğutucu akışkanı en düşük COP değerini göstermektedir.

Soğutma performans katsayısı R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanları için sırasıyla 2,28, 2,34, 2,42, 2,52, 2,58 olarak hesaplanmıştır. COP değeri yüksek olan soğutucu akışkan R290 Şekil 4.2.'deki grafik yorumlandığında soğutma performansının en yüksek ve ideal oranda olduğu görülmektedir.

TTS'lerde kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının ikinci yasa verimi şekil 4.3.'te verilmiştir. Bu grafiğe göre ikinci yasa veriminde en yüksek değer R290 soğutucu akışkanına aittir. İkinci yasa verimliliği hesaplanırken COP ve COP_{Carnot} hesaba katılarak Şekil 4.3.'teki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.3. İkinci yasa verimlilik grafiği

COP değeri farklı soğutucu akışkanları kullanılan TTS'ler için farklılık gösterirken, COP_{Carnot} değeri sabit tutulmuştur. Bunun sebebi $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ buharlaşma ve $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ yoğuşma sıcaklık değerleri bütün TTS'ler için aynı alınmış olmasıdır. COP_{Carnot} değeri 4,78 olarak bulunmuştur.

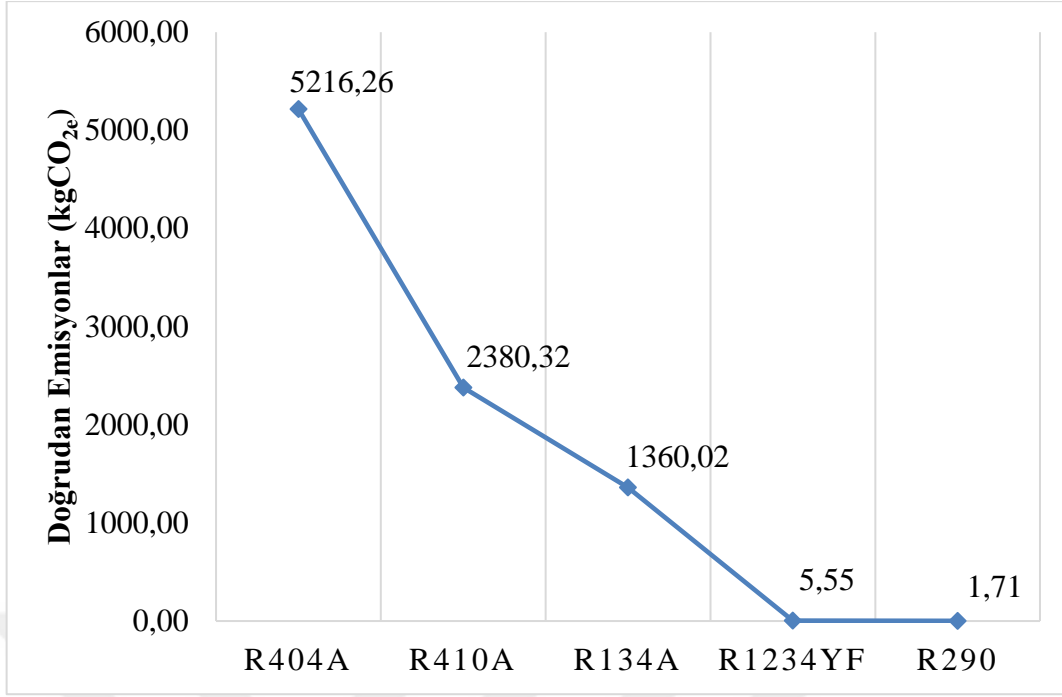
İkinci yasa verimi Eşitlik 3.4., Eşitlik 3.5. ve Eşitlik 3.6. yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre TTS'lerde kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanları için sırasıyla %47,71, %48,95, %50,65, %52,73 ve %53,85 olarak hesaplanmıştır. Her TTS için COP_{Carnot} değeri sabit alınmış olup, COP değeri en yüksek soğutucu akışkan olan R290 kullanılan TTS'nin ikinci yasa verimi en yüksek değerde çıkmışken, COP değeri en düşük R404 soğutucu akışkanı kullanılan TTS için ikinci yasa verimi en düşük oranda bulunmuştur.

4.2. LCCP Analiz Sonuçları

LCCP analizi, çeşitli sektörlerde ve ürünlerde uygulanan önemli bir araştırma alanıdır. Bu analizler, ürünlerin veya süreçlerin tüm yaşam döngüsü boyunca sera gazı emisyonlarını belirlemek ve değerlendirmek için kullanılır. Araştırmalar genellikle ürünlerin hammaddelerinin üretiminden başlayarak, üretim süreçlerinden taşıma, kullanım ve nihai olarak atık yönetimine kadar olan süreçleri kapsar. Doğrudan emisyonlar, genellikle ürünün veya sürecin doğrudan kontrolü altında olan emisyonlardır ve tipik olarak üretim ve işleme aşamalarında ortaya çıkar. Bu emisyonlar, fosil yakıtların yanması, kimyasal prosesler ve enerji tüketimi gibi süreçlerden kaynaklanabilir.

LCCP analizinde doğrudan emisyonların karşılaştırılması, ürün veya sürecin karbon ayak izinin belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Karşılaştırma yapılırken, farklı üretim tekniklerinin veya malzeme seçeneklerinin doğrudan emisyonlara olan etkileri incelenir ve daha az emisyon oluşturan seçenekler tercih edilir. Bu analiz, sadece üretim aşamasında değil, ürünün kullanımı ve atılma süreçleri boyunca da doğrudan emisyonların yönetimini içerir.

TTS'lerde kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının LCCP değerleri Eşitlik 3.7., Eşitlik 3.8. ve Eşitlik 3.9. yardımı ile hesaplanmıştır. Soğutucu akışkanlara ait doğrudan emisyon değerleri Eşitlik 3.8. yardımı ile bulunmuştur. Şekil 4.4.'te soğutucu akışkanlara ait doğrudan emisyonların grafiği verilmiştir.

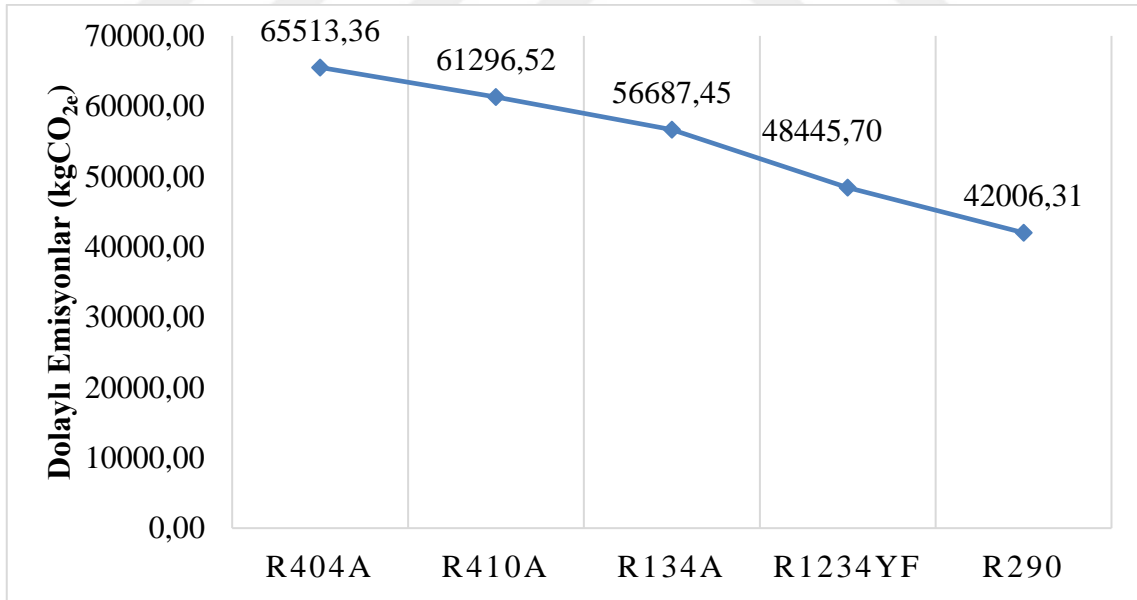


Şekil 4.4. LCCP analizi doğrudan emisyonlar grafiği

Şekil 4.4.'te doğrudan emisyon analiz grafiği yorumlandığında farklı soğutucu akışkan kullanan TTS'ler arasında farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıkların en önemli sebebi soğutucu akışkanların KIP değerleridir. KIP değeri düşük soğutucu akışkan R290 kullanılan TTS'nin emisyon değeri en az değerde çıkarken, KIP değeri en yüksek R410A soğutucu akışkanın doğrudan emisyon değeri en fazla çıktığı görülmüştür. TTS'lerde kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının LCCP analizinde doğrudan emisyon değerleri sırasıyla 5216,26 kgCO_{2e}, 2380,32 kgCO_{2e}, 1360,02 kgCO_{2e}, 5,55 kgCO_{2e} ve 1,71 kgCO_{2e} olarak hesaplanmıştır.

