

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

CO₂-R404A KASKAD SİSTEM TASARIMI,
İMALATI VE TESTİ

Ayşe TÜTÜNCÜ KARAÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

CO₂-R404A KASKAD SİSTEM TASARIMI,
İMALATI VE TESTİ

Ayşe TÜTÜNCÜ KARAÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

GEBZE

2010

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS/DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU
--	---

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından/...../..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ayşe Tütüncü Karaöz'ün tez çalışması Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : CO₂-R404A KASKAD SİSTEM TASARIMI, İMALATI VE TESTİ

YAZAR ADI : AYŞE TÜTÜNCÜ KARAÖZ

19. yy. ortalarında beri uygulanmakta olan soğutma teknolojilerinde kullanılan soğutucu akışkanların zamanla çevreye atılması sonucu doğal çevre kirlenmekte, sera etkisi artmakta ve ozon tabakası tahrip olmaktadır.

Bu nedenle dünyada, çevre dostu olan alternatif soğutucu akışkanlar için yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. Hem üstün termodinamik özellikleri, hem de daha çevreci bir akışkan olması nedeni ile doğal soğutuculardan olan CO₂ bu çalışmalara konu olmuştur.

Özellikle Avrupa ülkelerinde, yasalarında etkisiyle CO₂ soğutucu akışkan olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fakat Türkiye’de henüz sistematik bir uygulama bulunmamaktadır.

Tez çalışması kapsamında konu ile ilgili literatür taraması yapılmış ve dünyadaki CO₂ uygulamaları incelenmiştir. Aynı zamanda özgün bir CO₂-404A kaskad çevrimi tasarlanarak imal ve test edilmiştir. Böylece CO₂ ile çalışan soğutma çevrimleri ile ilgili deneyim kazanılması hedeflenmiştir.

Her ne kadar tez kapsamı bu şekilde sınırlı tutulmuşsa da tasarlanan kaskad sistemin yapılacak olan yeni çalışmalar için de kullanılacağı öngörülmüştür. Örneğin değişik parametrelerin sistem performansı üzerindeki etkisi vb.

SUMMARY

THESIS TITLE : DESIGNING, MANUFACTURING and TESTING OF CO₂-R404A CASCADE SYSTEM

AUTHOR NAME : AYŞE TÜTÜNCÜ KARAÖZ

Refrigerants which is using for cooling technologies release to environment in a period and they cause greenhouse effect and ozone depletion.

Because of these problems, studies for environment friendly refrigerants have been increased. Both its thermodynamic properties and environment friendly properties; CO₂ is the one of famous gases for this investigations.

Although especially in Europe; CO₂ has been started to use as a refrigerant; there is no systematic application yet in Turkey.

In this study, literature and applications of CO₂ systems have been searched. At the same time; CO₂-R404A cascade system has been designed, manufactured and tested. To gain experience for CO₂ systems has been aimed.

Although this thesis has been limited with this; designed cascade system will be used for new studies for CO₂. For example working parameters can be changed and effect of these parameters on system performance can be searched.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin oluşturulmasına görüş ve düşünceleriyle yön veren değerli danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. İlyas Kandemir'e, yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen FRİTERM Yönetim Kurulu Başkanı Sn. A. Metin Duruk'a, Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı Sn. Naci Şahin'e, Yönetim kurulu üyelerine, bölüm müdürüm Sn.Çağatay Hacımırzaoglu'na, arge bölümün şefi Sn.Hasan Acül'e ve arge departmanında görev yapmakta olan olan çalışma arkadaşlarım Sn.Naing Tun'a ve Sn.Alper Yozlu'ya;

Ayrıca sabrı ve desteği için eşim Onur Karaöz'e, sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Ayşe TÜTÜNCÜ KARAÖZ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri	2
1.2. Uluslararası Anlaşmalar	4
2. SOĞUTUCU AKIŞKANLAR	6
2.1. Saf Haldeki Soğutucu Akışkanlar	6
2.1.1. İnorganik Yapılı Soğutucu Akışkanlar	6
2.1.2. Organik Yapılı Soğutucu Akışkanlar	6
2.2. Saf Haldeki Soğutucu Akışkanların Birbirlerine Karıştırılmaları Sonucu Meydana Gelen Soğutucu Akışkanlar	7
2.2.1. Azeotropik Soğutkan Karışımları	7
2.2.2. Zeotropik (Non-Azeotropik) Soğutkanlar	7
2.3. Alternatif Soğutucu Akışkanlar	7
3. SOĞUTUCU AKIŞKAN OLARAK R-744 (CO ₂)	9
3.1. Soğutma Gazı Olarak CO ₂ (R-744)'ün Geçmişi	9
3.2. CO ₂ (R744)'ün Soğutma Gazı Olarak Dikkat Çeken Özellikleri	10
3.3. CO ₂ 'nin Güvenlik Açısından Değerlendirilmesi	17

3.4.	CO ₂ Sistemlerinde Su (H ₂ O) Kontaminasyonu	18
3.4.1.	CO ₂ Sisteminde Su Olması Halinde Kimyasal Reaksiyon	20
4.	CO ₂ (R744) SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ	21
4.1.	Transkritik Çevrim	22
4.1.1.	Sistem Elemanları	22
4.2.	Subkritik Çevrim	24
5.	CO ₂ KULLANILARAK TASARLANAN KASKAD SİSTEM ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ	26
5.1.	CO ₂ -R404A Kullanılarak Soğutulan Bir Süpermarket Uygulamasının İncelenmesi	26
6.	ÖZGÜN BİR CO ₂ -404A KASKAD ÇEVİRİMİNİN TASARIMI, İMALATI ve TESTİ	34
6.1.	Amaç	34
6.2.	Sistem Tasarımı	34
6.2.1.	Tasarım Parametreleri	36
6.2.2.	Cool Pack Programı ile CO ₂ -R404A Kaskad Sistem Tasarımı	40
6.2.3.	Sistem Elemanlarının Seçimi	47
6.3.	Tesisat Çaplarının Belirlenmesi	57
6.3.1.	Düşük Sıcaklık Tarafı (CO ₂ Tarafı) Tesisat Çaplarının Belirlenmesi	57
6.3.2.	Yüksek Sıcaklık Tarafı (R404A Tarafı) Tesisat Çaplarının Belirlenmesi	58
6.3.3.	Düşük Sıcaklık Tarafı ve Yüksek Sıcaklık Tarafı Malzeme Listesi	60
7.	ÖLÇÜM, KONTROL YÖNTEMİ VE ELEMANLARI	65
7.1.	Kontrol Sistemi ve Elemanları	65
7.2.	Ölçüm Yönteminin Belirlenmesi	67
8.	SİSTEMİN DEVREYE ALINMASI	74
9.	VERİ ALINMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	75
10.	SONUÇ VE ÖNERİLER	87

KAYNAKLAR

89

ÖZGEÇMİŞ

91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

COP	sistem performans katsayısı	[-]
COP*	kondenser çıkışı ve kompresör girişi arasındaki entalpi farkının debi ile çarpılıp kompresör enerji tüketimine oranlanması ile elde edilen sistem performans katsayısı)	[-]
fQ	kompresör ısı kaybı faktörü	[%]
h	entalpi	[kJ/kg]
m	soğutucu kütledebisi	[kg/s]
N	devir sayısı	[rpm]
p	basınç	[kPa]
Q	ısı transfer kapasitesi	[kW]
QC	kondenser ısıtma kapasitesi	[kW]
QE	evaporatör soğutma kapasitesi	[kW]
RH	bağıl nem	[%]
s	entropi	[kJ/(kg K)]
SHR	duyulur ısı oranı	[%]
T	sıcaklık	[°C]
TC	kondenserdeki doyma (çiğ noktası) sıcaklığı	[°C]
TE	evaporatördeki doyma sıcaklığı	[°C]
WTOT	kompresör toplam güç tüketimi	[kW]
hCARNOT	soğutma çevrimi için Carnot verimliliği	[-]
hIS	kompresör izentropik verimliliği	[-]
DL	basma hattı	[-]
HT	yüksek sıcaklık	[-]
LT	düşük sıcaklık	[-]
SL	emme hattı	[-]

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. CFC'lerin Ozon Tabakası Üzerine Etkiler-[1]	2
2.1. Alternatif Akışkanların Genel Sınıflandırılması-[1]	8
3.1. Soğutucu Akışkan Olarak CO ₂ Kullanımının Geçmişi-[5], [6]	9
3.2. Kompresör için Hacimsel Kapasitelerinin Karşılaştırılması-[5]	12
3.3. -30 °C'de doymuş emme sıcaklığında ve 10 °C'de doymuş yoğunlaşma sıcaklığında gerekli boru boyutlarının karşılaştırılması-[5], [6]	12
3.4. Isı İletimi Karşılaştırılması (Aynı Boru)-[5]	13
3.5. CO ₂ 'in üçlü ve kritik noktaları R717 ve R134A ile mukayesesi-[5], [10]	14
3.6. CO ₂ (R744) P-H Diyagramı-[6]	15
3.7. CO ₂ 'in kritik noktadaki katı-sıvı dengesi-[6]	15
3.8. Çeşitli Soğutma Gazlarının Basınç-Sıcaklık İlişkisi-[5]	16
3.9. Sıvı ve Gaz fazındaki CO ₂ 'in Çözebileceği Su (Nem) Miktarı-[9]	19
3.10. Gaz fazındaki CO ₂ 'in Çözebileceği Maksimum Su (Nem) Miktarının Geleneksel Akışkanlar ile Karşılaştırılması-[9]	19
3.11. CO ₂ Sisteminde Su Olması Halinde Kimyasal Reaksiyon-[9]	20
3.12. CO ₂ üretim sisteminde karbonik asidin neden olduğu ağır korozyon-[9]	20
4.1. Transkritik ve Subkritik CO ₂ Çevrimleri-[10]	21
4.2. Transkritik CO ₂ Çevrimi-[11]	22
4.3. Basınç Entalpi Diyagramı-[11]	23
4.4. Sıcaklık Entropi Diyagramı-[11]	23
4.5. R717 (Amonyak)- R74 (CO ₂) Kaskad Sistem Prensip Şeması-[10]	25
4.6. İki Farklı Sıcaklık Seviyesi ile CO ₂ Kaskad Sistem Prensip Şeması (Örn: Süpermarket Soğutması)-[10]	25

5.1. Danimarka’da Bir Süpermarkette Çalışmak Üzere Tasarlanan Sistemin Çalışma Prensibi-[5]	27
6.1. CO ₂ -R404A Kaskad Sistem Prensip Şeması ve Sistem Elemanları	35
6.2. Tasarımın İlk Adımındaki Cool Pack Arayüzü-[13]	40
6.3. Cool Pack Yazılımı Tek Kademeli Çevrimlerin Kombinasyonu-[13]	41
6.4. Kaskad Sistem Çevrim Özellikleri Cool Pack Ara yüzü-[13]	42
6.5. Kaskad Sistem Log (P)-h Diyagramı Cool Pack Arayüzü-[13]	44
6.6. Kaskad Sistemin Her Bir Noktasındaki Sıcaklık, Basınç ve Yoğunluk Cool Pack Arayüzü-[13]	44
6.7. CO ₂ Evaporatörü Tasarımı Coils 5.5 Arayüzü-[18]	51
6.8. CO ₂ Evaporatörü Coils 5.5 Teknik Çıktı Sayfası-[18]	52
6.9. R404A kondenseri Tasarımı Coils 5.5 Arayüzü-[18]	53
6.10. R404A Kondanser Bataryası Coils 5.5 Teknik Çıktı Sayfası [18]	54
6.11. S3G 400-LA 22-71 EC Fan Çalışma Eğrisi-[19]	55
6.12. Likit Hattı Çaplandırılması DIRCalc TM 1.19 Arayüzü-[19]	58
6.13. R404A Emme, Basma ve Sıvı Hatları için kW Cinsinden Kapasiteler-[20]	59
6.14. CO ₂ -R404A Kaskad Sistem İmalat Resmi	64
7.1. Elektronik Genleşme Valfi Kontrol Prensibi-[21]	66
7.2. Güvenlik Valfi Açılma Basıncı ve Açılma Derecesi-[22]	67
7.3. Kaskad Sistem Sensör Yerleşimi	71
7.4. Kaskad Sistem Deney Düzeneği Genel Görünümü (Kondenser Tarafı)	72
7.5. Kaskad Sistem Deney Düzeneği Genel Görünümü (Evaporatör Tarafı)	72
7.6. Kaskad Sistem Deney Düzeneği Veri Alma Düzeneği Genel Görünümü	73
9.1. R744(CO ₂) log(PH) diyagramı	80
9.2. R744(CO ₂) log(PH) diyagramı	86

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Çeşitli Soğutucu Akışkanların Küresel Isınma Potansiyeli ve Ozon Yıkım Potansiyeli-[2]	11
5.1. CO ₂ -R404A Kaskad Sistemi Hesaplanan ve Ölçülen	28
5.2. CO ₂ -R404A Kaskad Sistem- Geleneksel Sistem Performans Değerleri-[5]	30
5.3. TEWI Geleneksel R-404A Sistemi için Hesaplama-[5]	31
TEWI CO ₂ -R404A Sistemi için Hesaplama-[5]	32
6.1. Düşük Sıcaklık Tarafı Kompresör Modeli-[12]	37
6.2. Düşük Sıcaklık Tarafı Kompresörü Teknik Özellikleri-[12]	38
6.3. Yüksek Sıcaklık Tarafı Kompresör Modeli-[10]	39
6.4. Yüksek Sıcaklık Tarafı Kompresör Teknik Özellikleri-[12]	39
6.5. Geleneksel Soğutucular için; Evaporatör (DX) ve Kondanser Bataryası Tasarım Kriterleri-[17]	49
6.6. Düşük Sıcaklık Tarafı Malzeme Listesi	61
6.7. Yüksek Sıcaklık Tarafı Malzeme Listesi	62
7.1. Kaskad Sistem Sensör Listesi	69
9.1. CO ₂ (R744) Tarafından Okunan Sıcaklık Değerler	75
9.2. (R404A) Tarafından Okunan Sıcaklık Değerleri	76
9.3. CO ₂ (R744) Tarafından Okunan Basınç Değerleri	77
9.4. R404 A Tarafından Okunan Basınç Değerleri	78
9.5. CO ₂ ve R404A Kütlesel Debisi ve Hava tarafından okunan Sıcaklık, Nem Değerleri	79
9.6. CO ₂ (R744) Tarafından Okunan Sıcaklık Değerler	82
9.7. R-404A Tarafından Okunan Sıcaklık Değerler	83

9.8. CO ₂ (R744) Tarafından Okunan Basınç Değerleri	84
9.9. R404A Tarafından Okunan Basınç Değerleri	85

1. GİRİŞ

Gerek yaşam alanları oluşturmada, gerek gıdaların muhafazasında ve gerekse diğer yaşam alanlarında sıkça ihtiyaç duyulan soğutma teknolojileri 19.yy ortalarında ortaya çıkmıştır [1].

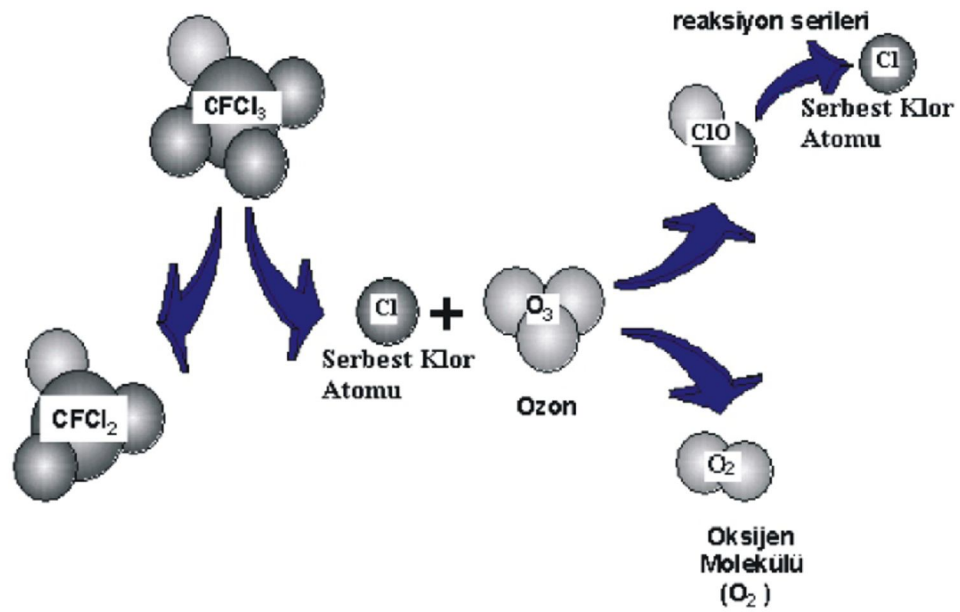
CO₂ soğutma sanayinin ilk yıllarından beri (1866) kullanılmakta olan doğal bir soğutucu akışkandır. 1930'lu yıllara kadar; CO₂, hava, su, amonyak, eter, propan ve etan gibi doğal maddeler soğutma sanayinde soğutucu akışkan olarak kullanılmıştır [1], [2], [3].

Yapay soğutucular 1931 yılında üreilmeye başlanmıştır ve 1940'lı yıllarda HCFC'ler ve CFC'ler soğutma piyasasına yerleşmişlerdir. CO₂'in soğutucu akışkan olarak kullanılmaya devam edememesinin en önemli nedeni yüksek çalışma basıncı (25 °C' de 64 bar) ve düşük kritik sıcaklığıdır (31°C). O yıllarda var olan teknoloji seviyesi ile bu özelliklerin neden olduğu problemler kontrol altına alınamamıştır [1], [2], [3].

Fakat bu soğutucu akışkanların soğutma prosesi içerisinde tekrar kullanılamaması ve zamanla çevreye atılması; doğal çevrenin kirlenmesine, atmosferde sera etkisinin artmasına ve canlıları güneşten gelen zararlı ışınlardan koruyan ozon tabakasının (bu gazların yapısında bulunan klor ve brom atomlarının serbest kalarak zayıf ozon moleküllerini parçalamasıyla) tahrip olmasına sebep olmuştur. Bu olumsuz gelişmeler, çevre dostu yeni alternatif soğutucu akışkanlar üzerine çalışmalar başlatmıştır [1], [2], [3].

1.1. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri

Ozon tabakasının aşınmasında CFC'lerin sahip olduğu kararlılık özelliği yatar. Parçalanmaları oldukça zor olduğundan uzun yıllar boyunca atmosferde kalırlar. Burada yoğun mor ötesi güneş radyasyonunun varlığı ile moleküller parçalanır ve bu parçalanma sonucunda klor iyonu açığa çıkar. Ozon moleküllerini oksijen moleküllerine dönüştüren bu serbest klor iyonlarıdır. Şekil 1.1'de ozon tabakasının nasıl tahrip olduğu görülmektedir [1].



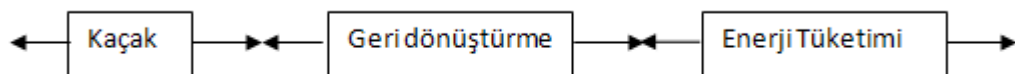
Şekil 1.1. CFC'lerin Ozon Tabakası Üzerine Etkiler-[1]

Tepkimeden görüleceği gibi; klor, işlem boyunca katalizör görevi yaparak, tepkimenin sonsuza kadar devam etmesini sağlayacak şekilde serbest kalmaktadır. Serbest haldeki bir klor atomunun, yaklaşık 100.000 ozon molekülünü oksijene dönüştürdüğü tahmin edilmektedir.

Soğutucu akışkan olarak kullanılan gazların çevreye verdikleri zarar, yalnızca ozon tabakasının tahrip olmasından ibaret değildir. Su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azot dioksit N₂O), (kloroflorokarbon (CFC), hidroflorokarbon (HCFC) ve florokarbonun da aralarında bulunduğu birçok gazlar, sera etkisi adı verilen bir çevre sorununa da yol açmaktadır. Bu etki, bu gazların güneşten gelen kısa dalgalı radyasyonun taşıdığı ısı enerjisini geçirmeleri ve geçirdikleri bu enerjinin atmosferin alt kısımları ve yeryüzü tarafından emilmesi sonucu meydana gelir. Ayrıca bu gazların yeryüzünden yayılan uzun dalga boyuna sahip radyasyonu geçirmemeleri sonucu, bu radyasyon atmosferin alt kısımlarında birikir. Bu ise sera etkisini gitgide çoğaltmakta ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Bu olay, dünyanın sıcaklığının gitgide artması sonucu kutuplardaki buzulların erimesi ve bazı kara parçalarının sular altında kalması anlamına geldiğinden, dünyamızın geleceği için büyük bir tehlike oluşturmaktadır [1], [4].

İngiliz Soğutma Birliği (British Refrigeration Association), bir soğutucu akışkanın küresel ısınma üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini göz önüne alan ve "Toplam Eşdeğer Isıtma Etkisi" (TEWI) olarak adlandırılan bir hesaplama geliştirmişlerdir. Hesaplama soğutma gazının sistemin servis ömrü süresince serbest bırakılmasının doğrudan etkisine ve sistem tarafından harcanan enerjinin dolaylı etkisine dayanır, bu etkiler birleştirilir ve CO₂ eşdeğer kütlesi olarak ifade edilir [4], [5].

$$TEV = (GWP \times L \times N) + (GWP \times m(1 - \dot{a}_{\text{geri dönüştürme}})) + (N \times E_{\text{yıllık}} \times \dot{a})$$



GWP = CO₂'ye bağlı küresel ısınma potansiyeli

L = yılbaşına kaçak oranı

N =sistem işletim zamanı

M =soğutma gazı şarjı kg

$\eta_{\text{geri dönüşüm}}$ = geri dönüşüm faktörü (geri dönüşümde bazı kayıpları varsayar, örneğin 0.75)

$E_{\text{yıllık}}$ = geri dönüşüm (yıllık enerji tüketimi kWh)

β = kWh'lik tüketim başına CO₂ emisyonları

1.2. Uluslararası Anlaşmalar

Ozon tabakasının tahribatına engel olmak amacıyla yapılan ilk uluslararası girişim, konuyu gündemde tutmaya yönelik tavsiyeler içeren ve 1985 yılında UNEP (United Nations Environment Programme) öncülüğünde imzalanan Viyana Sözleşmesidir [1].

Daha sonra ABD, Japonya, Sovyetler Birliği ve Avrupa topluluğu ülkelerinden oluşan 43 ülkenin katılımıyla 1987 yılında Montreal Protokolü imzalanmıştır. Montreal protokolü 1990 yılında Londra'da, 1992 yılında Kopenhag'da, 1995 yılında Viyana'da ve 1997'de tekrar Montreal'de yapılan toplantılarla güncellenmiştir. 1997'deki Montreal protokol metninde Avrupa Birliği HCFC'lerdeki bu oranları %2,8'den %2'ye düşürmüş ve tamamen kaldırma yılını 2015 olarak belirlemiştir [1], [4].

Aralık 1997'de ise Japonya'nın Kyoto şehrinde 161 ülkeden gelen 2200 delegenin katıldığı ve 38 gelişmiş ülkeyi bir araya getiren Kyoto Protokolü imzalanmıştır. Protokolde, bu 38 ülkeden 2008-2012 yılları arasında sera gazı emisyonlarını 1990'daki seviyesinin %5,2 altına düşürmeleri kararı alınmıştır. Protokolde gelişmekte olan ülkelere azalma beklenmemekte fakat emisyon artışına izin verilmektedir [1], [4].

Tez çalışması kapsamında daha çevreci olan CO₂ gazı ile çalışan bir kaskad sistem tasarlanarak imal ve test edilmiştir. Tasarlanan sistemin konu ile ilgili ileriki çalışmalarda kullanılacağı düşünülmektedir.

Tez çalışmasında, ikinci bölümde soğutucu akışkanlar ile ilgili bilgi verilmiş, üçüncü bölümde soğutucu akışkan olarak CO₂ hakkında bilgi verilmiş, dördüncü bölümde, CO₂ soğutma çevrimleri incelenmiş, beşinci bölümde ise CO₂ kaskad sistemler için yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise özgün bir CO₂ kaskad sistemin tasarımı anlatılmış, yedinci bölümde ölçüm ve kontrol yöntemleri anlatılmış, sekizinci bölümde sistemin devreye alınması anlatılmış, dokuzuncu ve onuncu bölümlerde ise veri alınması ve değerlendirilmesi, sonuç ve öneriler yer almıştır.

2. SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

2.1. Saf Haldeki Soğutucu Akışkanlar

Yapılarında bulunan maddelere bağlı olarak inorganik ve organik yapılı soğutucu akışkanlar olarak sınıflandırılmaktadır [1].

2.1.1. İnorganik Yapılı Soğutucu Akışkanlar

İnorganik yapılı soğutucu akışkanlara, karbondioksit (CO_2), amonyak (NH_3), kükürt dioksit (SO_2), su (H_2O) örnek olarak verilmektedir [1].

2.1.2. Organik Yapılı Soğutucu Akışkanlar

Bromoflorokarbonlar (Halonlar); Halon1301 (R13B1) ozon tahribatına katkıları en fazla olan organik yapılı soğutucu akışkanlardır [1].

Kloroflorokarbonlar (CFC); (R11 ve R12) ozon tahribatına katkıları, halanlardan sonra en fazla olan soğutucu maddelerdir. Zehirleyici olmamaları, yanıcı olmamaları gibi avantajları vardır [1].

Hidrokloroflorokarbonlar (HCFC); (R22) ozon tahribatları düşük olmakla birlikte, oldukça yüksek sera etkisine sahiptirler [1].

Hidroflorokarbonlar (HFC); (R134A, R152A, R32) ozon üzerinde tahrip edici etkileri yoktur.

2.2. Saf Haldeki Soğutucu Akışkanların Birbirlerine Karıştırılmaları Sonucu Meydana Gelen Soğutucu Akışkanlar

Akışkan karışımlar kullanılmasının sistem performansı üzerinde olumlu etkileri olmuştur. Dünyada 1950'li yıllarda enerji krizinin başlaması sonucu, soğutma sistemlerinde saf soğutucu akışkanların yerine, saf soğutucuların değişik oranlarda karışımından oluşan soğutucu akışkan karışımlarının kullanılması fikri ortaya atılmıştır. Bu amaçla florokarbonların değişik oranlarda karıştırılması sonucunda azeotropik ve non-azeotropik karışımlar elde edilmiştir [1].

2.2.1. Azeotropik Soğutkan Karışımları

R500; (R12, R152a; %73.8, %26.2) gibi örnek olarak verilebilir [1].