R404A, R410A ve R134A soğutucu akışkanlarının KIP değerleri R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarına göre yüksek olduğu için aradaki farkın fazla olduğu görülmektedir. En düşük KIP değerine sahip R290 soğutucu akışkanı sayesinde çevreye daha az CO₂ salımının olduğu görülmüştür.

Dolaylı emisyonlar, genellikle ürün veya sürecin kontrolü dışında olan emisyonlardır ve genellikle ürünün tedarik zinciri, taşıma, atık yönetimi gibi aşamalarda ortaya çıkar. Dolaylı emisyonlar, ürünün hammaddelerinin üretimi, tedarikçilerden malzeme taşınması için kullanılan taşıma araçlarının emisyonları, ürünün tüketiciye ulaştırılması için yapılan lojistik işlemler ve ürünün sona erdikten sonra atık yönetimi süreçlerindeki emisyonlar gibi faktörlerden kaynaklanabilir. LCCP analizinde dolaylı emisyonların karşılaştırılması, ürün veya sürecin toplam karbon ayak izini belirlemede önemli bir rol oynar. Bu analiz, ürün veya sürecin farklı tedarikçilerden temin edilen malzemeler veya hizmetlerin karbon yoğunluğunu değerlendirerek, daha düşük emisyon üreten seçeneklerin tercih edilmesine yardımcı olur. Dolaylı emisyonların karşılaştırılması, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için ürün veya süreçlerin tasarımında ve yönetiminde stratejik kararlar alınmasına yardımcı olur. Bu süreçlerin her birinin karbon ayak izine katkısı değerlendirilerek, genel olarak daha çevresel olarak sürdürülebilir seçeneklerin belirlenmesi sağlanır. Soğutucu akışkanlara ait dolaylı emisyon değerleri Eşitlik 3.9. yardımı ile bulunmuştur. Şekil 4.5.'te TTS'de kullanılan soğutucu akışkanlara ait dolaylı emisyonların grafiği verilmiştir.

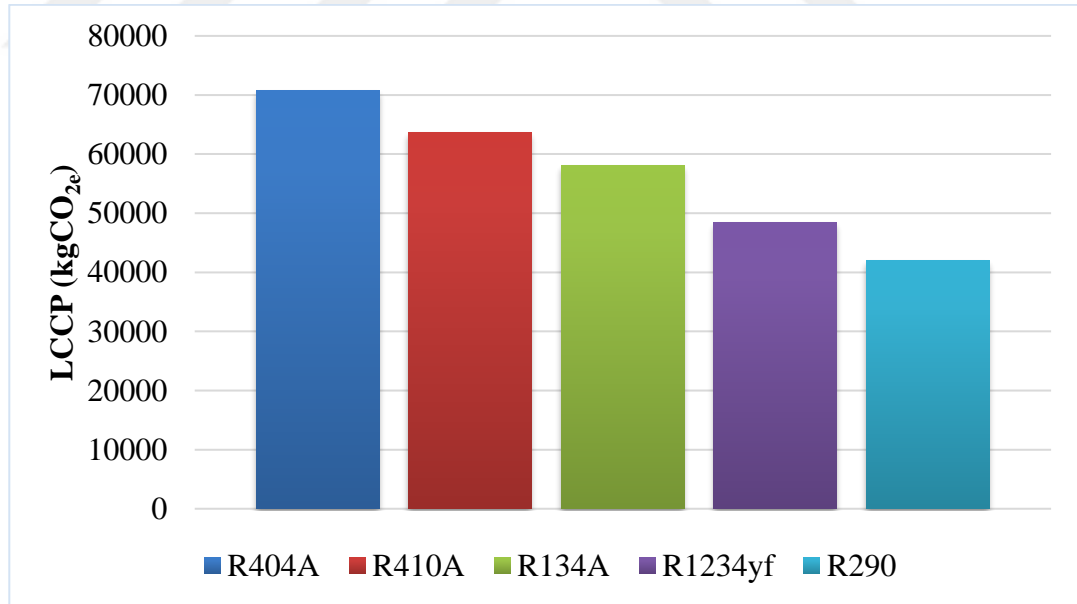


Şekil 4.5. LCCP analizi dolaylı emisyonlar grafiği

Şekil 4.5.'teki grafik incelendiğinde farklı soğutucu akışkanlar kullanılan TTS'lerde dolaylı emisyon değerleri farklı çıkmaktadır. Bu değerlerin farklı çıkmasının en önemli nedeni yıllık enerji tüketimlerinin farklı olmasından dolayıdır. Yıllık enerji tüketimi az olan R290 soğutucu akışkanı kullanılan TTS'nin dolaylı emisyon değeri en az çıkmışken, yıllık enerji tüketimi yüksek R404A soğutucu akışkanı kullanılan TTS'nin dolaylı emisyon değeri en fazla olduğu görülmüştür. R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanların LCCP analizinde dolaylı emisyon değerleri sırasıyla 65513,36 kgCO_{2e}, 61296,52 kgCO_{2e}, 56687,45 kgCO_{2e}, 48445,7 kgCO_{2e} ve 42006,31 kgCO_{2e} olarak bulunmuştur.

LCCP analizleri, endüstriyel süreçlerin ve tüketim mallarının çevresel etkilerini değerlendirmede önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. Bu analizlerin sonuçları, çevresel sürdürülebilirlik stratejilerinin oluşturulması süreçlerinde bilinçli kararlar vermelerine yardımcı olmaktadır.

Doğrudan ve dolaylı emisyonların toplanması ile LCCP analizinin sonucuna ulaşılır. LCCP toplam değeri Eşitlik 3.7. yardımı ile hesaplanır. Soğutucu akışkanlara ait nihai LCCP analizi sonuçları Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. LCCP analizi sonuç grafiği

Şekil 4.6.'da verilen LCCP sonuç grafiğinde düşük LCCP değerine sahip R290 soğutucu akışkanı kullanılan TTS'nin farklı soğutucu akışkan kullanan TTS'lere göre daha çevreci bir özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

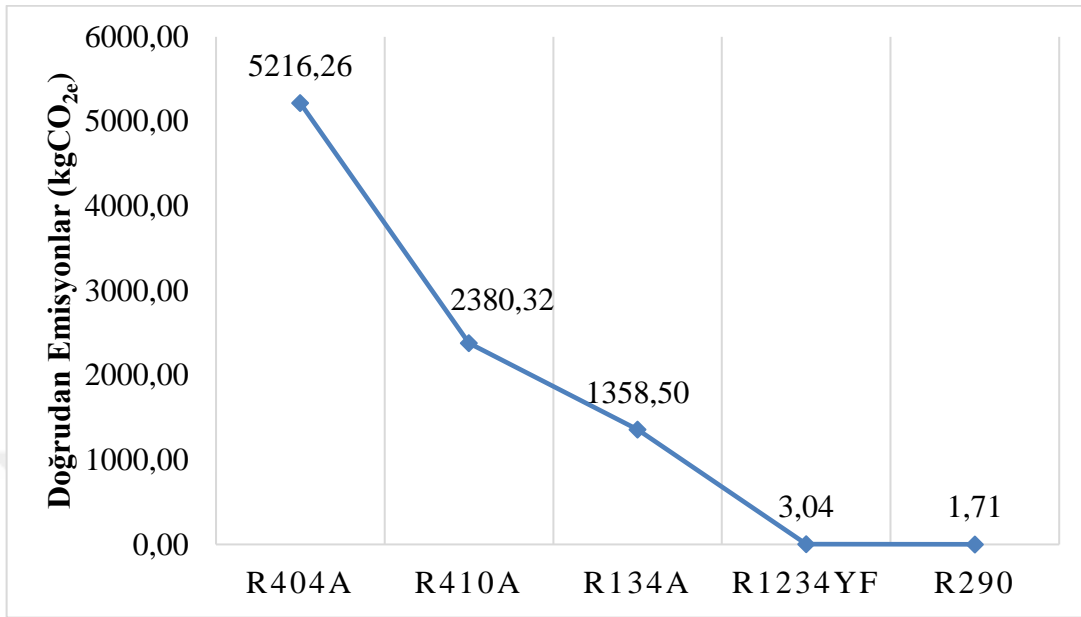
Bunun nedeni doğrudan ve dolaylı emisyon değerlerinin R290 soğutucu akışkanı kullanılan TTS’de en az değerde çıkmasıdır. Teşhir tipi soğutucularda kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının toplam LCCP analiz sonuçları sırasıyla 70729,62 kgCO_{2e}, 63676,84 kgCO_{2e}, 58047,47 kgCO_{2e}, 48451,25 kgCO_{2e} ve 42008,02 kgCO_{2e} olarak bulunmuştur.

Analiz sonuçlarına etki eden soğutucu akışkanlarının KIP değerlerinin az olmasının kritik öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.3. TEWI Analiz Sonuçları

TEWI analizi, bir ürün veya sistem tarafından yaşam döngüsü boyunca üretilen sera gazı emisyonlarının küresel ısınma potansiyellerini dikkate alarak hesaplanır. Bu analiz, ürünlerin veya sistemlerin çevresel etkilerini belirlemek için kullanılan kapsamlı bir yöntemdir. TEWI analizinde doğrudan emisyonlar, genellikle ürünün veya sistemin üretim, işleme veya kullanım sırasında doğrudan kontrol edilebilen ve belirli bir süre içinde atmosfere salınan sera gazlarıdır. Bu emisyonlar, fosil yakıtların yanması, kimyasal proseslerin gerçekleştirilmesi veya elektrik üretim süreçlerindeki emisyonlar gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Doğrudan emisyonların TEWI analizinde önemi, ürün veya sistemlerin çevresel etkilerini doğru bir şekilde değerlendirme ve karşılaştırma sürecinde ortaya çıkar. Örneğin, bir soğutma sisteminin TEWI değeri, soğutucu gazın üretimi, kullanımı sırasında yayılan emisyonlar ve sistem atılma sürecindeki etkilerini içerebilir. Bu analiz, ürünlerin veya sistemlerin karbon ayak izini belirlemede kritik bir rol oynar ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için stratejik kararlar alınmasına yardımcı olur. Sonuç olarak, TEWI analizi doğrudan emisyonların küresel ısınma potansiyelini dikkate alarak hesaplamasını yaparak, ürünlerin veya sistemlerin çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirir ve bu analiz sonuçları, çevresel sürdürülebilirlik stratejileri oluşturulmasında ve karar alıcıların politika yapma süreçlerinde önemli bir rol oynar. Eşitlik 3.10., Eşitlik 3.11. ve Eşitlik 3.12. kullanılarak TEWI değeri hesaplanmıştır.

TEWI değeri için gereken doğrudan emisyonlar Eşitlik 3.11. kullanılarak her bir soğutucu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Şekil 4.7.'de verilmiştir.

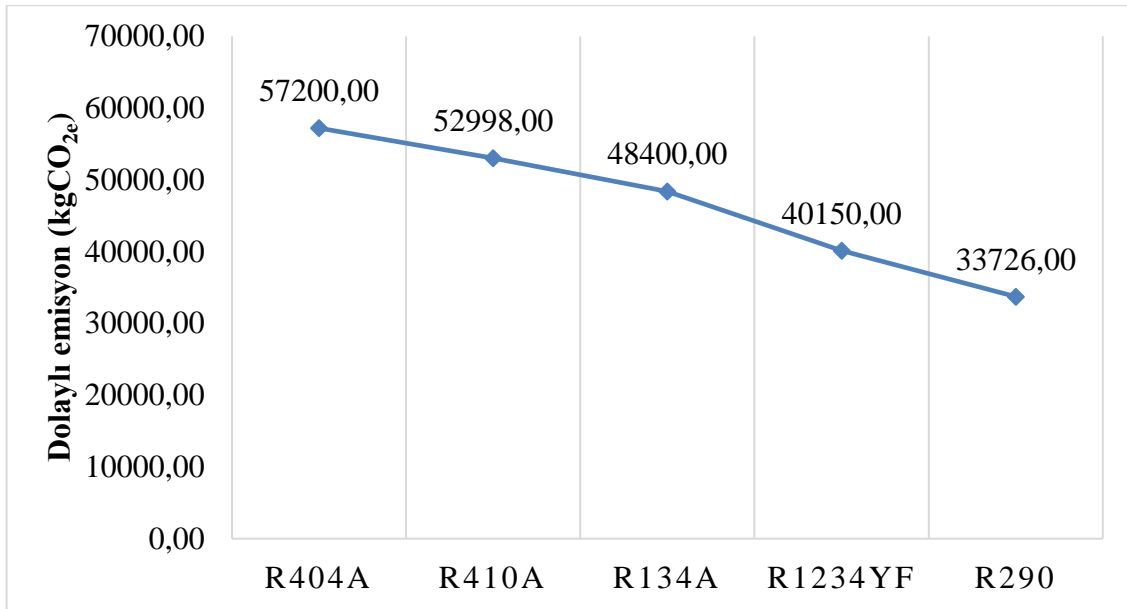


Şekil 4.7. TEWI analizi doğrudan emisyonlar sonuç grafiği

Şekil 4.7.'e grafik yorumlandığında doğrudan emisyon değerlerindeki farklılıkların en önemli sebebi KIP değerleri arasındaki farklılardan dolayıdır. KIP değeri en düşük soğutucu akışkan olan R290 kullanılan TTS'nin en düşük doğrudan emisyon değerine sahip olduğu, KIP değeri yüksek R404A soğutucu akışkanı kullanılan TTS'nin doğrudan emisyon değerinin en fazla olduğu görülmüştür. TTS'lerde kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının TEWI analizi doğrudan emisyon değerleri sırasıyla 5216,26 kgCO_{2e}, 2380,32 kgCO_{2e}, 1358,50 kgCO_{2e}, 3,04 kgCO_{2e} ve 1,71 kgCO_{2e} olarak bulunmuştur.

TEWI analizinde dolaylı emisyonlar, ürün veya sistemin tedarik zinciri boyunca malzemelerin üretimi, taşıma, depolama ve dağıtım sırasında ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını içerir. Ayrıca, ürünün tüketicilere ulaştırılması için yapılan lojistik süreçlerde kullanılan taşıma araçlarının emisyonları ve atık yönetimi süreçlerindeki sera gazı emisyonları da dolaylı emisyonlara dahildir. Dolaylı emisyonların TEWI analizinde hesaplanması, ürün veya sistemin toplam karbon ayak izini belirlemek için önemlidir. Bu analiz, ürünlerin veya sistemlerin çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirme ve karşılaştırma sürecinde kullanılır.

TEWI analizi dolaylı emisyonların etkilerini anlamak ve azaltmak için önemli bir araç olarak kabul edilir ve çevresel sürdürülebilirlik çabalarına katkıda bulunur. Dolaylı emisyonlar Eşitlik 3.12. kullanılarak hesaplanmıştır. Soğutucu akışkanlara ait dolaylı emisyonların grafikleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.