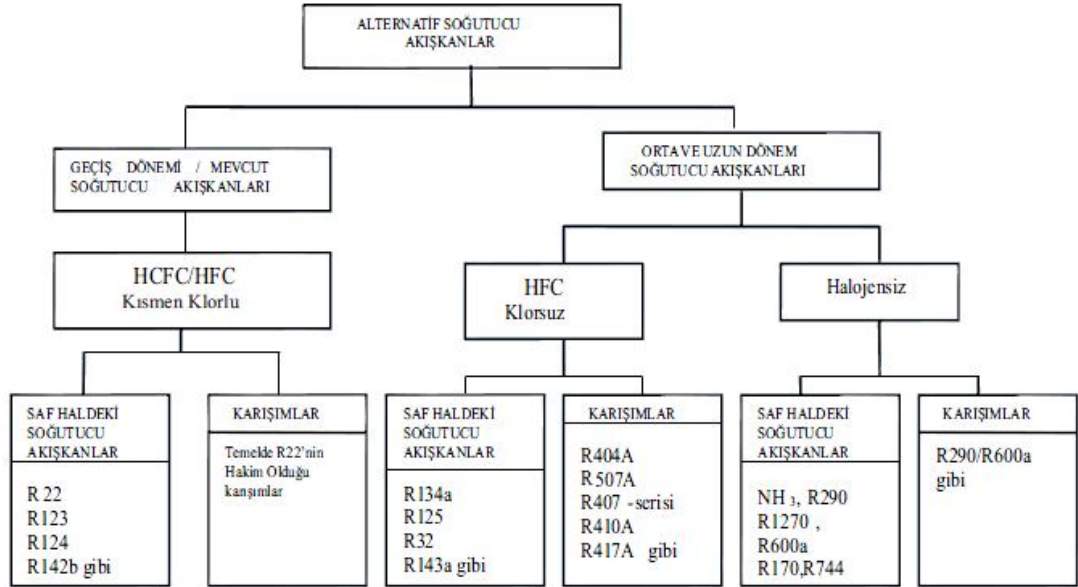
2.2.2. Zeotropik (Non-Azeotropik) Soğutkanlar

R401A (R22, R152a; R124; %53, %13, %34) örnek olarak verilebilir [1].

2.3. Alternatif Soğutucu Akışkanlar

İklimlendirme ve soğutma sistemlerinde ozonu delme potansiyelleri yüksek olan ve küresel ısınmaya neden olan soğutucu akışkanlar yerine; ozon tabakası

üzerinde olumsuz etki yapmayan ve küresel ısınmaya çok az neden olan soğutucu akışkanlar Şekil 2.1’ de gösterilmiştir [1], [4].

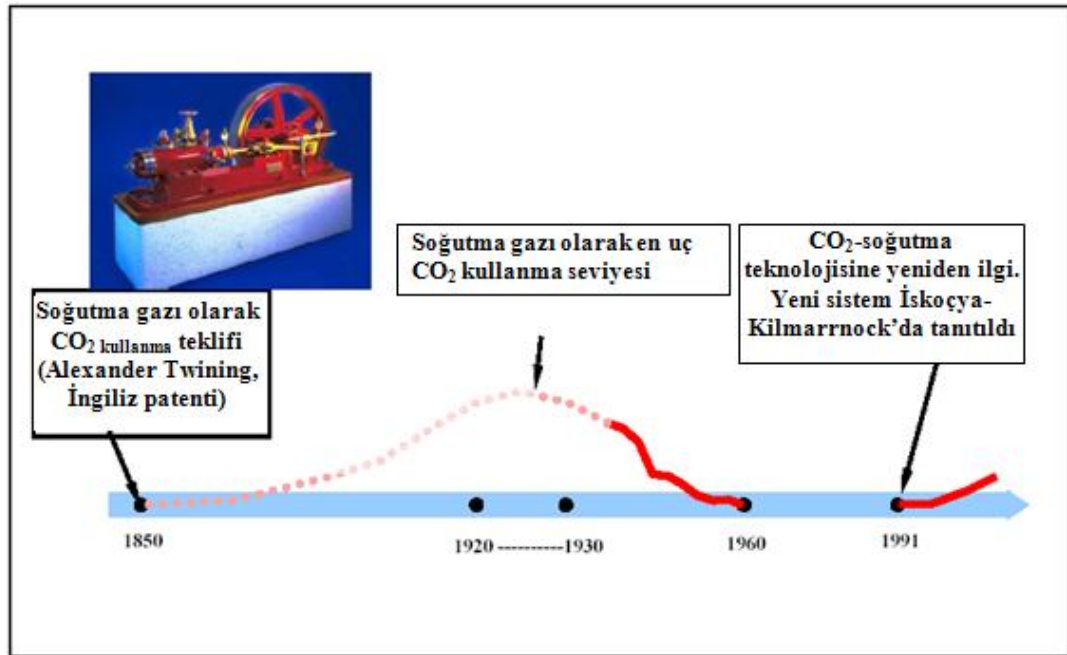


Şekil 2.1. Alternatif Akışkanların Genel Sınıflandırılması-[1]

3. SOĞUTUCU AKIŞKAN OLARAK R-744 (CO₂)

3.1. Soğutma Gazı Olarak CO₂ (R-744)'ün Geçmişi

R-744 yıllardır soğutmada kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de 1930'larda tasarısını ve keşfini ve düşüşünü 1990'larda tekrar keşfine kadar ayrıntılı olarak gösteren bir zaman çizelgesi görünmektedir.



Şekil 3.1. Soğutucu Akışkan Olarak CO₂ Kullanımının Geçmişi-[5], [6]

3.2. CO₂ (R744)'ün Soğutma Gazı Olarak Dikkat Çeken Özellikleri

CO₂ soğutma gazı olarak en belirgin özellikleri aşağıdaki gibidir [2], [3], [5], [6], [9], [10], [11], [15];

- Çevre dostu bir soğutucudur
- Zehirli değildir
- Yanıcı değildir
- Yüksek hacimsel soğutma kapasitesi
- Yüksek ısı iletimi özellikleri
- Ucuzdur
- Kolayca bulunabilir
- Geri dönüşüm ya da elden çıkarma zorunluluğu yoktur
- Atmosferik hava içindeki konsantrasyonu yaklaşık % 0,04 dür
- Düşük üçlü nokta
- Düşük kritik nokta
- Yüksek basınç

Bu özellikler; soğutma gazı olarak kullanımıyla bağlantılı olarak aşağıda ele alınmıştır.

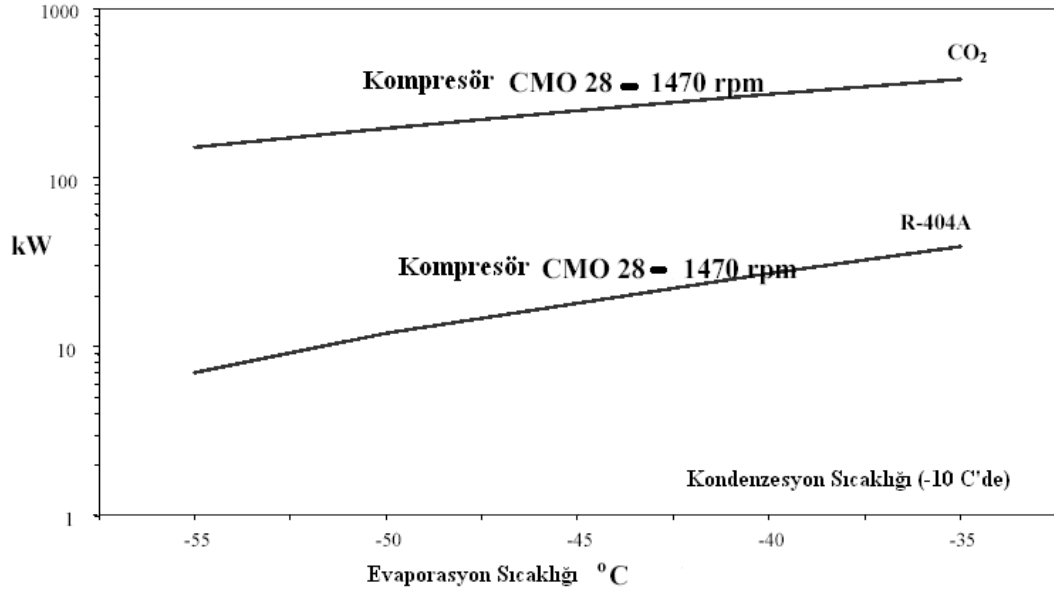
Birçok doğal soğutma gazı gibi R-744 çevresel açılarından zararsız olarak kabul edilir. Ozon Yıkım Potansiyeli (ODP) sıfırdır ve çok düşük küresel ısınma potansiyeline sahiptir (GWP=1). Tablo 3.1'de çeşitli soğutucu akışkanların ve CO₂'in ODP ve GWP verilmiştir.

Tablo 3.1. Çeşitli Soğutucu Akışkanların Küresel Isınma Potansiyeli ve Ozon Yıkım Potansiyeli-[2]

Soğutucu Akışkan	GWP (100 Yıl CO ₂ İlişkin)	ODP (100 Yıl R11 İlişkin)	Atmosfer Ömrü (Yıl)
R11	3800	1	50
R12	8100	1	102
R131b	5400	10	65
R22	1500	0.055	13.3
R23	12000	0	260
R134a	1300	0	13.6
R717 (Amonyak)	0	0	-
R744-CO ₂	1	0	-
R290-Propane	3	0	-

Diğer doğal soğutma gazları ile karşılaştırıldığında R-744'ün başlıca yararları; zehirli ve yanıcı olmamalarıdır, bunların varlığı diğer soğutma gazlarının uygulamasını genellikle sınırlar.

R-744 sistemlerinin diğer soğutma gazları ile karşılaştırıldığında çok yüksek buhar yoğunluğunun sonucu olarak yüksek hacimsel soğutma kapasiteleri bulunur. Sonuç olarak, R-744 kullanan soğutma kompresörleri R22 sistemlerinininkinden 6-8 kat daha küçüktür. Bu durum Şekil 3.2'de görülebilir, bu Şekilde aynı kompresör aynı koşullarda R-744 kullandığında çok daha fazla kapasiteye sahiptir [5].



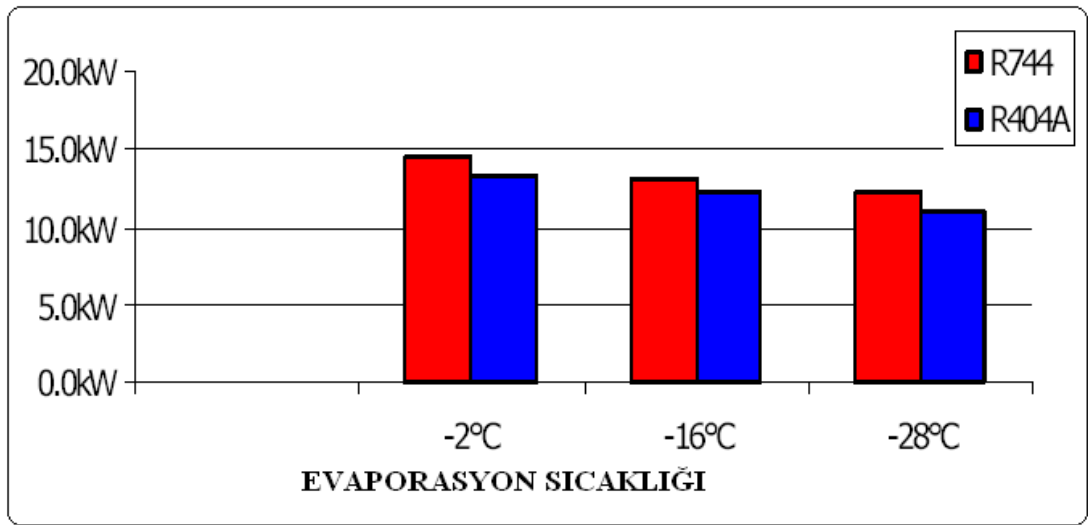
Şekil 3.2. Kompresör için Hacimsel Kapasitelerinin Karşılaştırılması-[5]

Yüksek hacimsel kapasitenin başka bir faydası da boru çapları üzerinde görülebilir. Şekil 3.3'de R-744 kullanıldığında boru boyutlarındaki küçülme gösterilir. Bu, emme hattı valf maliyetlerinde de önemli ölçüde azalmaya yol açar [5].

Kuru Emme Hattı	Soğutma gazı	R404A	R717	R744 CO₂
	Kapasite	150 kW	150 kW	150 kW
	Devre Gecikmesi	1.4 K	1.5 K	0.8 K
	Hız (velocity)	11.3 m/s	25.6 m/s	7.7 m/s
	Çap	101.6 mm	72.6 mm	50.8 mm
	Alan	8107.0 mm ²	4139.0 mm ²	2026.0 mm ²
Sıvı hattı	Hız	0.6 m/s	0.3 m/s	1.1 m/s
	Çap	33.1 mm	25.4 mm	25.4 mm
	Alan	1140.0 mm ²	506.0 mm ²	506.0 mm ²

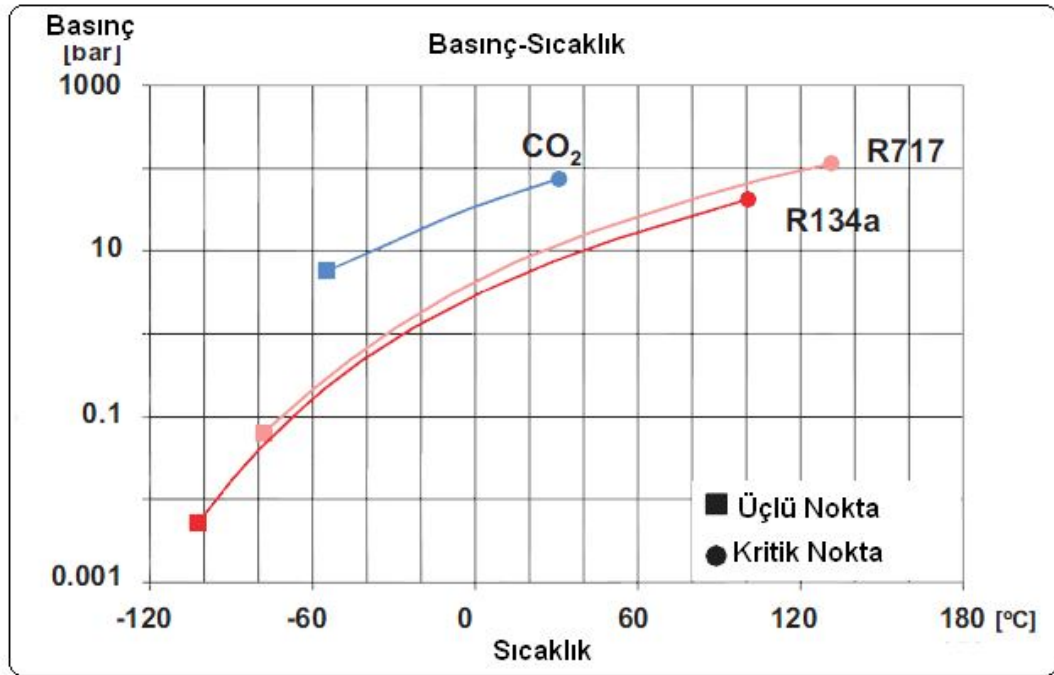
Şekil 3.3. -30 °C'de doymuş emme sıcaklığında ve 10 °C'de doymuş yoğunlaşma sıcaklığında gerekli boru boyutlarının karşılaştırılması-[5], [6]

R-744'ün geliştirilmiş ısı iletimi özellikleri buharlaştırıcının rekabet edebilecek düzeydeki R-404A buharlaştırıcıdan daha yüksek bir sıcaklıkta çalıştırılmasına olanak tanır. Bilimsel yayınlar buharlaştırıcıların klasik R-404A buharlaştırıcılardan 2 K daha yüksek çalışabileceğini ileri sürer. Geliştirilmiş ısı iletimi özellikleri sonuç itibariyle ısı eşanjörlerinde arttırılmış kapasiteyi sağlar. Şekil 3.4'de yapılan karşılaştırmalar aynı boru geometrisi için kapasitede % 10'luk bir artışı gösterir.



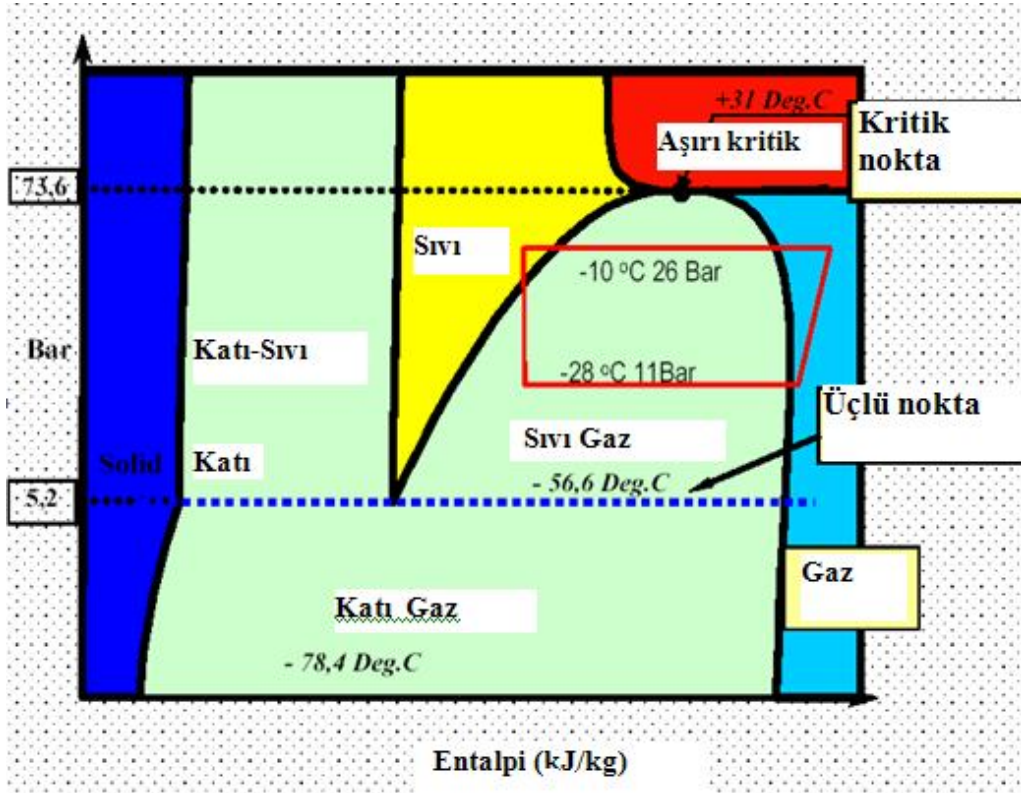
Şekil 3.4. Isı İletimi Karşılaştırılması (Aynı Boru)-[5]

Soğutma gazı olarak R-744'ün ana özelliği kritik ve üçlü noktalarıdır. Kritik ve üçlü noktalar diğer soğutucular için önemli değilken, CO₂ için durum farklıdır. Yüksek üçlü nokta 5,2 bardır ama daha da önemlisi onun atmosfer basıncından yüksek olmasıdır. Kritik nokta, 73 bar'lık yüksek basınç olmasına rağmen 31°C'de nispeten daha düşük sıcaklıktır. 31°C'lik kritik sıcaklığın altında kalabilmek amacıyla sıfırın altında yoğunlaşma sıcaklığı sağlamak için bir kaskad sisteminin kullanması gerekir. Şekil 3.5'te CO₂'in üçlü ve kritik noktaları amonyak (R717) ve R134A ile mukayese edilmiştir [2], [3], [5].

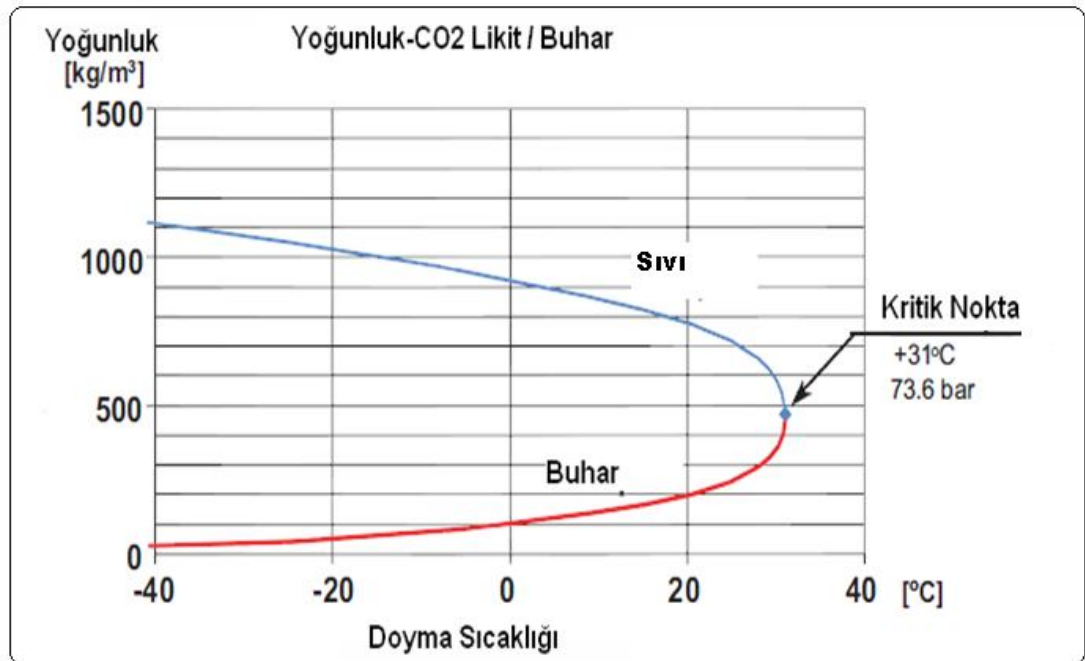


Şekil 3.5. CO₂'in üçlü ve kritik noktaları R717 ve R134A ile mukayesesi-[5], [10]

CO₂'in sıcaklık ve basınçla bağlantılı sistem kısıtlamaları Şekil 3.6'daki basitleştirilmiş P-H diyagramında görülebilir.



Şekil 3.6. CO₂ (R744) P-H Diyagramı-[6]

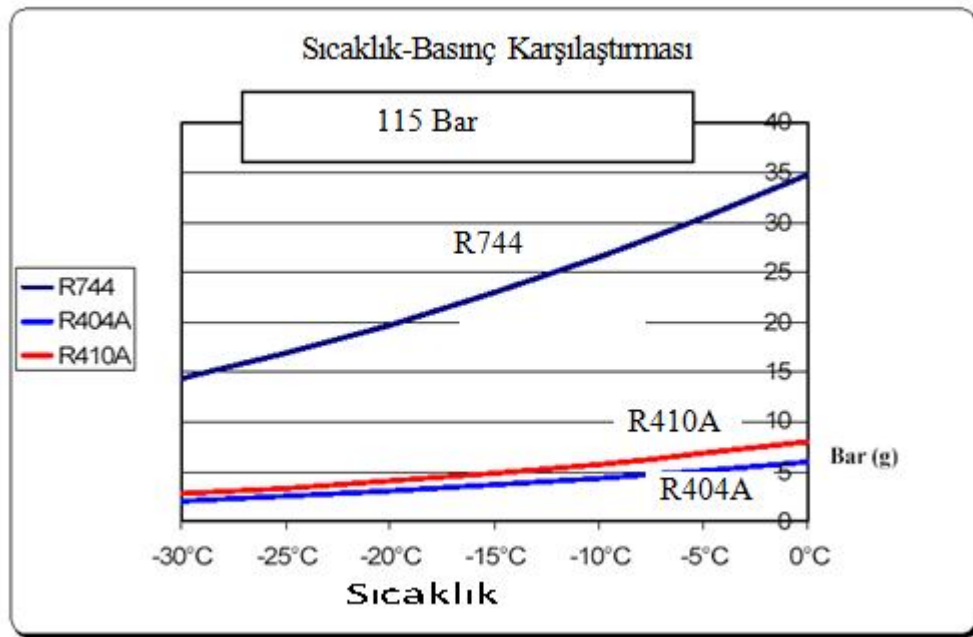


Şekil 3.7. CO₂'in kritik noktadaki katı-sıvı dengesi-[6]

R-744 standart soğutma gazlarından çok daha yüksek basınçla çalışır yine de bu benzer mühendislik uygulamalarıyla karşılaştırıldığında aşırı derecede yüksek değildir.

Şekil 3.8’de standart soğutma gazlarının ve R-744’ün işletim basınçlarındaki farklılıklar gösterilmiştir.

Grafikte R-744’ün klasik soğutma gazlarından daha yüksek basınçlarla çalışmasına rağmen; otomobil hidrolik direksiyon sistemlerindeki çalışma basıncından (115 bar) düşük olduğu görülür.



Şekil 3.8. Çeşitli Soğutma Gazlarının Basınç-Sıcaklık İlişkisi-[5]

3.3. CO₂'nin Güvenlik Açısından Değerlendirilmesi

CO₂ hava ile yer değiştirir ve oksijensizliğe neden olur. Yeterli oksijen varlığında; CO₂ güçlü konsantrasyonlarında narkotik etki yapar. CO₂ küçük miktarları ile solunum sistemini uyarıcı etki yapmaktadır. CO₂ asidik özelliği nedeni ile bazı bölgelerde tahrişe yol açmaktadır, özellikle burun mukoza zarında, gözlerde ve boğazda ayrıca öksürüğe neden olmaktadır. CO₂ konsantrasyonu artmış havanın içe çekilmesi ile semptomlara meydana gelir [8].