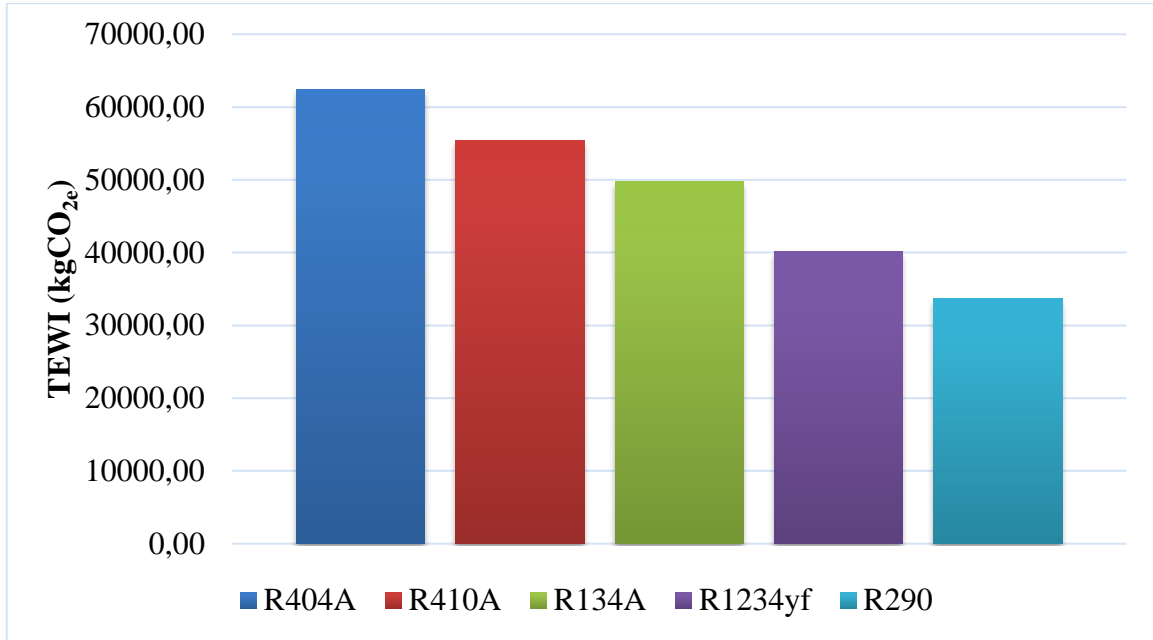


Şekil 4.8. TEWI analizi dolaylı emisyonlar sonuç grafiği

Şekil 4.8.'deki grafik incelendiğinde dolaylı emisyonlar arasındaki farklılıklar görülmektedir. Bunun en önemli nedeni yıllık enerji tüketimlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yıllık enerji tüketimi en az olan R290 soğutucu akışkanı kullanılan TTS'de en az çıkmışken, yıllık enerji tüketimi en fazla olan R404A soğutucu akışkanı kullanılan TTS'de dolaylı emisyon değeri en yüksek değerde çıkmıştır. R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının TEWI analizi dolaylı emisyon değerleri sırasıyla 57200 kgCO_{2e}, 52998 kgCO_{2e}, 48400 kgCO_{2e}, 40150 kgCO_{2e} ve 33726 kgCO_{2e} olarak hesaplanmıştır. TEWI analizinde, her bir emisyon kaynağı için sera gazı emisyonlarının küresel ısınma potansiyeli hesaplanmıştır.

TEWI analizi sonuçları, sistemlerin çevresel etkilerini objektif bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olur. Bu analiz, sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesi ve karbon azaltma hedeflerine ulaşılması için önemli bir araçtır. Ayrıca, farklı teknoloji seçeneklerinin ve işlemlerin çevresel performanslarının karşılaştırılmasında da kullanılır, böylece daha çevresel olarak sürdürülebilir seçeneklerin belirlenmesine katkı sağlar.

TEWI analizi, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynayan ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için gerekli olan bilgi sağlayan kapsamlı bir metodolojidir. Şekil 4.9.'da TTS'de kullanılan soğutucu akışkanların TEWI grafiği verilmiştir. TEWI analizi Eşitlik 3.10. yardımı ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.9. TEWI analizi sonuç grafiği

Şekil 4.9.'daki grafik incelendiğinde R290 soğutucu akışkanın TEWI değeri en düşük değerde çıkmıştır. Bunun sebebi R290 soğutucu akışkanı kullanılan TTS'de doğrudan emisyon ve dolaylı emisyon değerlerinin en düşük seviyede çıkmasıdır. TTS'lerde kullanılan soğutucu akışkanlar olan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanlarının TEWI analiz değerleri sırasıyla 62416,26 kgCO_{2e}, 55378,32 kgCO_{2e}, 49758,50 kgCO_{2e}, 40153,04 kgCO_{2e} ve 33727,71 kgCO_{2e} olarak bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tez kapsamında TTS'lerde kullanılan soğutucu akışkanların termodinamik, LCCP ve TEWI analizleri yapılmıştır. Termodinamik analizleri sonucunda:

- TTS'lerdeki kompresör güç tüketimleri karşılaştırıldığında doğal bir soğutucu akışkan olan R290 R404A'ya göre %11,34, R410A'ya göre %8,30, R134A'ya göre %5,75, R1234yf'e göre %2,69 oranında daha az kompresör gücüne sahiptir. Bu sonuçlara göre düşük KIP değerine sahip R290 soğutucu akışkanın daha az kompresör güç tüketiminin olduğu görülmüştür. Böylece R290 soğutucu akışkanı kullanılan TTS'nin toplam enerji tüketiminin daha az olabileceği sonucu çıkarılabilir.
- COP değerleri karşılaştırıldığında R290 soğutucu akışkanı R404A soğutucu akışkanına göre %11,40, R410A'ya göre %9,10, R134A'ya göre %5,95, R1234yf'e göre %2,09 oranında daha fazla soğutma performansına sahiptir. Doğal soğutucu akışkan olan R290 kullanılan TTS'de daha yüksek soğutma performansı gösterdiği görülmüştür.
- Teşhir tipi soğutucularda kullanılan R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 soğutucu akışkanları için ikinci yasa verimleri sırasıyla %47,71, %48,95, %50,65, %52,73 ve %53,85 olarak hesaplanmıştır.

R404A, R410A, R134A, R1234yf ve R290 gibi farklı soğutucu akışkanlarının kullanıldığı teşhir tipi soğutucuların LCCP ve TEWI analizleri, çevresel etkilerini değerlendirmek için kritik öneme sahiptir.

LCCP analizi, bu soğutucu akışkanların üretiminden başlayarak, kullanım ömrü boyunca enerji tüketimi ve atılma sürecindeki etkilerini hesaba katar. Bu analiz, her bir akışkanın yaşam döngüsü boyunca toplam sera gazı emisyonlarını belirlemekte kullanılır.

Özellikle yüksek KIP değerlerine sahip olan R404A, R410A ve R134A gibi akışkanların, daha düşük KIP değerlerine sahip olan R1234yf ve R290'a kıyasla daha yüksek LCCP değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu değerlerin kıyaslaması aşağıda listelenmiştir:

- TTS'lerde kullanılan R290 soğutucu akışkanının doğrudan emisyon değeri R404A'ya göre %99,96, R410A'ya göre %99,92, R134A'ya göre %99,87, R1234yf'e göre %69,17 oranında düşük çıkmıştır. Doğrudan emisyonlarda soğutucu akışkanların KIP değeri etken bir değere sahip olduğu için KIP değeri yüksek soğutucu akışkanların doğrudan emisyonları yüksek çıkmıştır.
- TTS'lerde kullanılan R290 soğutucu akışkanına ait dolaylı emisyon değeri R404A'ya göre %35,88, R410A'ya göre %31,47, R134A'ya göre %25,9, R1234yf'e göre %13,29 oranında az olduğu görülmüştür.
- TTS'lerde kullanılan R290 soğutucu akışkanı R404A'ya göre %39,09, R410A'ya göre %34,03, R134A'ya göre %27,63, R1234yf'e göre %13,3 oranında daha az LCCP değeri hesaplanmış olup aralarında çevreye en az zararı olan R290 soğutucu akışkanı olarak gözlemlenmiştir.

TEWI analizi ise, sera gazı emisyonlarının küresel ısınma potansiyellerini dikkate alarak hesaplanmasını sağlar. Bu analizde, soğutucu akışkanların kullanımı sırasında atmosfere salınan doğrudan ve dolaylı emisyonlar değerlendirilir. Bu değerlendirmeler sonucunda;

- TEWI analizi doğrudan emisyon değerleri karşılaştırıldığında TTS'lerde kullanılan R290 soğutucu akışkanı R404A'ya göre %99,97, 410A'ya göre %99,93, R134A'ya göre %99,87 ve R1234yf'e göre %43,75 oranında daha az emisyon değerinin olduğu görülmüştür.
- TTS'lerde kullanılan R290 soğutucu akışkanına ait dolaylı emisyon değerinin R404A soğutucu akışkanına göre %41,04, R410A %36,36, R134A %30,32, R1234yf %16 oranında daha az olduğu görülmüştür.
- TTS'lerde kullanılan R290 soğutucu akışkanı R404A'ya göre %45,96, R410A'ya göre %39,10, R134A'ya göre %32,22, R1234yf %16 oranında TEWI değeri daha düşük çıkmıştır.

R404A, R410A ve R134A gibi yüksek KIP değerlerine sahip akışkanların TEWI değerleri genellikle daha yüksektir, bu da bu akışkanların küresel ısınma potansiyelinin diğerlerine göre daha fazla olduğunu gösterir. R1234yf ve R290 gibi düşük KIP değerlerine sahip akışkanlar ise genellikle daha düşük TEWI değerlerine sahiptir.