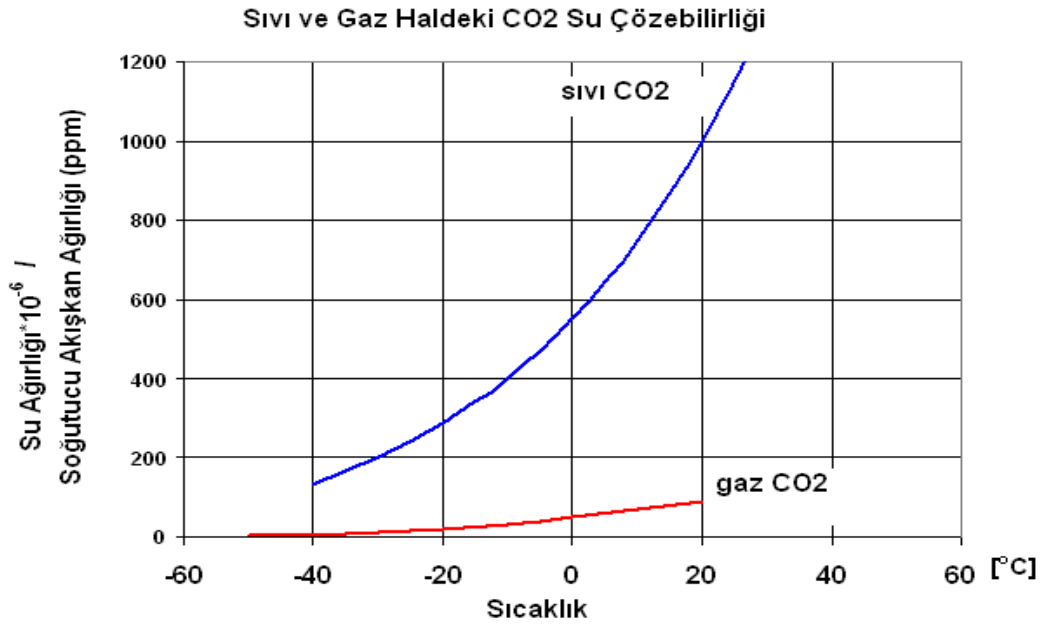
Sağlıklı bir yetişkin için ölçülen değerler aşağıdaki gibidir [8];

- 0,04 % Atmosferdeki konsantrasyonudur.
- 2 % Nefes alıp verme oranı 50% artar.
- 3 % 10 dakika maruz kalınması ile nefes alıp verme oranı 100 % artar.
- 5 % Bir saat sonra nefes alıp verme oranı 300% artar, baş ağrısı ve terleme başlayabilir.
- 8 % Kısa sürede etkisini gösterir.
- 8-10 % 10-15 dakika sonra baş ağrısı, baş dönmesi, kulaklarda uğultu, kan basıncında artış, yüksek nabız sayısı, bulantı ve kusmaya neden olur.
- 10-18 % Bir kaç dakika sonra, saraya benzer kramplar, bilinç kaybı ve şok oluşur.
- 18-20 % Kriz semptomları meydana gelir.

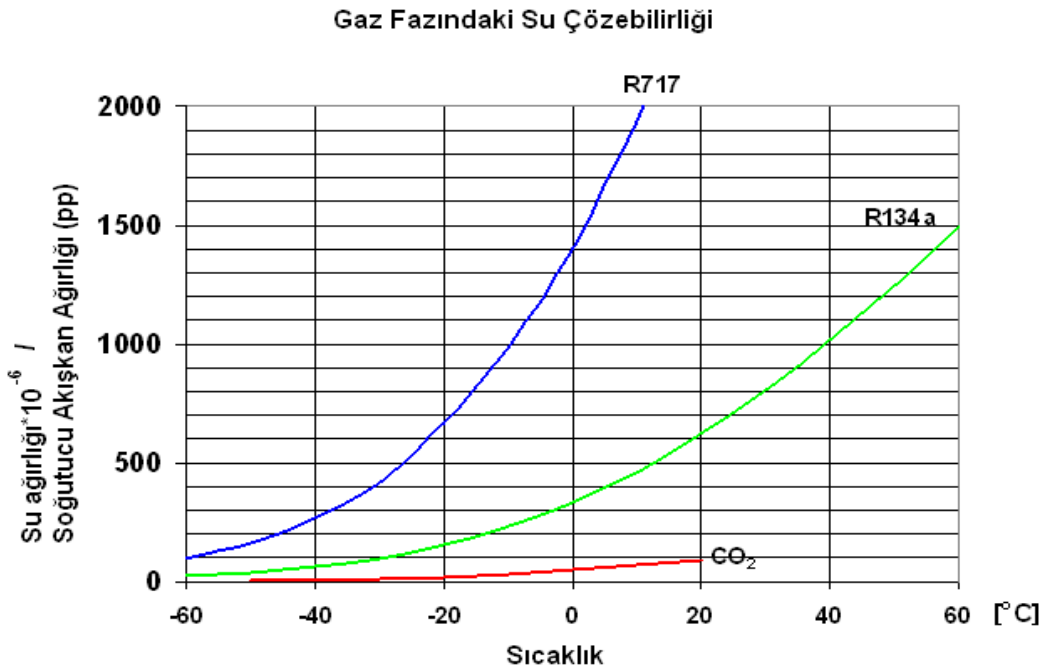
3.4. CO₂ Sistemlerinde Su (H₂O) Kontaminasyonu

CO₂ sistemlerinin basıncı her zaman için atmosferik basınçtan daha yüksektir, bu nedenle CO₂ sistemine hava ya da su sızıntısı, NH₃ sistemleri ile aynı riski taşımaz. CO₂ güvenli bir soğutucudur bu nedenle risk olduğunda normal soğutma güvenlik ihtiyaçlarını takip etmeden üstesinden gelinir. Sistem açıldığında içeri hava girebilir ve nem tüp içinde yoğunlaşabilir. Eğer sistem iyice boşaltılmamışsa bir miktar su sistemde kalmış olabilir. Su ile kontamine olmuş yağ kompresöre verilirken ya da devreye alma sırasında tam olarak sistemden uzaklaştırılamamış su kontaminasyonunun nedeni olabilir.

Yetersiz vakum sistemi ile tam olarak sistemden uzaklaştırılamayan suyun; CO₂ sistemlerinde su kontaminasyonunun başlıca nedeni olduğu görülmüştür. Amonyak istemi için uygun olan vakum sistemlerinin CO₂ sistemleri için uygun olmadığı görülmüştür. CO₂ sistemleri içinde kabul edilebilir su miktarı diğer genel soğutucularda kabul edilebilir miktardan çok daha azdır. Eğer su içeriği çığ noktanın altında ise ve sıcaklık 0 °C'nin altında ise; su donacak, sistemde bulunan kontrol valflerini tıkama riski yaratacaktır. Sisteme kurutucu monte edilerek su sistemden kolayca uzaklaştırılabilir. Kurutucular CO₂ sistemlerinde oldukça verimlidirler ve gereksiz basınç kaybını engellemek için normalde likit hattına monte edilirler. Sistemde var olan su miktarı, Şekil 3.9'da verilen maksimum değerleri geçerse, sistemde serbest su ya da buz ortaya çıkacaktır [9].



Şekil 3.9. Sıvı ve Gaz fazındaki CO₂'in Çözebileceği Su (Nem) Miktarı-[9]

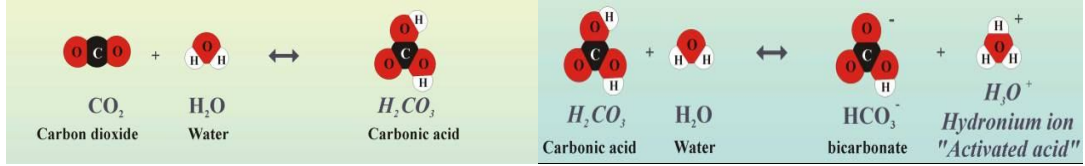


Şekil 3.10. Gaz fazındaki CO₂'in Çözebileceği Maksimum Su (Nem) Miktarının Geleneksel Akışkanlar ile Karşılaştırılması-[9]

Şekil 3.10'da görülebileceği gibi CO₂'in çözebileceği maksimum su miktarı diğer akışkanlardan daha düşüktür.

3.4.1. CO₂ Sisteminde Su Olması Halinde Kimyasal Reaksiyon

Eğer CO₂ sisteminde su varsa, su ve CO₂ reaksiyona girer ve karbonik asit oluşur. Karbonik asit su ile tekrar reaksiyona girer ve güçlü bir asit olan; hidronyum iyonuna dönüşür.



Şekil 3.11. CO₂ Sisteminde Su Olması Halinde Kimyasal Reaksiyon-[9]

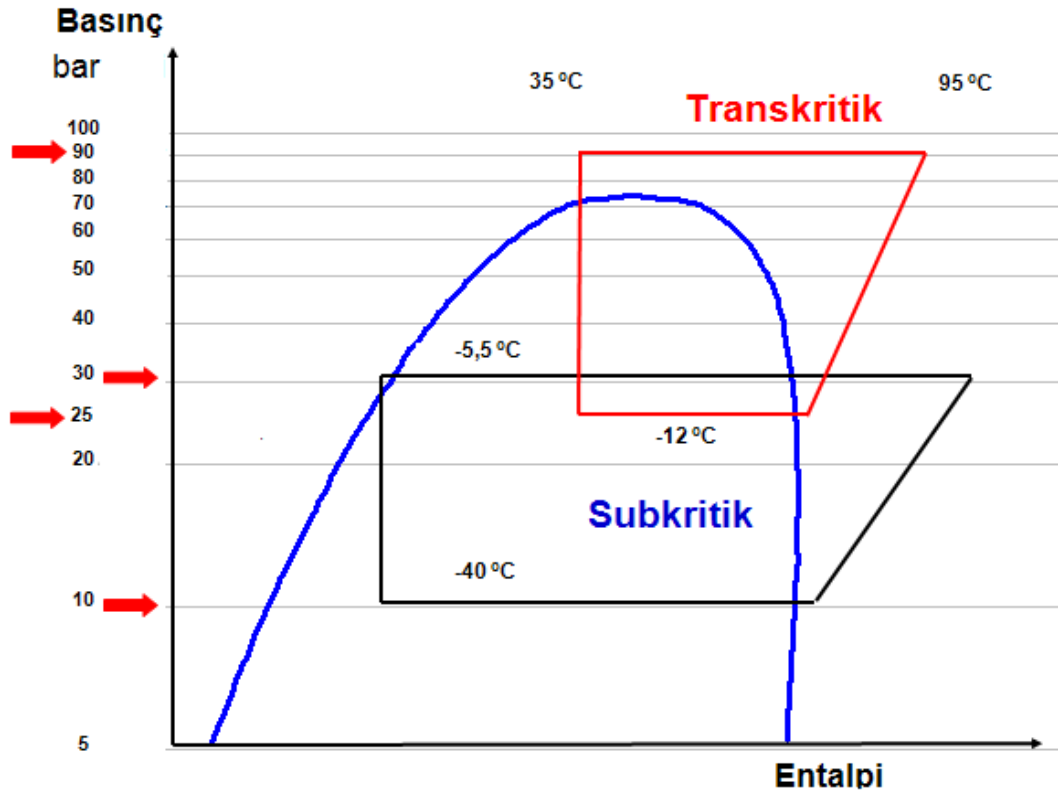


Şekil 3.12. CO₂ üretim sisteminde karbonik asidin neden olduğu ağır korozyon-[9]

4. CO₂ (R744) SOĞUTMA ÇEVİRİMLERİ

CO₂ 25-90 bar çalışma basıncı aralığında transkritik, 10-25 bar çalışma basıncında subkritik olarak çalışan iki değişik çevrime sahiptir. Her iki çevriminde kendine özel özellikleri bulunmakla birlikte subkritik sistemler genellikle kaskad sistem, dx sistem yada pompa sirkülasyon sistemi olarak uygulanmaktadır. Transkritik çevrim ise kondanser yerine gaz soğutucunun kullanıldığı tek kademeli bir çevrimdir.

- Transkritik Çevrim (Yüksek Basınç)
- Subkritik Çevrim (Düşük Basınç)



Şekil 4.1. Transkritik ve Subkritik CO₂ Çevrimleri-[10]

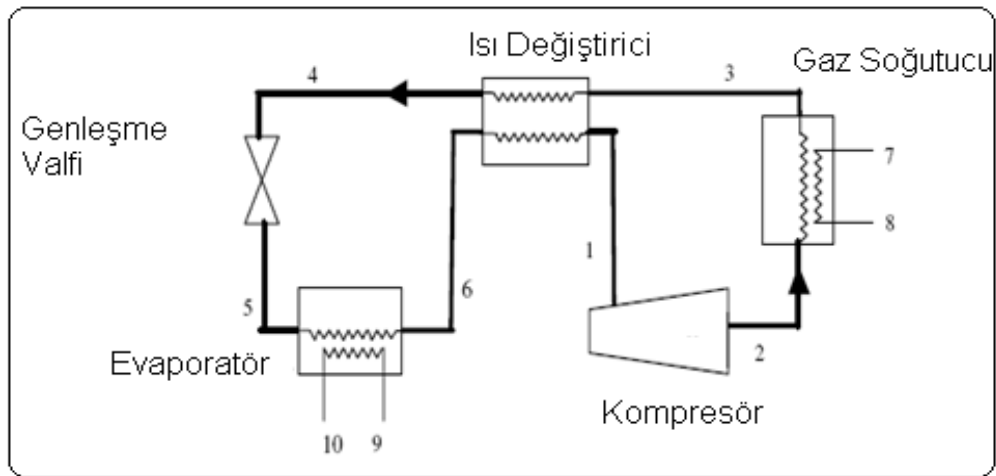
4.1. Transkritik Çevrim

Yüksek sıcaklıktaki süperkritik CO₂'in kondenser yerine gaz soğutucuda; ısı değişimine bağlı olarak düşük sıcaklıktaki süperkritik CO₂'e veya subkritik likide dönüşmesi CO₂ çevriminin benzersiz özelliğidir. Süperkritik gaz soğutma prosesi boyunca süperkritik CO₂'in özellikleri hızla değişir bu durum ise gaz soğutucu dizaynını oldukça önemli ve zor hale sokar [11].

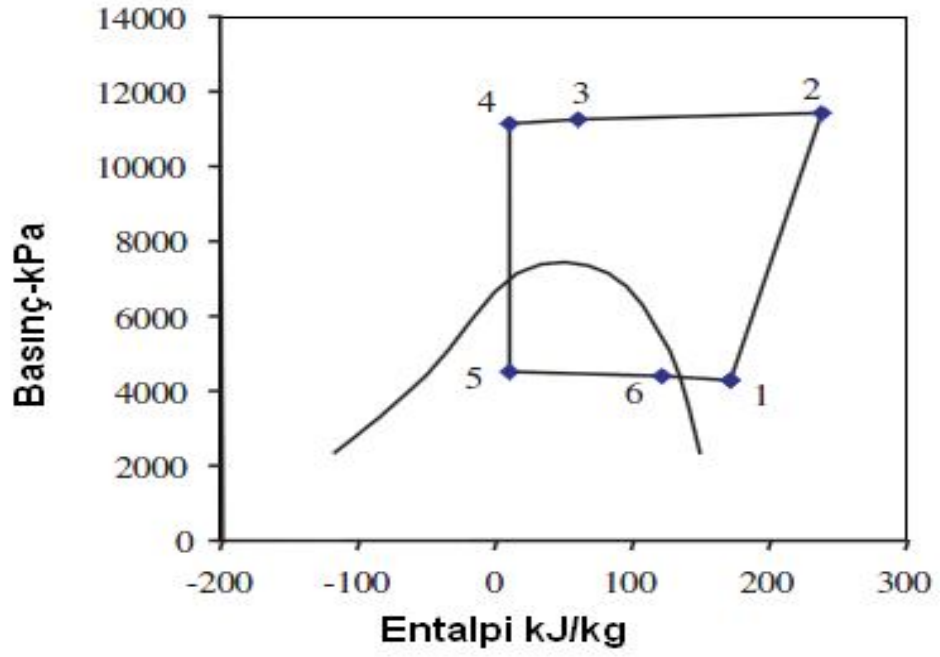
Uygulama alanı olarak, meskenlere sıcak su üretmek için kullanılan ısı pompaları, otomobil klima sistemleri örnek verilebilir [10].

4.1.1. Sistem Elemanları

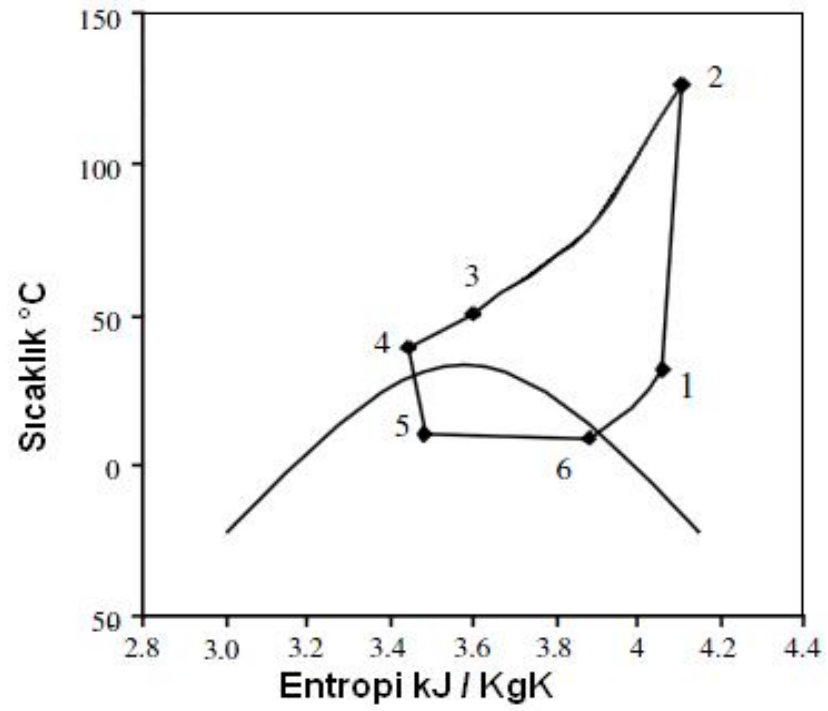
- Kompresör
- Gaz Soğutucu
- Isı Değiştirici
- Genleşme Valfi
- Evaporatör



Şekil 4.2. Transkritik CO₂ Çevrimi-[11]



Şekil 4.3. Basma Entalpi Diyagramı-[11]



Şekil 4.4. Sıcaklık Entropi Diyagramı-[11]

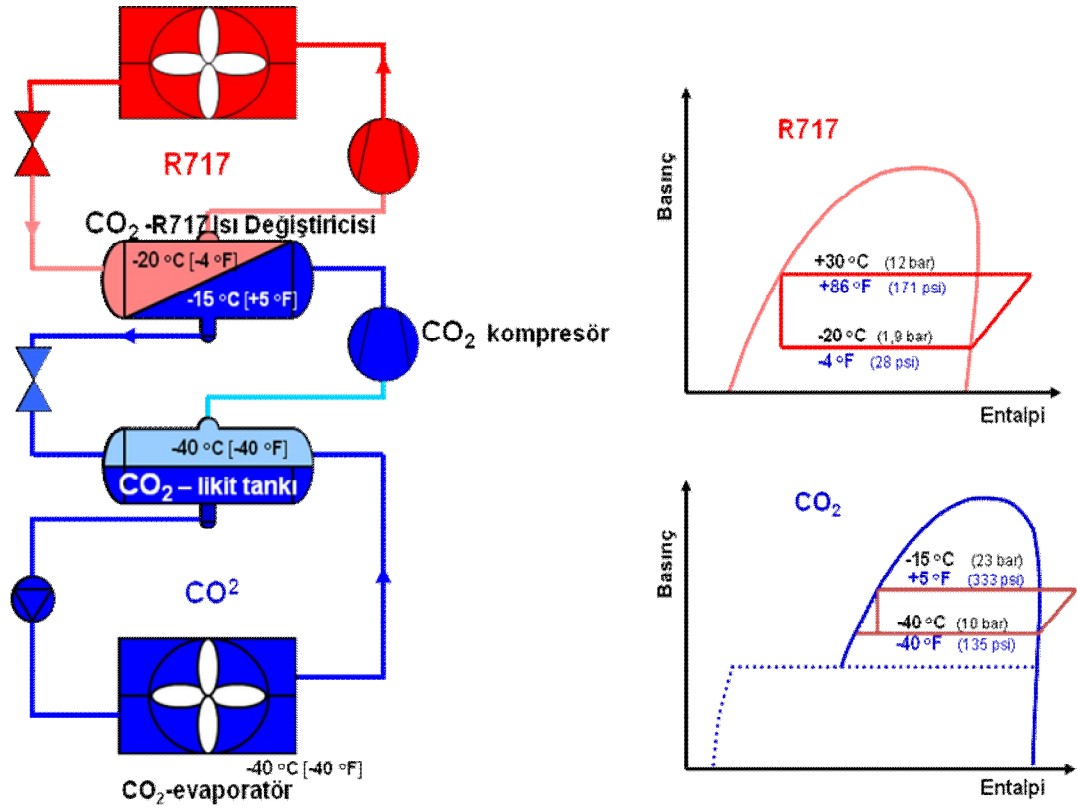
Şekil 4.2’de; 2 noktasında; süperkritik basınçtaki sıcak CO₂; 7 ve 8 noktalarında görülebileceği gibi çevreye ısıveren gaz soğutucuya girer. Burada geleneksel soğutucuların çevriminde görülen sabit sıcaklık yerine Şekil 4.4’de görülebileceği gibi değişken bir sıcaklık söz konusudur (2-3). Isı değiştirici içinde 3 noktasındaki yüksek basınçlı CO₂, evaporatörden gelen 6 noktasındaki düşük basınçlı CO₂ ile soğutulur. 4 noktasındaki soğuk CO₂; daha sonra 5 noktasında düşük sıcaklık ve düşük basınçlı soğutucu haline dönüştürüldüğü genleşme valfine gelir. Daha sonra soğutucu 9 ve 10 noktalarında görülebileceği gibi buharlaşırken çevreden ısıalan evaporatöre gelir. Bu düşük basınçlı CO₂ ısı değiştiriciye gider ve oradan gaz soğutucuya girmeden önce süperkritik şartlar altında yüksek basınca getirileceği 1 noktasına getirilir [11].

4.2. Subkritik Çevrim

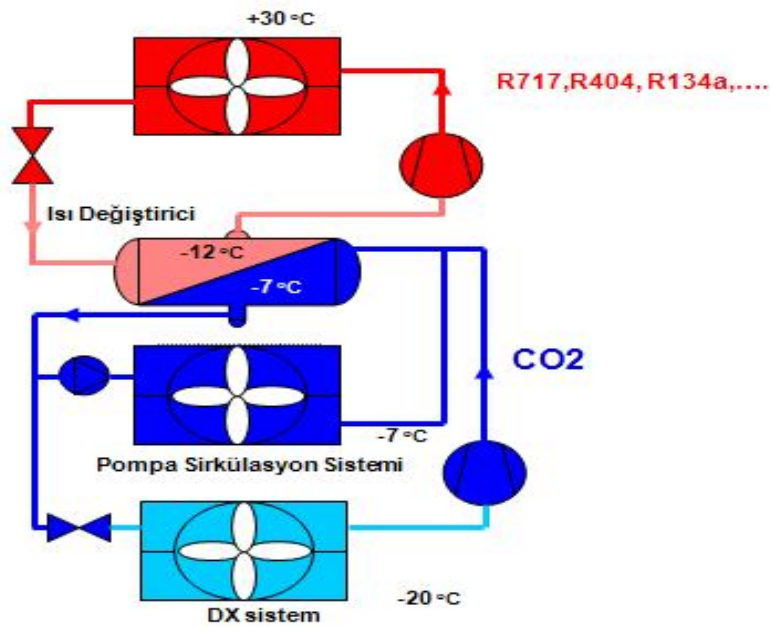
Üç değişik uygulama alanı mevcuttur;

- Kaskad Sistem
- DX Sistem
- Pompa Sirkülasyon Sistemi

Şekil 4.5 ve 4.6’da CO₂ subkritik sistemler için birkaç örnek sistem prensip şeması verilmiştir.



Şekil 4.5. R717 (Amonyak)- R74 (CO₂) Kaskad Sistem Prensi Şeması-[10]



Şekil 4.6. İki Farklı Sıcaklık Seviyesi ile CO₂ Kaskad Sistem Prensi Şeması

(Örn: Süpermarket Soğutması)-[10]

5. CO₂ KULLANILARAK TASARLANAN KASKAD SİSTEM ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ

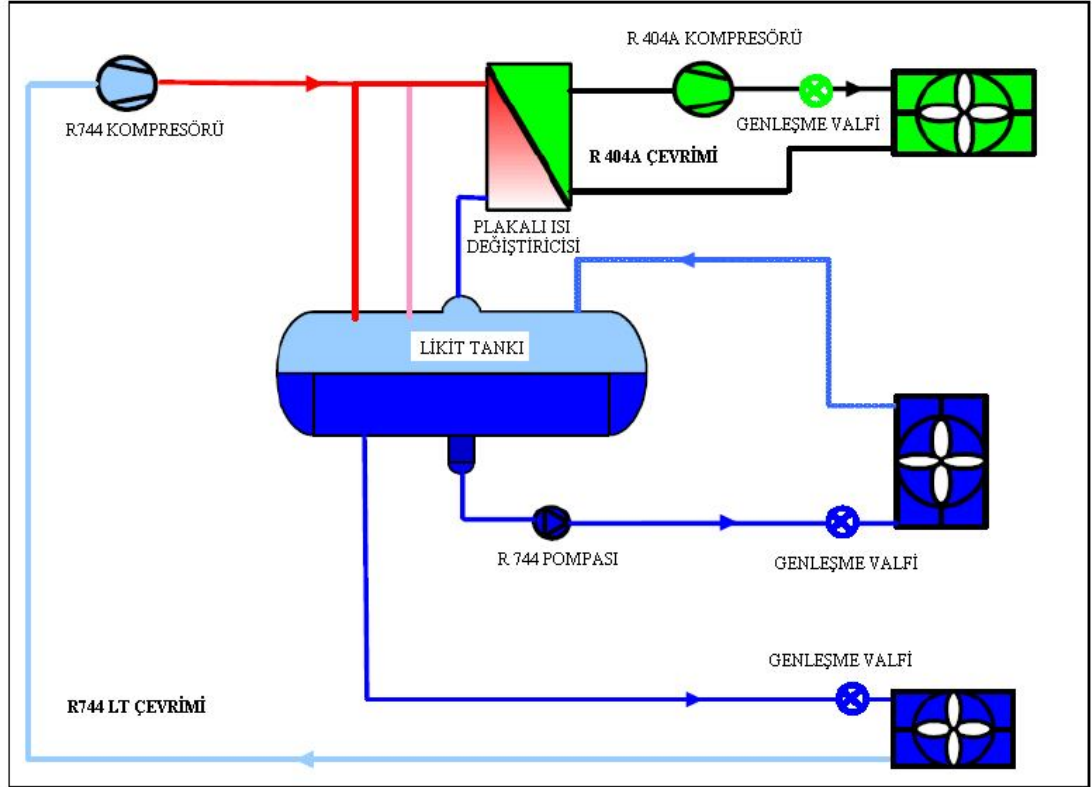
5.1. CO₂-R404A Kullanılarak Soğutulan Bir Süpermarket Uygulamasının İncelenmesi

22.Mart.2006 tarihinde CIBSE Ulusal Konferansında sunulan çalışmada Danimarka'da kurulmuş olan CO₂-R404A Kaskad sistemi incelenmiştir [5].