LCCP ve TEWI analizleri, soğutucu akışkanların çevresel etkilerini belirlemek ve sürdürülebilirlik açısından daha iyi seçeneklerin belirlenmesine yardımcı olmak için önemli araçlardır. Bu analizler, endüstriyel süreçlerde ve tüketici ürünlerinde çevresel performansın değerlendirilmesinde kullanılarak, karbon azaltma hedeflerine ulaşılmasında stratejik karar verme süreçlerinde rehberlik sağlar.

5.2 Öneriler

Teşhir tipi soğutucularda kullanılan farklı soğutucu akışkanların LCCP ve TEWI analizlerinin yapılması, çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve sürdürülebilirlik açısından doğru seçimlerin yapılmasına yardımcı olabilir. Kullanılacak soğutucu akışkanların LCCP ve TEWI değerlerini karşılaştırmak önemlidir. R404A, R410A ve R134A gibi yüksek KIP değerlerine sahip HFC'ler, daha yüksek sera gazı emisyonlarına ve dolayısıyla yüksek LCCP ve TEWI değerlerine sahiptir. Bu akışkanların yerine, daha düşük KIP değerlerine sahip olan R1234yf ve R290 gibi alternatiflerin tercih edilmesi önerilebilir.

LCCP analizi, soğutucu akışkanların üretiminden başlayarak, kullanım sürecindeki enerji tüketimi ve atılma sürecindeki etkileri de hesaba katar. Dolayısıyla, her bir soğutucu akışkan için tedarik zinciri boyunca emisyonların nasıl değiştiğini anlamak önemlidir. R290 gibi doğal soğutucu akışkanlar genellikle daha düşük LCCP değerlerine sahiptirler.

TEWI analizi, soğutma sisteminin enerji verimliliğini de dikkate alarak sera gazı emisyonlarının toplam etkisini değerlendirir. Bu nedenle, enerji verimliliği yüksek olan ve düşük KIP değerine sahip soğutucu akışkanların seçilmesi, sürdürülebilirlik açısından önem taşır. R290 gibi doğal soğutucu akışkanlar, enerji verimliliği konusunda avantajlar sunabilirken, düşük KIP değeri ile de çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir seçenek olabilir.

Soğutucu akışkan seçimi, kullanılacak soğutucu sistemin teknik özelliklerine, operasyonel gereksinimlerine ve güvenlik standartlarına uygun olmalıdır. Özellikle doğal soğutucu akışkanlar gibi yanıcı olan akışkanların kullanımı durumunda, uygun önlemler alınarak güvenlik sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, teşhir tipi soğutucularda LCCP ve TEWI analizleri hem çevresel etkilerin azaltılması hem de enerji verimliliğinin artırılması açısından stratejik kararlar alınmasına yardımcı olur. Her bir soğutucu akışkanın özelliklerinin dikkate alınması ve yerel düzenlemelere uygunluğun sağlanması önemlidir.



KAYNAKLAR

- Aktekeli, B., Aktaş, M., Erten, S., Öder, M., Erdoğan F.N., Güven Y., (2024). Fotovoltaik termal güneş kolektörlü soğutma sisteminin yaşam döngüsü iklim performansı (LCCP) analizi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), 205-215.
- Andrade, A., Zapata-Mina, J., & Restrepo, A. (2024). Exergy and environmental assessment of R-290 as a substitute of R-410A of room air conditioner variable type based on LCCP and TEWI approaches. Results in Engineering, 21, 101806.
- Anonim a, Teşhir tipi soğutucu [Online], Nurdil Teknik Soğutma A.Ş., <https://www.nurdil.com.tr/detay/densu-2-icten-motorlu.html>. [Ziyaret Tarihi: 12.09.2024]
- Anonim b, Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi nedir? Çalışma prensibi nedir? [Online], Friterm, <https://www.iklimlendirme.web.tr/sogutma/buhar-sikistirmali-sogutma-cevrimi-nedir-calisma-prensibi-nedir#:~:text=So%C4%9Futma%20sistemlerinde%20buhar%20s%C4%B1k%C4%B1%C5%9Ft%C4%B1rmaya%20g%C3%B6re,basma%20hatt%C4%B1%20olarak%20ifade%20edilir.> [Ziyaret Tarihi: 28.06.2024]
- Anonim c, Hermetik tip kompresör [Online], Danfoss, <https://store.danfoss.com/en/Climate-Solutions-for-cooling/Compressors/Compressors-for-refrigeration/Light-commercial-compressors/Light-commercial-compressors/Reciprocating-compressor%2C-GLY45AAa/p/123B1109>. [Erişim Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim ç, Hermetik ve yarı hermetik tip kompresörler [Online], Cantaş Teknik, <http://cantasteknik.com/hermetik-ve-yari-hermetik/>. [Erişim Tarihi: 31.12.2024]
- Anonim d, Mekanik soğutma sistemi [Online], Kar soğutma sistemleri [https://www.karsogutma.com/meکانik-sogutma-sistemi-nedir/#:~:text=2\)YOĞUŞTURUCU%3A%20Yo%C4%9Fu%C5%9Fturucu%20olarak%20da,s%C4%B1v%C4%B1%20hale%20ge%C3%A7mesini%20sa%C4%9Flayan%20elemand%C4%B1r.](https://www.karsogutma.com/meکانik-sogutma-sistemi-nedir/#:~:text=2)YOĞUŞTURUCU%3A%20Yo%C4%9Fu%C5%9Fturucu%20olarak%20da,s%C4%B1v%C4%B1%20hale%20ge%C3%A7mesini%20sa%C4%9Flayan%20elemand%C4%B1r.) [Ziyaret Tarihi: 28.06.2024]
- Anonim e, Yoğuşturucu [Online], <https://malzemebilimi.net/yoğuşturucu-nedir-yoğuşturucu-cesitleri-nelerdir.html>. [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim f, <https://reftools.danfoss.com/spa/tools/ref-slider#/> [Ziyaret Tarihi: 01.07.2024]
- Anonim g, Kılcal boru [Online], Ekspres soğutma, <https://www.ekspresogutma.com/rakorlu-kilcal-boru>. [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]