Süpermarketler; hem soğutma sistemlerinde kullanılan yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip olan soğutucuların sızıntısı ile direkt olarak; hem de yaklaşık %50 si soğutma cihazlarından kaynaklı büyük bir elektrik tüketicisi olduklarından; dolaylı olarak büyük bir küresel ısınma potansiyeline sahiptirler.

Buna göre; tasarlanan sistemin enerji verimliliği genelsel sistemlerle mukayese edilerek; çevreye olan dolaylı etkisi ve TEWI (Toplam Eşdeğer) hesabı ile çevreye olan direkt etkisi incelenmiştir.

Tasarlanan sistemin çalışma prensibi Şekil 5.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.1. Danimarka’da Bir Süpermarkette Çalışmak Üzere Tasarlanan Sistemin Çalışma Prensibi-[5]

İncelenen çalışmada; beklenen performans hesaplamaları aşağıdaki; bağıntılar yardımı ile yapılmıştır.

COP standart hesaplama;

$$COP = Q_{\text{soğutma}} / P_{\text{giriş}}$$

R-404A/CO₂ ve R-404A sistemlerinin COP değerleri şu hale gelir;

$$COP_{\text{toplam}} = \frac{Q_e O. S. + Q_e D. S.}{P_{404A} + P_{\text{kondensörfanları}} + P_{\text{pompa}} + P_{CO_2}} \quad (5.1)$$

COP_{toplam} = toplam sistem performansı katsayısı,

Q_e = Evaporatör kapasitesi kW

O.S. = orta sıcaklık bölümü

D.S. = düşük sıcaklık bölümü

P_{404A} = R-404A kompresörün çektiği güç kW

P_{CO_2} = CO₂ kompresörünün çektiği güç kW

P_{pompa} = CO₂ pompasının çektiği güç kW

$P_{kondenserfanları}$ = kondenser fanlarının çektiği güç kW

Buna göre; tasarlanan sistem için hesaplanan ve ölçülen değerler Şekil 5.1'deki gibidir.

Tablo 5.1. CO₂-R404A Kaskad Sistemi Hesaplanan ve Ölçülen

Performans Değerleri-[5]

ÖLÇÜLEN		HESAPLANAN	
Yüksek Taraf		Yüksek Taraf	
Copeland ZB45KCE-TFD x 2		Copeland ZB45KCE-TFD x 2	
T_c	36°C	T_c	36°C
T_e	-15°C	T_e	-15°C
Q_e	17.8kW	Q_e	15.0kW
P_{404A}	7.0kW	P_{404A}	8.0kW
$P_{kondenserfanları}$	0.5kW	$P_{kondenserfanları}$	1.7kW
THR	24.8kW	THR	23.0kW
COP 404A	2.39	COP 404A	1.5
O.S.		O.S.	
T_e	-10°C	T_e	-10°C
Q_e	4.7kW	Q_e	4.7kW
P_{pompa}	0.8kW	P_{pompa}	1.0kW
COP CO ₂ OS	5.7	COP CO ₂ OS	4.7
Düşük Sıcaklık		Düşük Sıcaklık	
Bitzer 2KC-3.2 K		Bitzer 2KC-3.2 K	
T_c	-10°C	T_c	-10°C
T_e	-28°C	T_e	-28°C
Q_e	10.0kW	Q_e	10.0kW
P_{CO_2}	1.8kW	P_{CO_2}	1.5kW
THR	11.8	THR	11.5
COP CO ₂ DS	5.6	COP CO ₂ DS	6.7
SİSTEM		SİSTEM	
P_{toplam}	10.1kW	P_{toplam}	12.2kW
COP Toplam	1.5	COP Toplam	1.2

Test teçhizatının COP değerinin yaklaşık 0.3 ile beklenenden daha iyi olduğu görülmektedir, buna rağmen bu COP daha düzgün boyutlandırılmış bir pompa ile ve daha dengeli bir sistem ile arttırılabileceği düşünülmektedir. Bu kaba hesaplamalar sistemi etrafıca değerlendirmek için yeterli değildir ve sistem içindeki kapsamlı enerji dengelerini kesinleştirmek için ileriye dönük çalışmalar gerekmektedir [5].

Sistemin COP değeri karşılaştırılmak üzere, geleneksel bir süpermarket soğutma sistemi tasarlanmıştır. Standart süper market soğutma sistemleri ayrı kondenserleri ile ayrı orta ve düşük sıcaklık bölümlerinden oluşur.

Karşılaştırmada, pompanın aşırı büyütülmesi nedeniyle üreticilerin verilerinden alınan kullanılan pompa gücü yerine gereken pompa gücü kullanılmıştır. Pompa gücü hesaplaması mevcut pompanın 1 kW'lık güç girişiyle 10 kat daha büyük olması olgusuna dayanır, oysaki hesaplanan güç girişi 0.2 kW'dır.

Tablo 5.2'de görüldüğü üzere, geliştirilmiş soğutma ve yardımcı sistemlerinin enerji kullanımı nedeniyle R-744 sistemi enerji kullanımının tüm yönlerinde daha etkilidir. Bu ilerde her ay boyunca % 61 çalışma zamanına bağlı olarak çalıştırma maliyeti açısından incelenebilir. 0.09TL/kWh oranında klasik R-404A sistemi 7.005,00 TL tutarında ve R-744 sistemi 5.530,00 TL tutarındadır. Klasik sistemlerle kıyaslandığında % 21 oranında çalışma maliyetinden tasarruftur. İşletim için çok fazla maliyeti olan klasik süper market soğutma düzenekleri ile bu tür soğutma sistemlerinin geri ödeme süreleri her yıl azaltılabilir [5].

Tablo 5.2. CO₂-R404A Kaskad Sistem- Geleneksel Sistem Performans Değerleri-[5]

CO ₂ / R404A KASKAD SİSTEM		GELENEKSEL SİSTEM-R404A	
Yüksek Sıcaklık Tarafı:		Orta Sıcaklık Tarafı:	
Copeland ZB45KCE-TFD x 2		Copeland ZB26KCE-TFD X 1	
T _c	36°C	T _e	-10°C
T _e	-15°C	Q _e	5.3kW
Q _e	17.8kW	P _{404A} O.S.	2.9kW
P _{404A}	8.0kW	THR	8.2kW
P _{kondenserfanları}	1.7kW	P _{kondenserfanları}	1
THR	25.8kW	COP R404A OS	1.33
COP 404A	1.83		
Orta Sıcaklık Tarafı:		Düşük Sıcaklık Tarafı:	
T _e	-10°C	Copeland ZF48K4E-TFD X 1	
Q _e	4.7kW	T _c	36°C
P _{pompa}	0.2kW	T _e	-28° C
COP CO ₂ OS	23.50	Q _e	10.1kW
Düşük Sıcaklık Tarafı:		P _{404A} LT	9.0kW
Bitzer 2KC-3.2 K		THR	21.4kW
T _c	-10°C	P _{kondenserfanları}	1.5kW
T _e	-28° C	COP R404A DS	0.96
Q _e	10.0kW		
P _{CO2}	1.5kW		
THR	11.5kw		
COP CO ₂ LT	6.67		
SİSTEM		SİSTEM	
P _{toplam}	11.4kW	P _{toplam}	14.4kW
COP _{toplam}	1.29	COP _{toplam}	1.06

Benzer Şekilde yapılan TEWI hesaplamaları da Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.3. TEWI Geleneksel R-404A Sistemi için Hesaplama-[5]

Standart Hesaplama Yöntemi				
Giriş Verileri				
	Uygulama Sektörü		Ticari	
	Soğutma Gazı Sıvısı		R404A	
	Soğutma Gazı Yüğü (M)		70	
Yıllık Enerji Tüketimi				
	Güç Girişı		107844	
	Yardımcı		0.00	
Sektörel Faktörler				
	Sistem İşletim Ömrü		Süre (N)	10
	Soğutma Gazı GWP'si			3750
	L1	5	S1	25
	L2	0	S2	0
Geri Dönüştürme Verimliliğı (a)			0.30	
CO2 Emisyon Faktörü β			0.43	
Soğutma Gazı Kaybı İşletimde			210	
Soğutma Gazı Kaybı İşletimden Çekme			70	
Toplam Kullanım Ömrü Süresince Soğutma Gazı Kaybı (L)			280	
CO2 Eşdeğeri			1050000	
Dolaylı Etki			463727	
TEWI			1513727	

Tablo 5.4. TEWI CO₂-R404A Sistemi için Hesaplama-[5]

Standart Hesaplama Yöntemi			
Giriş Verileri			
Uygulama Sektörü Soğutma Gazı Sıvısı Soğutma Gazı Yüğü (M)		Ticari	
		R404A	
		10.0 kg	
Yıllık Enerji Tüketimi			
Güç Giriş		4423.9 kWh	
Yardımcı		0.0 kWh	
Sektörel Faktörler			
Sistem İşletimsel Kullanım Ömrü (N)			10.00
Soğutma Gazı GWP'si			3750.00
L1	5	S1	25.00
L2	0	S2	0.00
Geri Dönüştürme Verimliliği	a 0.3		
CO2 Emisyon Faktörü β			0.43
Giriş Verileri			
Uygulama Sektörü Ticari			
Soğutma Gazı Sıvısı Soğutma Gazı Yüğü (M)		R744 (CO2)	
		40.0 kg	
Yıllık Enerji Tüketimi			
Güç Giriş		725.3 kWh	
Yardımcı		0.0 kWh	
Sektörel Faktörler			
Sistem İşletimsel Kullanım Ömrü (N)			10.00
Soğutma Gazı GWP'si			1.00
L1	2	S1	25.00
L2	0.5	S2	0.00
Geri Dönüştürme Verimliliği	a 1		
CO2 Emisyon Faktörü β			0.43
R404A HESAPLAMALARI			
Soğutma Gazı Kaybı İşletimsel (L) Soğutma Gazı Kaybı İşletimden Çekme Toplam Kullanım Ömrü Süresince Soğutma Gazı kaybı CO2 Eşdeğeri Dolaylı Etki TEWI R404A			30.00
			7.00
			37.00
			138750.00
			19022.73
			157772.73
R744 HESAPLAMALARI			
Soğutma Gazı Kaybı İşletimsel (L) Soğutma Gazı Kaybı İşletimden Çekme Toplam Kullanım Ömrü Süresince Soğutma Gazı kaybı CO2 Eşdeğeri Dolaylı Etki TEWI R744			110.00
			0.00
			110.00
			110.00
			3118.88
			3228.88
TEWI TOPLAM			161001.60

Araştırma, R-404A/R-744 kaskad sistemi kullanımı ile yapılacak önemli derecedeki enerji tasarruflarının olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Hesaplamalar R-744 sisteminin klasik sistemlerle karşılaştırıldığında CO₂ emisyonları büyük ölçüde azalttığını göstermiştir [5].

6. ÖZGÜN BİR CO₂-404A KASKAD ÇEVİRİMİNİN TASARIMI, İMALATI ve TESTİ

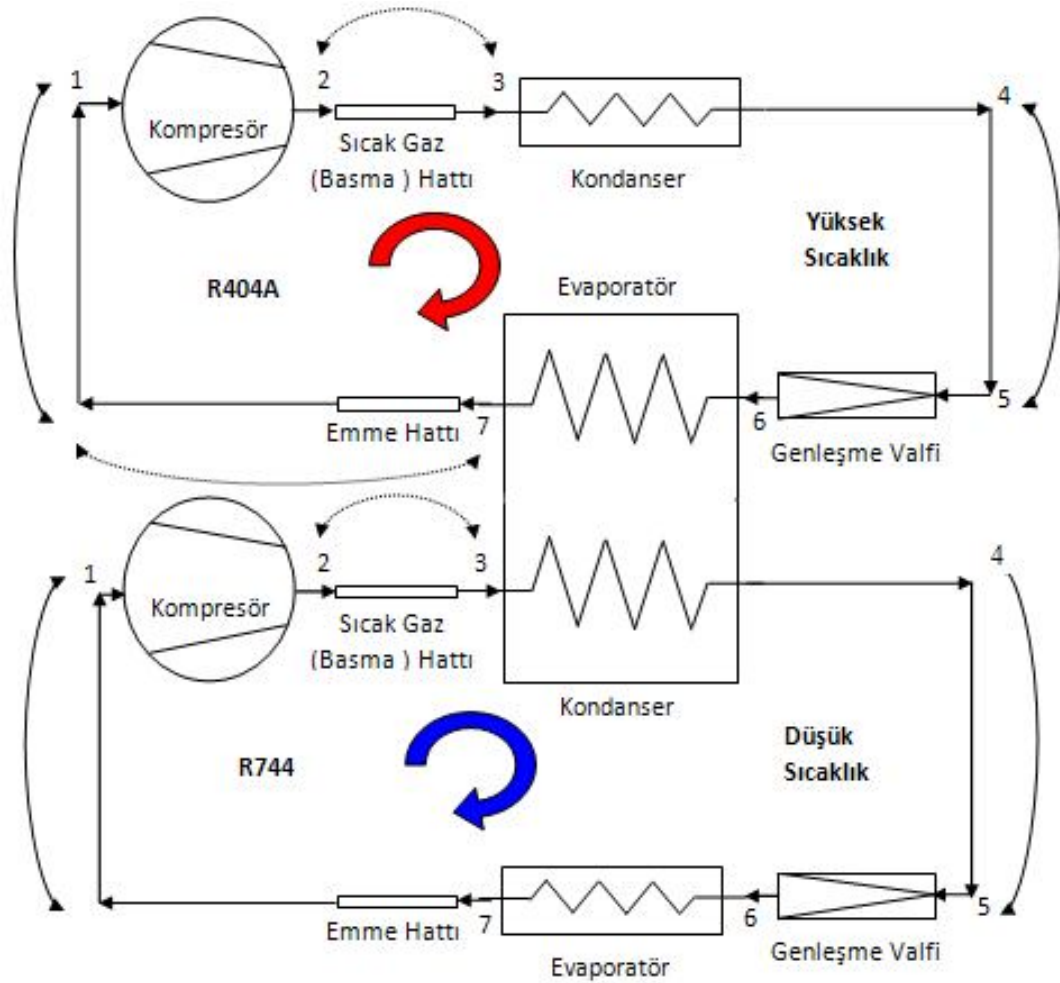
6.1. Amaç

Çalışmanın altıncı bölümüne kadar olan kısımlarda değişik özelliklerinden bahsedilen CO₂ gazının soğutucu akışkan olarak kullanımı haklı nedenlerden dolayı giderek yaygınlaşacaktır. Avrupa ülkelerinde CO₂ soğutucu gaz olarak kullanılmaya başlanmasına rağmen, Türkiye’de henüz sistematik bir uygulama bulunmamaktadır.

Bu nedenle bu çalışmada; özgün bir düşük basınç (subkritik) CO₂ kaskad sistem tasarlanarak, imal edilmiş ve çevrimin deneyimlenmesi hedeflenmiştir. Bununla beraber sistem komponentlerinden biri olan CO₂ evaporatörü tasarlanıp, üretilerek sistemde çalışırılığı test edilmiştir.

6.2. Sistem Tasarımı

Projede ele alınacak soğutma çevriminin termodinamik elemanları Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık bölgesinde R404A, alçak sıcaklık bölgesinde de R744 kullanılmaktadır. Bu iki çevrimdeki akışkanlar; aradaki ısı değişiricisi (plakalı eşanjör) üzerinden birbirlerine enerji geçişini gerçekleştirmektedirler.



Şekil 6.1. CO₂-R404A Kaskad Sistem Prensi Şeması ve Sistem Elemanları

Düşük Sıcaklık Çevriminde,

Şekil 6.1'in 1 noktasında emilen gaz kompresörde sıkıştırılarak 2 noktasında basma hattına verilmektedir. Basma hattı boyunca ilerleyen sıcak gaz 3 noktasında düşük sıcaklık çevriminin kondenseri gibi çalışan plakalı eşanjöre girmektedir. Plakalı eşanjörde (kondenserde) yoğunlaşan soğutucu akışkan 4 noktasında kondenseri terk etmekte, 5 noktasında genleşme valfine girerek kısılmakta, 6 noktasında evaporatöre girmektedir. Buharlaştıran soğutucu akışkan 7 noktasında evaporatöre terk etmekte emme hattı boyunca ilerlemekte ve 1 noktasında kompresöre girerek çevrimini tamamlamaktadır.

Yüksek Sıcaklık Çevriminde;

Şekil 6.1'in 1 noktasında emilen gaz kompresörde sıkıştırılarak 2 noktasında kompresörü terk ederek, 3 noktasında kondensere girmektedir, yoğunlaşan gaz 4 noktasında kondenseri terk etmekte ve 5 noktasında genişleme valfine girerek kısılmakta 6 noktasında yüksek sıcaklık çevriminin evaporatöre gibi davranan plakalı eşanjöre girmektedir. Burada buharlaşan gaz 7 noktasında evaporatöre terk etmekte ve emme hattı boyunca ilerleyerek 1 noktasında tekrar kompresöre geri dönmektedir.

6.2.1. Tasarım Parametreleri

Öncelikle tasarlanacak sistemin düşük basınç (subkritik) CO₂ çevrimine uygun olmasına, yani çalışma basıncının 30 barın altında kalmasına dikkat edilmiştir. Tasarıma ilk girdi olarak evaporatöre soğutma kapasitesi ile başlanmış ve sistem test amaçlı kullanılacağından 10 kW civarında bir kapasitenin uygun olacağına karar verilmiştir.

Buna göre; CO₂ gazı ile çalışmaya uygun kompresör markaları kontrol edilmiş ve 10 kW'lık kapasiteye en yakın olan kompresör seçilerek, evaporatöre kapasitesi belirlenmiştir. Kaskad sistemde; CO₂ tarafı için kondenser, R404A tarafı için evaporatöre görevi yapan plakalı ısı eşanjöründe (değiştiricisinde) meydana gelecek ısı transferi için $\Delta T=5$ °C alınarak; R404A tarafı evaporasyon sıcaklığına ulaşarak tüm çevrim tamamlanmıştır. Tasarım girdileri aşağıda özetlendiği gibidir;

Kapasite: 14,5 KW (CO₂ tarafı)

Evaporasyon Sıcaklığı: -25 °C (CO₂ tarafı)

Kondenzasyon Sıcaklığı:-10 °C (CO₂ tarafı)

$\Delta T=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Plakalı Eşanjör)

Kompresör verileri kullanılarak, sistem dizaynı Cool Pack programı ile yapılmıştır.

Tablo 6.1’de; verilen tasarım girdileri için seçilen Bock marka kompresör görülmektedir. Buna göre; $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ evaporasyon sıcaklığı için, kompresör kapasitesi 14,45 kW’dır, üretici firma katalogunda tesisat çapları da görülmektedir. Buna göre seçilen kompresör modeli; Bock Marka yarı hermetik HGX 12-P 60-4 CO₂'dir.

Tablo 6.1. Düşük Sıcaklık Tarafı Kompresör Modeli-[12]

CO ₂		50 Hz.						
TİP	Kon. Sıc.	Q=Soğutma Kapasitesi (W)				P=Güç Tüketimi (kW)		
	$^{\circ}\text{C}$		-25	-30	-35	-40	-45	-50
HGX12P / 60-4 CO ₂	-20	Q			10850	8600	6650	4950
		P			1.60	1.70	1.75	1.70
	-15	Q		12600	10150	8000	6100	4500
		P		1.70	1.90	1.95	1.95	1.90
	-10	Q	14450	11750	9400	7350	5550	4050
		P	1.50	2.10	2.20	2.25	2.20	2.10
	-5	Q	13450	19903	8650	6700	5000	3650
		P	2.25	2.55	2.60	2.55	2.45	2.25
	0	Q	22450	10000	7900	6050	4500	
		P	2.90	3.00	3.00	2.90	2.70	
HGX12P / 75-4 CO ₂	-20	Q			13500	10700	8250	6100
		P			1.95	2.10	2.15	2.15
	-15	Q		15600	12550	9900	7600	5550
		P		2.10	2.35	2.45	2.45	2.35
	-10	Q	17850	14600	11700	9100	6900	5000
		P	2.35	2.60	2.75	2.80	2.75	2.60
	-5	Q	16700	13500	10750	8300	6200	4550
		P	2.95	3.15	3.25	3.20	3.05	2.80
	0	Q						
		P						

Tablo 6.2. Düşük Sıcaklık Tarafı Kompresörü Teknik Özellikleri-[12]

Silindir Sayısı, Mil. Strok	2 / 34 / 34 mm
Süpürme Hacmi 50/60 Hz (1450/1740 1/dak.)	5,40 / 6,40 m ³ /h
Maksimum Akım Değeri	45,0 / 26,0 Amper
Motor Koruyucu	MP 10
Koruma Sınıfı	IP 65
Ağırlık	49 kg
Müsaade Edilen Pozitif Basınç (Düşük Basınç, Alçak Basınç)	27 / 43 bar
Emme Hattı Bağlantı Çapı	16 mm- 5/8"
Basma Hattı Bağlantı Çapı	12 mm-1/2"
Yağlama	Yağ Pompası İle
Dış Ölçüler	415 / 240 / 280 mm

Buna göre;

Düşük Sıcaklık Tarafı Evaporatör Kapasitesi = 14,45 kW

Düşük Sıcaklık Tarafı Kompresör Çekilen Güç = 1,9 kW

Düşük Sıcaklık Tarafı Kondenser Kapasitesi = (14,5+1,9=16,4 kW)

Buradan hareketle; R404A tarafı kompresörü de benzer şekilde seçilmiştir, evaporasyon ve kondenzasyon sıcaklığı bilinen çevrim için gerekli olan soğutma kapasitesi; düşük sıcaklık çevriminden atılması gereken enerjiye eşit yani 16,4 kW'dır.

Kapasite: 16,4 KW (R404A tarafı)

Evaporasyon Sıcaklığı: -15 °C (R404A tarafı)

Kondenzasyon Sıcaklığı: 40 °C (R404A tarafı)

Seçilen kompresör kapasitesi, ileride yapılacak deney ve testlerde düşünülerek bir miktar daha büyüktür. Buna göre; seçilen kompresör Bock Marka yarı hermetik HGX4/555-4'dür.

Tablo 6.3. Yüksek Sıcaklık Tarafı Kompresör Modeli-[10]

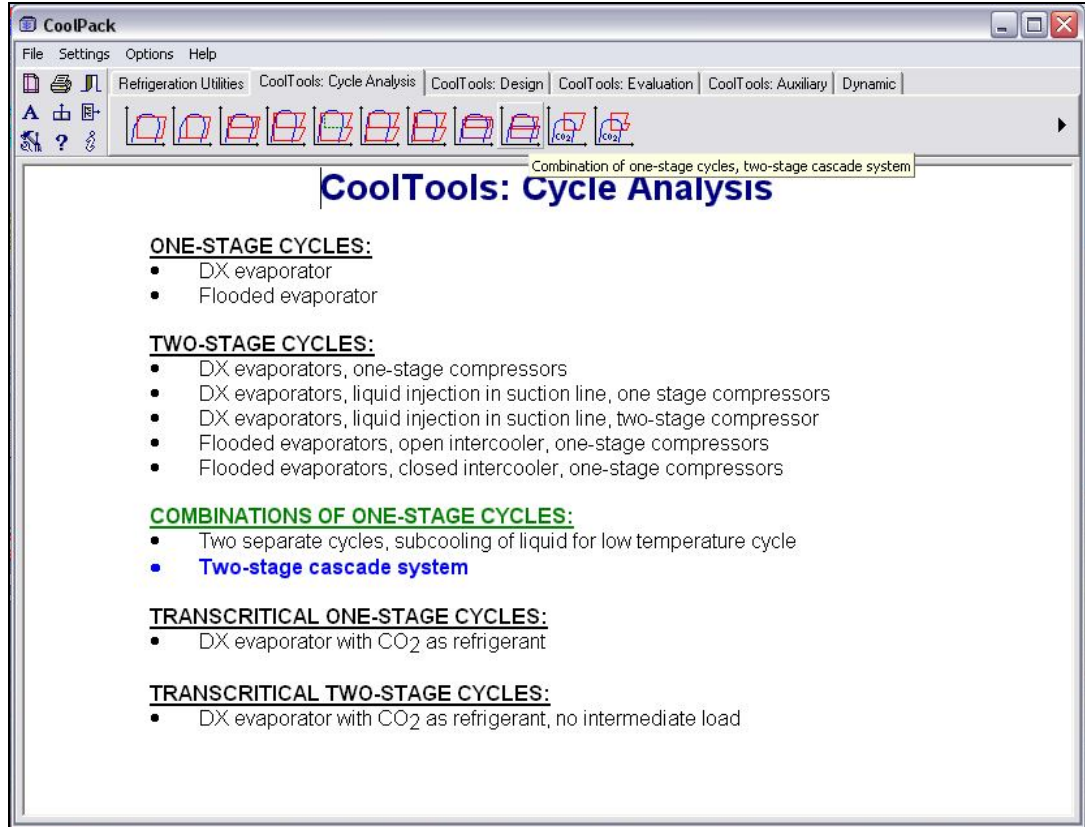
R404A/R507						50 Hz.				
TİP	Kon.Sıc.	Q=Soğutma Kapasitesi (W)					P=Güç Tüketimi (kW)			
	°C		7.5	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
HGX4 / 555-4 HGX4 / 555-4 S	30	Q	59592	55162	46891	39392	32648	26643	21359	16359
		P	10.23	10.34	10.36	10.12	9.66	9.02	8.25	7.39
	40	Q	52080	48054	40560	33792	27735	22372	17687	13661
		P	13.25	13.07	12.53	11.80	10.91	9.92	8.85	7.76
	50	Q	43295	39767	33234	27384	22200	17666	13764	10479
		P	15.61	15.16	14.13	12.98	11.74	10.46	9.17	7.92

Tablo 6.4. Yüksek Sıcaklık Tarafı Kompresör Teknik Özellikleri-[12]

Silindir Sayısı, Mil. Strok	4/55/49 mm
Süpürme Hacmi 50/60 Hz (1450/1740 l/dak.)	48,20/57,80 m ³ /h 380-420 V-3-50 Hz 440-480 V-3-60 Hz
Maksimum Akım Değeri	38,3 Amper
Motor Koruyucu	MP 10
Koruma Sınıfı	IP 65
Ağırlık	157 kg
Müsaade Edilen Pozitif Basınç (Düşük Basınç, Alçak Basınç)	27 / 43 bar
Emme Hattı Bağlantı Çapı	35 mm- 1 3/8"
Basma Hattı Bağlantı Çapı	28 mm-1 1/8"
Yağlama	Yağ Pompası İle
Dış Ölçüler	690 / 360 / 405 mm

6.2.2. Cool Pack Programı ile CO₂-R404A Kaskad Sistem Tasarımı

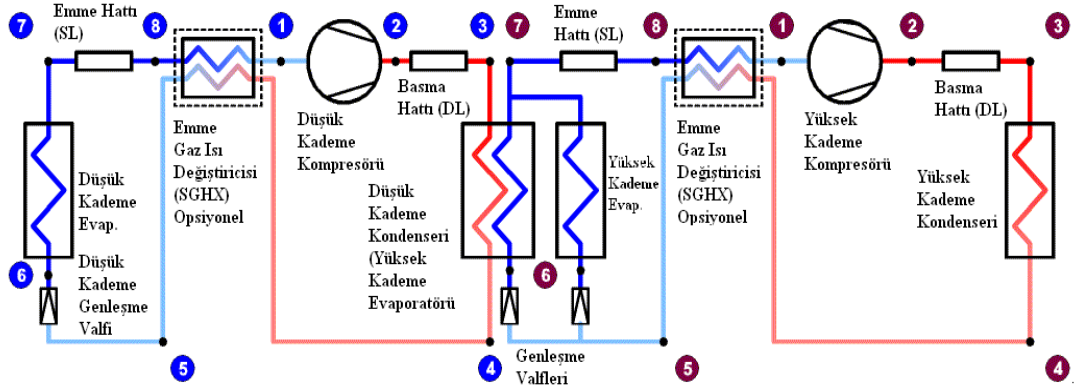
Bölüm 6.2.1'de elde edilen parametreler kullanılarak, sistem tasarımı yapılmıştır. Tasarım adımları Şekil 6.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.2. Tasarımın İlk Adımındaki Cool Pack Arayüzü-[13]

Şekil 6.2'deki ekranda; Cool Tools "Çevrim Analizi" opsiyonu seçildikten sonra; "Tek Kademeli Çevrimlerin Kombinasyonu" ve "İki Kademeli Kaskad Sistem" opsiyonu seçilmektedir.