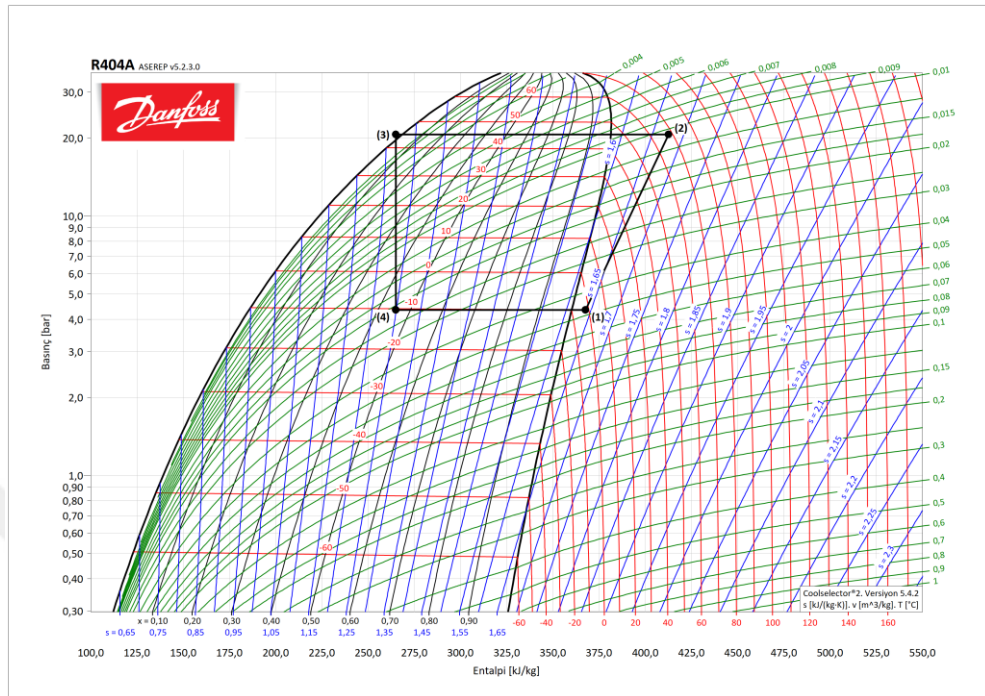
- Anonim h, Termostatik genişleme valfi [Online], Detay soğutma,
<https://detaysogutma.com/termostatik-genlesme-valfleri.php>.
 [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim ı, Elektronik genişleme valfi [Online], Frigoduman,
<https://www.frigoduman.com.tr/ets-6-32-elecexpvalf-034g5055-sp1>.
 [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim i, Buharlaştırıcı [Online], Termokar heat exchanger,
http://www.termokar.com/urunler/1006/vitrinsise_sogutucu_bataryalari/1008/vitrinsise_sogutucu.aspx. [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim j, Kurutucu filtre [Online], Cantas,
<https://www.cantas.com/urun/dena-500-gr-kurutucu-filtre-635-635-sae/>.
 [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim k, Soğutucu akışkan bilgi [Online], Danfoss,
<https://reftools.danfoss.com/spa/tools/ref-slider#/>. [Ziyaret Tarihi: 02.07.2024]
- Anonim l, R404A [Online], Tura iklimlendirme,
<https://www.turaiklimlendirme.com/tr/gazlar/261-r404a-gaz/#:~:text=Kimyasal%20form%C3%BCI%C3%BC%3A%20R404A%2C%20HFC%20ailesinin,adl%C4%B1%20%C3%BC%C3%A7%20HFC%20bile%C5%9Feninden%20olu%C5%9Fur>. [Ziyaret Tarihi: 08.07.2024]
- Anonim m, R410A [Online], Tura iklimlendirme,
<https://www.turaiklimlendirme.com/tr/gazlar/262-r410a-gazi/>.
 [Ziyaret Tarihi: 08.07.2024]
- Anonim n, R134A [Online], Wikipedia, <https://tr.wikipedia.org/wiki/R-134a>.
 [Ziyaret Tarihi: 08.07.2024]
- Anonim o, R134A [Online], HVAC Global ,
<https://en.m.wikipedia.org/wiki/1,1,1,2-Tetrafluoroethane>. [Ziyaret Tarihi: 08.10.2024]
- Anonim ö, R1234yf [Online], Wikipedia,
<https://en.wikipedia.org/wiki/2,3,3,3-Tetrafluoropropene>. [Ziyaret Tarihi: 08.07.2024]
- Anonim p, R290 [Online], Wikipedia, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Propan>.
 [Ziyaret Tarihi: 08.07.2024]
- Botticella, F., De Rossi, F., Mauro, A. W., Vanoli, G. P., & Viscito, L. (2018). Multi-criteria (thermodynamic, economic and environmental) analysis of possible design options for residential heating split systems working with low GWP refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, 87, 131-153.
- Choi, S., Oh, J., Hwang, Y., & Lee, H. (2017). Life cycle climate performance evaluation (LCCP) on cooling and heating systems in South Korea. *Applied Thermal Engineering*, 120, 88-98.

- Choi, S., Jung, Y., Kim, Y., Lee, H., & Hwang, Y. (2021). Environmental effect evaluation of refrigerator cycle with life cycle climate performance. *International Journal of Refrigeration*, 122, 134-146.
- Coulomb, D., Dupont, J. L., & Pichard, A. (2015). The role of refrigeration in the global economy-29. *informatory note on refrigeration technologies*.
- Corberán, J. M., Segurado, J., Colbourne, D., & González, J. (2008). Review of standards for the use of hydrocarbon refrigerants in A/C, heat pump and refrigeration equipment. *International Journal of refrigeration*, 31(4), 748-756.
- Çengel Y. A. ve Boles M. A., 2013, *Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla*, Palme Yayıncılık.
- Devecioğlu, A. G., & Oruç, V. (2017). The influence of plate-type heat exchanger on energy efficiency and environmental effects of the air-conditioners using R453A as a substitute for R22. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1364-1372.
- Devecioğlu, A. G., & Oruç, V. (2016). Hcfc-22 Yerine Kullanılan Bazı HFC'lerin Çevresel Etkilerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 36(1), 99-105.
- Faramarzi, R. (1999). Efficient display case refrigeration. *ASHRAE journal*, 41(11), 46.
- International Institute of Refrigeration, I.-I. (IIR) and Y., H., "Guideline for Life Cycle Climate Performance", (2016).
- İsa, K., & Onat, A. (2012). *İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği*. Basım., Doğa Yayıncılık., İSTANBUL.
- Islam, M. A., Srinivasan, K., Thu, K., & Saha, B. B. (2017). Assessment of total equivalent warming impact (TEWI) of supermarket refrigeration systems. *international journal of hydrogen energy*, 42(43), 26973-26983.
- Keogh, A. (2005). Soğutucu Akışkan Seçimi ve Su Soğutma Grubu Tasarımı Paket Tip Su Soğutma Gruplarında R410A Kullanımı. *Alarko, Türkiye, Rap*, 4.
- Koç, A., Bahadıroğlu, A., Atay, B. N., Ünver, Ü. (2021). Soğutucu Akışkan Performanslarının Farklı Kriterlere Göre Karşılaştırılması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 22-31.
- Koyun, T., Koyun, A., & Acar, M. (2005). Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar ve bu akışkanların ozon tabakası üzerine etkileri. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 88, 46-53.
- Lee, H., Troch, S., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2016). LCCP evaluation on various vapor compression cycle options and low GWP refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, 70, 128-137.

- Li, G. (2015). Comprehensive investigations of life cycle climate performance of packaged air source heat pumps for residential application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 702-710.
- Llopis, R., Calleja-Anta, D., Maiorino, A., Nebot-Andrés, L., Sánchez, D., & Cabello, R. (2020). TEWI analysis of a stand-alone refrigeration system using low-GWP fluids with leakage ratio consideration. *International Journal of Refrigeration*, 118, 279-289.
- López-Belchí, A. (2019). 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.
- Mancuhan, E., Tunç, B., Yetkin, K. & Çelik, C. (2019). Comparative analysis of cascade refrigeration systems' performance and enviromental impacts. *Journal of the Turkish Chemical Society Section B: Chemical Engineering*, 2(2), 97-108.
- Özcan, H., & Arcaklıoğlu, E. (2011). Alternatif Soğutucu Akışkanlar Olarak Çevre Dostu Hidrokarbonların Kullanılması Üzerine Bir Değerlendirme, 6. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu, Elazığ.
- Troch, S. V. (2016). Harmonization of Life Cycle Climate Performance and Its Improvements for Heat Pump Applications (Doctoral dissertation).
- Yang, C., Seo, S., Takata, N., Thu, K., & Miyazaki, T. (2021). The life cycle climate performance evaluation of low-GWP refrigerants for domestic heat pumps. *International Journal of Refrigeration*, 121, 33-42.
- Yıldız, A. and Yıldırım, R., "R134a'ya Alternatif Bir Soğutucu Akışkan (R513A) Kullanan Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemlerinin Enerji ve Çevresel Analizi", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 8 (3): 1817– 1828 (2020).
- Yılmaz, B., Mançuhan, E., & Yılmaz, D. (2020). Theoretical Analysis Of A Cascade Refrigeration System With Natural And Synthetic Working Fluid Pairs For Ultra Low Temperature Applications. *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 40(1), 141-153.
- Wan, H., Cao, T., Hwang, Y., Radermacher, R., & Chin, S. (2021). Comprehensive investigations on Life Cycle Climate Performance of unitary air-conditioners. *International Journal of Refrigeration*, 129, 332-341.
- Wang, Z. Y., Wang, H. Q., & Liu, C. R. (2013). LCCP Evaluation on Environmental Impact of Air-conditioning Cold and Heat Source. *Applied Mechanics and Materials*, 291, 1789-1794.

EKLER

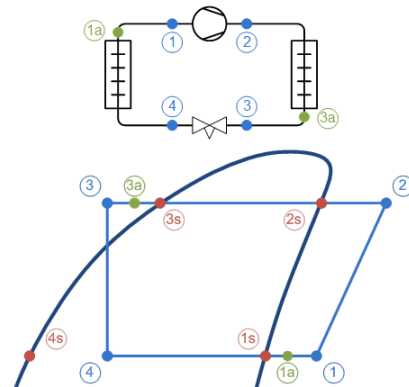
EK-1 Danfoss Coolselector2'den alınan R404A ait basınç-entalpi diyagramı



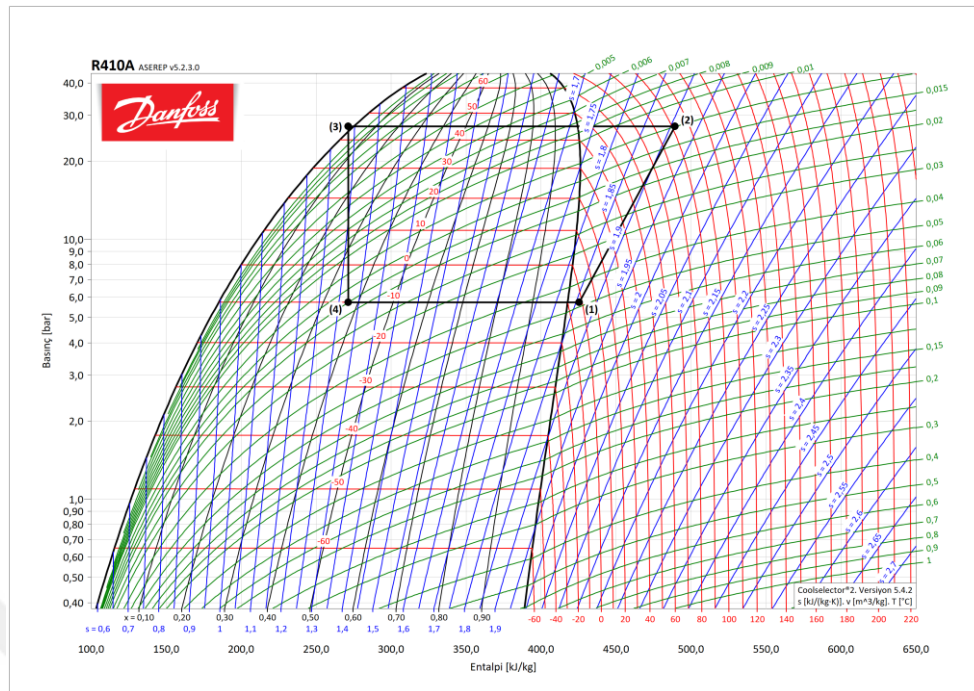
EK-2 Danfoss Coolselector2'den alınan R404A ait detaylı tablo, mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi teorik çizim ve LogP-h diyagramı

kütleli debi: 105,3 kg/h

Nokta	Açıklama	Sıcaklık [°C]	Basınç (a) [bar]	Yoğunluk [kg/m ³]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/(kg·K)]
1	Kompresör emişi	-2,0	4,342	21,06	367,6	1,639
2	Kompresör basması (tahmini)	68,1	20,63	94,2	412,5	1,676
2s	Kondenzasyon çiy noktası	45,3	20,63	118,6	381,3	1,581
3s	Kondenzasyon kaynama noktası	45,0	20,63	935,4	268,5	1,227
3a	Kondenser çıkış	43,0	20,63	948	265,1	1,217
3	İlave aşırı soğutma dahilidir	43,0	20,63	948	265,1	1,217
4	Genleşme valfinden sonra	-10,3	4,342	47,38	265,1	1,249
4s	Evaporasyon kaynama noktası	-10,6	4,342	1190	185,6	0,9468
1s	Evaporasyon çiy noktası	-10,0	4,342	22,05	360,1	1,611
1a	Evaporatör çıkış	-2,0	4,342	21,06	367,6	1,639



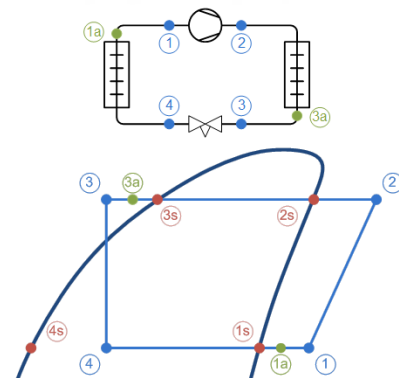
EK-3 Danfoss Coolselector2'den alınan R410A ait basınç-entalpi diyagramı



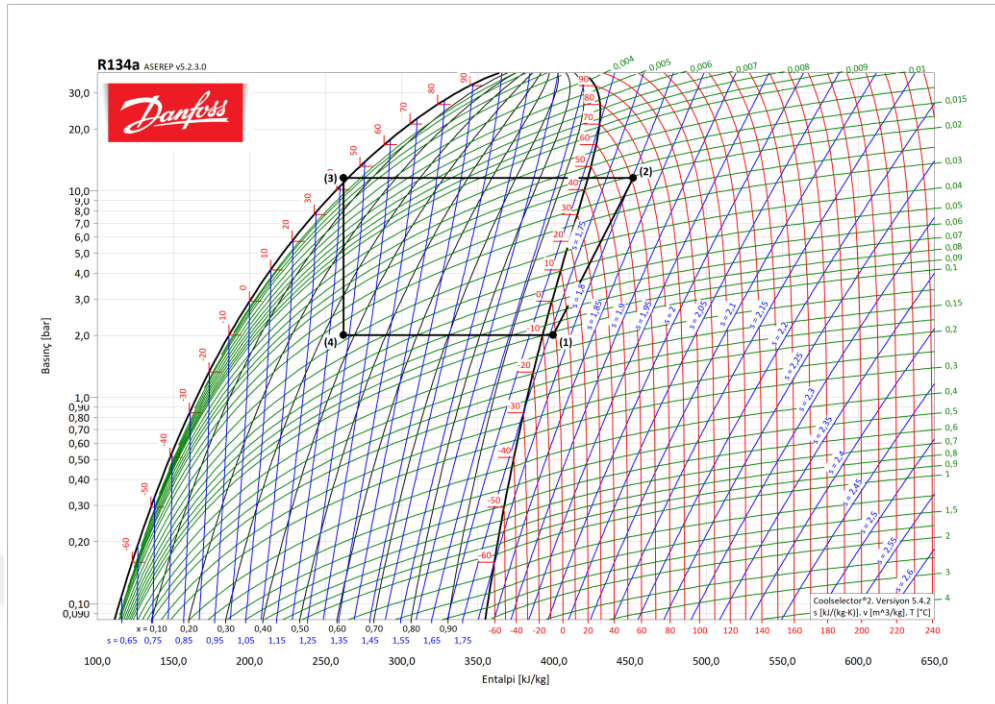
EK-4 Danfoss Coolselector2'den alınan R410A ait detaylı tablo, mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi teorik çizim ve LogP-h diyagramı

kütesel debi: 70,11 kg/h

Nokta	Açıklama	Sıcaklık [°C]	Basınç (a) [bar]	Yoğunluk [kg/m ³]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/(kg·K)]
1	Kompresör emişi	-2,0	5,724	20,87	425,4	1,858
2	Kompresör basması (tahmini)	91,8	27,25	80,29	489,2	1,908
2s	Kondenzasyon çiy noktası	45,1	27,25	119,8	424,3	1,717
3s	Kondenzasyon kaynama noktası	45,0	27,25	947,4	275,2	1,248
3a	Kondenser çıkış	43,0	27,25	960,4	271,3	1,237
3	İlave aşırı soğutma dahildir	43,0	27,25	960,4	271,3	1,237
4	Genleşme valfinden sonra	-10,1	5,724	57,26	271,3	1,273
4s	Evaporasyon kaynama noktası	-10,1	5,724	1210	185	0,9453
1s	Evaporasyon çiy noktası	-10,0	5,724	21,9	417,6	1,829
1a	Evaporatör çıkış	-2,0	5,724	20,87	425,4	1,858



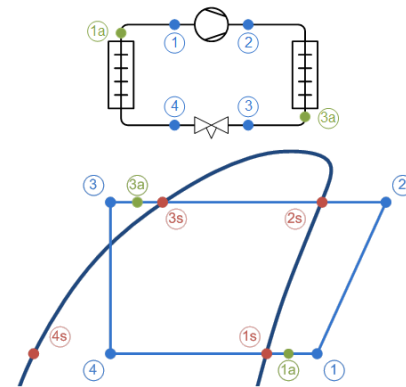
EK-5 Danfoss Coolselector2'den alınan R134A ait basınç-entalpi diyagramı