Yazılım içerisindeki "tek kademeli çevrimlerin kombinasyonu" Şekil 6.3'daki gibi modellenmiştir.



Şekil 6.3. Cool Pack Yazılımı Tek Kademeli Çevrimlerin Kombinasyonu-[13]

Şekil 6.3’da görüldüğü gibi her çevrim kendi kompresörü, kondenseri, genleşme valfi ve evaporatörüne sahiptir, verilen emme gazı ısı değıştircileri (SGHX) her iki çevrim içinde opsiyoneldir.

Verilen modelde; yüksek sıcaklık çevriminde; sisteme plakalı eşanjöre ilaveten bir de yüksek sıcaklık çevrimi normal evaporatöre gibi çalışacak bir evaporatöre ilave edilmiştir.

Birkaç adım sonra verilecek olan Log(P)-h diyagramı üzerinde verilen noktalar; Şekil 6.3’da verilen noktaları temsil etmektedir.

Test edilmek üzere tasarlanan CO₂-R404A kaskad sisteminde; emme gazı ısı değıştircileri (SGHX) kullanılmamaktadır. Aynı Şekilde; kaskad çevrimin yüksek sıcaklık tarafı normal evaporatöre kullanılmamış sadece plakalı eşanjör kullanılmıştır. Sistem verileri Şekil 6.4’deki gibi ekranda yazılıma girilmekte; termodinamik hesaplama sonuçları ve Log(P), h diyagramı elde edilmektedir.

EES Distributable C:\program files\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 4. Tool_C10 - [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION

TEMPERATURE LEVELS		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (HT)		PRESSURE LOSSES	
$T_{E,HT}$ [°C]: -15,0	$\Delta T_{SH,HT}$ [K]: 2,0	No SGHX	0,3	$\Delta p_{SL,HT}$ [K]: 0,20	$\Delta p_{SL,LT}$ [K]: 0,20
$T_{E,LT}$ [°C]: -25,0	$\Delta T_{SH,LT}$ [K]: 2,0			$\Delta p_{DL,HT}$ [K]: 0,20	$\Delta p_{DL,LT}$ [K]: 0,20
$T_{C,HT}$ [°C]: 40,0	$\Delta T_{SC,HT}$ [K]: 2,0	SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (LT)		REFRIGERANTS	
$T_{C,LT}$ [°C]: -10,0	$\Delta T_{SC,LT}$ [K]: 2,0	No SGHX	0,3	HT: R404A	LT: R744

CYCLE CAPACITY

HT: Cooling Capacity $\dot{Q}_{E,HT}$ [kW]: 0	$\dot{Q}_{E,HT}$: 16,4 [kW]	$\dot{m}_{HT}$: 0,1592 [kg/s]	$\dot{V}_{S,HT}$: 31,53 [m³/h]
LT: Cooling Capacity $\dot{Q}_{E,LT}$ [kW]: 14,45	$\dot{Q}_{E,LT}$: 14,5 [kW]	$\dot{m}_{LT}$: 0,05402 [kg/s]	$\dot{V}_{S,LT}$: 4,64 [m³/h]

COMPRESSOR PERFORMANCE

HT: Power consumption $\dot{W}_{HT}$ [kW]: 9,92	$\eta_{IS,HT}$: 0,525 [-]	$\dot{W}_{HT}$: 9,92 [kW]	$\dot{W}_{TOT}$: 11,82 [kW]
LT: Power consumption $\dot{W}_{LT}$ [kW]: 1,9	$\eta_{IS,LT}$: 0,556 [-]	$\dot{W}_{LT}$: 1,9 [kW]	

COMPRESSOR HEAT LOSS

HT: Heat loss factor $f_{Q,HT}$ [%]: 10	$f_{Q,HT}$: 10,0 [%]	$T_{2,HT}$: 67,7 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS,HT}$: 1,0 [kW]
LT: Heat loss factor $f_{Q,LT}$ [%]: 10	$f_{Q,LT}$: 10,0 [%]	$T_{2,LT}$: 21,6 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS,LT}$: 0,2 [kW]

SUCTION LINES

HT: Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL,HT}$ [K]: 1,0	$\dot{Q}_{SL,HT}$: 152 [W]	$T_{8,HT}$: -12,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL,HT}$: 1,0 [K]
LT: Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL,LT}$ [K]: 3,0	$\dot{Q}_{SL,LT}$: 201 [W]	$T_{8,LT}$: -20,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL,LT}$: 3,0 [K]

Calculate Print ? Help Home Auxiliary State Points COP_{HT}: 1,650 COP_{LT}: 7,605

Şekil 6.4. Kaskad Sistem Çevrim Özellikleri Cool Pack Ara yüzü-[13]

Şekil 6.4’de sisteme girilen veriler aşağıdaki gibi açıklanmaktadır;

Sıcaklık Seviyesi (Temperature Level) Bölümü: Bu bölümde girilmesi gereken sıcaklıklar düşük sıcaklık çevrimi ve yüksek sıcaklık çevrimi için evaporasyon ve kondenzasyon sıcaklıkları ve aşırı kızgınlık ve aşırı soğutma değerleridir.

Basınç Düşümleri (Pressure Drops) Bölümü: Emme ve basma hatlarındaki doyma sıcaklığındaki basınç düşümleri olarak tanımlanmaktadır.

Soğutucu Akışkan Seçimi (Refrigerant ISO-number): Verilen listeden kaskad sistemin soğutucu akışkanları seçilmektedir.

Emme Gazı Isı Değişiricisi (Suction Gas Heat Exchanger (SGHX)): Emme gazı ısı değiştiricisinin termal verimi olarak tanımlanmaktadır. Tasarlanan test sistemine ilave edilmemiştir.

Çevrim Kapasitesi (Cycle capacity): Yüksek sıcaklık tarafı ve düşük sıcaklık tarafı evaporatörlerinin soğutma kapasiteleri girilmektedir.

Yüksek sıcaklık tarafı için programa girilmesi gereken evaporatör kapasitesi yüksek sıcaklık tarafı normal evaporatörü olarak tanımlanan evaporatör kapasitesidir. Normal evaporatör kapasitesi ile plakalı eşanjör kapasitesi toplanmakta ve kondenser kapasitesine ulaşarak hesaplamalar yapılmaktadır.

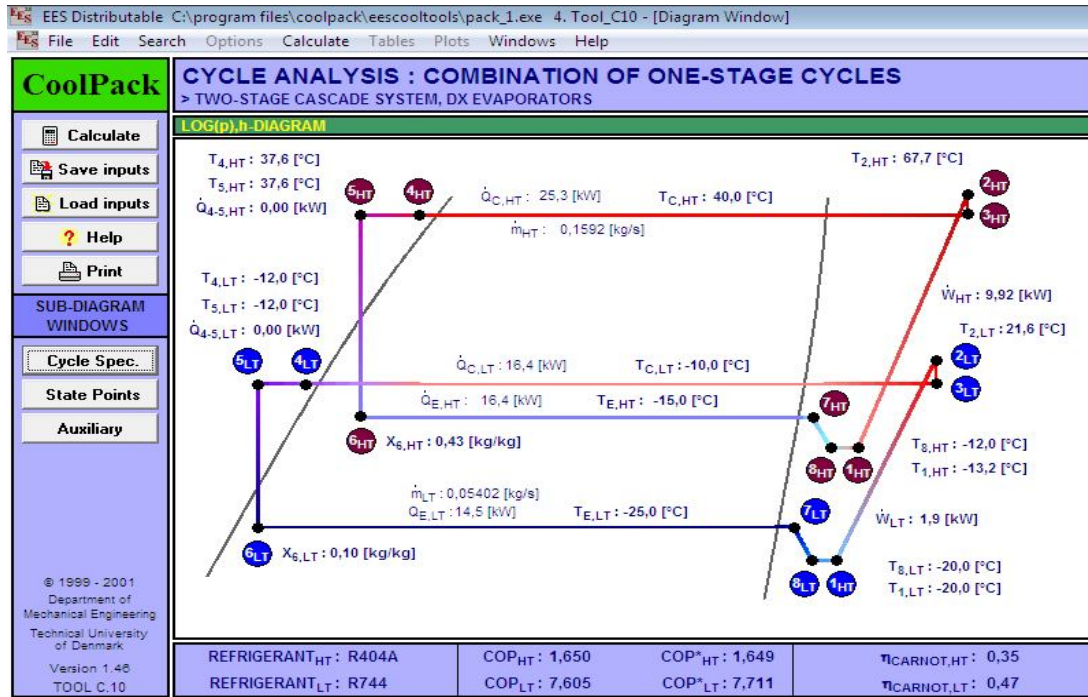
Test edilmek üzere tasarlanan kaskad sistemde ilave evaporatör düşünülmediğinden yüksek sıcaklık tarafı evaporatör kapasitesi sıfır alınmıştır.

Kompresör Performansı (Compressor performance): Kompresörlerin çektiğı güç girilmektedir.

Kompresör Isı Kaybı (The compressor heat loss): Kompresörün çektiğı gücün % olarak ısı kaybı faktörüdür. Bu faktör; kompresör verimini ya da kapasiteyi etkilememektedir, kompresör basma sıcaklığını hesaplamaktadır. Yarı hermetik kompresörler için bu değer %10 ~%25 alınmaktadır.

Emme Hattı (Suction line): Emme hattındaki faydasız kızgınlık, Kelvin olarak girilmektedir.

Bu bilgiler ışığında tüm veriler sisteme girilmiştir ve logP-h diyagramı Şekil 6.5'deki gibidir.



Şekil 6.5. Kaskad Sistem Log (P)-h Diyagramı Cool Pack Arayüzü-[13]

Her bir noktadaki sıcaklık, basınç ve yoğunluk ise Şekil 6.6'daki Tabloda verilmiştir.

EES Distributable f:\program files\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 4. Tool_C10 - [State Points]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

STATE POINTS

HIGH TEMPERATURE (HT)					LOW TEMPERATURE (LT)				
STATE POINT	TEMPERATURE [$^{\circ}\text{C}$]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m ³]	STATE POINT	TEMPERATURE [$^{\circ}\text{C}$]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m ³]
2	67.7	1826.1	268.0	80.1	2	21.6	2663.7	-31.9	56.6
3	67.7	1817.3	268.1	79.6	3	21.6	2648.6	-31.8	56.2
4	37.6	1817.3	109.2	979.3	4	-12.0	2648.6	-334.8	994.0
5	37.6	1817.3	109.2	979.3	5	-12.0	2648.6	-334.8	994.0
6	-15.3	364.1	109.2	-	6	-25.0	1682.7	-334.8	-
7	-13.0	364.1	212.0	18.3	7	-23.0	1682.7	-67.3	43.2
8	-12.0	361.5	213.0	18.1	8	-20.0	1671.9	-63.6	41.9
9	-13.2	361.5	211.9	18.2	9	-	-	-	-
1	-13.2	361.5	-13.2	18.2	1	-20.0	1671.9	-63.6	41.9

ADDITIONAL INFORMATION

$T_{2,IS,HT} : 48.3 [^{\circ}\text{C}]$
 $T_{2,W,HT} : 73.1 [^{\circ}\text{C}]$
 $T_{2,IS,LT} : 11.2 [^{\circ}\text{C}]$
 $T_{2,W,LT} : 24.7 [^{\circ}\text{C}]$
 Pressure ratio - HT (p_2 / p_1) [-]: 5.051
 Pressure ratio - LT (p_2 / p_1) [-]: 1.593

Şekil 6.6. Kaskad Sistemin Her Bir Noktasındaki Sıcaklık, Basınç ve Yoğunluk Cool

Pack Arayüzü-[13]

Tablolarda görülen, termodinamik sonuçlar aşağıdaki tanım ve bağıntılar esas alınarak yapılmaktadır.

İdeal soğutma sisteminde kompresör gücü eşitlik 6.1'den hesaplanmaktadır.

$$W_c = \frac{\dot{m}_R(h_{2'} - h_1)}{\eta_{is}} \quad (6.1)$$

Burada W_c kompresör kapasitesi; $\dot{m}_R$ soğutucu akışkan debisi, h entalpi, η_{is} kompresörün izentropik verimidir. 1 ve 2' alt indisleri ise sırasıyla kompresör giriş ve çıkışını temsil etmektedir. Kompresörün izentropik verimi η_{is} kompresörün ideal sıkıştırma ısısının gerçek sıkıştırma ısına oranıdır [14].

$$\eta_{is} = \frac{h_{2'} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (6.2)$$

Burada h_2 , kompresör çıkışındaki gerçek entalpidir. Sistemin soğutma kapasitesi veya bir diğer tabir ile evaporatör kapasitesi eşitlik 6.3 ile tanımlanır.

$$Q_E = \dot{m}_R(h_1 - h_4) \quad (6.3)$$

Kondanser kapasitesi ise eşitlik 6.4'deki gibidir.

$$Q_K = \dot{m}_R(h_2 - h_3) \quad (6.4)$$

Evaporatör veya soğutma kapasitesi aynı zamanda, Termodinamiğin I. Kanununa göre, kondenserden atılan ısı miktarıyla kompresör tarafından harcanan gücün farkı olarak tanımlanmıştır [15].

$$Q_E = Q_K - W_C \quad (6.5)$$

Bir soğutma makinesi veya ısı pompasının performansı, performans katsayısı (COP) ile değerlendirilir. İdeal buhar sıkıştırmalı bir soğutma çevrimi için COP eşitlik 6.6'daki gibi tanımlanır [16].

$$COP = \frac{\text{elde edilmek istenen soğutma etkisi}}{\text{harcanan iş girişi}}$$

$$COP = \frac{Q_E}{W_C}$$

$$COP = \frac{Q_E}{W_C} = \frac{h_1 - h_2}{h_2 - h_1} \quad (6.6)$$

Cool Pack programında iki farklı performans sabiti kullanılmıştır; COP ve COP*. COP* olarak verilen değerler eşitlik 6.7'deki bağıntıya göre hesaplanmaktadır [13];

$$COP = \frac{m(h_{\text{kompresör girişi}} - h_{\text{kondensör çıkışı}})}{W_{\text{kompresör}}} \quad (6.7)$$

T_H yüksek ısı kaynağı sıcaklığı ve T_L düşük ısı kaynağı sıcaklığı olmak üzere ve her iki sıcaklıkta Kelvin cinsinden olmak üzere, T_H ile T_L sıcaklıkları arasında çalışan soğutma makinesinin alabileceği en yüksek değer COP_{CARNOT} olarak ifade edilmekte ve eşitlik 6.8'deki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$COP_{CARNOT} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (6.8)$$

Carnot verimi (η_{CARNOT}) eşitlik 6,9'deki bağıntı ile hesaplanmaktadır [13];

$$\eta_{CARNOT} = \frac{COP^*}{COP_{CARNOT}} \quad (6.9)$$

Buna göre sistem tasarımı termodinamik olarak tamamlanmış olmaktadır, bundan sonraki adımda sistemin ana termodinamik elemanlarından olan evaporatör ve kondenser tasarımı yapılacak, plakalı ısı eşanjörü ve diğer elemanlar seçilecek deney düzeneği tesisat boruları çaplandırılacaktır.

6.2.3. Sistem Elemanlarının Seçimi

Düşük Sıcaklık Tarafı CO₂ Evaporatörü Dizaynı

CO₂ evaporatörü; Friterm firması Coils 5.5 eşanjör tasarım programı kullanılarak yapılmıştır. İlk defa üretilip test edilecek bu ürünlerdeki tasarım farklılıkları aşağıdaki gibidir,

Kalın etli boru kullanılmıştır (0,35 mm yerine 1,0 mm)

Normal tasarlanan evaporatörlerde soğutucu gaz bir distribütör yardımı ile evaporatöre girmekte ve kolektör yapısı ile evaporatörü terk etmektedir, tasarlanan CO₂ evaporatöründe gaz kolektör yapısı ile evaporatöre girmekte ve kolektör yapısı ile evaporatörü terk etmektedir.

Evaporatördeki devreler eşit Şekilde dağıtılmış ve mümkün olduğunca devre boyu uzun tutulmaya çalışılmıştır.

Evaporatör, enerji tasarruflu, elektronik motor gürültüsü olmayan, direkt hız kontrolü EC fan ile dizayn edilmiştir.

Dizayn edilen evaporatör, bakır borulu ve alüminyum kanatlıdır, buna göre Coils 5.5 tasarım programına girilen veriler aşağıdaki gibidir;

- Lamel geometrisi: 3228 (32: borular arası dikey uzaklık, 28: borular arası yatay uzaklık)
- Lamel kalınlığı: 0,10
- Boru çapı: 1/2"
- Boru et kalınlığı: 1 mm
- Hava debisi: (kapasiteye bağlı olarak, deneme yanılma yolu ile bulunacaktır)
- Hava giriş sıcaklığı: -18 °C
- Evaporasyon Sıcaklığı: -25 °C
- Kondenzasyon Sıcaklığı: -10 °C
- Bağıl Nem: %50
- Lamel Yüksekliği: imalat kriterleri ve kapasiteye bağlı olarak deneme yanılma yolu ile bulunacaktır
- Lamel Boyu: imalat kriterleri ve kapasiteye bağlı olarak deneme yanılma yolu ile bulunacaktır
- Lamel Aralığı: imalat kriterleri ve kapasiteye bağlı olarak deneme yanılma yolu ile bulunacaktır
- Devre Sayısı: tasarım kriterleri ve kapasite göz önünde bulundurularak deneme yanılma yolu ile belirlenecektir.

Tasarlanması gereken Evaporatör için gerekli evaporatör kapasitesi: 14,5 kW'dır.

DX batarya (evaporatör ısı değiştiricisi) tasarım kriterleri göz önüne alınarak, bu parametreler değiştirilmekte ve istenen kapasiteyi sağlayacak optimum dx batarya dizayn edilmektedir.

Geleneksel soğutucu akışkanlar için; Friterm firması tarafından tavsiye edilen; dx batarya ve kondenser bataryası tasarımında dikkat edilmesi gereken tasarım parametreleri Tablo 6.5'deki gibidir.

Tablo 6.5. Geleneksel Soğutucular için; Evaporatör (DX) ve Kondanser Bataryası
Tasarım Kriterleri-[17]

Teknik Özellikler	Dx (Evaporatör) Batarya	Kondenser Bataryası
Boru Malzemesi	Bakır	Bakır
Boru İç Formu	Düz-Yivli	Düz
Geometriler	M2522-3/8" M3228-1/2" M4035-1/2" F3833-5/8" M4035-5/8" M2519-3/8" F2522-3/8"	F2522-5/16" M2512-3/8" M2519-3/8" M2522-3/8" F3228-3/8" F3228-1/2" F2522-3/8"
Bakır Boru Et Kalınlığı	3/8"-0,35 mm 1/2"-0,35 mm 5/8"-0,40 mm	5/16"-0,28 mm 3/8"-0,30-0,35 mm 1/2"-0,35 mm
Lamel Malzemesi	Alüminyum Epoksi Kaplı Hidrofilik Kaplı Lamel Bakır Lamel Poliüretan	Alüminyum Epoksi Kaplı Hidrofilik Kaplı Lamel Bakır Lamel Poliüretan
Lamel Formu	Kaburgalı / Düz	Kaburgalı
Lamel Aralığı (mm)	1,6-1,8-2,1-2,5-3,2	1,6-1,8-2,1-2,5-3,2
Lamel Kalınlığı (mm)	0,10-0,12-0,15	0,10-0,12
Lamel Dizili Uzunluk = Liç(mm)	Min. 200, Maks. 4000	Min. 200, Maks. 8400
Lamel Dizili Yükseklik = HR(mm)	2285	2285

Kasetleme Malzemesi	Galvaniz Sac, Paslanmaz, Alüminyum	Galvaniz Sac, Paslanmaz, Alüminyum
Kolektör Malzemesi	Bakır	Bakır
İç Akışkan Cinsi	R22, R404A, R134, R507, R407C	R22, R404A, R134, R507, R407C
Su Rejimi (°C)	-	-
Batarya Sıra Sayısı	2-3-4-6	2-3-4
Geçiş Sayısı-Devre Sayısı	Geçiş (pas) sayısı çift sayı olmalıdır. Devre sayısı = Toplam boru sayısı/Geçiş sayısı	Geçiş (pas) sayısı çift sayı olmalıdır. Devre sayısı = Toplam boru sayısı/Geçiş sayısı
Batarya Alın Hava Hızı (m/s) (min.- opt.- maks.)	1,8-(2,5-3,0)-3,5	1,8-(2,5-3,0)-5,0
Gaz Tarafı Basınç Kaybı (kPa)	10-50	10-50
Hava Tarafı Basınç Kaybı (kPa)	Opt. 20-100, Maks. 200	Opt. 20-80, Maks. 120
Defrost Sistemi	İsteğe Bağlı Olarak Eklenebilir.	-
Batarya Test Basıncı (bar)	30	30
Batarya İşletme Basıncı (bar)	21	21

Dizayn edilen CO₂ evaporatörü bataryası güvenlik nedeni ile 48 barda test edilmiştir, çalışma basıncı 16 bardır.

Buna göre, dx batarya için Coils 5.5 programı ara yüzü ve teknik çıktı sayfaları Şekil 6.8’de verilmiştir. Tasarlanan evaporatör kapasitesi ihtiyaç olandan bir miktar fazla seçilmiştir.

Direkt Genlesme

Dosya Akışkan Ayarlar Grafikler Tablolar Hava yoğunluğu

Atmosfer basıncı: bar 1

Proje No: 1 Açıklama: CO2 Evaporatörü

Müşteri: FRITERM

CO2 Evaporatörü

☐ Tasarım ☒ Kontrol Geometri

32x28-1/2 C S

Fan No: S4E 400 0

Ek basınç kaybı(Pa): 0

Boru kalınlığı: 1

Kanat kalınlığı: 0,1

Kanat yüksekliği: 0

Dis Yüzey (m2): 60,3401

Malzemeler

Kanat: Aluminium

Boru: Copper

Uzunluk/Yükseklik: 3,41207

Kapasite: kW 16,3

Hava debisi: m3/h 12500

Evaporasyon sıcaklığı: °C -25

Kuru termometre giriş sıcaklığı: °C -18

Giriş yaş termometre sıcaklığı: °C -18,1

Giriş bağıl nemi: 95

Hava tarafı kirlenme katsayısı: m2 K/W 0

Kızgınlık: °C 0

Hava basınç kaybı: Pa 103,1

Hava hızı: m/s 3,116

Yükseklik: mm 571,5

Kanat Hatvesi: 6

Sıra sayısı/devre sayısı: 6 6

Kapiler çap: mm 0

Sogutucu akışkanlar: R744

Akışkan debisi: kg/s 0,0619

Kondenzasyon sıcaklığı: °C -10

Kuru termometre çıkış sıcaklığı: °C -21,0

Çıkış yaş termometre sıcaklığı: °C -21,0

Çıkış bağıl nemi: 100

Boru tarafı kirlenme katsayısı: m2 K/W 0

Asiri soğutma: °C 0

Toplam akışkan basınç kaybı: kPa 9,278

Akışkan hızı: m/s 2,345

Uzunluk: mm 1950

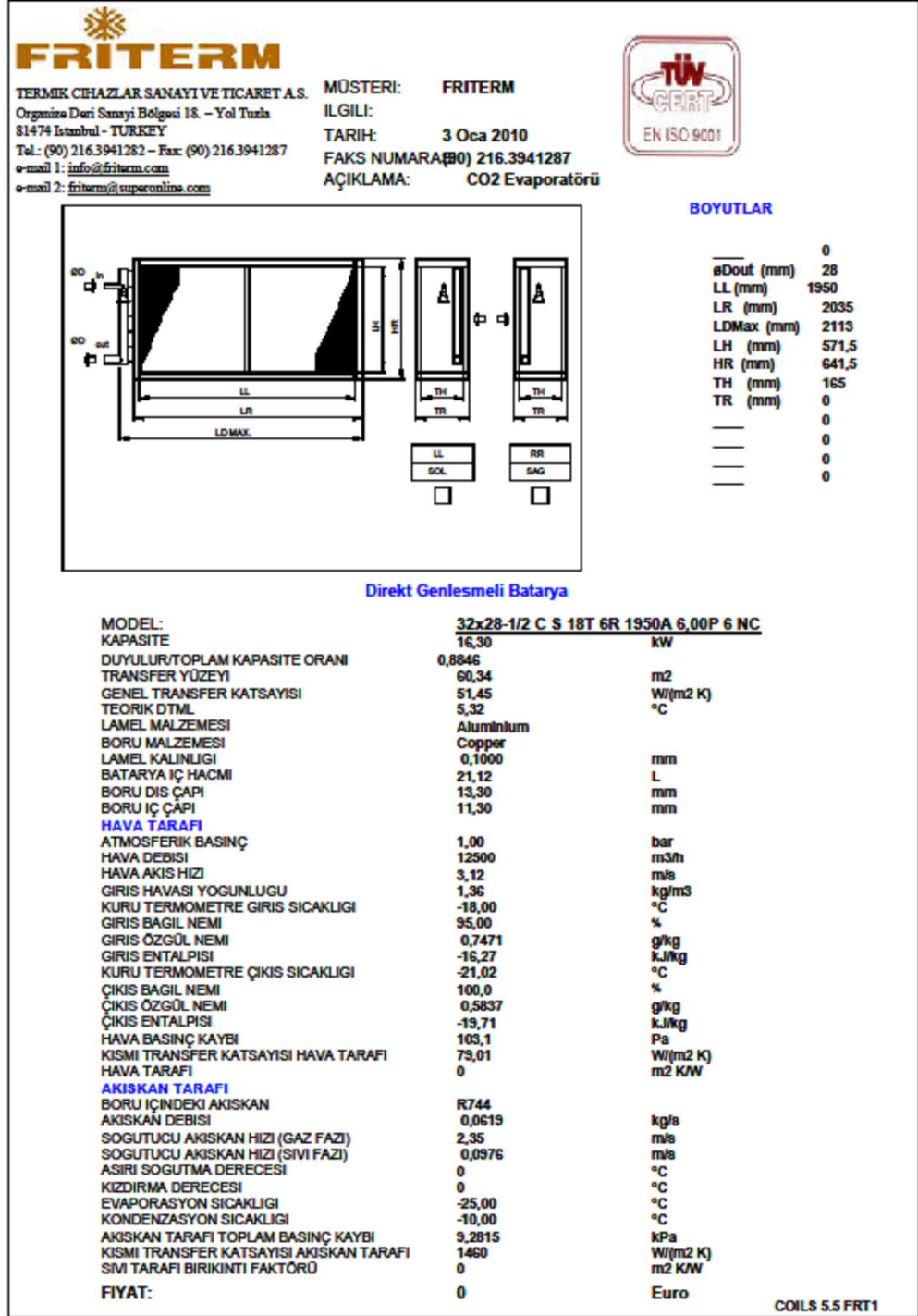
Bir sıradaki boru sayısı: 18

Kapiler uzunluk: mm

Çıkış Kollektörü: mm 28

Hesapla Verilere bak Yazdırma Önizleme

Şekil 6.7. CO₂ Evaporatörü Tasarımı Coils 5.5 Arayüzü-[18]

Şekil 6.8. CO₂ Evaporatörü Coils 5.5 Teknik Çıktı Sayfası-[18]

Yüksek Sıcaklık Tarafı Kondenser Tasarımı

Tablo 6.5’de verilen tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak yine Friterm Coils 5.5 ısı eşanjörü tasarım programı ile R404A gazı ile çalışacak kondenser bataryası dizayn edilmiştir. Evaporatör bataryası dizaynı için programa girilmesi gereken verilen aynı Şekilde kondenser bataryası içinde girilmiştir.

Tasarlanacak olan kondenser kapasitesi ihtiyacı logP-h diyagramında da görülebileceği gibi 25 kW’dır.

Buna göre, kondenser bataryası için Coils 5.5 programı ara yüzü ve teknik çıktı sayfası Şekil 6.10’da verildiği gibidir.

The screenshot shows the 'Kondenser' (Condenser) design interface in the Friterm Coils 5.5 software. The interface is organized into several sections:

- Atmosfer basıncı (Atmospheric pressure):** Set to 1 bar.
- Proje No. (Project No.):** 4
- Açıklama (Description):** 404A Kondenser
- Müşteri (Customer):** FRITERM
- Kapasite (Capacity):** 24,9 kW
- Hava debisi (Air flow):** 16400 m³/h
- Evaporasyon sıcaklığı (Evaporation temperature):** -15 °C
- Kuru termometre giriş sıcaklığı (Dry bulb inlet temperature):** 30 °C
- Giriş yaş termometre sıcaklığı (Wet bulb inlet temperature):** 21,8 °C
- Giriş bağıl nemi (Inlet relative humidity):** 50
- Hava tarafı kirlenme katsayısı (Air side fouling factor):** 0 m² K/W
- Kızgınlık (Superheat):** 0 °C
- Hava basınç kaybı (Air pressure drop):** 34,5 Pa
- Hava hızı (Air velocity):** 3,933 m/s
- Yükseklik (Height):** 1016 mm
- Kanat Hatvesi (Fin thickness):** 2,5 mm
- Sıra sayısı (Number of rows):** 4
- Giriş Kolektörü (Inlet collector):** 35 mm
- Sogutucu akışkanlar (Refrigerant):** R404A
- Akışkan debisi (Refrigerant flow):** 0,1900 kg/s
- Kondenzasyon sıcaklığı (Condensation temperature):** 40 °C
- Kuru termometre çıkış sıcaklığı (Dry bulb outlet temperature):** 34,8 °C
- Çıkış yaş termometre sıcaklığı (Wet bulb outlet temperature):** 23,2 °C
- Çıkış bağıl nemi (Outlet relative humidity):** 38,1
- Boru tarafı kirlenme katsayısı (Tube side fouling factor):** 0 m² K/W
- Asiri soğutma (Subcooling):** 0 °C
- Toplam akışkan basınç kaybı (Total refrigerant pressure drop):** 15,3 kPa
- Akışkan hızı (Refrigerant velocity):** 2,439 m/s
- Uzunluk (Length):** 1140 mm
- Bir sıradaki boru sayısı (Number of tubes per row):** 40
- Devre sayısı (Number of circuits):** 16
- Çıkış Kolektörü (Outlet collector):** 28 mm
- Malzemeler (Materials):** Kanat: Aluminium, Boru: Copper
- Uzunluk/Yükseklik (Length/Height):** 1,12205

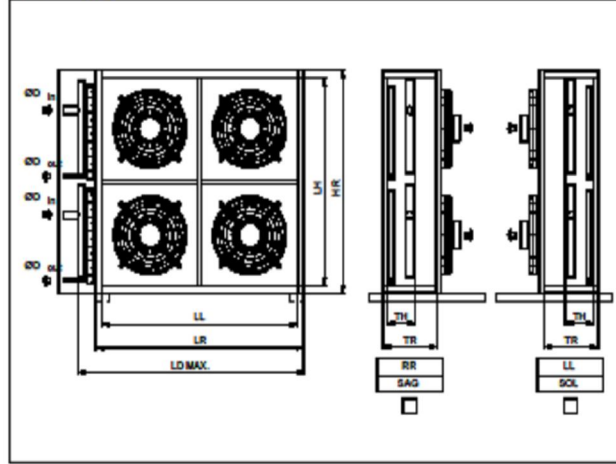
Buttons at the bottom include 'Hesapla' (Calculate), 'Verilere bak' (View data), and 'Yazdırma Önizleme' (Print preview).

Şekil 6.9. R404A kondenseri Tasarımı Coils 5.5 Arayüzü-[18]



TERMİK CİHAZLAR SANAYİ VE TİCARET A.Ş.
Organize Sanayi Bölgesi 18. - Yol Tuzla
81474 İstanbul - TÜRKİYE
Tel.: (90) 216.3941282 - Fax: (90) 216.3941287
e-mail 1: info@friterm.com
e-mail 2: friterm@supersonline.com

MÜSTERİ: FRITERM
İLGİLİ:
TARİH: 3 Oca 2010
FAKS NUMARASI: 216.3941287
AÇIKLAMA: 404A Kondenser



BOYUTLAR

øDin (mm)	35
øDout (mm)	28
LL (mm)	1140
LR (mm)	1200
LDMAX (mm)	1265
LH (mm)	1016
HR (mm)	1066
TH (mm)	88
TR (mm)	0
---	0
---	0
---	0
---	0

Kondenser

MODEL:	25x22-5/16 C S 40T 4R 1140A 2.50P 16 NC
KAPASİTE	24,94 kW
TRANSFER YÜZEYİ	78,40 m ²
GENEL TRANSFER KATSAYISI	46,33 W/(m ² K)
ORTALAMA LOGARİTMİK DELTAT	6,87 °C
LAMEL MALZEMESİ	Aluminium
BORU MALZEMESİ	Copper
LAMEL KALINLIĞI	0,1200 mm
BATARYA İÇ HACMİ	8,58 L
BORU DIŞ ÇAPİ	8,30 mm
BORU İÇ ÇAPİ	7,74 mm
HAVA TARAFI	
ATMOSFERİK BASINÇ	1,00 bar
HAVA DEBİSİ	16400 m ³ /h
HAVA AKIS HIZI	3,93 m/s
GİRİS HAVASI YÖĞÜNLÜĞÜ	1,14 kg/m ³
KURU TERMOMETRE GİRİS SICAKLIĞI	30,00 °C
GİRİS BAĞIL NEMİ	50,00 %
GİRİS ÖZGÜL NEMİ	13,30 g/kg
GİRİS ENTALPİSİ	63,70 kJ/kg
KURU TERMOMETRE ÇIKIS SICAKLIĞI	34,78 °C
ÇIKIS BAĞIL NEMİ	38,13 %
ÇIKIS ÖZGÜL NEMİ	13,30 g/kg
ÇIKIS ENTALPİSİ	68,62 kJ/kg
HAVA BASINÇ KAYBI	94,55 Pa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI HAVA TARAFI	85,02 W/(m ² K)
HAVA TARAFI	0 m ² K/W
AKIŞKAN TARAFI	
BORU İÇİNDEKİ AKIŞKAN	R404A
AKIŞKAN DEBİSİ	0,1900 kg/s
SOGUTUCU AKIŞKAN HIZI (GAZ FAZİ)	2,44 m/s
SOGUTUCU AKIŞKAN HIZI (SIVI FAZİ)	0,2625 m/s
ASIRI SOĞUTMA DERECE	0 °C
KIZDIRMA DERECE	0 °C
EVAPORASYON SICAKLIĞI	-15,00 °C
KONDENZASYON SICAKLIĞI	40,00 °C
AKIŞKAN TARAFI TOPLAM BASINÇ KAYBI	15,2661 kPa
KİSMİ TRANSFER KATSAYISI AKIŞKAN TARAFI	2484 W/(m ² K)
SIVI TARAFI BİRİKİNTİ FAKTÖRÜ	0 m ² K/W
FİYAT:	0 Euro

COILS 5.5 FRT1

Şekil 6.10. R404A Kondanseri Bataryası Coils 5.5 Teknik Çıktı Sayfası [18]

Tasarlanan kondenserde de; evaporatörde olduğu gibi EC fan kullanılmıştır.

Dizayn edilen Evaporatör için gerekli olan hava debisi, 3 adet fan ile sağlanmıştır. Her bir fan için gerekli olan;

Hava debisi = 4166 m³/h

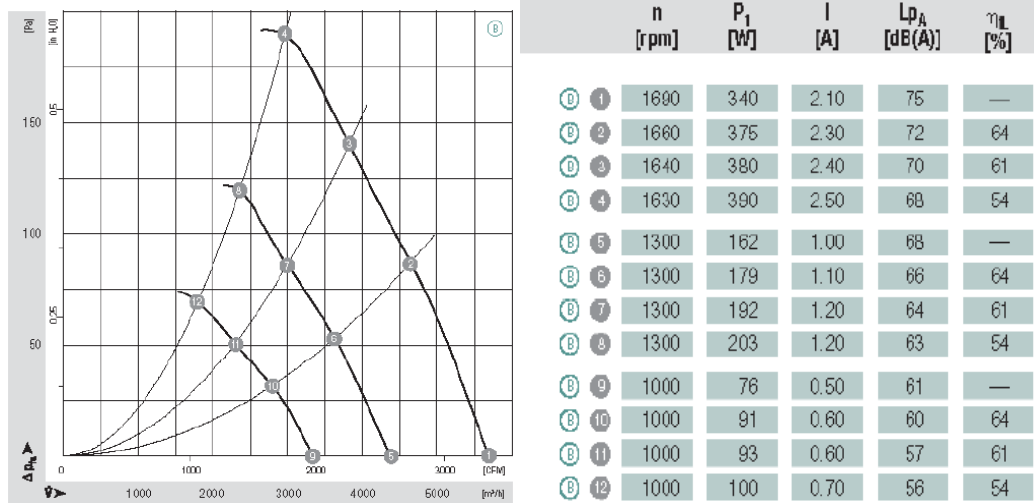
Basınç kaybı = 103 Pa

Dizayn edilen kondenser için gerekli olan hava debisi ise 4 adet fan ile sağlanmıştır. Her bir fan için gerekli olan;

Hava debisi = 4100 m³/h

Basınç kaybı = 95 Pa

Buna göre seçilen EC fan; EBM marka S3G 400-LA 22-71'dir. Fanın basınç ve debiye bağlı çalışma eğrisi Şekil 6.11'deki gibidir.



Şekil 6.11. S3G 400-LA 22-71 EC Fan Çalışma Eğrisi-[19]

Plakalı Eşanjörün Seçimi

Plakalı eşanjör seçim karakteristikleri aşağıdaki gibidir;

Kapasite = 16,4 kW

CO₂ gazı debisi = 0,05402 kg/s

404A gazı debisi = 0,1592 kg/s

Evaporasyon Sıcaklığı = -15 °C

Kondenzasyon Sıcaklığı = -10 °C

Bu kriterlere göre, imalatçı firmalar ile irtibata geçilmiş ve aşağıdaki gibi özelliklere sahip olan bir plakalı eşanjör seçilmiştir. Seçilen plakalı eşanjör, Alfa-Laval ACH 120 EQ modelidir.

CO₂ gazı debisi = 0,1191 kg/s

404A gazı debisi = 0,3181 kg/s

Kapasite = 35,78 kW

Sistemdeki diğer elemanlar, imalatçılarla irtibata geçilerek ilgili kataloglardan seçilmiştir. Düşük sıcaklık tarafı (CO₂) elemanları, Danfoss DIRCalc programı kullanılarak seçilmiştir. Yalnız CO₂ tarafı özel elektronik genleşme valfi Danfoss-Danimarka ofisince seçilmiştir.

6.3. Tesisat aplarının Belirlenmesi

Yüksek ve düşük sıcaklık tarafı çevrimleri için tesisat borusu malzemesi olarak bakır kullanılmıştır.

6.3.1. Düşük Sıcaklık Tarafı (CO₂ Tarafı) Tesisat aplarının Belirlenmesi

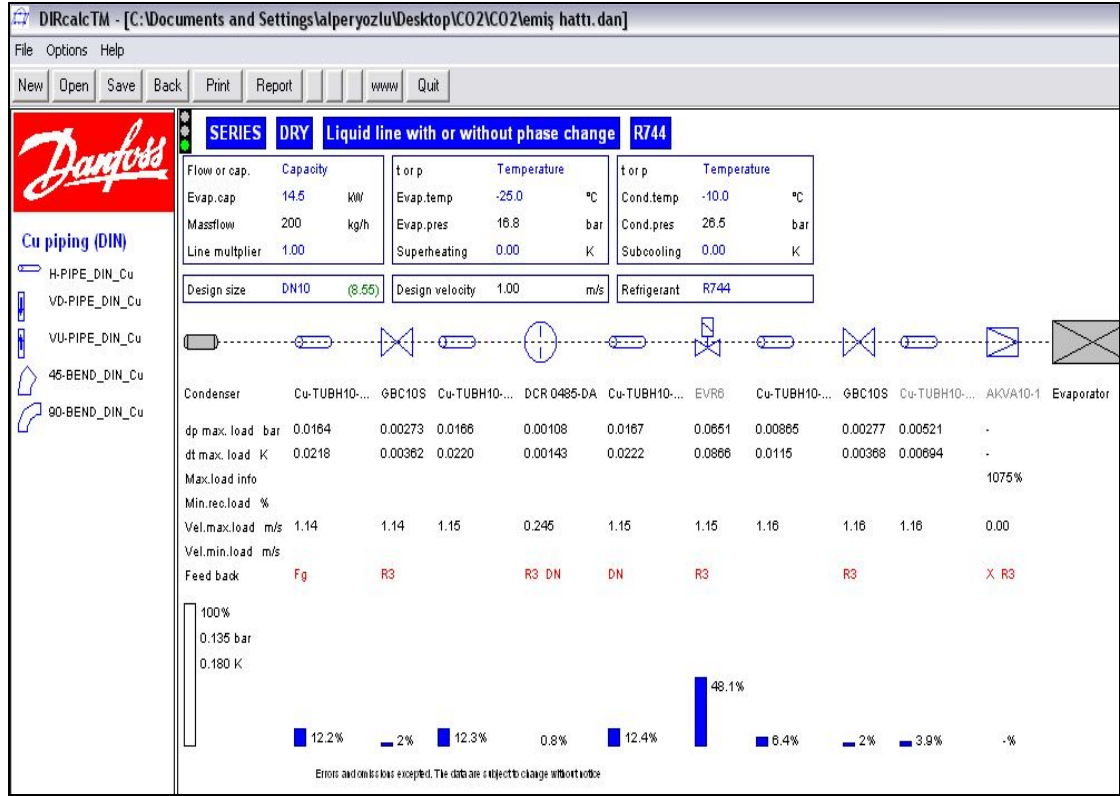
Deney düzeneği tesisat devre boyu kısa olduğundan düşük sıcaklık tarafı (CO₂) tarafı için; seçilen kompresörün emme basma çapı ile aynı alınmıştır. Uzun devre boyu olan gerçek soğutma sistemlerinde mutlaka hesap yapılmalıdır.

Diğer kısımların bakır boru çapı ise Danfoss firmasına ait DIRCalc yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Yazılımın aplandırma yapabilmesi için, evaporasyon sıcaklığı, kapasite, hat üzerinde olması gereken elemanların girilmesi gerekmektedir. Böylece hat üzerinde olması gereken elemanlardan kaynaklanan basınç kaybı ve akışkan hızı da görülebilmektedir.

Likit hattı çapı belirlenirken; yazılıma, hat üzerindeki elemanlar, soğutma kapasitesi, aşırı kızgınlık ve evaporasyon sıcaklığı girilmelidir. Şekil 6.12’de likit hattının DIRCalc programı ile aplandırması gösterilmiştir.

Buna göre emme hattı boru çapı 5/8” (16 mm); basma hattı boru çapı 1/2” (12 mm) ve likit hattı boru çapı 3/8” (9,5 mm)’dir.



Şekil 6.12. Likit Hattı Çaplandırılması DIRCalc TM 1.19 Arayüzü-[19]

6.3.2. Yüksek Sıcaklık Tarafı (R404A Tarafı) Tesisat Çaplarının Belirlenmesi

Yüksek sıcaklık tarafı tesisat çapı belirlenirken; düşük sıcaklık tarafında olduğu gibi deney düzeneği emme ve basma hattı çapları kompresör emme ve basma çapları ile aynı alınmıştır.

Likit hattı bağlantı çapı ise Şekil 6.13'daki Tablo yardımı ile hesaplanmıştır.

Bakır	EMME HATTI / $\Delta T=0,04$ K/m						BASMA HATTI / $\Delta T=0,02$ K/m; $\Delta P=74,90$						SIVI HATLARI (40 °C)		
Boru	Doyma Sıcaklığı, °C						Doyma Sıcaklığı, °C								
Dış	-50	-40	-30	-20	-5	5	-50	-40	-30	-20	-5	5		$\Delta T=2$ K/m	$\Delta T=5$ K/m
Çapı	Karşılık Gelen Basınç Kaybı Pa/m						Karşılık Gelen Basınç Kaybı Pa/m						Hız	Kayıp	Kayıp
(mm)	165,50	240,60	337,20	455,10	679,10	863,20	875,60	875,60	875,60	875,60	875,60	875,60	0,5 m/s	$\Delta P=875,60$	$\Delta P=2189,10$
12,7	0,19	0,32	0,51	0,79	1,41	2,00	2,05	2,22	2,37	2,52	2,74	2,87	4,90	9,50	15,80
15,9	0,36	0,62	0,98	1,52	2,69	3,82	3,90	4,21	4,52	4,81	5,22	5,47	7,90	18,20	29,90
19	0,63	1,07	1,72	2,63	4,67	6,60	6,77	7,30	7,81	8,32	9,03	9,47	12,00	31,50	51,80
22	0,94	1,59	2,55	3,91	6,93	9,79	10,00	10,79	11,56	12,30	13,36	14,01	15,50	46,80	76,70
28	1,86	3,14	5,04	7,72	13,66	19,25	19,68	21,23	22,74	24,21	26,29	27,57	26,00	92,50	151,10
35	3,43	5,78	9,26	14,15	25,00	35,17	35,96	38,78	41,54	44,23	48,03	50,37	41,10	169,30	276,30
42	5,71	9,61	15,36	23,46	41,32	58,16	59,48	64,15	68,72	73,16	79,45	83,32	60,30	280,40	456,20
54	11,37	19,12	30,50	46,57	83,90	114,98	117,62	126,86	135,89	144,67	157,11	164,76	101,40	556,90	903,20
67	20,31	34,10	54,30	82,75	145,45	203,96	208,67	225,07	241,08	256,66	278,73	292,29	157,30	989,80	1601,80
79	31,54	52,78	84,12	128,09	224,52	314,97	321,69	346,97	371,66	395,67	429,70	450,60	219,30	1529,90	2473,40
105	67,66	113,08	179,89	273,26	478,70	670,69	685,09	738,92	791,51	842,65	915,11	959,63	391,50	3264,90	5265,60

Şekil 6.13. R404A Emme, Basma ve Sıvı Hatları için kW Cinsinden Kapasiteler-[20]

- Tablodaki soğutma kapasitesi birimi kilowatt birimindedir.
- ΔT doyma sıcaklığına karşılık gelen değişme, K/m dir.
- ΔP Eşdeğer uzunluk için basınç kaybıdır, Pa / m.

Buna göre; Tablonun kullanılmasında tavsiye edilen, sıvı hattının boyutlandırılmasında ikinci kolonun ($\Delta T = 2$ K/m ve $\Delta P = 875,60$) kullanılması yönündedir. Buna göre Tabloya bakıldığında 15,9 mm çap için alınan kapasite 18,20 kW'dır.

Ancak kondenser ve likit tankı arasındaki hat, emniyetli tarafta kalınmak istendiğinden hatta sıvı-gaz karışımı olabileceği durumlarda göz önüne alınarak ilk kolona (hız=0,5 m/s) göre boyutlandırılmıştır burada; 22 mm çap için kapasite 15,5 kW'dır.

Buna göre, tasarlanan sistemin malzeme listesi Tablo 6.6 ve 6.7 ve tesisat şeması Şekil 6.14’de verildiği gibidir. Sistem ekte verilen tesisat şemasına uygun olarak imal edilmiştir.