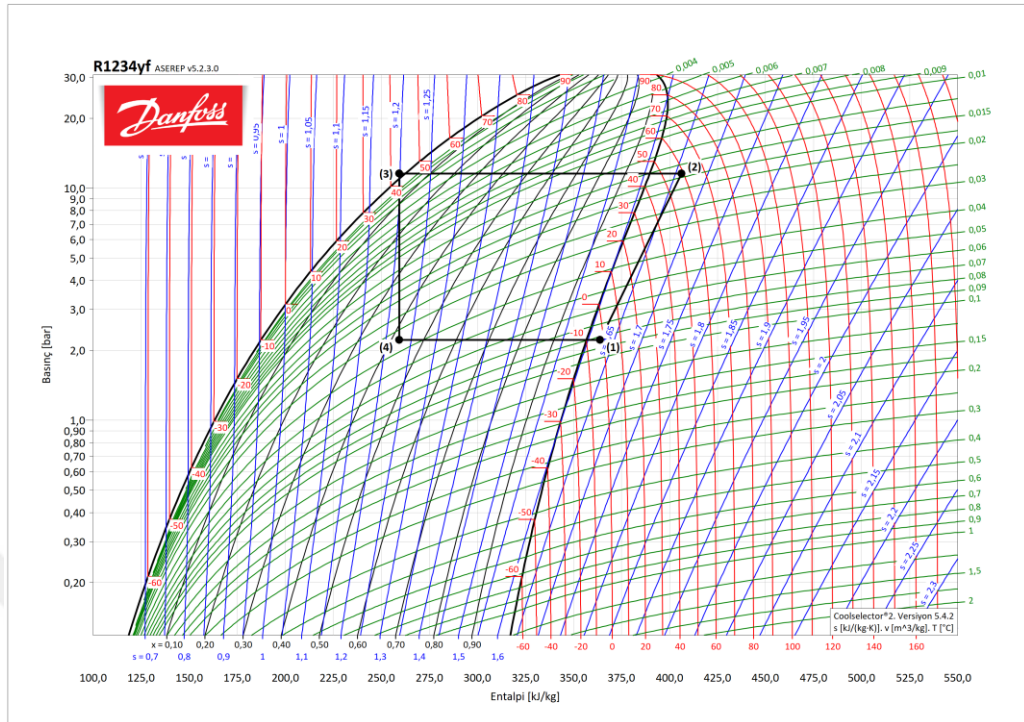
EK-6 Danfoss Coolselector2'den alınan R134A ait detaylı tablo, mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi teorik çizim ve LogP-h diyagramı

kütesel debi: 78,44 kg/h

Nokta	Açıklama	Sıcaklık [°C]	Basınç (a) [bar]	Yoğunluk [kg/m ³]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/(kg·K)]
1	Kompresör emişi	-2,0	2,006	9,665	399,4	1,759
2	Kompresör basması (tahmini)	71,3	11,60	48,84	452,1	1,802
2s	Kondenzasyon çiy noktası	45,0	11,60	57,62	422,3	1,712
3s	Kondenzasyon kaynama noktası	45,0	11,60	1126	264,8	1,217
3a	Kondenser çıkış	43,0	11,60	1135	261,7	1,207
3	İlave aşırı soğutma dahildir	43,0	11,60	1135	261,7	1,207
4	Genleşme valfinden sonra	-10,0	2,006	27,16	261,7	1,236
4s	Evaporasyon kaynama noktası	-10,0	2,006	1327	186,5	0,9501
1s	Evaporasyon çiy noktası	-10,0	2,006	10,04	392,6	1,733
1a	Evaporatör çıkış	-2,0	2,006	9,665	399,4	1,759



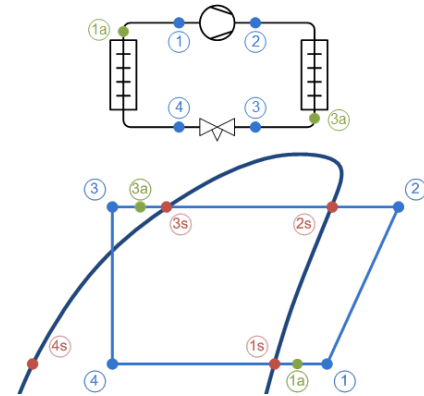
EK-7 Danfoss Coolselector2'den alınan R1234yf ait basınç-entalpi diyagramı



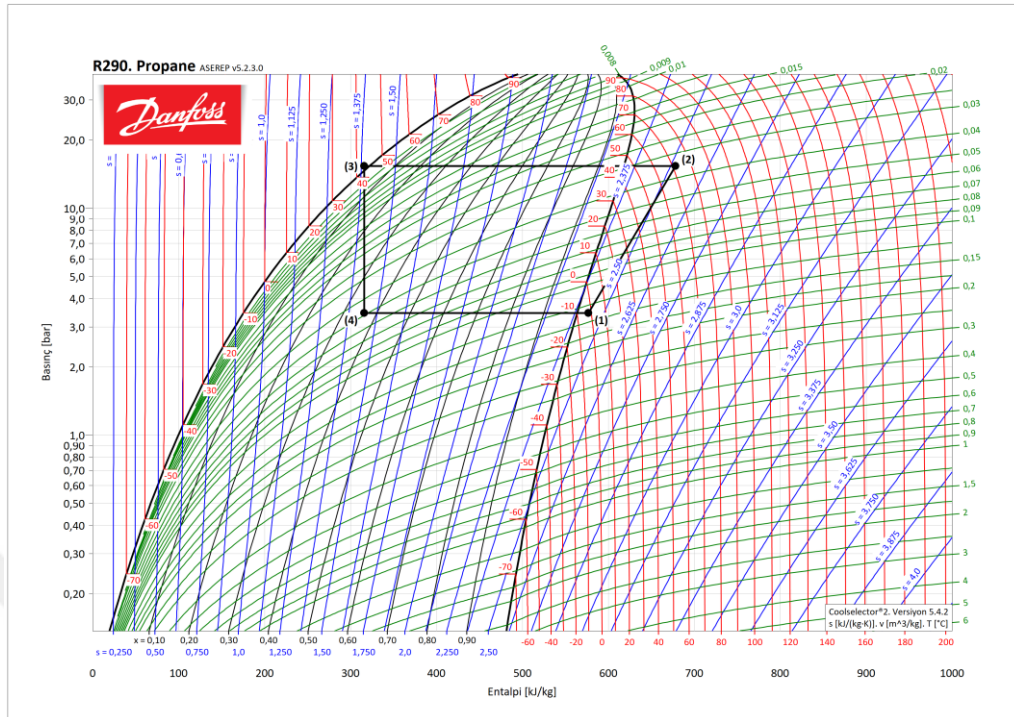
EK-8 Danfoss Coolselector2'den alınan R1234yf ait detaylı tablo, mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi teorik çizim ve LogP-h diyagramı

kütesel debi: 103,3 kg/h

Nokta	Açıklama	Sıcaklık [°C]	Basınç (a) [bar]	Yoğunluk [kg/m ³]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/(kg·K)]
1	Kompresör emişi	-2,0	2,218	12,07	363,8	1,623
2	Kompresör basması (tahmini)	59,0	11,54	59,7	406,2	1,659
2s	Kondensasyon giy noktası	45,0	11,54	66,22	389,7	1,608
3s	Kondensasyon kaynama noktası	45,0	11,54	1013	262,3	1,208
3a	Kondenser çıkış	43,0	11,54	1022	259,3	1,199
3	İlave aşırı soğutma dahildir	43,0	11,54	1022	259,3	1,199
4	Genleşme valfinden sonra	-10,0	2,218	29,13	259,3	1,227
4s	Evaporasyon kaynama noktası	-10,0	2,218	1207	187,3	0,9528
1s	Evaporasyon giy noktası	-10,0	2,218	12,56	356,7	1,597
1a	Evaporatör çıkış	-2,0	2,218	12,07	363,8	1,623



EK-9 Danfoss Coolselector2'den alınan R290 ait basınç-entalpi diyagramı



EK-10 Danfoss Coolselector2'den alınan R290 ait detaylı tablo, mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi teorik çizim ve LogP-h diyagramı

kütesel debi: 41,38 kg/h

Nokta	Açıklama	Sıcaklık [°C]	Basınç (a) [bar]	Yoğunluk [kg/m³]	Entalpi [kJ/kg]	Entropi [kJ/(kg·K)]
1	Kompresör emişi	-2,0	3,453	7,338	576,8	2,434
2	Kompresör basması (tahmini)	71,6	15,34	28,69	678,1	2,517
2s	Kondenzasyon çiy noktası	45,0	15,34	34,15	618,1	2,336
3s	Kondenzasyon kaynama noktası	45,0	15,34	458,4	321,8	1,405
3a	Kondenser çıkış	43,0	15,34	462,4	315,8	1,386
3	İlave aşırı soğutma dahildir	43,0	15,34	462,4	315,8	1,386
4	Genleşme valfinden sonra	-10,0	3,453	20,58	315,8	1,443
4s	Evaporasyon kaynama noktası	-10,0	3,453	541,8	175,3	0,909
1s	Evaporasyon çiy noktası	-10,0	3,453	7,632	563,7	2,385
1a	Evaporatör çıkış	-2,0	3,453	7,338	576,8	2,434