6.3.3. Düşük Sıcaklık Tarafı ve Yüksek Sıcaklık Tarafı Malzeme Listesi

Düşük Sıcaklık Tarafı (CO₂ Cevrimi) Malzeme Listesi:

Tablo 6.6. Düşük Sıcaklık Tarafı Malzeme Listesi

Sıra	Komponent	Tedarikçi Firma	Model ismi	Adet	Açıklama
1	Kompresör	BOCK	HGX12P / 60-4 CO ₂ , 50HZ	1	14,5 kW, gücü 1,89kW
2	Evaporatör	FRİTERM	-	1	
3	Küresel Vana 1/4"	TOTEM-DANFOS	GBC6S DANFOSS	7	1/4" -
4	Küresel Vana 3/8"	TOTEM-DANFOS	GBC10S DANFOSS	7	3/8"
5	Küresel Vana 1/2"	TOTEM-DANFOS	GBC12S DANFOSS	2	1/2"
6	Küresel Vana 5/8"	TOTEM-DANFOS	GBC16S DANFOSS	1	5/8"
7	Güvenlik Valfi	TOTEM-DANFOS	SFA 15	1	DN16 (Evaporatör Çıkışı)
8	Güvenlik Valfi	TOTEM-DANFOS	SFA 15	1	DN10 (Likit Tankı)
9	Güvenlik Valfi	TOTEM-DANFOS	SFA 15	1	DN12 (Plakalı Eşanjör Çıkışı)
10	Selonoid Valf	TOTEM-DANFOS	EVRH 6	1	1/4" Likit Tankı
11	Gözetleme Camı	TOTEM-DANFOS	SGH 6	1	1/4" Kompresör Yağ dönüş Hattı
12	Genleşme Valfi	TOTEM-DANFOS	EKC414-1A, AKV 10.7 ile	1	DN10
13	Basınç Kontrol Ünitesi	TOTEM-DANFOS	KP6W DANFOSS	3	Kompresör Düşük Sıcaklık, Kompresör Yüksek Sıcaklık, Likit Tankı
14	Çek Valf	TOTEM-DANFOS	NRV 12	1	Yağ Ayırıcıdan Sonra
15	Kurutucu Filtre	TOTEM-DANFOS	DRC 048 HP	2	3/8" ve 5/8"
16	Manometre	FRİTERM		2	46 bar
17	Vibrasyon Sönümleyici	FRİTERM		1	-
21	Gözetleme Camı	TOTEM-DANFOS	SGH 10	1	DN10
22	Selonoid Valf	TOTEM-DANFOS	EVRH 10	1	DN10 Likit Hattı
23	Akümülatör	GUVEN SOĞUTMA	-	1	DN16-- 46 barda test edilecek
24	Yağ ayırıcı	GUVEN	-	1	D0N12--- 46

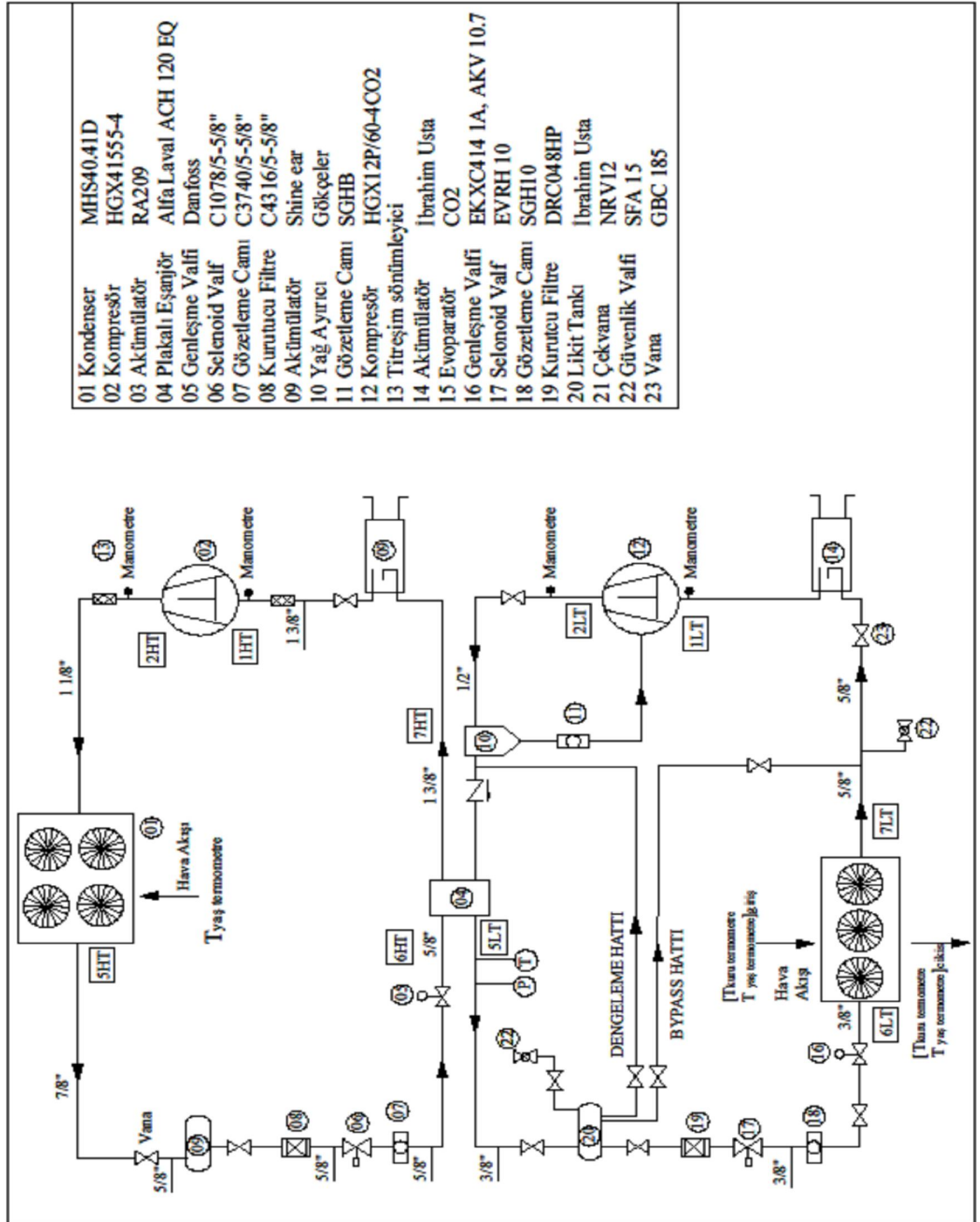
		SOĞUTMA			barda test edilecek
25	Likit Tankı	TEKNİK KOLLEKTOR	9 LİTRE	1	DN10--- 46 barda test edilecek
26	Kompresör Emme Hattı	FRİTERM	-	-	5/8" (15,9 mm) bakır boru
27	Kompresör Basma Hattı	FRİTERM	-	-	1/2" (12.7 mm) bakır boru
28	Likit Hattı (Kondanser-Evaporatör Arası)	FRİTERM	-	-	3/8" (9.5 mm) bakır boru

Yüksek Sıcaklık Tarafı (R404A Çevrimi) Malzeme Listesi:

Tablo 6.7. Yüksek Sıcaklık Tarafı Malzeme Listesi

Sıra	Komponent	Tedarikçi Firma	Model ismi	Adet	Açıklama
1	Kompresör	BOCK	HGX4/555-4, 50HZ	1	21,21 kW, gücü 9,86 kW
2	Basma hattı	FRİTERM	-	1	1 1/8" (28mm) bakır boru
3	Kondenser	FRİTERM	404A Kondenser	1	32 kW

4	Kondenser-Likit tankı hattı	FRİTERM	-	1	7/8" (22mm) bakır boru
5	Likit Tankı	GÜVEN MAKİNA	YGD-09	1	9 litre Yatay tipi gaz deposu
6	Likit Tankı Çıkış Vanası	GÜVEN MAKİNA	Tanka monteli	1	5/8" (16mm) vanası
7	Kurutucu filtre	YÜKSEL TEKNİK	C-4316/5 – 5/8" CASTEL	1	5/8"
8	Gözetleme camı	YÜKSEL TEKNİK	C-3740/5 – 5/8 " CASTEL	1	5/8"
9	Selonoid valf	CASTEL	C-1078/5 - 5/8 " CASTEL	1	5/8"
10	Genleşme Valfi	DANFOS	Danfoss TES 5	1	16,4 kW , 5/8" (40 c kond; -15 c evapo.)
11	Plakalı Eşanjör	FUZYON	ALFALAVAL ACH-120 EQ	1	5/8" - 1 3/8"
12	Likit Tankı – Plakalı Eşanjör hattı	FRİTERM	-	1	5/8" (16mm) bakır boru
13	Kompresör Emiş Hattı	FRİTERM	-	1	1 3/8" (35MM)
14	Akümülatör	YÜKSEL TEKNİK	SHINE YEAR RA209 – 1 3/8"	1	1 3/8"

Şekil 6.14. CO₂-R404A Kaskad Sistem İmalat Resmi

7. ÖLÇÜM, KONTROL YÖNTEMİ VE ELEMANLARI

7.1. Kontrol Sistemi ve Elemanları

Kurulu alçak basınç (subkritik) sistemin elektrik bağlantıları her iki çevirim birbirine bağımlı olarak kontrol edilecek şekilde ayarlanmıştır. Sistem çalışmaya başladığında ilk olarak R404A çevrimi devreye girmekte; 35-40 saniye sonra CO₂ çevrimi devreye girmekte ve sistem ayarlanan set değerlere göre çalışmaktadır.

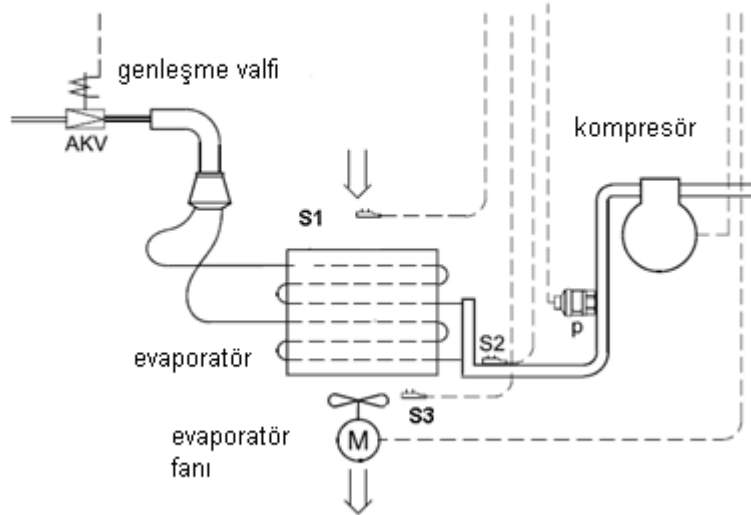
Düşük sıcaklık tarafı CO₂ çevriminde frekans kontrollü bir kompresör; kullanılmıştır. Sistem ihtiyacına göre, frekans 30-70 Hz arasında otomatik olarak ayarlanabilmektedir ve debi kontrol edilebilmektedir. Bu durumda kapasite ihtiyacına göre, çalışma frekansı değiştirilerek enerji verimliliği sağlanmaktadır.

Tez kapsamı içinde verilen tüm ölçüm değerleri 55 Hz. sabit frekans değeri içindir, bu değer sisteme manüel olarak set edilmiştir.

Evaporatör ve kondenser fanları EC fanları sıcaklık ya da basınçtan sinyal olarak kontrol edilebilme özelliğine sahiptir. Test düzeneğinde; evaporasyon ve kondenzasyon basınçları panoya set edilmiştir ve fanların dönme hızları (devir/dakika) bu set değerlere göre otomatik olarak değiştirmektedir.

Düşük sıcaklık tarafı (CO₂) çevriminde; elektronik genişleme valfi kullanılmaktadır. Burada elektronik genişleme valfi AKV 10.7. pano içine yerleştirilen EKC 414A ile kumanda edilmektedir.

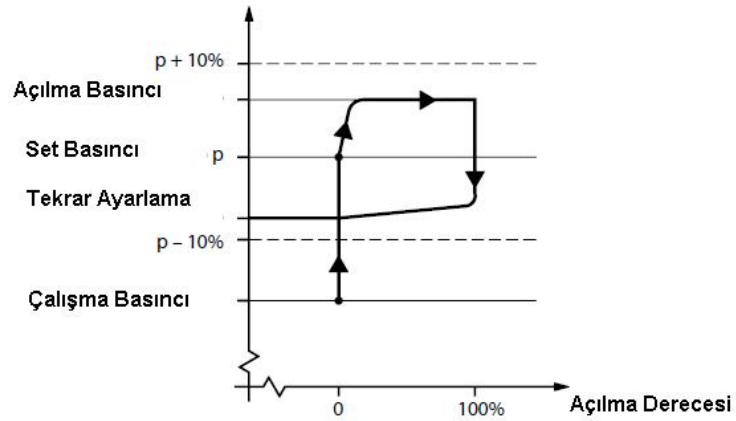
Elektronik genleşme valfi çalışma prensibi Şekil 7.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Buna göre; hava tarafı için evaporatör girişine ve çıkışına ayrıca akışkan tarafı için evaporatör çıkışına S1,S2 ve S3 olarak adlandırılan Pt 100 sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Aynı zamanda kompresör girişine P olarak adlandırılan basınç transmittörü yerleştirilmiştir. Okunan bu değerler, elektronik valf de değerlendirilmekte ve genleşme valfi evaporatör kapasitesini sağlayacak şekilde kendini ayarlamaktadır.



Şekil 7.1. Elektronik Genleşme Valfi Kontrol Prensibi-[21]

Sistemin güvenlik kontrolünün yapılabilmesi için; yüksek sıcaklık ve alçak sıcaklık çevrimlerine; Danfos marka KP15 ve KP6 basınç kontrol ünitesi eklenmiştir. Bunun nedeni; aşırı düşük emme basınçlarında ve aşırı yüksek basma basınçlarında sistemi korumaktır. Buna göre; sistem basınçları set edilen değerlerin altında ya da üzerinde ise sistem durdurulmaktadır.

Bununla birlikte sistemin devre şemasında da gösterildiği gibi, kritik noktalara güvenlik valfi yerleştirilmiştir. Güvenlik valfi aşağıda tavsiye edildiği gibi set edilmiştir, buna göre set basıncı çalışma basıncının en az %15 fazlası olmalıdır. Sistemdeki basınç yükselmeye devam ettiği sürece, set basıncının %10 nu geçmeyecek bir basınç değerinde, güvenlik valfi tam olarak açılacaktır [22].



Şekil 7.2. Güvenlik Valfi Açılma Basıncı ve Açılma Derecesi-[22]

7.2. Ölçüm Yönteminin Belirlenmesi

Eşilik 7.1 ve 7.2'deki bağıntılarda da görülebileceği gibi; kapasite ölçümü yapılabilmesi için; test düzeneği üzerinden soğutucu akışkanların entalpisine ulaşmak gerekmektedir. Bu amaçla, Evaporatör ve kondenser giriş çıkışlarına basınç ve sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Basınç sensörleri seçilirken, sensörlerin ölçüm aralığının çevrimin en yüksek basıncını ölçebiliyor olmasına dikkat edilmiştir. Buna göre, CO₂ tarafına yerleştirilen basınç sensörlerinin ölçüm aralığı 0-160 bar; R404A tarafına yerleştirilen 1-39 bardır.

$$Q_E = \dot{m}_R(h_1 - h_4) \quad (7.1)$$

$$Q_K = \dot{m}_R(h_2 - h_3) \quad (7.2)$$

Sıcaklık ve basınç ölçümü sonucunda entalpi hesaplandıktan sonra kapasitenin hesaplanması için çevrimdeki akışkan debisinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu işlemi yapmak için her iki çevrimin likit hatları üzerine rotometre tipinde iki adet debi ölçer takılmıştır.

Bu işlemler sonucunda sistemin kapasitesi soğutucu akışkanlar tarafından ölçülmüş olacaktır fakat bu şekilde bir ölçüm yeterince kesin bir sonuç vermemektedir bunun nedeni ise kompresörlerin duruş kalkışlı çalışmasıdır.

Bu durumda sonuçları kontrol etmek amacıyla hava tarafından da entalpi farkıyla kapasite hesaplanmalıdır bu amaçla ortamdan CO₂ çevriminin evaporatörüne giren havanın giriş koşullarını ölçmek amacıyla bir adet RTD tipi PT100 sıcaklık ölçer ve nem sensörü, evaporatörden çıkan havanın çıkış koşullarını ölçmek için üç adet RTD tipi sıcaklık ölçer ve hem sıcaklık hem de nem ölçebilen sensörler yerleştirilmiştir. Çıkış için 3 adet sıcaklık ölçer kullanılmasının amacı 3 adet fan kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Çıkan havanın debisi; aşağıda belirtildiği şekilde ölçülecektir. Evaporatör üzerinde çeşitli noktalarda anemometre yardımı ile hava hızı ölçülecektir. Hava hızı bulunduktan sonra eşitlik 7.3 kullanılarak hava debisi bulunacaktır.

$$Q = V \times A \quad (7.3)$$

Q = Hava debisi (m³/h)

V = Ortalama Hava Hızı (m/s)

A = Havanın geçtiği kesit alanı (evaporatör yüzeyi) m

Test sisteminden veri alma işleminin yapılabilmesi için; sisteme ait sensörlerin bağlı bulunduğu veri kartları, veri toplayıcı ilgili kanallarına takılmakta, RS232 kablo yardımı ile iletişim kurulmaktadır.

Kaskad sistemde bulunan akım çıkışlı cihazlar için veri toplayıcı üzerinde yeterli sayıda akım sinyali alan kanal bulunmaması nedeniyle; akım sinyalini voltaj sinyaline çeviren devre kurulmuştur.

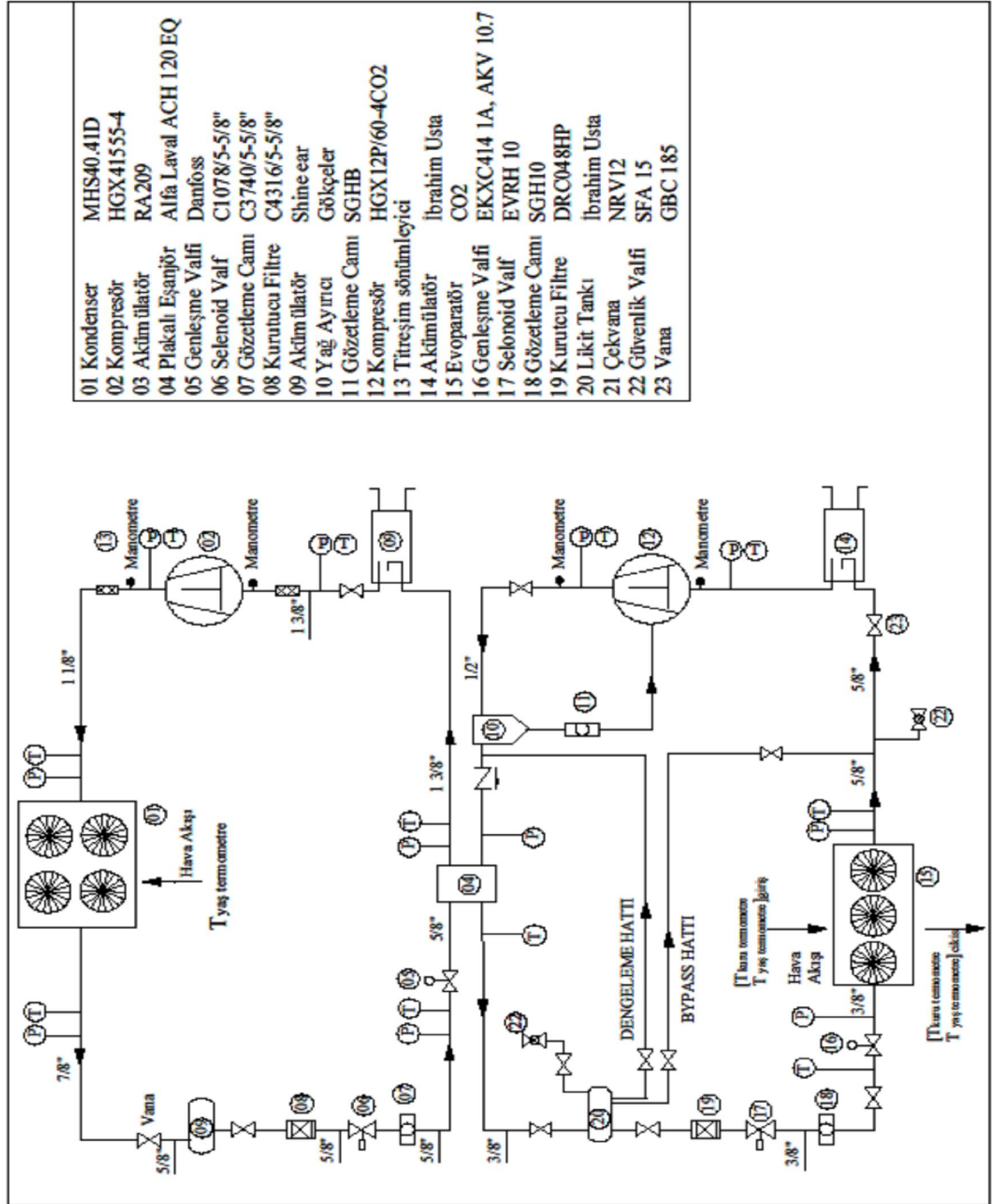
Buna göre; basınç ve sıcaklık sensörlerinin listesi ve yerleşim şeması Tablo 7.1 ve Şekil 7.3’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Kaskad Sistem Sensör Listesi

Sensör Adı	Sensör Tipi	Kanal Numarası	Montaj Yeri	Ölçüm Aralığı
P1	Basınç sensörü	101	CO ₂ kompresör çıkış-plakalı ısı değiştirici giriş.	0-160 bar
P2	Basınç sensörü	102	Plakalı ısı değiştirici girişi.	0-160 bar
P3	Basınç sensörü	103	CO ₂ evaporatör giriş.	0-160 bar
P4	Basınç sensörü	104	CO ₂ evaporatör çıkış.	0-160 bar
P5	Basınç sensörü	105	CO ₂ kompresör giriş.	0-160 bar
P6	Basınç sensörü	106	R404A kompresör çıkış-kondenser giriş.	0-40 bar
P7	Basınç sensörü	107	R404A kondenser çıkış.	0-40 bar
P8	Basınç sensörü	108	R404A plakalı ısı değiştirici giriş.	0-40 bar

P9	Basınç sensörü	109	R404A plakalı ısı değiştirici çıkış.	0-40 bar
P10	Basınç sensörü	110	R404A kompresör giriş.	0-40 bar
T1	Termokupl	201	CO ₂ kompresör çıkış.	-200 °C-300 °C
T2	Termokupl	202	CO ₂ Plakalı ısı değiştirici çıkış.	-200 °C-300 °C
T3	Termokupl	203	CO ₂ evaporatör giriş.	-200 °C-300 °C
T4	Termokupl	204	CO ₂ evaporatör çıkış.	-200 °C-300 °C
T5	Termokupl	205	CO ₂ kompresör giriş.	-200 °C-300 °C
T6	Termokupl	206	R404A kompresör çıkış-kondenser giriş.	-200 °C-300 °C
T7	Termokupl	207	R404A Kondanser Çıkışı.	-200 °C-300 °C
T8	Termokupl	208	R404A evaporatör giriş.	-200 °C-300 °C
T9	Termokupl	209	R404A evaporatör çıkış.	-200 °C-300 °C
T10	Termokupl	209	R404A kompresör giriş.	-200 °C-300 °C
m _{CO2}	Debimetre	121	CO ₂ kütleli debisi.	0-400 kg/s
m _{R404A}	Debimetre	122	R404A kütleli debisi	0-1600 kg/s
T _{sag}	PT100	111	Hava çıkış kanalı sağ taraf	-200 °C-650 °C
T _{orta}	PT100	112	Hava çıkış kanalı orta taraf	-200 °C-650 °C
T _{sol}	PT100	113	Hava çıkış kanalı sol taraf	-200 °C-650 °C
T _{gir}	PT100	114	Hava giriş tarafı	-200 °C-650 °C
nem _{gir}	Nem sensörü	117	Hava giriş tarafı	0-%100
nem _{cik}	Nem sensörü	118	Hava çıkış tarafı	0-%100
T _{gir}	PT100	119	Hava giriş tarafı	-30 °C-60 °C
T _{gir}	PT100	120	Hava çıkış tarafı	-30 °C-60 °C

Alt indis olarak yazılan sayısal değerler; sıcaklık ve basınç sensörünün sırasını göstermektedir, bu sıralama Cool Pack'te verilen sıralama ile aynı değildir.



Şekil 7.3. Kaskad Sistem Sensör Yerleşimi



Şekil 7.4. Kaskad Sistem Deney Düzeneği Genel Görünümü (Kondenser Tarafı)



Şekil 7.5. Kaskad Sistem Deney Düzeneği Genel Görünümü (Evaporatör Tarafı)



Şekil 7.6. Kaskad Sistem Deney Düzeneği Veri Alma Düzeneği Genel Görünümü

8. SİSTEMİN DEVREYE ALINMASI

Sisteme CO₂ şarj edilmeden önce; kaskad sisteme kaçak testi yapılmıştır. Bu amaçla sisteme kuru hava beslenerek 30 bar basınç altında 48 saat bekletilmiştir. Daha sonra sistem 12 saat vakuma alınmıştır.

5.2 bar basınç değerinin altındaki bir basınçta; sıvı haldeki CO₂ direk sisteme yüklenirse; kuru buz oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle sisteme ilk olarak gaz CO₂ yüklenerek, sistem basıncı 6 barın üzerine getirilmelidir.

Bu nedenle; CO₂ tüpünden gaz beslemesi; tüp dik pozisyonda tutularak yapılmış ve sistem basıncı 6 barın üzerine getirilmiştir. Daha sonra, tüp yatık pozisyona getirilerek sıvı CO₂ yüklenmiştir. Gaz beslemesi sisteme likit tankından yapılmıştır ve manometrede 22 bar basınç görülene kadar besleme devam etmiştir.

9. VERİ ALINMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 7.3’de yerleşim şeması verilen sensörlerden alınan anlık değerler Tablo 9.1, 9.2, 9.3, 9.4 ve 9.5’deki gibidir.

Tablo 9.1. CO₂ (R744) Tarafından Okunan Sıcaklık Değerler

28.12.2009	CO ₂ TARAFI SICAKLIK DEĞERLERİ				
	°C	°C	°C	°C	°C
Sıra	T1	T2	T3	T4	T5
1	20.389	5.412	24.144	19.119	18.574
2	21.869	4.561	22.479	19.274	18.602
3	22.801	3.061	21.122	19.582	18.660
4	23.579	-6.023	20.153	19.931	18.786
5	24.327	-12.398	19.345	20.257	18.933
6	25.062	-15.845	18.532	20.506	19.053
7	25.836	-17.979	17.522	20.872	19.321
8	26.538	-19.510	16.476	21.006	19.475
9	27.183	-20.575	15.083	21.137	19.666
10	27.813	-21.347	13.989	21.171	19.789
11	28.385	-22.355	12.862	21.201	19.989
12	28.884	-22.778	11.628	21.167	20.072
13	29.288	-23.534	10.840	21.317	20.283
14	29.780	-24.009	9.907	21.342	20.429
15	30.174	-24.465	9.306	21.305	20.539
16	30.609	-24.567	8.395	21.237	20.596
17	30.986	-25.184	7.719	21.171	20.588
18	31.264	-25.488	7.001	21.199	20.655
19	31.501	-25.824	6.712	21.224	20.668
20	31.712	-26.121	6.411	21.287	20.793
21	31.938	-26.323	5.823	21.311	20.806
22	32.168	-26.408	5.275	21.313	20.872
23	32.120	-26.510	5.076	21.373	21.049
24	32.388	-26.592	4.508	21.326	21.093
25	32.565	-26.922	4.394	21.229	21.100
26	32.555	-27.036	4.487	21.212	21.088
27	32.760	-27.234	3.986	21.211	21.118
28	32.965	-27.460	3.272	21.172	21.139
29	33.105	-27.439	3.155	21.095	21.190

Tablo 9.2. (R404A) Tarafından Okunan Sıcaklık Değerleri

28.12.2009	R404A TARAFI SICAKLIK DEĞERLERİ				
	°C	°C	°C	°C	°C
Sıra	T6	T7	T8	T9	T10
1	24.298	21.662	0.395	12.310	15.819
2	29.529	23.701	-3.012	10.041	14.554
3	33.912	25.108	-5.661	8.974	13.911
4	37.176	25.970	-6.502	8.219	13.513
5	39.734	26.607	-7.080	7.618	13.415
6	41.948	27.032	-8.557	7.268	13.189
7	44.001	27.296	-9.782	6.635	12.989
8	45.067	27.473	-11.984	5.952	12.704
9	46.685	27.578	-12.962	4.860	12.276
10	47.317	27.469	-13.677	3.468	11.731
11	48.458	27.352	-13.634	1.621	11.155
12	48.814	27.157	-14.837	-0.679	10.393
13	49.824	27.008	-15.540	-2.654	9.639
14	50.090	26.865	-16.284	-4.748	8.941
15	49.944	26.711	-17.299	-7.201	8.239
16	50.601	26.592	-18.132	-9.270	7.601
17	50.749	26.423	-18.689	-11.484	6.890
18	50.892	26.294	-19.230	-13.372	6.093
19	50.892	26.206	-19.581	-14.282	5.409
20	51.114	26.051	-19.708	-15.471	4.851
21	51.115	25.942	-19.986	-16.718	4.465
22	51.700	25.842	-19.809	-16.927	3.605
23	52.123	25.751	-20.300	-16.892	3.080
24	52.462	25.688	-20.415	-17.459	2.467
25	52.184	25.543	-20.932	-17.696	1.924
26	52.015	25.445	-21.085	-17.794	1.622
27	52.545	25.368	-21.526	-18.570	0.855
28	52.407	25.269	-21.779	-18.494	0.428
29	52.094	25.253	-21.901	-18.503	0.135

Tablo 9.3. CO₂ (R744) Tarafından Okunan Basınç Değerleri

28.12.2009	CO ₂ TARAFI OKUNAN BASINÇ DEĞERLERİ				
	bar	bar	bar	bar	bar
Sıra	P1	P2	P3	P4	P5
1	21.592	18.875	19.030	18.131	17.898
2	19.715	16.656	17.131	16.815	16.635
3	18.624	15.316	15.925	15.658	15.521
4	17.837	14.398	15.098	14.714	14.612
5	17.098	13.607	14.382	13.929	13.867
6	16.580	12.959	13.813	13.309	13.270
7	16.144	12.413	13.315	12.786	12.768
8	15.754	11.984	12.922	12.378	12.381
9	15.405	11.622	12.604	12.036	12.048
10	15.129	11.301	12.317	11.737	11.766
11	14.970	11.033	12.067	11.512	11.536
12	14.717	10.788	11.833	11.303	11.337
13	14.532	10.589	11.651	11.118	11.169
14	14.360	10.397	11.472	10.975	11.022
15	14.252	10.246	11.331	10.840	10.902
16	14.162	10.098	11.192	10.728	10.799
17	14.061	9.962	11.056	10.628	10.702
18	13.875	9.814	10.922	10.537	10.608
19	13.795	9.699	10.816	10.450	10.534
20	13.695	9.574	10.688	10.373	10.455
21	13.590	9.465	10.578	10.292	10.379
22	13.529	9.361	10.476	10.211	10.307
23	13.447	9.268	10.384	10.139	10.238
24	13.384	9.176	10.299	10.080	10.186
25	13.291	9.097	10.220	10.021	10.126
26	13.261	9.040	10.155	9.972	10.081
27	13.168	8.968	10.080	9.916	10.035
28	13.092	8.909	10.019	9.878	9.988
29	13.093	8.844	9.958	9.831	9.951

Tablo 9.4. R404 A Tarafından Okunan Basınç Değerleri

28.12.2009	R404 A TARAFI OKUNAN BASINÇ DEĞERLERİ				
	bar	bar	bar	bar	bar
Sıra	P6	P7	P8	P9	P10
1	14.637	14.590	13.934	2.729	2.524
2	14.897	14.848	14.199	2.516	2.340
3	14.854	14.808	14.141	2.401	2.238
4	14.813	14.777	14.149	2.330	2.174
5	14.803	14.771	14.084	2.285	2.135
6	14.728	14.692	14.022	2.230	2.086
7	14.676	14.646	14.004	2.178	2.027
8	14.584	14.554	13.888	2.131	1.977
9	14.427	14.398	13.772	2.086	1.933
10	14.288	14.257	13.638	2.049	1.888
11	14.136	14.112	13.450	2.019	1.850
12	14.032	14.000	13.358	1.987	1.822
13	13.947	13.919	13.245	1.965	1.801
14	13.861	13.837	13.176	1.943	1.782
15	13.811	13.787	13.185	1.924	1.765
16	13.706	13.687	13.033	1.901	1.748
17	13.638	13.621	12.925	1.884	1.729
18	13.606	13.589	12.970	1.863	1.718
19	13.561	13.540	12.936	1.848	1.705
20	13.504	13.486	12.804	1.831	1.691
21	13.486	13.471	12.829	1.816	1.680
22	13.395	13.379	12.707	1.802	1.668
23	13.371	13.353	12.708	1.790	1.659
24	13.325	13.310	12.733	1.779	1.648
25	13.263	13.251	12.590	1.768	1.637
26	13.231	13.219	12.602	1.759	1.629
27	13.171	13.162	12.542	1.750	1.619
28	13.150	13.141	12.490	1.742	1.612
29	13.145	13.137	12.542	1.731	1.604

Tablo 9.5. CO₂ ve R404A Kütlesel Debisi ve Hava tarafından okunan Sıcaklık, Nem Değerleri

kg/s	kg/s	°C	°C	°C	°C	%	%	°C	°C
mCO ₂	m404A	Tsag	Torta	Tsol	Tgir	nemgir	nemçık	Tgir	Tçık
0.081	0.189	21.926	21.863	21.535	21.795	59.778	62.794	19.709	19.402
0.075	0.196	22.166	22.228	21.732	22.280	58.897	62.347	19.939	19.651
0.074	0.196	22.460	22.695	21.990	22.798	57.833	61.817	20.238	19.920
0.075	0.206	22.788	23.202	22.224	23.305	56.840	61.416	20.595	20.126
0.076	0.209	23.023	23.663	22.403	23.692	56.031	61.611	20.922	20.338
0.075	0.195	23.222	23.986	22.541	23.859	55.469	60.256	21.098	20.467
0.075	0.188	23.388	24.106	22.621	23.939	55.273	59.907	21.278	20.675
0.075	0.190	23.523	24.216	22.663	24.141	54.731	59.722	21.560	20.827
0.075	0.195	23.618	24.355	22.697	24.369	54.779	59.614	21.792	21.003
0.075	0.190	23.658	24.465	22.754	24.542	54.328	59.368	22.002	21.130
0.074	0.186	23.679	24.546	22.794	24.621	54.222	59.187	22.131	21.208
0.074	0.192	23.645	24.620	22.822	24.642	54.058	58.597	22.236	21.253
0.074	0.191	23.572	24.508	22.888	24.536	54.339	58.779	22.258	21.317
0.074	0.187	23.519	24.376	22.898	24.492	54.565	58.905	22.363	21.415
0.074	0.167	23.503	24.337	22.859	24.394	54.647	58.797	22.423	21.442
0.073	0.187	23.457	24.275	22.834	24.297	54.420	58.760	22.480	21.490
0.073	0.187	23.437	24.261	22.783	24.202	54.243	58.787	22.571	21.559
0.073	0.176	23.430	24.289	22.730	24.100	54.292	58.739	22.629	21.620
0.072	0.175	23.427	24.327	22.690	24.084	54.239	58.754	22.699	21.653
0.072	0.183	23.433	24.353	22.663	24.025	54.448	58.680	22.703	21.689
0.072	0.180	23.446	24.357	22.636	23.898	54.281	58.600	22.690	21.693
0.071	0.176	23.425	24.347	22.620	23.793	54.016	58.214	22.677	21.643
0.071	0.176	23.412	24.266	22.586	23.761	54.307	58.551	22.682	21.666
0.071	0.166	23.378	24.205	22.582	23.821	54.510	58.659	22.687	21.665
0.071	0.164	23.368	24.168	22.585	23.785	54.272	58.488	22.677	21.675
0.071	0.175	23.361	24.165	22.563	23.714	54.533	58.588	22.669	21.678
0.070	0.174	23.339	24.180	22.522	23.782	54.271	58.415	22.682	21.680
0.070	0.179	23.315	24.176	22.483	23.820	54.549	58.594	22.689	21.657
0.070	0.164	23.280	24.160	22.439	23.708	54.476	58.614	22.644	21.645

Okunan bu değerlere göre Log (P)h diyagramı çizilerek yorum yapılmıştır.

Log(P)h diyagramı çizilirken en son okunan değerler kullanılmıştır.

Hat üzerindeki çek valf devre dışı bırakılıp, yeni bir okuma yapılmıştır. Alınan okuma değerleri Tablo 9.6, Tablo 9.7, Tablo 9.8, Tablo 9.9 gösterilmiştir. Alınan bu okuma değerlerine göre çizilen $\log(P)$ -h diyagramı Şekil 9.2'deki gibidir.

Tablo 9.6. CO₂ (R744) Tarafından Okunan Sıcaklık Değerler

20.01.2010	CO ₂ TARAFI SICAKLIK DEĞERLERİ				
	°C	°C	°C	°C	°C
Sıra	T1	T2	T3	T4	T5
1	12.465	11.780	20.653	14.478	13.274
2	12.602	11.805	20.607	14.737	13.387
3	12.505	11.919	20.694	14.583	13.177
4	12.488	10.379	20.680	14.561	13.088
5	12.405	6.915	20.707	14.729	13.027
6	12.608	4.268	19.359	15.175	13.038
7	13.589	2.330	17.456	15.772	13.398
8	14.768	0.625	15.783	16.247	13.850
9	15.873	-0.871	14.087	16.614	14.265
10	16.756	-2.311	12.471	16.818	14.597
11	17.599	-3.495	10.625	17.054	14.941
12	18.286	-4.137	7.267	17.066	15.164
13	18.940	-5.024	-3.541	17.093	15.344
14	19.598	-5.925	-13.339	17.192	15.561
15	20.222	-6.448	-17.029	17.280	15.779
16	20.844	-7.147	-18.973	17.413	16.034
17	21.307	-7.688	-20.289	17.506	16.194
18	21.596	-7.911	-21.873	17.565	16.298
19	21.812	-8.378	-22.930	17.565	16.436
20	22.060	-7.808	-23.494	17.717	16.631
21	22.301	-8.265	-24.108	17.724	16.728
22	22.328	-9.535	-23.790	17.822	17.168
23	22.575	-10.062	-24.574	17.850	17.198
24	22.728	-9.696	-25.121	18.012	17.458
25	23.050	-9.057	-24.820	17.984	17.538
26	23.243	-9.128	-24.975	17.909	17.647
27	23.434	-9.542	-24.367	17.798	17.610
28	23.530	-10.149	-24.588	17.762	17.645
29	23.727	-10.385	-25.198	17.666	17.608
30	23.856	-10.760	-25.137	17.679	17.605
31	24.029	-10.877	-25.206	17.694	17.624
32	23.937	-11.077	-25.104	17.672	17.650
33	24.012	-11.262	-25.083	17.715	17.661
34	24.234	-11.687	-25.498	17.732	17.641
35	24.346	-11.449	-24.969	17.775	17.715
36	24.484	-11.340	-24.981	17.834	17.801
37	24.579	-11.306	-24.865	17.882	17.892
38	24.640	-11.134	-24.947	17.830	17.990
39	24.764	-10.707	-24.927	17.754	17.932
40	24.904	-11.664	-25.644	17.798	17.879

Tablo 9.7. R-404A Tarafından Okunan Sıcaklık Değerler

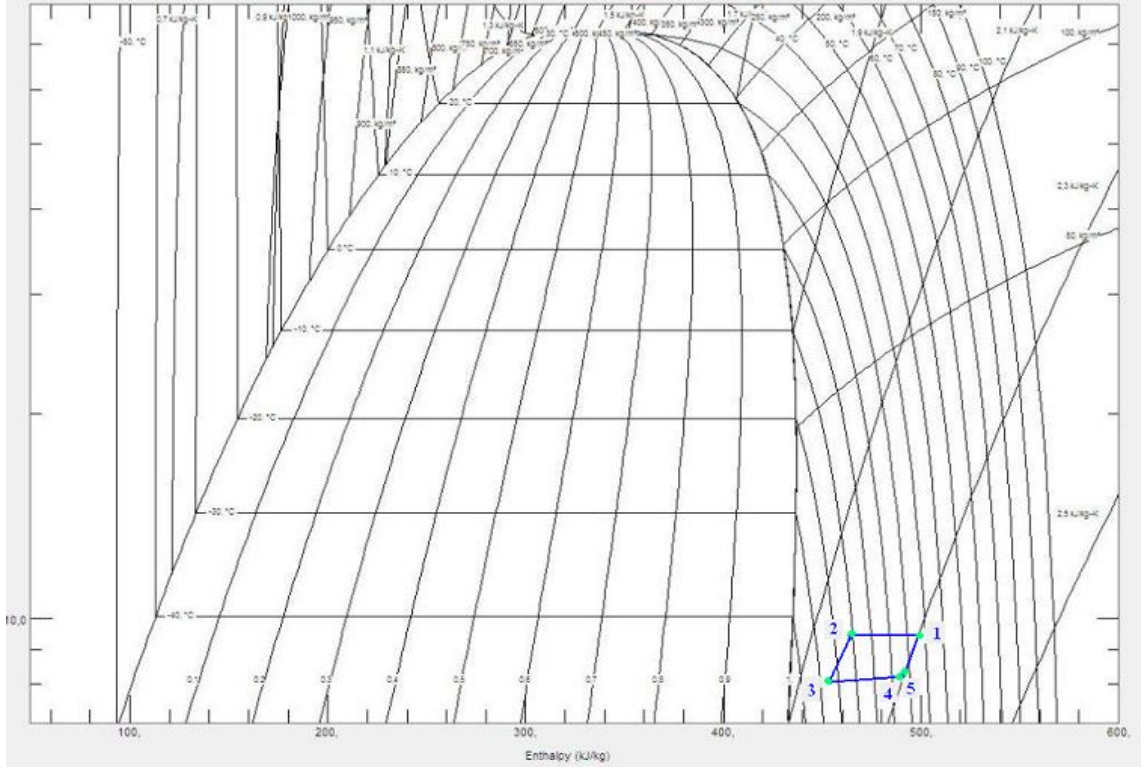
20.01.2010	R404-A TARAFI SICAKLIK DEĞERLERİ				
	°C	°C	°C	°C	°C
Sıra	T6	T7	T8	T9	T10
1	13.651	12.840	11.135	13.653	12.838
2	16.295	16.459	8.866	11.402	11.378
3	21.044	19.182	4.213	9.231	10.342
4	25.660	21.062	0.453	8.050	9.960
5	29.546	22.313	-2.762	7.316	10.038
6	33.143	23.271	-5.485	6.754	10.019
7	35.963	23.918	-7.466	6.352	9.931
8	38.264	24.330	-9.106	6.080	9.994
9	40.222	24.667	-10.361	5.886	10.020
10	41.760	24.823	-10.963	5.611	9.923
11	43.056	24.831	-10.904	5.316	9.940
12	43.761	24.735	-11.734	5.080	9.783
13	44.686	24.618	-11.839	4.696	9.727
14	45.176	24.420	-12.863	4.299	9.562
15	45.607	24.284	-14.061	3.732	9.263
16	45.995	24.142	-14.600	2.965	9.077
17	46.237	23.989	-14.225	2.081	8.741
18	46.581	23.838	-14.184	1.189	8.230
19	47.351	23.707	-13.900	0.245	7.754
20	48.065	23.579	-15.181	-0.954	7.222
21	47.977	23.378	-16.105	-2.217	6.655
22	48.410	23.234	-16.260	-2.361	5.614
23	48.601	22.995	-16.657	-4.068	5.276
24	48.401	22.968	-16.249	-5.111	4.761
25	48.819	22.933	-16.969	-6.110	4.240
26	49.169	22.863	-17.118	-7.136	3.717
27	48.930	22.813	-18.266	-8.570	3.115
28	48.613	22.814	-18.762	-10.094	2.514
29	49.025	22.783	-19.492	-11.264	1.846
30	49.413	22.750	-20.005	-12.612	1.275
31	49.747	22.635	-20.400	-13.288	0.820
32	49.665	22.605	-19.851	-13.440	0.537
33	49.456	22.550	-20.484	-13.562	0.195
34	49.856	22.591	-21.006	-13.902	-0.239
35	50.055	22.607	-21.085	-13.980	-0.570
36	50.218	22.590	-20.860	-14.173	-0.960
37	49.925	22.540	-21.306	-14.460	-1.312
38	49.530	22.507	-21.298	-14.450	-1.393
39	49.604	22.444	-21.696	-14.697	-1.608
40	50.505	22.147	-21.927	-14.330	-1.849

Tablo 9.8. CO₂ (R744) Tarafından Okunan Basınç Değerleri

20.01.2010	CO ₂ TARAFI OKUNAN BASINÇ DEĞERLERİ				
	bar	bar	bar	bar	bar
Sıra	P1	P2	P3	P4	P5
1	26.331	27.334	26.037	28.062	27.452
2	25.481	26.248	25.064	27.168	26.534
3	23.372	23.705	22.805	24.969	24.394
4	21.745	21.821	21.109	23.335	22.807
5	20.818	20.753	19.767	21.204	20.661
6	20.327	19.943	18.911	19.028	18.571
7	19.160	18.601	17.694	17.578	17.184
8	17.904	17.210	16.472	16.380	16.031
9	16.839	15.972	15.374	15.379	15.051
10	16.214	15.098	14.595	14.542	14.255
11	15.431	14.280	13.900	13.849	13.585
12	14.936	13.764	13.413	13.342	13.107
13	14.835	13.516	13.169	12.983	12.769
14	14.582	13.312	12.958	12.649	12.444
15	14.353	13.075	12.738	12.545	12.355
16	14.135	12.810	12.478	12.577	12.371
17	13.920	12.545	12.238	12.515	12.306
18	13.811	12.295	11.971	12.359	12.159
19	13.631	12.107	11.755	12.221	12.036
20	13.463	11.977	11.602	12.140	11.961
21	13.479	11.896	11.483	12.085	11.907
22	13.317	11.831	11.376	12.070	11.894
23	13.252	11.729	11.254	12.039	11.873
24	13.226	11.672	11.136	12.014	11.826
25	13.163	11.601	11.072	11.942	11.784
26	13.121	11.545	10.978	11.905	11.749
27	13.080	11.486	10.900	11.851	11.714
28	13.034	11.438	10.834	11.870	11.692
29	12.980	11.404	10.780	11.843	11.663
30	12.998	11.356	10.726	11.832	11.658
31	12.920	11.314	10.623	11.808	11.635
32	12.961	11.257	10.554	11.776	11.605
33	12.845	11.209	10.490	11.727	11.563
34	12.838	11.176	10.416	11.715	11.548
35	12.855	11.141	10.360	11.696	11.525
36	12.781	11.120	10.335	11.677	11.515
37	12.740	11.087	10.294	11.672	11.516
38	12.825	11.066	10.221	11.641	11.487
39	12.662	11.037	8.578	11.909	11.804
40	12.793	11.175	9.047	12.364	12.228

Tablo 9.9. R404A Tarafından Okunan Basınç Değerleri

20.01.2010	R 404 A TARAFI OKUNAN BASINÇ DEĞERLERİ				
	bar	bar	bar	bar	bar
Sıra	P6	P7	P8	P9	P10
1	12.118	11.675	10.906	5.546	5.145
2	13.461	13.379	12.844	2.873	2.698
3	13.854	13.790	13.107	2.605	2.454
4	14.062	13.998	13.240	2.519	2.375
5	14.152	14.101	13.528	2.476	2.331
6	14.203	14.151	13.509	2.424	2.283
7	14.165	14.119	13.498	2.353	2.219
8	14.085	14.044	13.346	2.293	2.163
9	14.009	13.962	13.329	2.236	2.109
10	13.871	13.837	13.152	2.170	2.048
11	13.763	13.726	13.104	2.145	2.025
12	13.660	13.626	12.988	2.104	1.988
13	13.548	13.514	12.873	2.053	1.940
14	13.448	13.416	12.756	2.004	1.894
15	13.353	13.318	12.677	1.964	1.858
16	13.236	13.207	12.564	1.938	1.832
17	13.167	13.137	12.503	1.914	1.810
18	13.064	13.037	12.406	1.897	1.794
19	13.029	13.000	12.394	1.881	1.780
20	12.946	12.918	12.322	1.870	1.766
21	12.897	12.867	12.193	1.856	1.748
22	12.724	12.702	12.082	1.842	1.732
23	12.676	12.658	12.041	1.826	1.719
24	12.738	12.721	12.105	1.822	1.711
25	12.689	12.667	12.034	1.818	1.706
26	12.655	12.638	12.015	1.814	1.699
27	12.667	12.650	12.029	1.810	1.693
28	12.667	12.650	12.034	1.805	1.690
29	12.618	12.601	12.012	1.800	1.684
30	12.561	12.541	11.874	1.789	1.677
31	12.528	12.513	11.870	1.781	1.671
32	12.547	12.534	11.865	1.776	1.666
33	12.558	12.546	11.869	1.772	1.663
34	12.552	12.539	11.920	1.767	1.660
35	12.504	12.493	11.863	1.765	1.656
36	12.484	12.472	11.827	1.761	1.650
37	12.493	12.481	11.858	1.757	1.647
38	12.502	12.490	11.881	1.756	1.646
39	12.074	12.081	1.757	1.823	1.785
40	11.807	11.840	1.776	1.833	1.796



Şekil 9.2. R744(CO₂) log(PH) diyagramı

Şekil 9.2 de görüleceği gibi, sistemdeki çek valfin devre dışı bırakılması ile 2 noktasındaki ani basınç düşümü gözlenmemiştir.

Fakat hala çevrimin çalışması gereken bölgede çalışmadığı gözlenmiştir. Çözüm olarak sistemdeki basınçların arttırılarak deneme yapılması öngörülmüş fakat sistemdeki bazı komponentlerin basınç dayanımı yetersizliği ile daha yüksek basınçlarda deneme yapılamamıştır. Çevrim beklendiği bölgede çalışmadığından, kapasite hesapları yapılmamıştır.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Her ne kadar, yapılan ölçmeler sonucunda beklenen değerlere ulaşılammışsa da, çalışmanın başında hedeflendiği gibi, özgün bir CO₂ Kaskad Sistemi tasarlanmış, imal edilmiş, ölçüm ekipmanları çalışır şekilde sistem üzerine monte edilmiştir.

Tez çalışmasından bağımsız olarak, çalışmalar devam edilecek sistemdeki problem giderilecektir.

Çalışan kaskad sistem düzeneği üzerinde aşağıdaki ve benzeri çalışmalar yapmak mümkün olabilecektir.

Seçilen tüm sistem elemanları, çeşitli şartlar; kapasiteler ve çeşitli çalışma değerleri için uygun seçildiğinden; kaskad sistem değişik çalışma koşulları ve değişik çalışma noktalarında test edilebilecektir.

Yine aynı Şekilde R404A gazı yerine başka gazlar kullanılarak çeşitli denemeler yapılabilecektir.

Tasarlanan CO₂ evaporatörü üzerinde boru ya da kanat malzemesinde çeşitli değişiklikler yapılarak, yapılan değişikliklerin kapasite üzerindeki etkileri incelenebilecektir.

Yine aynı şekilde; evaporatör tasarımı üzerinde; devre sayısı, sıra sayısı, lamel aralığı vb değişiklikler yapılarak kapasite, basınç kaybı gibi parametreler ile olan ilişkileri deneysel olarak incelenebilecektir.

Çevre problemlerinin giderek arttığı ve enerji verimliliğın oldukça önem kazandığı günümüzde, mutlaka benzeri çalışmalara devam edilmeli ve hem

verimliliği yüksek hem evre dostu sistemler ve ekipmanlar geliřtirilmeye devam edilmelidir.

CO₂'in, hem üstün termodinamik özelikleri ile hem evre dostu olması sebebi ile soğutma teknolojilerinde tekrar kullanımı yaygınlaşacaktır. Eski zamanlarda kontrol edilemeyen yüksek basınç problemi gelişen teknoloji sayesinde kolayca kontrol altına alınabilmektedir. CO₂'in soğutucu akışkan olarak kullanılmaması için bir neden gözükmemektedir.

KAYNAKLAR

1. Kemal omaklı; Fadime imşek, Ömer Özyurt, Kadir Bakırcı, Soğutma/Isıtma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Alternatifler; Mühendis ve Makine Cilt:47, Sayı 562, Kasım 2006
2. Dr. Michael Bellstedt, PH. D. ENG. Mieaust, Mairah, Msairac, Dr. Frank Elefsen P. H. D. ENG. MAIRAH ASS. MEMBER IIR; Stefan S. Jensen, B. SC. ENG. Mie Aust, Mairah; Application of CO₂ (R44) Refrigeration in Industrial Cold Storage Refrigeration Plant - The Official Journal of AIRAH June 2002.
3. Samer Sawalha, Carbon Dioxide in Supermarket Refrigeration, Doctoral Thesis 2008.
4. Hüseyin Bulgurcu, Okan Kon, Nadir İlten, Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri ile ilgili Yeni Yasal Düzenlemeler ve Hedefler.
5. Campell, A. , Maidment, G.G. and Missenden J.F. ; Natural Refrigeration System for Supermarkets using CO₂ as a Refrigerant, Cibse National Conference 21-22 March 2006
6. Danfos 2002, CO₂ Phase Changes Danfoss
7. Thermo-physical Properties of Refrigerants; Ashrae 1976
8. Kersti Ahlberg, Aga Gas Handbook, 1985
9. Danfos, Components for CO₂ Applications in Industrial Refrigeration March 2005
10. Danfos, CO₂ Refrigerant for Industrial Refrigeration, Produced by Danfoss RC-IS. 2004.mwa
11. Amir Fartaj, David S. - K. Ting, Wendy W. Yang; Second Law Analysis of the Transcritical CO₂ Refrigeration Cycle, 14 October 2003
12. BOCK, Kompresör Kataloğu, 2009

13. Cool Pack Yazılımı, 1999-2001 Department of Mechanical Engineering
Technical Universty of Denmark
14. Yaman Karadeniz, R. , Horuz, İ. , Coşkun, S. , Soğutma Tekniği ve
Uygulamaları, VİPAŞ A.Ş. , Bursa, (2002). Pp: 608.
15. Dossat, R.J. , Principles of Refrigeration, Prentice Hall, New Jersey, (1997).
Pp: 512.
16. Özkol, N. , Uygulamalı Soğutma Tekniği, Yayın No: 115, TMMOB Makine
Mühendisleri Odası, Ankara, (1999). Pp: 714
17. FRİTERM; Kuru Soğutucu/Yağ Soğutucu/Direk Genleşmeli ve Kondanser
Bataryaları Dizaynı için Tavsiye Edilen Teknik Değerler (2007)
18. FRİTERM; Coils 5.5 Frt1 Isı Eşanjörü Tasarım Yazılımı, (2006)
19. Danfoss; DIRcalcTM (2009)
20. Ashrae Handbook; Refrigeration (2006)
21. Danfoss; EKC 414A Kullanım Kılavuzu (2007)

ÖZGEÇMİŞ

Ayşe Tütüncü Karaöz 15 Şubat 1981 tarihinde Giresun'un Şebinkarahisar ilçesinde doğmuştur. Liseyi Şebinkarahisar Lisesinde okumuştur. 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği bölümüne girmiştir. 2000 yılında Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünde çift ana dal yapmaya başlamıştır. 2004 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Çalışma hayatına 2004 yılında çevre sektörü ile başlamıştır. 2006 yılında çalışmaya başladığı FRİTERM Termik Cihazlar firmasında halen ihracat satış mühendisi olarak görev yapmaktadır.